

INTERVENTO DI NUOVA REALIZZAZIONE PONTE SUL NAVIGLIO PAVESE TRA VIA GHISONI E VIALE REPUBBLICA E RIQUALIFICAZIONE VIABILISTICA



PAVIA

VIALE REPUBBLICA - VIA GHISONI - PIAZZALE SAN GIUSEPPE

COD. INT.: POP195

COMMITTENTE:

COMUNE DI PAVIA

Piazza Municipio, 2 - 27100 Pavia

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

R.U.P. Arch. Mara Latini

PROGETTAZIONE E DIREZIONE LAVORI:



STUDIO CALVI s.r.l. Ingegneria e Architettura

Via San Severino Boezio 10, 27100 Pavia Italia

Tel. +39 0382/538817 - Fax +39 0382/538702

e-mail: info@studiocalvi.eu - www.studiocalvi.eu

COLLABORATORI:

Ing. MARTINO SIGNORILE
Ing. MARCO TERMINE
Arch. LILIANA BORRINI
Ing. ANDREA DOSSENA
Ing. FEDERICA BOZZARELLI
Ing. MARTINA COGLIANO
Ing. MICHELE CASERINI
Ing. SIMONE LENZO

**SISTEMA DI
GESTIONE QUALITA'
UNI EN ISO 9001
CERTIFICATO DA
ITALCERT**

RESPONSABILI:

COORDINATORE GENERALE DI PROGETTO:
Prof. Ing. Gian Michele Calvi

PROGETTO DELLE OPERE ARCHITETTONICHE:
Arch. Davide Tagliaferri

PROGETTO DELLE OPERE STRUTTURALI:
Prof. Ing. Gian Michele Calvi

PROGETTO DEGLI IMPIANTI MECCANICI:
Prof. Ing. Gian Michele Calvi

PROGETTO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI:
Prof. Ing. Gian Michele Calvi

**COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI
PROGETTAZIONE:**
Ing. Nicola Verdi

FASE:

PROGETTO ESECUTIVO

SCALA:

DISCIPLINA DI PROGETTO:

STRUTTURE

DATA DI PRIMA EMISSIONE:

Ottobre 2020

OGGETTO:

Relazione geologica e tecnica con allegati modulo 9 e modulo 10

REVISIONE CORRENTE:

R0

PREPARAZIONE:

MS

CONTROLLO:

MM

APPROVATO:

GMC

RGEO

CODICE:

0882

FILE:

0882-DC-PE-RP-R0_Relazione geologica e tecnica con allegati modulo 9 e modulo 10

FUSINA S.R.L.

INDAGINI NEL SOTTOSUOLO

**COMMITTENTE:
COMUNE DI PAVIA**

2988_19

**INTERVENTO DI RISANAMENTO CONSERVATIVO DEI PONTI BAILEY
SUL NAVIGLIO PAVESE TRA VIA GHISONI E VIALE REPUBBLICA A PAVIA
- RELAZIONE GEOLOGICA (R1) AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018/NTC 2018
- RELAZIONE GEOLOGICA (R3) AI SENSI DELLA DGR 2616/2011 -**

MONZA, 28 GENNAIO 2019

Via Boccioni, 6 - 20900 Monza (MB)
Tel. 039/2028619 – Fax 039/2230311 – Cell. 348/7213807 – E-mail info @fusinasrl.it
C.F. e P.IVA 03014210961 - R.E.A. 1624114

1	PREMESSA.....	2
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	2
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	3
4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	4
5	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	6
6	POZZI IDROPOTABILI	7
7	FATTIBILITA' GEOLOGICA	10
8	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	10
9	PIEZOMETRIA	12
10	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO – TECNICA DEI TERRENI	13
11	APPROFONDIMENTO SISMICO DI PRIMO LIVELLO.....	15
11.1	PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE.....	15
11.2	PARAMETRI SISMICI.....	16
11.3	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	18
12	APPROFONDIMENTO SISMICO DI SECONDO LIVELLO	19
13	ALLEGATI	24

ALLEGATI

Tavola 1:	Stralcio della carta geologica
Tavola 2:	Stralcio della carta idrogeologica
Tavola 3:	Stralcio della carta dei vincoli
Tavola 4:	Stralcio della carta di pericolosità sismica locale
Tavola 5:	Stralcio della carta di fattibilità geologica
Tavola 6:	Ubicazione delle indagini
Grafici delle prove penetrometriche	
Elaborato grafico della prova sismica MASW	
Scheda litologica per approfondimento sismico di 2° livello	

1 PREMESSA

Il *Comune di Pavia* ci ha affidato l'incarico per l'esecuzione di un'indagine geognostica in supporto all'intervento di risanamento conservativo dei ponti Bailey sul Naviglio Pavese tra via Ghisoni e viale Repubblica a Pavia.

La presente relazione geologica (R1+R3), redatta ai sensi del D.M. 17/01/2018 e della D.G.R. 2616/2011, costituisce uno studio geologico, idrogeologico, idraulico e sismico finalizzato alla verifica della fattibilità dell'intervento in progetto e fornisce ai progettisti tutte le indicazioni necessarie alla redazione del progetto esecutivo.

Il programma delle indagini ha previsto l'esecuzione di due prove penetrometriche dinamiche continue SCPT e una prova sismica MASW in data 18 gennaio 2018.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

- P.G.T. comunale;
- D.G.R. 2129/2014;
- L.R. 33/2015;
- D.G.R. 5001/2016;
- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 – D.M. 17 gennaio 2018;
- D.G.R. 2616/2011;
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – D.Lgs. 49/2010.
- D.G.R. 19/06/2017, n. X/6738.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Il territorio comunale è geograficamente e fisicamente parte della Pianura Padana, della quale ripropone alcune delle caratteristiche più rimarchevoli.

È soprattutto a nord della città di Pavia che avviene il vero raccordo con il resto della pianura, mentre a sud, ossia verso il Ticino, la morfologia diventa più articolata e topograficamente mossata.

Tale variazione dei tratti del paesaggio è da ricollegare alla presenza in loco di numerose scarpate di terrazzo, incise dai locali corsi d'acqua (F. Ticino in particolare) e successivamente spesso modificate dagli interventi antropici, finalizzati prevalentemente per i previsti utilizzi urbanistici, agricoli ed estrattivi.

L'insieme di tali scarpate viene, in pratica, a delimitare, verso settentrione, la "Valle del Ticino", modellata (per erosione) in tempi geologicamente recenti all'interno dei depositi alluvionali da esso stesso (e dai suoi affluenti) depositati in precedenza.

Verso meridione (ossia in destra Ticino), la "Valle" risulta delimitata da un'analoga scarpata (sulla quale sorgono, all'esterno del territorio comunale di Pavia, gli abitati di Cava Manara, Cava Carbonara, S. Biagio ecc.), più "compatta" e ben delineata, non essendo suddivisa in distinti elementi come avviene invece in sinistra del F. Ticino.

In altre parole, il Ticino scorre oggi, nell'area pavese, sul fondo di una tipica "valle a cassetta", ovvero di una depressione a fondo piatto, lateralmente delimitata dalle citate scarpate, che, spesso, presentano andamento planimetrico "falcato", conseguenza del tracciato meandriforme che caratterizzava il Ticino nel momento in cui, abbassando il proprio alveo, le incideva.

I depositi osservati nell'area in esame appartengono ad un'unica unità geologica, le cui caratteristiche principali sono di seguito descritte (Tav.1):

Deposito fluviale recente

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.

4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'area di indagine è caratterizzata da una situazione idrogeologica diffusa 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.

A profondità variabili è presente una sequenza, particolarmente potente (50-60 metri), costituita da sabbie di varia granulometria, ma con prevalenza di quella media, con locali livelli di ghiaie medio-fini. Tale sequenza poggia su un orizzonte impermeabile continuo, costituito da sedimenti argillosi compatti e il cui spessore varia tra i 10 ed i 20 metri circa e ospita un corpo idrico a pelo libero (falda freatica di "fondo") che, a differenza degli orizzonti sospesi, i quali hanno una rilevanza esclusivamente locale, rappresenta un cospicuo serbatoio idrico a livello provinciale, sia per il suo spessore che per la sua estensione areale.

Tale acquifero presenta un elevato grado di vulnerabilità intrinseca in quanto, generalmente, mancano, al suo tetto, orizzonti a bassa permeabilità in grado di proteggere le acque in esso immagazzinate dal rischio di essere facilmente contaminate da sostanze inquinanti provenienti dalla superficie del suolo.

Il primo orizzonte acquifero artesiano presente al di sotto della falda freatica è, come detto, separato da questa da un diaframma a bassissima conducibilità idraulica, generalmente di potenza plurimetrica, fino a decametrica, e di buona continuità laterale, che impedisce significativi scambi idrici con il sovrastante serbatoio freatico. A profondità comprese tra 80 metri circa e 200 metri circa, si rinvengono almeno quattro acquiferi

artesiani, con carichi piezometrici differenziati in funzione delle corrispondenti quote delle aree di alimentazione, di potenza anche pluridecimetrica e caratterizzati da una buona continuità laterale.

Il sottostante Villafranchiano è sede, come detto, di un secondo serbatoio idrico, nettamente separato da quello ospitato nel materasso alluvionale da una potente sequenza argillosa ed argillo-limosa, arealmente meno esteso, ma caratterizzato da un notevole sviluppo verticale.

A causa del limitato numero di pozzi che raggiungono profondità superiori ai 200 metri, risulta assai difficile stabilire il numero di orizzonti acquiferi, indipendenti tra loro, qui ospitati. Da segnalare, peraltro, che i livelli acquiferi finora intercettati sono caratterizzati da un elevato regime artesiano, ma non sempre l'acqua sembra avere caratteristiche favorevoli all'uso idropotabile.

La terza unità idrogeologica, costituita dai sopra citati terreni del basamento marino, risulta essere complessivamente formata da litotipi impermeabili (marne argilloso-limose e argille variamente limose).

Nel territorio comunale di Pavia sono riconoscibili due principali unità idrogeologiche

- Unità delle "Alluvioni recenti". Depositi poroso - permeabili contraddistinti da una permeabilità da alta a medio - alta, che localmente, in superficie, diventa bassa per la presenza di coperture di natura limosa. È sede di una attiva circolazione idrica sotterranea a carattere freatico (falda libera principale), con superficie libera stagionalmente assai prossima al piano campagna e in diretta connessione con le acque di alveo e di subalveo del F. Ticino. In profondità, si ha la presenza di più falde sovrapposte confinate e talora anche artesiane per la presenza di orizzonti semipermeabili e impermeabili continui arealmente;
- Unità delle "Alluvioni antiche" (ivi comprese le zone interessate da riporti antropici con quote confrontabili a tale ripiano) e del "Fluviale recente". Rispetto alla precedente, questa unità è generalmente caratterizzata dalla presenza di una ulteriore falda libera, sospesa rispetto alla falda libera principale, con superficie localizzata a pochi metri dal piano campagna e, comunque, con profondità variabile in funzione dell'andamento morfologico (sia topografico, sia dell'orizzonte semipermeabile che la sostiene), della stagione e dei "richiami" esercitati dalle scarpate di terrazzo. L'alimentazione della falda sospesa avviene sostanzialmente per infiltrazione diretta di acque irrigue e/o di precipitazione meteorica. La

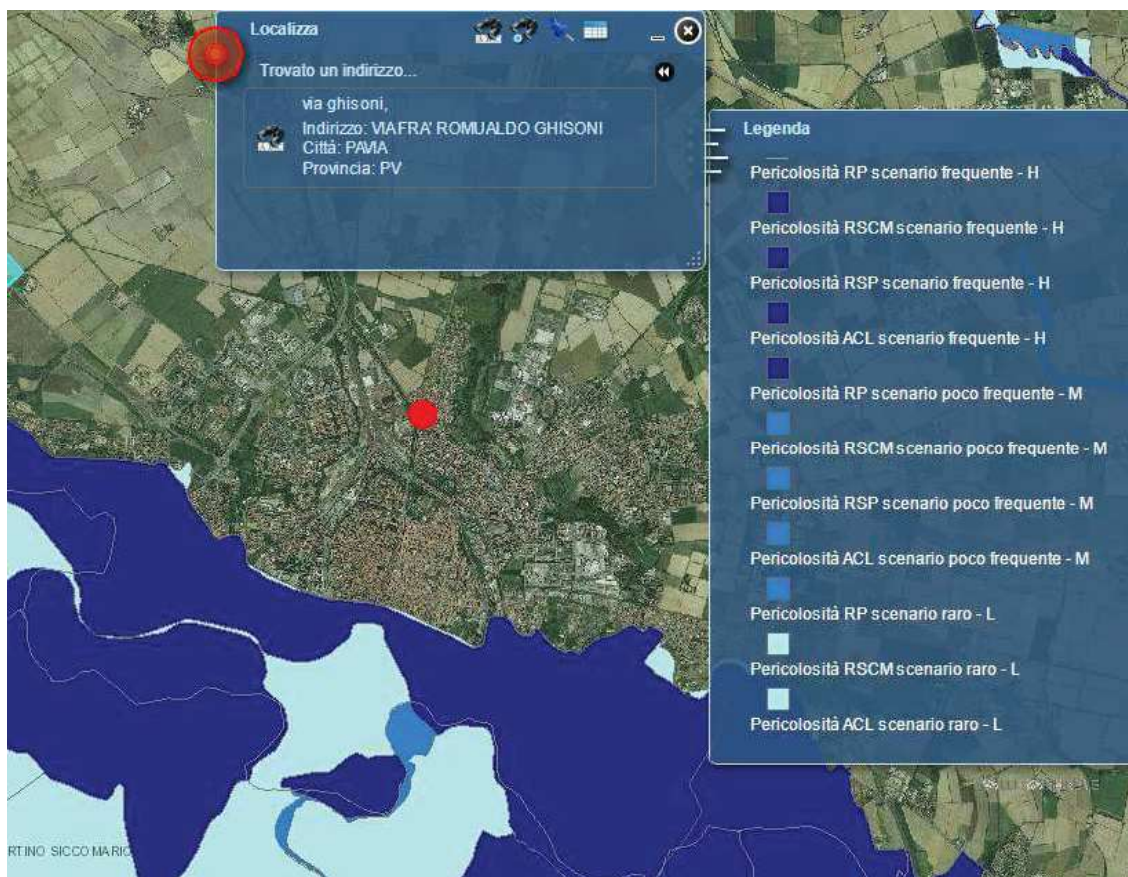
sottostante falda libera principale, la cui superficie si trova a parecchi metri dal piano campagna, corrisponde a quella caratterizzante l'unità precedentemente descritta. In profondità, come nel caso precedente, per la presenza di orizzonti semi-permeabili ed impermeabili, si ha la presenza di più falde sovrapposte confinate e talora anche artesiane.

5 **INQUADRAMENTO IDROGRAFICO**

L'idrografia principale è rappresentata, per l'area in oggetto, dal Naviglio Pavese.

Le opere in progetto riguardano un intervento di risanamento conservativo, ossia di miglioramento strutturale, di manufatti inerenti il corso d'acqua (ponti) e quindi risulta naturale che ricadano nella fascia di rispetto del Naviglio, individuata in 10 m dal ciglio di sponda dell'alveo inciso, come indicato in tavola 3.

La figura sottostante, estratta dal GeoPortale della Lombardia e riguardante la mappatura del rischio idraulico della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – DLgs 49/2010 – “Adozione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico Padano (PGRA) e del Progetto di Variante al Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del fiume Po (PAI)”, mostra che l’area di intervento ricade nell’ambito delle aree non allagabili.



6 POZZI IDROPOTABILI

Sul territorio comunale sono presenti pozzi ad uso idropotabile, come si può vedere nella tavola 3. In particolare, l'area oggetto di intervento risulta compresa all'interno della fascia di rispetto del pozzo 28/2 di via Alzaia, individuata con criterio geometrico e avente raggio pari a 200 metri e centro nel punto di captazione.

Per le aree ricadenti nelle zone di rispetto dei pozzi pubblici idropotabili vigono attualmente le prescrizioni di cui al comma 4 dell'art. 94 del D.Lgs. 152/2006, di cui per completezza riportiamo il testo.

Art. 94. Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano

4. La zona di rispetto è costituita dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta da sottoporre a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata e può essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata, in relazione alla tipologia dell'opera di presa o captazione e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa. In particolare, nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:

- a) dispersione di fanghi e acque reflue, anche se depurati;
- b) accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
- c) spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;
- d) dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche proveniente da piazzali e strade.
- e) aree cimiteriali;
- f) apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;
- g) apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione dell'estrazione ed alla protezione delle caratteristiche quali-quantitative della risorsa idrica;

- h) gestione di rifiuti;
- i) stoccaggio di prodotti ovvero, sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
- l) centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
- m) pozzi perdenti;
- n) pascolo e stabulazione di bestiame

Inoltre, la Regione Lombardia ha disciplinato le attività permesse e non all'interno di queste aree con la D.G.R. 10 aprile 2003 n° 7/12693, che viene di seguito ripresa nei suoi vincoli prescrittivi.

a) Realizzazione di fognature

Per fognature si intendono i collettori di acque bianche, di acque nere e di acque miste, nonché le opere d'arte connesse, sia pubbliche sia private.

I nuovi tratti di fognatura da situare nelle zone di rispetto devono:

- costituire un sistema a tenuta bidirezionale, cioè dall'interno verso l'esterno e viceversa, e recapitare esternamente all'area medesima;
- essere realizzati evitando, ove possibile, la presenza di manufatti che possano costituire elemento di discontinuità, quali i sifoni e opere di sollevamento.

Ai fini della tenuta, tali tratti potranno in particolare essere realizzati con tubazioni in cunicolo interrato dotato di pareti impermeabilizzate, avente fondo inclinato verso l'esterno della zona di rispetto, e corredato di pozzetti rompitratta i quali dovranno possedere analoghe caratteristiche di tenuta ed essere ispezionabili, oggetto di possibili manutenzioni e con idonea capacità di trattenimento.

In alternativa, la tenuta deve essere garantita con l'impiego di manufatti in materiale idoneo e valutando le prestazioni nelle peggiori condizioni di esercizio riferite nel caso specifico alla situazione di livello liquido all'intradosso dei chiusini delle opere d'arte.

Nella zona di rispetto di una captazione da acquifero:

- non è consentita la realizzazione di fosse settiche pozzi perdenti, bacini di accumulo di liquami e impianti di depurazione;

- è in generale opportuno evitare la dispersione di acque meteoriche, anche provenienti da tetti, nel sottosuolo e la realizzazione di vasche di laminazione e di prima pioggia.

Per tutte le fognature nuove (principali, secondarie, allacciamenti) insediate nella zona di rispetto sono richieste le verifiche di collaudo.

I progetti e la realizzazione delle fognature devono essere conformi alle condizioni evidenziate e la messa in esercizio delle opere interessate è subordinata all'esito favorevole del collaudo.

b) Realizzazione di opere e infrastrutture di edilizia residenziale e relativa urbanizzazione

Al fine di proteggere le risorse idriche captate i Comuni, nei propri strumenti di pianificazione urbanistica, favoriscono la destinazione delle zone di rispetto dei pozzi destinati all'approvvigionamento potabile a «verde pubblico», ad aree agricole o ad usi residenziali a bassa densità abitativa. Nelle zone di rispetto:

- le nuove edificazioni possono prevedere volumi interrati che non dovranno interferire con la falda captata, in particolare dovranno avere una distanza non inferiore a 5 m dalla superficie freatica, qualora l'acquifero freatico sia oggetto di captazione. Tale distanza dovrà essere determinata tenendo conto delle oscillazioni piezometriche di lungo periodo (indicativamente 50 anni). Nel nostro caso, l'acquifero oggetto di captazione è quello confinato e profondo, per cui tale distanza è rispettata.

In tali zone non è inoltre consentito:

- la realizzazione, a servizio delle nuove abitazioni, di depositi di materiali pericolosi non gassosi, anche in serbatoi di piccolo volume a tenuta, sia sul suolo sia nel sottosuolo (stoccaggio di sostanze chimiche pericolose ai sensi dell'articolo 94 del D.Lgs. n. 152/2006);

- l'insediamento di condotte per il trasporto di sostanze pericolose non gassose;

- l'utilizzo di diserbanti e fertilizzanti all'interno di parchi e giardini, a meno di non utilizzare sostanze antiparassitarie che presentino una ridotta mobilità nei suoli.

7 FATTIBILITA' GEOLOGICA

L'area oggetto di studio, nel P.G.T. comunale (vedi tavola 5) è stata collocata nella classe di fattibilità geologica 4 "fattibilità con gravi limitazioni", riguardando un intervento di risanamento conservativo su ponti esistenti, quindi entro le fasce di rispetto di un corso d'acqua.

Questa classe comprende le aree ove l'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso; trattasi in particolare di zone nelle quali l'alto rischio idraulico limita fortemente la realizzabilità di interventi comportanti programmi di edificazione permanente abitativa e/o produttiva.

Nelle aree ricadenti in questa classe deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti.

Parere Tecnico: Come già premesso, essendo l'intervento un'opera di miglioramento dei ponti esistenti (consolidamento), nulla osta alla sua fattibilità dal punto di vista geologico ed idrogeologico.

8 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Metodologia di esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT)

La prova penetrometrica standard (Standard Cone Penetration Test) consiste nel misurare il numero di colpi necessario ad infiggere per 30 cm nel terreno una punta conica collegata alla superficie da una batteria di aste.

Le misure vengono fatte senza soluzione di continuità a partire da piano campagna: ogni 30 cm di profondità si rileva perciò un valore del numero di colpi necessario all'infissione.

Caratteristiche tecniche:

- altezza di caduta della mazza: 75 cm;
- peso della mazza: 73 kg;
- punta conica: conicità 60°, $\phi = 51$ mm;
- aste: $\phi = 34$ mm.

Il risultato viene dato in forma di grafico, con una linea rappresentante la resistenza che il terreno ha opposto alla penetrazione alla punta (RP).



Esecuzione delle prove penetrometriche

Metodologia di esecuzione della prova sismica MASW

Lo scopo dell'indagine è stata quella di ottenere la stratigrafia di velocità delle onde trasversali Vs da cui ricavare il parametro Vseq.

Le caratteristiche della prova sono:

Stendimento geofonico (m)	Energizzazioni (n.)	Geofoni (n.)
46	8	24

Analisi multicanale delle onde superficiali

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. L'intero processo comprende tre passi: l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di

una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente, come è stato nel nostro caso.

In allegato sono riportati i risultati della prova MASW. Nel riquadro principale dell'elaborato si osserva la stratigrafia delle Vs ricavata dalla prova, nonché le curve di dispersione misurate e calcolate. A destra è visibile il sismogramma mentre in basso è riportato il valore del parametro **Vseq** calcolato.



Esecuzione della prova sismica MASW.

9 PIEZOMETRIA

Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche è stato rilevato il livello di falda freatica alla profondità di 8 metri dal piano campagna.

10 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO – TECNICA DEI TERRENI

Le prove penetrometriche effettuate hanno rilevato il seguente andamento geo-meccanico: dal piano campagna a circa - 3,5/4 metri, il terreno risulta essere scarsamente addensato; da circa - 3,5/4 metri a circa - 5,5 metri, si ha un aumento del grado di addensamento che risulta essere medio; da circa - 5,5 metri a circa 10,5 metri, si ha una lieve diminuzione del grado di addensamento che risulta essere variabile da scarso a medio; da tale profondità al termine delle prove (- 15 metri) si ha un ulteriore aumento del grado di addensamento che risulta essere variabile da medio a buono.

I parametri geotecnici indicati nel seguito sono stati ottenuti indirettamente, mediante correlazioni empiriche, a partire dai risultati delle prove penetrometriche.

I valori adottati come rappresentativi delle caratteristiche geotecniche dei terreni investigati sono quelli consigliati da diversi Autori (Peck, Hanson e Thornburn, 1953; K. Terzaghi e R.B. Peck, 1976; G. Sanglerat, 1979; J.E. Bowles, 1982) e sono stati definiti in modo moderatamente cautelativo.

I valori delle resistenze all'avanzamento delle prove penetrometriche dinamiche sono stati correlati ai valori di N_{SPT} , utilizzati per la valutazione dei parametri di resistenza e deformabilità, mediante la seguente relazione:

$$N_{spt} = 1,5 \times N_{scpt}$$

I valori di resistenza alla penetrazione dinamica ricavati dalle prove in sito sono stati normalizzati in funzione della profondità, del tipo di attrezzatura utilizzata e delle caratteristiche granulometriche generali dei terreni, secondo la seguente equazione:

$$N'(60) = N_{SPT} \times 1.08 \times Cr \times Cd \times Cn$$

dove: $N'(60)$ = valore di resistenza normalizzato

Cr = fattore di correzione funzione della profondità

Cd = fattore di correzione funzione del diametro del foro

Cn = fattore di correzione funzione della granulometria del terreno

1.08 = correzione funzione dell'energia sviluppata dall'attrezzatura

La stima del valore della densità relativa (Dr) è stata eseguita secondo le equazioni proposte da Skempton (1986):

$$Dr \cong \sqrt{N_{60}/60}$$

La valutazione del valore dell'angolo d'attrito mobilizzabile, in termini di sforzi efficaci, è stata effettuata sulla base delle correlazioni proposte da Shmertmann, 1977.

Sono state quindi riconosciute quattro unità geotecniche, suddivise per spessore e aventi le seguenti caratteristiche meccaniche:

- **Da piano campagna a – 3,5/4 metri**
 $N_{SPT} = 6$
 $\Phi = 27^\circ$
 $\gamma = 1700 \text{ daN/m}^3$
 $D_r = 22 \%$

- **Da – 3,5/4 metri a – 5,5 metri**
 $N_{SPT} = 15$
 $\Phi = 31^\circ$
 $\gamma = 1800 \text{ daN/m}^3$
 $D_r = 45 \%$

- **Da – 5,5 metri a – 10,5 metri**
 $N_{SPT} = 11$
 $\Phi = 30^\circ$
 $\gamma = 1800 \text{ daN/m}^3$
 $D_r = 35 \%$

- **Da – 10,5 metri a – 15 metri**
 $N_{SPT} = 19$
 $\Phi = 33^\circ$
 $\gamma = 1900 \text{ daN/m}^3$
 $D_r = 50 \%$

N.B.: N_{SPT} = numero colpi/30 cm;
 Φ = angolo di attrito del materiale;
 γ = peso di volume;
 D_r = densità relativa;

La presenza di acqua di falda a partire da – 8 metri riduce il peso di volume.

11 APPROFONDIMENTO SISMICO DI PRIMO LIVELLO

11.1 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

In adempimento a quanto previsto dal D.M. 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" e in accordo con la D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001 "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica", viene richiesta l'analisi della sismicità secondo le modalità indicate in All. 5 della D.G.R. IX/2616/2011.

Secondo la classificazione sismica vigente (Delibera Giunta regionale 11 luglio 2014 - n. X/2129), il comune di Pavia risulta inserito in zona sismica 3.

Per l'area di intervento, nella relazione geologica allegata al P.G.T., viene individuato lo scenario di pericolosità sismica locale PSL Z4a.

Si rammenta che gli scenari sono definiti nella classificazione indicata nella Tabella 1 dell'Allegato 5 alla D.G.R. IX/2616/2011, qui sotto allegata:

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 planura 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 (compresi 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

Per la valutazione numerica degli effetti di amplificazione sismica sitospecifica la procedura di cui al punto 1.4.4 dell'Allegato B alla d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616 "Sintesi delle procedure", prevede l'applicazione di tre livelli di approfondimento sismico con grado di dettaglio crescente in funzione della zona sismica di appartenenza, come illustrato nella tabella seguente:

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1° livello fase pianificatoria	2° livello fase pianificatoria	3° livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatoria	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	<ul style="list-style-type: none"> - Nelle aree indagate con il 2° livello quando F_a calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2.
Zona sismica 4	obbligatoria	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)	<ul style="list-style-type: none"> - 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 le opere in progetto interferiscono con l'urbanizzato, sono richiesti gli approfondimenti sismici di 1° e di 2° livello.

11.2 PARAMETRI SISMICI

Per quanto concerne la determinazione dei parametri di scuotimento sismico dell'area di progetto, facendo riferimento al D.M. 17/01/18 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", la sismicità di base del sito è definibile in funzione del valore assunto dall'accelerazione massima attesa su suolo rigido per eventi con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni in corrispondenza dei nodi di un reticolo di riferimento nazionale, le cui coordinate sono le seguenti:

Sito in esame

latitudine: 45,198717
 longitudine: 9,158962
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 13369	Lat: 45,2045	Lon: 9,0936	Distanza: 5158,542
Sito 2 ID: 13370	Lat: 45,2071	Lon: 9,1644	Distanza: 1025,033
Sito 3 ID: 13592	Lat: 45,1572	Lon: 9,1681	Distanza: 4676,944
Sito 4 ID: 13591	Lat: 45,1546	Lon: 9,0973	Distanza: 6887,915

Come prima fase si determinano i parametri delle azioni sismiche di progetto proprie del sito oggetto di intervento; i parametri sismici per periodi di ritorno di riferimento T_r sono quelli riportati nella seguente tabella:

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	a_g [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,22	2,54	0,18
S.L.D.	50,0	0,27	2,52	0,21
S.L.V.	475,0	0,67	2,52	0,28
S.L.C.	975,0	0,87	2,51	0,29

Dove a_g = accelerazione orizzontale massima al sito,

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,

T_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Inoltre, le NTC 2018 calcolano i coefficienti sismici k_h e k_v in dipendenza di vari fattori:

$$k_h = \beta \times (a_{\max}/g)$$

$$k_v = \pm 0,5 \times K_h$$

β = Coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} = Accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = Accelerazione di gravità;

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	a_{\max} [m/s ²]	beta [-]	k_h [-]	k_v [sec]
S.L.O.	0,33	0,2	0,0067	0,0034
S.L.D.	0,405	0,2	0,0083	0,0041
S.L.V.	1,005	0,2	0,0205	0,0102
S.L.C.	1,305	0,2	0,0266	0,0133

Per la scelta dei parametri progettuali, vista l'importanza delle opere, abbiamo assegnato ai manufatti una vita nominale V_n (2.4.1 - NTC2018) maggiore di 50 anni e una classe d'uso "II" (2.4.2 – NTC2018). Ne consegue che il periodo di riferimento V_r per le azioni sismiche è pari a $V_n \times C_u$ (coefficiente d'uso = 1 per classe d'uso II) = 50 anni.

L'azione sismica di progetto tiene inoltre conto della categoria di sottosuolo di riferimento (3.2.2 – NTC2018); sono previste cinque classi di terreni, identificabili sulla

base delle caratteristiche stratigrafiche e delle proprietà geotecniche rilevate nei primi 30 metri, e definite dalla velocità delle onde S (tab. 3.2.II del D.M. 17.01.2018).

Come condizione topografica al contorno, dovrà essere considerata la categoria T1, propria dei terreni pianeggianti.

Per la caratterizzazione sismica abbiamo eseguito una prova di tipo MASW, il cui risultato è stato **Vseq = 344 m/s**. Pertanto, i terreni in oggetto sono classificabili nella **categoria sismica di sottosuolo C**.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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>Deposit</i> i di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Deposit</i> i di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<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.

11.3 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione interessa depositi sabbiosi e sabbioso-limosi saturi che durante e immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio, a seguito della quale le condizioni di stabilità non sono più garantite e la massa di terreno interessata dal fenomeno comincia ad assestarsi fino a che la nuova configurazione del terreno non è compatibile con la diminuita resistenza al taglio.

I parametri che governano il fenomeno sono rappresentati in generale da:

- condizioni di drenaggio e grado di saturazione del deposito;
- granulometria del deposito;
- stato di addensamento;
- intensità, forma spettrale e durata delle sollecitazioni cicliche;

- stato tensionale iniziale;
- storia tensionale e deformativa del deposito;
- fenomeni di aging.

In caso di accertata liquefacibilità del terreno di fondazione occorrerà valutare le deformazioni indotte e le conseguenze delle stesse sulla funzionalità delle opere previste in progetto.

Come descritto nel capitolo 4 “Analisi della pericolosità sismica” della relazione geologica allegata al P.G.T. vigente comunale, per il calcolo del potenziale di liquefazione si fa riferimento ai risultati di prove in situ, utilizzando procedure note in letteratura.

Nella stessa relazione si conclude che il fenomeno della liquefazione viene escluso in tutto il territorio comunale in quanto la magnitudine del sisma di riferimento è pari a circa 3,55 con tempo di ritorno di 975 anni. Tale valore esclude l’insorgere del fenomeno.

12 APPROFONDIMENTO SISMICO DI SECONDO LIVELLO

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 (Fa).

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 Vs (velocità delle onde di taglio) con la profondità;
- Spessore e velocità di ciascuno strato;
- Modello geofisico del terreno.

Parametri litologici e stratigrafici – modello geotecnico del terreno

Le caratteristiche litologiche e stratigrafiche dei terreni oggetto di studio, necessarie per l'analisi di rischio di secondo livello, sono state ricostruite mediante i risultati delle indagini geognostiche riportate in allegato.

Onde di taglio Vs e modello geofisico del terreno

Sulla base della stratigrafia delle velocità di propagazione delle onde di taglio definita per l'area in esame è possibile definire un valore di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ secondo la seguente espressione, in accordo al D.M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”:

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

Dove H rappresenta la profondità del substrato sismico, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto addensato caratterizzata da valori di velocità di propagazione delle onde di taglio VS non inferiori a 800 m/s e h_i e $V_{S,i}$ rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio di ciascuno strato. 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) la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} è definita dal parametro VS30, ottenuto ponendo H pari a 30 nella precedente espressione e considerando le velocità di propagazione dei diversi strati di terreno fino a tale profondità.

Nel nostro caso la profondità del substrato sismico è sicuramente superiore a 30 m dal piano di riferimento

Stima degli effetti litologici e del fattore di amplificazione

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'All.5 alla D.G.R. IX/2616/2011 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:

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

Per quel che concerne la scheda di valutazione più idonea alla stima degli effetti litologici, si è considerata la scheda "litologia sabbiosa".

Inoltre, tenuto conto della profondità del primo strato equivalente e della velocità Vs ottenuta come media pesata (196 m/s con 4 metri di spessore di strato equivalente), si è considerata la curva caratteristica n. 2.

Nella seguente tabella, riportiamo i valori di T (periodo proprio del sito), calcolati ad ogni variazione di velocità:

STRATO CON VELOCITA' ONDE S COSTANTE	VALORE DI Vs	PERIODO PROPRIO (T)
da 0 metri a – 1 metro	226	0,017699
da – 1 metro a – 4 metri	186	0,081633
da – 4 metri a – 7,8 metri	358	0,113486
da – 7,8 metri a – 14,7 metri	384	0,1803
da – 14,7 metri a – 20,6 metri	360	0,245366
da – 20,6 metri a – 31,2 metri	432	0,33867
da – 31,2 metri a – 41,1 metri	427	0,429701
da – 41,1 metri a – 48,8 metri	553	0,476703

Tabella – periodo proprio di oscillazione ad ogni variazione di velocità delle onde S.

Si è ottenuto un valore massimo del periodo del sito T pari a 0,47.

Calcoliamo i fattori di amplificazione sia per il periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s sia per il periodo compreso tra 0.5 e 1.5 s.

Calcolo di Fa mediante la curva n.2 della scheda “litologia sabbiosa”:

- **Fa** $_{0.1 \div 0.5 s} = 1,50$
- **Fa** $_{0.5 \div 1.5 s} = 1,78$

I valori ottenuti per i coefficienti di amplificazione propri del sito sono stati confrontati con i valori di soglia forniti dalla Regione Lombardia.

Per il comune di Pavia, per suoli di tipo C, il valore di soglia calcolato è pari a 1,9 per il periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s ed è pari a 2,4 per il periodo compreso tra 0.5 e 1.5 s.

Poiché risulta:

- **Fa** $_{0.1 \div 0.5 s} = 1,50 < 1,9 \rightarrow$ Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) < Soglia comunale (FAS);
- **Fa** $_{0.5 \div 1.5 s} = 1,78 < 2,4 \rightarrow$ Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) < Soglia comunale (FAS).

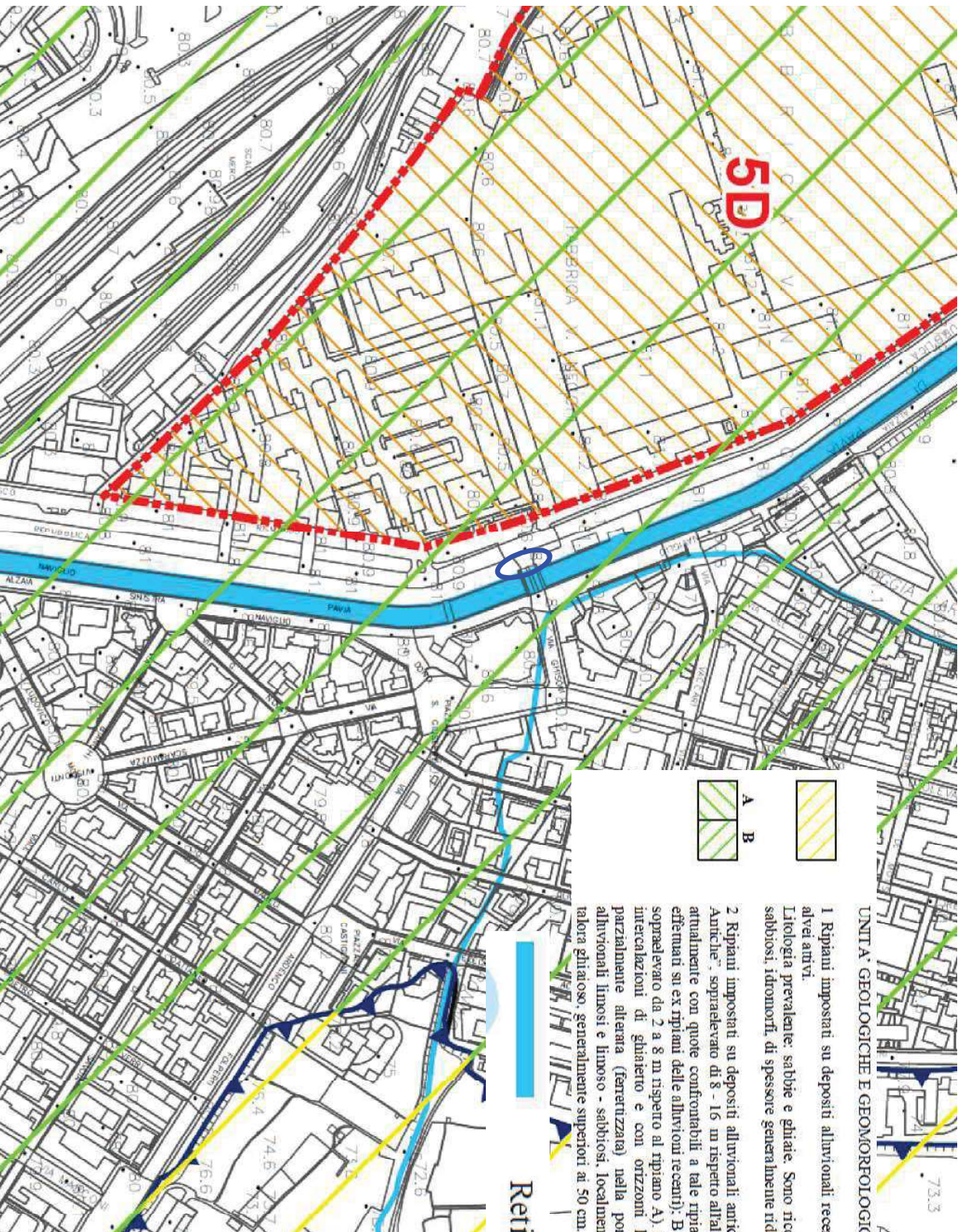
Ne consegue che:

- Sulla base dell'applicazione del 2° livello di approfondimento sismico di cui alla D.G.R. IX/2616/2011, la categoria di sottosuolo ricavata secondo le procedure contenute nella normativa antisismica è sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica propri del sito.
- **Pertanto, per il progetto di risanamento dei ponti va considerata la categoria sismica di sottosuolo C, così come ricavato dalla prova sismica.**

Dott. Geol. Fabio Fusina




13 ALLEGATI



UNITA' GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE

1 Ripiani impostati su depositi alluvionali recenti, sopraelevati di alcuni metri rispetto agli alvei attivi.

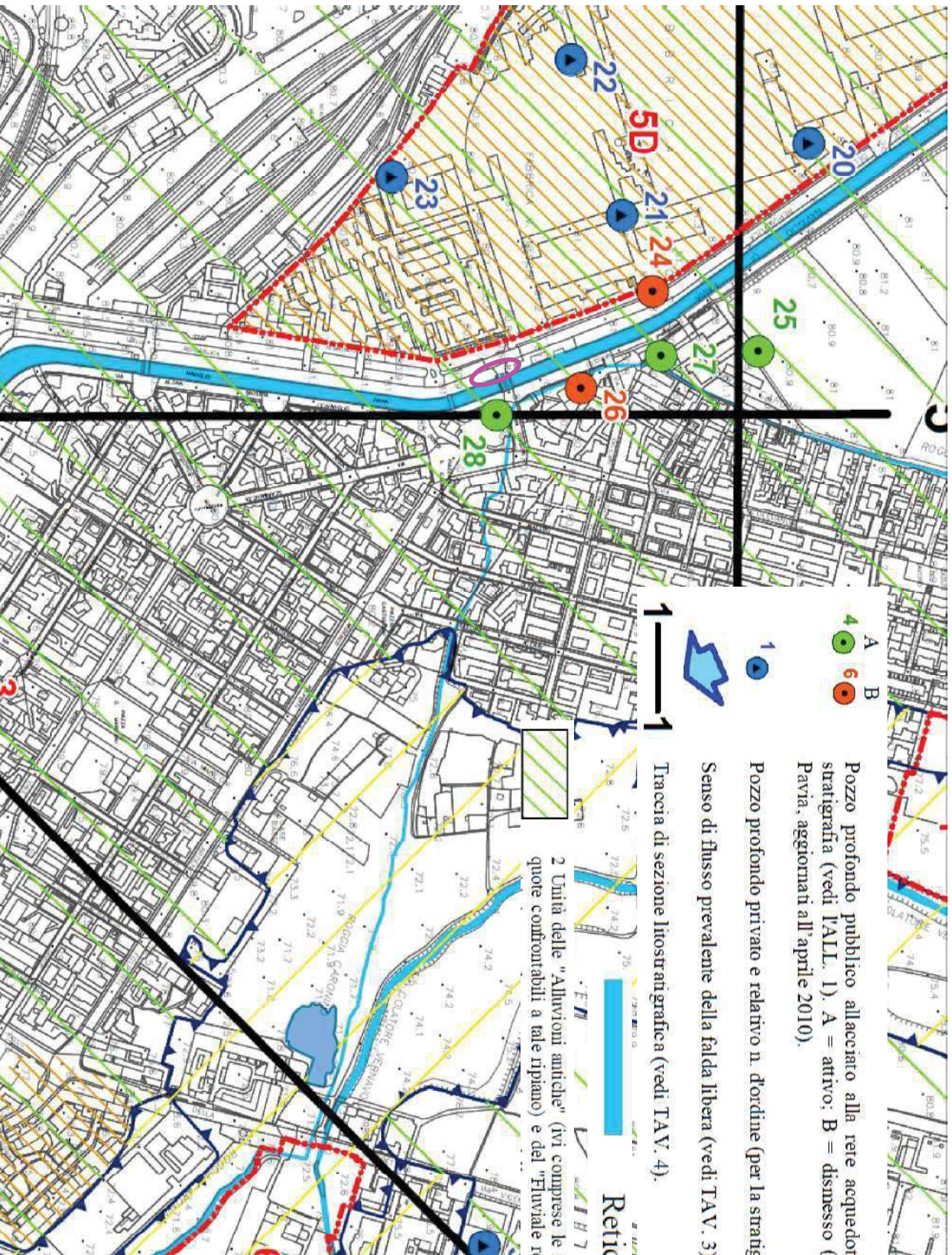
Litologia prevalente: sabbie e ghiaie. Sono ricoperti da suoli alluvionali limosi e limoso-sabbiosi, idromorfici, di spessore generalmente ridotto (50 cm ca.).

2 Ripiani impostati su depositi alluvionali antichi (A = ripiano inferiore o delle "Alluvioni Antiche", sopraelevato di 8 - 15 m rispetto all'alveo attivo del F. Ticino (ivi comprese le zone attualmente con quote confrontabili a tale ripiano in quanto interessate da riporti antropici effimeri su ex ripiani delle alluvioni recenti); 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 risalta 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.

Reticolo idrico superficiale.

AREA DI INTERVENTO

<p>FUSIMA S.R.L. Via Bocconi, 6 - 20900 Monza Tel. 039/2028619 - Fax 039/2230311 - Cell. 348/7213807 E-mail info@fusimastill</p>	
<p>COMMITTENTE: COMUNE DI PAVIA</p>	
<p>CANTIERE: PAVIA - VIA GHISONI</p>	
<p>TITOLO: TAV. 1 - STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA</p>	
<p>DATA: GENNAIO 2019</p>	



AREA DI INTERVENTO

Pozzo profondo allacciato alla rete acquedottistica e relativo n. d'ordine della stratigrafia (vedi TALL. 1). A = attivo; B = dismesso (dati forniti dall'ente gestore, ASM Pavia, aggiornati all'aprile 2010).

Pozzo profondo privato e relativo n. d'ordine (per la stratigrafia si veda TALL. 1).

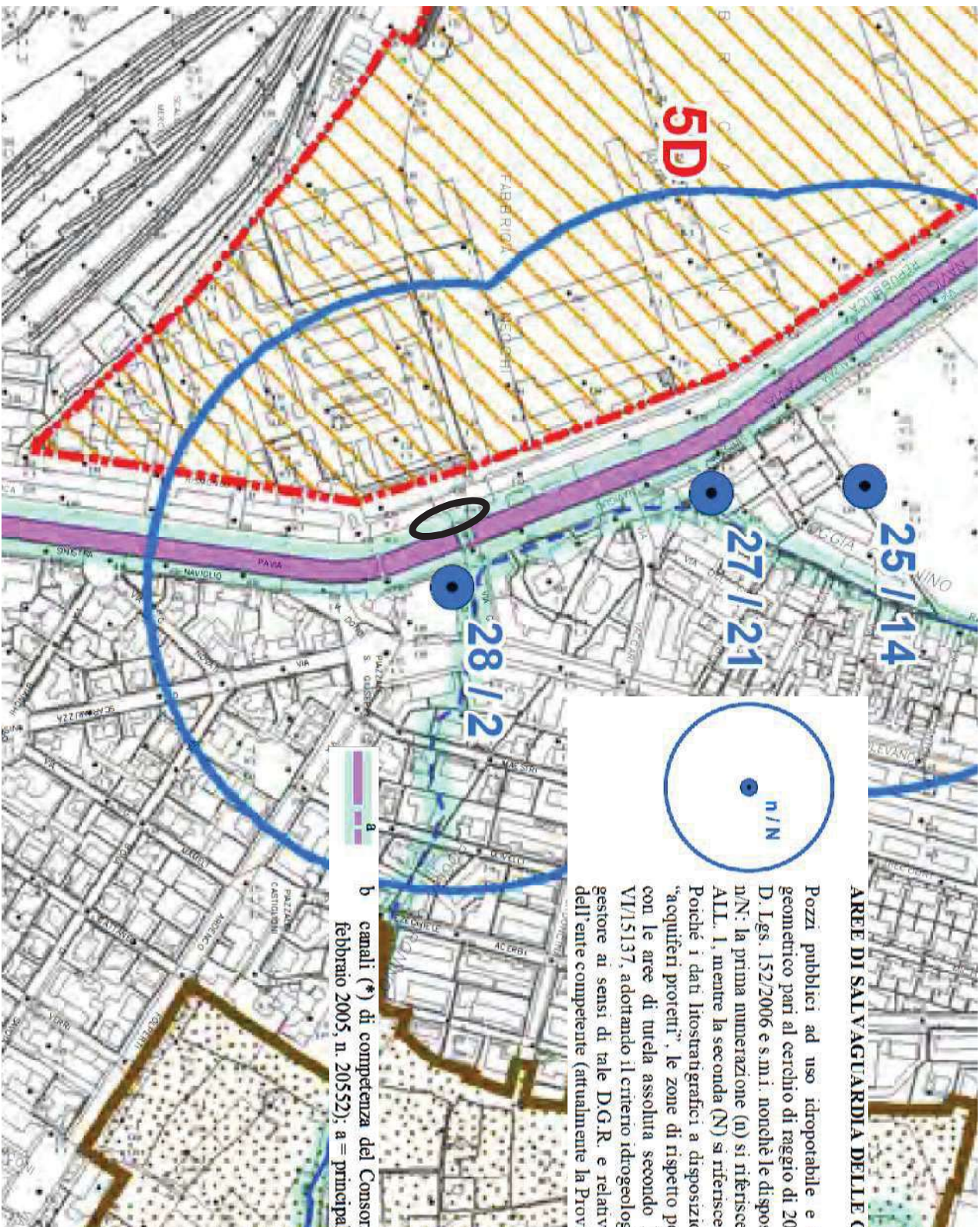
Senso di flusso prevalente della falda libera (vedi TAV. 3).

Traccia di sezione linostratigrafica (vedi TAV. 4).

2 Unità delle "Alluvioni antiche" (ivi comprese le zone interessate da rapporti antropici con quote confrontabili a tale ripiano) e del "Fluviale recente".

Reticolo idrico superficiale.

FUSINA S.R.L.	
Via Boccioni, 6 - 20900 Monza	
Tel. 039/2028619 - Fax 039/2230311 - Cell. 346/7713807	
E-mail info@fustinasrl.it	
COMMITTENTE: COMUNE DI PAVIA	
CANTIERE: PAVIA - VIA GHISONI	
TITOLO: TAV. 2 - STRALCIO DELLA CARTA IDROEKOLOGICA	
DATA: GENNAIO 2019	



AREA DI INTERVENTO

AREE DI SALVAGUARDIA DELLE CAPTAZIONI AD USO IDROPOTABILE

Pozzi pubblici ad uso idropotabile e relative zone di rispetto (definite con criterio geometrico pari al cerchio di raggio di 200 m) su cui valgono le norme di cui all'art. 94 del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i. nonché le disposizioni della D.G.R. 10/04/2003, n. 12693. n/N: la prima numerazione (n) si riferisce al numero della stratigrafia del pozzo riportata in ALL. 1, mentre la seconda (N) si riferisce a quella adottata dall'ente gestore ASM di Pavia. Poiché i dati litostatigrafici a disposizione indicano che tali pozzi risultano attingere da "acquiferi protetti", le zone di rispetto potrebbero essere soggette a riduzione e coincidere con le aree di tutela assoluta secondo le procedure di cui alla D.G.R. 27/06/1996, n. VI/15137, adottando il criterio idrogeologico, previa richiesta da avanzare da parte dell'ente gestore ai sensi di tale D.G.R. e relativa autorizzazione di deroga da rilasciare da parte dell'ente competente (attualmente la Provincia di Pavia).

b canali (*) di competenza del Consorzio Est Ticino Villoresi (ai sensi della D.G.R. 11 febbraio 2005, n. 20552); **a** = principali trarti tombinati e attraversamenti;

<p>FUSINA S.R.L. Via Bocconi, 6 - 20900 Monza Tel. 039/202819 - Fax 039/220311 - Cell. 348/713807 E-mail: info@fusinasrl.it</p>	
COMMITTENTE:	COMUNE DI PAVIA
CANTIERE:	PAVIA - VIA GHISONI
TITOLO:	TAV. 3 - STRALCIO DELLA CARTA DEI VINCOLI
DATA:	GENNAIO 2019





Z4a. Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi, ove gli effetti da sisma possono originare amplificazioni litologiche e geometriche (tutto il territorio comunale ricade in questa zona).

AREA DI INTERVENTO

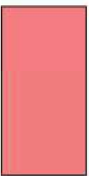
<p>FUSIMA S.R.L. Via Bocconi, 6 - 20900 Monza Tel. 039/2028619 - Fax 039/2230311 - Cell. 346/7213807 E-mail info@fusimastudi</p>	
<p>COMMITTENTE: COMUNE DI PAVIA</p>	
<p>CANTIERE: PAVIA - VIA GHISONI</p>	
<p>TITOLO: TAV. 4 - STRALCIO DELLA CARTA DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</p>	
<p>DATA: GENNAIO 2019</p>	



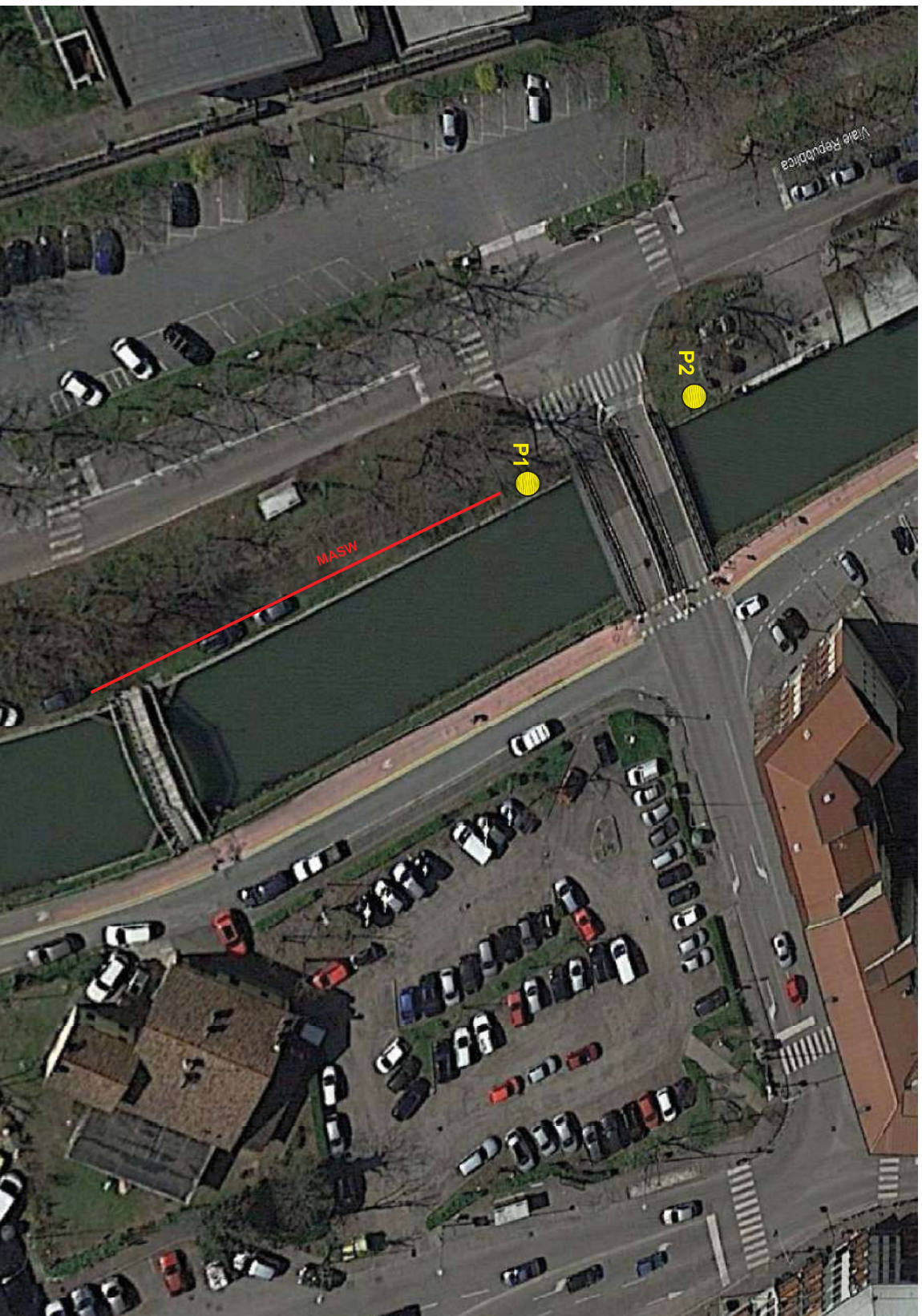
AREA DI INTERVENTO



Classe 4 (rossa) - Fatibilità con gravi limitazioni L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative a interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della L.R. 12/2005, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo; sono fatti salvi gli interventi consentiti all'interno delle Fasce fluviali dalle NTA del PAI. Sono inoltre consentite le innovazioni necessarie per



FUSINA S.R.L. Via Boccioni, 6 - 20900 Monza Tel. 039/2028616 - Fax 039/2230311 - Cell. 348/7219807 Email info@fusinasrl.it
COMMITTENTE: COMUNE DI PAVIA
CANTIERE: PAVA - VIA GHISSONI
TITOLO: TAV. 5 - STRALCIO DELLA CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA
DATA: GENNAIO 2019



LEGENDA:

- PROVE PENETROMETRICHE
- / STENDIMENTO SISMICO



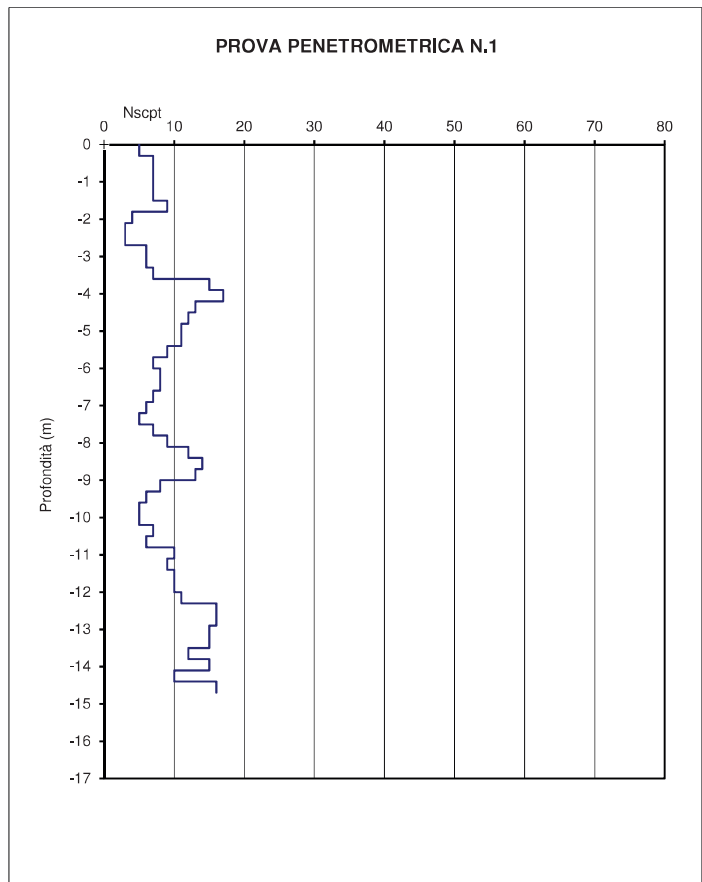
<p>FUSIMA S.R.L. Via Bocconi, 6 - 20900 Monza Tel. 039/2028619 - Fax 039/2230311 - Cell. 348/7213807 Email info@fusimastd.it</p>
<p>COMMITTENTE: COMUNE DI PAVIA</p>
<p>CANTIERE: PAVIA – VIA GHISSONI</p>
<p>TITOLO: TAV. 6 – UBICAZIONE DELLE INDAGINI</p>
<p>DATA ESECUZIONE INDAGINI: 18 GENNAIO 2019</p>

COMMITTENTE: COMUNE DI PAVIA
 PAVIA - VIA GHISONI
 PROFONDITA' DELLA FALDA: 8 METRI DA PIANO CAMPAGNA
 DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE : 18/01/2019

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)

Profondità	RP	RL
0	5	
	7	
	7	
	7	
-1,5	7	
	9	
	4	
	3	
	3	
-3	6	
	6	
	7	
	15	
	17	
-4,5	13	
	12	
	11	
	11	
	9	
-6	7	
	8	
	8	
	7	
	6	
-7,5	5	

Profondità	RP	RL
	7	
	9	
	12	
	14	
-9	13	
	8	
	6	
	5	
	5	
-10,5	7	
	6	
	10	
	9	
	10	
-12	10	
	11	
	16	
	16	
	15	
-13,5	15	
	12	
	15	
	10	
	16	
-15	16	



FUSINA S.R.L.

Via Boccioni, 6 - 20052 Monza
tel. 039/2028619

COMMITTENTE: COMUNE DI PAVIA

PAVIA - VIA GHISONI

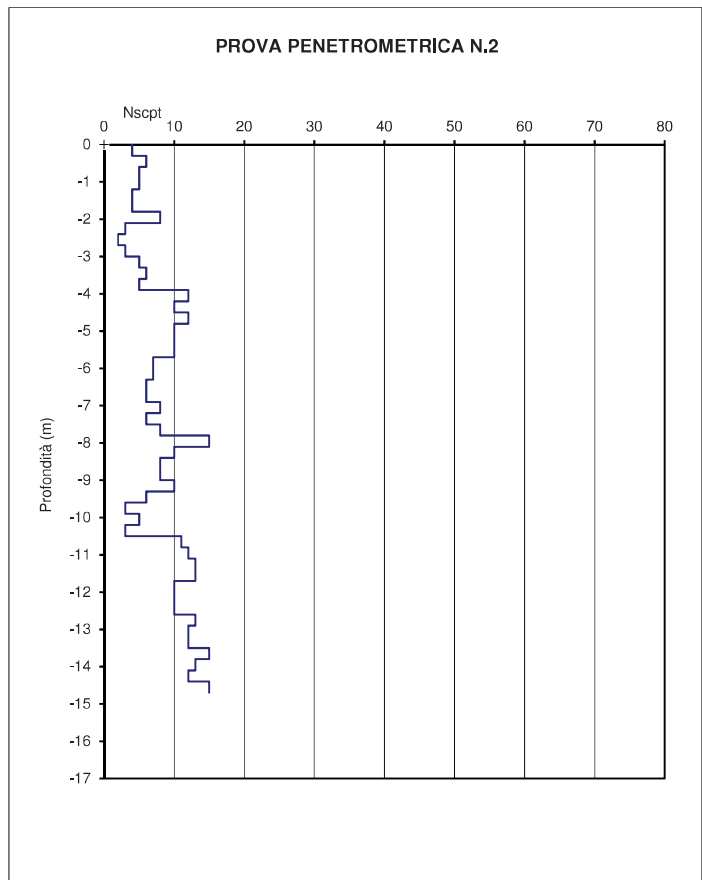
PROFONDITA' DELLA FALDA: 8 METRI DA PIANO CAMPAGNA

DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE : 18/01/2019

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)

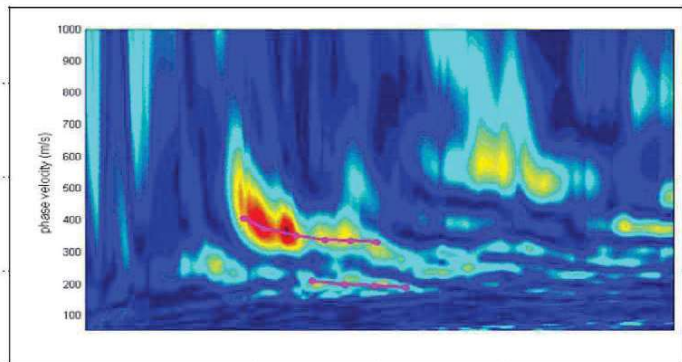
Profondità	RP	RL
0	4	
	6	
	5	
	5	
-1,5	4	
	4	
	8	
	3	
	2	
-3	3	
	5	
	6	
	5	
	12	
-4,5	10	
	12	
	10	
	10	
	10	
-6	7	
	7	
	6	
	6	
	8	
-7,5	6	

Profondità	RP	RL
	8	
	15	
	10	
	8	
-9	8	
	10	
	6	
	3	
	5	
-10,5	3	
	11	
	12	
	13	
	13	
-12	10	
	10	
	10	
	13	
	12	
-13,5	12	
	15	
	13	
	12	
	15	
-15	15	



FUSINA S.R.L.

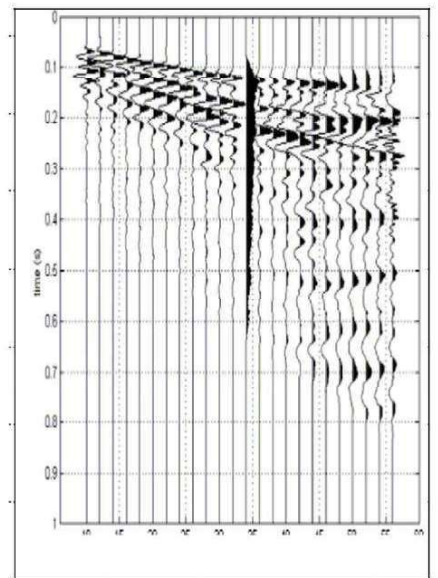
Via Boccioni, 6 - 20052 Monza
tel. 039/2028619



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 $D=1.5 \cdot Vs/1000$



Sismogramma

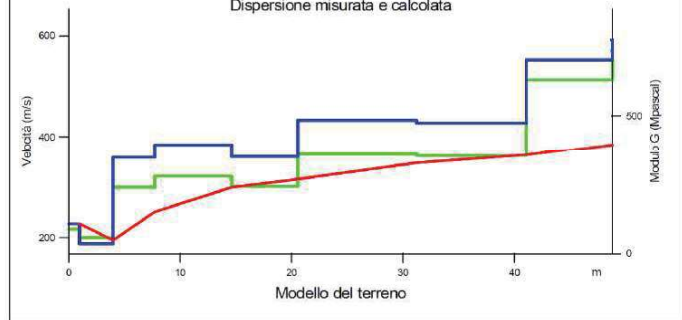
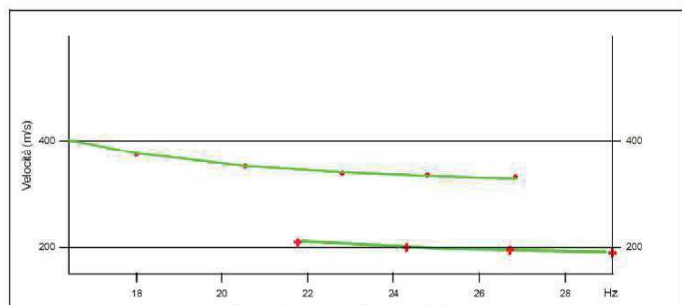


TABELLA DI CALCOLO

Da Prof.	a Prof.	Vs	H/Vi	VsX	G
0	1	228	.0043	228	88
1	4	186	.0162	195	59
4	7.8	358	.0105	250	238
7.8	14.7	384	.018	299	278
14.7	20.6	360	.0105	315	241
20.6	31.2	432	.0245	347	361
31.2	41.1	427	.0231	363	351
41.1	48.8	553	.014	384	628

VALORE CALCOLATO VSeq = 344 m/s

PROVA SISMICA VSeq

Comune di Pavia

Pavia – via Ghisoni/viale Repubblica

Prova MASW

VELOCITA' DELLE ONDE S

Gennaio 2019

EFFETTI LITOLGICI – SCHEDE LITOLOGIA SABBIOSA

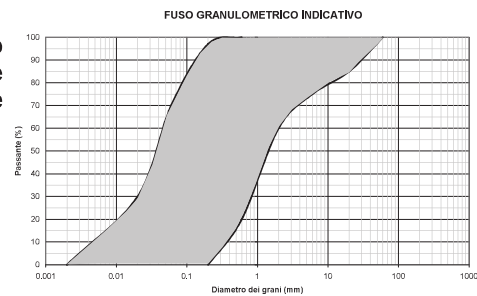
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

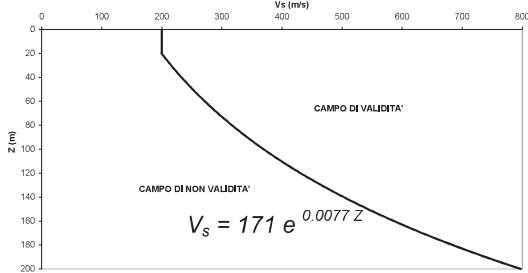
Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

NOTE:

- Comportamento granulare
- Struttura granulo-sostenuta
- Clasti con $D_{max} > 20$ cm inferiori al 15%
- Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
- Frazione limosa fino ad un massimo del 70%



ANDAMENTO DELLE V_s CON LA PROFONDITA' LITOLOGIA SABBIOSA

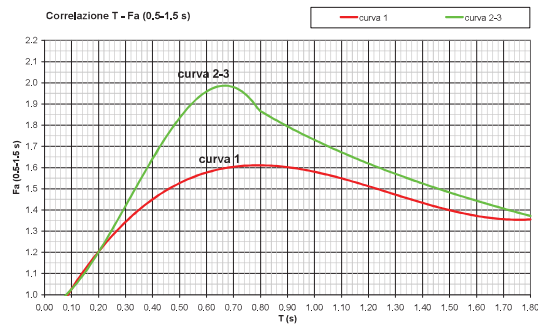
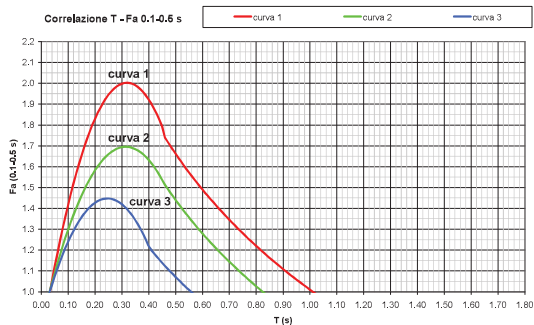


Profondità primo strato (m)	Profondità primo strato (m)																						
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180	
200	2	1-2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
250	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
300	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

ove la sigla NA indica $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s	0
$V_s > 500$ m/s	5 - 12 m



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0,03 \leq T \leq 0,50$ $Fa_{0,1-0,5} = -12,21 T^2 + 7,79 T + 0,76$	$0,50 < T \leq 1,00$ $Fa_{0,1-0,5} = 1,01 - 0,94 \ln T$	$T > 1,00$ $Fa_{0,1-0,5} = 1,00$
2	$0,03 \leq T \leq 0,45$ $Fa_{0,1-0,5} = -8,65 T^2 + 5,44 T + 0,84$	$0,45 < T \leq 0,80$ $Fa_{0,1-0,5} = 0,83 - 0,88 \ln T$	$T > 0,80$ $Fa_{0,1-0,5} = 1,00$
3	$0,03 \leq T \leq 0,40$ $Fa_{0,1-0,5} = -9,68 T^2 + 4,77 T + 0,86$	$0,50 < T \leq 0,55$ $Fa_{0,1-0,5} = 0,62 - 0,65 \ln T$	$T > 0,55$ $Fa_{0,1-0,5} = 1,00$

Curva	
1	$0,08 \leq T \leq 1,80$ $Fa_{0,5-1,5} = 0,57 T^3 - 2,18 T^2 + 2,38 T + 0,81$
2	$0,08 \leq T < 0,80$ $Fa_{0,5-1,5} = -6,11 T^3 + 5,79 T^2 + 0,44 T + 0,93$
3	$0,80 \leq T \leq 1,80$ $Fa_{0,5-1,5} = 1,73 - 0,61 \ln T$

FUSINA S.R.L.

INDAGINI NEL SOTTOSUOLO

**COMMITTENTE:
COMUNE DI PAVIA**

2988_19

**INTERVENTO DI RISANAMENTO CONSERVATIVO DEI PONTI BAILEY
SUL NAVIGLIO PAVESE TRA VIA GHISONI E VIALE REPUBBLICA A PAVIA
- RELAZIONE GEOTECNICA (R2) AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018/NTC 2018-**

MONZA, 28 GENNAIO 2019

Via Boccioni, 6 - 20900 Monza (MB)
Tel. 039/2028619 – Fax 039/2230311 – Cell. 348/7213807 – E-mail info @fusinasrl.it
C.F. e P.IVA 03014210961 - R.E.A. 1624114

1.	PREMESSA.....	2
2.	RIFERIMENTI.....	2
3.	METODOLOGIA DI ESECUZIONE DELLE INDAGINI	3
4.	PIEZOMETRIA	5
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO – TECNICA DEI TERRENI	5
6.	PROGETTO	7
7.	CALCOLO DELLA RESISTENZA DI PROGETTO - MICROPALI	10
8.	APPROFONDIMENTO SISMICO DI PRIMO LIVELLO.....	13
8.1	PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE.....	13
8.2	PARAMETRI SISMICI.....	14
8.3	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	16
9.	APPROFONDIMENTO SISMICO DI SECONDO LIVELLO	17
10.	ALLEGATI	21

1. PREMESSA

Il *Comune di Pavia* ci ha affidato l'incarico per l'esecuzione di un'indagine geognostica in supporto all'intervento di risanamento conservativo dei ponti Bailey sul Naviglio Pavese tra via Ghisoni e viale Repubblica a Pavia.

Il programma delle indagini ha previsto l'esecuzione di due prove penetrometriche dinamiche continue SCPT e una prova sismica MASW in data 18 gennaio 2018.

L'interpretazione delle indagini, in ottemperanza a quanto previsto dalla normativa del D.M. 17/01/2018, è stata finalizzata principalmente alla definizione delle caratteristiche stratigrafiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione.

L'obiettivo è stato quello di fornire ai progettisti tutti i valori necessari affinché venga da essi verificata la relazione $R_d > E_d$, come indicato nelle NTC 2018 paragrafo 2.3.

Fanno parte della presente relazione tecnica i seguenti allegati:

- ubicazione delle indagini;
- stralcio della carta di pericolosità sismica locale;
- grafici delle prove penetrometriche;
- elaborato grafico della prova sismica MASW;
- scheda litologica per approfondimento sismico di 2° livello.

2. RIFERIMENTI

Normative

- P.G.T. comunale;
- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 17 Gennaio 2018.

Riferimenti bibliografici

- Skempton A.W. (1986). *“Standard Penetration Test Procedures and Effects in Situ Sands of Overburden Pressure, Relative Density”* Géotechnique 36, n°2.
- Cestelli Guidi C. (1980). *“Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni”*. Settima Edizione, Hoepli. Vol. 2, pp. 144-188.
- Cestari F. (1990). *“Prove Geotecniche in Sito”*. Geo-Graph. Pp. 207-284.
- R. Lancellotta (1993). *“Geotecnica”*. Zanichelli.

3. METODOLOGIA DI ESECUZIONE DELLE INDAGINI

Metodologia di esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT)

La prova penetrometrica standard (Standard Cone Penetration Test) consiste nel misurare il numero di colpi necessario ad infiggere per 30 cm nel terreno una punta conica collegata alla superficie da una batteria di aste.

Le misure vengono fatte senza soluzione di continuità a partire da piano campagna: ogni 30 cm di profondità si rileva perciò un valore del numero di colpi necessario all'infissione.

Caratteristiche tecniche:

- altezza di caduta della mazza: 75 cm;
- peso della mazza: 73 kg;
- punta conica: conicità 60°, $\phi = 51$ mm;
- aste: $\phi = 34$ mm.

Il risultato viene dato in forma di grafico, con una linea rappresentante la resistenza che il terreno ha opposto alla penetrazione alla punta (RP).



Esecuzione delle prove penetrometriche

Metodologia di esecuzione della prova sismica MASW

Lo scopo dell'indagine è stata quella di ottenere la stratigrafia di velocità delle onde trasversali Vs da cui ricavare il parametro Vseq. Le caratteristiche della prova sono:

Stendimento geofonico (m)	Energizzazioni (n.)	Geofoni (n.)
46	8	24



Esecuzione della prova sismica MASW.

Analisi multicanale delle onde superficiali

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. L'intero processo comprende tre passi: l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs. Le onde di superficie sono

facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente, come è stato nel nostro caso.

In allegato sono riportati i risultati della prova MASW. Nel riquadro principale dell'elaborato si osserva la stratigrafia delle Vs ricavata dalla prova, nonché le curve di dispersione misurate e calcolate. A destra è visibile il sismogramma mentre in basso è riportato il valore del parametro **Vseq** calcolato.

4. PIEZOMETRIA

Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche è stato rilevato il livello di falda freatica alla profondità di 8 metri dal piano campagna.

5. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO – TECNICA DEI TERRENI

Le prove penetrometriche effettuate hanno rilevato il seguente andamento geo-meccanico: dal piano campagna a circa - 3,5/4 metri, il terreno risulta essere scarsamente addensato; da circa - 3,5/4 metri a circa - 5,5 metri, si ha un aumento del grado di addensamento che risulta essere medio; da circa - 5,5 metri a circa 10,5 metri, si ha una lieve diminuzione del grado di addensamento che risulta essere variabile da scarso a medio; da tale profondità al termine delle prove (- 15 metri) si ha un ulteriore aumento del grado di addensamento che risulta essere variabile da medio a buono.

I parametri geotecnici indicati nel seguito sono stati ottenuti indirettamente, mediante correlazioni empiriche, a partire dai risultati delle prove penetrometriche. I valori adottati come rappresentativi delle caratteristiche geotecniche dei terreni investigati sono quelli consigliati da diversi Autori (Peck, Hanson e Thornburn, 1953; K. Terzaghi e R.B. Peck, 1976; G. Sanglerat, 1979; J.E. Bowles, 1982) e sono stati definiti in modo moderatamente cautelativo.

I valori delle resistenze all'avanzamento delle prove penetrometriche dinamiche sono stati correlati ai valori di **N_{SPT}**, utilizzati per la valutazione dei parametri di resistenza e deformabilità, mediante la seguente relazione:

$$\mathbf{N_{spt} = 1,5 \times N_{scpt}}$$

I valori di resistenza alla penetrazione dinamica ricavati dalle prove in sito sono stati normalizzati in funzione della profondità, del tipo di attrezzatura utilizzata e delle caratteristiche granulometriche generali dei terreni, secondo la seguente equazione:

$$\mathbf{N'(60) = N_{SPT} \times 1.08 \times Cr \times Cd \times Cn}$$

dove: **N'(60)** = valore di resistenza normalizzato

Cr = fattore di correzione funzione della profondità

Cd = fattore di correzione funzione del diametro del foro

Cn = fattore di correzione funzione della granulometria del terreno

1.08 = correzione funzione dell'energia sviluppata dall'attrezzatura

La stima del valore della densità relativa (D_r) è stata eseguita secondo le equazioni proposte da Skempton (1986):

$$D_r \cong \sqrt{N_{60}/60}$$

La valutazione del valore dell'angolo d'attrito mobilizzabile, in termini di sforzi efficaci, è stata effettuata sulla base delle correlazioni proposte da Shmertmann, 1977.

Sono state quindi riconosciute quattro unità geotecniche, suddivise per spessore e aventi le seguenti caratteristiche meccaniche:

- **Da piano campagna a – 3,5/4 metri**
 $N_{SPT} = 6$
 $\Phi = 27^\circ$
 $\gamma = 1700 \text{ daN/m}^3$
 $D_r = 22 \%$

- **Da – 3,5/4 metri a – 5,5 metri**
 $N_{SPT} = 15$
 $\Phi = 31^\circ$
 $\gamma = 1800 \text{ daN/m}^3$
 $D_r = 45 \%$

- **Da – 5,5 metri a – 10,5 metri**
 $N_{SPT} = 11$
 $\Phi = 30^\circ$
 $\gamma = 1800 \text{ daN/m}^3$
 $D_r = 35 \%$

- **Da – 10,5 metri a – 15 metri**
 $N_{SPT} = 19$
 $\Phi = 33^\circ$
 $\gamma = 1900 \text{ daN/m}^3$
 $D_r = 50 \%$

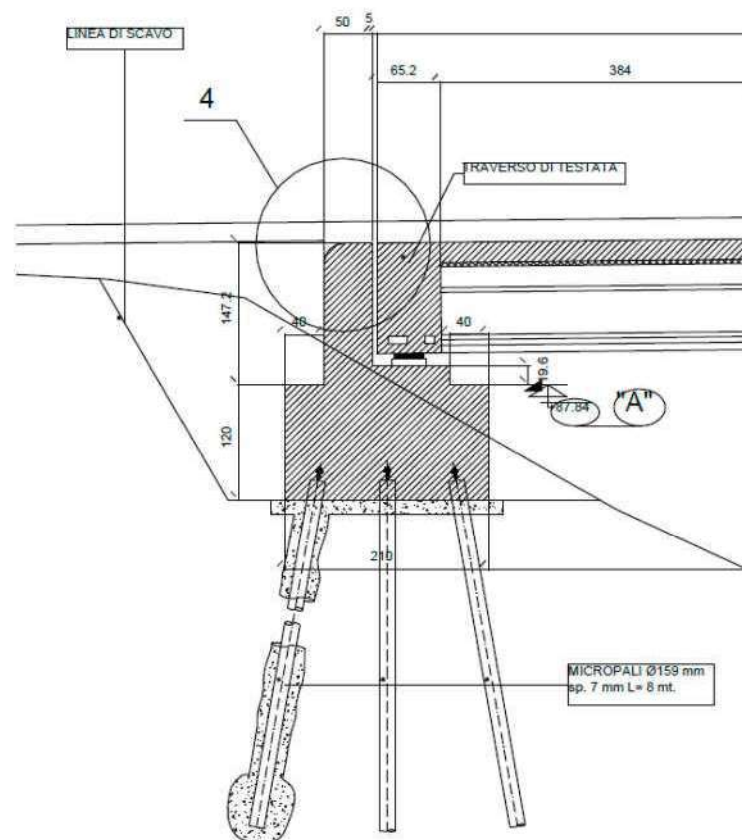
- N.B.:** N_{SPT} = numero colpi/30 cm;
 Φ = angolo di attrito del materiale;
 γ = peso di volume;
 D_r = densità relativa.

6. PROGETTO

Sulla base delle indicazioni forniteci dai progettisti, riportiamo le caratteristiche principali dell'intervento edilizio.

Il progetto prevede il risanamento conservativo di due ponti carrabili esistenti, accertate le cattive condizioni statiche in cui versano i manufatti.

Le fondazioni saranno presumibilmente fondate in maniera indiretta con l'ausilio di micropali, al fine di non fare interferire il peso del ponte con le sue vibrazioni, sugli argini del naviglio.



Proposta Tipologica di Fondazioni e Paragliaia

Micropali:

Le fondazioni a micropali, come si evince dallo schema sopra riportato, si estenderanno al di sotto dei plinti superficiali, a partire da – 2,67 metri.

I micropali avranno una lunghezza utile di 8 metri e un diametro di 159 mm.

Modello geotecnico alla luce dei dati progettuali:

Sulla base dei dati progettuali, occorre considerare una pressione verticale del terreno alla testa del micropalo pari a:

$$2,67 \text{ m} \times 1700 \text{ daN/m}^3 = 4539 \text{ daN/m}^2$$

Inoltre, tenendo sempre in considerazione che la testa di ciascun micropalo si trovi a – 2,67 metri, che il peso di volume dell'acqua di falda è di circa 1000 daN/m³ (da sottrarre al peso di volume del terreno) e che la stessa falda si collochi a partire da – 8 metri, il modello geotecnico diventa:

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Da testa palo a – 1,33 m
Strato 1 | $N_{SPT} = 6$
$\Phi = 27^\circ$
$\gamma = 1700 \text{ daN/m}^3$
$D_r = 22 \%$ |
| <ul style="list-style-type: none">• Da – 1,33 m a – 2,83 m
Strato 2 | $N_{SPT} = 15$
$\Phi = 31^\circ$
$\gamma = 1800 \text{ daN/m}^3$
$D_r = 45 \%$ |
| <ul style="list-style-type: none">• Da – 2,83 metri a – 5,33 metri
Strato 3 | $N_{SPT} = 11$
$\Phi = 30^\circ$
$\gamma = 1800 \text{ daN/m}^3$
$D_r = 35 \%$ |
| <ul style="list-style-type: none">• Da – 5,33 metri a – 7,83 metri
Strato 4 | $N_{SPT} = 11$
$\Phi = 30^\circ$
$\gamma = 800 \text{ daN/m}^3$
$D_r = 35 \%$ |

- Da – 7,83 metri a – 12,33 metri

Strato 5

$N_{SPT} = 19$

$\Phi = 33^\circ$

$\gamma = 900 \text{ daN/m}^3$

$D_r = 50 \%$

Profondità	Spessore	Carotiere	Rivestimento	Litologia	Descrizione litologica	% carotaggio	r _{qd}	livello falda	Peso di volume
ml.	ml.	ø						ml.	
0,50					LIMO SABBIOSO				1700 daN/mc
1,00					LIMO SABBIOSO				1700 daN/mc
1,50	2,67				LIMO SABBIOSO				1700 daN/mc
2,00					LIMO SABBIOSO				1700 daN/mc
2,50	2,67				LIMO SABBIOSO				1700 daN/mc
3,00					LIMO SABBIOSO				1700 daN/mc
3,50	1,33				LIMO SABBIOSO				1700 daN/mc
4,00	4,00				SABBIA CON GHIAIA				1800 daN/mc
4,50					SABBIA CON GHIAIA				1800 daN/mc
5,00	1,50				SABBIA CON GHIAIA				1800 daN/mc
5,50	5,50				SABBIA CON GHIAIA				1800 daN/mc
6,00					SABBIA CON GHIAIA				1800 daN/mc
6,50					SABBIA CON GHIAIA				1800 daN/mc
7,00	2,50				SABBIA CON GHIAIA IN MATRICE LIMOSA				1800 daN/mc
7,50					SABBIA CON GHIAIA IN MATRICE LIMOSA				1800 daN/mc
8,00	8,00				SABBIA CON GHIAIA IN MATRICE LIMOSA				1800 daN/mc
8,50					SABBIA CON GHIAIA IN MATRICE LIMOSA			8,0	800 daN/mc
9,00					SABBIA CON GHIAIA IN MATRICE LIMOSA				800 daN/mc
9,50	2,50				SABBIA CON GHIAIA IN MATRICE LIMOSA				800 daN/mc
10,00					SABBIA CON GHIAIA IN MATRICE LIMOSA				800 daN/mc
10,50	10,50				SABBIA CON GHIAIA IN MATRICE LIMOSA				800 daN/mc
11,00					SABBIA E GHIAIA				900 daN/mc
11,50					SABBIA E GHIAIA				900 daN/mc
12,00					SABBIA E GHIAIA				900 daN/mc
12,50					SABBIA E GHIAIA				900 daN/mc
13,00	4,50				SABBIA E GHIAIA				900 daN/mc
13,50					SABBIA E GHIAIA				900 daN/mc
14,00					SABBIA E GHIAIA				900 daN/mc
14,50					SABBIA E GHIAIA				900 daN/mc
15,00	15,00				SABBIA E GHIAIA				900 daN/mc

7. CALCOLO DELLA RESISTENZA DI PROGETTO - MICROPALI

Le verifiche devono essere effettuate nei confronti dei seguenti stati limite:

SLU di tipo geotecnico (GEO) e SLU di tipo strutturale (STR), accertando che la condizione $E_d \leq R_d$, dove E_d è il valore di progetto dell'azione e R_d è il valore di progetto di della resistenza del sistema geotecnico.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Si è scelto di utilizzare l'approccio 2, dove è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

Approccio 2: (azioni A1 + materiali M1 + resistenze R3)

Occorre tener conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II delle NTC 2018 per le azioni e i parametri geotecnici:

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

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(*)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q3}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

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

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

Per un palo trivellato, il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando i coefficienti parziali γ_R della Tab. 6.4.II. (6.4.3.1.1 NTC 2018).

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Per il calcolo della resistenza di progetto di ciascun palo è stata utilizzata la teoria di Berezantzev, di seguito riassunta:

Portanza per carichi verticali di pali in c.a. verticali trivellati:
 TEORIA DI BEREZANTZEV
RIFERIMENTI TEORICI: MANUALE DELL'ING. ESAC - CREMONESE

PORTANZA LATERALE: $s = s_0 + k \cdot \mu \cdot qz$

t. coerenti n.c. e misti (*):	$s_0 = 0$	$k = 1 - \sin(\phi)$	$\mu = \tan(\phi)$	tensioni effettive: d' fi' c'
ter. coerenti preconsolidati:	$s_0 = 0,3 \cdot C_u$	$k = 0$	$\mu = 0$	tensioni totali
terreni incoerenti sciolti:	$s_0 = 0$	$k = 0,5$	$\mu = \tan(\phi)$	tensioni effettive
terreni incoerenti densi:	$s_0 = 0$	$k = 0,4$	$\mu = \tan(\phi)$	tensioni effettive

(*) terreni coerenti normalmente consolidati, terreni misti argillosi-limosi-sabbiosi

PORTANZA ALLA PUNTA: $p = N_c \cdot C + N_q \cdot qz$

terreni incoerenti: usare le tensioni effettive
 terreni coerenti: usare le tensioni totali

Note: Per i pali di grande diametro sono stati usati valori di N_q cautelativi per ridurre gli elevati cedimenti.
 I valori di N_q per pali di medio diametro sono stati raccordati a quelli relativi ai pali di grande diametro, nell'intervallo dei diametri da **0,50m** a **0,87m**
 L'interpolazione si esegue sui valori di PP. Il diametro superiore ha una $PP \geq 1,2 \cdot PP(d=0,50)$

(*) Pressione verticale del terreno alla profondità della testa del palo.

Da non confondere con il carico trasmesso dalla struttura sulla testa del palo.

Esempio: testa del palo posta alla profondità di 2m dal piano campagna, densità terreno 18 kN/m³.
 $qz = 2m \cdot 18 \text{ kN/m}^3 = 36 \text{ kN/m}^2 = 3600 \text{ daN/m}^2$

Nella pagina seguente riportiamo il prospetto analitico del calcolo effettuato, in cui si evince che la resistenza in compressione massima di ciascun micropalo è di circa 11 tonnellate.

**PORTANZA PER CARICHI VERTICALI DEI PALI TRIVELLATI
(Teoria di Berezantzev)**

Riferimento: Pali Fondaz. L = 8m d = 0,16m

Lunghezza palo	m	8,00
Diametro palo	m	0,16
Peso del palo: Pg=	daN	402

STRATIGRAFIA:

	tipologia:	denominazione
strato 1	coerente n.cons./misti	limo sabbioso
strato 2	incoerente denso	sabbia con ghiaia
strato 3	incoerente sciolto	sabbia con ghiaia in matrice limosa
strato 4	incoerente sciolto	sabbia con ghiaia in matrice limosa
strato 5	incoerente denso	sabbia e ghiaia

pressione verticale terreno qz alla quota di testa del palo (daN/m ²	4.539
---	--------------------	--------------

PORTANZA LATERALE: PL= AI * (so + k*mu*qz)

		strato 1	strato 2	strato 3	strato 4	strato 5
lunghezza	m	1,33	1,5	2,5	2,5	0,17
densità	daN/m ³	1700	1800	1800	800	900
Angolo Attrito	(°)	27,0	31,0	30,0	30,0	33,0
Coesione	daN/cm ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s _o	daN/cm ²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
k		0,546	0,400	0,500	0,500	0,400
μ		0,509	0,600	0,577	0,577	0,649
q _z	daN/m ²	5670	8150	11750	15000	16077
Portanza laterale	daN	1.053	1.474	4.258	5.435	356
PORTANZA LATERALE LIMITE: PL						12.576daN
PORTANZA LATERALE: PLc = PL / (1,15*1,6)						6.835daN

PORTANZA ALLA PUNTA: PP = Ap * (Nc*C+Nq*qz) (Teoria di Berezantzev)

Strato 5	sabbia e ghiaia	
densità	daN/m ³	900
Ang. Attrito	(°)	33,0
Coesione	daN/cm ²	0
Nq		30,6
Nc		45,6
q _z	daN/m ²	16153
PORTANZA ALLA PUNTA LIMITE: PP		9.933daN
PORTANZA ALLA PUNTA: PPc = PP / (1,35*1,6)		4.599daN

PORTANZA TOTALE TERRENO IN COMPRES.: Ptot = PLc+ PPc	11.434daN
---	------------------

CARICO MAX IN COMPRES. SUL PALO: Pc,comp = Ptot - Pg	11.032daN
CARICO MAX IN TRAZIONE SUL PALO: Pc,traz = Pg + PL/(1,25*1,6)	6.690daN

8. APPROFONDIMENTO SISMICO DI PRIMO LIVELLO

8.1 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

In adempimento a quanto previsto dal D.M. 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" e in accordo con la D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001 "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica", viene richiesta l'analisi della sismicità secondo le modalità indicate in All. 5 della D.G.R. IX/2616/2011.

Secondo la classificazione sismica vigente (Delibera Giunta regionale 11 luglio 2014 - n. X/2129), il comune di Pavia risulta inserito in zona sismica 3.

Per l'area di intervento, nella relazione geologica allegata al P.G.T., viene individuato lo scenario di pericolosità sismica locale PSL Z4a.

Si rammenta che gli scenari sono definiti nella classificazione indicata nella Tabella 1 dell'Allegato 5 alla D.G.R. IX/2616/2011, qui sotto allegata:

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, conoidi alluvionale e conoidi deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi 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

Per la valutazione numerica degli effetti di amplificazione sismica sitospecifica la procedura di cui al punto 1.4.4 dell'Allegato B alla d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616 "Sintesi delle procedure", prevede l'applicazione di tre livelli di approfondimento sismico con grado di dettaglio crescente in funzione della zona sismica di appartenenza, come illustrato nella tabella seguente:

	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	<ul style="list-style-type: none"> - 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)	<ul style="list-style-type: none"> - 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 le opera in progetto interferiscono con l'urbanizzato, sono richiesti gli approfondimenti sismici di 1° e di 2° livello.

8.2 PARAMETRI SISMICI

Per quanto concerne la determinazione dei parametri di scuotimento sismico dell'area di progetto, facendo riferimento al D.M. 17/01/18 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", la sismicità di base del sito è definibile in funzione del valore assunto dall'accelerazione massima attesa su suolo rigido per eventi con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni in corrispondenza dei nodi di un reticolo di riferimento nazionale, le cui coordinate sono le seguenti:

Sito in esame

latitudine: 45,198717
 longitudine: 9,158962
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 13369	Lat: 45,2045	Lon: 9,0936	Distanza: 5158,542
Sito 2 ID: 13370	Lat: 45,2071	Lon: 9,1644	Distanza: 1025,033
Sito 3 ID: 13592	Lat: 45,1572	Lon: 9,1681	Distanza: 4676,944
Sito 4 ID: 13591	Lat: 45,1546	Lon: 9,0973	Distanza: 6887,915

Come prima fase si determinano i parametri delle azioni sismiche di progetto proprie del sito oggetto di intervento; i parametri sismici per periodi di ritorno di riferimento T_r sono quelli riportati nella seguente tabella:

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	a_g [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,22	2,54	0,18
S.L.D.	50,0	0,27	2,52	0,21
S.L.V.	475,0	0,67	2,52	0,28
S.L.C.	975,0	0,87	2,51	0,29

Dove a_g = accelerazione orizzontale massima al sito,

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,

T_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Inoltre, le NTC 2018 calcolano i coefficienti sismici k_h e k_v in dipendenza di vari fattori:

$$k_h = \beta \times (a_{max}/g)$$

$$k_v = \pm 0,5 \times K_h$$

β = Coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = Accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = Accelerazione di gravità;

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	a_{max} [m/s ²]	beta [-]	k_h [-]	k_v [sec]
S.L.O.	0,33	0,2	0,0067	0,0034
S.L.D.	0,405	0,2	0,0083	0,0041
S.L.V.	1,005	0,2	0,0205	0,0102
S.L.C.	1,305	0,2	0,0266	0,0133

Per la scelta dei parametri progettuali, vista l'importanza delle opere, abbiamo assegnato ai manufatti una vita nominale V_n (2.4.1 - NTC2018) maggiore di 50 anni e una classe d'uso "II" (2.4.2 - NTC2018). Ne consegue che il periodo di riferimento V_r per le azioni sismiche è pari a $V_n \times C_u$ (coefficiente d'uso = 1 per classe d'uso II) = 50 anni.

L'azione sismica di progetto tiene inoltre conto della categoria di sottosuolo di riferimento (3.2.2 - NTC2018); sono previste cinque classi di terreni, identificabili sulla base

delle caratteristiche stratigrafiche e delle proprietà geotecniche rilevate nei primi 30 metri, e definite dalla velocità delle onde S (tab. 3.2.II del D.M. 17.01.2018).

Come condizione topografica al contorno, dovrà essere considerata la categoria T1, propria dei terreni pianeggianti.

Per la caratterizzazione sismica abbiamo eseguito una prova di tipo MASW, il cui risultato è stato **Vseq = 344 m/s**.

Pertanto, i terreni in oggetto sono classificabili nella **categoria sismica di sottosuolo C**.

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

8.3 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione interessa depositi sabbiosi e sabbioso-limosi saturi che durante e immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio, a seguito della quale le condizioni di stabilità non sono più garantite e la massa di terreno interessata dal fenomeno comincia ad assestarsi fino a che la nuova configurazione del terreno non è compatibile con la diminuita resistenza al taglio.

I parametri che governano il fenomeno sono rappresentati in generale da:

- condizioni di drenaggio e grado di saturazione del deposito;
- granulometria del deposito;
- stato di addensamento;

- intensità, forma spettrale e durata delle sollecitazioni cicliche;
- stato tensionale iniziale;
- storia tensionale e deformativa del deposito;
- fenomeni di aging.

In caso di accertata liquefacibilità del terreno di fondazione occorrerà valutare le deformazioni indotte e le conseguenze delle stesse sulla funzionalità delle opere previste in progetto.

Come descritto nel capitolo 4 “Analisi della pericolosità sismica” della relazione geologica allegata al P.G.T. vigente comunale, per il calcolo del potenziale di liquefazione si fa riferimento ai risultati di prove in situ, utilizzando procedure note in letteratura.

Nella stessa relazione si conclude che il fenomeno della liquefazione viene escluso in tutto il territorio comunale in quanto la magnitudine del sisma di riferimento è pari a circa 3,55 con tempo di ritorno di 975 anni. Tale valore esclude l’insorgere del fenomeno.

9. APPROFONDIMENTO SISMICO DI SECONDO LIVELLO

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 (Fa).

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 Vs (velocità delle onde di taglio) con la profondità;
- Spessore e velocità di ciascuno strato;
- Modello geofisico del terreno.

Parametri litologici e stratigrafici – modello geotecnico del terreno

Le caratteristiche litologiche e stratigrafiche dei terreni oggetto di studio, necessarie per l'analisi di rischio di secondo livello, sono state ricostruite mediante i risultati delle indagini geognostiche riportate in allegato.

Onde di taglio Vs e modello geofisico del terreno

Sulla base della stratigrafia delle velocità di propagazione delle onde di taglio definita per l'area in esame è possibile definire un valore di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ secondo la seguente espressione, in accordo al D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni":

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

Dove H rappresenta la profondità del substrato sismico, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto addensato caratterizzata da valori di velocità di propagazione delle onde di taglio VS non inferiori a 800 m/s e h_i e $V_{S,i}$ rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio di ciascuno strato. 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) la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo H pari a 30 nella precedente espressione e considerando le velocità di propagazione dei diversi strati di terreno fino a tale profondità.

Nel nostro caso la profondità del substrato sismico è sicuramente superiore a 30 m dal piano di riferimento

Stima degli effetti litologici e del fattore di amplificazione

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'All.5 alla D.G.R. IX/2616/2011 per la stima degli effetti litologici e del relativo Fattore di amplificazione (Fa).

Calcolo del fattore di amplificazione

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

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

Per quel che concerne la scheda di valutazione più idonea alla stima degli effetti litologici, si è considerata la scheda “litologia sabbiosa”.

Inoltre, tenuto conto della profondità del primo strato equivalente e della velocità Vs ottenuta come media pesata (196 m/s con 4 metri di spessore di strato equivalente), si è considerata la curva caratteristica n. 2.

Nella seguente tabella, riportiamo i valori di T (periodo proprio del sito), calcolati ad ogni variazione di velocità:

STRATO CON VELOCITA' ONDE S COSTANTE	VALORE DI Vs	PERIODO PROPRIO (T)
da 0 metri a – 1 metro	226	0,017699
da – 1 metro a – 4 metri	186	0,081633
da – 4 metri a – 7,8 metri	358	0,113486
da – 7,8 metri a – 14,7 metri	384	0,1803
da – 14,7 metri a – 20,6 metri	360	0,245366
da – 20,6 metri a – 31,2 metri	432	0,33867
da – 31,2 metri a – 41,1 metri	427	0,429701
da – 41,1 metri a – 48,8 metri	553	0,476703

Tabella – periodo proprio di oscillazione ad ogni variazione di velocità delle onde S.

Si è ottenuto un valore massimo del periodo del sito T pari a 0,47.

Calcoliamo i fattori di amplificazione sia per il periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s sia per il periodo compreso tra 0.5 e 1.5 s.

Calcolo di Fa mediante la curva n.2 della scheda “litologia sabbiosa”:

- **Fa_{0.1÷0.5 s} = 1,50**
- **Fa_{0.5÷1.5 s} = 1,78**

I valori ottenuti per i coefficienti di amplificazione propri del sito sono stati confrontati con i valori di soglia forniti dalla Regione Lombardia.

Per il comune di Pavia, per suoli di tipo C, il valore di soglia calcolato è pari a 1,9 per il periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s ed è pari a 2,4 per il periodo compreso tra 0.5 e 1.5 s.

Poiché risulta:

- **Fa_{0.1÷0.5 s} = 1,50 < 1,9** → Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) < Soglia comunale (FAS);
- **Fa_{0.5÷1.5 s} = 1,78 < 2,4** → Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) < Soglia comunale (FAS).

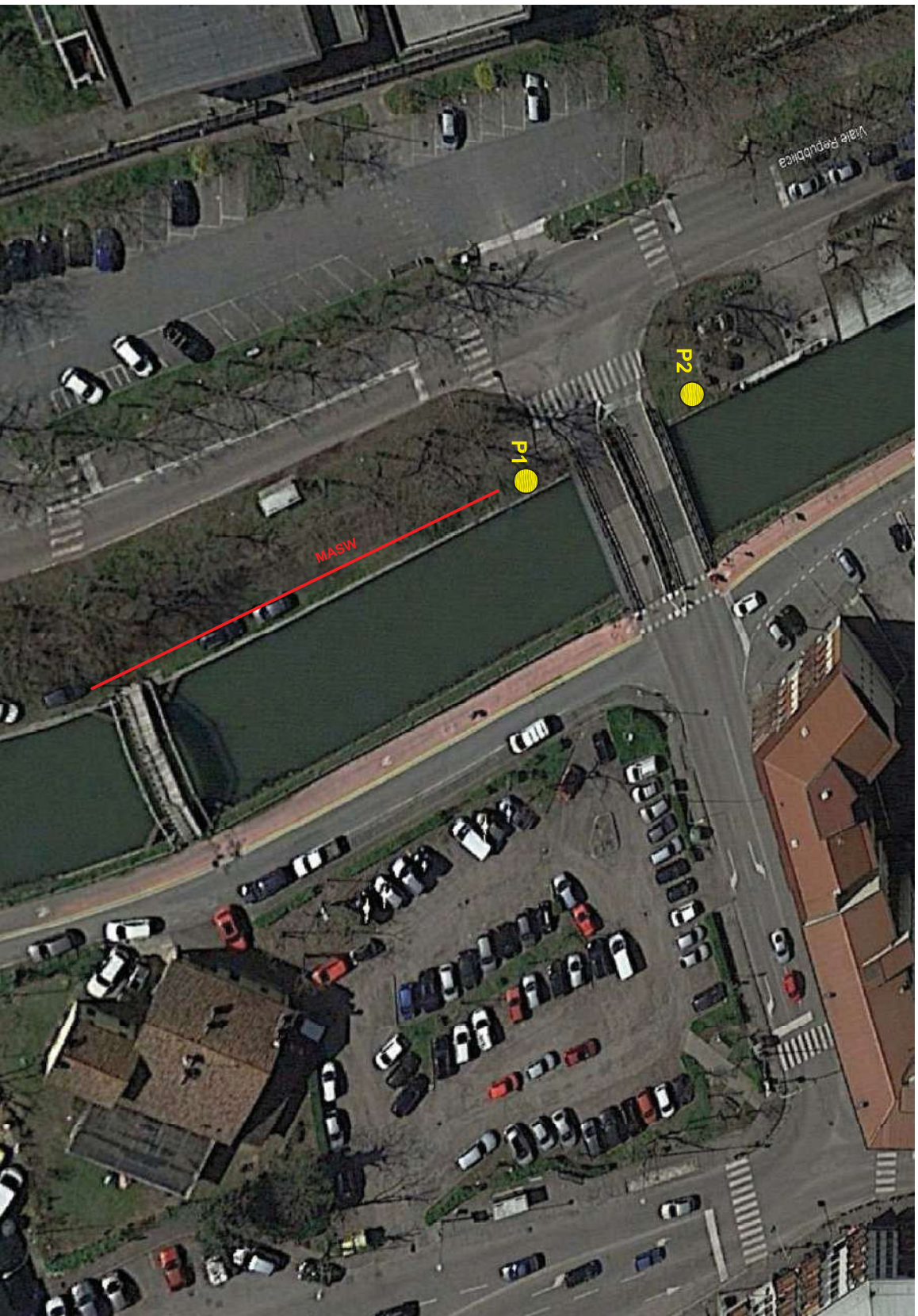
Ne consegue che:

- Sulla base dell'applicazione del 2° livello di approfondimento sismico di cui alla D.G.R. IX/2616/2011, la categoria di sottosuolo ricavata secondo le procedure contenute nella normativa antisismica è sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica propri del sito.
- **Pertanto, per il progetto di risanamento dei ponti va considerata la categoria sismica di sottosuolo C, così come ricavato dalla prova sismica.**



Dott. Geol. Fabio Fusina




10. ALLEGATI

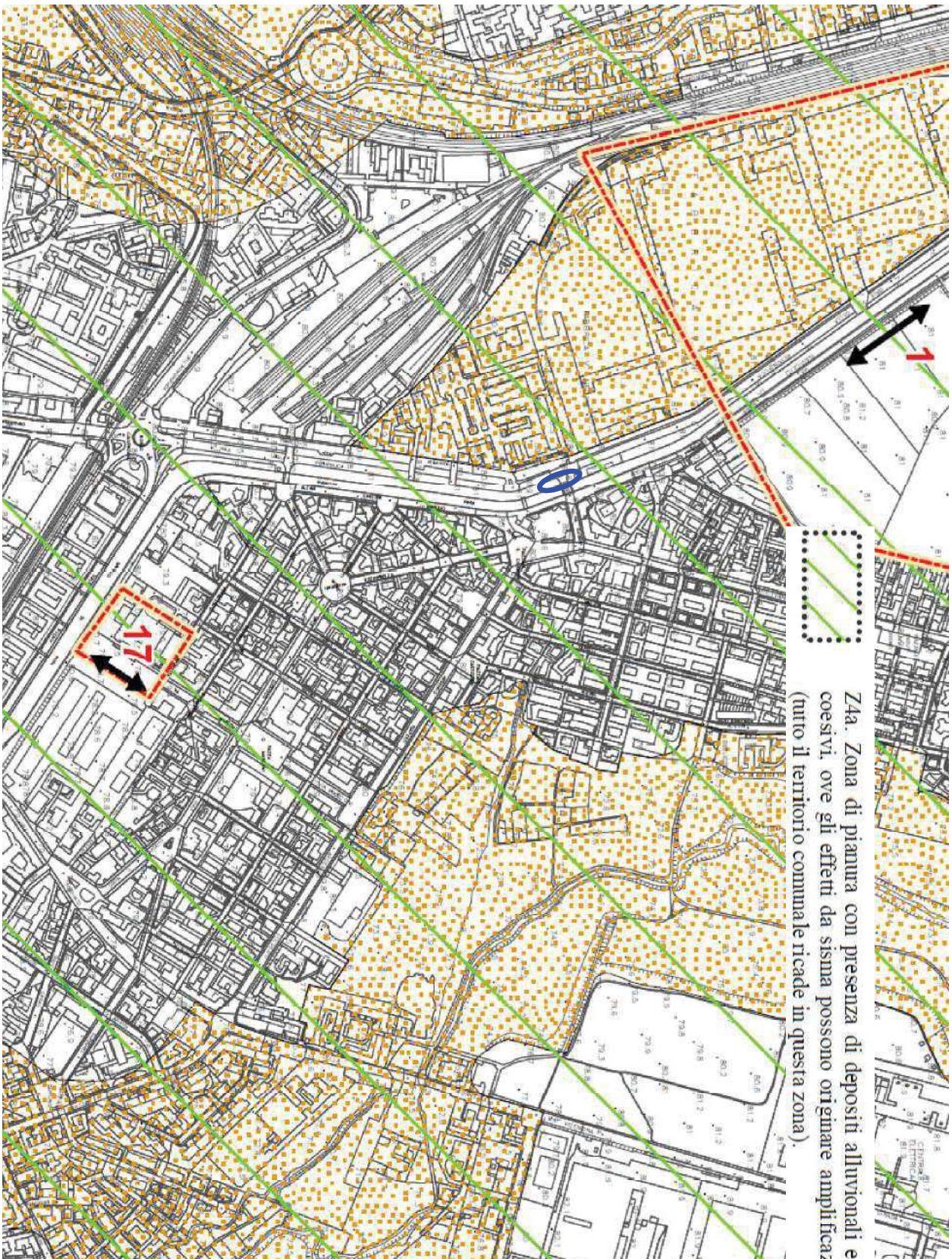


LEGENDA:

-  PROVE PENETROMETRICHE
-  STENDIMENTO SISMICO



<p>FUSIMA S.R.L. Via Boadoni, 6 - 20900 Monza Tel. 039/2028619 - Fax 039/2230311 - Cell. 348/7213807 E-mail info@fusimasrl.it</p>
<p>COMMITTENTE: COMUNE DI PAVIA</p>
<p>CANTIERE: PAVIA - VIA GHISONI</p>
<p>TITOLO: UBICAZIONE DELLE INDAGINI</p>
<p>DATA ESECUZIONE INDAGINI: 18 GENNAIO 2019</p>



Z4a. Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi, ove gli effetti da sisma possono originare amplificazioni litologiche e geometriche (tutto il territorio comunale ricade in questa zona).

 AREA DI INTERVENTO

NORD

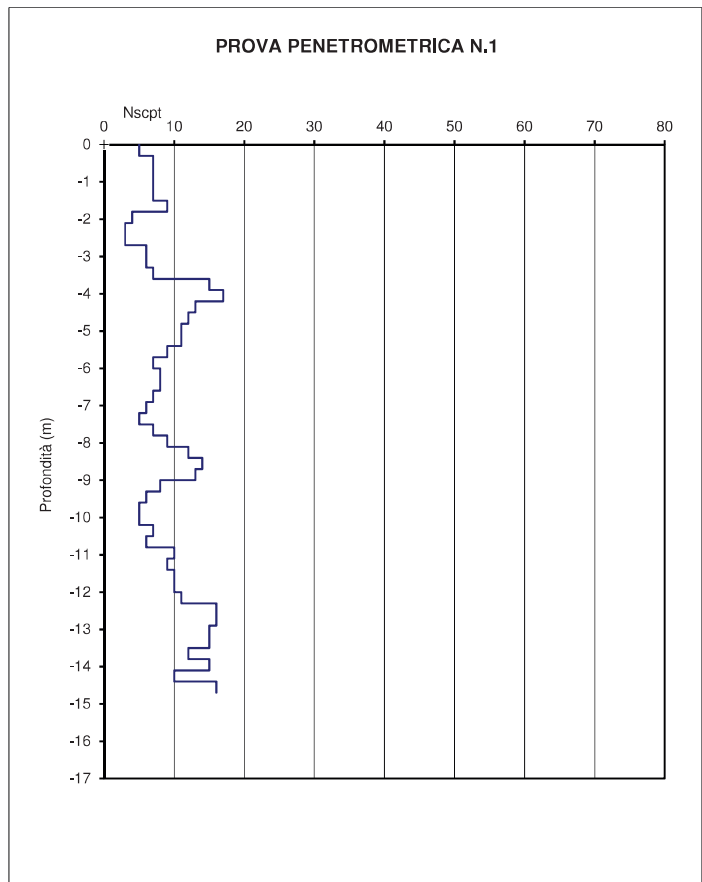

FUSIMA S.R.L. Via Bocconi, 6 - 20900 Monza Tel. 039/2026619 - Fax 039/2230311 - Cell. 346/7213807 E-mail: Info@fusimastill.it
COMMITTENTE: COMUNE DI PAVIA
CANTIERE: PAVIA - VIA GHISONI
TITOLO: STRALCIO DELLA CARTA DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE
DATA: GENNAIO 2019

COMMITTENTE: COMUNE DI PAVIA
 PAVIA - VIA GHISONI
 PROFONDITA' DELLA FALDA: 8 METRI DA PIANO CAMPAGNA
 DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE : 18/01/2019

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)

Profondità	RP	RL
0	5	
	7	
	7	
	7	
-1,5	7	
	9	
	4	
	3	
	3	
-3	6	
	6	
	7	
	15	
	17	
-4,5	13	
	12	
	11	
	11	
	9	
-6	7	
	8	
	8	
	7	
	6	
-7,5	5	

Profondità	RP	RL
	7	
	9	
	12	
	14	
-9	13	
	8	
	6	
	5	
	5	
-10,5	7	
	6	
	10	
	9	
	10	
-12	10	
	11	
	16	
	16	
	15	
-13,5	15	
	12	
	15	
	10	
	16	
-15	16	



FUSINA S.R.L.

Via Boccioni, 6 - 20052 Monza
tel. 039/2028619

COMMITTENTE: COMUNE DI PAVIA

PAVIA - VIA GHISONI

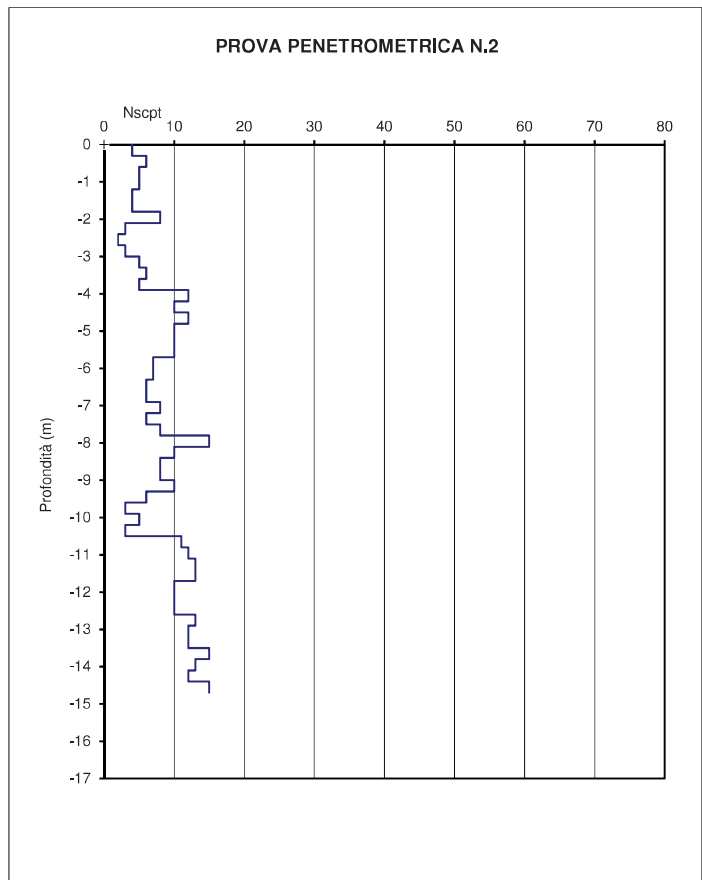
PROFONDITA' DELLA FALDA: 8 METRI DA PIANO CAMPAGNA

DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE : 18/01/2019

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)

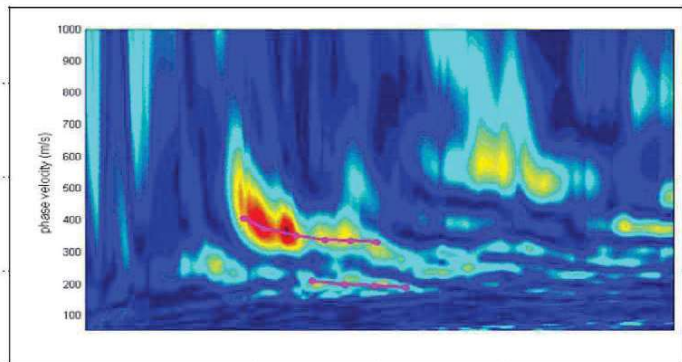
Profondità	RP	RL
0	4	
	6	
	5	
	5	
-1,5	4	
	4	
	8	
	3	
	2	
-3	3	
	5	
	6	
	5	
	12	
-4,5	10	
	12	
	10	
	10	
	10	
-6	7	
	7	
	6	
	6	
	8	
-7,5	6	

Profondità	RP	RL
	8	
	15	
	10	
	8	
-9	8	
	10	
	6	
	3	
	5	
-10,5	3	
	11	
	12	
	13	
	13	
-12	10	
	10	
	10	
	13	
	12	
-13,5	12	
	15	
	13	
	12	
	15	
-15	15	



FUSINA S.R.L.

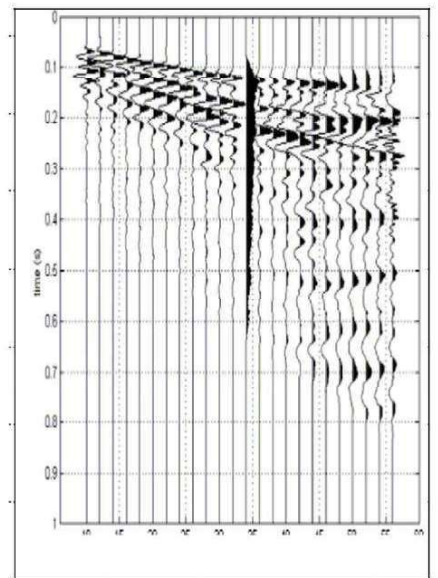
Via Boccioni, 6 - 20052 Monza
tel. 039/2028619



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 $D = 1.5 \cdot Vs / 1000$



Sismogramma

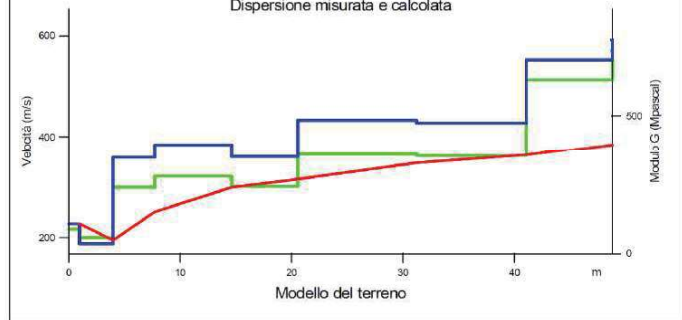
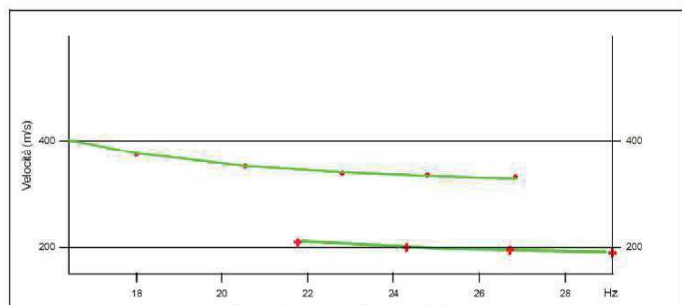


TABELLA DI CALCOLO

Da Prof.	a Prof.	Vs	H/Vi	VsX	G
0	1	228	.0043	228	88
1	4	186	.0162	195	59
4	7.8	358	.0105	250	238
7.8	14.7	384	.018	299	278
14.7	20.6	360	.0105	315	241
20.6	31.2	432	.0245	347	361
31.2	41.1	427	.0231	363	351
41.1	48.8	553	.014	384	628

VALORE CALCOLATO VSeq = 344 m/s

PROVA SISMICA VSeq

Comune di Pavia

Pavia – via Ghisoni/viale Repubblica

Prova MASW

VELOCITA' DELLE ONDE S

Gennaio 2019

EFFETTI LITOLGICI – SCHEDE LITOLOGIA SABBIOSA

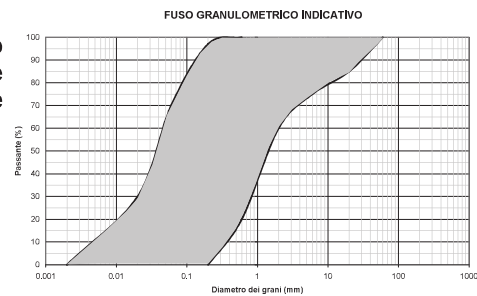
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

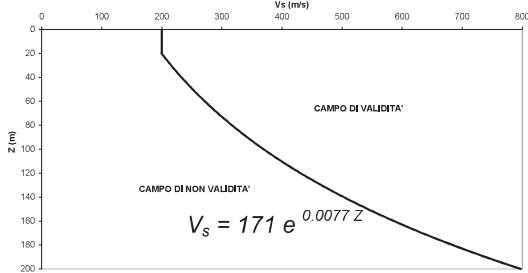
Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

NOTE:

- Comportamento granulare
- Struttura granulo-sostenuta
- Clasti con $D_{max} > 20$ cm inferiori al 15%
- Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
- Frazione limosa fino ad un massimo del 70%



ANDAMENTO DELLE V_s CON LA PROFONDITA' LITOLOGIA SABBIOSA

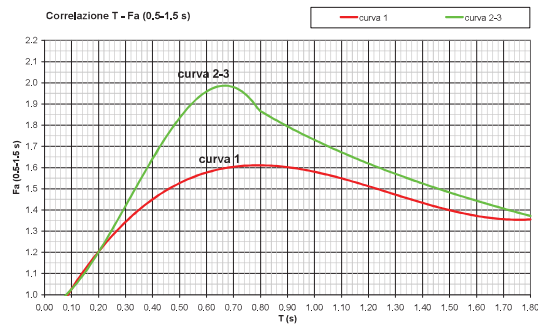
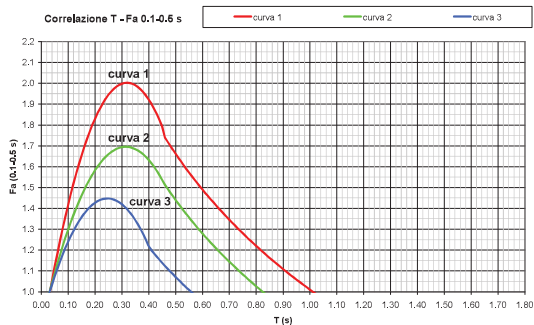


Profondità primo strato (m)	Profondità primo strato (m)																					
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180
200	2	1-2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
250	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
300	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

ove la sigla NA indica $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s	0
$V_s > 500$ m/s	5 - 12 m



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0,03 \leq T \leq 0,50$ $Fa_{0,1-0,5} = -12,21 T^2 + 7,79 T + 0,76$	$0,50 < T \leq 1,00$ $Fa_{0,1-0,5} = 1,01 - 0,94 \ln T$	$T > 1,00$ $Fa_{0,1-0,5} = 1,00$
2	$0,03 \leq T \leq 0,45$ $Fa_{0,1-0,5} = -8,65 T^2 + 5,44 T + 0,84$	$0,45 < T \leq 0,80$ $Fa_{0,1-0,5} = 0,83 - 0,88 \ln T$	$T > 0,80$ $Fa_{0,1-0,5} = 1,00$
3	$0,03 \leq T \leq 0,40$ $Fa_{0,1-0,5} = -9,68 T^2 + 4,77 T + 0,86$	$0,50 < T \leq 0,55$ $Fa_{0,1-0,5} = 0,62 - 0,65 \ln T$	$T > 0,55$ $Fa_{0,1-0,5} = 1,00$

Curva	
1	$0,08 \leq T \leq 1,80$ $Fa_{0,5-1,5} = 0,57 T^3 - 2,18 T^2 + 2,38 T + 0,81$
2	$0,08 \leq T < 0,80$ $Fa_{0,5-1,5} = -6,11 T^3 + 5,79 T^2 + 0,44 T + 0,93$
3	$0,80 \leq T \leq 1,80$ $Fa_{0,5-1,5} = 1,73 - 0,61 \ln T$