STUDIO SPIN UP Associati
ing. C. Sansone & dott. F. Missineo
Via Leonardo Da Vinci n° 7 – 27010 Borgarello (PV) – tel. 0382/925748 –
Fax: 0382/938315 – E-mail: info@spinup.it – www.spinup.it
Divisione: PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA

COMUNE DI CERTOSA DI PAVIA

Provincia di Pavia

RIFACIMENTO DEL PONTE SULLA ROGGIA CRAVENZA/ROGGIA CAMPEGGI IN FRAZIONE CASCINE CALDERARI

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA

SCALA: –

DATA: Agosto 2020

IL PROGETTISTA:
dott. ing. C. SANSONE
Albo Ingg. PAVIA n. 1682

LA COMMITTENZA:
Il Responsabile del Procedimento
Giovanni arch. TORLASCHI

TAV.: **R.03**

REV.	DATA	DESCRIZIONE
01	Ottobre 2020	Aggiornamento sottoservizi, particellare e sistemazioni area intervento

COMMESSA	ARCHIVIO	PROGETTO	ELABORATO	FILE
218/2020	21820/10/20	D/M003	Rel/03	Relazione Geologica.pdf

IL PRESENTE DISEGNO E' DI PROPRIETA' DELLO STUDIO SPIN UP ASSOCIATI E SENZA AUTORIZZAZIONE SCRITTA DELLO STESSO NON POTRA' ESSERE UTILIZZATO PER COSTRUIRE L'OGGETTO RAPPRESENTATO NE' COMUNICATO A TERZI O COMUNQUE RIPRODOTTO. LO STUDIO TUTELERA' I PROPRI DIRITTI NEI TERMINI DI LEGGE.

di Sacchi T. & C. Via Molino 54/A 27010 San Zenone Po (Pv)
Tel. 0382 79326 - 3472289493 E-mail. info@studiogeologicogheos.it
C.F. e P:IVA 01753420189. Reg.Imp.7727/1998 Codice Univoco: WY7PJ6K
www.studiogeologicogheos.it

Comune di Certosa di Pavia

Via Palmiro Togliatti 12

Certosa di Pavia (Pv)

Indagini geofisiche, geognostiche e verifiche di compatibilità geologica per la costruzione di un ponte sito alle coordinate 45.229434 N – 9.124541 E Frazione Cascine Calderari, Certosa di Pavia (Pv)

R1 - Relazione Geologica ai sensi del DM 17/01/18 NTC
R2 - Relazione Geotecnica ai sensi del DM 17/01/18 NTC
R3 - Relazione Geologica ai sensi della DGR IX/2616/2011

Ottobre 2020

R1 – Relazione Geologica ai sensi del DM 17/01/18 NTC

Indagini geofisiche, geognostiche e verifiche di compatibilità geologica per la costruzione di un ponte sito alle coordinate 45.229434 N – 9.124541 E Frazione Cascine Calderari, Certosa di Pavia (Pv)

PREMESSE

La presente indagine è stata commissionata allo scopo di individuare le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni per la costruzione di un ponte sito alle coordinate 45.229434 N – 9.124541 E Frazione Cascine Calderari, Certosa di Pavia (Pv)
Il programma delle indagini, concordato con il progettista, vista anche la conoscenza dei luoghi, ha previsto l'esecuzione di 2 prove penetrometriche dinamiche, spinte fino alla profondità massima di 20.00 m, con l'utilizzo del penetrometro automatico Pagani Tg63/200.
A completamento dell'indagine è stata eseguita un'indagine sismica di superficie di tipo MASW per la caratterizzazione dei terreni in chiave sismica (VS 30) con uno stendimento lungo 50 m, 24 canali attivi e distanza intergeofonica di 2 m.

• MODALITÀ DELL'INDAGINE PENETROMETRICA DINAMICA

Prove Penetrometriche Dinamiche Continue con penetrometro DPSH
Procedure di riferimento: Raccomandazioni AGI Associazione Geotecnica Italiana (1977),
ISSMFE (Internatione Society of Soil Mechanics and geotechnical Engineering), 1988
IRTP (International Reference Test Procedures) Simposio ISOPT Orlando 1988
Penetrometro TG 63/200 KN Manuale d'uso del Costruttore (Pagani)

• MODALITÀ OPERATIVA DI CAMPAGNA DELL'INDAGINE PENETROMETRICA DINAMICA

La prova penetrometrica dinamica eseguita dalla Società GHEOS S.a.s. si realizza infiggendo nel terreno una punta conica standardizzata avente un diametro di 51 mm ed un area di 20,43 cm^2 tramite un maglio pesante 63,5 kg che cade liberamente da una altezza di 75 cm.
La prova consiste nel contare il numero di colpi del maglio necessari ad affondare la punta, collegata ad un batteria di aste, per tratti di 20 cm. In presenza di terreni dotati di alto attrito laterale (terre argillose), si rende necessario procedere alla infissione contemporanea, metro per metro del tubo di rivestimento avente diametro esterno di 48 mm, al fine di eliminare gli attriti lungo la colonna delle aste. I valori di campagna vengono riportati sul MOD. 7510.

• MODALITÀ OPERATIVA D'UFFICIO DELL'INDAGINE PENETROMETRICA STATICA E DINAMICA

I dati di campagna riportati sul MOD. 7510, vengono caricati su computer tramite Software dedicato (Programma win-cpt per le statiche e win-din per le dinamiche); questi programmi ordinano le prove per cantiere di esecuzione adottando una numerazione progressiva, divisa per anno di esecuzione e per computer di memorizzazione. (N° cantiere – anno di esecuzione-computer utilizzato, ...)
Il trattamento dei dati permette di stampare: i certificati di campagna, numerici ed in grafico, le valutazione litologiche secondo il metodo Begemann e AGI 1977 e secondo il metodo di Schmertmann 1978, i parametri geotecnici del terreno per intervalli di 20 cm.

• BREVE DESCRIZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE ESEGUITE

La prova eseguita può essere così schematizzata. Viene di seguito diagrammata, riporta i valori di campagna e indica la presenza di:

Prova 1

LIVELLO 1 da 0.00 sino a 0.80 m	asfalto, riporto, sabbia	(21 Nspt)
LIVELLO 2 da 0.80 sino a 2.00 m,	sabbia limosa	(3 Nspt)
LIVELLO 3 da 2.00 sino a 6.80 m,	sabbia debolmente limosa	(7 Nspt)
LIVELLO 4 da 6.80 sino a 8.40 m,	sabbia limosa	(3 Nspt)
LIVELLO 5 da 8.40 sino a 10.80 m,	sabbia	(13 Nspt)
LIVELLO 6 da 10.80 sino a 12.60 m,	sabbia ghiaiosa	(24 Nspt)
LIVELLO 7 da 12.60 sino a 15.00 m,	ghiaia	(33 Nspt)
LIVELLO 8 da 15.00 sino a 20.00 m,	sabbia con ghiaia	(31 Nspt)

Prova 2

LIVELLO 1 da 0.00 sino a 0.80 m	asfalto, riporto, sabbia	(45 Nspt)
LIVELLO 2 da 0.80 sino a 2.00 m,	sabbia limosa	(3 Nspt)
LIVELLO 3 da 2.00 sino a 7.60 m,	sabbia debolmente limosa	(7 Nspt)
LIVELLO 4 da 7.60 sino a 8.40 m,	sabbia limosa	(3 Nspt)
LIVELLO 5 da 8.40 sino a 10.80 m,	sabbia	(15 Nspt)
LIVELLO 6 da 10.80 sino a 12.60 m,	sabbia ghiaiosa	(22 Nspt)
LIVELLO 7 da 12.60 sino a 15.00 m,	ghiaia	(33 Nspt)
LIVELLO 8 da 15.00 sino a 20.00 m,	sabbia con ghiaia	(31 Nspt)

• INDIVIDUAZIONE DEI PARAMETRI MECCANICI E GEOTECNICI

Sempre utilizzando i dati di campagna è possibile, per ogni strato avente spessore di 20 cm, individuare una serie di valori numerici che caratterizzano i terreni attraversati dalle prove penetrometriche, questi valori vanno dal peso dell'unità di volume ai vari moduli di deformazione, all'angolo di attrito interno, al valore delle coesione non drenata, da utilizzarsi nelle zone sismiche per calcolare la potenziale liquefazione delle sabbie.
Al momento delle indagini è stato individuato il livello della falda freatica posto a – 2.00 m da piano campagna. Questo livello, risente fortemente dei periodi di forte piovosità e potrebbe portarsi più prossimo a piano campagna.

In allegato Ubicazione indagini, legende, certificati e diagrammi.







• INDAGINE SISMICA

Ad integrazione dell'indagine, è stato eseguito uno stendimento sismico di TIPO Masw per per la determinazione delle Vs 30, onde che servono per classificare sismicamente i terreni coinvolti nel progetto. L'energizzazione è avvenuta con con massa battente (onde P) e sempre con massa battente su trave in legno ancorata al terreno (onde S). La strumentazione di acquisizione dati era composta dal sismografo ECHO 24 con l'utilizzo di cavi multipolari e geofoni verticali da 4,5 Hz. Scopo dell'indagine è stato essenzialmente quello di fornire indicazioni relative alla velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione P e di taglio S con conseguente possibilità di individuare i rapporti geometrici nel sottosuolo tra i terreni sciolti e quelli dotati di coesione ed, entro questi, quelli più o meno disgiunti per fessurazione e fatturazione e di caratterizzare il terreno sino a 30 metri di profondità in termini di propagazione delle onde sismiche di taglio S.

Gheos S.a.s., San Zenone al Po 15/10/2020

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : **TG 63-100 EML.C**

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

CARATTERISTICHE TECNICHE : TG 63-100 EML.C

PESO MASSA BATTENTE	M	=	63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H	=	0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms	=	0,63 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D	=	51,00 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A	=	20,43 cm²
ANGOLO APERTURA PUNTA	α	=	60 °
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La	=	1,00 m
PESO ASTE PER METRO	Ma	=	6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1ª ASTA	P1	=	0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA	δ	=	0,20 m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N	=	N(20) $\Rightarrow$ Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	SI		
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q	=	(MH)/(Aδ) = 11,66 kg/cm² (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	βt	=	Q/Qspt = 1,489 (teoricamente : Nspt = βt N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$\mathbf{Rpd = M^2 H / [A\ e\ (M+P)] = M^2 H N / [A\ \delta\ (M+P)]}$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N
M = peso massa battente (altezza caduta H)
P = peso totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)
1 kg/cm² = 0.098067 MPa 1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm² 1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa 1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

GHEOS s.a.s.
Via Molino, 54/A
27010 San Zenone al Po (Pv)

Riferimento: 11-20-1

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA n° 1
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

- indagine : Costruzione ponte
- cantiere : Ing. Sansone
- località : Cascine Calderari
- note :
- data : 02/06/2020
- quota inizio : Piano campagna
- prof. falda : 2,00 m da quota inizio
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	30	315,2	----	1	10,00 - 10,20	11	61,0	----	11
0,20 - 0,40	15	157,6	----	1	10,20 - 10,40	11	61,0	----	11
0,40 - 0,60	8	77,1	----	2	10,40 - 10,60	11	58,2	----	12
0,60 - 0,80	5	48,2	----	2	10,60 - 10,80	10	52,9	----	12
0,80 - 1,00	2	19,3	----	2	10,80 - 11,00	12	63,5	----	12
1,00 - 1,20	2	19,3	----	2	11,00 - 11,20	13	68,8	----	12
1,20 - 1,40	2	19,3	----	2	11,20 - 11,40	15	79,4	----	12
1,40 - 1,60	2	17,8	----	3	11,40 - 11,60	15	76,0	----	13
1,60 - 1,80	2	17,8	----	3	11,60 - 11,80	16	81,0	----	13
1,80 - 2,00	2	17,8	----	3	11,80 - 12,00	16	81,0	----	13
2,00 - 2,20	5	44,6	----	3	12,00 - 12,20	17	86,1	----	13
2,20 - 2,40	8	71,3	----	3	12,20 - 12,40	18	91,1	----	13
2,40 - 2,60	7	58,0	----	4	12,40 - 12,60	18	87,4	----	14
2,60 - 2,80	7	58,0	----	4	12,60 - 12,80	21	101,9	----	14
2,80 - 3,00	5	41,4	----	4	12,80 - 13,00	21	101,9	----	14
3,00 - 3,20	5	41,4	----	4	13,00 - 13,20	19	92,2	----	14
3,20 - 3,40	5	41,4	----	4	13,20 - 13,40	16	77,7	----	14
3,40 - 3,60	3	23,2	----	5	13,40 - 13,60	22	102,6	----	15
3,60 - 3,80	5	38,7	----	5	13,60 - 13,80	23	107,2	----	15
3,80 - 4,00	4	30,9	----	5	13,80 - 14,00	23	107,2	----	15
4,00 - 4,20	6	46,4	----	5	14,00 - 14,20	24	111,9	----	15
4,20 - 4,40	6	46,4	----	5	14,20 - 14,40	24	111,9	----	15
4,40 - 4,60	5	36,3	----	6	14,40 - 14,60	25	112,1	----	16
4,60 - 4,80	6	43,5	----	6	14,60 - 14,80	26	116,6	----	16
4,80 - 5,00	7	50,8	----	6	14,80 - 15,00	24	107,6	----	16
5,00 - 5,20	5	36,3	----	6	15,00 - 15,20	18	80,7	----	16
5,20 - 5,40	5	36,3	----	6	15,20 - 15,40	17	76,2	----	16
5,40 - 5,60	6	41,0	----	7	15,40 - 15,60	20	86,4	----	17
5,60 - 5,80	5	34,2	----	7	15,60 - 15,80	20	86,4	----	17
5,80 - 6,00	5	34,2	----	7	15,80 - 16,00	17	73,4	----	17
6,00 - 6,20	5	34,2	----	7	16,00 - 16,20	20	86,4	----	17
6,20 - 6,40	5	34,2	----	7	16,20 - 16,40	20	86,4	----	17
6,40 - 6,60	5	32,3	----	8	16,40 - 16,60	21	87,5	----	18
6,60 - 6,80	4	25,8	----	8	16,60 - 16,80	20	83,3	----	18
6,80 - 7,00	3	19,4	----	8	16,80 - 17,00	19	79,1	----	18
7,00 - 7,20	3	19,4	----	8	17,00 - 17,20	21	87,5	----	18
7,20 - 7,40	2	12,9	----	8	17,20 - 17,40	20	83,3	----	18
7,40 - 7,60	3	18,4	----	9	17,40 - 17,60	22	88,5	----	19
7,60 - 7,80	2	12,2	----	9	17,60 - 17,80	19	76,4	----	19
7,80 - 8,00	2	12,2	----	9	17,80 - 18,00	22	88,5	----	19
8,00 - 8,20	2	12,2	----	9	18,00 - 18,20	23	92,5	----	19
8,20 - 8,40	2	12,2	----	9	18,20 - 18,40	25	100,6	----	19
8,40 - 8,60	6	34,9	----	10	18,40 - 18,60	22	85,6	----	20
8,60 - 8,80	6	34,9	----	10	18,60 - 18,80	21	81,7	----	20
8,80 - 9,00	8	46,5	----	10	18,80 - 19,00	25	97,2	----	20
9,00 - 9,20	8	46,5	----	10	19,00 - 19,20	26	101,1	----	20
9,20 - 9,40	10	58,2	----	10	19,20 - 19,40	24	93,3	----	20
9,40 - 9,60	11	61,0	----	11	19,40 - 19,60	22	82,8	----	21
9,60 - 9,80	10	55,4	----	11	19,60 - 19,80	22	82,8	----	21
9,80 - 10,00	10	55,4	----	11	19,80 - 20,00	23	86,6	----	21

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**
- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00 mm**
- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/840820

GHEOS s.a.s.
Via Molino, 54/A
27010 San Zenone al Po (Pv)

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA n° 2
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

- indagine : Costruzione ponte
- cantiere : Ing. Sansone
- località : Cascine Calderari
- note :
- data : 02/06/2020
- quota inizio : Piano campagna
- prof. falda : 2,00 m da quota inizio
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	50	525,4	----	1	10,00 - 10,20	11	61,0	----	11
0,20 - 0,40	48	504,4	----	1	10,20 - 10,40	12	66,5	----	11
0,40 - 0,60	17	163,9	----	2	10,40 - 10,60	10	52,9	----	12
0,60 - 0,80	7	67,5	----	2	10,60 - 10,80	11	58,2	----	12
0,80 - 1,00	2	19,3	----	2	10,80 - 11,00	15	79,4	----	12
1,00 - 1,20	2	19,3	----	2	11,00 - 11,20	12	63,5	----	12
1,20 - 1,40	2	19,3	----	2	11,20 - 11,40	16	84,7	----	12
1,40 - 1,60	2	17,8	----	3	11,40 - 11,60	14	70,9	----	13
1,60 - 1,80	2	17,8	----	3	11,60 - 11,80	15	76,0	----	13
1,80 - 2,00	2	17,8	----	3	11,80 - 12,00	15	76,0	----	13
2,00 - 2,20	4	35,6	----	3	12,00 - 12,20	18	91,1	----	13
2,20 - 2,40	3	26,7	----	3	12,20 - 12,40	16	81,0	----	13
2,40 - 2,60	3	24,8	----	4	12,40 - 12,60	16	77,7	----	14
2,60 - 2,80	4	33,1	----	4	12,60 - 12,80	20	97,1	----	14
2,80 - 3,00	7	58,0	----	4	12,80 - 13,00	19	92,2	----	14
3,00 - 3,20	6	49,7	----	4	13,00 - 13,20	21	101,9	----	14
3,20 - 3,40	6	49,7	----	4	13,20 - 13,40	15	72,8	----	14
3,40 - 3,60	5	38,7	----	5	13,40 - 13,60	21	97,9	----	15
3,60 - 3,80	4	30,9	----	5	13,60 - 13,80	22	102,6	----	15
3,80 - 4,00	4	30,9	----	5	13,80 - 14,00	22	102,6	----	15
4,00 - 4,20	5	38,7	----	5	14,00 - 14,20	25	116,5	----	15
4,20 - 4,40	3	23,2	----	5	14,20 - 14,40	24	111,9	----	15
4,40 - 4,60	5	36,3	----	6	14,40 - 14,60	25	112,1	----	16
4,60 - 4,80	4	29,0	----	6	14,60 - 14,80	26	116,6	----	16
4,80 - 5,00	5	36,3	----	6	14,80 - 15,00	23	103,1	----	16
5,00 - 5,20	4	29,0	----	6	15,00 - 15,20	17	76,2	----	16
5,20 - 5,40	4	29,0	----	6	15,20 - 15,40	15	67,2	----	16
5,40 - 5,60	4	27,3	----	7	15,40 - 15,60	19	82,0	----	17
5,60 - 5,80	5	34,2	----	7	15,60 - 15,80	19	82,0	----	17
5,80 - 6,00	3	20,5	----	7	15,80 - 16,00	18	77,7	----	17
6,00 - 6,20	3	20,5	----	7	16,00 - 16,20	19	82,0	----	17
6,20 - 6,40	5	34,2	----	7	16,20 - 16,40	20	86,4	----	17
6,40 - 6,60	7	45,2	----	8	16,40 - 16,60	20	83,3	----	18
6,60 - 6,80	7	45,2	----	8	16,60 - 16,80	19	79,1	----	18
6,80 - 7,00	7	45,2	----	8	16,80 - 17,00	21	87,5	----	18
7,00 - 7,20	5	32,3	----	8	17,00 - 17,20	22	91,6	----	18
7,20 - 7,40	4	25,8	----	8	17,20 - 17,40	20	83,3	----	18
7,40 - 7,60	4	24,5	----	9	17,40 - 17,60	23	92,5	----	19
7,60 - 7,80	2	12,2	----	9	17,60 - 17,80	21	84,5	----	19
7,80 - 8,00	3	18,4	----	9	17,80 - 18,00	24	96,5	----	19
8,00 - 8,20	2	12,2	----	9	18,00 - 18,20	23	92,5	----	19
8,20 - 8,40	2	12,2	----	9	18,20 - 18,40	25	100,6	----	19
8,40 - 8,60	5	29,1	----	10	18,40 - 18,60	26	101,1	----	20
8,60 - 8,80	9	52,4	----	10	18,60 - 18,80	22	85,6	----	20
8,80 - 9,00	10	58,2	----	10	18,80 - 19,00	24	93,3	----	20
9,00 - 9,20	9	52,4	----	10	19,00 - 19,20	23	89,4	----	20
9,20 - 9,40	11	64,0	----	10	19,20 - 19,40	22	85,6	----	20
9,40 - 9,60	12	66,5	----	11	19,40 - 19,60	24	90,3	----	21
9,60 - 9,80	13	72,1	----	11	19,60 - 19,80	22	82,8	----	21
9,80 - 10,00	12	66,5	----	11	19,80 - 20,00	21	79,0	----	21

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**
- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00 mm**
- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/840820

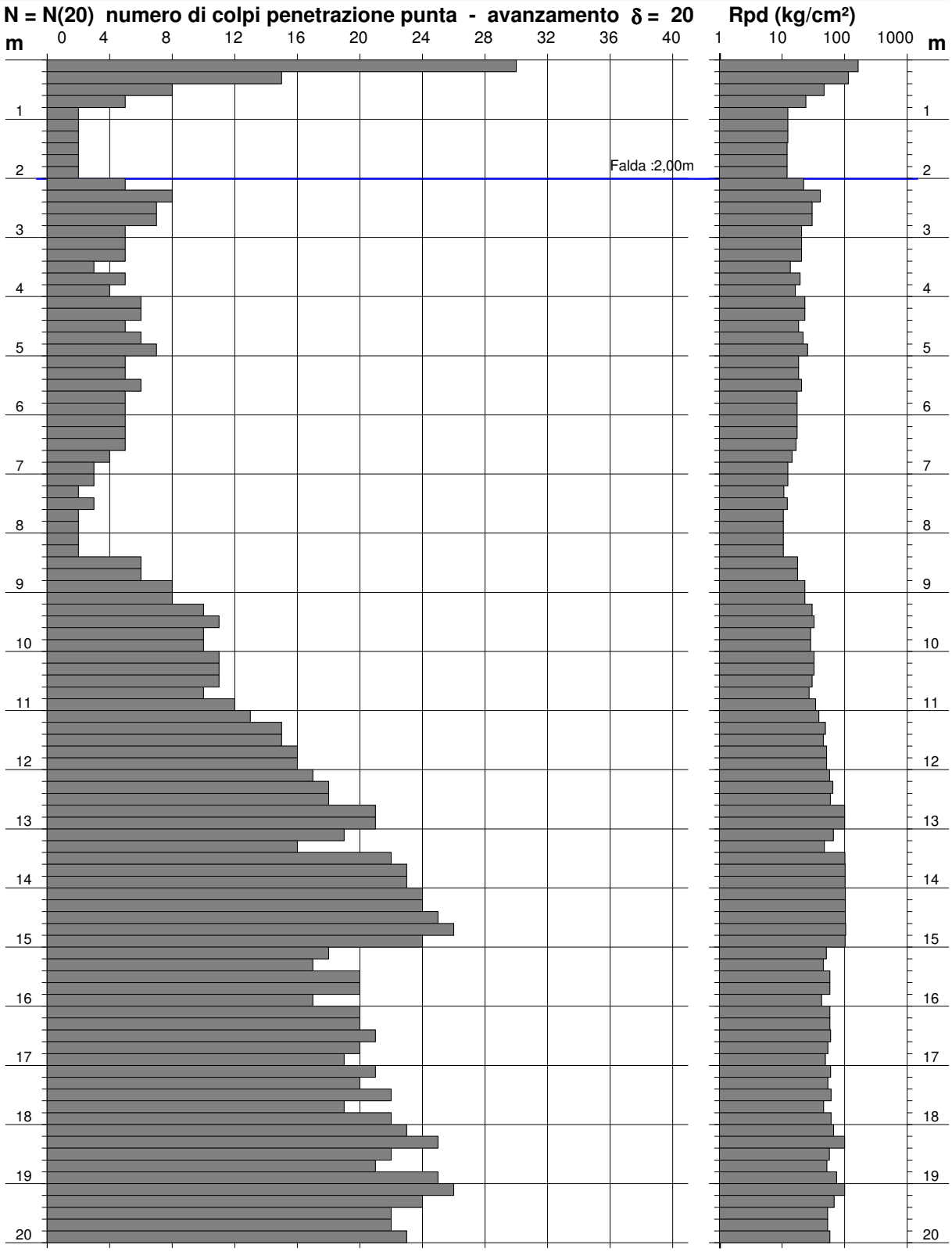
GHEOS s.a.s.
Via Molino, 54/A
27010 San Zenone al Po (Pv)

Riferimento: 11-20-1

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA n° 1
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

Scala 1: 100

- indagine : Costruzione ponte
- cantiere : Ing. Sansone
- località : Cascine Calderari
- data : 02/06/2020
- quota inizio : Piano campagna
- prof. falda : 2,00 m da quota inizio



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**
- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00 mm**
- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/840820

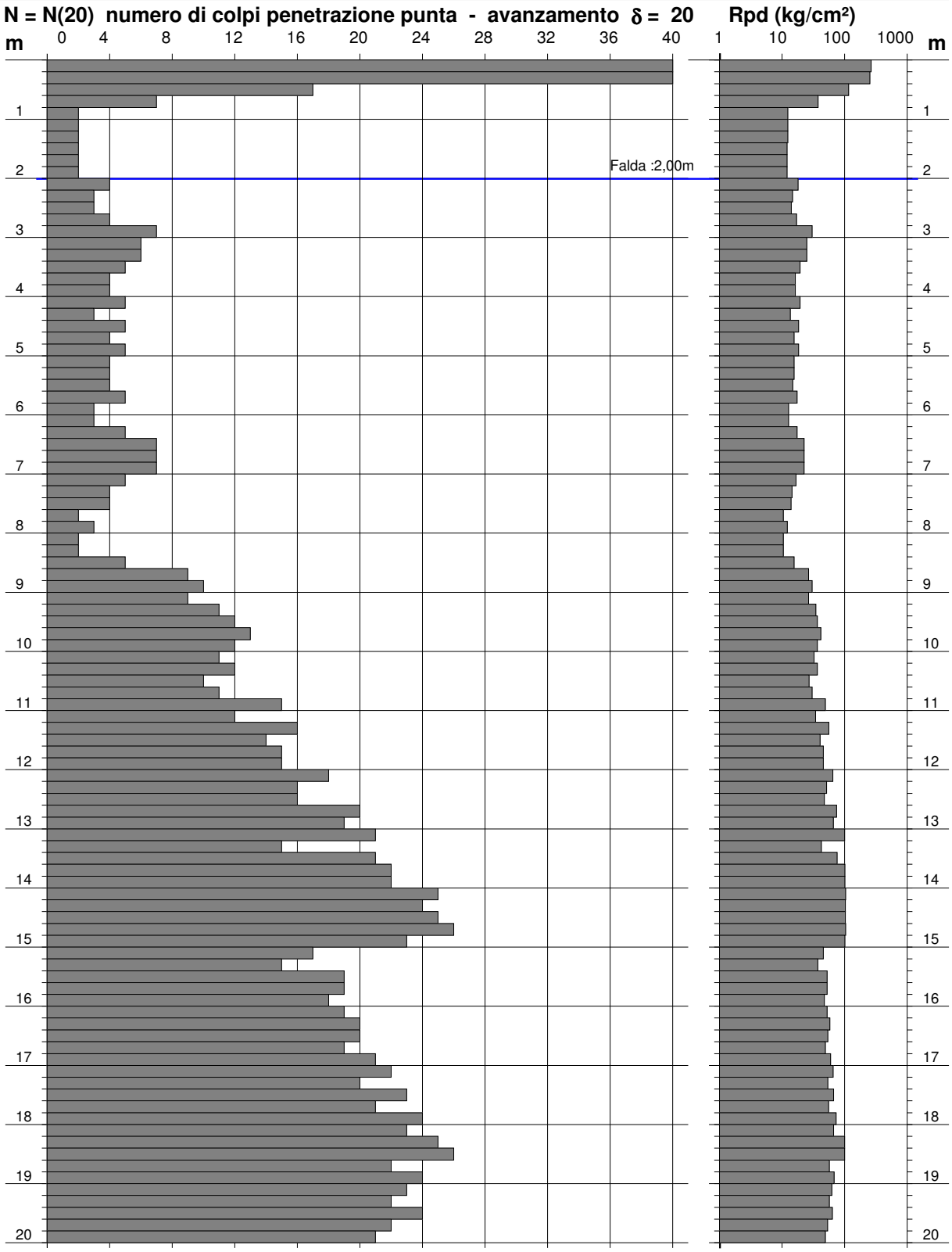
GHEOS s.a.s.
Via Molino, 54/A
27010 San Zenone al Po (Pv)

Riferimento: 11-20-1

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA n° 2
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

Scala 1: 100

- indagine : Costruzione ponte
- cantiere : Ing. Sansone
- località : Cascine Calderari
- data : 02/06/2020
- quota inizio : Piano campagna
- prof. falda : 2,00 m da quota inizio



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**
- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00 mm**
- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/840820

TOMMASO SACCHI GEOLOGO – Ordine dei Geologi della Lombardia n° 1730 AP sezione A
Via Stefano Breventano 67, Pavia Tel: 038279326 – Mail: info@studiogeologicogheos.it

• INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO

Il territorio del Comune di Certosa di Pavia Fraz. Cascine Calderari si colloca nella Pianura Padana, ad Nord di Pavia, a Sud di Giussago e Vellezzo Bellini e ad Ovest di San Genesio ed Uniti. Le coordinate geografiche decimali medie del terreno indagato sono: 45.229434 N, 9.124541 E.

La formazione della pianura

La Pianura Padana è costituita da una successione plio-quaternaria di ambiente marino e continentale, con spessori dell'ordine delle migliaia di metri, ricoprente in discordanza da un substrato deformato, costituito da rocce carbonatiche e terrigene mesozoico-eoceniche e da depositi oligo-miocenici.
Essa comincia a delinearsi alla fine del Pliocene, quando nel braccio di mare Adriatico, che allora giungeva a lambire i piedi delle Alpi occidentali, si accumulano, su un complesso prevalentemente argilloso di origine marina, materiali provenienti attraverso i fiumi, dalle catene di neoformazione.
A partire dal Pleistocene, e durante tutto il Quaternario, l'evoluzione geologica dell'area, è il risultato dei fenomeni di sollevamento che hanno comportato il passaggio da condizioni ambientali marine a quelle continentali con la deposizione di sedimenti via più grossolani. Le fasi di espansione e regressione dei ghiacciai succedutesi in età quaternaria, oltre che l'azione di erosione, trasporto e deposizione da parte di corsi d'acqua hanno determinato la formazione di depositi morenici nella parte alta della pianura padana, fluvioglaciali nella sua parte centrale e fluviali nella parte bassa.
Durante le fasi di espansione, i ghiacciai hanno originato le grandi cerchie moreniche che man mano si sono accumulate ai piedi dei rilievi prealpini; nelle fasi di ritiro, i torrenti e le fiumare hanno invece eroso buona parte di questi accumuli, trasportando a valle grandi quantità di materiale, dai ciottoli più grandi al limo più fine, colmando progressivamente il bacino padano-adriatico.
Ad ogni stadio interglaciale, la forza erosiva dei corsi d'acqua ha causato l'incisione e la rimozione dei sedimenti fluviali precedentemente deposti con la formazione di sistemi di terrazzi in corrispondenza dei nuovi percorsi fluviali all'interno della pianura.
Da un punto di vista geomorfologico, la Pianura lombarda può essere suddivisa in tre settori:
• Il primo settore corrisponde all'alta Pianura, caratterizzata dalla presenza di più ordini di terrazzi costituiti da depositi fluvioglaciali e alluvionali, generati dall'azione erosiva e di deposito operata dalle fiumane che fuoriuscivano dalle lingue glaciali.
• Il settore di media pianura, e parte del territorio di Certosa di Pavia, è compreso tra la linea superiore e quella inferiore dei fontanili (o risorgive), si sviluppa secondo un piano debolmente inclinato verso sud ed è costituito da depositi fluvioglaciali recenti (Diluvium recente), localmente interrotti dalle alluvioni dei corsi d'acqua principali.
• Il terzo settore si trova a sud della linea inferiore dei fontanili; è costituito da alluvioni fini ed è caratterizzato da una morfologia piatta ed uniforme. Le litologie superficiali ed affioranti sono costituite dalle alluvioni fluviali e fluvioglaciali plioceniche, tranne che per l'orizzonte superficiale agricolo, di terreni sabbiosi, limo sabbiosi e ghiaiosi.

Geologia dell'area

Come si desume dall'analisi della carta geologica F°59 PAVIA, il territorio comunale di Certosa di Pavia è costituito in superficie quasi interamente da terreni alluvionali quaternari noti come "Diluvium recente" che rappresentano il cosiddetto "Livello Principale della Pianura Padana", tali terreni sono costituiti da sabbie ghiaiose e sabbie limose in profondità mentre in superficie prevalgono i limi sabbiosi alterati nella parte più superficiale. Sono poi presenti, nell'alveo attivo dei corsi d'acqua, le alluvioni attuali ghiaioso sabbiose frammiste a materiali e a rifiuti di qualsiasi tipo e natura.

La morfologia naturale dell'area è stata in parte modificata dalle attività antropiche.

Si vuole a questo punto, ricostruire nel dettaglio la successione dell'area della pianura padana su cui in parte si inserisce il territorio del comune di Certosa di Pavia, utilizzando le numerose informazioni che ci derivano sia dai sondaggi eseguiti dall'Agip per la ricerca petrolifera e geotermica, sia da lavori esistenti in letteratura.

<table>
<tr><th colspan="8">DESCRIZIONE GEOLOGICA SECONDO I DIFFERENTI AUTORI</th></tr>
<tr><th></th><th colspan="2">UNITA' LITOLOGICHE</th><th colspan="2">UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE</th><th>UNITA' STRATIGRAFICHE</th><th>ETA'</th><th>UNITA' IDROGEOLOGICHE</th></tr>
<tr><th></th><th colspan="2">Mazzarella S. e Martinis B.</th><th colspan="2">Francani V. e Pozzi R.</th><th>A.G.I.P.</th><th></th><th>Avanzini M. et Al.</th></tr>
<tr><td rowspan="4"></td><td rowspan="3">LITOZONA GHIAIOSO-SABBIOSA</td><td rowspan="3">ACQUIFERO TRADIZIONALE</td><td>FLUVIOGLACIALE WURM AUCT. (Diluvium recente)</td><td>I ACQUIFERO</td><td rowspan="3">ALLUVIONE</td><td>PLEISTOCENE SUPERIORE</td><td>UNITA' GHIAIOSO-SABBIOSA</td></tr>
<tr><td>FLUVIOGLACIALE RISS-MINDEL-WURM (Dil. Medio-Antico)</td><td rowspan="2">II ACQUIFERO</td><td>PLEISTOCENE MEDIO</td><td>UNITA' GHIAIOSO SABBIOSO-LIMOSA</td></tr>
<tr><td>CEPPO AUCT.</td><td rowspan="3">PLEISTOCENE INFERIORE</td><td>UNITA' A CONGLOMERATI E ARENARIE BASALI</td></tr>
<tr><td>LITOZONA SABBIOSO-ARGILLOSA</td><td>ACQUIFERI PROFONDI</td><td>VILLAFRANCHIANO</td><td>III ACQUIFERO</td><td>SABBIE DI ASTI</td><td>UNITA' SABBIOSO-ARGILLOSA (facies continentali e di transizione)</td></tr>
<tr><td>LITOZONA ARGILLOSA</td><td></td><td></td><td></td><td>(CALABRIANO)</td><td>UNITA' ARGILLOSA (facies marina)</td></tr>
</table>

Partendo dall' alto, le unità distinte dagli autori sono le seguenti:

- Unità ghiaioso-sabbiosa (Olocene – Pleistocene superiore)

Questa unità affiora con continuità su tutto il territorio comunale ed è costituita da sabbie e ghiaie prevalenti, a cui si aggiungono, nella parte inferiore, intercalazioni limose e argillose di limitato spessore e con una buona estensione laterale. È caratterizzata da complesse strutture deposizionali, con corpi lentiformi anastomizzati ed embriciati, tipici di una sedimentazione in aree a rapido cambiamento di energia deposizionale; in fasi di calma è stato anche possibile l'accumulo di materiali fini che costituiscono livelli impermeabili o semipermeabili poco estesi. Si tratta di depositi fluvioglaciali del Würm (Olocene-Pleistocene superiore e medio) e di alluvioni recenti a riempimento delle valli di erosione post-würmiane, disposte lungo i corsi d'acqua.

- Unità sabbioso-ghiaiosa (Pleistocene medio)

Tale unità è costituita da depositi sabbiosi con intercalazioni argillose e ghiaiose, di età pleistocenica. Si tratta di sedimenti di origine glaciale e fluvioglaciale; i primi, scarsamente selezionati, sono costituiti da elementi grossolani quali ghiaie e ciottoli, in abbondante matrice limoso-sabbiosa.

- Unità sabbioso-argillosa (Pleistocene inferiore)

Si tratta di sabbie con abbondanti intercalazioni argillose e limose di colore grigio e giallo, con frequente alternanza nella colorazione; sono sedimenti deposti in facies deltizia e lagunare, nel Pleistocene inferiore.

- Unità argillosa (Pleistocene inferiore – Calabriano inferiore)

Nell'area in esame non sono presenti perforazioni che arrivano ad individuare l'unità argillosa; le uniche informazioni che permettono di definire l'unità derivano da alcuni pozzi situati più a Sud e da indagini indirette. Essa è costituita prevalentemente da argille e limi di colore grigio e azzurro con fossili marini, alle quali sono subordinatamente intercalati livelli sabbiosi, talora cementati e generalmente di limitato spessore. Questi depositi appartengono a facies marine costiere e di mare aperto, di età compresa tra il Pleistocene inferiore e il Pliocene, noti in letteratura come "Argille Villafranchiane".

Il territorio della media pianura e di Certosa di Pavia in particolare è sub-pianeggiante, con una debole inclinazione del 1–1,5 per mille verso Sud- Sud/Est, presenta caratteristiche estremamente uniformi tipiche delle zone di pianura, interrotto da un reticolo idrografico naturale ampiamente antropizzato o artificiale ad uso irriguo.

Gli elementi geomorfologici di maggiore importanza, sono i terrazzamenti di origine fluviale che si sono formati a seguito dell'attività erosiva e deposizionale dei corsi d'acqua che scorrevano nella Pianura Padana.

• INQUADRAMENTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Le acque superficiali

La rete idrografica del Comune di Certosa di Pavia è costituita da canali e rogge destinati allo scorrimento delle acque e da colatori che smaltiscono le acque meteoriche.

Le acque sotterranee

Secondo le definizioni più recenti (M. Avanzini, G. Beretta, V. Francani, M. Nespoli) la struttura idrogeologica della media e bassa pianura padana è costituita dal sovrapporsi di cinque unità:

1 - Unità ghiaioso-sabbiosa (Olocene-Pleistocene sup.)
2 - Unità ghiaioso-sabbioso-limosa (Pleistocene med.)
3 - Unità a conglomerati e arenarie basali (Pleistocene inf.)
4 - Unità sabbioso-argillosa (Pleistocene inf. - Villafranchiano sup. e Medio Auct.)
5 - Unità argillosa (Pleistocene inf. - Calabriano Auct.)

In base alle sezioni idrogeologiche di letteratura tracciate a scala provinciale, nel settore in esame, le prime due unità costituite da depositi di tipo continentale si riconoscono fino a circa 120 – 150 m di profondità (definite da autori precedenti come Litozona A ghiaioso-sabbiosa o acquifero tradizionale).
Tale definizione deriva non tanto da una differenziazione in termini tessiturali, in quanto a livello locale risulta difficile poter fare una distinzione tra l'alternanza di sabbie prevalenti e argille, ma nell'estendere verso sud un limite più chiaramente definibile almeno fino a sud della città di Milano.

Al di sotto si trovano depositi di ambiente continentale o di transizione appartenenti all'Unità sabbioso-argillosa (tradizionalmente definita come Litozona B sabbioso-argillosa). Tale unità si caratterizza per un'alternanza di strati sabbiosi e argillosi con una netta prevalenza di questi ultimi, il cui spessore ed estensione sono variabili in direzione W-E, e generalmente crescenti in direzione S.

La falda freatica

La falda freatica è costituita dall' acquifero superficiale insaturo che è sostenuto, nella zona di Certosa di Pavia, da un orizzonte argilloso impermeabile, che si trova a circa 10 - 11 metri di profondità. Le acque risultano di scadente qualità e vengono impiegate esclusivamente per usi non potabili. La falda è contenuta nei terreni prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi dell'unità precedentemente descritta.

Gli acquiferi profondi

La ricca alternanza di livelli sabbioso-ghiaiosi porosi e permeabili, alternati a livelli argillosi impermeabili, favorisce la presenza di alcuni orizzonti acquiferi nei primi cento metri di profondità dal sottosuolo.

- Primo orizzonte (livello A): Questo orizzonte ha uno spessore complessivo da 11,00 metri e contiene la falda freatica di cui si sono descritte le caratteristiche in precedenza.
- Secondo orizzonte (livello B): Unitamente al primo orizzonte, costituisce il cosiddetto "acquifero tradizionale", esteso in profondità fino a circa 80 – 100 metri. È isolato a tetto da un livello argilloso continuo di circa 10-15 metri di spessore mentre in profondità è costituito da sabbie con rari ciottoli di ghiaia, intercalate da strati semipermeabili sabbioso argillosi che determinano la suddivisione dell'acquifero in sottolivelli
- Terzo orizzonte (livelli C): È costituito per buona parte da banchi argillosi, intercalati a lenti sabbiose e contiene falde in pressione; all'interno di questo orizzonte, si sviluppano per un centinaio di metri i livelli C del terzo acquifero e, oltre i 200 metri di profondità, i livelli M, ormai in terreni di origine marina, ma contenenti ancora acque dolci.

Considerazioni sulla vulnerabilità della falda freatica

Dai dati a disposizione sui terreni superficiali del comune di Certosa di Pavia, risulta che questi presentano una capacità protettiva da bassa a moderata nei confronti delle acque freatiche sotterrane, d'altra parte la situazione conferma la compromissione qualitativa di queste acque, non più utilizzabili ad uso potabile.

• RAFFRONTO CON LO STUDIO GEOLOGICO COMUNALE DESUNTO DAL PGT

Il presente studio comprende la verifica dei rapporti tra il progetto urbanistico architettonico, la vincolistica tecnica-ambientale e la normativa geologica del piano di governo del territorio. Si fa presente che tutte le informazioni riportate in questo capitolo sono ricavate dal PGT del Comune di Certosa di Pavia (Dott. Geologo Felice Sacchi – Luglio 2012).

La carta della FATTIBILITA' GEOLOGICA riporta la seguente dicitura:

- *Classe di fattibilità geologica **3A**, ovvero: Sono i terreni comunali caratterizzati dalla presenza diffusa di orizzonti superficiali a scadenti caratteristiche geotecniche e dalla presenza, in particolari situazioni, di una falda freatica prossima a piano campagna. Costituiscono la quasi totalità dei terreni del territorio comunale di Certosa di Pavia e per i quali sono state individuate, tramite il presente studio, consistenti limitazioni al cambio di destinazione d'uso.*
- *Classe di fattibilità geologica **4C**, ovvero: Sono i terreni che costituiscono gli alvei attivi e le relative fasce di rispetto, così come definite nella "carta del recepimento del reticolo principale e individuazione del reticolo idrico minore di competenza dei consorzi di bonifica e di competenza del comune", (ampie 4 metri) dei corsi d'acqua classificati come appartenenti al reticolo idrico di competenza comunale. Il punto di partenza per la misurazione della larghezza di queste fasce è stabilito dalle vigenti leggi ed è rappresentato dal ciglio di erosione della sponda dell'alveo del corso d'acqua o se esistente dal piede esterno dell'argine che impedisce lo straripamento o dal piede dell'argine di contenimento delle piene catastrofiche. Per questa tipologia di corsi d'acqua si applicano le disposizioni di cui al R.D. 25 Luglio 1904, 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie", artt. 59,96,97 e 98.*

La carta della PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (PSL) presenta la denominazione Z2:

- ***Z2**: Terreni a scarse caratteristiche geotecniche, secondo D.g.r. 8/1566. Rientrano nello scenario di pericolosità sismica Z2.*

La carta dei VINCOLI presenta la seguente dicitura:

- *"**Corsi d'acqua** del reticolo idrico minore di competenza comunale. Per tali corsi d'acqua valgono le disposizione del R.D. 523"*
- *"**Fascia di rispetto** dei corsi d'acqua del reticolo idrico minore di competenza comunale, ampiezza 4 metri"*

La carta di SINTESI riporta la seguente dicitura:

- ***Falda superficiale**.*

R2 – Relazione Geotecnica ai sensi del DM 17/01/18 NTC

• CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI INDAGATI

Prova 1

n° strato	Profondità (m)	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
			DR	Ø'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.0 – 0.8	21	51.5	33	353	2.00	1.60				
2	0.8 – 2.0	3	11.3	27	215	1.86	1.38				
3	2.0 – 6.8	7	25.0	29	245	1.90	1.45				
4	6.8 – 8.4	3	11.3	27	214	1.86	1.38				
5	8.4 – 10.8	13	39.5	31	292	1.95	1.53				
6	10.8 – 12.6	24	56.0	34	376	2.01	1.63				
7	12.6 – 15.0	33	68.0	37	446	2.07	1.71				
8	15.0 – 20.0	31	66.0	36	430	2.06	1.70				

Prova 2

n° strato	Profondità (m)	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
			DR	Ø'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.0 – 0.8	45	80.0	40	538	2.13	1.81				
2	0.8 – 2.0	3	11.3	27	214	1.86	1.38				
3	2.0 – 7.6	7	25.0	29	245	1.90	1.45				
4	7.6 – 8.4	3	11.3	27	214	1.86	1.38				
5	8.4 – 10.8	15	42.5	32	307	1.96	1.54				
6	10.8 – 12.6	22	53.0	34	361	2.00	1.61				
7	12.6 – 15.0	33	68.0	37	446	2.07	1.71				
8	15.0 – 20.0	31	66.0	36	430	2.06	1.70				

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento δ = 30 cm)
E' (kg/cm^2)= modulo di deformazione drenato
Cu (kg/cm^2)= coesione non drenata
Dr %= densità relativa
W%= contenuto d'acqua
Ysat, Yd (t/m^3)= peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno
Ø' (°)= angolo di attrito efficace
e(-)= indice dei vuoti

Al momento delle indagini è stato individuato il livello della falda freatica posto a – 2.00 m da piano campagna. Questo livello, risente fortemente dei periodi di forte piovosità e potrebbe portarsi più prossimo a piano campagna.

• STIMA DELLA PORTANZA DEL TERRENO

Utilizzando i parametri geotecnici, riportati al precedente paragrafo e adottando la formula internazione di Terzaghi, utilizzabile per fondazioni superficiali a plinto o a nastro,

$$Q\,lim = c\ Nc\ Sc + g1\ D\ Nq + 0{,}5\ g2\ B\ N\ S$$

Dove:
c= Coesione non drenata;
D= Profondità del piano di posa delle fondazioni;
B= Larghezza della fondazione
g1= Peso di volume medio del terreno sopra il piano di posa delle fondazioni
g2= Peso di Peso di volume medio del terreno sotto il piano di posa delle fondazioni
Sc= Fattore di forma per fondazioni nastriformi, 1.3 per fondazioni quadrate
S= Fattore di forma per fondazioni nastriformi, 0.8 per fondazioni quadrate
Nc, Nq e Ng= Fattori adimensionali legati rispettivamente al contributo di terreni coesivi, al terreno posto sopra al piano di posa delle fondazioni e agli strati di coesione nulla.
È possibile determinare le tensioni totali del "rd" e del "q ultimo" nelle seguenti tabelle. Consideriamo:

Ipotizzando, visto il livello della falda, di stare in condizioni non drenate e fondazioni di tipo trave rovescia con lato corto di 120cm.

Prova 1 e 2
da 2.0 a 6.80 e oltre terreni a natura granulare Ø = 29 e Y' = 1.80 Kg/cmq

Profondità (m)	"rd" (q ultimo con Ø o Cu efficace / 1,8)	"q ultimo"
2.0	3.56 Kg/cmq	1.10 Kg/cmq
2.2	3.82 Kg/cmq	1.18 Kg/cmq
2.4	4.08 Kg/cmq	1.27 Kg/cmq
2.6	4.35 Kg/cmq	1.35 Kg/cmq
2.8	4.61 Kg/cmq	1.43 Kg/cmq
3.0	4.87 Kg/cmq	1.52 Kg/cmq
3.2	5.14 Kg/cmq	1.60 Kg/cmq

• VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Verifiche agli stati limite (d.m. 17 gennaio 2018) per fondazioni superficiali continue con profondità di posa di 2.00, 2.40, 2.80 e 3.20 da piano campagna, con geometrie delle fondamenta, angoli di attrito e condizioni di falda riportati nella tabella precedente (portanza del terreno).
Secondo quanto previsto dalla vigente normativa la verifica di stabilità globale è stata effettuata secondo l'Approccio 2.

Prova 1 e 2

/	Profondità (m)	Approccio 2 (q ultimo / 2,3)
Verifica 1	2.0	1.55 Kg/cmq
Verifica 2	2.4	1.78 Kg/cmq
Verifica 3	2.8	2.00 Kg/cmq
Verifica 4	3.2	2.23 Kg/cmq

• CATEGORIA MEDIA SUOLO DI FONDAZIONE

In base alle prove penetrometriche e alla indagine MASW per la progettazione del presente lavoro si può individuare come tipologia media dei terreni per fondazioni superficiali la categoria C.

"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina)."

• STIMA DEI CEDIMENTI

I cedimenti sono la combinazione elastica e la deformazione plastica del suolo senza modifica in volume o in contenuto di acqua. I dati necessari per la stima dei cedimenti sono legati alla geometria delle fondazioni ed ai parametri desunti dalle prove penetrometriche, inserendo i dati in un elaboratore di calcoli è possibile conoscere preventivamente l'entità dei cedimenti probabili. La verifica ha permesso di confermare i valori di portanza calcolati con la formula di Terzaghi.

PARAMETRI DI CALCOLO ELABORATI

carico Kg/cmq	cedimento immediato (cm)	cedimento 30 anni secondario (cm)
0,50	0,585	0,875
0,60	0,800	1,197
0,70	1,100	1,645
0,80	1,375	2,056
0,90	1,637	2,448

coefficiente di sottofondo (o di Winkler)	min. =	1.00
	max =	1.50

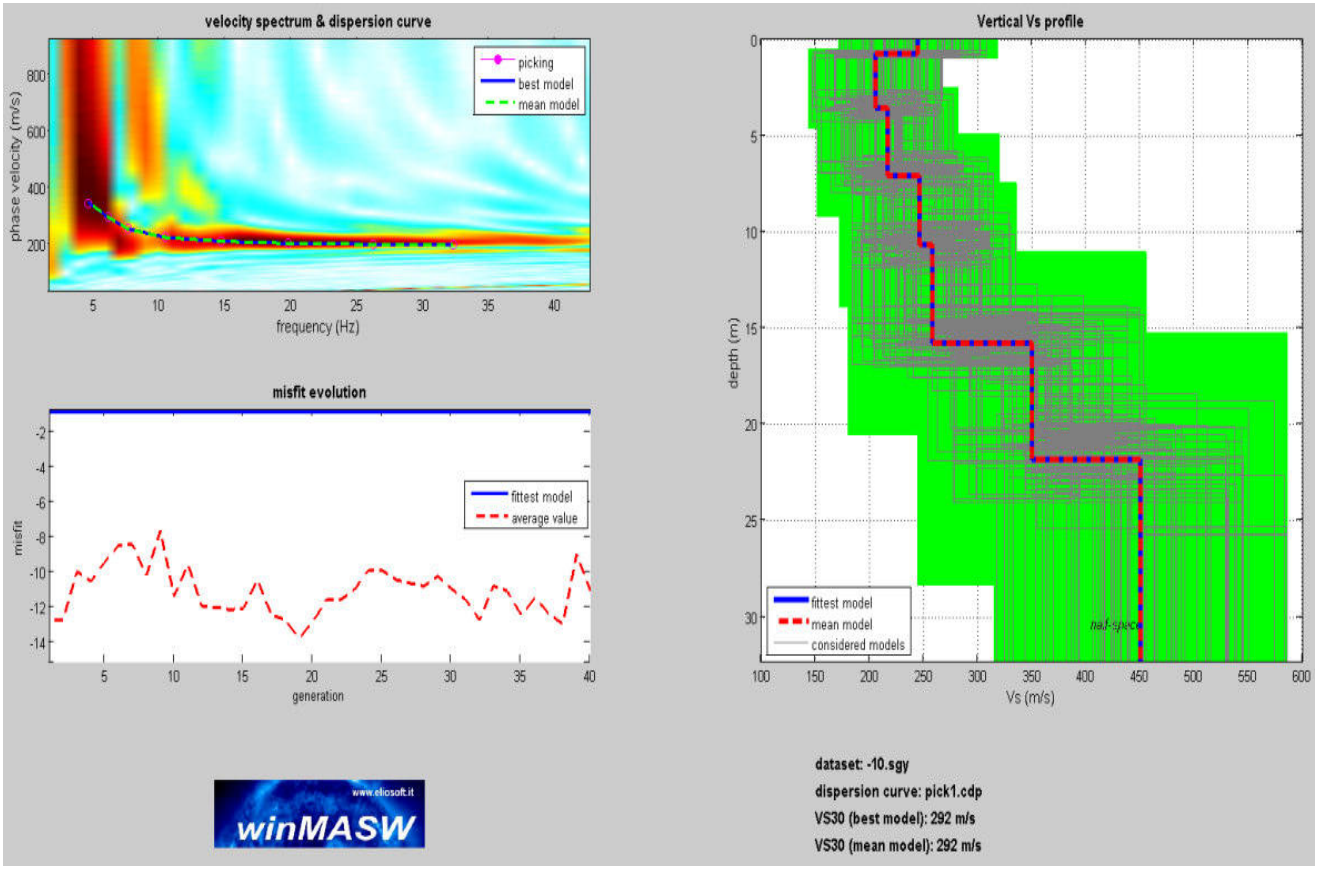
• CATEGORIA MEDIA SUOLO DI FONDAZIONE

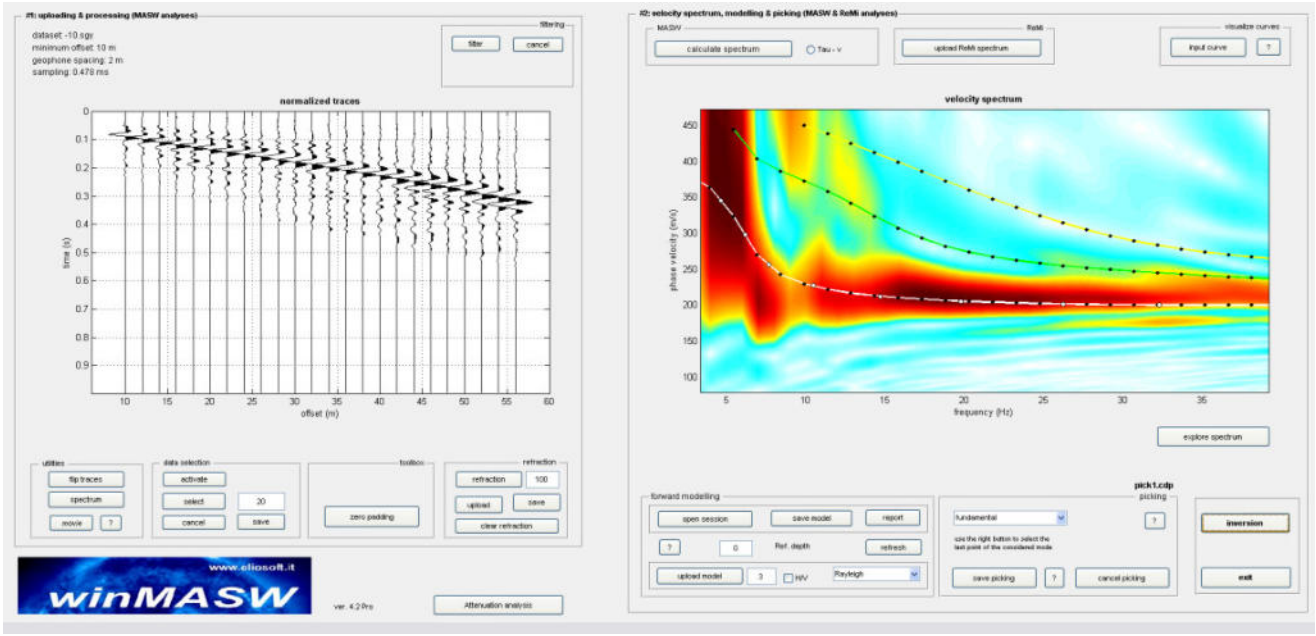
In base alle prove penetrometriche e alla indagine MASW per la progettazione del presente lavoro si può individuare come tipologia media dei terreni per fondazioni superficiali la categoria C.

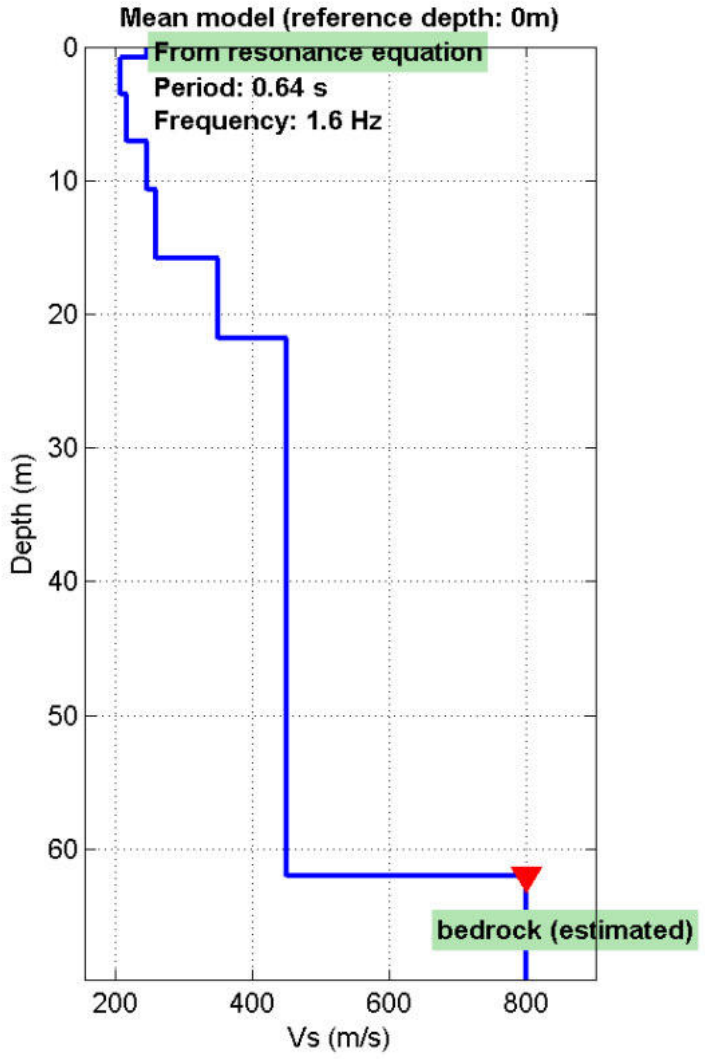
"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina)."

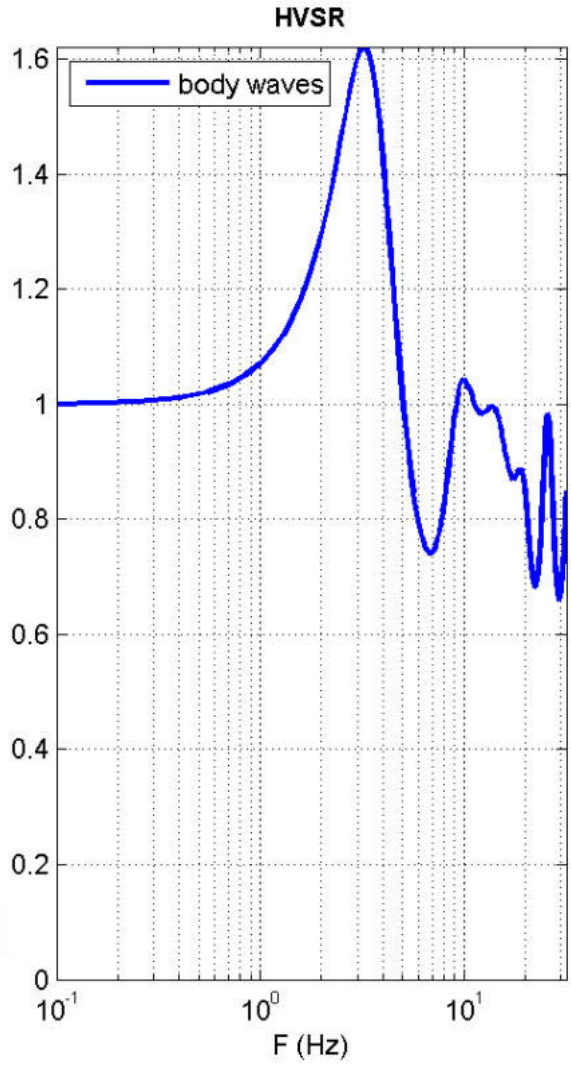
• INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI, INDAGINE GEOFISICA DI TIPO MASW

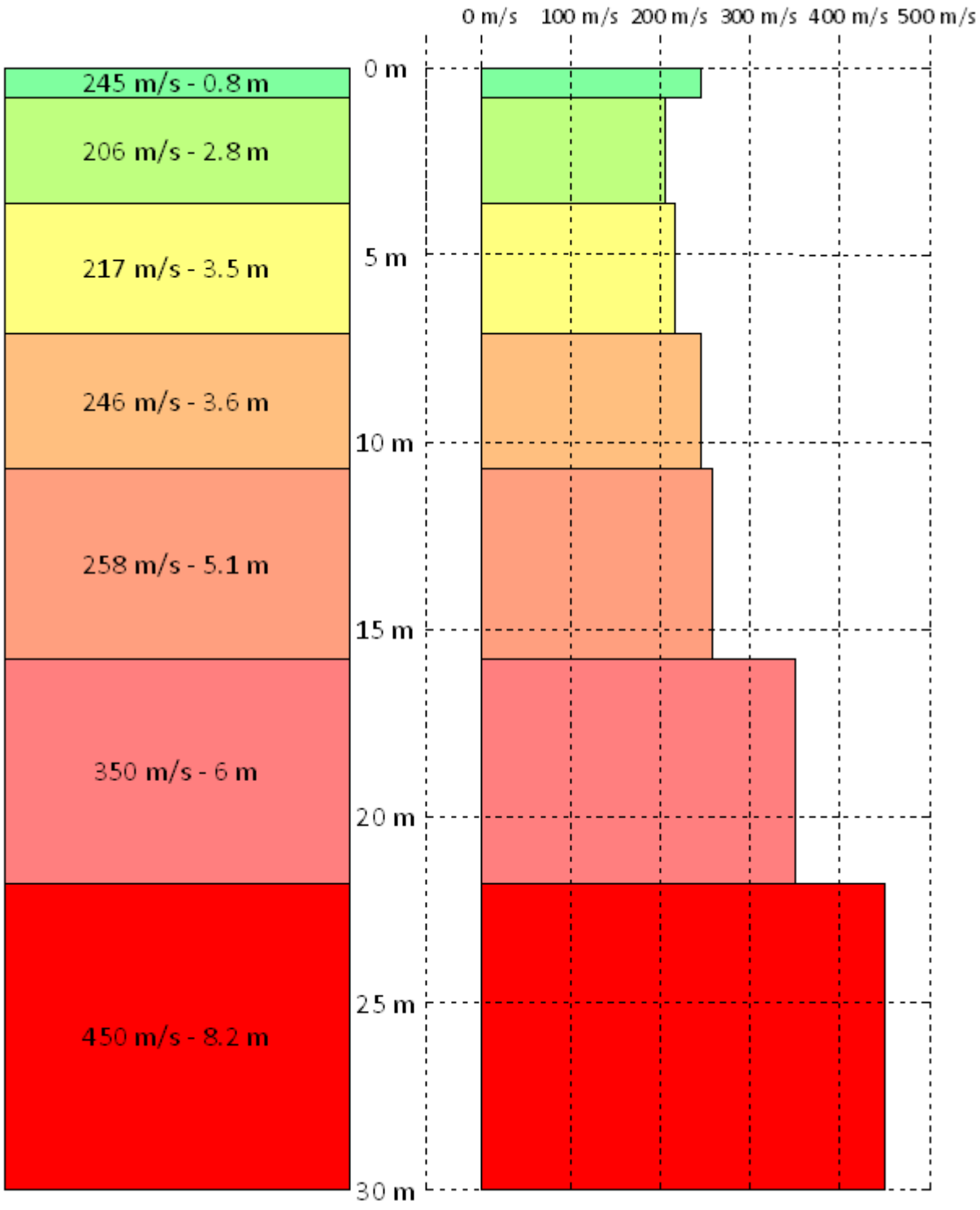
A completamento dell'indagine e per la determinazione della classe sismica dei terreni interessati dalle fondazione dei fabbricati, si è eseguito uno stendimento sismico di tipo Masw. Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo. Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo, utilizzato per la presente indagine, le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidezza del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50m, in funzione della rigidezza dello stesso. Nel seguito faremo riferimento al metodo MASW attivo che consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30m di profondità. Il metodo passivo è più usato quando si ha interesse ad avere informazioni , comunque meno precise, sugli strati più profondi.

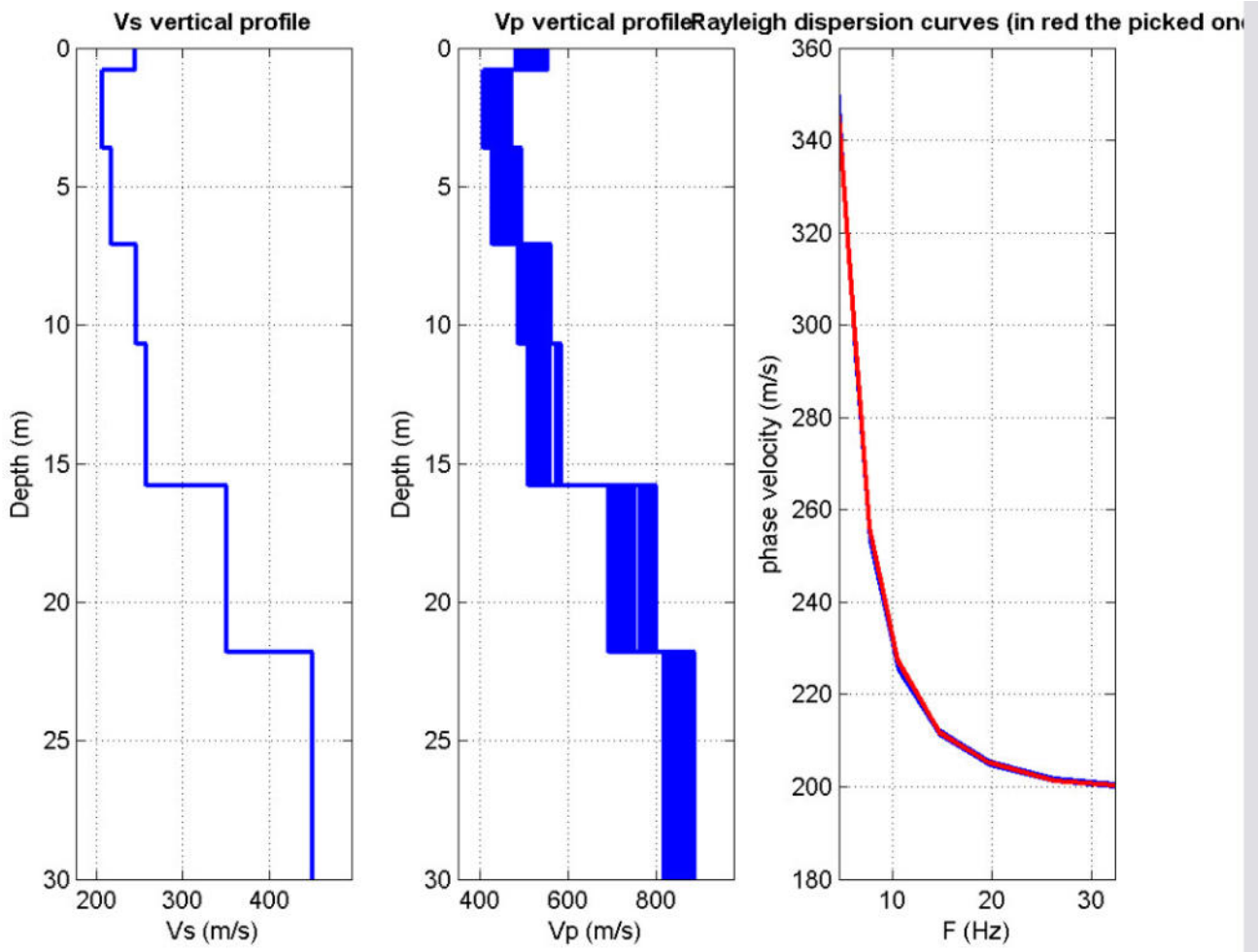

velocity spectrum & dispersion curve
picking
best model
mean model
phase velocity (m/s)
frequency (Hz)
misfit evolution
fittest model
average value
misfit
generation
Vertical Vs profile
fittest model
mean model
considered models
depth (m)
Vs (m/s)
dataset: -10.sgy
dispersion curve: pick1.cdp
VS30 (best model): 292 m/s
VS30 (mean model): 292 m/s
www.eliosoft.it
winMASW


normalized traces
time (s)
offset (m)
velocity spectrum
phase velocity (m/s)
frequency (Hz)
winMASW
www.eliosoft.it


Mean model (reference depth: 0m)
From resonance equation
Period: 0.64 s
Frequency: 1.6 Hz
bedrock (estimated)
Depth (m)
Vs (m/s)


HVSR
body waves
F (Hz)


0 m/s
100 m/s
200 m/s
300 m/s
400 m/s
500 m/s
245 m/s - 0.8 m
206 m/s - 2.8 m
217 m/s - 3.5 m
246 m/s - 3.6 m
258 m/s - 5.1 m
350 m/s - 6 m
450 m/s - 8.2 m
0 m
5 m
10 m
15 m
20 m
25 m
30 m


Vs vertical profile
Vp vertical profile
Rayleigh dispersion curves (in red the picked on
Depth (m)
Vs (m/s)
Vp (m/s)
phase velocity (m/s)
F (Hz)
0
5
10
15
20
25
30
200
300
400
600
800
180
200
220
240
260
280
300
320
340
360
10
20
30

R3 – Relazione Geologica ai sensi della DGR IX/2616/2011

• SISMICITÀ DI SITO

Il territorio comunale di Certosa di Pavia risulta incluso nella zona sismica 3 con una accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni inferiore al valore di ag/g < a 0,15.
La definizione degli spettri di risposta relativi ad uno stato limite è articolata in 3 distinte fasi, ciascuna delle quali prevede la scelta dei valori di alcuni parametri da parte del progettista. Le tre fasi vengono di seguito esplicate.

Individuazione della pericolosità del sito

La pericolosità sismica di base del sito d'intervento è definita in termini sia di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido di categoria di sottosuolo A con superficie topografica orizzontale, sia in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente S_e (T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nella vita di riferimento dell'opera VR.
In particolare, le forme spettrali sono definite per ciascuna delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR, a partire dai valori di alcuni parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:
a_g accelerazione massima sul sito;
Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
Tc* periodo di inizio del tratto a velocità constante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri sono forniti per i 10751 nodi del reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio italiano e per 9 valori del periodo di ritorno TR. Per i punti non cadenti in corrispondenza dei nodi del reticolo, il valore dei parametri sopra indicati viene ricavato per interpolazione, utilizzando il valore ottenuto dalla media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia del reticolo di riferimento contente il punto in esame.
Il primo passo dell'analisi è stato quindi quello di calcolare le coordinate geografiche del sito d'intervento in modo da acquisire successivamente le azioni sismiche locali (proprie del sito specifico) sulla base di un reticolo di riferimento.
I parametri sismici del sito sono ricavati dalla media ponderata dei valori noti nei 4 punti di riferimento all'intorno del sito stesso. L'analisi viene svolta con l'utilizzo del software "Spettri NTC", messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale.

Ad ogni stato limite considerato corrispondono valori differenti di tali parametri.
Per gli stati limite di tipo geotecnico (GEO), sotto l'effetto di azioni sismiche, le verifiche di sicurezza da affrontare per le costruzioni con classe d'uso II come quella in esame sono:
- Stato limite ultimo SLV con verifica della resistenza del sistema fondazione-terreno, della stabilità dei rilevati, dei muri di sostegno e dei fronti di scavo.
- Stati limite di esercizio SLD con verifica del contenimento delle deformazioni del sistema fondazione-terreno (cedimenti)

Le elaborazioni effettuate con apposito software in riferimento alle coordinate del sito d'intervento, per tutti gli stati limite, forniscono i seguenti dati:

Stato Limite		TR (anni)	Ag (g)	Fo (-)	Tc (s)
SLE	SLO	30	0.021	2.542	0.184
	SLD	50	0.027	2.536	0.202
SLU	SLV	475	0.061	2.561	0.282
	SLC	975	0.079	2.556	0.288

Coordinate decimali del sito: 45.229434 N – 9.124541 E

Scelta della strategia di progettazione

In questa fase vengono definiti i parametri fondamentali di seguito indicati, sulla scorta dei coefficienti che definiscono la tipologia e la classe d'uso dell'opera in progetto.

Vita nominale della costruzione

La vita nominale di un'opera strutturale VN è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata qua sotto:

• Tipo 1: VN ≤ 10 anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto ≥ 2 anni.
• Tipo 2: VN ≥ 50 anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
• Tipo 3: VN ≥ 100 anni per grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.

Nel caso specifico --> VN= 50 anni

Coefficiente d'uso della costruzione

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:
Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Nel caso in esame viene presa in considerazione la classe d'uso II

Periodo di riferimento per la costruzione

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU.

$$VR = VN * CU$$

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

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

Se VR ≤ 35 anni si pone comunque VR = 35 anni.
In riferimento alla costruzione in progetto, si sono attribuiti i seguenti parametri:

VN	Vita nominale	≥ 50
Classe d'uso		II
CU	Coefficiente d'uso	1
PVR	63% per SLD	
PVR	10% per SLV	

Determinazione dell'azione di progetto

In questa fase di analisi viene definito il valore di progetto dell'azione sismica massima orizzontale preventivabile sul sito in esame con prefissati TR e PVR. L'azione sismica è caratterizzata da tre componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X e Y e da una verticale Z, da considerare tra loro indipendenti.

Generalmente, come nel caso in esame, per le opere ed i sistemi geotecnici la componente verticale risulta trascurabile. Le componenti possono essere descritte mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- Accelerazione massima attesa in superficie;
- Accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- Accelerogramma

Le due componenti orizzontali, ortogonali tra loro, sono caratterizzate dal medesimo spettro di risposta. Tale spettro in accelerazione è utilizzato per strutture con periodo fondamentale ≤ 4.0 s ed è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) moltiplicata per il valore dell'accelerazione massima orizzontale a_g, ottenuto in precedenza su sito di riferimento rigido orizzontale: sia la forma spettrale che il valore di a_g si differenziano al variare delle probabilità di superamento (PVR) nel periodo di riferimento TR.

Risposta sismica locale

La risposta sismica in ambito strettamente locale viene valutata sulla base dei seguenti parametri:

- Categoria di sottosuolo (A, B, C, D, E, S1, S2);
- Amplificazione stratigrafica SS;
- Amplificazione topografica ST.

Categoria di sottosuolo

L'area d'oggetto di intervento è caratterizzata da depositi incoerenti di origine alluvionale. Pertanto secondo i criteri elencati al punto 3.1 dell'allegato 2 dell'O.P.C.M. n° 3274 dell'17/11/2003 e nel D.M. 17/01/2018, si ritiene idoneo identificare i terreni di fondazione di una categoria di suolo assimilabile alla categoria C

"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina)."

Tale classificazione è ulteriormente confermata dall'analisi geosismica eseguita con il metodo MASW, finalizzata alla valutazione delle onde Vs in area soggetta a definizione dell'aspetto sismico, effettuata nella stessa zona d'indagine, da cui è emerso che la velocità delle onde sismiche Vs30 nei primi 30 metri di profondità risulta pari a 291.96 m/s.

Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti SS e CC valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti SS e CC possono essere calcolati, in funzione dei valori di a_g, FO e TC* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni tabulate sotto e nelle quali "g" rappresenta l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Categoria sottosuolo	SS	CC
A	1	1
B	1≤1,4-0,4*Fo*ag/g ≤1,2	$1,1*(Tc^*)^{-0,2}$
C	**1≤1,7-0,6*Fo*ag/g ≤1,5**	**$1,05*(Tc^*)^{-0,3}$**
D	0,9≤ 2,4-1,5*Foag/g≤1,8	$1,25*(Tc^*)^{-0,5}$
E	1≤2-1,1*Foag/g≤1,6	$1,15*(Tc^*)^{-0,4}$

Amplificazione topografica

Per superfici topografiche semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera	St
T1	**Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i≤15°**	-	**1**
T2	Pendii con inclinazione media i>15°	Sommità del pendio	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°	Cresta del rilievo	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i < 30°	Cresta del rilievo	1,4

Accelerazione massima di progetto

Avendo acquisito i parametri essenziali all'analisi della risposta sismica locale, è ora possibile definire l'accelerazione massima di progetto attesa al suolo Amax, valore che verrà adottato per i successivi calcoli di verifica analitica, mediante la seguente relazione:

NB: Il Coefficiente d'uso (CU) vale 1, perciò i Tempi di ritorno (TR) non cambiano e di conseguenza neanche i valori di Ag (Accelerazione massima sul sito), pertanto:

- TR = 20 anni (SLO) — Amax= a_g * SS * ST = [0.021 g * 1.5 * 1] = 0.0540 g
- TR = 30 anni (SLD) — Amax= a_g * SS * ST = [0.027 g * 1.5 * 1] = 0.0405 g
- TR = 475 anni (SLV) — Amax= a_g * SS * ST = [0.061 g * 1.5 * 1] = 0.0915 g
- TR = 975 anni (SLC) — Amax= a_g * SS * ST = [0.079 g * 1.5 * 1] = 0.1185 g

• LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

La verifica deve essere eseguita per controllare se esiste la possibilità di liquefazione delle sabbie in concomitanza di un evento sismico a causa di terremoti di magnitudo 5. L'analisi del terreno sottoposto a liquefazione viene eseguita col metodo Youd & Idris 2001.

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE						
Metodo di Youd e Idris (2001)						
PARAMETRI:						
g	=	1.85	g/cm^3			
s_{vo}	=	0.407	kg/cm^2	R=	Resistenza al taglio a	
$s_{vo'}$	=	0.387	kg/cm^2	T=	Sforzo di taglio indotto	
profondità della prova	=	220	cm			
N_{SPT}	=	7	colpi			
profondità falda	=	200	cm			
FORMULE:					**RISULTATI:**	
Na	=	N_{SPT}*(1.7/($s_{vo'}$+0.7))+N_f		=	13.94756210	Na
N_f	=	3				
R	=	0,2565* [0.16*RadQNa+(0.2133*RadQNa)^{14}]		=	0.161813462	R
T	=	0.65*((a_{max}/g)*(s_{vo}/$s_{vo'}$))*r_d		=	0.101000678	T
a_{max}/g	=	0.05				
r_d	=	0.985				
Fs=R/T	>	1.3	Sabbie sciolte	=	1.602102727	Verificato
	>	1.5	Sabbie mediamente addensate			Verificato

Il risultato ottenuto è 1.602102727 per sabbie sciolte (>1,3) il terreno è verificato, cioè non liquefacibile. Per sabbie mediamente addensate (>1,5) il terreno è verificato.

• CONCLUSIONI

Le caratteristiche meccaniche dei terreni sono discrete per l'opera in progetto, e sufficienti a garantire la stabilità del fabbricato se dimensionate in maniera corretta le fondazioni.

Al momento delle indagini è stato individuato il livello della falda freatica posto a – 2.00 m da piano campagna. Questo livello, risente fortemente dei periodi di forte piovosità e potrebbe portarsi più prossimo a piano campagna.

In base alle prove penetrometriche e alla indagine MASW per la progettazione del presente lavoro si può individuare come tipologia media dei terreni per fondazioni superficiali la categoria C.

"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina)."

• ACCORGIMENTI TECNICI

Gli scavi di fondazione si dovranno eseguire e ritombare il più presto possibile lasciandoli aperti lo stretto necessario.

Gli scavi di fondazione sia in sezione obbligata che di splateamento dovranno essere eseguiti con escavatore meccanico a benna rovescia dotato di lama fissa e non con denti mordenti e dovranno asportare obbligatoriamente lo strato superficiale di riporto.

Si resta a disposizione per qualsiasi chiarimento.

San Zenone al Po, 15/10/2020

