



di Sacchi T. & C. Via Molino 54/A 27010 San Zenone Po (Pv)  
Tel. 0382 79293 - 3472289493 E-mail. [info@studiogeologicogheos.it](mailto:info@studiogeologicogheos.it)  
C.F. e P:IVA 01753420189. Reg.Imp.7727/1998 Codice Univoco: WY7PJ6K  
[www.studiogeologicogheos.it](http://www.studiogeologicogheos.it)

Comune di Villanova del Sillaro

Via della Vittoria, 1

26818 Villanova del Sillaro (Lo)

Indagini geofisiche, geognostiche e verifiche di  
compatibilità geologica per la realizzazione del progetto  
“Wellness VP4: Giardino delle essenze e percorso  
benessere”

CIG: Z713B8849A

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

Giugno 2023

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

Indagini geofisiche, geognostiche e verifiche di compatibilità geologica per la realizzazione del progetto “Wellness VP4: Giardino delle essenze e percorso benessere”

## • PREMESSE

La presente indagine è stata commissionata allo scopo di individuare le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni interessati dalla realizzazione del progetto “Wellness VP4: Giardino delle essenze e percorso benessere”.

Il programma delle indagini, concordato con il progettista, vista anche la conoscenza dei luoghi, ha previsto l'esecuzione di:

- n.1 prova penetrometrica dinamica spinta fino alla profondità massima di 12.20 m con l'utilizzo del penetrometro automatico PAGANI TG63/200;
- n. 1 indagine sismica di superficie di tipo HVSr per la caratterizzazione dei terreni in chiave sismica (VS 30), con una registrazione di venti minuti attraverso un geofono tridimensionale;
- 1 prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto quadrato, per la determinazione del coefficiente di permeabilità superficiale del sito.

## • MODALITÀ DELL'INDAGINE PENETROMETRICA DINAMICA

Prove Penetrometriche Dinamiche Continue con penetrometro DPSH

Procedure di riferimento: Raccomandazioni AGI Associazione Geotecnica Italiana (1977),

ISSMFE (International 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 si realizza infiggendo nel terreno una punta conica standardizzata avente un diametro di 51 mm ed un'area di 20,43 cm<sup>2</sup> 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 valutazioni 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

Le prove eseguite possono essere così schematizzate. Vengono di seguito diagrammate, riportano i valori di campagna e indicano la presenza di:

Prova 1

LIVELLO 1 da 0.00 sino a 0.60 m	limo sabbioso	(4 Nspt)
LIVELLO 2 da 0.60 sino a 3.80 m	limo debolmente sabbioso	(3 Nspt)
LIVELLO 3 da 3.80 sino a 4.80 m	sabbia debolmente limosa	(7 Nspt)
LIVELLO 4 da 4.80 sino a 6.60 m	limo sabbioso	(4 Nspt)
LIVELLO 5 da 6.60 sino a 9.40 m	sabbia debolmente limosa	(7 Nspt)
LIVELLO 6 da 9.40 sino a 10.00 m	sabbia ghiaiosa	(18 Nspt)
LIVELLO 7 da 10.00 sino a 12.20 m	sabbia	(10 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 -1.00 m da piano campagna. Questo livello risente fortemente dei periodi di forte piovosità e irrigazione 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 un rilevamento sismico passivo di tipo HVSr per la determinazione delle  $V_s$  30, onde che servono per classificare sismicamente i terreni coinvolti nel progetto. L'energizzazione è causata dai microtremori che il terreno produce di continuo. La strumentazione di acquisizione dati è composta dal sismografo ECHO 24 con l'utilizzo di cavi multipolari e un geofono tridimensionale 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 fratturazione e di caratterizzare il terreno sino a 30 metri di profondità in termini di propagazione delle onde sismiche di taglio S.

## • PERMEABILITÀ

Il coefficiente di permeabilità è il parametro che indica con quale facilità un terreno si lascia attraversare dall'acqua. Se l'acqua riesce a fluire con facilità attraverso i pori di un terreno, questo viene definito molto permeabile e il suo coefficiente di permeabilità sarà elevato. Se al contrario il terreno oppone una forte resistenza al movimento dell'acqua, allora il terreno viene definito scarsamente permeabile e in questo caso il coefficiente di permeabilità sarà molto piccolo. Il coefficiente di permeabilità ha le dimensioni di una velocità e di come unità di misura viene utilizzato il m/sec. Fra i parametri idrogeologici è sicuramente quello con la maggiore variabilità. In natura può assumere valori da minori di  $1 \times 10^{-8}$  m/sec a maggiori  $1 \times 10^{-2}$  m/sec e pertanto si può dire che esistono in natura terreni che sono milioni di volte più permeabili di altri. Per l'intervento in progetto è stata eseguita la prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto quadrato, le cui modalità operative sono descritte nel capitolo dedicato.

## 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 cm <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 60^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	Ma = 6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1 <sup>a</sup> ASTA	P1 = 0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,20$ 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)/(A $\delta$ ) = 11,66 kg/cm <sup>2</sup> ( prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm <sup>2</sup> )
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,489$ ( teoricamente : Nspt = $\beta_t N$ )

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

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

Rpd = resistenza dinamica punta [ area A]  
e = infissione per colpo =  $\delta / N$

M = peso massa battente (altezza caduta H)  
P = peso totale aste e sistema battuta

### UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm<sup>2</sup> = 0.098067 MPa  
1 MPa = 1 MN/m<sup>2</sup> = 10.197 kg/cm<sup>2</sup>  
1 bar = 1.0197 kg/cm<sup>2</sup> = 0.1 MPa  
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA**

n° 1

- indagine :	Wellness VP4 Giardino delle essenze e benessere	- data :	15/06/2023
- cantiere :	Comune di Villanova del Sillaro	- quota inizio :	Piano campagna
- località :	Parco di Via XI Febbraio, Villanova del Sillaro (L)	- prof. falda :	1,00 m da quota inizio
- note :		- pagina :	1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	4	42,0	----	1	6,20 - 6,40	3	20,5	----	7
0,20 - 0,40	3	31,5	----	1	6,40 - 6,60	3	19,4	----	8
0,40 - 0,60	3	28,9	----	2	6,60 - 6,80	6	38,7	----	8
0,60 - 0,80	2	19,3	----	2	6,80 - 7,00	5	32,3	----	8
0,80 - 1,00	2	19,3	----	2	7,00 - 7,20	5	32,3	----	8
1,00 - 1,20	2	19,3	----	2	7,20 - 7,40	4	25,8	----	8
1,20 - 1,40	2	19,3	----	2	7,40 - 7,60	4	24,5	----	9
1,40 - 1,60	2	17,8	----	3	7,60 - 7,80	5	30,6	----	9
1,60 - 1,80	2	17,8	----	3	7,80 - 8,00	4	24,5	----	9
1,80 - 2,00	2	17,8	----	3	8,00 - 8,20	5	30,6	----	9
2,00 - 2,20	2	17,8	----	3	8,20 - 8,40	6	36,7	----	9
2,20 - 2,40	2	17,8	----	3	8,40 - 8,60	5	29,1	----	10
2,40 - 2,60	2	16,6	----	4	8,60 - 8,80	5	29,1	----	10
2,60 - 2,80	2	16,6	----	4	8,80 - 9,00	6	34,9	----	10
2,80 - 3,00	2	16,6	----	4	9,00 - 9,20	6	34,9	----	10
3,00 - 3,20	2	16,6	----	4	9,20 - 9,40	7	40,7	----	10
3,20 - 3,40	2	16,6	----	4	9,40 - 9,60	12	66,5	----	11
3,40 - 3,60	3	23,2	----	5	9,60 - 9,80	14	77,6	----	11
3,60 - 3,80	3	23,2	----	5	9,80 - 10,00	10	55,4	----	11
3,80 - 4,00	6	46,4	----	5	10,00 - 10,20	8	44,3	----	11
4,00 - 4,20	7	54,1	----	5	10,20 - 10,40	8	44,3	----	11
4,20 - 4,40	5	38,7	----	5	10,40 - 10,60	8	42,3	----	12
4,40 - 4,60	5	36,3	----	6	10,60 - 10,80	7	37,0	----	12
4,60 - 4,80	4	29,0	----	6	10,80 - 11,00	6	31,8	----	12
4,80 - 5,00	3	21,8	----	6	11,00 - 11,20	6	31,8	----	12
5,00 - 5,20	5	36,3	----	6	11,20 - 11,40	6	31,8	----	12
5,20 - 5,40	3	21,8	----	6	11,40 - 11,60	6	30,4	----	13
5,40 - 5,60	4	27,3	----	7	11,60 - 11,80	6	30,4	----	13
5,60 - 5,80	3	20,5	----	7	11,80 - 12,00	6	30,4	----	13
5,80 - 6,00	4	27,3	----	7	12,00 - 12,20	6	30,4	----	13
6,00 - 6,20	3	20,5	----	7					

- 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 cm<sup>2</sup>** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [  $\delta$  = 20 cm ]

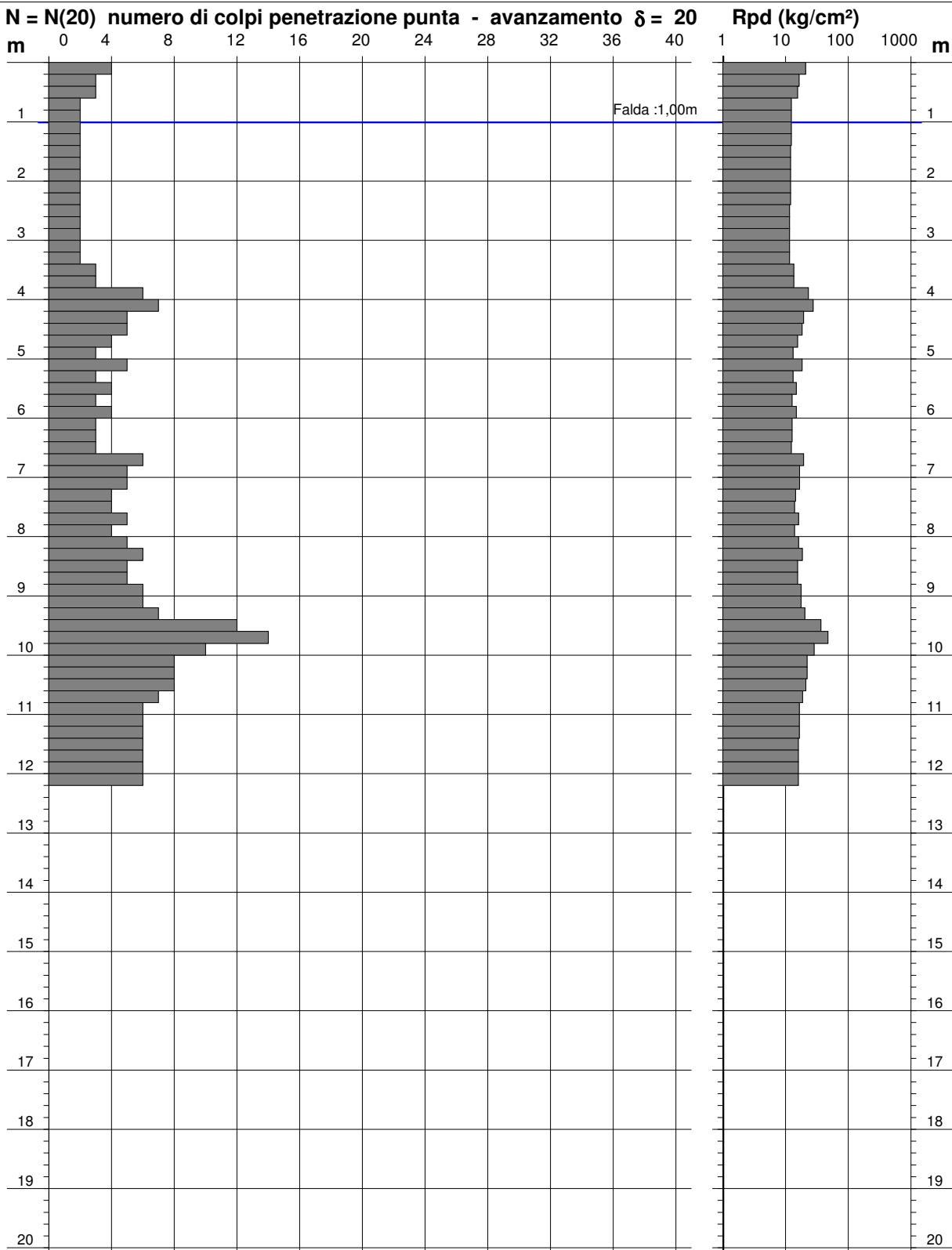
- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**  
**DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

n° 1

Scala 1: 100

- indagine : Wellness VP4 Giardino delle essenze e benessere - data : 15/06/2023  
 - cantiere : Comune di Villanova del Sillaro - quota inizio : Piano campagna  
 - località : Parco di Via XI Febbraio, Villanova del Sillaro (L) - prof. falda : 1,00 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 cm<sup>2</sup>** - D(diam. punta)= **51,00 mm**  
 - Numero Colpi Punta N = N(20) [  $\delta = 20$  cm ] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

#### • INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO

Il territorio del Comune di Villanova del Sillaro si colloca nella Pianura Padana, a Est di Sant'Angelo Lodigiano, a Ovest di Ossago Lodigiano e a Nord di Borghetto Lodigiano. Le coordinate geografiche decimali medie del terreno indagato sono: 45.236103 N - 9.480438 E.

#### La formazione della pianura

La Pianura Padana è costituita da una successione plio-quadernaria 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 delinarsi 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, fluvio-glaciali 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 fiumane 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 depositi 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 fluvio-glaciali e alluvionali, generati dall'azione erosiva e di deposito operata dalle fiumane che fuoriuscivano dalle lingue glaciali.
- Il settore di media pianura 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 fluvio-glaciali recenti (Diluvium recente), localmente interrotti dalle alluvioni dei corsi d'acqua principali.
- Il terzo settore, che 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 fluvio-glaciali 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.60 "PIACENZA", il territorio comunale di Villanova del Sillaro è costituito in superficie interamente dal seguente tipo di terreni:

- *fg<sup>m</sup>: Alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, prevalentemente sabbiose, con lenti limose e sottili livelli ghiaiosi e con strato di alterazione superficiale di debole spessore, generalmente brunastro (Pleistocene superiore)*

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 Villanova del Sillaro, 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.



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

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 fluvio-glaciali 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 fluvio-glaciale; 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 depositi 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 Villanova del Sillaro, 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 Villanova del Sillaro, al di là appunto del Sillaro, è costituita da canali e rogge destinati allo scorrimento delle acque di irrigazione 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.

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 Villanova del Sillaro, 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 Villanova del Sillaro, risulta che questi presentano una capacità protettiva da bassa a moderata nei confronti delle acque freatiche sotterranee, 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 successivamente sono ricavate dal PGT del Comune di Villanova del Sillaro (*Dott. Geologo Marco Daguati - Marzo 2011*).

La carta della PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (PSL) riporta la seguente dicitura:

- **Z4a:** *Zona con prevalenza di depositi alluvionali e fluvioglaciali granulari e/o coesivi. Effetti: amplificazioni litologiche.*

La carta dei VINCOLI riporta la seguente dicitura:

- Corpi idrici superficiali e relativa fascia di rispetto prevista dagli specifici regolamenti di polizia idraulica (T.U. 523/1904 e s.m.i. e R.D. 368/1904 e s.m.i.)

La carta di SINTESI riporta le seguenti diciture:

- Valle del Sillaro: depressione morfologica incisa sul Livello Fondamentale della Pianura, delimitata da modeste scarpate o rotture di pendenza del piano campagna.
- Presenza a tergo dell'area oggetto d'indagine di reticolo idrografico;
- Vulnerabilità del primo acquifero da alta ad elevata;
- Aree a bassa soggiacenza della falda ( $S < 2$  m).

La carta della FATTIBILITÀ GEOLOGICA riporta la seguente dicitura:

- **Classe 3, sottoclassi 3B e 3D. Fattibilità con consistenti limitazioni.**
  - *3B: Aree a bassa soggiacenza della falda ( $S < 2$  m);*
  - *3D: Valle del Sillaro.*

• **RAFFRONTO CON LA MAPPATURA DEL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)**

A seguito della Direttiva Europea 2007/60 CE – D. Lgs 49/2010, la Regione Lombardia ha elaborato il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), per cui ha realizzato delle carte illustranti le varie fasce di rischio di esondazione individuate all'interno del proprio territorio. Secondo ISPRA e Regione Lombardia, le mappe della pericolosità da alluvione contengono la perimetrazione, da predisporre avvalendosi di sistemi informativi territoriali, delle aree che potrebbero essere interessate da alluvioni secondo i seguenti scenari:

Probabilità di alluvione	Tempo di ritorno	Classe di Pericolosità	Scenario di Rischio
<i>Scarsa</i>	200-500 anni	P1	L
<i>Poco frequente</i>	100-200 anni	P2	M
<i>Frequente</i>	20-50 anni	P3	H

Le aree vengono individuate per ambiti territoriali distinti: reticolo idrografico principale (RP), reticolo idrografico secondario collinare e montano (RSCM), reticolo idrografico secondario di pianura (RSP), aree costiere lacuali (ACL). Vengono inoltre classificati elementi esposti ricadenti entro le aree allagabili secondo 4 gradi di rischio crescente da R1 moderato a R4 molto elevato.

L'area di Villanova del Sillaro in esame si colloca su un ambito territoriale classificato dal PGRA a rischio medio (R2) per la presenza di beni paesaggistici e culturali e a pericolosità di ambito RSP frequente (H).



## 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 - 0.6	4	-	-	-	-	-	0.25	1.80	42	1.125
2	0.6 - 3.8	3	-	-	-	-	-	0.19	1.78	44	1.194
3	3.8 - 4.0	7	25.0	29	245	1.90	1.45	-	-	-	-
4	4.0 - 6.6	4	-	-	-	-	-	0.25	1.80	42	1.125
5	6.6 - 9.4	7	25.0	29	245	1.90	1.45	-	-	-	-
6	9.4 - 10.0	18	47.0	32	330	1.98	1.57	-	-	-	-
7	10.0 - 12.2	10	35.0	30	268	1.93	1.50	-	-	-	-

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

E' (kg/cm<sup>2</sup>) = modulo di deformazione drenato

Cu (kg/cm<sup>2</sup>) = coesione non drenata

Dr % = densità relativa

W% = contenuto d'acqua

Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = 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 -1.00 m da piano campagna. Questo livello risente fortemente dei periodi di forte piovosità e irrigazione 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,

$$Q_{lim} = c N_c S_c + g_1 D N_q + 0,5 g_2 B N_s$$

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 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.

Ipotizzando, visto il livello della falda, di stare in condizioni non drenate e fondazioni tipo plinto con lato 100 cm:

Prova 1

da 0.6 a 3.8 m terreni a natura granulare

Cu = 0.19

e

Y' = 1.85 g/cm<sup>3</sup>

Profondità (m)	"rd" (q ultimo con Ø o Cu efficace / 1,8)	"q ultimo"
0.8	0.54 Kg/cmq	1.33 Kg/cmq
1.0	0.55 Kg/cmq	1.35 Kg/cmq
1.2	0.56 Kg/cmq	1.37 Kg/cmq
1.4	0.57 Kg/cmq	1.38 Kg/cmq
1.6	0.57 Kg/cmq	1.40 Kg/cmq
1.8	0.58 Kg/cmq	1.41 Kg/cmq
2.0	0.59 Kg/cmq	1.43 Kg/cmq

#### • VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Verifiche agli stati limite (D.M. 17 gennaio 2018) per fondazioni superficiali continue con profondità di posa di 0.8, 1.2, 1.6 e 2.0 m da piano campagna, con geometrie delle fondamenta e angoli di attrito riportati nella tabella precedente (portanza del terreno) e condizioni di saturità del terreno.

Secondo quanto previsto dalla vigente normativa la verifica di stabilità globale è stata effettuata secondo l'Approccio 2.

Prova 1

/	Profondità (m)	Approccio 2 (q ultimo / 2,3)
Verifica 1	0.8	0.58 Kg/cm <sup>2</sup>
Verifica 2	1.2	0.59 Kg/cm <sup>2</sup>
Verifica 3	1.6	0.61 Kg/cm <sup>2</sup>
Verifica 4	2.0	0.62 Kg/cm <sup>2</sup>

#### • 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. Va considerato comunque che i terreni, vista l'epoca a cui risale l'opera, dovrebbero aver già dissipato la maggior parte delle sovrappressioni.

Prova 1 - Plinto 100 cm - Profondità piano di posa a - 0.6 m da piano campagna

##### PARAMETRI DI CALCOLO ELABORATI

carico Kg/cm <sup>2</sup>	cedimento immediato (cm)	cedimento 30 anni secondario (cm)
0.60	1.001	1.497
0.70	1.193	1.785
0.80	1.384	2.070
0.90	1.575	2.355
1.00	1.765	2.639

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

#### • CATEGORIA MEDIA SUOLO DI FONDAZIONE

In base alle prove penetrometriche, e all'indagine HVSR 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 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."*

#### • INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI, INDAGINE GEOFISICA DI TIPO HVSR

L'indagine HVSR è una tecnica di indagine sismica passiva, non invasiva e di rapida esecuzione utilizzata per stimare le frequenze di risonanza di sito. Essa consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale nelle sue tre componenti spaziali (N-S, E-W, Up-Down), le frequenze proprie dei terreni costituenti il sottosuolo e le amplificazioni possibili allo scopo di valutare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica di un'opera. Un'indagine HVSR, a differenza di un'indagine MASW, non necessita alcun tipo di energizzazione esterna poiché utilizza come sorgenti dati il traffico veicolare, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo. Ciò comporta diversi vantaggi: per esempio, le acquisizioni di sismica passiva difficilmente subiscono interferenze esterne, poiché utilizzano le vibrazioni generate da fonti esterne come fonte di acquisizione dati, mentre una prova attiva le considererebbe un disturbo; non richiedono più di un solo operatore; rispetto alle comuni tecniche sismiche, la loro rapidità d'esecuzione è maggiore.

La procedura di inversione dei rapporti spettrali del tremore sismico consiste in tre passi:

- 1) Identificazione di un orizzonte stratigrafico superficiale (spesso tramite prova penetrometrica);
- 2) Identificazione del marker HVSR corrispondente (tramite la prova HVSR stessa);
- 3) Fit della curva HVSR teorica\* utilizzando i criteri ai punti 1 e 2 come vincoli.

\* *La curva HVSR teorica è un modello matematico che assume un campo di tremore con sorgenti puntuali distanti e posizionate casualmente sulla superficie e un campo d'onde che si propagano in un mezzo stratificato. Tale algoritmo utilizza come parametri i coefficienti di accoppiamento di Ben-Menahem e Singh (1981), la correzione di stabilità di Dunkin per i propagatori e valori di  $Q=10$  indipendente dalla frequenza.*

Dall'analisi delle componenti spettrali delle tracce registrate e tramite il rapporto tra le componenti orizzontale e verticale (Nakamura, Y. [1989]) è possibile ricavare la frequenza di risonanza del sito e ottenere un'interpretazione del profilo stratigrafico-sismico ad elevata profondità con stima sulla profondità del substrato sismico e del parametro Vs30, se all'indagine HVSR viene accoppiata un'indagine penetrometrica, o uno studio della letteratura sul sito in esame.

Per l'analisi spettrale delle tracce e la modellizzazione viene utilizzato il software Geopsy, conforme alle direttive fornite dal progetto di ricerca europeo SESAME (2005).

Questa tecnica è stata validata estensivamente in una serie di misure in Centro e Nord Italia che presentano una varietà di assetti geologici e consistita in:

- 1) Confronto delle curve di dispersione teoriche della velocità di fase delle onde di Rayleigh (calcolate sulla base dei modelli derivati dal fit delle curve HVSR) con le curve sperimentali (misurate con array ReMi ed ESAC);
- 2) Confronto delle stime di Vs30 con la tecnica a stazione singola con quelle ad array ottenute con ReMi ed ESAC;
- 3) Confronto della stratigrafia stimata con l'evidenza geologica superficiale e ogni altra evidenza disponibile.

### Frequenza di risonanza del sito

Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze quando viene eccitato da un tremore di qualsiasi origine, non solo naturale. Il punto di forza dell'indagine HVSR consiste proprio nel fatto che è possibile misurare le frequenze di risonanza dei terreni ovunque e in modo semplice.

Le frequenze a cui si manifesta il fenomeno della risonanza sono descritte dalla relazione  $f=V_s/4H$ , dove  $V_s$  è la velocità delle onde di taglio nello strato che risuona e  $H$  è lo spessore dello strato.

Dal grafico del rapporto tra le componenti spettrali orizzontale e verticale viene evidenziata la frequenza di risonanza (o le frequenze, se si è in presenza di un profilo stratigrafico con contrasti di impedenza significativi), rappresentata da un picco della curva.

La frequenza fondamentale del sito è da intendersi quella più significativa a bassa frequenza.

### La modellizzazione dello spettro HVSR

L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati a una modellizzazione sintetica dello spettro HVSR permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (una variazione litologica, per esempio). I dati ricavabili sono: profondità ( $h$ ), spessori ( $l$ ) e velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ). La restituzione di tali dati permette di elaborare una ricostruzione stratigrafica del sottosuolo e di calcolare il parametro Vs30 (velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri di profondità) al fine di valorizzare la categoria di sottosuolo.

Nel seguito faremo riferimento al metodo HVSR passivo che consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30m di profondità.

Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
0.0 - 1.0	1	151
1.0 - 8.0	7	187
8.0 - 12.0	4	225
12.0 - 20.0	8	287
20.0 - 26.0	6	336
26.0 - 30.0	4	381



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

### • SISMICITÀ DI SITO

Il territorio comunale di Villanova del Sillaro 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  $a_g/g < a_{0,15}$ .

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 esplicitate.

#### 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;

$F_o$  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.

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 contenente 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)	$A_g$ (g)	$F_o$ (-)	$T_c$ (s)
SLE	SLO	30	0.026	2.520	0.194
	SLD	50	0.033	2.556	0.214
SLU	SLV	475	0.074	2.563	0.285
	SLC	975	0.095	2.545	0.294

Coordinate decimali del sito: 45.236103 N - 9.480438 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:  $VN \leq 10$  anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto  $\geq 2$  anni.
- Tipo 2:  $VN \geq 50$  anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- Tipo 3:  $VN \geq 100$  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  $VR \leq 35$  anni si pone comunque  $VR = 35$  anni.

In riferimento alla costruzione in progetto, si sono attribuiti i seguenti parametri:

VN	Vita nominale	$\geq 50$
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  $\leq 4.0$  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

*“Depositati 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  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_u,30 < 250$  kPa nei terreni a grana fina).”*

Tale classificazione è ulteriormente confermata dall'analisi geosismica eseguita con il metodo HVSR, finalizzata alla valutazione delle onde  $V_s$  in area soggetta a definizione dell'aspetto sismico, effettuata nella stessa zona d'indagine, da cui è emerso che la velocità delle onde sismiche  $V_{s,30}$  nei primi 30 metri di profondità risulta pari a **254.10** 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	$1 \leq 1,4 - 0,4 * Fo * a_g / g \leq 1,2$	$1,1 * (Tc^*)^{-0,2}$
C	$1 \leq 1,7 - 0,6 * Fo * a_g / g \leq 1,5$	$1,05 * (Tc^*)^{-0,3}$
D	$0,9 \leq 2,4 - 1,5 * Fo * a_g / g \leq 1,8$	$1,25 * (Tc^*)^{-0,5}$
E	$1 \leq 2 - 1,1 * Fo * a_g / g \leq 1,6$	$1,15 * (Tc^*)^{-0,4}$

## 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 $i \leq 15^\circ$	-	1
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	Sommità del pendio	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	Cresta del rilievo	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i < 30^\circ$	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  $A_{max}$ , 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  $A_g$  (Accelerazione massima sul sito), pertanto:

- TR = 30 anni (SLO)  $A_{max} = a_g * SS * ST = [0.026 \text{ g} * 1.5 * 1] = 0.0390 \text{ g}$
- TR = 50 anni (SLD)  $A_{max} = a_g * SS * ST = [0.033 \text{ g} * 1.5 * 1] = 0.0495 \text{ g}$
- TR = 475 anni (SLV)  $A_{max} = a_g * SS * ST = [0.074 \text{ g} * 1.5 * 1] = 0.1110 \text{ g}$
- TR = 975 anni (SLC)  $A_{max} = a_g * SS * ST = [0.095 \text{ g} * 1.5 * 1] = 0.1425 \text{ g}$

## • 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.

Prova 1

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE															
Metodo di Youd e Idris (2001)															
PARAMETRI:															
$\rho$	=	1,85	$\text{g/cm}^3$	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>R=</td> <td colspan="3">Resistenza al taglio a</td> </tr> <tr> <td>T=</td> <td colspan="3">Sforzo di taglio indotto</td> </tr> </table>				R=	Resistenza al taglio a			T=	Sforzo di taglio indotto		
R=	Resistenza al taglio a														
T=	Sforzo di taglio indotto														
$S_{vo}$	=	0.111	$\text{kg/cm}^2$												
$S_{vo}'$	=	0.111	$\text{kg/cm}^2$												
profondità della prova	=	60	cm												
$N_{SPT}$	=	4	colpi												
profondità falda	=	100	cm												
FORMULE:				RISULTATI:											
Na	=	$N_{SPT} * (1.7 / (S_{vo} + 0.7)) + N_f$		=	13.38471023	Na									
$N_f$	=	5													
R	=	$0.2565 * [0.16 * \text{Rad}QNa + (0.2133 * \text{Rad}QNa)^{14}]$		=	0.156548876	R									
T	=	$0.65 * ((a_{max}/g) * (S_{vo}/S_{vo}')) * r_d$		=	0.0960375	T									
$a_{max}/g$	=	0.15													
$r_d$	=	0.985													
$F_s = R/T$	>	1.3 Sabbie sciolte		=	1.63008071	Verificato $F_s$									
	>	1.5 Sabbie mediamente addensate				Verificato $F_s$									

Il risultato ottenuto è **1.63008071**, 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 mediocri per l'opera in progetto, ma sufficienti a garantire gli interventi se dimensionate in maniera corretta le opere di fondazione.

Al momento delle indagini è stato individuato il livello della falda freatica, posto a -1.00 m da piano campagna. Questo livello risente fortemente dei periodi di forte piovosità e irrigazione e potrebbe portarsi più prossimo a piano campagna.

In base alle prove penetrometriche, e all'indagine HVSR 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 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.”*

## • 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, 22/06/2023

