

CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO
COMUNE DI POZZUOLO MARTESANA

Società CAMBIAGOCASA S.r.l.

**Via Montegrappa, Pozzuolo Martesana (MI)
Foglio 7, mappali 674, 675, 584**

Piano Attuativo Tr8



**RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DELLA DGR 2616/2011
E
RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA AI SENSI DELLE NTC 2018**

Data	Redazione	Timbro / Firma
Ottobre 2023	Dr. Geol. Giorgio D'Onofrio	

STUDIO GEOLOGIA & AMBIENTE

DR. GIORGIO D'ONOFRIO - GEOLOGO

Via Ostiglia, 6 - 20135 MILANO

Tel +39 0291570302

www.studiogeologiaeambiente.it - info@studiogeologiaeambiente.it

P.IVA 12487400157 - CF DNFG70E02E514H

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. DESCRIZIONE DEL SITO E DELL'INTERVENTO EDILIZIO	4
2.1 Inquadramento geografico e catastale	4
2.2 Descrizione stato di progetto	5
3. FATTIBILITÀ GEOLOGICA, VINCOLISTICA E RISCHIO IDRAULICO	7
4. DESCRIZIONE DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO	11
4.1 Inquadramento geomorfologico, geologico e idrografico.....	11
4.2 Inquadramento idrogeologico	12
4.3 Piezometria della prima falda	15
5. INDAGINI E PROVE ESEGUITE.....	16
6. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO	19
7. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	20
8. ANALISI DELL'AZIONE SISMICA.....	22
8.1 Approfondimento sismico ai sensi della D.G.R. IX/2616 del 30/11/11	23
8.2 Approfondimento sismico di Livello 2.....	27
9. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	29
10. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	32
11. PROGETTO E TIPOLOGIE FONDAZIONALI VERIFICATE.....	33
12. CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO DI FONDAZIONE E CEDIMENTI	34
12.1 Analisi della capacità portante (RD) secondo le NTC (D.M. 17/01/2018)	34
12.2 Stima dei cedimenti.....	36
13. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	38

Allegato 1: Documentazione prove penetrometriche

1. PREMESSA

In seguito all'incarico conferitomi dalla Società CAMBIAGOCASA S.r.l. viene redatta la presente Relazione Geologica ai sensi della DGR 2616/2011 n. IX p.to 4 e Geotecnica ai sensi delle **NTC 2018**, in Via Montegrappa a Pozzuolo Martesana, oggetto di permesso di Costruire convenzionato per nuova edificazione residenziale. Il documento è finalizzato alla verifica della fattibilità dell'intervento proposto verificando le prescrizioni contenute all'interno del Piano delle Regole del PGT comunale per la specifica classe di fattibilità geologica e per la specifica classe di pericolosità sismica all'area di intervento.

La relazione viene altresì redatta ai sensi del **D.M. 17.01.18** ("Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"), che fissa le norme tecniche per le indagini sui terreni con indicazioni geologiche e geotecniche riguardo alle scelte del progetto definitivo, considerando anche gli aspetti sismici per la progettazione.

Scopo ultimo del presente documento è quello di fornire i carichi di esercizio per le strutture in progetto, sulla base delle verifiche della capacità portante e dei cedimenti che potranno generarsi in seguito alla trasmissione dei carichi al terreno.

Qualora in fase esecutiva si rendesse necessaria l'esecuzione di prove specifiche, in accordo con la committenza ed i progettisti, le stesse verranno realizzate.

2. DESCRIZIONE DEL SITO E DELL'INTERVENTO EDILIZIO

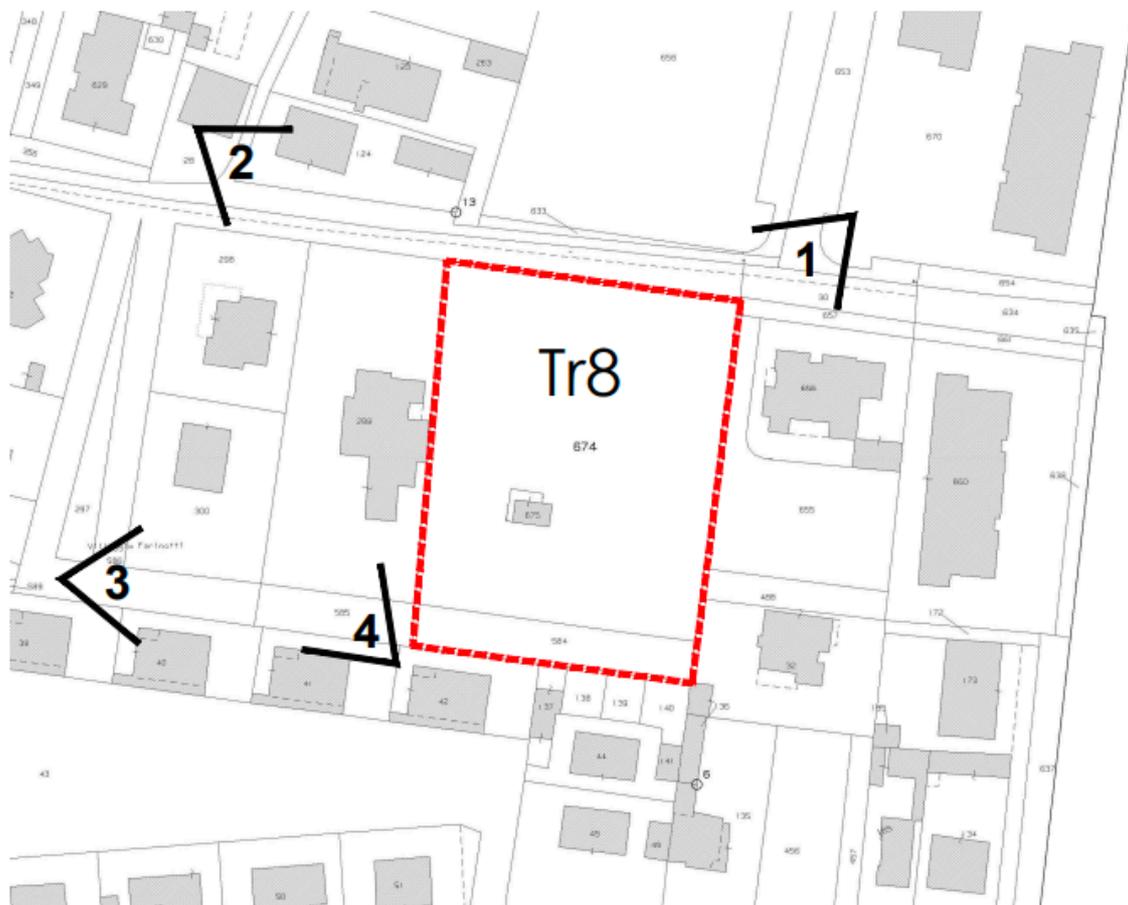
2.1 Inquadramento geografico e catastale

L'area oggetto di studio è ubicata nella porzione nord-orientale urbana del Comune di Pozzuolo Martesana, in Via Montegrappa. (**Figura 1**) ed è inserita in un comparto di ambito di trasformazione per la crescita delle funzioni residenziali, in attuazione con Piano Attuativo.



Figura 1 Foto aerea di inquadramento

Dal punto di vista catastale, il lotto è identificato al Foglio 7, Mappali 674, 675, 584. Di seguito (**Figura 2**) si riporta un estratto mappa catastale dell'area oggetto del presente documento.



ESTRATTO MAPPA CATASTALE

Figura 2 Estratto mappa catastale – Comune di Pozzuolo Martesana

2.2 Descrizione stato di progetto

L'intervento edilizio prevede la realizzazione di due nuovi fabbricati residenziali con autorimessa e cantine interrato, piano terra, piano primo, piano secondo e piano terzo.

Si riportano di seguito la planimetria dello stato di progetto dell'area in oggetto (**Figura 3**).

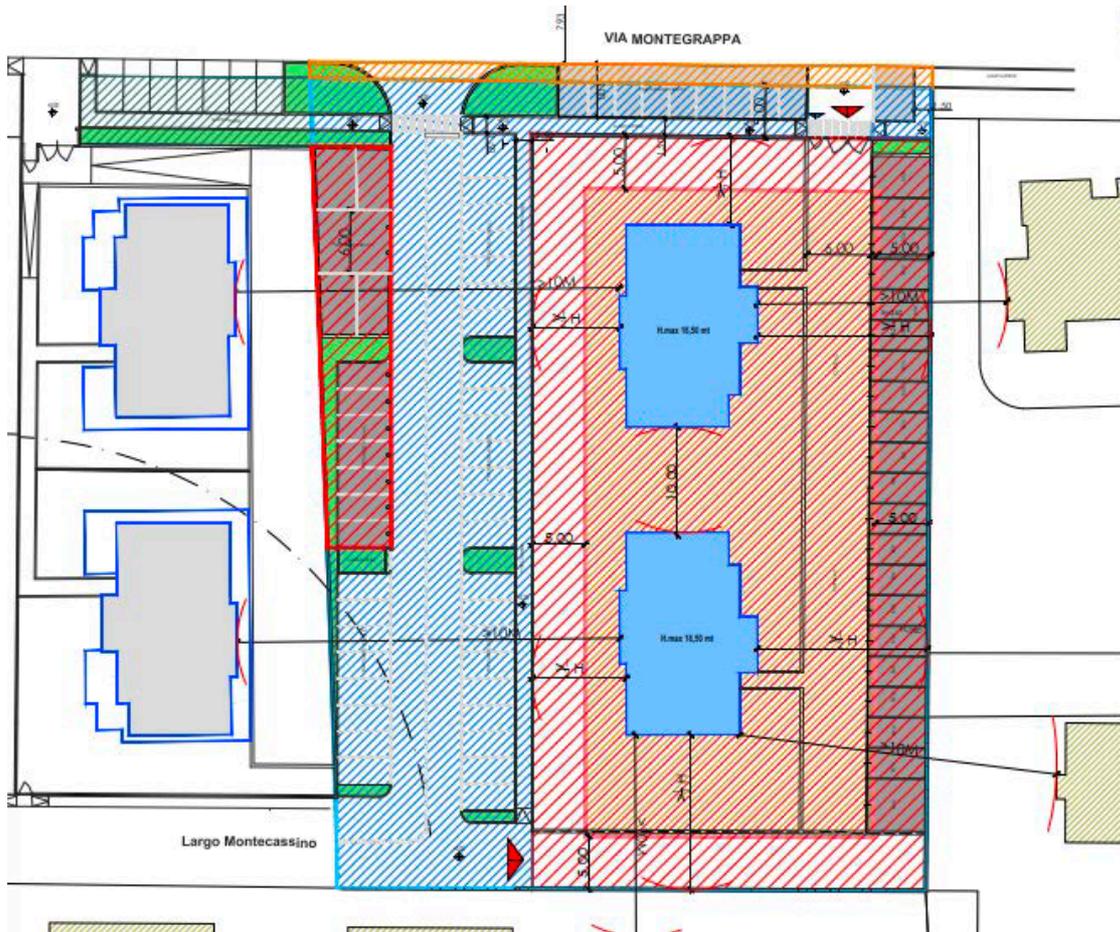


Figura 3 – Planivolumetrico dello stato di progetto

3. FATTIBILITÀ GEOLOGICA, VINCOLISTICA E RISCHIO IDRAULICO

Lo studio geologico comunale a supporto del P.G.T. inserisce l'area in esame all'interno della **Classe 3b** di fattibilità geologica per le azioni di piano (**Figura 4**), con **consistenti limitazioni** all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. La porzione sudoccidentale dell'area è inserita all'interno della classe di fattibilità **3c** con **consistenti limitazioni** con obbligo di verifica della compatibilità geologica e geotecnica ai sensi del D.M. 17/01/2018, per i livelli di progettazione previsti per legge.

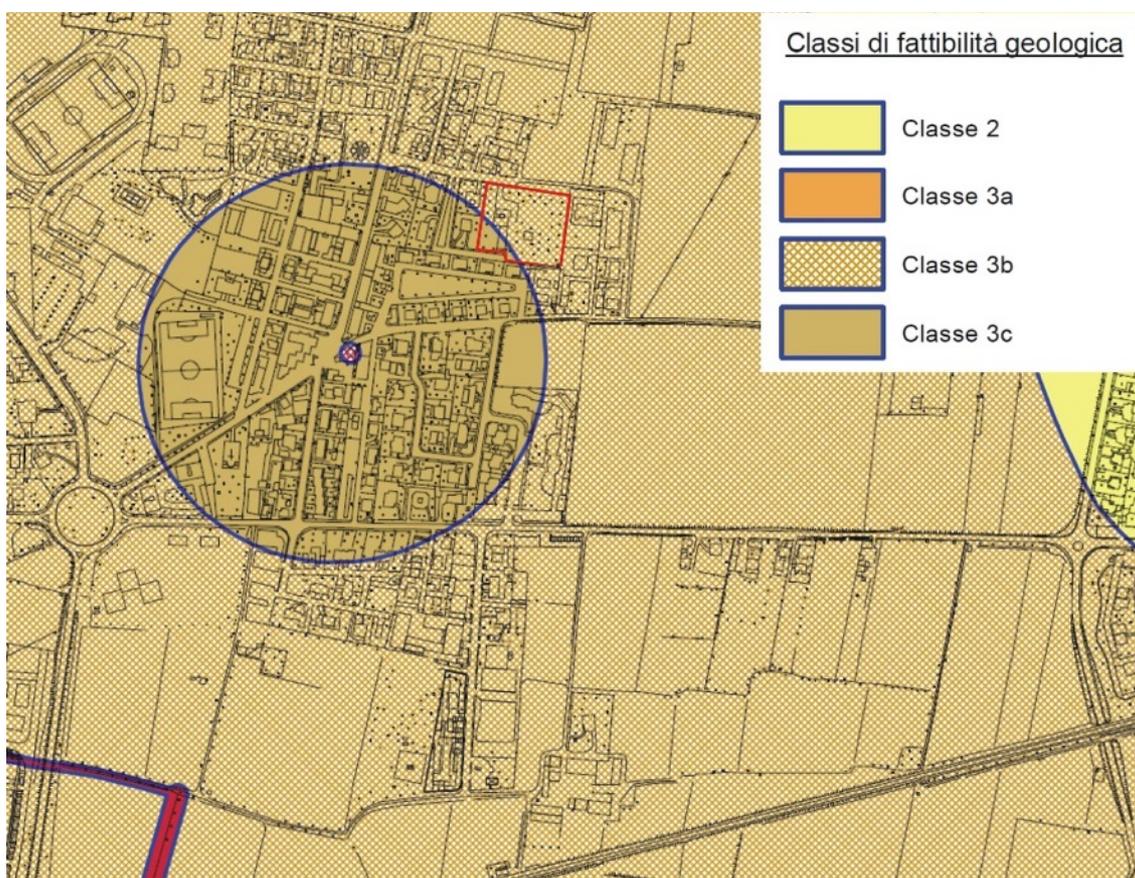


Figura 4 Estratto carta della fattibilità geologica a supporto del PGT Comunale

Come mostrato nella **Figura 5**, l'area del Lotto 1 oggetto di intervento non è soggetta a vincoli a parte quello legato alla fascia di rispetto dei pozzi idropotabili nella porzione sud-occidentale del lotto.



Figura 5 Estratto carta dei vincoli di difesa del suolo a supporto del PGT del Comunale

Per quanto riguarda il rischio idraulico, in data 17/12/2015 con delibera n. 4/2015 l'Autorità di Bacino del Fiume Po ha adottato il "Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico padano (PGRA)", e con delibera 5/2015 ha adottato il "Progetto di Variante al Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI).

Fino all'approvazione definitiva di questa variante PAI per le Aree a Rischio Significativo (ARS) individuate nelle mappe di Pericolosità e del Rischio di Alluvioni (piani di emergenza ex art.67.5 DLgs 152/06) vanno applicate le misure previste nell'"Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1 commi 1 e 2, D.L. 11 giugno 1998, n. 180" adottato con DPCM 29.09.1998 per le aree di cui all'art. 1, comma 1 lett. B del DL n.279/2000 conv. L.365/2000.

La Giunta regionale ha approvato in data 19/06/2017 la delibera n. 6738 "Disposizioni concernenti l'attuazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza", pubblicata sul BURL n. 25 Serie Ordinaria del 21/06/2017.

A dicembre 2018 si è avviato il processo di revisione del PGRA (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni) del fiume Po che terminerà entro dicembre 2021, nel rispetto delle scadenze fissate dalla Direttiva Alluvioni (Direttiva europea 2007/60/CE) e dal d.lgs. n. 49 del 2010.

In **Figura 6** viene riportata lo stralcio della mappa della pericolosità e del rischio idraulico aggiornata alla direttiva alluvioni 2007/60/CE, revisione 2022.

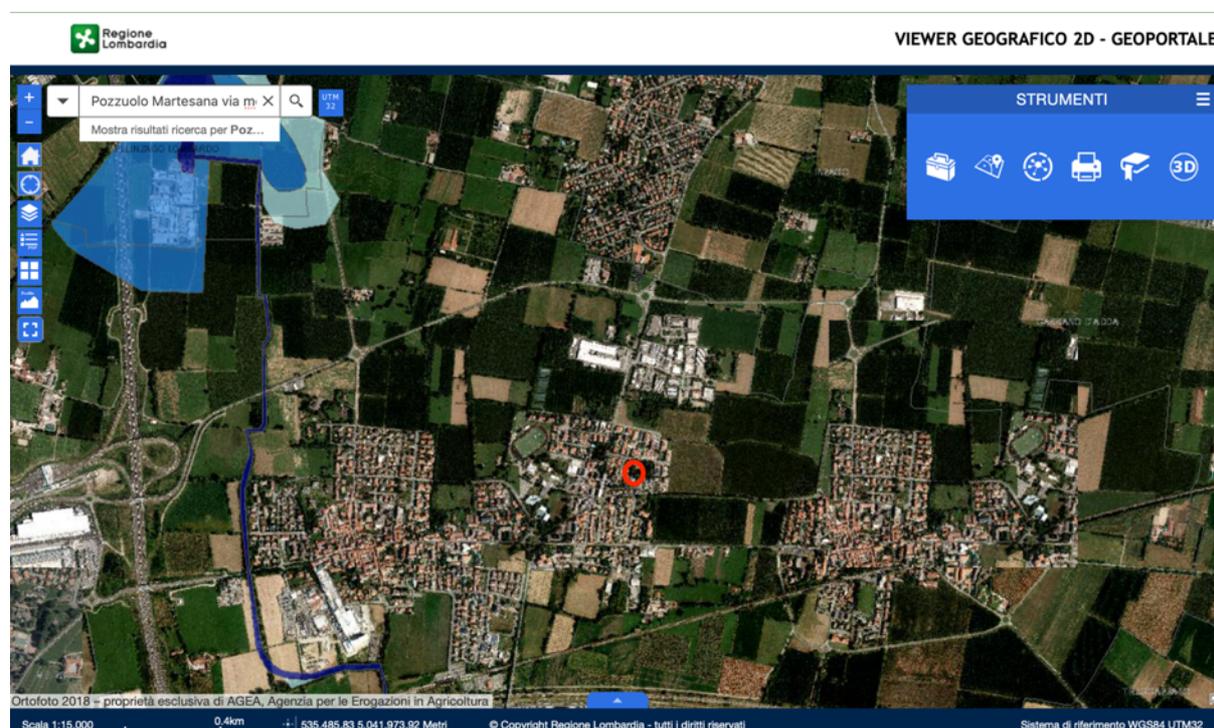




Figura 6 Mappa pericolosità e del rischio idraulico-Stralcio direttiva alluvioni 2007/60/CE- 2020

Sulla base della cartografia comunale e regionale, l'area in oggetto non ricade in alcuna fascia di pericolosità o rischio idraulico.

4. DESCRIZIONE DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

4.1 Inquadramento geomorfologico, geologico e idrografico

L'area di studio può essere inquadrata nel settore della media pianura poiché si colloca subito al limite meridionale delle estreme propaggini terrazzate dell'alta pianura milanese che arrivano fino ai comuni di Gessate e Bellinzago Lombardo. Questo settore della media pianura è costituito interamente da materiali attribuibili al Fluvioglaciale e Fluviale würmiano (Pleistocene superiore) e l'insieme di queste superfici viene chiamato Livello Fondamentale della Pianura (LFP). Da un punto di vista tessiturale nella Pianura Padana vengono distinte da Nord a Sud delle fasce a granulometria decrescente, passando dalla fascia a ghiaie prevalenti, poi a sabbie e ghiaie e infine la fascia a sabbie prevalenti.

In direzione est-ovest non si hanno differenze significative dal punto di vista granulometrico, mentre si hanno delle radicali differenze litologiche in quanto varia la natura delle zone di alimentazione. Nel settore orientale della pianura lombarda prevalgono i sedimenti carbonatici derivanti dal disfacimento delle Alpi meridionali carbonatiche di età mesozoica. La dinamica evolutiva che ha caratterizzato questa porzione della pianura Padana, infatti è dovuta con l'inizio della fase erosiva di tutto l'arco alpino a partire dal Messiniano (5.2 MA), piano in cui si è verificata l'essiccazione di tutti i bacini lacustri mediterranei. E' iniziata così la deposizione dell'estesa copertura sedimentaria di depositi fluviali e in seguito fluvioglaciali che ha portato alla creazione dell'attuale pianura.

L'intero territorio comunale di Pozzuolo Martesana è costituito da sedimenti di origine fluvioglaciale e fluviale attribuibili alla glaciazione Würm, caratterizzate perlopiù da ghiaie (Figura 7).

Al fine di valutare con maggior dettaglio la litologia dei terreni dell'area in esame, è stata consultata la Carta geologica contenuta nello Studio della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica a supporto del PGT del Comune di Pozzuolo Martesana riportato nella **Figura 7**.

La carta mostra che nell'area in esame i terreni sono costituiti da depositi di alluvioni-fluvioglaciali sabbiose e ghiaiose wurmiane.

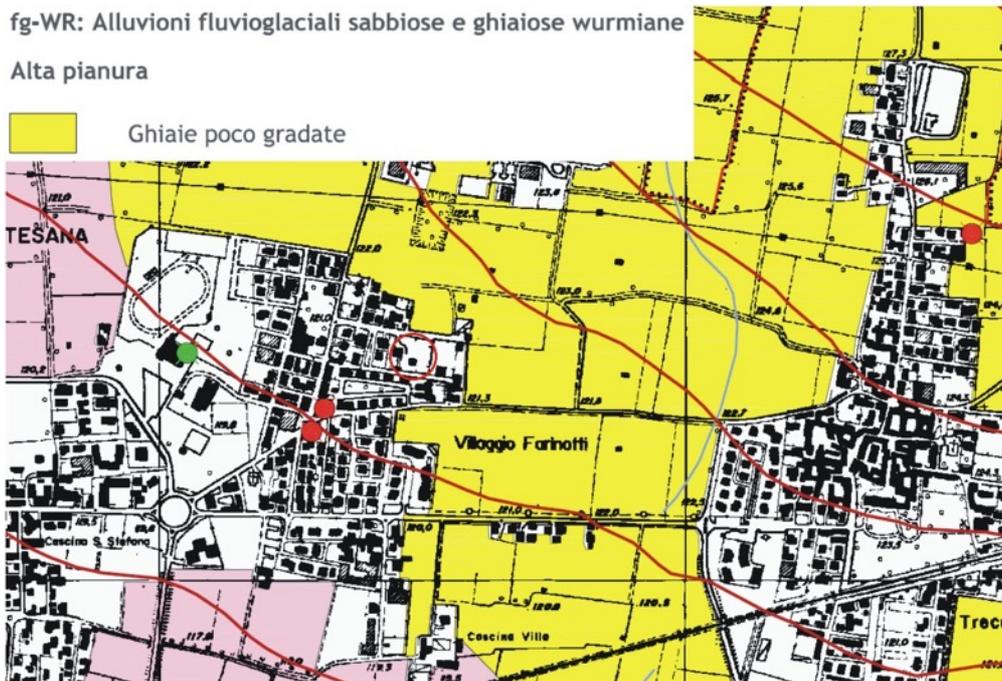


Figura 7 Estratto Carta geologica a supporto del PGT del Comune di Pozzuolo Martesana

4.2 Inquadramento idrogeologico

L'assetto idrogeologico della Provincia di Milano è caratterizzato dalla presenza di più acquiferi sovrapposti all'interno dei depositi pleistocenici. Vengono solitamente distinti un acquifero tradizionale ed uno profondo. Il primo si trova all'interno delle Unità alluvionali del Pleistocene medio e superiore le quali, dal punto di vista prettamente idrogeologico, possono essere suddivise in tre unità omogeneamente distribuite in tutta la zona milanese:

Litozona sabbioso-ghiaiosa

Costituisce la sede dell'acquifero superficiale ad elevata permeabilità e soggetto ad intenso sfruttamento. Questa litozona corrisponde ai depositi del livello fondamentale della pianura, ai depositi terrazzati con "ferretto" ed al ceppo, ovvero alle unità caratterizzate da granulometrie elevate. La granulometria è in genere decrescente da nord verso sud, sia dall'alto verso il basso e sia longitudinalmente.

Gli spessori di questa litozona sono molto importanti al fine di valutare anche le potenzialità idriche della regione. Il livello inferiore viene identificato da tutti con la comparsa dei primi orizzonti argillosi che isolano la falda superficiale dalle falde semi-artesiane sottostanti. La litozona sabbioso-ghiaiosa viene ulteriormente in tre unità nel territorio urbano di Milano:

- Unità ghiaioso-sabbiosa: sedimenti fluvioglaciali del Pleistocene Superiore (Würm Aut.).
- Unità ghiaioso-sabbioso-limoso: depositi fluvioglaciali del Pleistocene Medio (Riss-Mindel Aut.).
- Unità a conglomerati e arenarie basali: litologie appartenenti al ceppo autoctono (non si estende con continuità in tutta l'area e, nella zona meridionale, viene accorpata all'Unità precedente).

La sequenza ha uno spessore medio di circa 100 m e contiene due falde distinte: una libera ed una semi-confinata. La falda libera si estende fino alla profondità di 40-50 m ed è separata dalla sottostante falda semi-confinata da un aquitard limoso con spessore medio di 5-6 m.

Unità sabbioso-argillosa

Contiene degli importanti acquiferi separati dal primo da alcuni livelli argillosi. L'importanza è data dal fatto che nel corso degli ultimi anni per via dell'inquinamento della falda superficiale in alcune zone della pianura lombarda questo acquifero è stato ricercato e sfruttato nel corso delle nuove perforazioni. Si tratta di una litozona a granulometria fine con livelli sabbiosi alternati a orizzonti argillosi che spesso isolano piccole falde all'interno dell'acquifero. La potenzialità di questo acquifero è molto limitata per via della scarsa potenzialità laterale degli strati permeabili. Se ne raccomanda quindi un uso attento e riservato solo alle acque per uso potabile. Tutti i nuovi pozzi ad uso acquedottistico attingono in questa litozona.

Litozona argillosa

Sede degli acquiferi profondi, la litozona è composta da sedimenti di origine marina molto fini, argillosi, con diffuse intercalazioni limose sede dell'acquifero. Le acque di questo acquifero sono generalmente sconsigliate all'uso potabile per via di presenza di liquidi salati o salmastri. A volte però si rinvergono lenti di acqua potabile emunte da pozzi profondi.

Le tre litozone testimoniano l'evoluzione della pianura Padana avvenuta nel corso della storia geologica. La prima litozona rappresenta un ambiente di trasporto e sedimentazione ad energie elevate, continentale di ambiente fluviale e

fluvioglaciale. La litozona sabbioso argillosa un ambiente di transizione tra la prima e l'ultima litozona.

La **Tabella 1** riassume l'assetto strutturale del sottosuolo della Provincia di Milano correlando le diverse unità individuate (litologiche, idrostratigrafiche, stratigrafiche ed idrogeologiche) proposte dai diversi autori mentre nella **Tabella 2** sono riassunti i parametri idrogeologici essenziali dell'acquifero tradizionale e di quello profondo, ricavati dalla bibliografia.

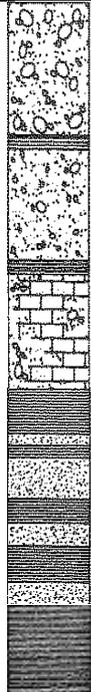
	Età	Unità litologiche (Martini B. e Mazzarella, 1971)		Unità idrostratigrafiche (Francani V. e Pozzi R., 1981)		Unità stratigrafiche (AGIP)	Unità idrogeologiche (Avanzini M. et al., 1995)	Gruppi acquiferi (Regione Lombardia & AGIP, 2002)
		Litozona ghiaioso sabbiosa	Acquifero tradizionale	Fluvioglaciale Würm auct. (Diluvium recente)	I° acquifero			
	Pleistocene superiore	Litozona ghiaioso sabbiosa	Acquifero tradizionale	Fluvioglaciale Würm auct. (Diluvium recente)	I° acquifero	Alluvioni	Unità ghiaioso-sabbiosa	A
	Pleistocene medio			Fluvioglaciale Riss-Mindel auct. (Diluvium medio antico)	II° acquifero		Unità ghiaioso-sabbiosa-limosa	
					Ceppo auct.			Unità a conglomerati e arenarie basali
Pleistocene inferiore	Litozona sabbioso argillosa	Acquiferi profondi	Villafranchiano	III° acquifero	Sabbie di Asti	Unità sabbioso-argillosa (facies continentale e di transizione)	C	
						Litozona argillosa	Unità argillosa (facies marina)	D

Tabella 1 Schema della struttura del sottosuolo milanese.

Acquifero	Trammissività media (m ² /s)	Conducibilità idraulica media (m/s)	Portata specifica (l/sm)
Tradizionale	10 ⁻²	10 ⁻³	10-20
Profondo	5x10 ⁻³	5x10 ⁻⁴	qualche unità

Tabella 2 Parametri idrogeologici essenziali degli acquiferi milanesi

4.3 Piezometria della prima falda

La falda freatica (cioè la falda libera che interessa tutto il primo strato di materiali fino a circa quaranta metri di profondità) è sempre stata presente a pochi metri di soggiacenza valutabile principalmente sulla base della ricca documentazione tecnica esistente e disponibile presso gli Enti pubblici competenti. Tale livello subisce però continue variazioni anche a carattere stagionale, legate sia a motivi naturali (diverse condizioni meteorologiche e di precipitazione) che antropici (irrigazioni e prelievi).

La **Figura 8**, tratta carta idrogeologica dello studio geologico comunale, mostra che l'area di indagine si trova in prossimità dell'isopiezia 114,5 m s.l.m. e, considerando un piano campagna di 125 m s.l.m, la soggiacenza nell'area di interesse è di circa 8-10 m con direzione del flusso idrico sotterraneo NNE-SSW.



Figura 8 Estratto della carta idrogeologica del PGT del Comune di Pozzuolo Martesana con linee isopiezometriche equidistanti 1 m

5. INDAGINI E PROVE ESEGUITE

Nello scorso gennaio, all'interno dell'area oggetto di permesso di costruire, ed anche nel lotto adiacente, sono state realizzate alcune indagini di tipo geognostico, geotecnico, sismico ed idrogeologico mediante l'esecuzione di n. 5 prove penetrometriche fino alla massima profondità di 6,6 m dal p.c. e n. 3 prove di permeabilità in foro e n. 1 stesa MASW. Nella seguente **Figura 10** è riportata l'ubicazione delle indagini eseguite.

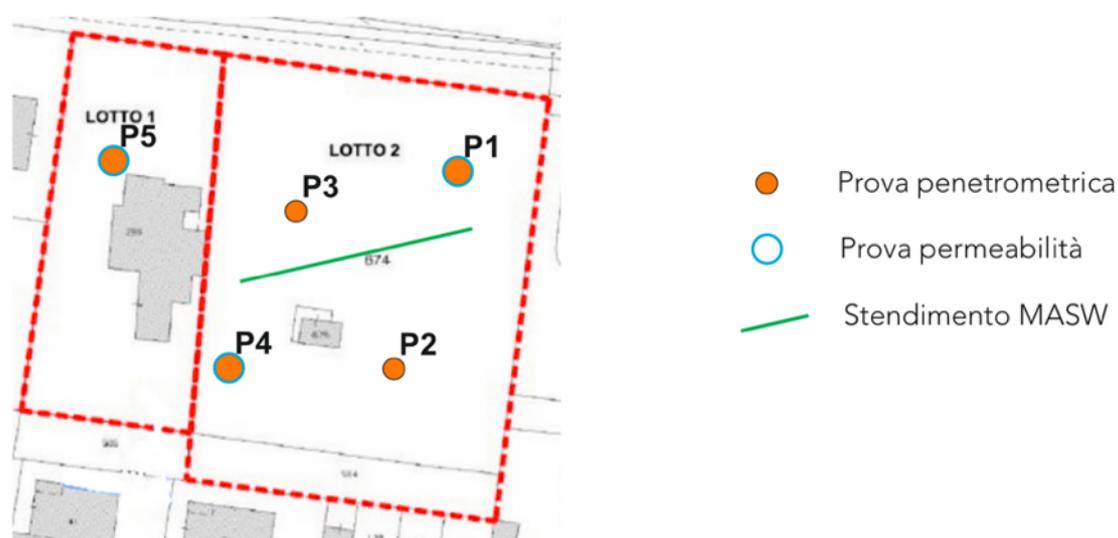
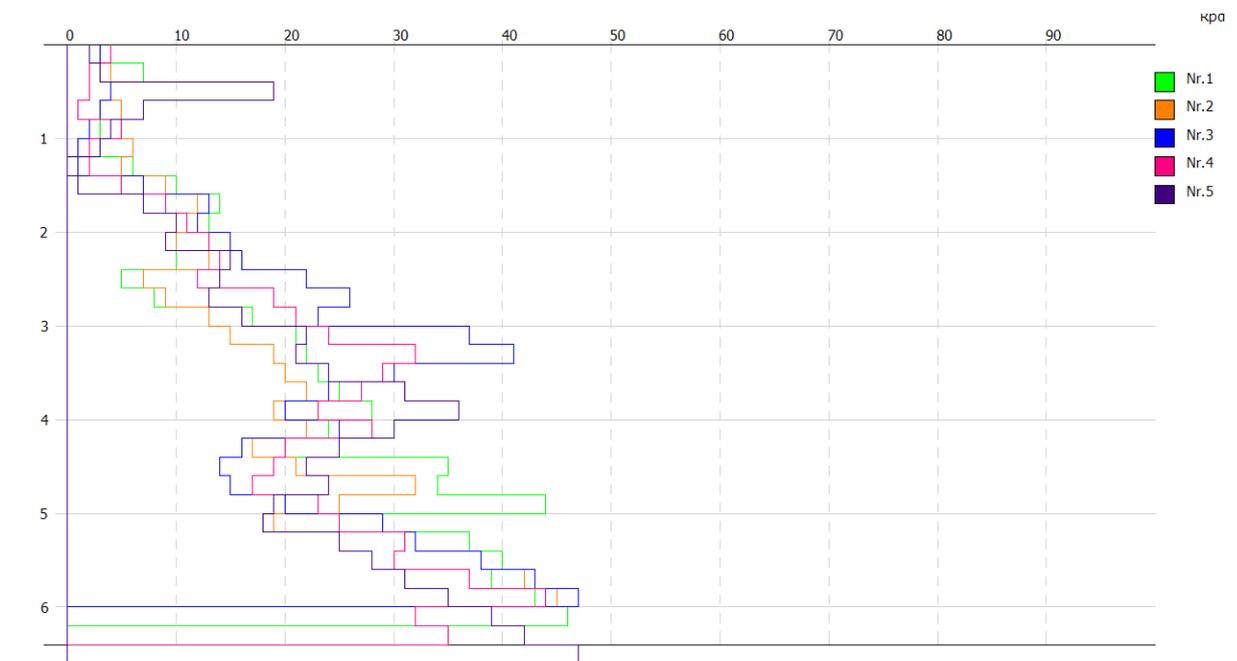


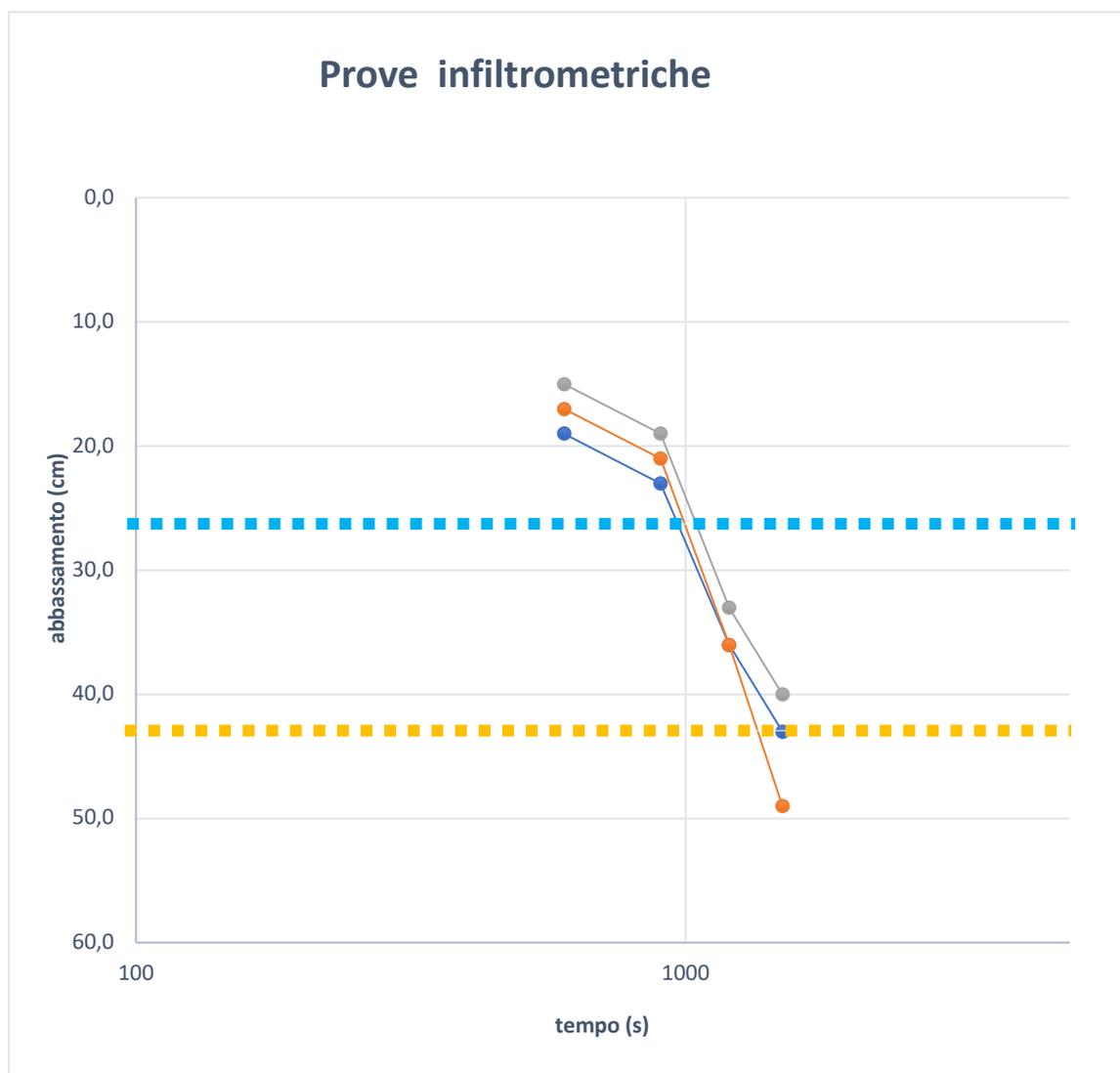
Figura 9 Ubicazione prove in situ

Di seguito si riportano alcune fotografie delle attività svolte, il diagramma comparativo dei 5 grafici penetrometrici (per i singoli elaborati vedi **Allegato 1**) e il risultato delle tre prove di permeabilità eseguite.

Prova P1	Prova P2
	

Prova P3	Prova P4
	
Prova P5	
	





Il coefficiente di permeabilità medio ottenuto dalle prove, pari a $3,2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ è compatibile con le caratteristiche litologiche dei terreni granulari presenti a partire dalla quota di circa 2,0-2,50 m dal p.c.

Per la prova sismica si rimanda allo specifico capitolo.

6. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geologico di riferimento dei primi 36 metri è stato ricavato dai risultati delle indagini, prove e pozzi realizzati in aree adiacenti a quella in esame, uniti ai dati acquisiti durante le indagini sito-specifiche. Il modello, vista la limitata estensione del sito, può essere considerato omogeneo in tutta l'area e può essere così schematizzato (**Tabella 3**).

Profondità	Descrizione	Falda
0,0 - 1,50 m	Terreno di copertura	6-8 m (valore cautelativo)
1,50 – 15,00 m	Sabbia e ghiaia, sabbia argillosa	
15,00 – 36,00 m	Ghiaia grossa e sabbia media	

Tabella 3 Modello geologico di riferimento del sottosuolo dell'area in esame

7. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Il sottosuolo, investigato da prove e sondaggi eseguiti in un intorno congruo dell'area e presenti nel PGT comunale, può essere schematizzato come un sistema a 4 strati (litozone) principali, individuati da specifici valori di resistenza penetrometrica dinamica e presumibilmente da omogenee peculiarità litologiche (**Figura 11**).

Le litozone risultano sovrapposte e con resistenza penetrometrica crescente in funzione della profondità.

Parametro	Nspt (colpi da prova Spt)	g (peso di volume)	Φ (angolo di attrito)	c (coesione)	E (modulo di deformazione)
u.d.m.	colpi/piede	KN/m ³	°	Kg/cm ²	Kg/cm ²
Litozona 1	6 ÷ 8	15÷16	25	0	75÷85
Litozona 2	17 ÷ 19	16 ÷ 17	30	0	165 ÷ 175
Litozona 3	33 ÷ 35	17 ÷ 18	32	0	240 ÷ 260
Litozona 4	70÷80	19 ÷ 20	34	0	430 ÷ 450

Figura 10 Modello geotecnico dell'area di studio

I valori di Nscpt sono stati riferiti a quelli di Nspt (che costituisce lo standard di riferimento) tramite un fattore correttivo pari a 1.25, solitamente utilizzato in terreni granulari come quelli in esame ($N_{spt} = 1.25 \times N_{scpt}$), prevedendo unicamente il fattore di conversione strumentale in relazione al rendimento dello stesso.

La litozona 1 è caratterizzata dalla presenza di strato di riporti e terreno vegetale. Viene rilevato fino ad una profondità di circa 1,5 m rispetto al piano campagna. Considerate le peculiarità del riporto si ritiene poco significativa una caratterizzazione geotecnica.

Nella litozona 2, posta inferiormente alla precedente, si riscontra la comparsa di terreno naturale allo stato scarsamente addensato, trattasi di terreni con scarse caratteristiche geotecniche. Viene rilevato sino alla profondità di circa 3,00 m da p.c.

Nella litozona 3 si riscontra un lieve aumento della resistenza penetrometrica, che indica condizioni di moderato addensamento dei terreni, a cui competono caratteristiche geologico-tecniche leggermente migliori rispetto allo strato precedente (mediocri). Questa litozona va da 3,0 m a 4,5 m dal p.c.

Nella litozona 4, posta inferiormente alla precedente, si riscontra la comparsa di terreno naturale allo stato scarsamente addensato indicativo della presenza di terreni con buone caratteristiche geotecniche. Viene rilevato sino alla massima profondità indagata.

8. ANALISI DELL'AZIONE SISMICA

La classificazione sismica dei Comuni della Regione Lombardia è stata recepita dalla D.G.R. n. X/2129 del 11 luglio 2014 (**Figura 11**) sulla base delle indicazioni del O.P.C.M. 3519/06 e delle NTC 2018). Tale delibera inserisce il Comune di Pozzuolo Martesana in **zona sismica 3**, in riferimento alla quale si dovrà considerare un valore di A_{gMAX} pari a **0.07295**.



Figura 11 Classificazione sismica dei comuni lombardi – DGR n. X/2129 del 11/07/2014.

Al fine di allineare la nuova zonazione con la Legge Regionale 12 ottobre 2015, n. 33 “Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche”, la Giunta Regionale, con D.G.R. 8 ottobre 2015 - n. X/4144, ha differito al 10 aprile 2016 il termine per l'entrata in vigore della stessa. In particolare, la L.R. n. 33/2015 aggiorna la normativa sulle costruzioni in zona sismica adeguandola al D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 (Testo Unico in materia edilizia) e alla recente giurisprudenza costituzionale, trasferendo ai **comuni**, singoli o associati, le funzioni in materia sismica, che, in base allo stesso D.P.R., erano di competenza regionale. Infine, la Giunta Regionale ha approvato con D.G.R. n. X/5001 del 30 marzo 2016 le linee di indirizzo e coordinamento delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica secondo quanto previsto dagli artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della suddetta legge regionale.

In particolare, gli interventi di cui all'art. 5 della L.R. 33/2015, relativi ad opere pubbliche o private localizzate nelle zone 3 e 4 (come nel caso in esame), comprese le varianti in corso d'opera, sono soggetti alle procedure di **deposito** previste dagli artt. 6 e 7 della stessa legge regionale (quindi non prevedono il rilascio di un'autorizzazione preventiva), per le finalità di denuncia dei lavori e presentazione dei progetti di costruzioni in zone sismiche, previste dall'art. 93 del D.P.R. 380/2001, come richiamato al precedente paragrafo 2.3.

8.1 Approfondimento sismico ai sensi della D.G.R. IX/2616 del 30/11/11

La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale è riportata nell'allegato 5 della D.G.R. del 22 dicembre 2005 n. 8/1566 "*Criteria ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12*" aggiornata con D.G.R. del 30/11/2011 n. X/2616.

La procedura di valutazione prevede tre livelli successivi di approfondimento, da applicarsi in funzione della zona sismica di appartenenza e della tipologia di opera in progetto.

Il 1° livello: consiste nell'individuazione delle aree soggette ad effetti sismici locali a partire dalla cartografia di inquadramento e dai dati esistenti. Prevede la realizzazione di una carta che illustri le aree suscettibili di effetti sismici quali instabilità, cedimenti e liquefazioni, amplificazioni topografiche, litologiche e geometriche, cedimenti differenziali.

Il 2° livello: consiste nella caratterizzazione semi-quantitativa del fattore di amplificazione (F_a) nelle aree individuate con l'analisi di 1° livello, e il confronto con i valori di riferimento.

Il 3° livello: prevede la definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini e analisi più approfondite (da applicare solo in fase di progetto).

Per quanto riguarda il **livello 1**, l'area in esame può essere classificata nello scenario di pericolosità sismica locale di tipo **Z4a (zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio - glaciali granulari e/o coesivi)** suscettibili di amplificazioni litologiche e geometriche delle onde e zona di tipo **Z2 (Zone con presenza di depositi alluvionali granulari e/o coesivi)** (Figura 12).

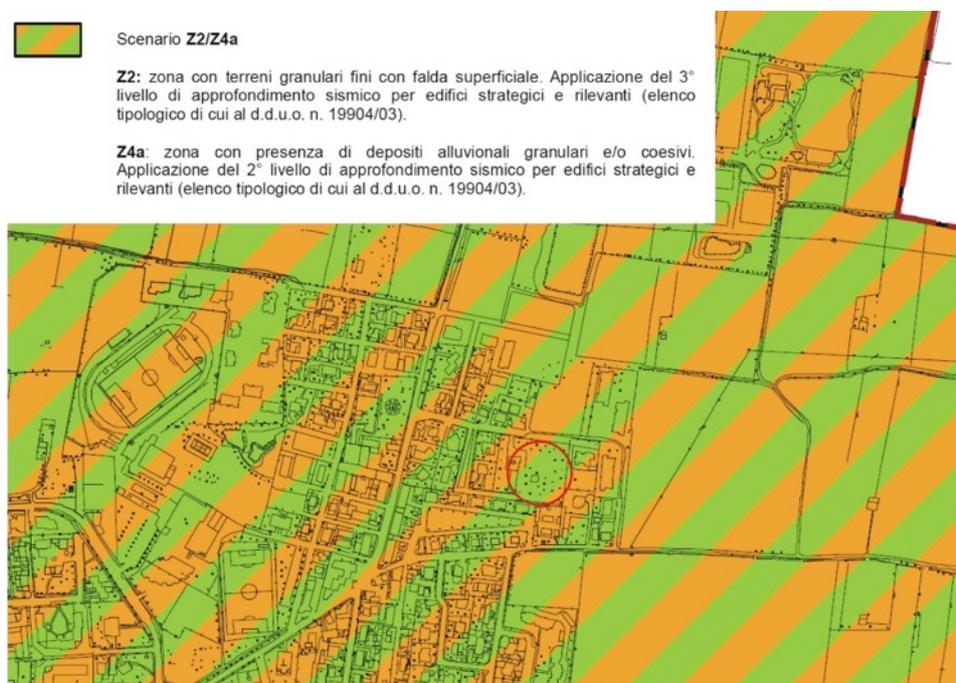


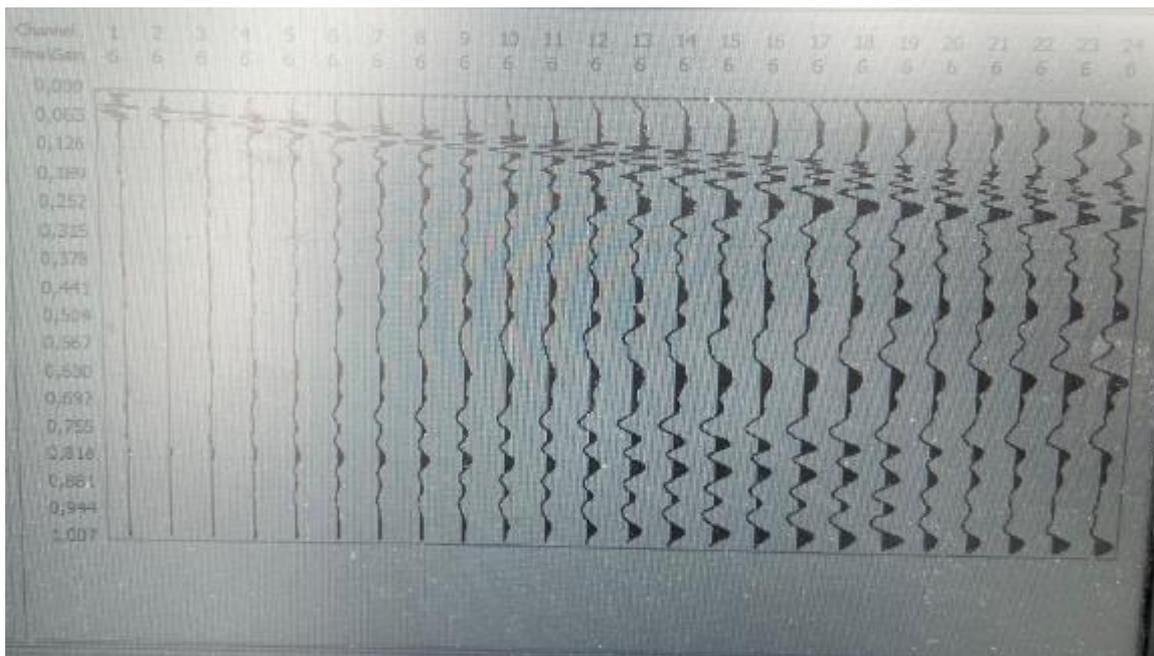
Figura 12 Estratto Carta della pericolosità sismica locale a supporto del PGT del Comune di Pozzuolo Martesana

Le tipologie di terreni che rientrano nello scenario Z4a possono dare luogo in occasione di eventi sismici a fenomeni di amplificazioni litologiche e geometriche.

Il livello 2 è obbligatorio in fase pianificatoria per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari PSL, individuati attraverso il 1° livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica e quindi esso è obbligatorio nell'area in esame.

Per il livello 2, si sono presi come dati di riferimento quelli ricavati da una MASW eseguita nell'area che permette di classificare i terreni in **categoria di sottosuolo di tipo B**.

SISMOGRAMMA



CURVA DI DISPERSIONE

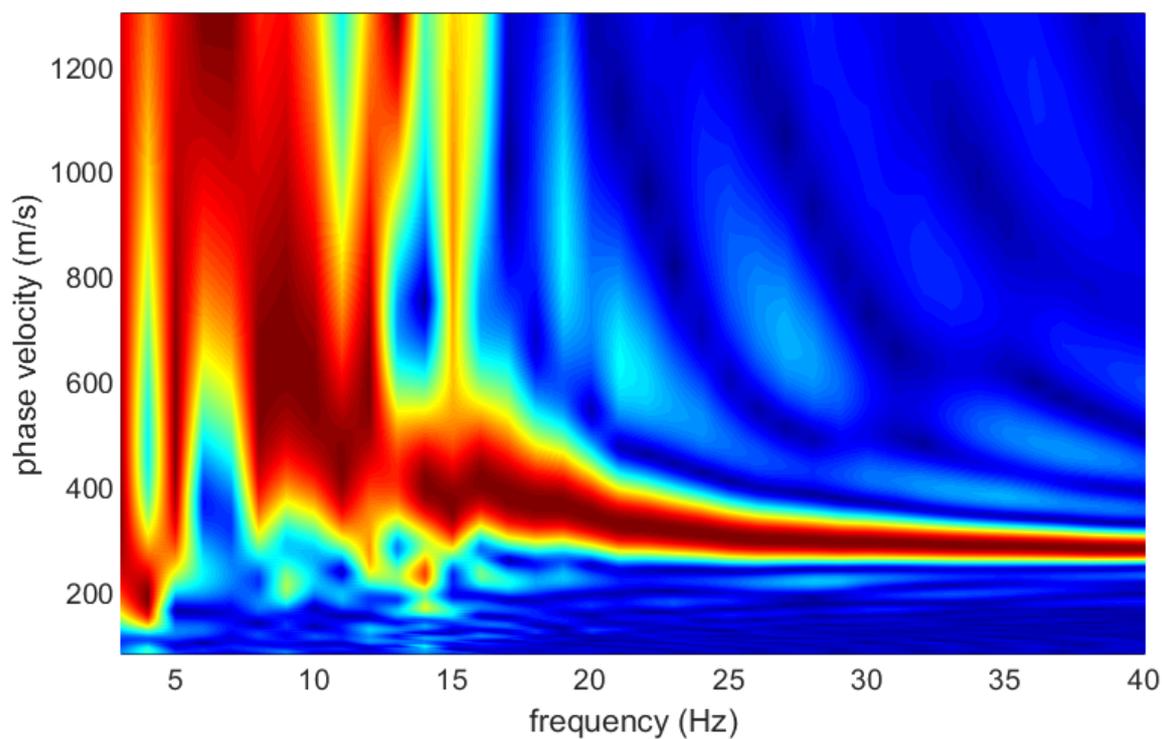
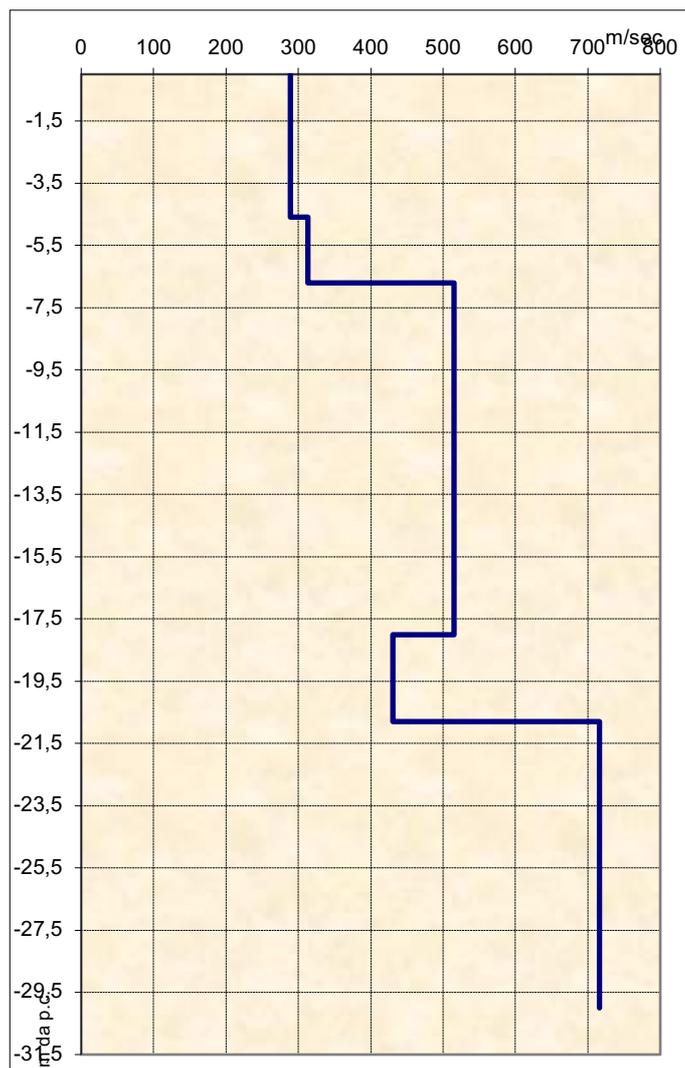


Figura 14 Sismogramma e curva di dispersione

MODELLO SISMICO DEL TERRENO



quota da pc m	spessore m	Vs m/sec	S/V
-4,6	4,6	289	0,015917
-6,7	2,1	313	0,006709
-18,0	11,3	515	0,021942
-20,8	2,8	431	0,006497
-30,0	9,2	716	0,012849

vs30 469,3833

Figura 15 Sintesi modello sismico del terreno

Sulla base dei dati ottenuti dalla MASW è possibile classificare i terreni in categoria di sottosuolo di **tipo B**.

8.2 Approfondimento sismico di Livello 2

Per l'analisi di 2° livello si è fatto riferimento alla scheda per la litologia sabbiosa (Figura 16) (prevalente nel sito in oggetto come da evidenze stratigrafiche).

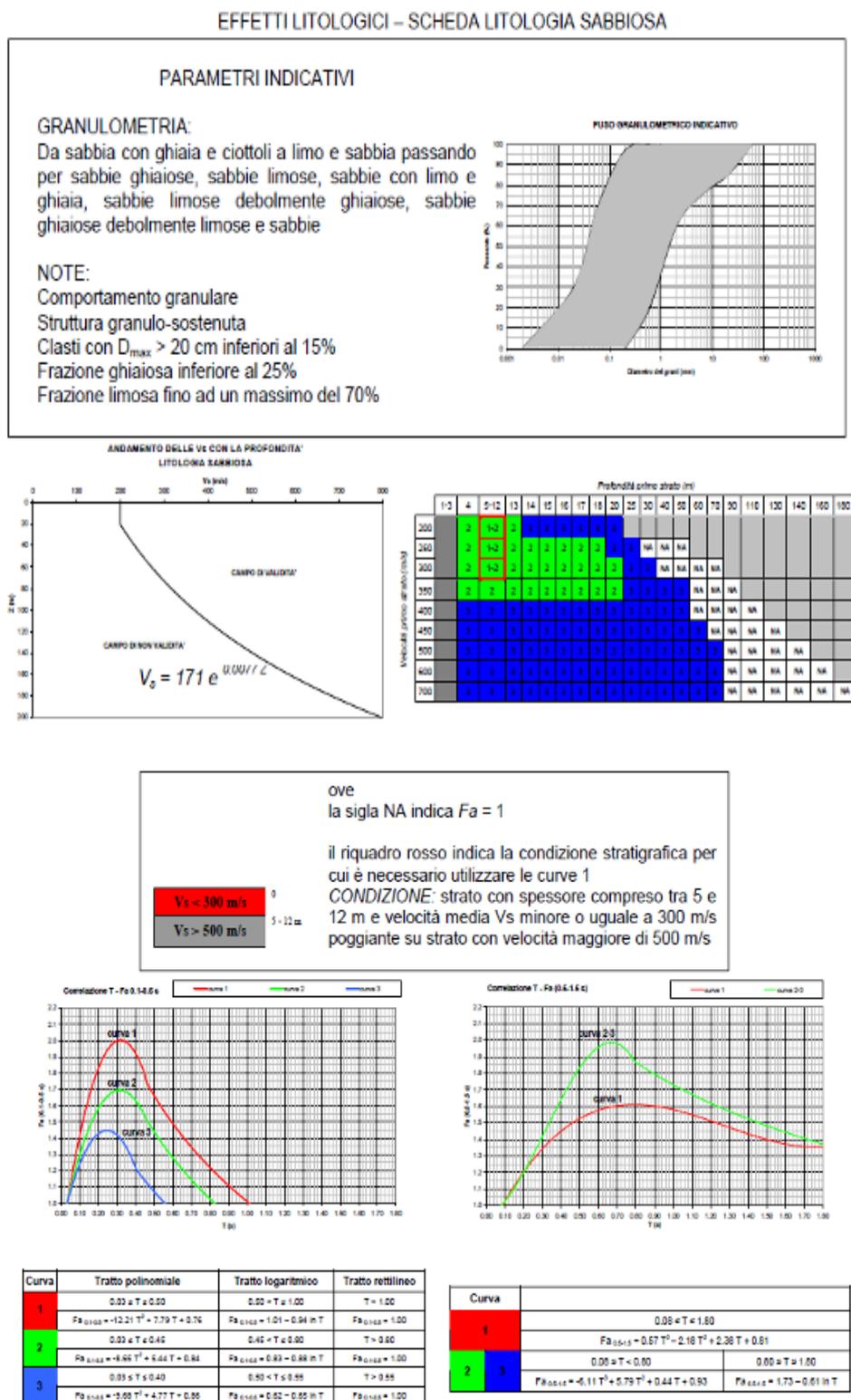


Figura 16 Estratto scheda litologia sabbiosa.

La curva di riferimento T-Fa è la curva 2 per edifici con periodo compreso tra 0,1 e 0,5 s (edifici relativamente bassi, regolari e piuttosto rigidi).

Il valore soglia di Fa (per 0.1-0.5 s) definito dalla Regione Lombardia per il Comune di Pozzuolo Martesana per la categoria di terreno di tipo C è pari a 1,4.

Nel caso in esame, per un periodo $T=0,182$, il corrispondente valore di Fa è maggiore del valore soglia di 1,4 e pertanto la normativa è da considerarsi non sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e è necessaria l'esecuzione del 3° livello di approfondimento sismico in fase progettuale, oppure è possibile declassare il terreno alla Categoria C.

In funzione della tipologia di intervento si è ritenuto di procedere col declassamento del terreno alla **Categoria C**.

9. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , come definiti di seguito (**Figura 17**). In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

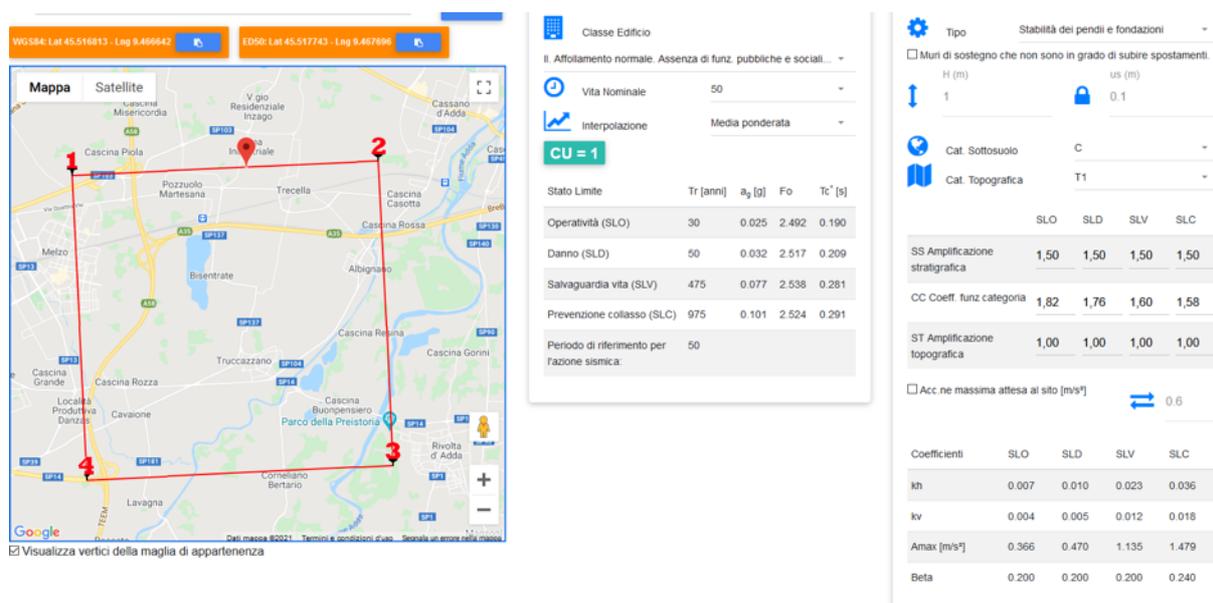


Figura 17 Parametri estratti dal sito GeostruPS

Le forme spettrali di interesse sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito (m/s^2);
- 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.

L'Allegato B alle Norme Tecniche delle Costruzioni riporta i valori delle grandezze sopra elencate in corrispondenza di 10751 punti del reticolo di riferimento e per 9 valori del

periodo di ritorno T_R (che varia a seconda dello stato limite considerato per l'azione sismica).

STATO LIMITE	T_R [anni]	α_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [sec]
Operatività (SLO)	30	0,025	2,492	0,190
Danno (SLD)	50	0,032	2,517	0,209
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,077	2,538	0,281
Collasso (SLC)	975	0,101	2,524	0,291

Valore dei parametri che definiscono l'azione sismica per il sito in esame su sito di riferimento rigido (categoria C) e superficie topografica orizzontale (categoria T1)

Categorie di sottosuolo

Le categorie di suolo di fondazione, secondo l'OPCM 3274 e s.m.i. e il D.M. 17.01.2018 risultano così identificate (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico
A	<u>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</u> , caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m
B	<u>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</u> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
C	<u>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine mediamente consistenti</u> , con profondità del substrato superiori a 30 m caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s
D	<u>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</u> , con profondità del substrato superiori a 30 m caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s
E	<u>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</u> , con profondità del substrato non superiore a 30 m

Categorie sismiche di suolo di fondazione (Tabella 3.2.II delle NTC 2018)

Sulla base delle risultanze delle indagini sismiche e dell'elaborazione del livello 2 di approfondimento contenuto nel PGT comunale, il sito è stato classificato nella **categoria C**.

A partire dalla categoria di sottosuolo possono essere stimati i **coefficienti di amplificazione stratigrafica S_s** che nel caso di categoria A valgono 1 e negli altri casi possono essere calcolati in funzione dei valori di F_0 e T_c^* relativi al sottosuolo di categoria A. Nel caso in esame il valore di S_s per i differenti stati limiti vale **1,50**.

Categoria topografica

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per condizioni topografiche superficiali semplici, come quella in esame, si può adottare la classificazione della tabella seguente.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Categorie topografiche classificate secondo la pendenza (Tabella 3.2.III delle NTC 2018)

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del **coefficiente di amplificazione topografica S_T** riportati nella tabella seguente, in funzione delle categorie topografiche definite e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

CATEGORIA TOPOGRAFICA	UBICAZIONE DELL'OPERA O DELL'INTERVENTO	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (Tabella 3.2.V delle NTC 2018)

Per il caso in esame la categoria di riferimento è la T1, da cui **$S_T = 1,0$** .

10. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La valutazione sismica sito specifica deve comprendere anche la verifica alla stabilità nei confronti della liquefazione dei terreni di sedime.

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

Il D.M. 17/01/18 fissa una serie di circostanze del sito legate a condizioni locali sismiche (magnitudo $M_w < 5$ o accelerazione massima attesa al piano campagna $< 0,1$) e geologiche (assenza di sabbie sature con coefficiente di uniformità $UC < 3,5$ o limi sabbioso/sabbie ghiaiose con $UC > 3,5$) per le quali la verifica alla liquefazione può essere omessa.

In base alle caratteristiche litologiche di cui al modello geologico di cui al Capitolo 6, si esclude la presenza di orizzonti sabbiosi poco addensati suscettibili di liquefazione.

Sulla base di tutte le considerazioni sopra esposte si esclude che possano verificarsi fenomeni di liquefazione nei terreni presenti nel sito in intervento.

11. PROGETTO E TIPOLOGIE FONDAZIONALI VERIFICATE

Sulla base delle caratteristiche progettuali sono state verificate le seguenti tipologie fondazionali, in modo da fornire diversi valori di carichi di esercizio per orientare le scelte progettuali (**Figura 18**):

- trave 7x1,0 m e altezza 0,5 m posta alla profondità di -4,0 m dal p.c.;

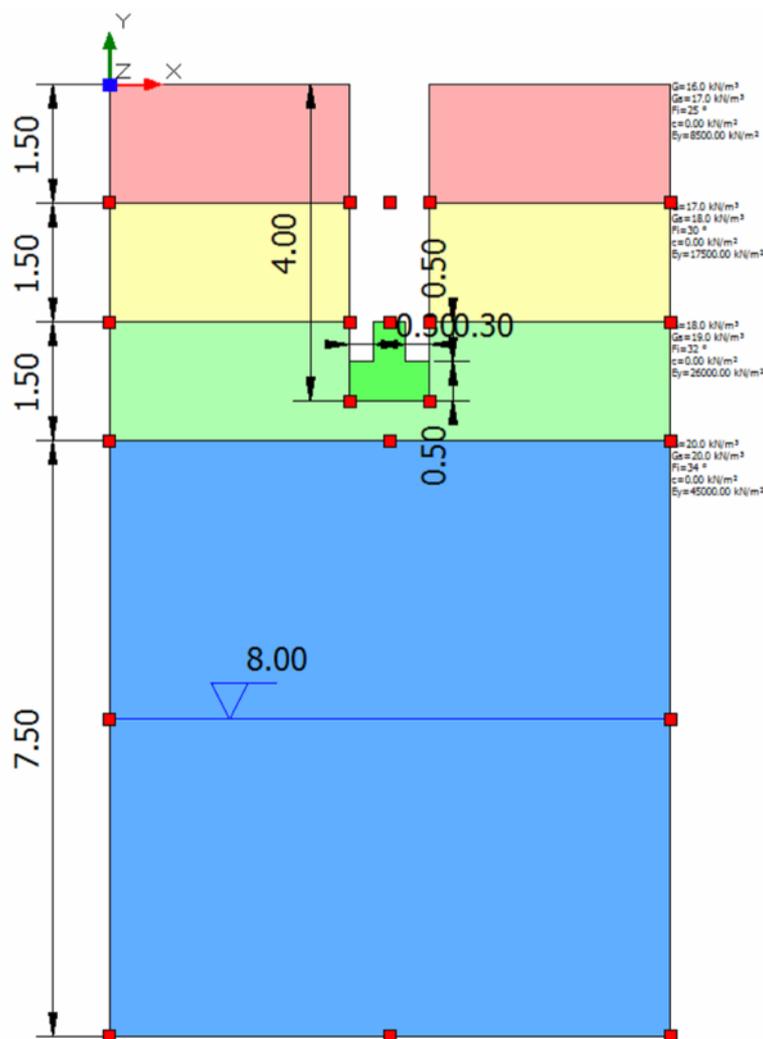


Figura 18 Tipologie fondazionali

Sulla base delle caratteristiche progettuali e del modello geotecnico proposto, è possibile affermare che le fondazioni saranno impostate all'interno dello strato 3 (condizioni di medio addensamento dei terreni), oltrepassando completamente il primo sottosuolo caratterizzato dalla presenza di terreni di riporto;

12. CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO DI FONDAZIONE E CEDIMENTI

12.1 Analisi della capacità portante (RD) secondo le NTC (D.M. 17/01/2018)

La determinazione della capacità portante ammissibile del terreno ai sensi del D.M. 17/01/18 consiste nella verifica a rottura del terreno nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) tramite il metodo semiprobabilistico dei coefficienti parziali attraverso la verifica della seguente condizione:

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

dove:

E_d = è il valore di progetto delle azioni;

R_d = è il valore di progetto delle resistenze del sistema geotecnico determinato analiticamente con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici di resistenza divisi per i coefficienti parziali.

Per Stato Limite Ultimo si intende la capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera.

Nel caso specifico di opere di fondazioni, le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (**GEO**);
- Collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno;
- Collasso per scorrimento sul piano di posa;
- Stabilità globale;
- SLU di tipo strutturale (**STR**);
- Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

La normativa prevede l'uso di un solo approccio progettuale: **APPROCCIO 2**:

- *Combinazione unica (A1+M1+R3)* per gli stati limite STR e GEO.

Dove A sono le azioni; M i parametri geotecnici e R le resistenze. L'approccio prevede la scelta di diversi gruppi di coefficienti parziali per la verifica della condizione fondamentale (1).

Nelle tabelle seguenti si riportano i coefficienti parziali previsti dalla normativa.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,3	1,0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tabella 6.2.I del D.M. 17/01/18)

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_{\square}	γ_{γ}	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2.II del D.M. 17/01/18)

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Coefficienti parziali per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali (Tabella 6.4.I del D.M. 17/01/18)

L'analisi della capacità portante del terreno è stata effettuata con l'ausilio di specifico programma di calcolo "Loadcap" (con licenza concessa da "Geostru S.r.l."); il calcolo è stato effettuato con il metodo di Brinch-Hansen, ritenuto il più idoneo per il caso in esame. Di seguito vengono riassunti i risultati ottenuti in riferimento alle configurazioni fondazionali considerate ed utilizzando **l'Approccio 2 - Combinazione 2 (GEO)** delle NTC.

Approccio 2		
TIPOLOGIA FONDAZIONALE	Qultima (KPa)	R_D (KPa)
Trave 7 x1,0 m (-4,0 m p.c.)	545	237

*Resistenze di progetto agli SLU calcolate con **l'Approccio 2***

I valori R_D delle resistenze di progetto devono essere confrontati con i valori delle azioni di progetto E_D previste per la struttura in progetto per la verifica della condizione E_D ≤ R_D.

12.2 Stima dei cedimenti

Il calcolo dei cedimenti del terreno di fondazione è stato eseguito secondo la *teoria dell'elasticità*, in virtù delle caratteristiche frizionali ipotizzate del sottosuolo, considerando lo spessore in cui si sviluppano i bulbi di tensione. I cedimenti sono da considerarsi prevalentemente istantanei, con assenza di cedimenti per consolidazione.

I cedimenti sono stati calcolati con i più comuni metodi presenti in letteratura, validi per il tipo di terreni e di fondazione in oggetto. I risultati ottenuti sono dello stesso ordine di grandezza. Si riportano pertanto di seguito i valori calcolati con il metodo proposto da Schmertmann. L'equazione utilizzata è la seguente:

$$\Delta H = C_1 C_2 \Delta q \frac{I_z \Delta z}{E}$$

dove:

H = cedimento immediato [mm]

q = pressione netta applicata [kPa]

E = modulo di elasticità [MPa]

I_z = coefficiente d'influenza [-]

C_1, C_2 = coefficienti di Schmertmann

Per il calcolo si è suddiviso artificialmente il terreno sottostante il piano di fondazione in strati di spessore congruo con il modello geotecnico indicato. Si sono poi calcolati i coefficienti d'influenza per ciascuno strato secondo Schmertmann e applicata la formula risolutiva.

Nella formula di Schmertmann la deformabilità dei terreni è introdotta dal modulo elastico E . Di seguito si riportano i risultati ottenuti relativamente a carichi di 100, 150 e 200 kN/m².

TIPOLOGIA FONDAZIONALE	Carico applicato kN/m ²	Cedimento mm
Trave 7 x 1,0 m (-4,0 m p.c.)	100	1,35
	150	3,00
	200	4,75

Cedimenti calcolati

Si sottolinea che il metodo di calcolo utilizzato e l'assegnazione dei valori del modulo elastico a profondità maggiori di quelle indagate direttamente è altamente cautelativo e che il valore calcolato si riferisce a terreno "scarico".

Ai fini della scelta delle azioni di progetto si dovranno considerare oltre ai cedimenti assoluti, i cedimenti differenziali, la cui accettabilità dovrà essere valutata dall'ingegnere strutturista, sulla base della tipologia di struttura in progetto e delle tolleranze previste.

L'accettabilità dei cedimenti assoluti e differenziali (e delle distorsioni angolari) sarà comunque di competenza dello strutturista.

13. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In relazione a quanto previsto dalla DGR 2616/2011 N.IX, visti:

1. l'assenza dei vincoli di natura geologica a parte il vincolo associato alla fascia di rispetto dei pozzi idropotabili nella porzione sud-occidentale dell'area;
2. la classificazione dell'area in classe 3 di fattibilità geologica per le azioni di piano;
3. i dati esistenti di natura idrogeologica e geologica, in particolare il modello geologico di riferimento;
4. la tipologia dell'intervento in progetto;

si può concludere che gli interventi e le opere previste risultano compatibili con le prescrizioni contenute all'interno dello studio geologico per il Piano di Governo del Territorio.

Inoltre:

1. Le stratigrafie dei piezometri e sondaggi in sito e in un intorno significativo rispetto al sito di studio, hanno consentito di valutare la litologia dei terreni fino alla massima profondità di 36 m dal piano campagna. In particolare, considerata la profondità di posa delle fondazioni pari a -4,0 m dal piano campagna, i litotipi su cui si svilupperanno i cunei di rottura ed i bulbi di tensione sono costituiti prevalentemente da ghiaie limose in percentuali variabili e quindi con comportamento geotecnico di tipo incoerente. Qualora in qualche porzione del sito si dovesse riscontrare la presenza di materiale con scarse caratteristiche in corrispondenza del piano di posa delle fondazioni, o materiale merceologicamente classificabile come riporto antropico, occorrerà oltrepassare tali materiali o rimuoverli e sostituirli con materiale con migliori caratteristiche geotecniche.
2. Le indagini e prove eseguite hanno permesso di individuare nel sottosuolo indagato n. 4 litozone. Le fondazioni poggeranno nella litozona 1 con buone caratteristiche geotecniche.
3. I dati idrogeologici contenuti nello studio della componente geologica del PGt vigente indicano che nel sito in oggetto la falda ha una soggiacenza tra i 4 ed i 6 m dal piano campagna.

I dati di campo relativi alle prove ed indagini eseguite hanno evidenziato presenza di acqua sotterranea alla quota raggiunta dalle prove, ossia circa 6,6 m dal piano del prato.

Pertanto, cautelativamente considerando le escursioni annuali si considera un intervallo di soggiacenza di 6-8 m in linea con i dati di campo. Si consiglia comunque l'impermeabilizzazione delle fondazioni e dei muri dell'interrato dell'edificio per la presenza di riporti superficiali con matrice fine che può comportare la possibilità che si verifichino accumuli di acqua di infiltrazione superficiale con conseguenti venute di acqua trattenuta da tali terreni e l'eventuale variazione della falda con innalzamento a medio e lungo termine.

4. Il territorio comunale di Pozzuolo Martesana ricade in zona sismica 3, in base alla nuova classificazione sismica. Il profilo stratigrafico individuato è classificabile in categoria C, secondo quanto previsto dall'O.P.C.M. n.3274, a seguito di declassamento nell'approfondimento sismico di livello 2.
5. Nel *Capitolo 12* sono riportati i valori delle resistenze di progetto e dei cedimenti stimati per una trave 1,0x7,0 m alla quota di 4,0 m dal p.c.; i valori R_D delle resistenze di progetto determinati devono essere confrontati con i valori delle azioni di progetto E_D previste per la struttura in progetto per la verifica della condizione $E_D \leq R_D$. Tale verifica compete ai progettisti delle strutture.
6. La presente relazione non riguarda le problematiche di stabilità a confine e le eventuali opere di sostegno che, se necessarie saranno trattate in uno specifico documento su richiesta dei progettisti.

Di seguito vengono messi in evidenza alcune prescrizioni per una corretta progettazione e gestione del cantiere sia in fase d'opera che di esercizio:

- A sbancamento avvenuto è necessario controllare se è presente eventuale materiale di scarse caratteristiche al fondo scavo; in tal caso lo stesso deve essere rimosso e sostituito con materiale idoneo. Particolare attenzione dovrà essere posta alla **preparazione** e **regolarizzazione** del piano di posa fondazionale. Il piano fondazionale dovrà quindi essere compattato in modo da ottenere una migliore distribuzione dei carichi di progetto.
- Qualora si rinvenivano flussi o venute sotterranee in fase di cantiere occorrerà procedere in sicurezza e raggiungendo la quota di progetto in modo graduale,

cercando di captare le venute idriche convogliando le acque in uno o più pozzetti con recapito finale in opportuna sede e dopo l'autorizzazione degli Enti preposti.

- La gestione dei materiali di scavo dovrà avvenire in ottemperanza alla vigente normativa in materia: gestione come rifiuti (Parte IV del D. Lgs. 152/06) o gestione come sottoprodotti (D.P.R. n. 120 del 13/06/2017).

ALLEGATI

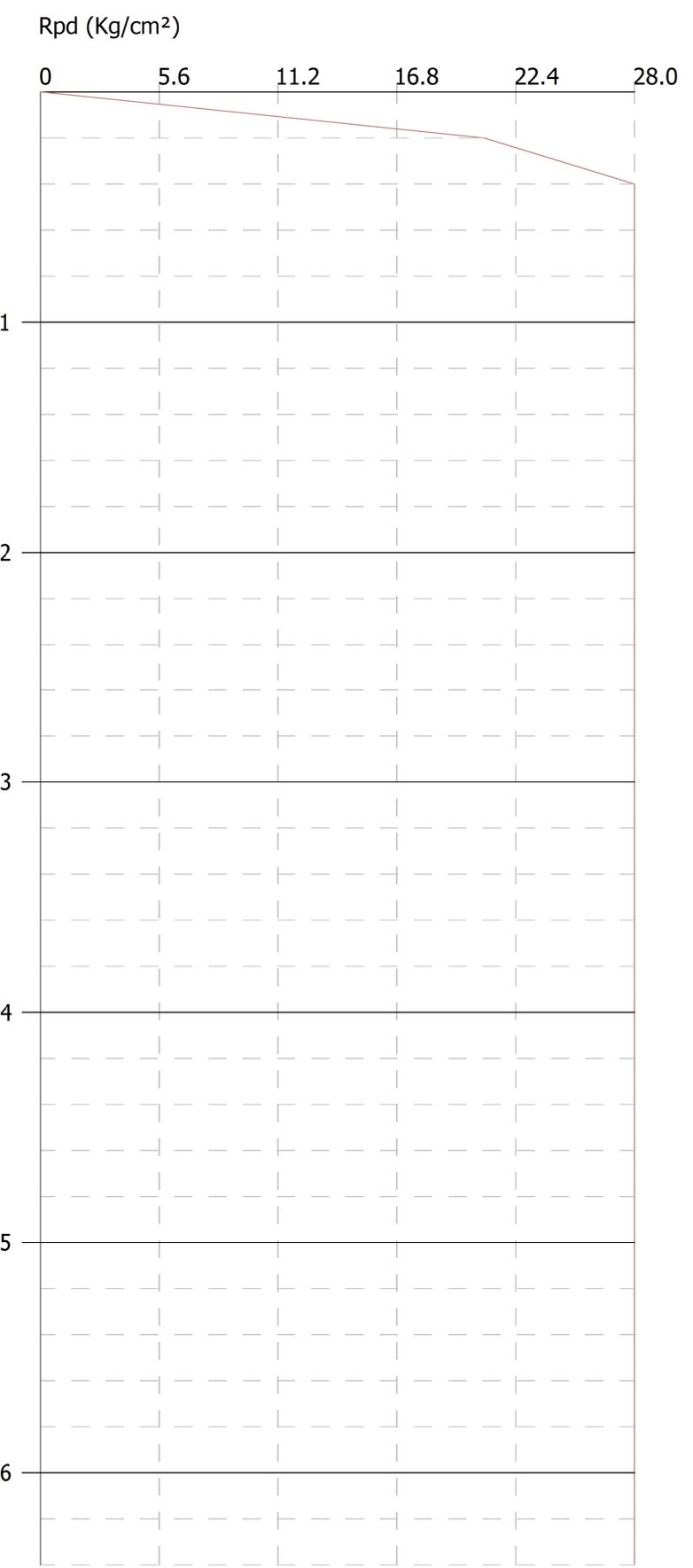
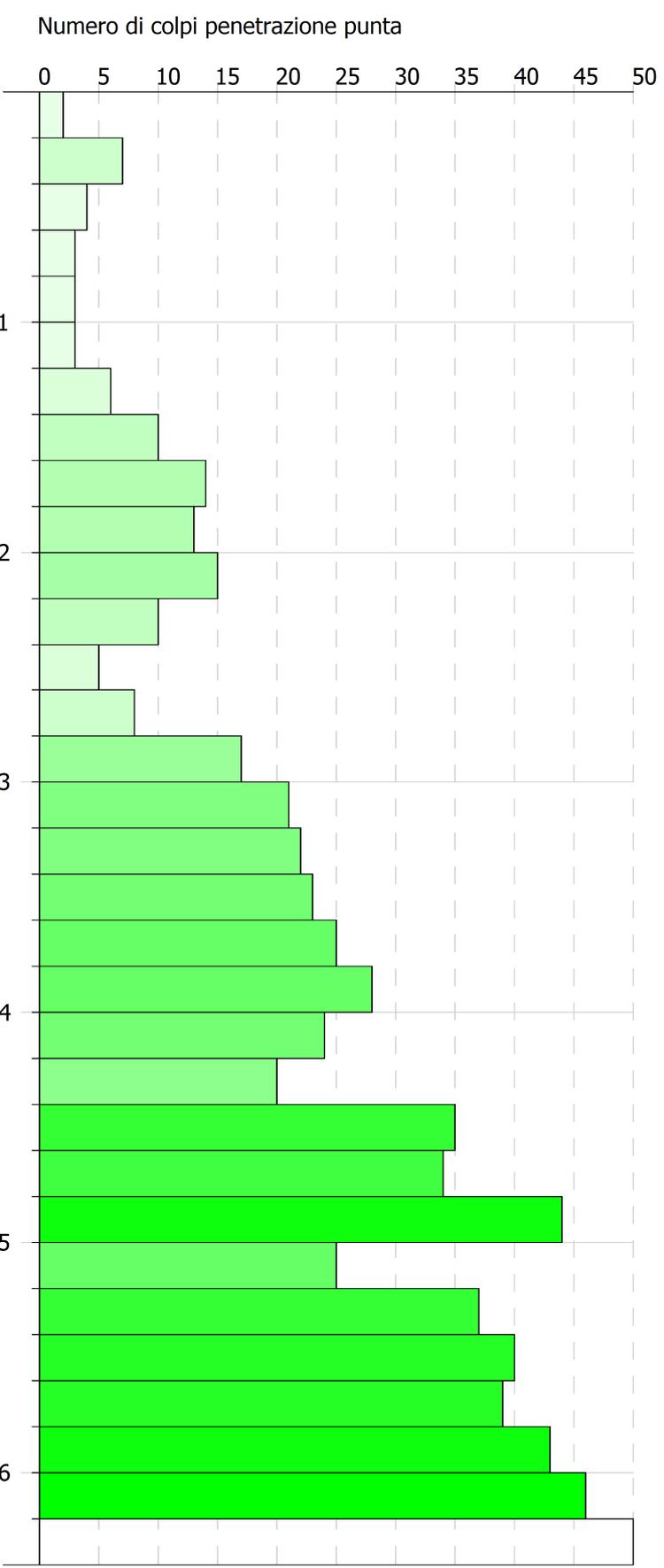
Allegato 1

Documentazione prove penetrometriche

Committente:
Descrizione:
Località:

01-03-2021

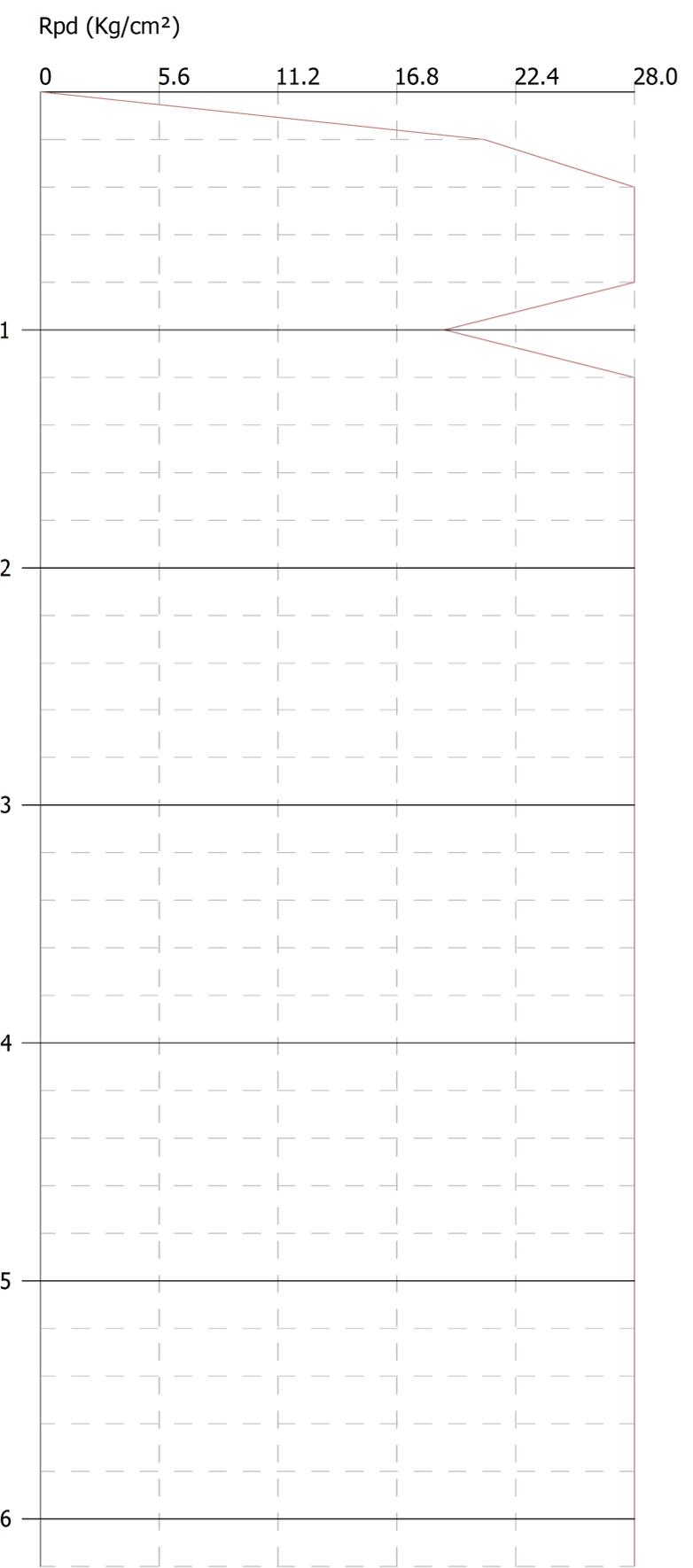
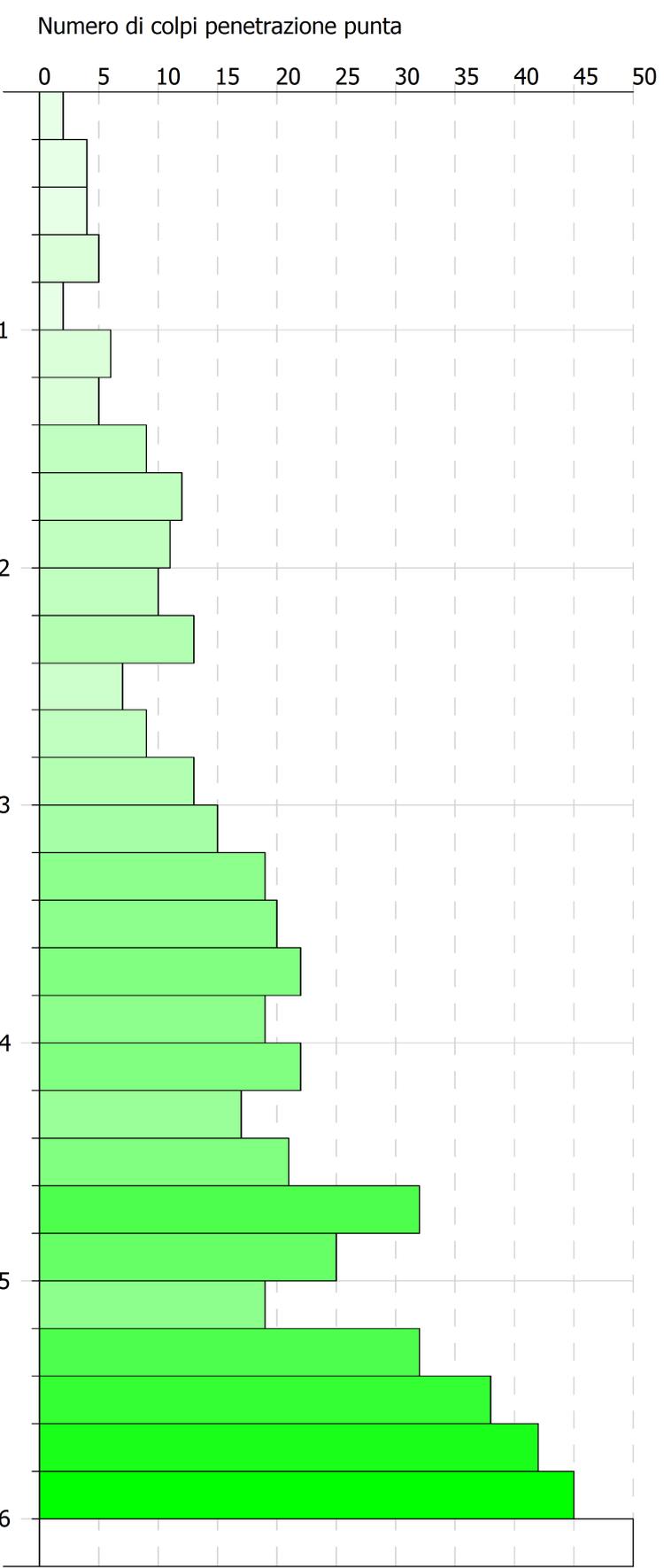
Scala 1:31



Committente:
Descrizione:
Località:

01-03-2021

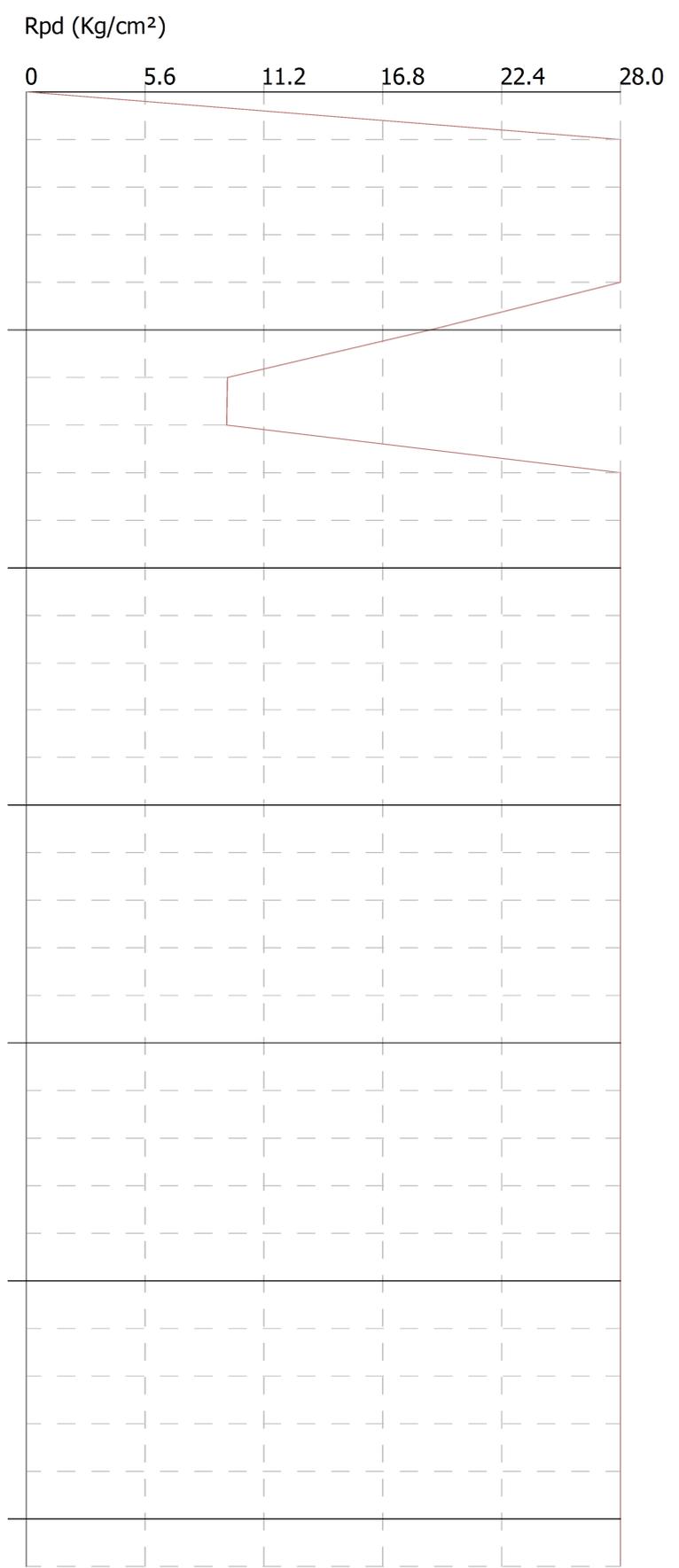
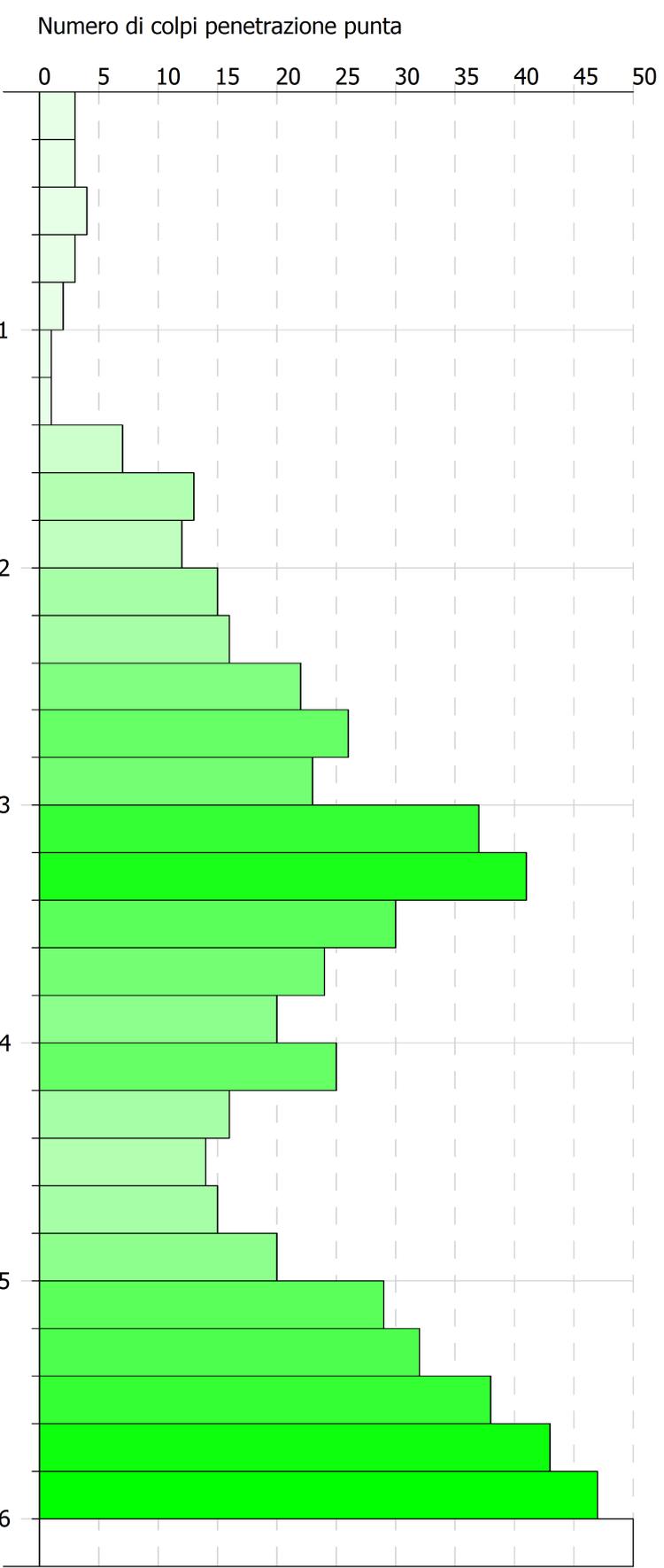
Scala 1:30



Committente:
Descrizione:
Località:

01-03-2021

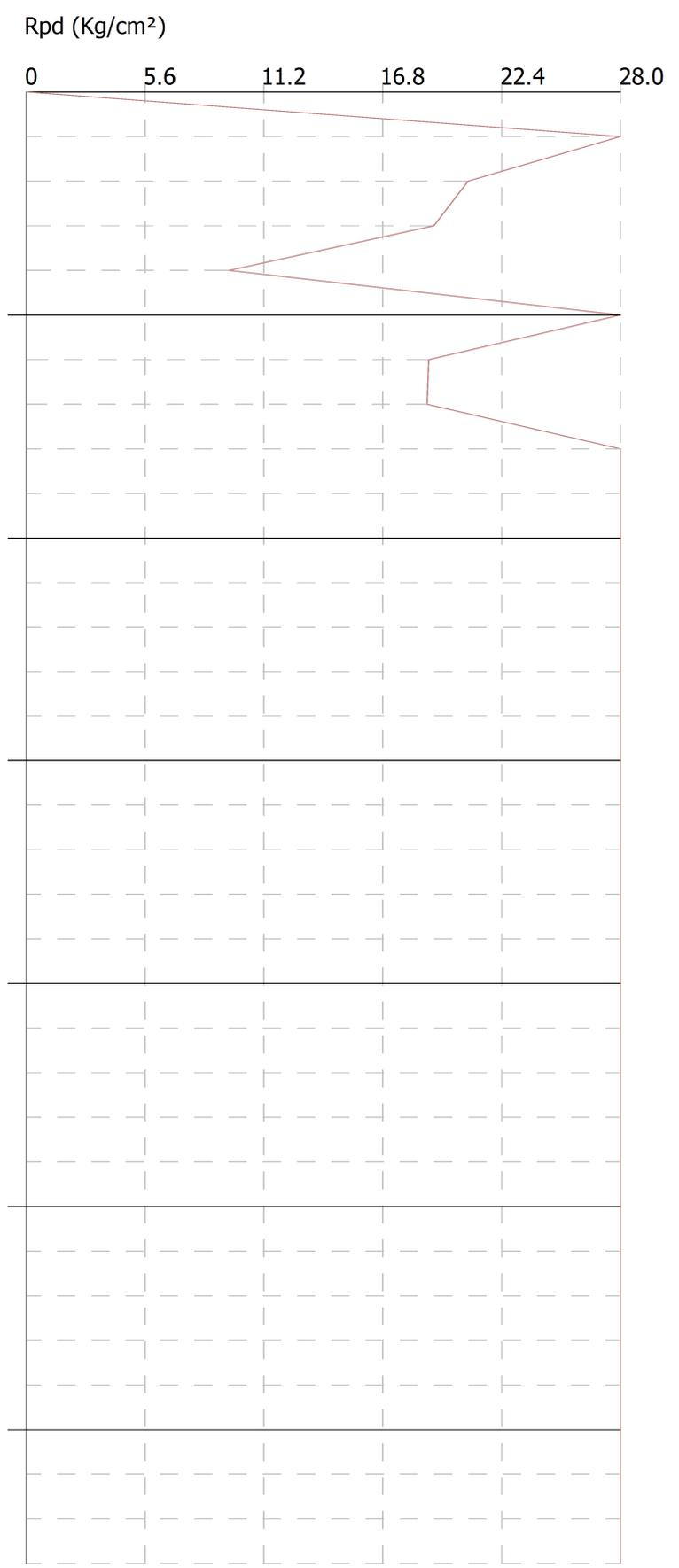
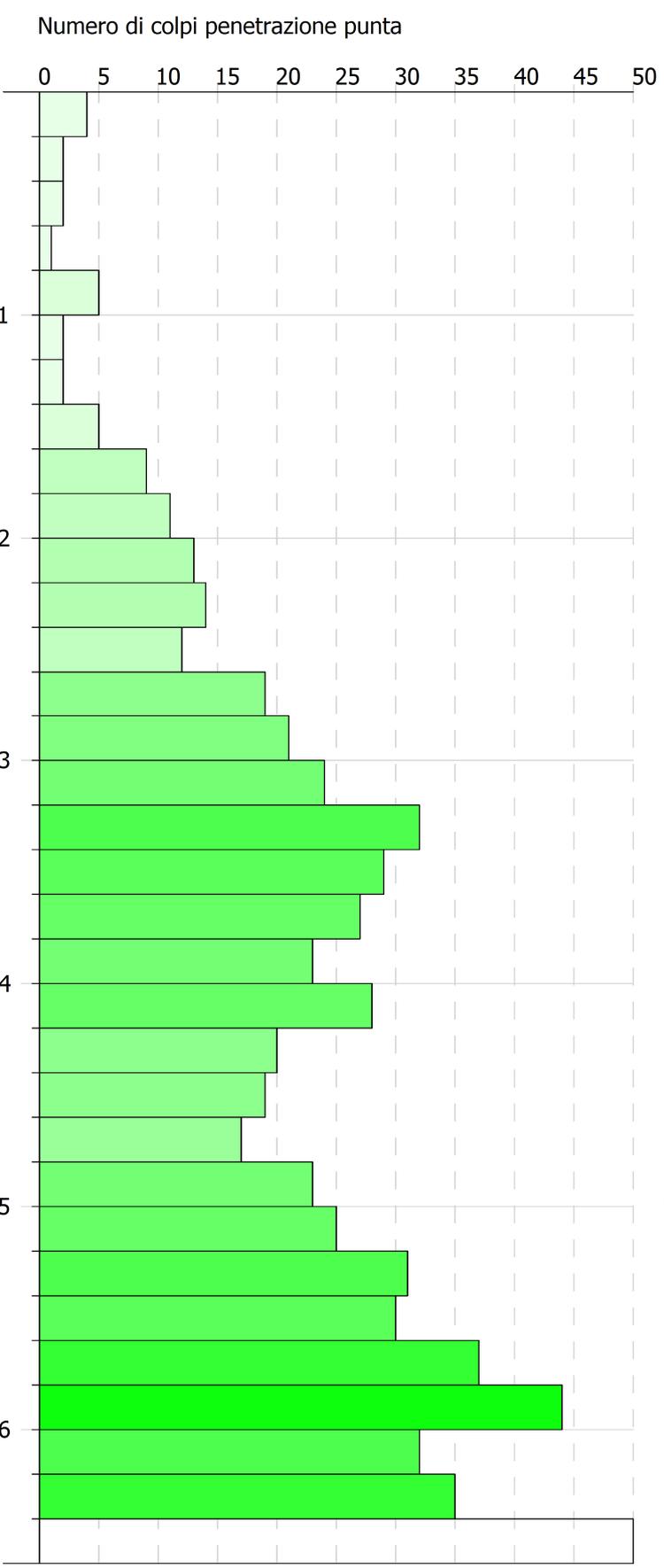
Scala 1:30



Committente:
Descrizione:
Località:

01-03-2021

Scala 1:32



Committente:
Descrizione:
Località:

01-03-2021

Scala 1:33

