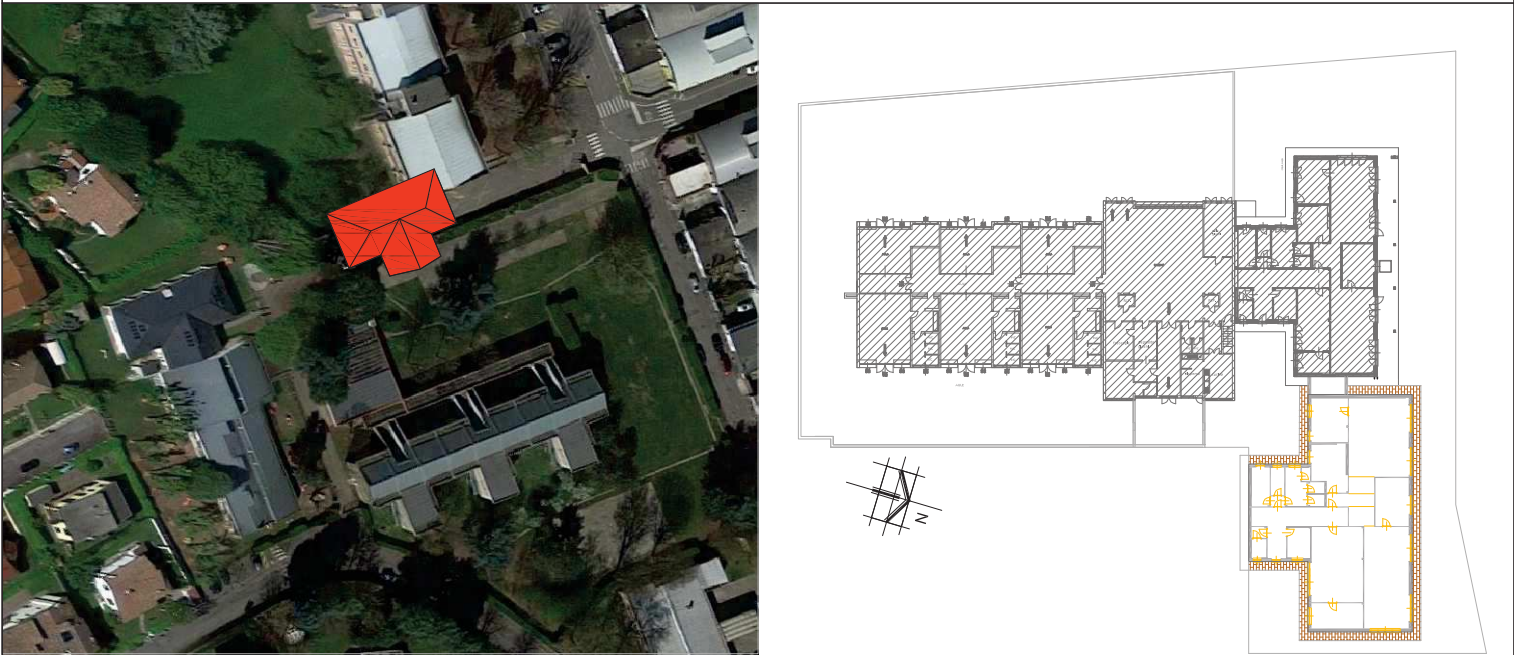


Località:

Comune di
Trezzano sul Naviglio
(Provincia di Milano)

Progetto:

Progetto Definitivo
Realizzazione nuovo asilo nido aggregato al plesso
scolastico "Mauro Brutto"



Proprietà: Comune di Trezzano sul Naviglio

Coordinatore e Responsabile di progetto: Dott. Arch. Tiziano Menescardi

Redattore: Dott. Geologo Luca Giorgi

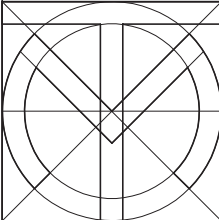
Oggetto

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

Elaborato:

02.3_RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

Scala	Data	Numero Tavola		
	Gennaio 2023	di progetto	progressiva di progetto	progressiva di tavola
	Aggiornamenti			
	Gennaio 2023			



Coordinatore e Responsabile di progetto

dott. arch. Tiziano Menescardi

Iscritto all'Ordine degli Architetti, Pianificatori,
Paesaggisti e Conservatori di Milano al n°4199

P.zza del Seminatore n.2 - 20018 Sedriano (MI)

Tel. 02/9020324 E-mail: t.menescardi@menescardi.com

Dott. Geologo Luca Giorgi

Ordine Geologi della Lombardia n. 814

COMUNE DI TREZZANO SUL NAVIGLIO

Città Metropolitana di Milano

PROGETTO

REALIZZAZIONE NUOVO ASILO NIDO

AGGREGATO AL PLESSO SCOLASTICO "MAURO BRUTTO"

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA
INERENTE I TERRENI DI FONDAZIONE

Dott. Geol. Luca Giorgi

Iscr. Ordine Geologi della Lombardia n° 814



Gennaio 2023



DOTT. GEOL. LUCA GIORGI
STUDIO GEOTECNICO



PREMESSA

Nella presente relazione vengono illustrate le valutazioni di carattere geologico, geotecnico e sismico eseguite sui terreni interessati dal progetto per la realizzazione di un intervento edilizio in Trezzano Sul Naviglio presso il plesso scolastico “Mauro Brutto” in via Tintoretto che prevede la costruzione di un nuovo asilo nido.

Le verifiche sono state articolate attraverso le seguenti fasi:

- ricostruzione litostratigrafia e geotecnica del sottosuolo mediante indagine diretta;
- verifica sismica del sottosuolo (analisi di 2° livello).

NORMATIVA DI RIFERIMENTO:

- **DECRETO MINISTERIALE 17.01.2018**

TESTO UNITARIO - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI.

- **CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI**

PERICOLOSITÀ SISMICA E CRITERI GENERALI PER LA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO NAZIONALE. ALLEGATO AL VOTO N. 36 DEL 27.07.2007.

- **D.G.R. 30/11/2011 IX/2616** CRITERI ED INDIRIZZI PER LA DEFINIZIONE DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO, IN ATTUAZIONE DELL'ART. 57, COMMA 1, DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N. 12”, APPROVATI CON D.G.R. 22 DICEMBRE 2005, N. 8/1566 E SUCCESSIVAMENTE MODIFICATI CON D.G.R. 28 MAGGIO 2008, N. 8/7374



Corografia con ubicazione dell'area di intervento

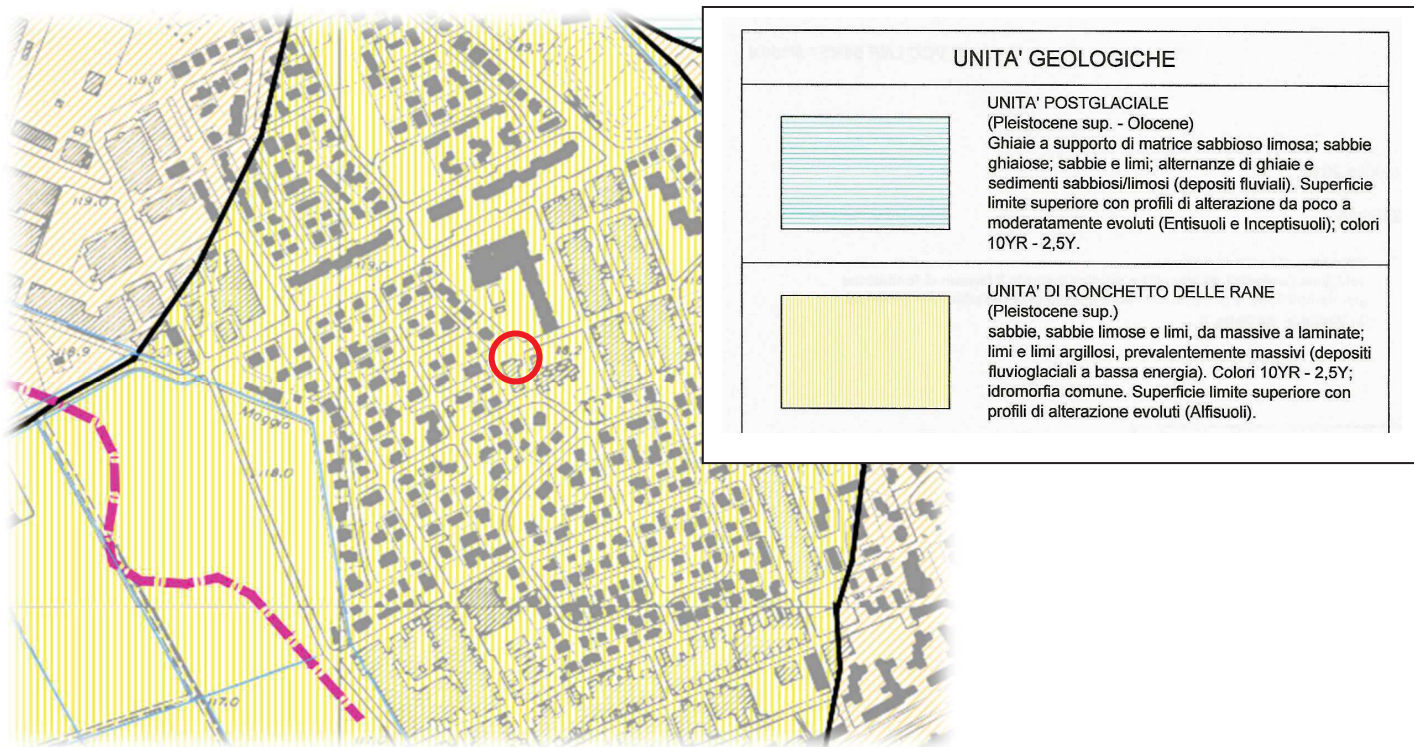


1. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO E GEOLOGICO LOCALE

L'area di pertinenza si colloca entro il contesto morfologico pianeggiante che costituisce il livello fondamentale della pianura padana (Fluviale Wurm), la cui genesi geologica è collegata ai processi di sedimentazione alluvionale attuatisi nel Pleistocene, che hanno originato una successione litologica caratterizzata dalla presenza di depositi limosi, sabbiosi e ghiaiosi. In relazione agli originari meccanismi deposizionali, i sedimenti alluvionali presentano distribuzione areale e verticale eterogenea, in particolare in prossimità degli alvei attivi o fossili ove si rilevano fenomeni di eteropia e discordanza.

I depositi alluvionali hanno grado di addensamento variabile, crescente con la profondità, e sono intercalati da sedimenti più fini, a volte marcatamente argillosi che formano corpi potenti pochi metri, geneticamente attribuibili alla formazione di conche palustri o a fenomeni di esondazione dei locali corsi d'acqua. La notevole permeabilità complessiva dell'insieme sedimentologico descritto e l'esiguità dello strato di alterazione superficiale, costituito da depositi limosi ferrettizzati, consentono alle acque meteoriche di infiltrarsi in profondità, conferendo alla zona un forte potenziale di ricarica delle falde, notevolmente condizionato dai massicci interventi antropici sul territorio. La cartografia geologica del PGT inquadra l'area di intervento nell'ambito dell'Unità di Ronchetto delle Rane del Pleistocene Superiore, caratterizzato dalla presenza prevalente di depositi fluvioglaciali.

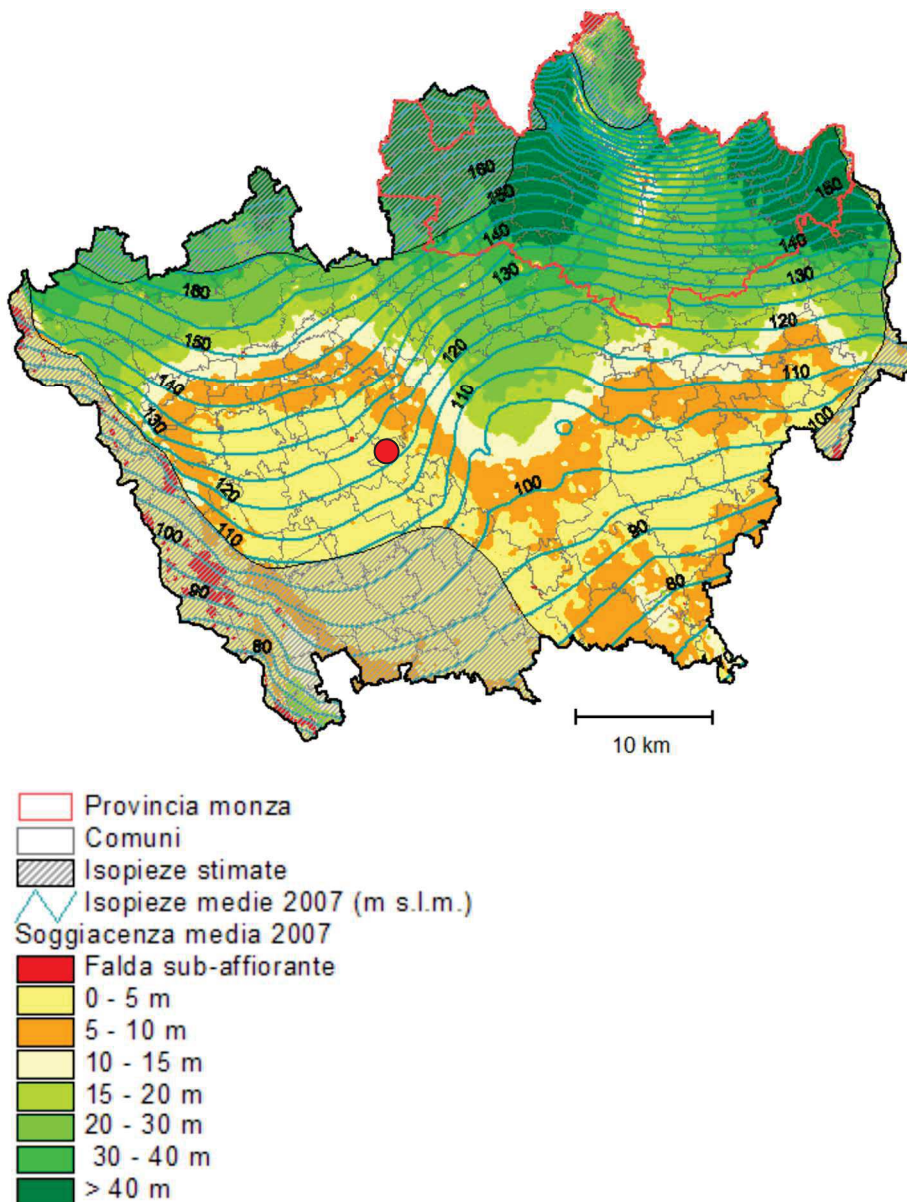
Estratto cartografia del PGT



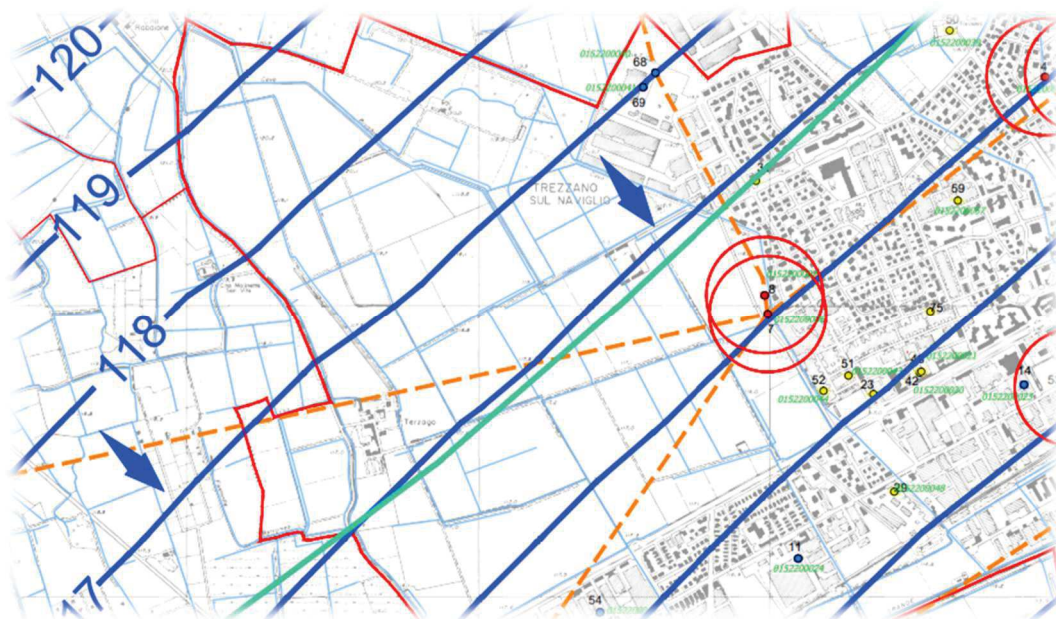
2. PIEZOMETRIA E CONDIZIONI DI SOGGIACENZA

Per la definizione della morfologia e della dinamica piezometrica dell'acquifero freatico, sono stati confrontati i dati piezometrici acquisiti per la redazione del PTUA con quelli del S.I.F. della Provincia di Milano. L'analisi comparata dei dati conferma un quadro caratterizzato da:

- andamento del flusso idrico sotterraneo in direzione nord nord ovest – sud-sud est;
- gradiente medio di valore pari a circa il 1.5 per mille;
- valori di soggiacenza media, inferiori ai 5 metri dal piano di campagna, con oscillazioni stagionali dinamiche medie di circa ± 1 metro, caratterizzate da massimi innalzamenti in tarda estate e massimi approfondimenti in primavera.



Dati freatimetrici S.I.F. della Provincia di Milano – Settembre 2011



Estratto cartografia del PGT con andamento delle isofreatiche

3. AZZONAMENTO GEOLOGICO E VINCOLI

Come desunto dagli elaborati di PGT si riporta la caratterizzazione dell'area in esame.

Classe di fattibilità geologica	2
Zona sismica (DGR X/2129)	4
PSL	Z2b
Vincoli idrogeologici	Assenti

4. MODELLO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO LOCALE

L'area di intervento è situata nell'area urbana capoluogo e si presenta come una superficie pianeggiante regolare con blanda pendenza verso SE.

4.1 INDAGINE GEOLOGICA

L'indagine geologica e sismica locale è stata condotta mediante l'esecuzione di 3 prove CPT/SCPT, di cui si riporta l'ubicazione su aerofoto.



Prove CPT/SCPT

PROVA CPT

E' stato utilizzato un penetrometro standard pagani TG 63-200, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- diametro punta conica meccanica = 35,7 mm
- area di punta = 10 cm²
- angolo di apertura del cono = 60°
- superficie laterale del manicotto = 150 cm²

PROVA SCPT

E' stato utilizzato il seguente sistema di battuta.

- peso massa battente: 63,5 kg
- altezza caduta libera: 0,75m
- diametro punta conica: 51,00 mm
- area base punta conica: 20,43 cm²
- lunghezza delle aste: 1,0 m



- peso aste per metro: 6,31 kg
- avanzamento punta: 0,20 m
- numero di colpi punta: $n = n(20)$

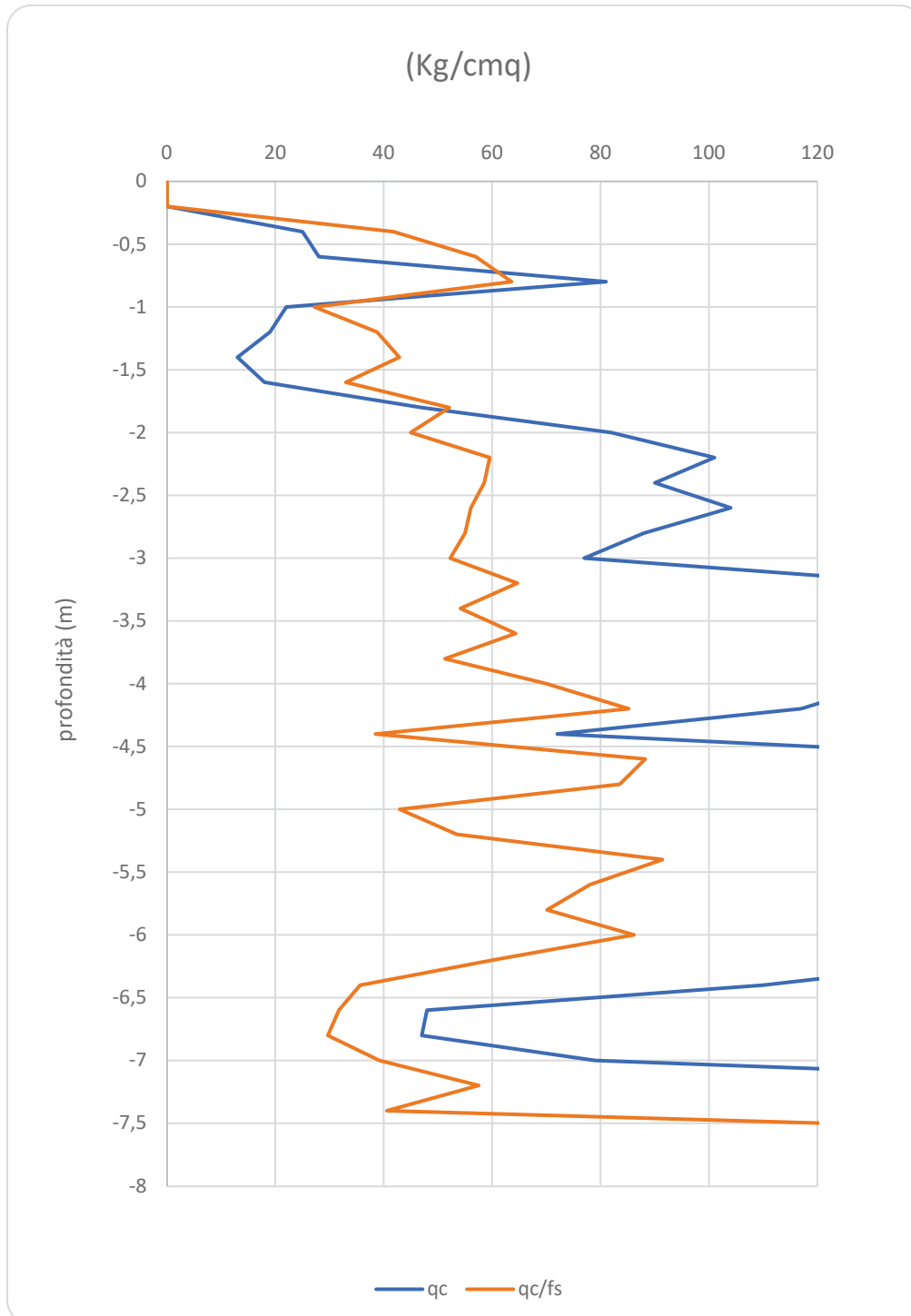


Attrezzatura di indagine

Di seguito si riporta l'interpretazione grafica dei risultati di indagine.

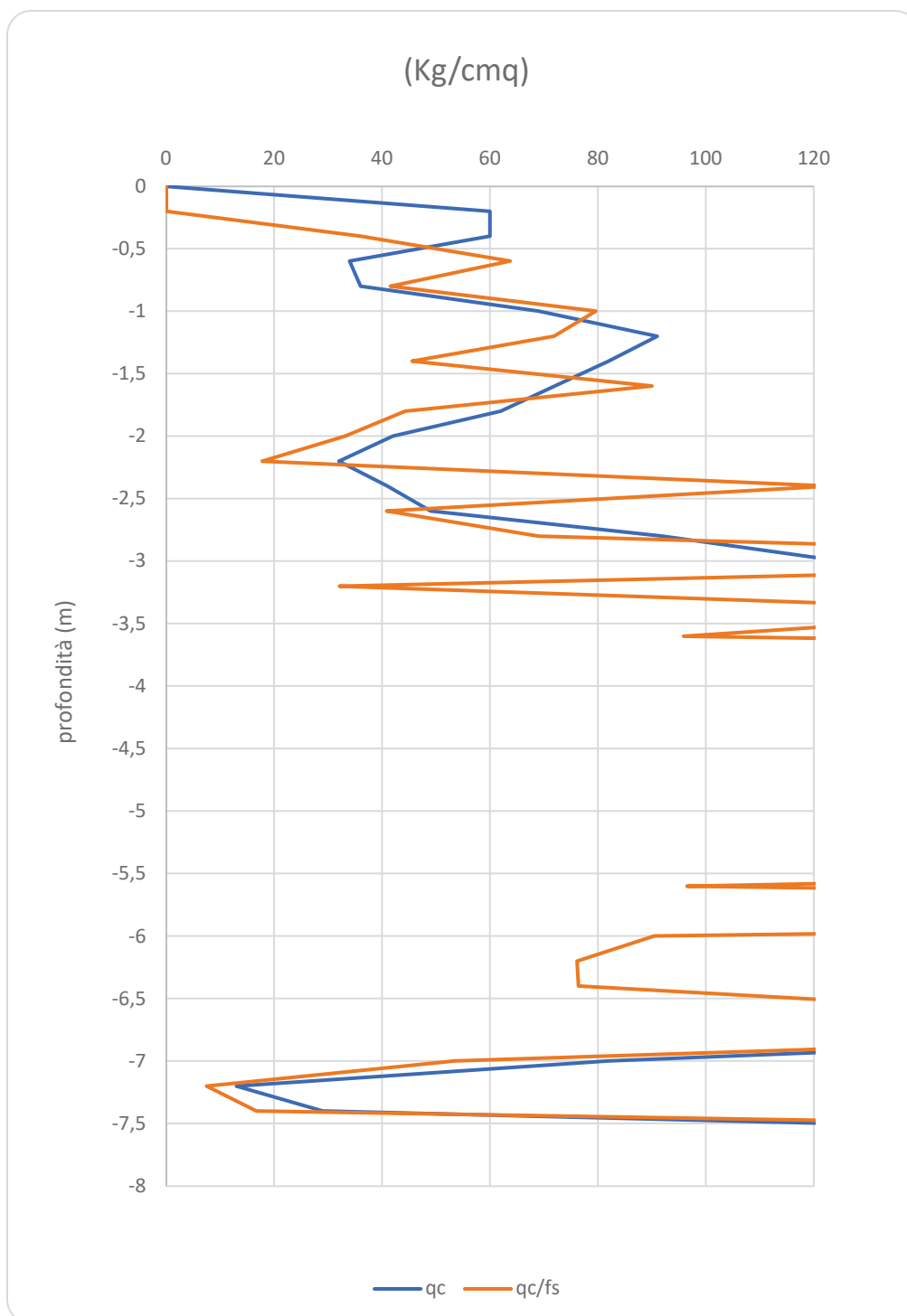


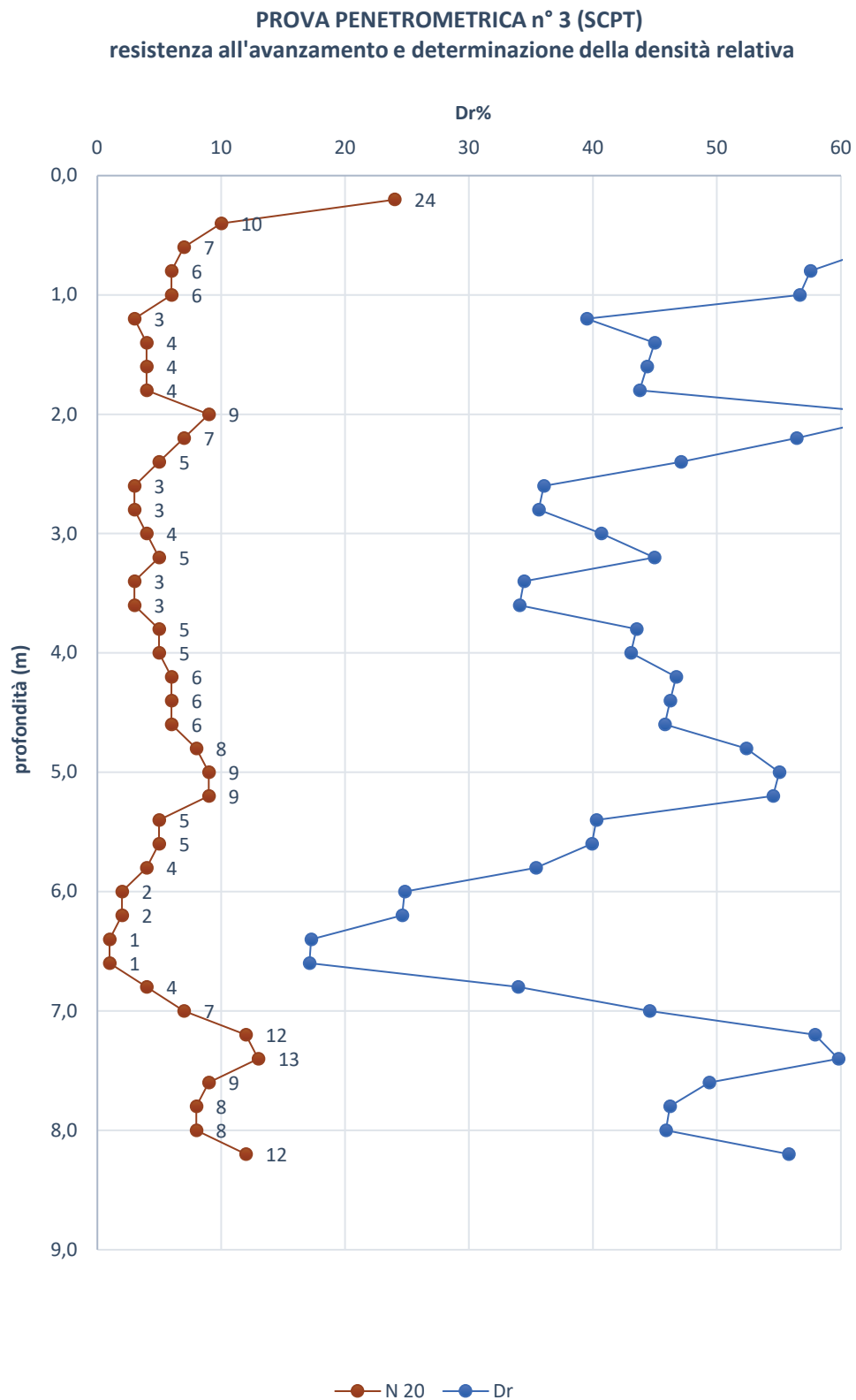
Prova CPT 1 - Resistenza alla punta (q_c) e rapporto di attrito laterale locale (q_c/f_s)





Prova CPT 2 - Resistenza alla punta (q_c) e rapporto di attrito laterale locale (q_c/f_s)



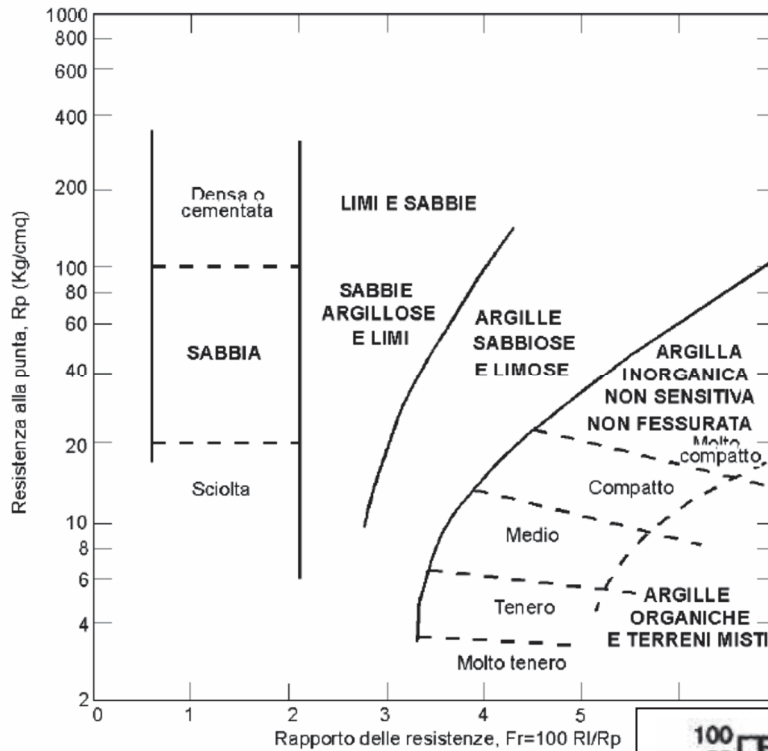




INTERPRETAZIONE DELLE PROVE

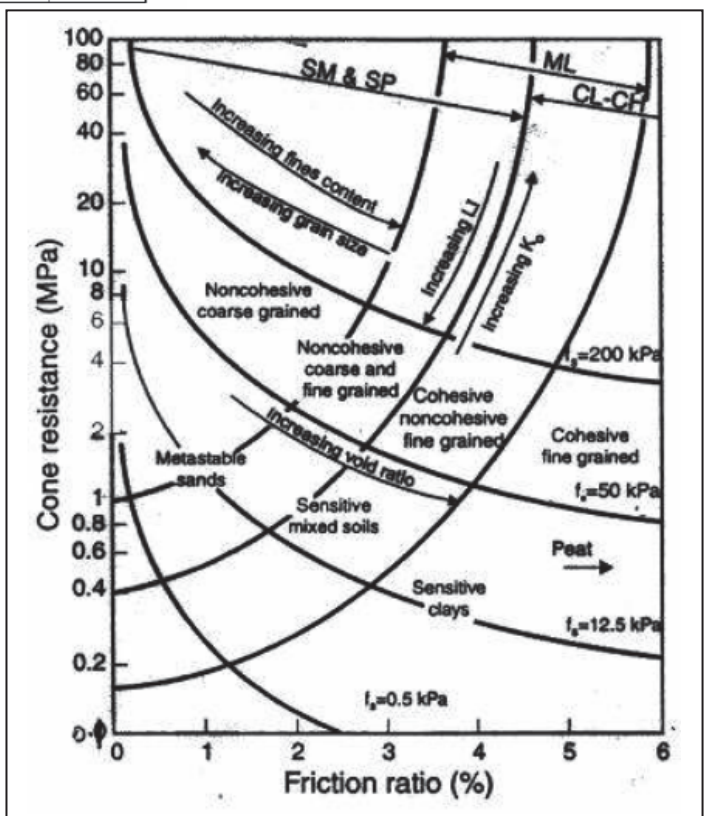
Metodo di Schmertmann e Douglas & Olsen

Si esegue tramite il confronto tra R_p (q_c) ed il rapporto delle resistenze F_r con $F_r\% = 100 R_I/R_p$.



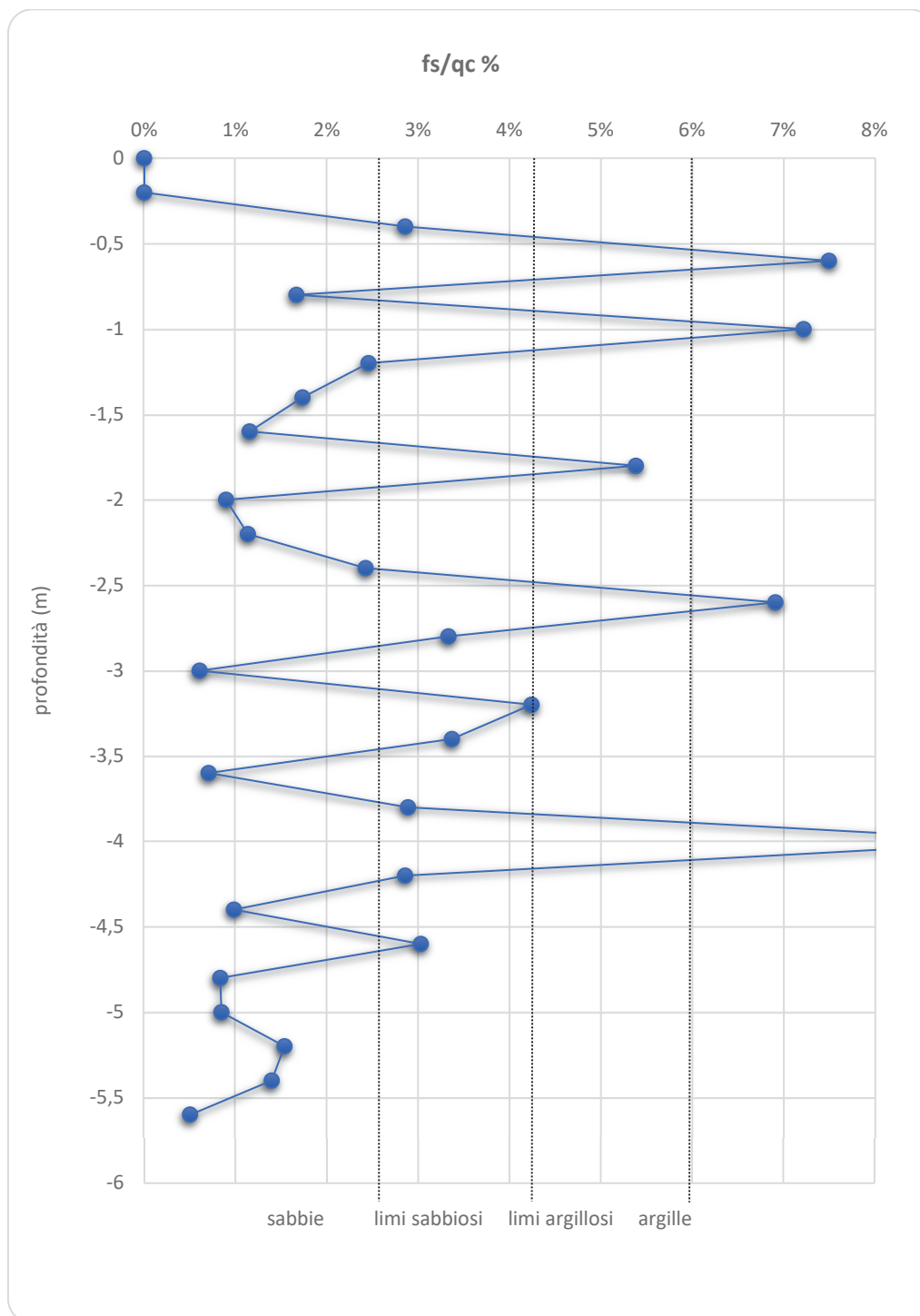
Rapporto di Schmertmann

Rapporto di Douglas & Olsen



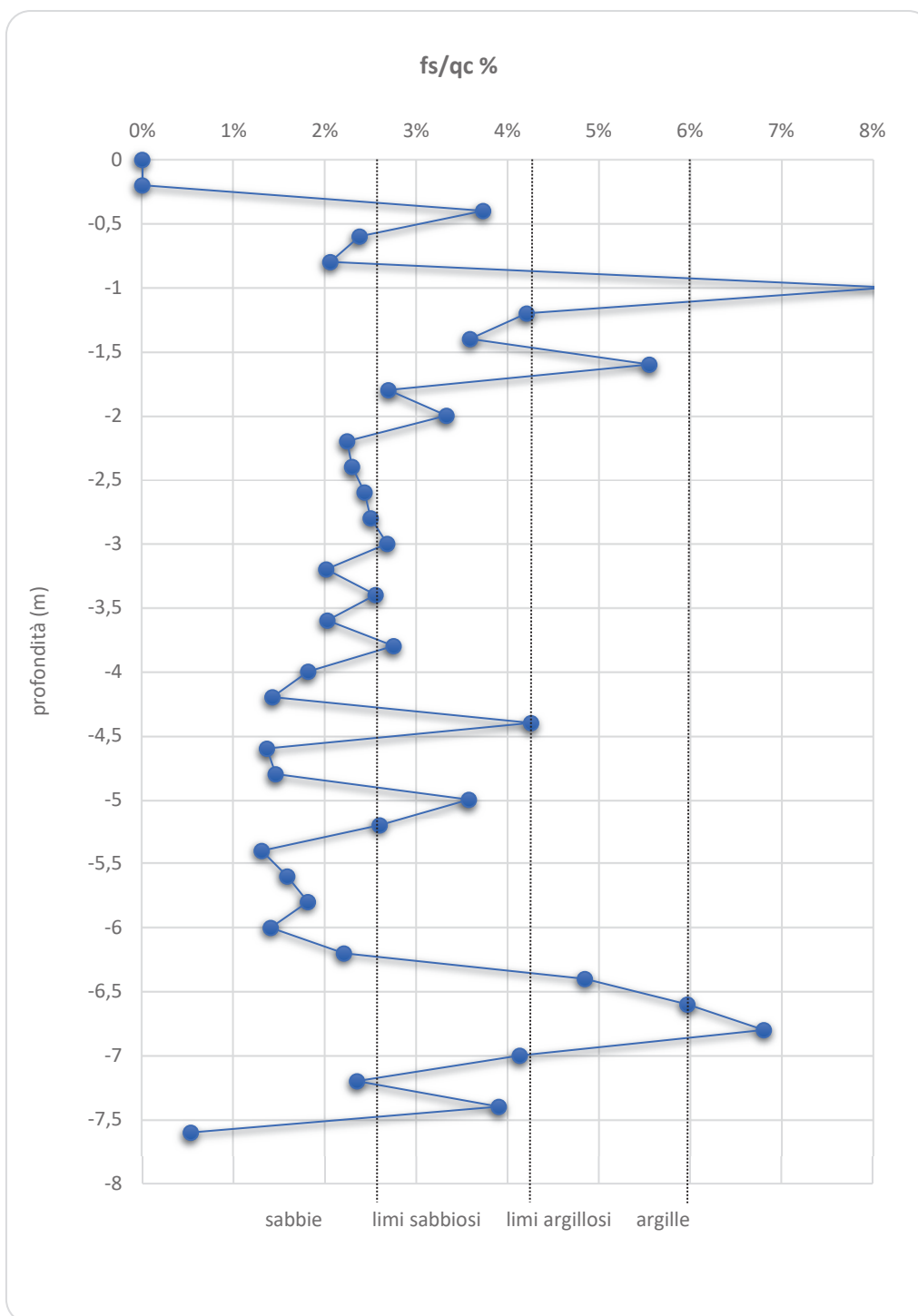


CPT 1 – Definizione litologica





CPT 2 – Definizione litologica





4.2 SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA RILEVATA: ASPETTI GENERALI

Le indagini hanno evidenziato una successione correlabile lungo tutto il tratto di sviluppo dell'area di intervento, ossia la presenza di una successione di depositi alluvionali che dalla superficie può essere schematizzata nel modo seguente:

Strato	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
Livello A	0,0 – 0,6	Suolo limoso-argilloso.
Livello B	0,6 – 1,8	Sabbie localmente limose con ghiaia, sciolte e sature.
Livello C	1,8 – 8,2	Sabbie con ghiaia mediamente addensate e locali intercalazioni limose.

4.3 POSIZIONE LIVELLO FREATICO

Con riferimento alle prove di indagine, si riporta il battente della falda superficiale.

Quota livello freatico da piano campagna (metri)	Data
-2,90	27/02/2023

E' prevedibile una risalita del livello freatico sino a 1,5 metri dal piano campagna nei mesi da giugno ad agosto, in concomitanza con i cicli irrigui delle campagne.



5. VERIFICHE GEOTECNICHE

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Correlazioni svolte utilizzando i valori della prova CPT

$$\varphi = 5,9 + 4,76 \ln \left(\frac{qc}{\sigma_v} \right) \quad (\text{De Beer}) \quad Cu = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{N_c} \quad (\text{Levadoux \& Baligh, 1980})$$

Densità relativa $Dr = -97,8 + 36,6 \ln qc - 26,9 \ln \sigma_v$ (Schmertmann)

Modulo di deformazione E $E = 3qc$ (Jamiolkoski – Schmertmann)

Modulo di taglio dinamico G $G = 2,87(qc)^{1,335}$ (Maine e Rix, 1993)

Correlazioni per la prova SCPT

Rapporto $\frac{N_{spt}}{N_{DP}} = 1,67$

Angolo di attrito $\varphi = 0,28 N_{spt} + 28$ (Sowers)

Densità relativa $Dr = 0,478 \ln(N_{spt}) - 0,262 \ln(\sigma) + 2,84$ (Schulze e Menzebach)

Modulo di deformazione $E = (18,57 + 0,765 N_{60})(1 - \mu)^2$ (D'Apollonia)

Modulo di taglio dinamico $G = 794 N_{spt}^{0,611}$ (Crespellani e Vannucchi)

Sono stati utilizzati i valori caratteristici (fk) come stabilito dalle nuove norme tecniche (NTC 2018).

Per le caratteristiche fisiche (peso di volume e coeff. di Poisson) dei terreni si sono utilizzate le fonti bibliografiche.

PARAMETRI	Livello A	Livello B	Livello C
peso γ_n	16 kN/m ³	16 kN/m ³	17 kN/m ³
Densità relativa %		20	50



Angolo di attrito φ'		24°	32°
Coesione c' KN/m ²		10	
Mod. Elastico E		10 Mpa	15Mpa
Mod. di taglio G		20 Mpa	35 Mpa
Mod. Edometrico M		2 Mpa	8 Mpa
coeff. di Poisson μ		0,3	0,3

CAPACITA' PORTANTE –RELAZIONE GENERALE

La formula generale utilizzata è quella sviluppata da Meyerhof come estensione di quella di Terzaghi, ottenuta mediante la sovrapposizione di soluzioni di casi particolari:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} d_{\gamma} + c N_c s_c i_c d_c + q N_q s_q i_q d_q \text{ dove:}$$

Fattori di capacità portante

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi'$$

$$N_q = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right) e^{\pi \tan \varphi'} \quad (\text{Prandtl 1921})$$

$$N_{\gamma} = 2(N_q + 1) \tan \varphi' \quad (\text{Vesic, 1970})$$

Fattori di forma

$$s_{\gamma} = 1 + 0.1 K_p \frac{B^*}{L^*}$$

$$s_c = 1 + 0.2 K_p \frac{B^*}{L^*}$$

$$s_q = s_{\gamma}$$

Fattori di profondità

$$d_{\gamma} = 1 + 0.1 \sqrt{K_p} \frac{D}{B}$$

$$d_c = 1 + 0.2 \sqrt{K_p} \frac{D}{B}$$

$$d_q = d_{\gamma}$$



COEFFICIENTI PER LA VERIFICA DI STABILITA' (DM 17/01/2018)

PARAMETRO	(M1)	(M2)
$\tan\phi_k'$	1,0	1,25
c_k'	1,0	1,25
γ	1,0	1,0

VERIFICA	Coeff. Parziale R1	Coeff. parziale R2	Coeff. parziale R3
Capacità portante	1,0	1,8	2,3

VERIFICA A LUNGO TERMINE (CONDIZIONI DRENATE)

Parametri di progetto

Terreno di fondazione (livello B)	$\varphi' = 24^\circ$	$c' = 10 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_n = 16 \text{ kN/m}^3$
---	-----------------------	--------------------------	--------------------------------

IPOTESI PROGETTUALI

A) FONDAZIONE A TRAVE ROVESCIA

Fondazione Trave	D (incastro) = 0,5 m
---------------------	----------------------

B (m)	Rd ($A_2+M_2+R_2$) (SLE)	Rd ($A_1+M_1+R_3$) (SLU)
0,80	127,7 kN/m ²	168,2 kN/m ²
1,25	127,2 kN/m ²	170,0 kN/m ²
1,60	129,4 kN/m ²	174,7 kN/m ²



COEFFICIENTE DI WINKLER

Sono utilizzate le relazioni:

$$k_s = 40q_{lim} \quad K'_s = \alpha_1 \frac{E}{b} \quad K = K_{ps} \left(\frac{B + 0,3}{2B} \right)^2 \quad \text{da cui si ricava}$$

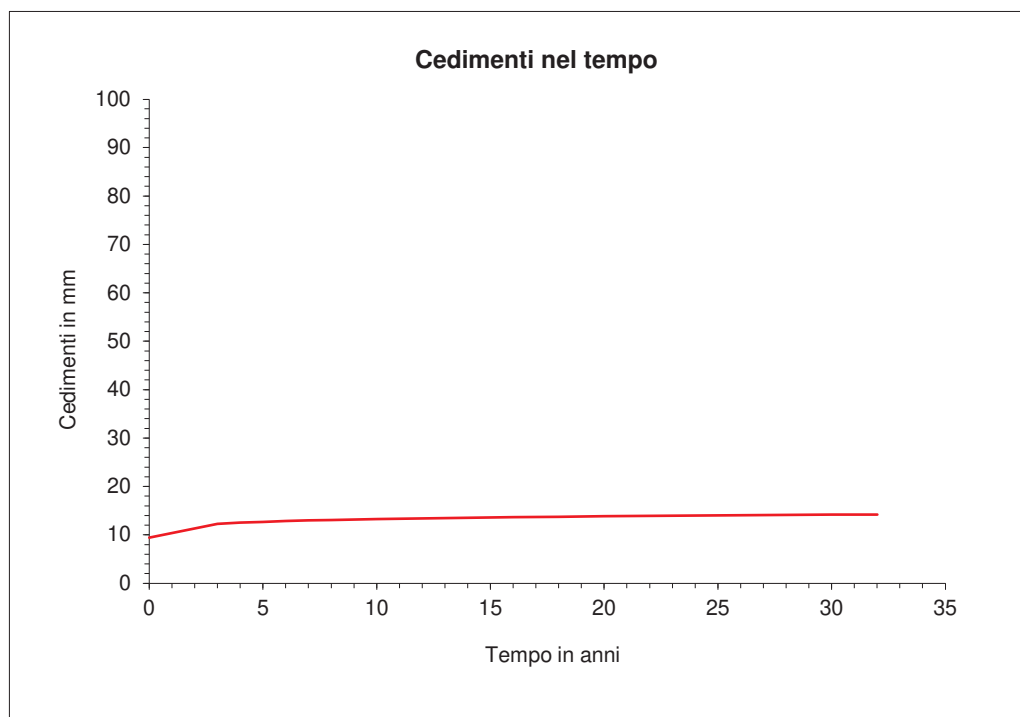
Trave
$K_w \text{ (Kg/cm}^3\text{)} = 1,2 \text{ SLE}$
$K_w \text{ (Kg/cm}^3\text{)} = 1,6 \text{ SLU}$

VALUTAZIONE TEORICA DEI CEDIMENTI

La stima teorica dei cedimenti può essere espressa dalla relazione di Burland e Burbridge (1984) che correla direttamente il valore dell'assestamento del terreno in funzione della resistenza alla penetrazione dinamica del terreno (SPT):

$$S = f_s \times f_h \times f_t \times \left[\sigma_{vo} \times B^{0,7} \times l_c/3 + (q' - \sigma_{vo}) \times B^{0,7} \times l_c \right]$$

Assumendo $N_{spt} = 7$ per il terreno di fondazione, si ottiene **per $q = 130 \text{ Kpa}$:**



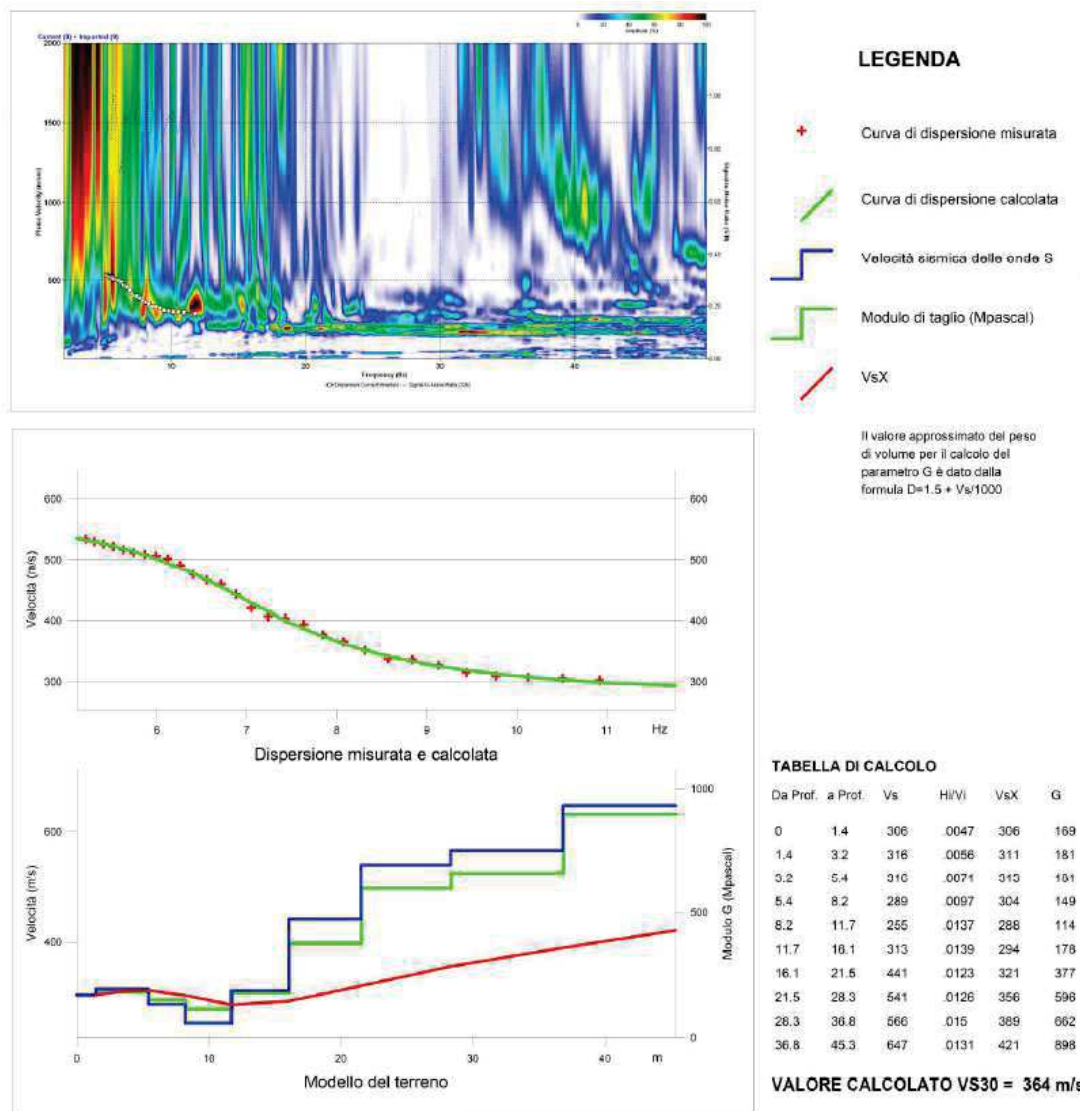


6. INDAGINE GEOFISICA

La Regione Lombardia, con D.G.R. n. X/2129 dell'11 luglio 2014, ha provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni della Lombardia. In ottemperanza alla normativa vigente nel 2015, in occasione della realizzazione del primo corpo di fabbrica della scuola materna è stata attuata un'indagine sismica di 2° livello mediante metodo MASW che consente di risalire alla velocità delle onde S (onde di taglio).

L'elaborazione col programma di calcolo ha consentito di definire la sequenza delle onde S con la profondità con la relazione:
$$V_{seq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h}{V_S}}$$

Il terreno indagato presenta valori delle V_{s30eq} pari a **364 m/s** riferito al piano campagna.



Indagine geofisica del 2015 (Dott. Geol. F. Fusina)



Per **velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio** si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità **dal piano di posa della fondazione**.

Secondo lo schema presente nelle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. LL.PP. 17 Gennaio 2018) i terreni indagati risultano essere appartenenti alla categoria C.

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**.*

La categoria topografica dell'area, verificata cartograficamente e morfologicamente, è di tipo T 1 (terreni pianeggianti).

EFFETTI LITOLOGICI

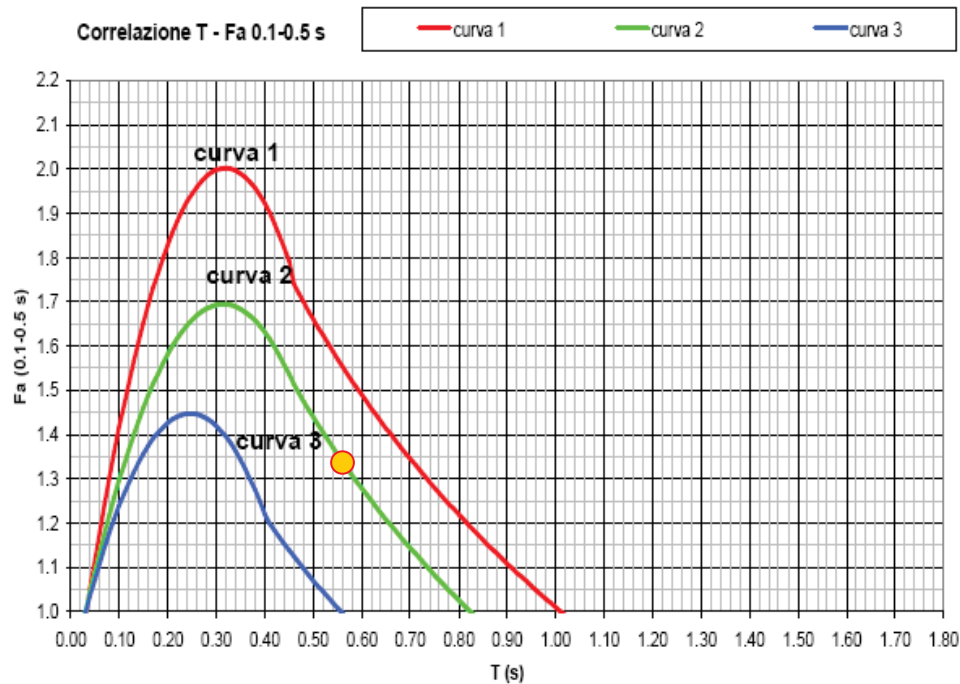
Si utilizza la scheda per le litologie sabbiose. Nel caso in esame è stata calcolata una media pesata da attribuire al primo strato fino a 10 m, individuando così una velocità delle onde assimilabile a 250m/s che consente l'utilizzo della curva verde.

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

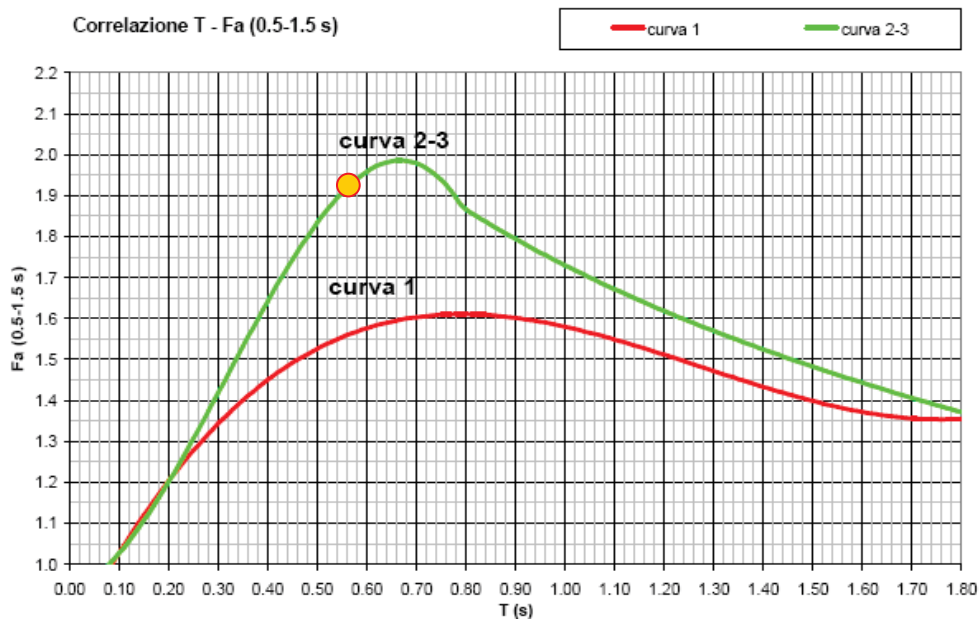
Il periodo T calcolato è $T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n v_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)} = 0,55s$



Si calcola il valore di F_a utilizzando gli abachi regionali.



$F_a = 1,35$



$F_a = 1,93$

Le tabelle sottostanti riportano i valori di F_a relativi, nel primo caso ad edifici bassi (max 4 piani), nel secondo caso ad edifici alti e flessibili (5 o più piani) per ogni tipo di suolo individuato dalla Regione Lombardia per il comune di Trezzano Sul Naviglio.

I valori di F_a misurati in sito rientrano nei limiti di soglia comunali per il suolo di tipo C.



VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Trezzano S/N	4	1.4	1.8	2.2	1.9

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s					
COMUNE	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Trezzano S/N	4	1.7	2.4	4.1	3.0

PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Caratteristiche della struttura e del terreno	
latitudine:	45,427487
longitudine:	9,055014
Classe:	3
Vita nominale:	50
Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	75 anni
Coefficiente cu:	1,5

Parametri sismici

Stati Limite	SLO	SLD	SLV	SLC
Prob. di superamento %	81	63	10	5
Tr (anni)	45	75	712	1462
Ag (g)	0,021	0,026	0,050	0,059
F ₀	2,529	2,586	2,700	2,771
T _c (s)	0,183	0,201	0,293	0,310



Coefficienti Sismici di sito

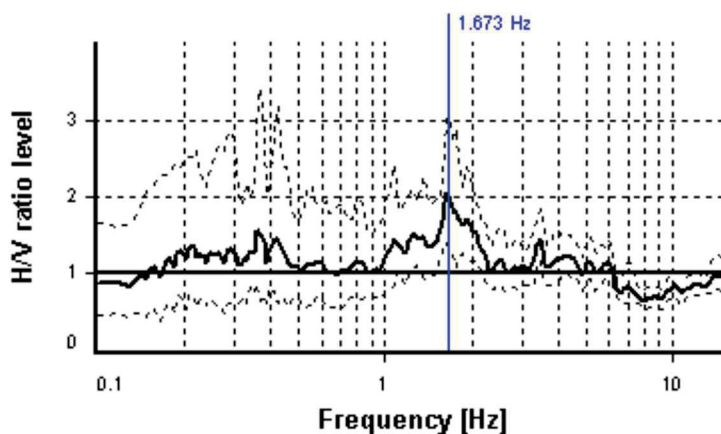
SLO	SLD	SLV	SLC
Ss: 1,500	Ss: 1,500	Ss: 1,500	Ss: 1,500
Cc: 1,840	Cc: 1,780	Cc: 1,570	Cc: 1,550
St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000
Kh: 0,006	Kh: 0,008	Kh: 0,015	Kh: 0,018
Kv: 0,003	Kv: 0,004	Kv: 0,007	Kv: 0,009
Amax: 0,311	Amax: 0,384	Amax: 0,733	Amax: 0,869
Beta: 0,200	Beta: 0,200	Beta: 0,200	Beta: 0,200

6.1 INDAGINE HVSR

Sul sito di progetto è stata svolta un'ulteriore verifica sismica con metodo HVSR.

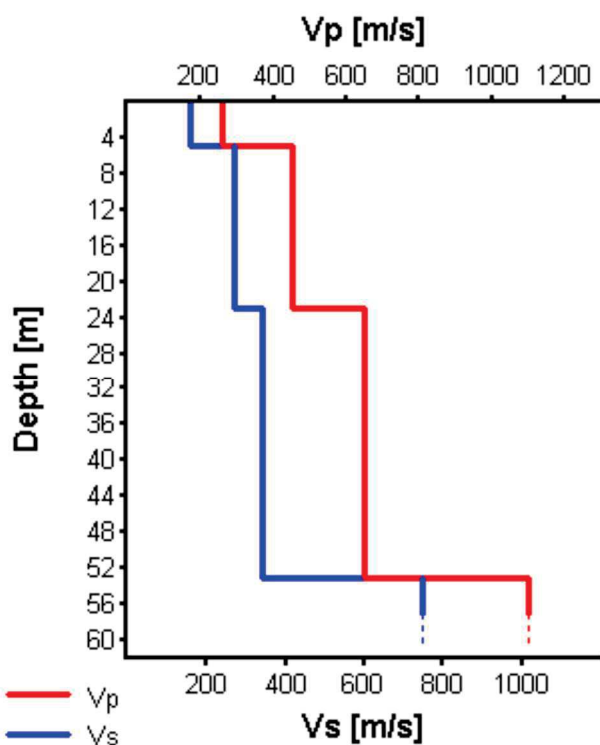
La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza degli edifici e dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera. Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali, moto ondoso, perturbazioni atmosferiche, ecc., sia all'azione antropica, traffico veicolare, macchinari, ecc. Si è riconosciuto che i microtremori tendono a eccitare le frequenze naturali di oscillazione dei terreni, permettendone l'individuazione. In pratica ciò che viene misurato sono, in un certo intervallo di frequenze, solitamente 0.1-100 Hz, le velocità dei microtremori lungo il piano orizzontale e verticale (H e V) e il rapporto fra le due componenti (H/V). I valori di massimo locale (picchi positivi) di H/V ai quali corrispondono minimi locali di V individuano le frequenze di risonanza.

La misurazione è stata effettuata con tromografo digitale SARA. Di seguito si riporta la frequenza di picco rilevata in sito.



Frequenza di picco rilevata (1,673 Hz) e ampiezza (2,032)

A commento delle verifiche eseguite si constata che l'analisi HVSR ha evidenziato la presenza del substrato resistivo (≥ 800 m/s) a profondità comprese fra 50 e 60 m.



6.2 LIQUEFAZIONE

Il D.M del 17/01/2018 riporta i criteri di esclusione per la verifica a liquefazione. L'accelerazione prevista per il sito e le condizioni di addensamento granulometrico riscontrate non favoriscono il fenomeno della liquefazione.



Nakamura (1996) propone di utilizzare il parametro K_g , ricavato con la tecnica geofisica HVSR, per quantificare la vulnerabilità sismica del sito, in riferimento soprattutto al fenomeno della liquefazione. La grandezza K_g , prende il nome di **indice di vulnerabilità del sito** e si ottiene con la seguente relazione:

$$K_g = \frac{A_g^2}{F_g}$$

dove A_g è l'ampiezza del picco più importante dello spettro H/V e F_g la corrispondente frequenza. I siti con valore di $K_g > 10$ sono da considerarsi ad alta vulnerabilità e quindi a rischio liquefazione, in quanto vi è un'elevata probabilità che durante il sisma si sviluppino deformazioni superiori a quelle volumetriche di soglia. Nel caso in esame si ha:

SITO	K_g
HVSR 1	2,4

Voghera, gennaio 2023

Dott. Geol. Luca Giorgi
Iscr. Ordine Geologi della Lombardia n° 814

