

Dott. MARCO STOPPA - GEOLOGO

GEOLOGIA IDROGEOLOGIA E GEOLOGIA AMBIENTALE
Ordine Regionale dei Geologi del Piemonte n° 482

Strada Biandrate, 24 - 28100 Novara (NO)
tel. 347.2540415 - 0321.407246
marco.stoppa@geologipiEMONTE.it

TECNOS S.r.l.

Via Sempione, 94 – 21029 Vergiate (VA)

COSTRUZIONE DI UN NUOVO FABBRICATO AD USO INDUSTRIALE

Via Francesco Somma, snc - 20012 Cuggiono (MI)

R1 - RELAZIONE GEOLOGICA

R2 - RELAZIONE GEOTECNICA

"Norme tecniche per le costruzioni" Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018

Circolare esplicativa n.7 C.S.LL.PP. Del 21 gennaio 2019

Regione Lombardia, L.R. 33/2015, D.G.R. 5001/2016 e D.G.R. 2616/2011

Il presente elaborato tecnico è tutelato sui diritti d'autore dalle leggi n. 633 del 22/04/1941 e n. 1485 del 14/12/1942 e s.m.i. di cui ai D.L. 31/01/2005 n. 7 e L. 31/03/2005 n. 43 e pertanto ogni riproduzione anche parziale risulta essere proibita senza la preventiva autorizzazione dei progettisti.



Stampato
con carta
riciclata 100%

Marzo 2022

Dott. Geol. Marco Stoppa



INDICE

1) PREMESSA.....	3
2) NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
3) INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	8
3.1) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO.....	8
3.2) INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFICO.....	10
3.3) INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	14
3.3.1) VALUTAZIONE DELLA PERMEABILITÀ IN SITO.....	16
4) IDROGRAFIA SUPERFICIALE.....	20
5) PREDISPOSIZIONE ALL'UTILIZZAZIONE URBANISTICA.....	21
6) CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	23
6.1) ZONA SISMICA.....	26
7) CAMPAGNA GEOGNOSTICA.....	28
7.1) PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE TIPO SCPT.....	28
7.2) POZZETTI GEOGNOSTICI.....	29
7.3) INDAGINI GEOFISICHE MEDIANTE TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI O HVSR.....	31
7.3.1) STIMA DELLA VELOCITÀ EQUIVALENTE DI PROPAGAZIONE VSEQ.....	35
8) APPROFONDIMENTO SISMICO DI SECONDO LIVELLO (L.R. 12/05 E S.M.I.).....	36
9) SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE DEL TERRENO.....	37
10) VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DELL'OPERA DA REALIZZARE IN RELAZIONE ANCHE AGLI USI ALLA QUALE ESSA È DESTINATA.....	38
11) MODELLO GEOLOGICO.....	41
12) MODELLO GEOTECNICO.....	43
13) ANALISI STATISTICA DEI PARAMETRI GEOTECNICI.....	45
14) VERIFICHE DI SICUREZZA NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITI ULTIMI (SLU).....	47
14.1) FONDAZIONE SUPERFICIALE: PLINTI QUADRATI.....	49
15) VERIFICHE DI SICUREZZA NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE).....	50
16) CONSIDERAZIONI PROGETTUALI CONCLUSIVE.....	53

Elenco Allegati:

- Allegato I) Parametri sismici locali;
- Allegato II) Grafici interpretativi prove SCPT in situ;
- Allegato III) Report prova geofisica in situ;
- Allegato IV) M9 e M10 D.G.R. 2616/2011.

Elaborati grafici:

- Geo.01 Ubicazione indagini geognostiche, Traccia sezioni geotecniche interpretative;
- Geo.02 Sezioni geotecniche interpretative.

1) PREMESSA

La società **TECNOS s.r.l.**, con sede in Via Sempione n.94 in Comune di Vergiate (VA), ha incaricato lo Studio scrivente di realizzare le verifiche geologiche, geotecniche e sismiche a corredo degli interventi necessari alla costruzione di un nuovo fabbricato ad uso industriale nel lotto di terreno ubicato in Via Francesco Somma s.n.c. in Comune di Cuggiono (MI).

Al fine di caratterizzare geotecnicamente la porzione di sottosuolo che sarà interessata dalla dissipazione dei carichi indotti dal manufatto in progetto si è eseguita un'apposita campagna geognostica; nella presente documentazione, quindi, si forniranno i risultati derivanti dall'interpretazione dei dati stratigrafici rilevati durante le indagini e si effettueranno, sulla base di un apposito modello geotecnico, le verifiche di sicurezza dei terreni di fondazione della struttura in progetto.

Tutto ciò premesso, le presenti **Relazione Geologica-R1** e **Relazione Geotecnica-R2** sono state redatte, per quanto di competenza, in conformità a quanto disposto rispettivamente ai punti 6.2.1 e 6.2.2 dal Decreto Ministeriale del 17 Gennaio 2018, che ha approvato le *Norme Tecniche per le Costruzioni*, e la Circolare esplicativa del 21 Gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP., pubblicate dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, come meglio specificato nel successivo capitolo.

Si precisa che nella parte conclusiva della presente documentazione si effettueranno alcune delle verifiche di cui al punto 6.2.4 dal Decreto Ministeriale del 17 Gennaio 2018, riferite al solo terreno di fondazione (punto 6.2.4.1.2 - Resistenze), rimandando ad altro Professionista il completamento delle verifiche di sicurezza e delle prestazioni dell'opera in progetto.

Inoltre, la presente documentazione è redatta, ove applicabile, con riferimento ai contenuti delle “*Linee Guida NTC08*” predisposte dal Gruppo Interregionale dell'Ordine dei Geologi

Dott. MARCO STOPPA - GEOLOGO

GEOLOGIA IDROGEOLOGIA E GEOLOGIA AMBIENTALE
Ordine Regionale dei Geologi del Piemonte n. 482

nel Luglio 2010, oltre che applicando gli standard metodologici e di lavoro di cui al “*Progetto qualità 2010*” editi dal Consiglio Nazionale dei Geologi.

2) NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nel presente capitolo si richiamano le principali norme di settore applicate:

Decreto Ministeriale 17.01.2018

Testo Unitario - *Norme Tecniche per le Costruzioni*

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 17/01/18. *Circolare 21 Gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.*

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con D.M. 14/01/08 - Cessazione del regime transitorio di cui all'art. 20 comma 1 del decreto-legge 31/12/2007 n. 248. *Circolare 5 Agosto 2009*

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

Eurocodice 8 (1998): Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture

Parte 5: fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici

Eurocodice 7.1 (1997)

Progettazione geotecnica - Parte I: regole generali

Eurocodice 7.2 (2002)

Progettazione geotecnica - Parte II: progettazione assistita da prove di laboratorio

Eurocodice 7.3 (2002)

Progettazione geotecnica - Parte III: progettazione assistita da prove in sito

Regione Lombardia - DGR 7/11/2003 n.14964

Disposizioni preliminari per l'attuazione dell'OPCM 20/03/2003 n. 3274

Regione Lombardia - DGR 30/11/2011 n. 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. 11/3/2005 n.12

Regione Lombardia - DGR 11/7/2014 n. X/2129

Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000 art.3 comma 108 lett. d)

Regione Lombardia - DGR 8 ottobre 2015 - n. X/4144

Ulteriore differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 11 luglio 2014, n. 2129 «Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)»

Regione Lombardia - DGR 30 marzo 2016 - n. X/5001

Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (art. 3 comma 1 e 13 comma 1 LR 33/2015).

Regione Lombardia – DGR 15/02/2021 – n. XI/4317

Indirizzi per l'uniforme applicazione del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 30 Aprile 20202, *“Approvazione delle linee guida per l'individuazione dal punto di vista strutturale, degli interventi di cui all'articolo 94 bis, comma 1, del Decreto del Presidente della Repubblica 6 Giugno 2001, n.380, nonché delle varianti di carattere non sostanziale per le quali non occorre il preavviso di cui all'articolo 93”.*

Dott. MARCO STOPPA - GEOLOGO

GEOLOGIA IDROGEOLOGIA E GEOLOGIA AMBIENTALE
Ordine Regionale dei Geologi del Piemonte n. 482

Gruppo Interregionale Ordine dei Geologi

Linee Guida NTC08 (Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2018).

Consiglio Nazionale dei Geologi

“Progetto qualità 2010”-Relazione Geologica: standard metodologici e di lavoro.

Comune di Cuggiono (MI) – Piano di Governo del Territorio

Componente geologica, idrogeologica e sismica.

3) INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Nei successivi capitoli si fornirà la descrizione dell'assetto geografico, geomorfologico, geologico ed idrogeologico del sito in esame.

3.1) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

Il Comune di Cuggiono caratterizza il settore occidentale della Provincia di Milano nella Pianura Padana Lombarda e si estende per una superficie di 14,76 km² a quote variabili da 119 a 168 metri s.l.m.

Il territorio comunale di Cuggiono può essere suddiviso in due unità morfologiche-geografiche:

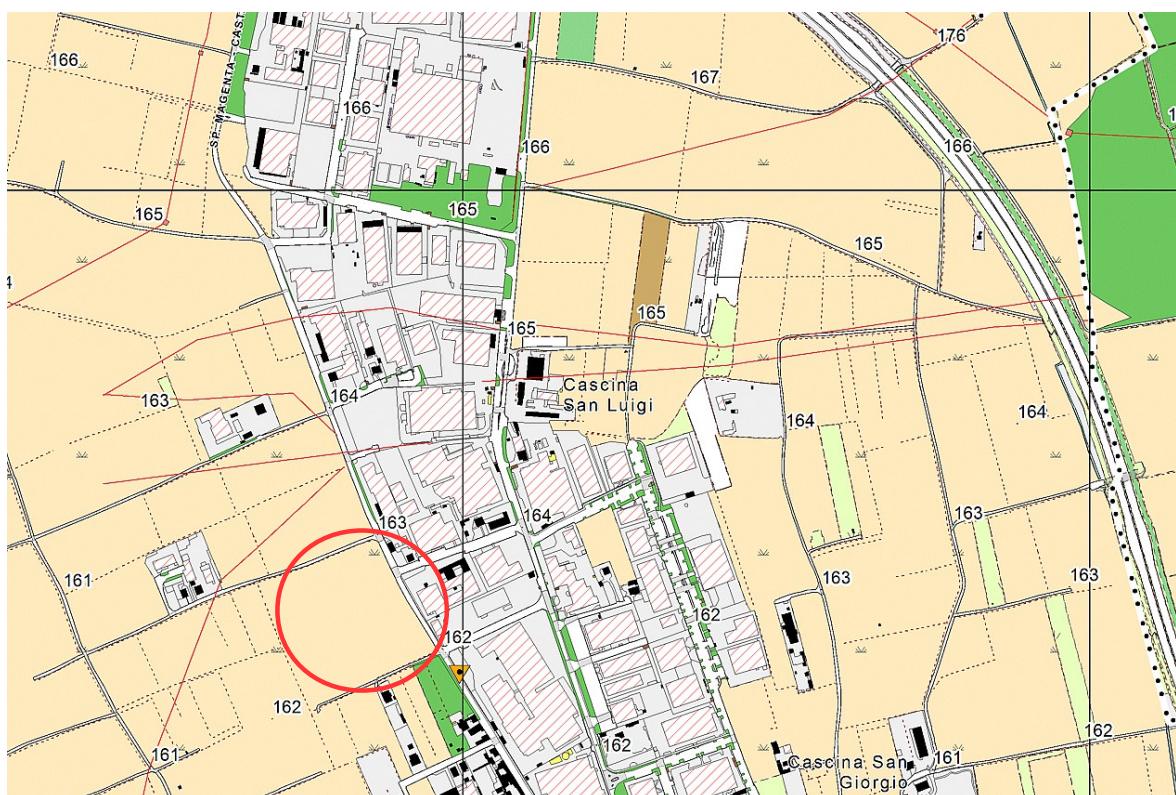
- il Concentrico e tutta l'area urbanizzata i quali appartengono al livello fondamentale della Pianura Padana e risultano caratterizzati da una morfologia pianeggiante;
- la piana del Ticino ribassata di una quota di 30 metri circa, la quale si raccorda al livello fondamentale della pianura mediante una scarpata con pendenze variabili da 15° a 30°.

L'area che sarà interessata dall'intervento in progetto è caratterizzata da un andamento pianoaltimetrico regolare e sub-pianeggiante; nel dettaglio, il sito è rappresentato nella Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia alla scala 1:10.000 alla sezione A6d1 “Busto Garolfo”, di cui uno stralcio è riportato nella pagina seguente e presenta una quota altimetrica, dedotta dalla cartografia citata, che risulta mediamente pari a circa **162 metri s.l.m.**

Dal punto di vista geografico, il baricentro dell'area oggetto di intervento è circa identificabile alle seguenti coordinate, tratte dalla medesima cartografia citata:

WGS84 UTM 32N: 484.811,59 E – 5.040.311,34 N

estratto
CARTA TECNICA REGIONALE
REGIONE LOMBARDIA
Sezione A6d1 “Busto Garofolo”
(non in scala)



Area di indagine.

3.2) INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFICO

L'area in esame si inquadra nell'ambito geologico della Pianura Padana, compresa a Nord dall'unità geo-tettonica delle Alpi Meridionali, a Sud dai rilievi collinari dell'Oltrepò Pavese caratterizzanti l'unità degli Appennini Settentrionali.

Essa caratterizza dal punto di vista paleogeografico l'antico Bacino di sedimentazione Padano, che ha avuto origine in seguito all'evoluzione orogenetica alpina ed appenninica susseguente alla chiusura dell'antico Mare della Tetide, a cui è seguito nell'ultimo milione d'anni dal Pleistocene Inferiore, un continuo e progressivo fenomeno di sedimentazione di detriti incoerenti più o meno grossolani per opera dei principali corsi d'acqua, in concomitanza alla subsidenza del substrato profondo (peraltro tutt'ora in corso).

Tutta la pianura risulta dominata dalla presenza di potenti successioni quaternarie continentali a componente litologica ghiaiosa-sabbiosa con intercalazioni di livelli argillosi aventi uno spessore medio di 420 metri, a cui seguono fino ad una profondità di 1000 metri circa successioni litologiche a composizione argillosa e sabbiosa di transizione al basamento marino terziario, quest'ultimo a prevalente composizione marnosa.

In superficie affiorano terreni alluvionali fluvioglaciali ghiaiosi e sabbiosi d'età Pleistocenica medio-superiore, depositati ed in seguito erosi dai principali corsi d'acqua e dal Fiume Ticino durante le fasi glaciali ed interglaciali (WURM e RISS) che hanno caratterizzato il quaternario superiore.

Tale susseguirsi di eventi glaciali ed interglaciali costituiti dall'avanzamento e dal ritiro ritmico e ciclico dei ghiacciai alpini, in concomitanza alle forti variazioni climatiche Pleistoceniche costituite dall'alternarsi di periodi freddi e temperati caldi, ha generato una morfologia a terrazzi di natura fluvioglaciale e fluviale ed in particolare durante la fase da un periodo interglaciale a glaciale si sono verificati fenomeni d'alluvionamento, mentre al passaggio alla fase opposta fenomeni di prevalente erosione.

La causa di tale processo è dovuto ai cambiamenti del livello di base dei fiumi e più in generale del livello del mare in funzione delle stesse variazioni climatiche, a cui segue lo spostamento del punto critico o punto neutro del profilo longitudinale del fiume, caratterizzando fenomeni di erosione allorquando si verifica uno spostamento del punto critico verso monte e sedimentazione quando si ha uno spostamento del punto critico verso valle.

La presenza di un ampio e marcato terrazzo morfologico presente a Sud del territorio comunale di Cuggiono, il cui limite è cartografato tra i Comuni di Trecate e Magenta ed osservabile peraltro sul tratto autostradale tra Novara e Milano, evidenzia come a partire dal Pleistocene inferiore fino ad oggi, sia in atto un tendenziale fenomeno di erosione della pianura da parte dei principali corsi d'acqua della zona ed in particolare dal Fiume Ticino.

Il terrazzo morfologico presente a Sud Ovest del centro abitato di Cuggiono presso la frazione di Castelletto testimonia un abbassamento del livello di base della pianura.

Per quanto riguarda la cartografia geologica, il territorio comunale di Cuggiono ricade nel Foglio n. 44 “*Novara*” della Carta Geologica d’Italia, alla scala 1:100.000, di cui si allega un estratto, non in scala; la cartografia geologica è tratta dal “*Repertorio completo della cartografia geologica d’Italia*” edito dall’ex A.P.A.T. (Azienda per la Protezione dell’Ambiente e per i Servizi Tecnici), ora I.S.P.R.A.

Nella medesima cartografia geologica è stata evidenziata l’area di interesse e di seguito vengono riportate le descrizioni delle formazioni geologiche d’interesse.

Foglio 44 "Novara"



LEGENDA (*Formazioni d'interesse*):



Alluvioni fluvioglaciali ghiaiose, localmente molto grossolane (a monte del limite settentrionale dei fontanili), con paleosuolo argilloso giallo-rossiccio di ridotto spessore, talora ricoperte da limi più recenti. **WÜRM e RISS p.p.**



Area di studio

La valutazione del locale assetto stratigrafico è stata effettuata consultando la documentazione relativa ad un pozzo dell'acquedotto comunale, ubicato presso il Campo Sportivo Comunale, di cui verrà riportata la stratigrafia sino a circa 50 metri di profondità.

La documentazione consultata indica che al di sotto del **terreno vegetale**, dello spessore di 2 metri, è stato attraversato uno strato di **ghiaia con sabbia** sino alla profondità di 16 metri, seguito da un livello di **ghiaia argillosa** sino a 20 metri da p.c.

Al di sotto è stato intercettato un orizzonte di **ghiaia compatta** dello spessore di 20 metri, seguito da uno strato di **ghiaia grossa compatta** sino a 45 metri.

Tra le profondità di 45 e 47 metri è stato intercettato un livello di **ghiaia argillosa**, seguito da uno strato di **sabbia argillosa** sino a 50 metri.

3.3) INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Per la descrizione della struttura idrogeologica del sottosuolo viene adottato il classico schema strutturale del sottosuolo della provincia di Milano, caratterizzato dalla successione di tre unità principali, che presentano caratteri granulometrici decrescenti con la profondità; le unità idrogeologiche si succedono, dalla più superficiale alla più profonda, secondo il seguente schema:

- *Litozona ghiaioso-sabbiosa*: costituisce l'acquifero tradizionale comunemente sfruttato dai pozzi; risulta sede della falda libera sino a profondità massime di circa 100 metri. Presenta una buona continuità in senso orizzontale e verticale entro la totalità del territorio comunale. Litologicamente è contraddistinta da terreni prevalentemente ghiaioso-sabbiosi-ciottolosi con locali intercalazioni lenticolari di argille limose o conglomerato. Entro tale unità la falda oscilla liberamente con valori medi di soggiacenza variabili a seconda delle condizioni topografiche e geomorfologiche.
- *Litozona sabbioso-argillosa*: è caratterizzata da alternanze di strati a litologia ghiaioso-sabbiosa e strati argilloso-limosi con torba è presente a partire dal letto della precedente unità sino a profondità variabili mediamente da 120 a 150 metri rispetto al piano campagna, con spessori mediamente compresi tra 50 e 90 metri.
- *Litozona argillosa*: è caratterizzata dalla prevalenza di argille e limi più o meno sabbiosi, presenti a partire dalla base della precedente unità. Costituisce il limite inferiore impermeabile delle successioni sfruttate ai fini idropotabili.

L'andamento generale della piezometria della falda tradizionale è caratterizzato da una andamento da Nord-Ovest verso Sud-Est, con quote piezometriche nel territorio in esame che variano da circa 150 metri s.l.m. a circa 120 metri s.l.m.

La consultazione della *Carta idrogeologica*, alla scala 1:7.500 presente come allegato al P.G.T. vigente, ha permesso di stimare una quota piezometrica presso l'area di indagine compresa tra circa **144 e 145 metri s.l.m.**

Sulla base della quota media del piano campagna, come rilevabile dalla Carta Tecnica Regionale, pari a circa **162 metri s.l.m.**, è possibile indicare un valore di soggiacenza compreso tra circa **17 e 18 metri**.

3.3.1) VALUTAZIONE DELLA PERMEABILITÀ IN SITO

La determinazione in sito del coefficiente di permeabilità k del terreno, in considerazione delle caratteristiche granulometriche rilevate durante la campagna geognostica è stata eseguita mediante la realizzazione di **due prove di percolazione**.

Le prove sono state condotte sulla base delle prescrizioni contenute nelle “*Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*” edite dall’Associazione Geotecnica Italiana (1977).

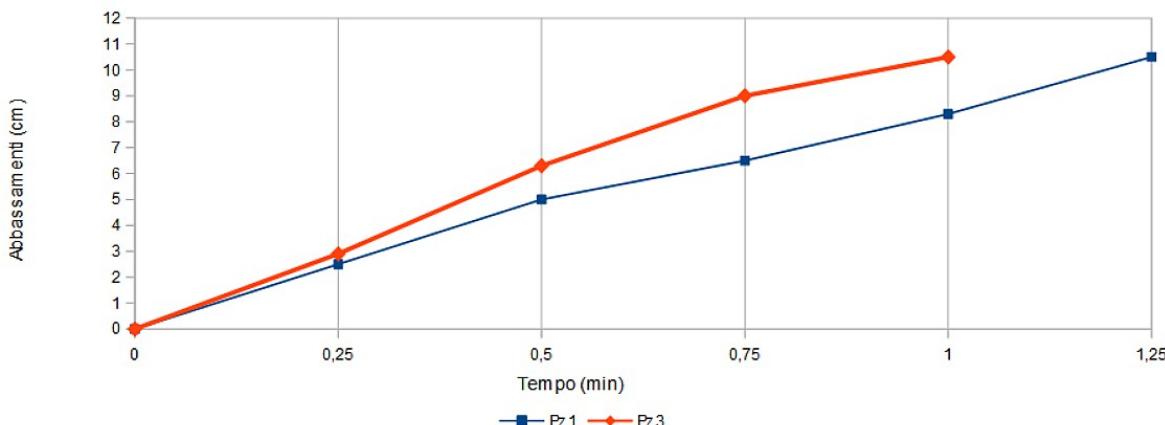
Alla base del pozzetto è stato infisso uno strumento metallico di forma cilindrica, con lo scopo di limitare la sezione di afflusso, che è stato saturato attraverso il parziale riempimento con acqua e si è attesa la completa percolazione prima di dare inizio alla prova; successivamente si è proceduto alla realizzazione della *prova di permeabilità a carico variabile*, cioè si è registrato l’abbassamento del livello dell’acqua nel singolo pozzetto in funzione del tempo.

Nella seguente tabella si riassumono i dati rilevati durante le prove in sito:

Pozzetto	Tempo (min)	Abbassamento (cm)
Pz1	0	0
	0,25	2,5
	0,5	5
	0,75	6,5
	1	8,3
	1,25	10,5
Pz3	0	0
	0,25	2,9
	0,5	6,3
	0,75	9
	1	10,5

Nel seguente grafico si sono rappresentati i valori di abbassamento rispetto al tempo di durata della prova.

Determinazione della k in situ



La valutazione del coefficiente di permeabilità è stata eseguita attraverso l'applicazione di un algoritmo empirico, valido per terreni omogenei, isotropi e con permeabilità non inferiore a 10^{-6} m/s, come nel caso in esame; nello specifico è stato adottato il seguente algoritmo:

$$k = \frac{d}{32} \cdot \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1}{h_m}$$

Dove:

k coefficiente di permeabilità (m/s)

h_m altezza media dell'acqua nel pozzetto (m)

d diametro del pozzetto cilindrico (m)

$t_2 - t_1$ intervallo di tempo (sec)

$h_2 - h_1$ variazione di livello dell'acqua nell'intervallo $t_2 - t_1$ (m)

L'elaborazione dei dati raccolti durante la realizzazione delle prove eseguite in situ ha permesso di valutare una permeabilità media della porzione di sottosuolo insaturo che sarà interessata dalla dispersione delle acque meteoriche pari a $3,54 \times 10^{-4}$ m/sec per la prova

effettuata in corrispondenza del pozetto Pz1 e pari a **4,80x10⁻⁴ m/sec** per la prova effettuata in corrispondenza del pozetto Pz3.

I valori stimati risultano verosimili alle indicazioni bibliografiche inerenti la tipologia di terreno insaturo interessata dalla dispersione (sabbie ghiaiose) e le sue peculiarità reologiche; la prova di permeabilità ha, quindi, indicato **una permeabilità discreta dei terreni**.

Sulla base di tali valori di permeabilità è infine possibile stimare la velocità di filtrazione delle acque nel terreno; la velocità di filtrazione nel deposito è stimabile attraverso l'algoritmo proposto da Darcy e cioè:

$$v = \frac{k i}{n_e}$$

Dove:

k permeabilità del terreno;

i gradiente idraulico;

n_e porosità efficace.

Il gradiente idraulico è connesso con i percorsi che l'acqua percolante compie all'interno del terreno prima di raggiungere la falda; nella porzione insatura, tali movimenti sono prevalentemente verticali e pertanto il gradiente idraulico risulterebbe molto elevato.

Tuttavia, per il presente studio, è stato cautelativamente scelto il valore di 45°, ipotizzando che possa verificarsi la presenza di un moto avente anche componente orizzontale, corrispondente ad un gradiente pari a i=1.

La porosità efficace n_e è stata stimata sulla base delle caratteristiche granulometriche dei terreni, considerando i valori proposti dal *Water Supply Paper (USGS)* per una serie di sedimenti; nel caso specifico è stato adottato un valore pari al 20%.

Lo sviluppo della Legge di Darcy permette quindi di stimare una velocità teorica di filtrazione pari a **1,77x10⁻³ m/sec** per la prova effettuata in corrispondenza del pozetto Pz1 e pari a **2,40x10⁻³ m/sec** per la prova effettuata in corrispondenza del pozetto Pz3.

4) IDROGRAFIA SUPERFICIALE

Nel territorio del Comune di Cuggiono sono presenti due corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico principale, di cui:

- Il fiume Ticino, che taglia il territorio comunale nell'estremità Sud Ovest per circa 2500 metri con una lunghezza dell'alveo variabile da 270 a 560 metri;
- il Naviglio Grande, che si estende nel Comune di Cuggiono per circa 3300 in corrispondenza del settore Sud Ovest del territorio comunale presso la frazione di Castelletto.

Per quanto riguarda il reticolo idrico minore esso è gestito in parte dai consorzi di bonifica ed in parte dal Comune stesso e si estende per circa 35 Km all'interno del territorio comunale.

5) PREDISPOSIZIONE ALL'UTILIZZAZIONE URBANISTICA

In considerazione della “*Carta di fattibilità delle azioni di piano*” alla scala 1:7.500, presente come allegato al P.G.T. vigente, l'area che sarà oggetto di intervento è classificata in **Classe 1 - fattibilità senza particolari limitazioni.**

La classe comprende le zone nelle quali non sono presenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso.

Caratteristiche generali

Essa comprende il centro abitato di Cuggiono ed il territorio circostante della pianura principale rialzata fino alla frazione di Castelletto, ad esclusione delle aree poste all'interno della zona di tutela assoluta (10 metri) dei pozzi dell'acquedotto comunale e delle fasce di rispetto dei canali irrigui secondari e terziari del Consorzio di Bonifica del Villoresi.

Tipologie di intervento edilizio ammesse

- demolizione senza ricostruzione;
- manutenzione ordinaria;
- manutenzione straordinaria;
- adeguamento igienico-funzionale;
- restauro e risanamento conservativo;
- ristrutturazione edilizia;
- ristrutturazione urbanistica;
- completamento;
- nuovo impianto.

Prescrizioni

1. Interventi di nuova edificazione e/o ampliamento e/o sopraelevazione dovranno essere realizzati in ottemperanza alle prescrizioni dettate dal D.M. 17 gennaio

“Norme tecniche per le costruzioni”

2. Per tale classe valgono le prescrizioni in ambito sismico, di cui alle norme indicate alla “*Carta di pericolosità sismica locale*”: tutte le costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi o attività pericolose per l'ambiente, le reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza, le costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti o con funzioni sociali essenziali, devono essere obbligatoriamente sottoposte alle analisi di approfondimento sismico di 3° livello di cui all'Allegato 5 della D.G.R. 2616/2011.

Dal punto di vista della pericolosità individuata dal P.G.T., la tipologia di opera in progetto non intercerterà la locale falda acquifera, neanche con le proprie opere di fondazione.

Inoltre, i materiali naturali di risulta degli scavi delle opere di fondazione che non potranno essere riutilizzati nell'ambito degli interventi edilizi, saranno *condotti in una discarica autorizzata* ai sensi di legge; *potrà inoltre essere eventualmente valutata l'applicazione, per i terreni naturali di splateamento, delle disposizioni di cui al D.P.R. 120/2017, finalizzate al recupero delle terre e rocce da scavo.*

Ai sensi dell'art. 24 comma 1) del medesimo regolamento, per l'eventuale riutilizzo presso il medesimo sito di produzione delle terre e rocce, sarà necessario eseguire le verifiche analitiche di cui all'Allegato 4 del più volte citato DPR 120/17.

In tale ambito, nel caso in cui si rilevassero evidenze organolettiche ed olfattive riconducibili a stati di contaminazione potenziale del sottosuolo, si provvederà ad eseguire un campionamento rappresentativo del terreno interessato e successive idonee verifiche di laboratorio, al fine di accertare le condizioni di cui all'art. 242 del D.L.vo 152/2006 e s.m.i.

6) CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Con riferimento al Capitolo 3.2 delle NTC18, le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di interesse.

Per quanto di competenza, nel presente capitolo si valuteranno, quindi, le condizioni stratigrafiche e topografiche del sito, al fine di definire l’azione sismica locale di progetto; essa deve essere definita valutando l’influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale.

Le condizioni stratigrafiche possono essere valutate sulla stima dei valori della *velocità equivalente di propagazione delle onde sismiche di taglio $V_{S,eq}$* ; in base a tale grandezza si identificano le seguenti categorie del suolo di fondazione:

- A** - *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
- B** - *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
- C** - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
- D** - *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiore 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 - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Rimandando per ulteriori dettaglio ai Capitoli successivi, l'indagine effettuata in situ ha permesso di rilevare una velocità delle onde sismiche equivalente a 30 metri di profondità*) $V_{S30} = 244,09$ m/sec e, quindi, i terreni interessati dalle opere di fondazione del nuovo fabbricato ad uso industriale possono essere classificati nella categoria di **tipo C**.

La condizione topografica del sito in esame è classificabile, nel rispetto di quanto prescritto nel Capitolo 3.2.2 delle NTC18 e di quanto descritto al Capitolo 3.1, quale **tipo T1**, essendo l'area sub-pianeggiante.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali è definito dalle seguenti espressioni:

coordinate punto medio del sito (WGS84): 45,516275 N – 8,805706 E

Vita Nominale Struttura $V_N = 50$ anni

Classe d'Uso $C_U = II$

(*Industrie senza attività pericolose, Ecc.- Cap. 2.4.2 NTC18*).

*) Per depositi con profondità del substrato sismico, caratterizzato da Vs non inferiore a 800 m/s, superiori a 30 m, la velocità equivalente è definita dal parametro V_{S30} , considerando le proprietà degli strati di terreno sino a tale profondità. (Cap. 3.2.2 NTC18)

Siti di riferimento^{)}::*

Sito	ID	Lat.	Long.	Distanza (m)
Sito 1	12033	45,4934	8,7870	3062,988
Sito 2	12034	45,4961	8,8581	4633,375
Sito 3	11812	45,5461	8,8542	4893,044
Sito 4	11811	45,5433	8,7830	3441,006

Parametri sismici:

Stato limite ^{**) (}	Prob. superamento	Tr	ag	F _o	T _c *
SLO	81%	30 anni	0,015 g	2,544	0,160 sec
SLD	63%	50 anni	0,019 g	2,522	0,168 sec
SLV	10%	475 anni	0,038 g	2,644	0,281 sec
SLC	5%	975 anni	0,046 g	2,680	0,307 sec

Coefficienti sismici:

Stato limite	S _s	C _c	St	K _h	K _v	a _{max} (m/sec ²)	Beta
SLO	1,500	1,920	1,000	0,005	0,002	0,222	0,200
SLD	1,500	1,890	1,000	0,006	0,003	0,276	0,200
SLV	1,500	1,600	1,000	0,012	0,006	0,564	0,200
SLC	1,500	1,550	1,000	0,014	0,007	0,673	0,200

Periodi di riferimento della componente orizzontale dell'accelerazione:

Stato limite	T _c *	T _b	T _c	T _d
SLO	0,160 sec	0,102 sec	0,307 sec	1,660 sec
SLD	0,168 sec	0,106 sec	0,318 sec	1,676 sec
SLV	0,281 sec	0,150 sec	0,450 sec	1,752 sec
SLC	0,307 sec	0,159 sec	0,476 sec	1,784 sec

^{*)} Le coordinate sono espresse in gradi centesimali ed in ED50

^{**)SLO} Stato Limite di Operatività

^{SLD} Stato Limite di Danno

^{SLV} Stato Limite di salvaguardia della Vita

^{SLC} Stato Limite di prevenzione del Collasco

I valori dello spostamento orizzontale d_g e della velocità orizzontale v_g massimi del terreno, considerando lo *Stato Limite SLV*, sono, quindi, così definibili:

$$d_g = 0,00112347 \text{ mm} \quad v_g = 0,004104 \text{ m/sec}$$

L'azione sismica locale così stimata verrà combinata, in funzione di specifici approcci progettuali (DA), con le altre componenti di azione e resistenza per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle opere di fondazione previste dalle NTC18.

Nell'Allegato I) si riportano gli spettri di risposta sismica locale definiti per il sito in esame.

6.1) ZONA SISMICA

Con riferimento all'individuazione dell'area in esame da un punto di vista sismico, si richiama quanto disposto nell'Allegato 3 dell'*Ordinanza del Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*.

Il territorio comunale di Cuggiono, in considerazione anche della **Regione Lombardia - DGR 11/7/2014 n. X/2129** “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000 art.3 comma 108 lett. d)”, ricade in **zona sismica 4**, presentando una $A_{g_{max}}$ pari a 0,038507.

Con il Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 Gennaio 2018 (§ Capitolo 2) sono state approvate le nuove norme tecniche per le costruzioni che definiscono i principi generali per il progetto, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni e forniscono i criteri generali di sicurezza a tutela della pubblica incolumità; le predette norme tecniche sono entrate in vigore a partire dal 23 marzo 2018 e si applicano indistintamente a tutte le costruzioni, indipendentemente dalla zona di classificazione sismica in cui sono realizzate.

E' pertanto concluso il periodo transitorio durante il quale era consentito alle Regioni di non introdurre la progettazione antisismica in zona 4.

Per quanto di competenza, le successive verifiche di sicurezza agli **SLU** ed agli **SLE** delle opere di fondazione saranno condotte, oltre che in condizioni statiche, anche applicando i valori di accelerazione di picco del suolo sito specifici e previsti dall'Allegato A e B del DM 17/01/18.

Si precisa che si effettueranno alcune delle verifiche di cui al punto 6.2.4 dal Decreto Ministeriale del 17 Gennaio 2018, riferite al solo terreno di fondazione (punto 6.2.4.1.2 - Resistenze), rimandando ad altro Professionista il completamento delle verifiche di sicurezza e delle prestazioni dell'opera in progetto.

7) CAMPAGNA GEOGNOSTICA

Per la caratterizzazione dei terreni interessati dalla realizzazione dell'opera in progetto e per la definizione di dettaglio della stratigrafia locale, sono state eseguite, nell'ambito del presente studio, delle specifiche indagini in situ.

La campagna geognostica, in considerazione dell'entità degli interventi edilizi in progetto e per maggiore completezza, ha comportato la realizzazione di una prova geofisica mediante tecnica dei rapporti spettrali o HVSR, di pozzi geognostici e di prove penetrometriche dinamiche continue tipo SCPT eseguite in situ.

L'ubicazione, rappresentata nell'Elaborato Geo.01, e le caratteristiche intrinseche delle indagini rispettano i criteri e le procedure proposte dall'A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana) nelle “*Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*”, giugno 1977.

7.1) PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE TIPO SCPT

La campagna geognostica effettuata in situ ha previsto la realizzazione di **dieci prove penetrometriche dinamiche continue S.C.P.T. (standard continuous penetration test)**, spinte fino a profondità significativa per l'intervento in progetto.

L'indagine è stata realizzata mediante *penetrometro dinamico standard* il quale presenta le seguenti caratteristiche costruttive:

- peso del maglio:	63,5 Kg;
- altezza di caduta	75 cm;
- angolo al vertice della punta conica	60°;
- apertura punta conica	51 mm;
- diametro aste	34 mm;

- diametro esterno del rivestimento	48 mm;
- lunghezza aste	100 cm.

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infissione nel terreno di una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta d'acciaio; l'infissione avviene per battitura facendo cadere, da un'altezza costante, un maglio avente un peso standard.

Scopo dell'infissione è misurare il numero di colpi (N_{SCPT}) occorrente per infiggere la punta di un tratto di 20 cm.

Il valore di N_{SCPT} è in funzione della natura del materiale attraversato, del grado di addensamento, della resistenza al taglio e dell'energia assorbita e dissipata dalle aste.

Il terreno è stato investigato a partire dal piano campagna attuale ed è stata raggiunta una profondità massima compresa tra 4,6 e 5,8 metri per rifiuto alla penetrazione.

In allegato si forniscono i grafici interpretativi delle prove penetrometriche eseguite in situ (Allegato II).

7.2) POZZETTI GEOGNOSTICI

Sono stati realizzati **n. 4 pozzetti geognostici**, ubicati come rappresentato nell'Elaborato Geo.01, denominati **Pz1, Pz2, Pz3 e Pz4** i quali hanno permesso di rilevare la stratigrafia superficiale dell'area di interesse, le cui osservazioni stratigrafiche sono riportate nelle tabelle alla pagina seguente.

Pozzetto	Stratigrafia	Profondità (metri da p.c.)
Pz1	Terreno di coltivo con abbondanti resti vegetali e frustuli radicali	0-0,50
	Ghiaia immersa in matrice sabbiosa, colore marrone	0,50-2,00

Pozzetto	Stratigrafia	Profondità (metri da p.c.)
Pz2	Terreno di coltivo con abbondanti resti vegetali e frustuli radicali	0-0,50
	Ghiaia immersa in matrice sabbiosa, colore marrone	0,50-2,00

Pozzetto	Stratigrafia	Profondità (metri da p.c.)
Pz3	Terreno di coltivo con abbondanti resti vegetali e frustuli radicali	0-0,60
	Ciottoli e ghiaia con sabbia media, colore ocra chiaro, e livelli sabbioso-limosi	0,60-2,20

Pozzetto	Stratigrafia	Profondità (metri da p.c.)
Pz4	Terreno di coltivo con abbondanti resti vegetali e frustuli radicali	0-0,58
	Ciottoli e ghiaia con sabbia media, colore ocra chiaro, e livelli sabbioso-limosi	0,58-1,95

7.3) INDAGINI GEOFISICHE MEDIANTE TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI O HVSR

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità della formazione rocciosa compatta (bedrock geofisico); con tale metodo viene stimata la velocità di propagazione delle onde di taglio equivalente Vs, come richiesto dalle vigenti Norme Tecniche per le costruzioni (§ Cap. 2).

L'indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V.

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque; i risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio Vs** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. È possibile calcolare la V_{eq} e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018;

- la **stratigrafia del sottosuolo** con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori; la forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ,
2. dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda),
3. dalla risposta dello strumento.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre; si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni; questa informazione è però “sepolta” all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli; informazione di

notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in altra risoluzione adatti a tali misurazioni.

Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz; i dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico.

In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

1. il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (nel caso specifico 30 minuti);
2. la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno;
3. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti,
4. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale,
5. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981).

Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati, in qualsiasi intervallo di frequenze e in un qualsiasi numero di modi (fondamentale e superiori).

Operativamente si costruisce un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita.

Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale; in questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs.

Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale H/V = 1) con quello effettivamente misurato in superficie.

L'interpretazione dei dati acquisiti consente di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato roccioso compatto (bedrock geofisico) e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del moto fondamentale dell'onda di Rayleigh ed i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si può ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito.

Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità [m] dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

Nell'Allegato III) si riportano i report di sintesi delle elaborazioni eseguite, in cui s'illustrano i risultati delle indagini geofisiche e la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005), mentre nell'allegato elaborato Geo.01 è ubicato il sito di indagine ed il punto di installazione della strumentazione geofisica; nel dettaglio, per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi tre parametri mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri espressi dal protocollo SESAME.

7.3.1) STIMA DELLA VELOCITÀ EQUIVALENTE DI PROPAGAZIONE $V_{S_{EQ}}$

Nel seguente capitolo si sintetizzano i risultati delle elaborazioni effettuate per la stima della velocità equivalente delle onde di taglio di superficie $V_{S_{EQ}}$, così come imposto dalla vigente normativa tecnica (§ Cap.2); si rimanda alla relazione di cui all'Allegato III) al presente documento per ogni ulteriore dettaglio.

Si precisa, che come previsto al Cap. 3.2.2 delle NTC18, che nel caso in esame, essendo i depositi con profondità del substrato sismico, caratterizzato da Vs non inferiore a 800 m/s, superiori a 30 m, la velocità equivalente è definita dal parametro $V_{S_{30}}$, considerando le proprietà degli strati di terreno sino a tale profondità; per fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse.

VELOCITÀ MEDIA ($V_{S_{30}}$): 244,09 m/s

categoria di suolo (Cap. 3.2.2 NTC18): **C**

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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.

8) APPROFONDIMENTO SISMICO DI SECONDO LIVELLO (L.R. 12/05 E S.M.I.)

In relazione alla nuova normativa di cui alla D.G.R. 10 ottobre 2014 - n X/2489, la nuova classificazione sismica della Regione Lombardia inserisce il Comune di Cuggiono in zona 4; pertanto per l'area di progetto **non è previsto un ulteriore approfondimento sismico di secondo livello.**

Il Comune di Cuggiono è dotato di uno studio di approfondimento sismico di primo livello, eseguito in ambito di stesura del PGT.

Con riferimento a quanto sopra, *l'area in oggetto risulta caratterizzata dall'assenza di uno specifico scenario di pericolosità sismica locale.*

9) SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE DEL TERRENO

Secondo quanto indicato nel D.M. 17.01.2018 Cap. 7.11.3.4.1, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N_1)₆₀ > 30 oppure $qc1N > 180$ dove (N_1) ₆₀ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

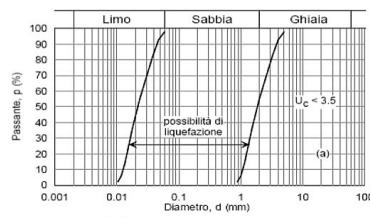


Fig. 7.11.1(a)

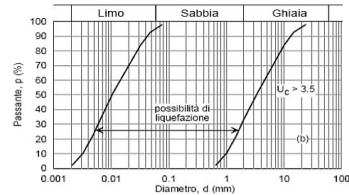


Figura 7.11.1 – Fusti granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Nel caso in esame **si può escludere il rischio di liquefazione** in quanto le accelerazioni massime attese al piano di campagna in assenza di manufatti sono minori di 0,1g e la profondità media stagionale della falda è superiore a 15 metri dal piano campagna.

10) VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DELL'OPERA DA REALIZZARE IN RELAZIONE ANCHE AGLI USI ALLA QUALE ESSA È DESTINATA

La vulnerabilità del settore interessato dalle opere sarà maggiore nel corso dei lavori a causa della possibile presenza di scarpate dovute alla deposizione del materiale; la presenza di scavi di sbancamento potrà essere fonte di pericolo qualora le superfici esposte venissero in contatto con acque ruscellanti.

La presenza incontrollata di acque può interagire negativamente con il deposito e favorirne l'instabilità.

Sarà cura della Direzione Lavori provvedere affinché la cantierizzazione delle lavorazioni preveda la realizzazione di scarpate con un'inclinazione contenuta in modo da evitare locali franamenti di materiale incoerente verso l'area di scavo.

Per quanto attiene ai potenziali fenomeni di **instabilità dei fronti di scavo**, si osserva che i terreni interessati mantengono la stabilità solo nel breve periodo, ma possono tendere a disgregarsi con caduta di blocchi e ciottoli a causa di fenomeni sismici, crioclastici e meteorici intensi; si pone in evidenza che è comunque sempre necessario il rispetto delle seguenti norme sulla sicurezza:

- D.Lgs 81/2008, art. 118: nei lavori di spalleggiamento o sbancamento eseguiti senza l'impiego di escavatori meccanici, le pareti delle fronti di attacco devono avere una inclinazione o un tracciato tali, in relazione alla natura del terreno, da impedire franamenti. Quando la parete del fronte di attacco supera l'altezza di metri 1,50 e' vietato il sistema di scavo manuale per scalzamento alla base e conseguente franamento della parete. Quando per la particolare natura del terreno o per causa di piogge, di infiltrazione, di gelo o disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scoscendimenti, deve essere provveduto all'armatura o al consolidamento del terreno.

- D.Lgs 81/2008, art. 118: nello scavo di pozzi e di trincee profonde più di m 1,50, quando la consistenza del terreno non dia sufficiente garanzia di stabilità, anche in relazione alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, all'applicazione delle necessarie armature di sostegno.
- D.Lgs 81/2008, art. 120: è vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature.
- DM 17/01/18 “Norme Tecniche sulle Costruzioni”, Cap. 6.8.6. (fronti di scavo): per scavi in trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di operai, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una armatura di sostegno delle pareti di scavo.

Tutto ciò richiamato, in fase di realizzazione delle opere **dovranno essere predisposti e progettati efficaci sistemi di sostentamento provvisionale dei fronti di scavo e di sostegno delle opere in progetto.**

Entro il cantiere dovranno essere presenti idonei teli impermeabili, al fine di poter proteggere i fronti di scavo in caso di condizioni meteoclimatiche avverse, evitandone così il dilavamento.

Dal punto di vista della pericolosità individuata dal P.G.T., la tipologia di opera in progetto non intercerterà la locale falda acquifera, neanche con le proprie opere di fondazione.

Si precisa che l'intervento in progetto non modifica l'attuale condizione di pericolosità rilevata dalla cartografia comunale, non rendendo necessari specifiche opere di mitigazione del rischio e valutazioni di differenti allocazioni del nuovo fabbricato ad uso industriale in progetto.

Inoltre, i materiali naturali di risulta degli scavi delle opere di fondazione che non potranno essere riutilizzati nell'ambito degli interventi edilizi, saranno *condotti in una discarica autorizzata* ai sensi di legge; *potrà inoltre essere eventualmente valutata l'applicazione, per i terreni naturali di splateamento, delle disposizioni di cui al D.P.R. 120/2017, finalizzate al recupero delle terre e rocce da scavo.*

Ai sensi dell'art. 24 comma 1) del medesimo regolamento, per l'eventuale riutilizzo presso il medesimo sito di produzione delle terre e rocce, sarà necessario eseguire le verifiche analitiche di cui all'Allegato 4 del più volte citato DPR 120/17.

In tale ambito, nel caso in cui si rilevassero evidenze organolettiche ed olfattive riconducibili a stati di contaminazione potenziale del sottosuolo, si provvederà ad eseguire un campionamento rappresentativo del terreno interessato e successive idonee verifiche di laboratorio, al fine di accertare le condizioni di cui all'art. 242 del D.L.vo 152/2006 e s.m.i.

Considerate le particolarità del sito nonché le caratteristiche dell'opera in progetto si può affermare che, per quanto di competenza, **non sussistono motivi ostativi di carattere geologico, idrogeologico e geotecnico alla realizzazione dell'intervento.**

L'ampiezza delle indagini effettuate in situ è stata valutata in funzione delle proporzioni, delle dimensioni, del tipo, delle caratteristiche strutturali, dell'importanza dell'opera, della complessità del sottosuolo e dello stato delle conoscenze sulla zona in esame.

La validità delle ipotesi di progetto dovrà, comunque, essere controllata durante la costruzione considerando, altre ai dati raccolti in fase di progetto, anche quelli ottenuti con misure ed osservazioni nel corso dei lavori, per adeguare, eventualmente, l'opera alle situazioni riscontrate.

11) MODELLO GEOLOGICO

Per caratterizzare geologicamente i terreni di fondazione sono stati considerati tutti gli elementi geognostici raccolti durante la campagna d'indagine in situ ed i dati disponibili nella bibliografia scientifica, cercando le corrispondenze possibili fra livelli a simili caratteristiche, al fine di fornire un'indicazione stratigrafica standardizzata su cui eseguire le valutazioni geotecniche e la corrispondente parametrizzazione, di cui al Capitolo successivo.

L'analisi dei risultati ottenuti ha, quindi, condotto alla realizzazione di un modello costituito, per la parte di interesse, da **quattro differenti livelli**, rappresentati graficamente nell'elaborato Geo.02 allegato alla presente documentazione; più in dettaglio gli orizzonti individuati, dal più superficiale al più profondo, possono essere così descritti:

➤ LIVELLO 0

Costituito da un livello superficiale di *terreno di coltivo con abbondanti frustuli radicali*; lo spessore di tale terreno nell'area di indagine è di circa 50-60 cm.

➤ LIVELLO I

Questo livello è costituito da *sabbia localmente limosa con ghiaia e ciottoli sparsi*, nelle quali le prove hanno indicato una resistenza alla penetrazione compresa tra 3 e 10 colpi/piede; tale livello si estende sino ad una profondità compresa tra 1,0 e 2,4 metri da p.c.

➤ LIVELLO II

Questo livello è costituito da *sabbie ghiaiose localmente limose*, nelle quali le prove hanno indicato una resistenza alla penetrazione compresa tra 1 e 6 colpi/piede; tale livello si estende sino ad una profondità compresa tra 2,4 e 4,6 metri da p.c.

➤ LIVELLO III

Questo ultimo livello è costituito da *ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa* nelle quali le prove hanno indicato resistenze alla penetrazione >6 colpi/piede, sino ad andare a rifiuto (>50 colpi/piede) ad una profondità compresa tra 4,6 e 5,8 metri da p.c.

In considerazione della ricostruzione stratigrafica di cui alla prima parte della presente documentazione, tale orizzonte presumibilmente si estende con continuità sino a circa 16/18 metri di profondità.

La falda freatica presenta localmente una quota piezometrica media compresa tra 144 e 145 metri s.l.m., corrispondente ad una soggiacenza media compresa tra 17 e 18 metri dal p.c. attuale.

In considerazione delle indicazioni progettuali fornite e da quanto rilevato in situ *non necessario considerare l'influenza della falda freatica in fase di progettazione e di esecuzione delle opere di fondazione.*

12) MODELLO GEOTECNICO

Sulla base del modello geologico di cui al capitolo precedente, della profondità di influenza della superficie di rottura dei terreni, come stabilita da Meyerhof & Hanna (1978), e dalle Circolari ministeriali di cui in Premessa, è stato possibile realizzare un **modello geotecnico** che verrà utilizzato per le successive verifiche di sicurezza dei terreni di fondazione.

Per quanto riguarda i parametri del terreno presenti nel modello occorre precisare che il numero di colpi della prova dinamica continua con punta conica N_{SCPT} è stato trasformato in numero di colpi della prova penetrometrica con campionatore Raymond N_{SPT} secondo l'algoritmo proposto da La Croix & Horn (1973).

Il valore così ottenuto è stato normalizzato adottando la correlazione $N_{SPT} = 0,60 N_{SCPT}$ ed i valori di N_{SPT} trovati sono stati corretti con la pressione verticale efficace (σ'_{vo}) secondo il rapporto proposto da Liao & Whitman (1986).

La stima dei parametri geotecnici rappresentativi del suolo in esame, per la porzione entro cui ricade la superficie di rottura, è stata eseguita adottando algoritmi proposti da differenti autori; *a favore di sicurezza verranno adottati i valori o la serie di valori più bassi di quelli calcolati.*

Nella seguente tabella sono sintetizzati i risultati dell'implementazione degli algoritmi applicati per i vari parametri geotecnici di interesse.

In considerazione dell'entità dell'intervento in progetto e valutati i risultati delle prove effettuate in situ, considerando la necessità progettuale di costruire un nuovo fabbricato ad uso industriale, le verifiche saranno svolte ipotizzando le seguenti condizioni strutturali delle opere di fondazione:

Tipologia	Geometria	Quota di posa
Plinti quadrati	B=L= 3,0 metri	-2,0 metri p.c.

Infine, come indicato nel Capitolo precedente, nella simulazione i terreni saranno considerati **anidri**.

Plinti quadrati; B=L=3,0 metri D=-2,0 metri p.c.

Parametro	Autore	Risultato (SCPT 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10)	Valori adottati
Peso di volume γ	Bruschi (2005)	1,70-1,73-1,64-1,75-1,71-1,65- 1,65-1,72-1,73-1,68	1,64 t/m ³
Densità relativa Dr	Meyerhof (1957)	39,69-41,76-35,94-43,44-45,45- 36,31-36,59-41,60-42,03-38,40	31,64-33,30-28,62- 34,64-32,24-28,94- 29,16-33,16-33,50- 30,61 %
	Terzaghi & Peck (1967)	31,64-33,30-28,62-34,64-32,24- 28,94-29,16-33,16-33,50-30,61	
	Schultze & Menzenbach (1961)	40,48-42,49-36,82-44,12-41,22- 37,18-37,44-42,33-42,75-39,22	
Angolo di resistenza a taglio φ	Shioi & Fukui (1982)	28,65-28,85-28,32-29,00-28,71- 28,38-28,40-28,82-28,86-28,54	28,65-28,85-28,32- 29,00-28,71-28,38- 28,40-28,82-28,86- 28,54°
	Hatanaka & Uchida (1996)	29,62-30,12-28,70-30,53-29,80- 28,80-28,86-30,08-30,18-29,30	
	Wolff (1989)	28,88-29,07-28,56-29,23-28,95- 28,59-28,62-29,06-29,10-28,77	
Modulo di Young E	Bowles (1987)	10,26-10,57-9,70-10,83-10,34- 9,00-9,83-10,53-10,60-10,07	7,21-7,99-5,90-8,64- 7,48-6,03-6,12-7,92- 8,08-6,74 MPa
	AASHTO (1996)	7,21-7,99-5,90-8,64-7,48-6,03- 6,12-7,92-8,08-6,74	
	Clayton & al. (1985)	9,37-10,49-7,50-11,33-9,67- 7,81-7,91-10,31-10,52-8,73	

13) ANALISI STATISTICA DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Ogni singolo parametro geotecnico del terreno definito nel capitolo precedente viene trattato come una variabile aleatoria, non considerandolo come un numero singolo, ma come un insieme di numeri riferiti alla stessa grandezza fisica; la variabile può essere rappresentata da vari parametri (media, mediana, deviazione standard, ecc.), ma la trattazione deve necessariamente riguardare tutti i possibili valori e non solo il valore atteso.

Le variabili aleatorie relative ai parametri dei terreni sono continue e presentano distribuzioni normali o lognormali; inoltre, l'analisi probabilistica dei dati geotecnici esclude l'applicazione dei fattori di sicurezza, previsti dalla previgente normativa di settore, fornendo la probabilità che la verifica condotta risulti accettabile.

Con la nuova normativa i parametri geotecnici sono definiti sulla base di una stima cautelativa; essi sono espressi attraverso **valori caratteristici**, che sono pari al 5° percentile o frattile della distribuzione della media dei dati o della distribuzione dei dati.

Infine, la scelta dei valori caratteristici delle proprietà del terreno è influenzata dall'estensione della zona del sottosuolo da cui dipende il comportamento della struttura geotecnica nello stato limite in esame.

Dai valori caratteristici è quindi necessario definire i corrispondenti **valori di progetto** dei parametri geotecnici, stimati in base al rapporto con dei coefficienti parziali specifici prescritti dalla normativa; **i valori di progetto dei parametri geotecnici, stimati applicando l'approccio progettuale DA1 combinazione 2 (A2+M2+R2) di cui al Cap. 6.4.2.1 delle NTC18, saranno utilizzati per le successive verifiche di sicurezza delle opere di fondazione.**

Tale approccio progettuale risulta dimensionante per le verifiche di sicurezza rispetto agli stati limite di tipo geotecnico (GEO), cioè quello stato di raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura in progetto con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura.

Con tale approccio, i coefficienti parziali dei parametri geotecnici, γ_M , assumono valori specifici di cui alla tabella 6.2.II delle NTC18; invece, il valore del coefficiente globale di sicurezza γ_R risulta essere pari a 1,8 per la capacità portante e 1,1 per la verifica a scorrimento, se applicabile, e saranno adottati per le successive verifiche agli SLU delle opere di fondazione superficiali.

Sulla base di tali considerazioni, nella seguente tabella si sintetizzano i valori caratteristici e di progetto delle principali grandezze geotecniche definite nel precedente Capitolo, in funzione dell'estensione della zona del sottosuolo da cui dipende il comportamento della struttura geotecnica nello stato limite in esame, applicando un C.O.V. pari al 7% (Nadim & Lacasse, 1996).

DA2 ($\gamma_m=1$); Plinti quadrati B=3,0 metri D=-2,0 metri p.c.

Parametro	Valore caratteristico	Valore di progetto
Densità relativa Dr	27,90%	27,90%
Angolo di resistenza al taglio ϕ	25°	21°
Modulo di Young E	6,4 MPa	6,4 MPa
Peso di volume γ	1,64 t/m ³	1,64 t/m ³
Classificazione dello stato di addensamento dalle prove SPT (Norme A.G.I.)	SCIOLTO	

14) VERIFICHE DI SICUREZZA NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITI ULTIMI (SLU)

Il carico di rottura o *capacità portante* o resistenza del terreno (R_d) è rappresentato dal carico massimo o limite per cui il terreno entra in una fase plastica nella quale il cedimento è accompagnato da una rottura del terreno per taglio; esso non è una caratteristica intrinseca del terreno, ma è funzione della forma e della dimensione della superficie di carico.

Il carico di rottura viene definito dall'applicazione di formule sperimentali entro cui vengono inseriti i valori di progetto dei parametri geotecnici del terreno sia in via diretta sia sotto forma di parametri adimensionali.

Nel caso in esame i dati di input sono i seguenti:

- il peso di volume γ del terreno;
- l'angolo di resistenza al taglio Φ del terreno;
- geometrie della struttura di fondazione;
- condizioni idrogeologiche dell'area.

La verifica della capacità portante dei terreni di fondazione del capannone ad uso industriale verrà eseguita applicando specifici algoritmi in grado di fornire la pressione massima che i terreni di fondazione sono in grado di supportare, senza che venga meno l'equilibrio terreno-fondazione, impedendo l'applicazione di sovraccarichi in grado di generare fratture per taglio nel sottosuolo.

Le NTC18 prevedono che per ogni Stato Limite Ultimo che si analizza, in base ai diversi approcci progettuali (DA), dove essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

Le verifiche saranno condotte applicando l'algoritmo proposto da Brinch-Hansen; nello specifico, per il presente lavoro è stata considerata la seguente formulazione:

Brinch-Hansen (1970)

$$q = cN_c s_c d_c i_c b_c g_c z_c + \gamma D N_q s_q d_q i_q b_q g_q z_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma z_\gamma$$

dove:

q	capacità portante
c	coesione
B	larghezza della fondazione
D	profondità di posa della fondazione
γ	peso di volume
N_c, N_q, N_γ	fattori di capacità portante
s_c, s_q, s_γ	fattori che tengono conto della forma della fondazione
i_c, i_q, i_γ	fattori che tengono conto dell'inclinazione del carico
d_c, d_q, d_γ	fattori che tengono conto della profondità del piano di posa
b_c, b_q, b_γ	fattori che tengono conto dell'inclinazione del piano di posa
g_c, g_q, g_γ	fattori che tengono conto dell'inclinazione del p.c.
z_c, z_q, z_γ	fattori inerziali pseudostatico (Paolucci & Pecker, 1997)

Le verifiche sono state condotte senza considerare il contributo della presenza del magrone di sottofondazione e considerando il piano d'appoggio delle fondazioni orizzontale.

Inoltre, come previsto dalla normativa vigente, le verifiche saranno condotte sia in condizioni statiche sia in condizioni dinamiche (fattore z dell'algoritmo).

14.1) FONDAZIONE SUPERFICIALE: PLINTI QUADRATI

Nell'ipotesi in cui la fondazione del capannone industriale sia costituita da una **plinti quadrati di base B=L=3 metri** posti ad una profondità di -2,0 metri dal p.c. attuale, la verifica della resistenza dei terreni di fondazione è stata condotta applicando i parametri geotecnici di cui al Capitolo precedente, considerando il **terreno anidro**.

Nel dettaglio, considerando la superficie di appoggio della fondazione **orizzontale, incasso** degli stessi per non meno di 1 metro, il **carico centrato** ed **assenza** del contributo della coesione nello stato limite ultimo Geo, si ottiene:

RESISTENZA CARATTERISTICA IN CONDIZIONI STATICHE:

$$Rd_{(geo)} = 173,87 \text{ kPa} \quad (R2 = \gamma_r = 1,8)$$

RESISTENZA CARATTERISTICA IN CONDIZIONI DINAMICHE:

Stato Limite	K _h	z _q =z _r	Rd _(geo) (kPa)
SLO	0,023	0,979	170,22
SLD	0,029	0,973	169,18
SLV	0,057	0,945	164,31
SLC	0,069	0,933	162,22

15) VERIFICHE DI SICUREZZA NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Le vigenti Norme Tecniche prevedono che siano indicati i valori di soglia dei sedimenti e delle distorsioni compatibili con la durabilità e l'esercizio dell'opera (C_d); nel caso in esame si adottano i valori suggeriti dall'EC1, EC7 e EC8 (§ Capitolo 2).

Per le verifiche nei confronti degli Stati Ultimi di Esercizio, le NTC18 prevedono che sia rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

L'assetto stratigrafico locale, descritto nei capitoli iniziali, e le osservazioni eseguite durante la realizzazione della campagna geognostica effettuata in situ non individuano terreni prettamente coesivi nella porzione di sottosuolo che sarà interessata dalla dissipazione di carichi indotti dal fabbricato industriale.

La presenza, però, di livelli e lenti litologiche prettamente sabbiose entro il Livello II del modello geologico può essere causa di effetti di consolidazione, concretizzabili con il verificarsi di sedimenti soprattutto di tipo differenziale; è possibile quantificare l'entità dei sedimenti totali adottando un algoritmo che contenga tutti i parametri che influiscono sulla consolidazione.

Le componenti dei sedimenti risultano essere due: il **sedimento immediato** ed il **sedimento di consolidazione edometrico primario**; il primo viene trascurato in quanto si sviluppa man mano che si costruisce l'opera e si risolve nel breve periodo non creando condizioni disagevoli.

Il **sedimento edometrico primario**, viceversa, si sviluppa entro un lasso di tempo molto più lungo del precedente, mostrando i suoi effetti anche diversi anni dopo la posa delle opere di fondazione.

La definizione precisa dei tempi di consolidazione, mediante la realizzazione di una curva sperimentale, non può essere effettuata nel caso in questione non essendo state previste specifiche prove di laboratorio; per l'identico motivo, *la valutazione dell'entità dei cedimenti deve essere considerata indicativa*, in quanto alcuni parametri specifici sono stati adottati su base bibliografica e sull'esperienza dello scrivente.

L'algoritmo matematico adottato risulta essere:

$$Sed = H_0 \cdot \frac{Cc}{1 + e_0} \log \frac{p'_v + \Delta p}{p'_v}$$

dove:

S_{ed} = entità del cedimento, espresso in metri;

H_0 = spessore dello strato coesivo prima della consolidazione, espresso in metri;

C_c = indice di compressibilità;

e_0 = indice dei vuoti;

p'_v = carico litostatico, espresso in t/m²;

Δp = sovraccarico di progetto, espresso in t/m².

I livelli compressibili potenzialmente interessati dalle opere in progetto ricadono entro il *Livello II*; la distribuzione delle pressioni indotte nel sottosuolo, applicando la teoria di Boussinesque, è valutabile sino a quanto queste risultano superiori al 20% del carico litostatico a metà dello strato compressibile.

La valutazione dell'entità dell'effetto delle azioni sul terreno di fondazione (cedimento) E_d può essere valutato, non avendo a disposizione specifiche prove di laboratorio, attraverso la correlazione con i risultati delle prove penetrometriche effettuate in sito.

I risultati delle prove effettuate possono fornire l'entità dell'effetto delle azioni applicando l'algoritmo proposto da Burland & Burbidge (1985), che nella sua accezione generale risulta così espresso:

$$w = f_s \cdot f_H \cdot f_t \cdot \left(\sigma'_{vo} \cdot B^{0,7} \cdot \frac{I_c}{3} + (q' - \sigma'_{vo}) \cdot B^{0,7} \cdot I_c \right)$$

Nella seguente tabella si riassumono i risultati della simulazione effettuata adottando la verticale di indagine SCPT3 ed ipotizzando l'applicazione di azioni di progetto ai terreni di fondazione, in condizioni statiche, pari a 110 kPa; l'entità complessiva del cedimento edometrico primario, cioè al termine della costruzione, è così stimato:

Fondazione	Quota di posa	Azione applicata	w_0
Plinti quadrati B=L=3,0 metri	-2,0 metri p.c.	110 kPa	90,82 mm

Come già sopra ricordato *non è possibile indicare in quanto tempo il cedimento totale si verificherà, poiché non sono disponibili valori sperimentali specifici dei terreni compressibili interessati dalla consolidazione*; applicando però l'algoritmo sopra indicato, con le medesime condizioni geometriche e stratigrafiche e considerando la vita utile della struttura (50 anni), il cedimento nel tempo, in condizioni statiche, risulta stimabile come indicato nella seguente tabella:

Fondazione	Quota di posa	Azione applicata	W_{50}	
			Carichi statici	Carichi ciclici
Plinti quadrati B=L=3,0 metri	-2,0 metri p.c.	110 kPa	139,86 mm	243,40 mm

16) CONSIDERAZIONI PROGETTUALI CONCLUSIVE

Nel presente capitolo si forniscono una serie di indicazioni e considerazioni di carattere geologico e geotecnico concernenti l'intervento in progetto.

In considerazione dell'entità dell'intervento in progetto e valutati i risultati delle prove effettuate in sito, le verifiche sono state svolte ipotizzando le seguenti opere di fondazione:

Tipologia	Geometria	Quota di posa
Plinti quadrati	B=L=3,0 metri	-2,0 metri p.c.

Il valore di resistenza del terreno di fondazione R_d del sistema geotecnico considerato, ipotizzando carichi centrati, incasso dei plinti per non meno di 1 metro, terreno anidro e l'assenza del contributo della coesione, non potrà eccedere i seguenti valori limite:

Tipologia	Condizioni statiche	Condizioni dinamiche			
		SLU _(Geo)	SLO	SLD	SLV
Plinti quadrati	173,87 kPa	170,22 kPa	169,18 kPa	164,31 kPa	162,22 kPa

Nella seguente tabella si riassumono i risultati della simulazione, effettuata ipotizzando l'applicazione delle azioni di progetto ai terreni di fondazione, pari a 110 kPa; l'entità complessiva del cedimento edometrico primario, cioè al termine della costruzione, è così stimato:

Fondazione	Quota di posa	Azione applicata	W ₀
Plinti quadrati B=L=3,0 metri	-2,0 metri p.c.	110 kPa	90,82 mm

Come già sopra ricordato *non è possibile indicare in quanto tempo il cedimento totale si verificherà, poiché non sono disponibili valori sperimentali specifici dei terreni compressibili interessati dalla consolidazione*; applicando però l'algoritmo sopra indicato, con le medesime condizioni geometriche e stratigrafiche e considerando la vita utile della struttura (50 anni), il cedimento nel tempo, in condizioni statiche, risulta stimabile come

indicato nella seguente tabella:

Fondazione	Quota di posa	Azione applicata	W₅₀	
			Carichi statici	Carichi ciclici
Plinti quadrati B=L=3,0 metri	-2,0 metri p.c.	110 kPa	139,86 mm	243,40 mm

Ovviamente, tali valutazioni dovranno essere aggiornate ed adeguate all'effettivo set di azioni che saranno previste per l'opera in progetto, al fine di confermare o meno l'entità dei sedimenti ed, eventualmente, prevedere specifici interventi di limitazione degli stessi.

In base alle risultanze della Relazione Geologica, di cui alla prima parte della presente documentazione, ed all'attenta osservazione delle caratteristiche morfologiche e litostratigrafiche, nonché in relazione al fatto che il fabbricato ad uso industriale in progetto sorgerà su di un'area pianeggiante ubicata nella zona industriale del Comune di Cuggiono (MI), **il sito oggetto di intervento è da ritenere stabile nei confronti di dissesti gravitativi (NTC18 7.11.3.5).**

Nei confronti della **liquefazione dei terreni di fondazione**, poiché, come prescritto al Capitolo 7.11.3.4.2 della NTC18, le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza dei manufatti sono minori di 0,1g e la profondità media della locale falda freatica è superiore a 15 metri la verifica può essere omessa e quindi **il sito è da ritenere non a rischio**; inoltre, la profondità di posa delle opere di fondazione è inferiore alla quota della falda, confermando l'assenza di tale rischio.

Per quanto attiene ai potenziali fenomeni di **instabilità dei fronti di scavo**, si osserva che i terreni interessati mantengono la stabilità solo nel breve periodo, ma possono tendere a disgregarsi con caduta di blocchi e ciottoli a causa di fenomeni sismici, crioclastici e meteorici intensi; si pone in evidenza che è comunque sempre necessario il rispetto delle seguenti norme sulla sicurezza:

- D.Lgs 81/2008, art. 118: nei lavori di splateamento o sbancamento eseguiti senza l'impiego di escavatori meccanici, le pareti delle fronti di attacco devono avere una inclinazione o un tracciato tali, in relazione alla natura del terreno, da impedire franamenti. Quando la parete del fronte di attacco supera l'altezza di metri 1,50 e' vietato il sistema di scavo manuale per scalzamento alla base e conseguente franamento della parete. Quando per la particolare natura del terreno o per causa di piogge, di infiltrazione, di gelo o disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scoscenimenti, deve essere provveduto all'armatura o al consolidamento del terreno.
- D.Lgs 81/2008, art. 118: nello scavo di pozzi e di trincee profonde più di m 1,50, quando la consistenza del terreno non dia sufficiente garanzia di stabilita', anche in relazione alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, all'applicazione delle necessarie armature di sostegno.
- D.Lgs 81/2008, art. 120: è vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature.
- DM 17/01/18 "Norme Tecniche sulle Costruzioni", Cap. 6.8.6. (fronti di scavo): per scavi in trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di operai, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una armatura di sostegno delle pareti di scavo.

Tutto ciò richiamato, in fase di realizzazione delle opere di fondazione dovranno essere predisposti e progettati efficaci sistemi di sostentamento provvisionale dei fronti di scavo; entro il cantiere dovranno essere presenti idonei teli impermeabili, al fine di poter proteggere i fronti di scavo in caso di condizioni meteoclimatiche avverse, evitandone così il dilavamento.

Come indicato, la falda freatica presenta localmente una quota piezometrica media compresa tra 144 e 145 metri s.l.m., corrispondente ad una soggiacenza media compresa tra 17 e 18 metri dal p.c. attuale.

Inoltre, i materiali naturali di risulta degli scavi delle opere di fondazione che non potranno essere riutilizzati nell'ambito degli interventi edilizi, saranno *condotti in una discarica autorizzata* ai sensi di legge; *potrà inoltre essere eventualmente valutata l'applicazione, per i terreni naturali di splateamento, delle disposizioni di cui al D.P.R 120/17, finalizzate al recupero delle terre e rocce da scavo.*

Ai sensi dell'art. 24 comma 1) del medesimo regolamento, per l'eventuale riutilizzo presso il medesimo sito di produzione delle terre e rocce, sarà necessario eseguire le verifiche analitiche di cui all'Allegato 4 del più volte citato DPR 120/17.

In tale ambito, nel caso in cui si rilevassero evidenze organolettiche ed olfattive riconducibili a stati di contaminazione potenziale del sottosuolo, si provvederà ad eseguire un campionamento rappresentativo del terreno interessato e successive idonee verifiche di laboratorio, al fine di accertare le condizioni di cui all'art. 242 del D.L.vo 152/2006 e s.m.i.

La restante porzione del fondo non interessata dai lavori in progetto non dovrà essere oggetto di escavazione od asportazione dei terreni superficiali se non per le contingenti necessità di cantiere, al fine di non ledere le originali caratteristiche idrogeologiche.

Inoltre e per lo stesso motivo, al termine dei lavori si dovrà aver cura di verificare che la porzione del fondo non interessata dal nuovo fabbricato industriale non presenti superficialmente depressioni altimetriche, generate dai lavori di cantiere e di movimentazione dei mezzi, al fine di non favorire il ristagno delle acque meteoriche; si dovrà, altresì, agevolare il loro naturale deflusso ed allontanamento dalle costruzioni in progetto.

Nel caso in cui si ritenesse di modificare la geometria delle opere di fondazione oggetto di verifica e di cui alla presente documentazione o si modificassero sostanzialmente il set di azioni derivanti dalla struttura, si renderà necessario l'aggiornamento delle verifiche di sicurezza illustrate nei capitoli precedenti.

Dott. MARCO STOPPA - GEOLOGO

GEOLOGIA IDROGEOLOGIA E GEOLOGIA AMBIENTALE

Ordine Regionale dei Geologi del Piemonte n. 482

Nell'Allegato IV) alla presente documentazione tecnica, si allegano le schede M9 e M10 di cui alla D.G.R. 2616/2011, compilate per quanto di competenza; sarà onere del Professionista di riferimento trasmettere tali schede di sintesi ai previsti Enti di Controllo.

La campagna geognostica condotta per il presente studio è conforme alla specifiche tecniche di cui al Cap. 2 ed ai disposti di attuazione del vigente P.G.T. comunale.

La validità delle ipotesi di progetto dovrà, comunque, essere controllata durante la costruzione considerando, altre ai dati raccolti in fase di progetto, anche quelli ottenuti con misure ed osservazioni nel corso dei lavori, per adeguare, eventualmente, l'opera alle situazioni riscontrate.

Novara, 28 Marzo 2022.

Il Progettista:

Dott. Geol. Marco Stoppa



Allegato I)
Parametri sismici locali

Dott. MARCO STOPPA - GEOLOGO
GEOLOGIA IDROGEOLOGIA E GEOLOGIA AMBIENTALE
Ordine Regionale dei Geologi del Piemonte n° 482

Strada Biandrate, 24 - 28100 Novara (NO)
Tel. 0321.407246 - 347.2540415
marco.stoppa@geologipiemonte.it

Dott. Marco Stoppa - Geologo

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 45,517212
longitudine: 8,806775
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 12033	Lat: 45,4934	Lon: 8,7870	Distanza: 3062,988
Sito 2	ID: 12034	Lat: 45,4961	Lon: 8,8581	Distanza: 4633,375
Sito 3	ID: 11812	Lat: 45,5461	Lon: 8,8542	Distanza: 4893,044
Sito 4	ID: 11811	Lat: 45,5433	Lon: 8,7830	Distanza: 3441,006

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50 anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
ag:	0,015	g
Fo:	2,544	
Tc*:	0,160	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	50	[anni]
ag:	0,019	g
Fo:	2,522	
Tc*:	0,168	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,038	g
Fo:	2,644	
Tc*:	0,281	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,046	g
Fo:	2,680	
Tc*:	0,307	[s]

Dott. Marco Stoppa - Geologo

Coefficienti Sismici Fondazioni

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,920
St: 1,000
Kh: 0,005
Kv: 0,002
Amax: 0,222
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,890
St: 1,000
Kh: 0,006
Kv: 0,003
Amax: 0,276
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,012
Kv: 0,006
Amax: 0,564
Beta: 0,200

SLC:

Ss: 1,500
Cc: 1,550
St: 1,000
Kh: 0,014
Kv: 0,007
Amax: 0,673
Beta: 0,200

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

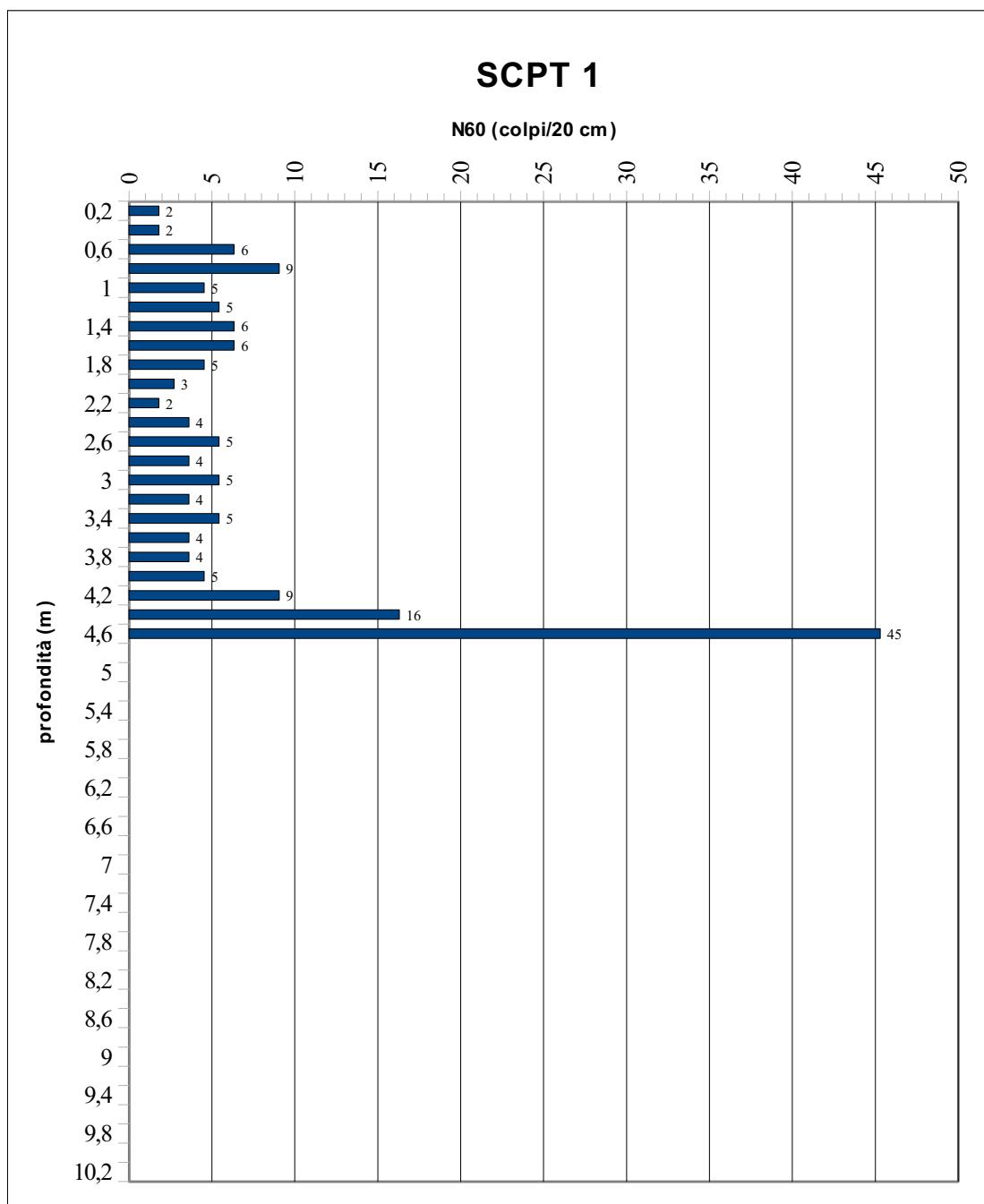
Coordinate WGS84

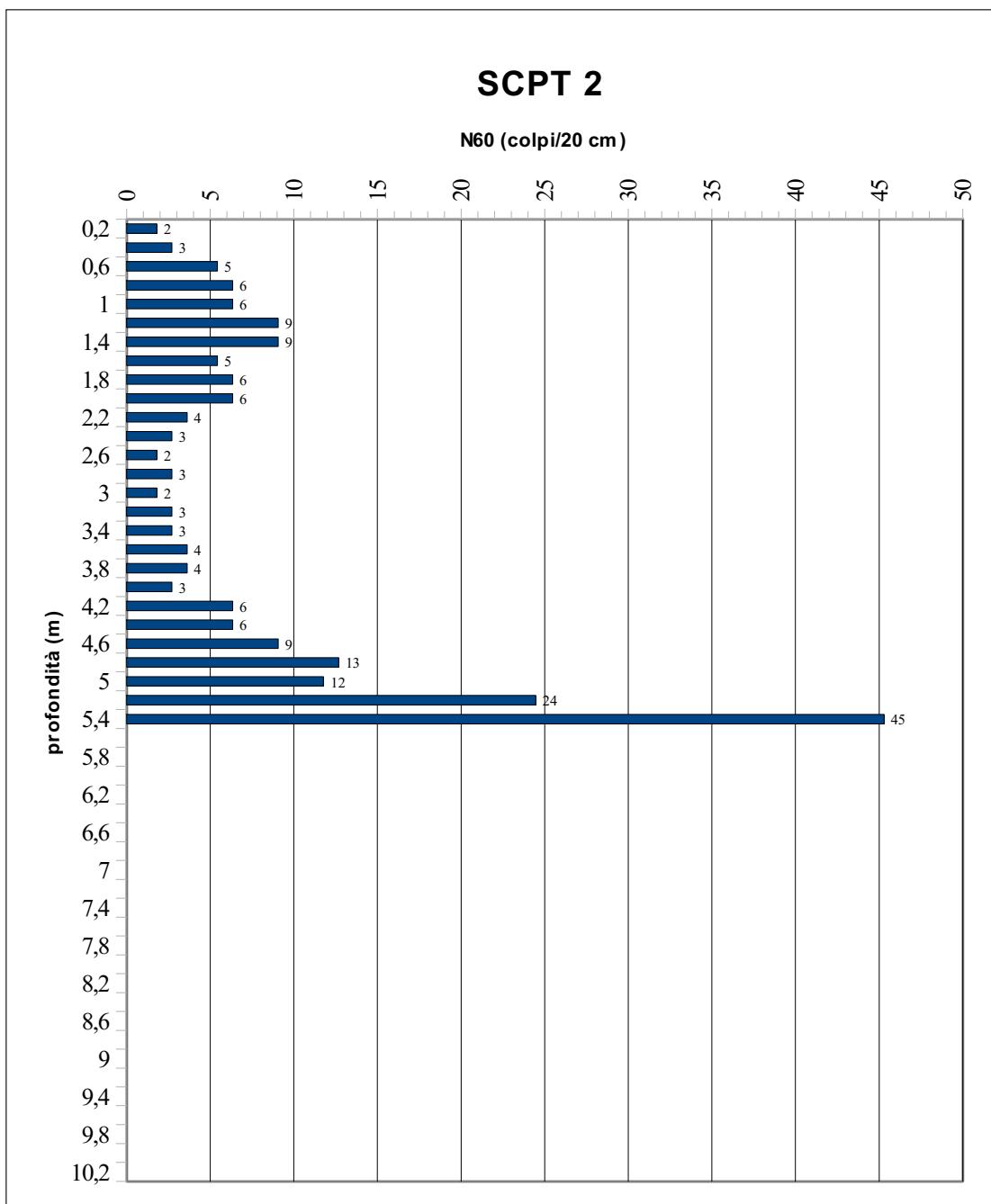
latitudine: 45.516275
longitudine: 8.805706

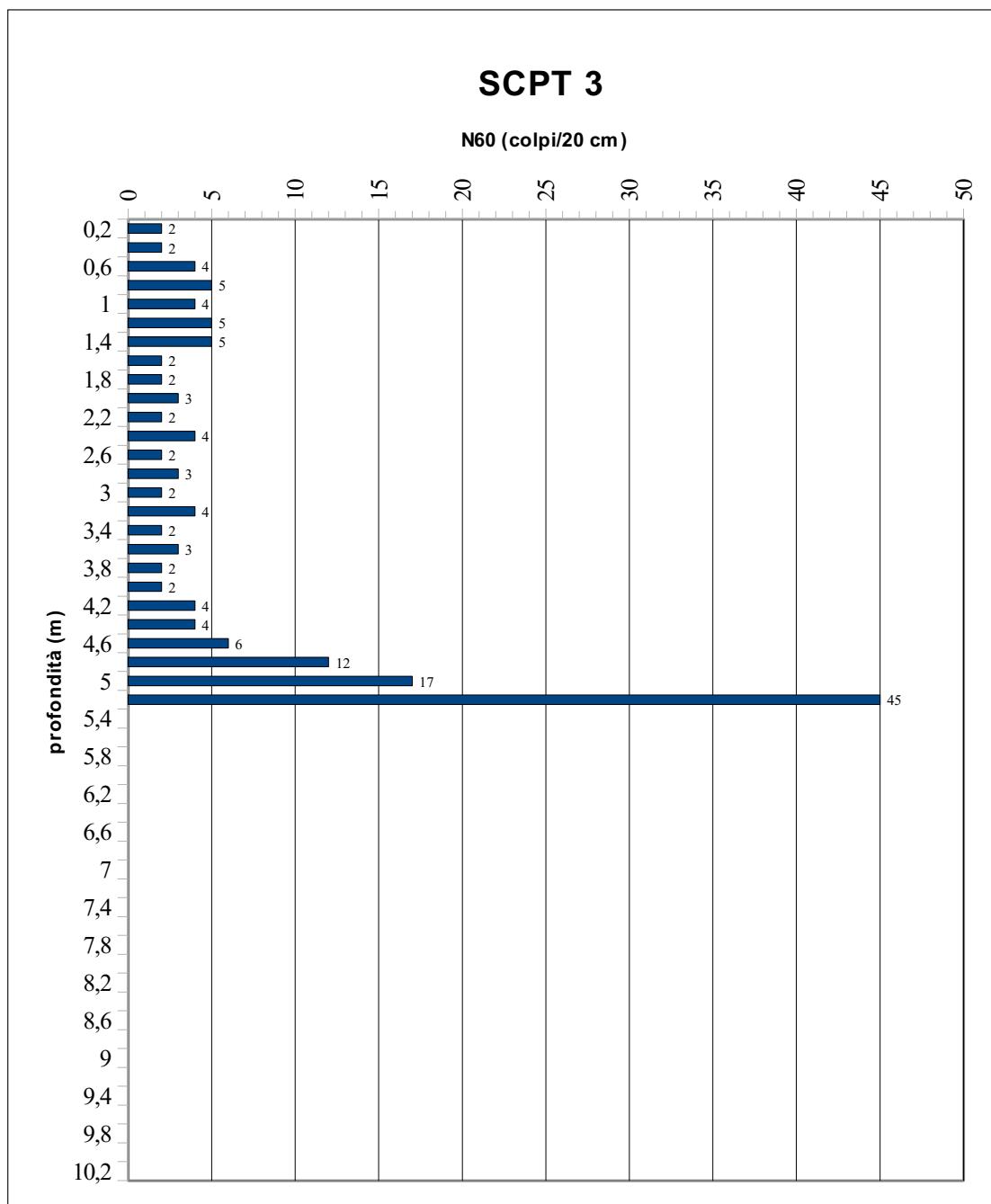
Allegato II)
Grafici interpretativi prove SCPT in situ

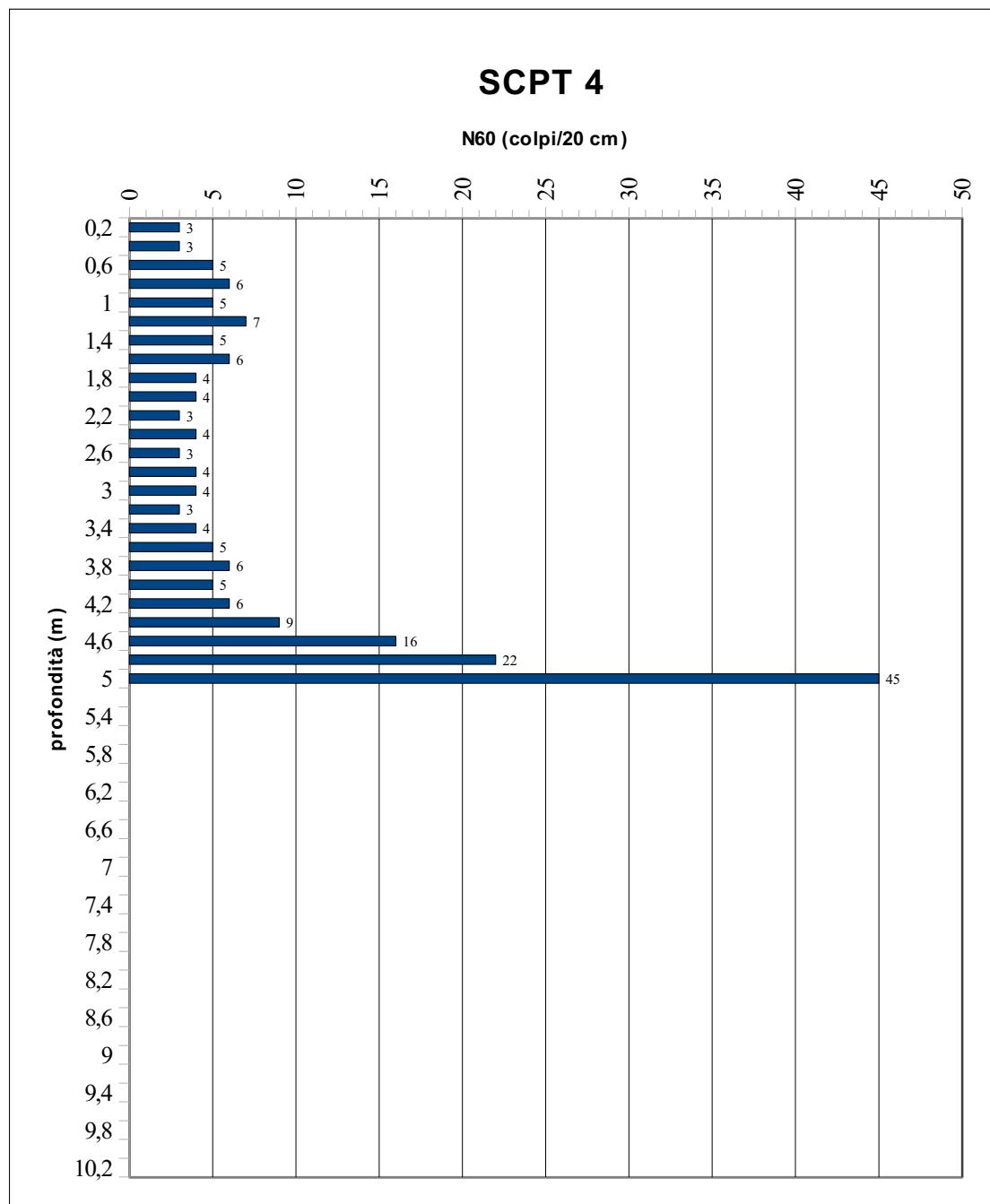
Dott. MARCO STOPPA - GEOLOGO
GEOLOGIA IDROGEOLOGIA E GEOLOGIA AMBIENTALE
Ordine Regionale dei Geologi del Piemonte n° 482

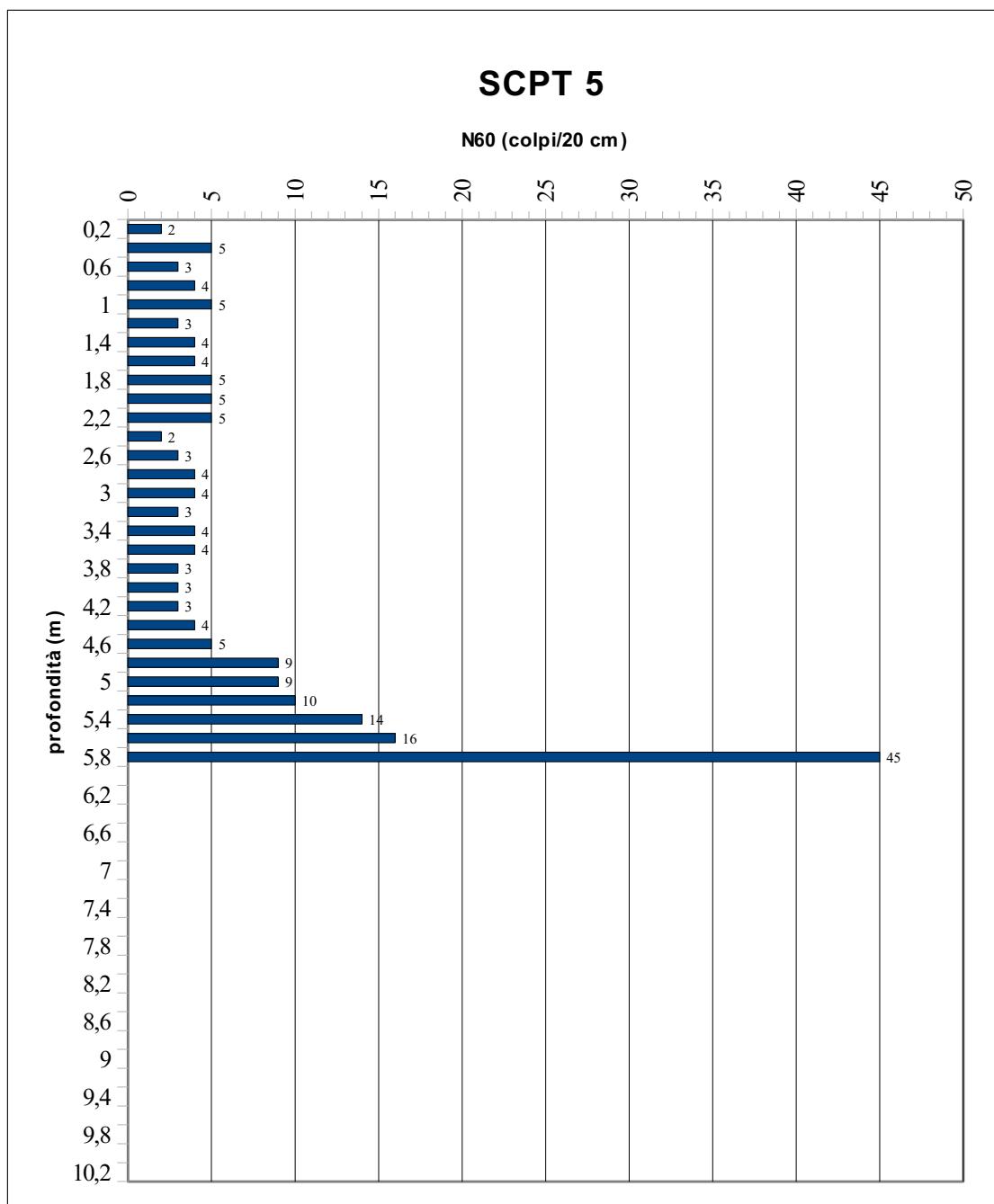
Strada Biandrate, 24 - 28100 Novara (NO)
Tel. 0321.407246 - 347.2540415
marco.stoppa@geologipiemonte.it

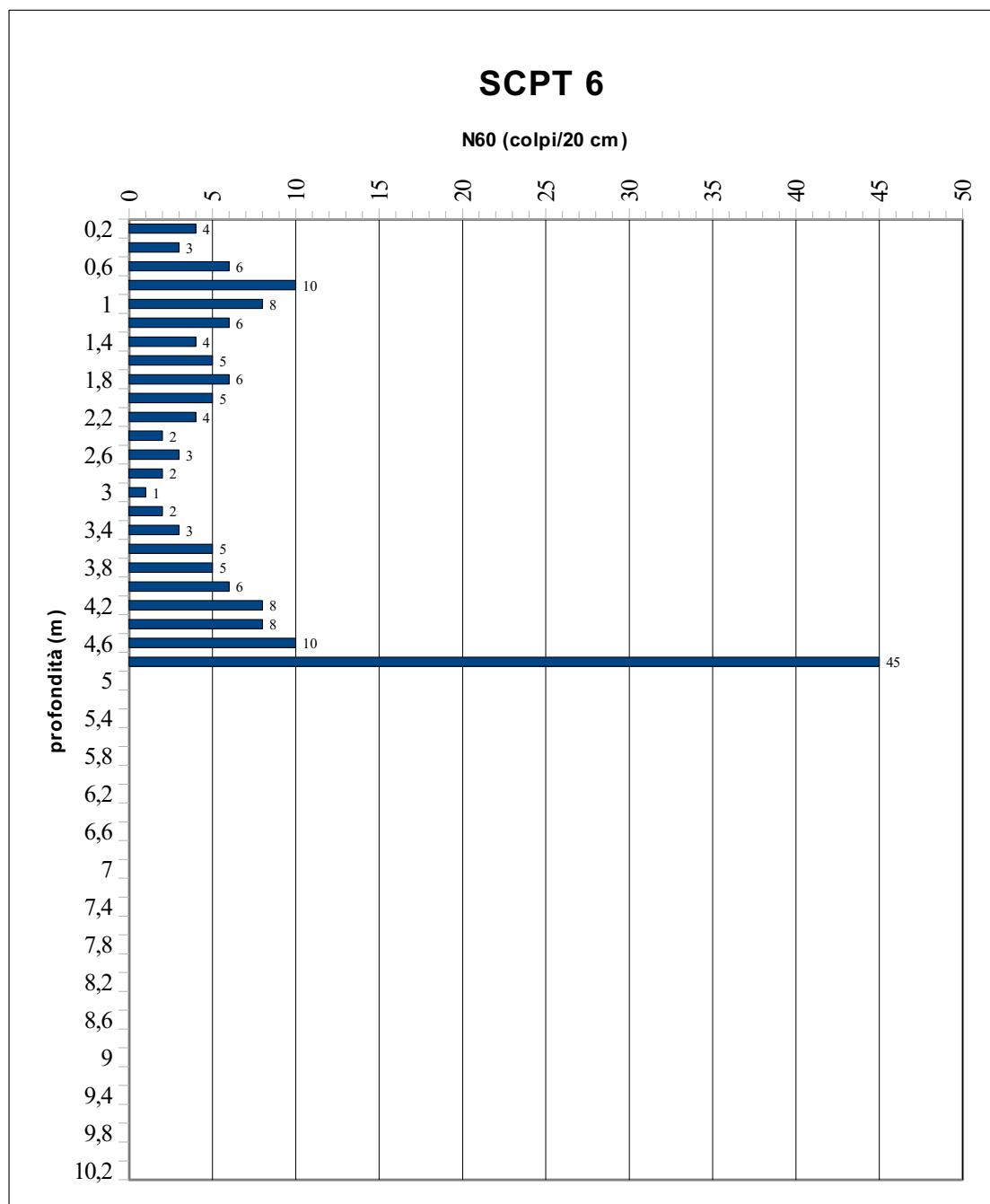


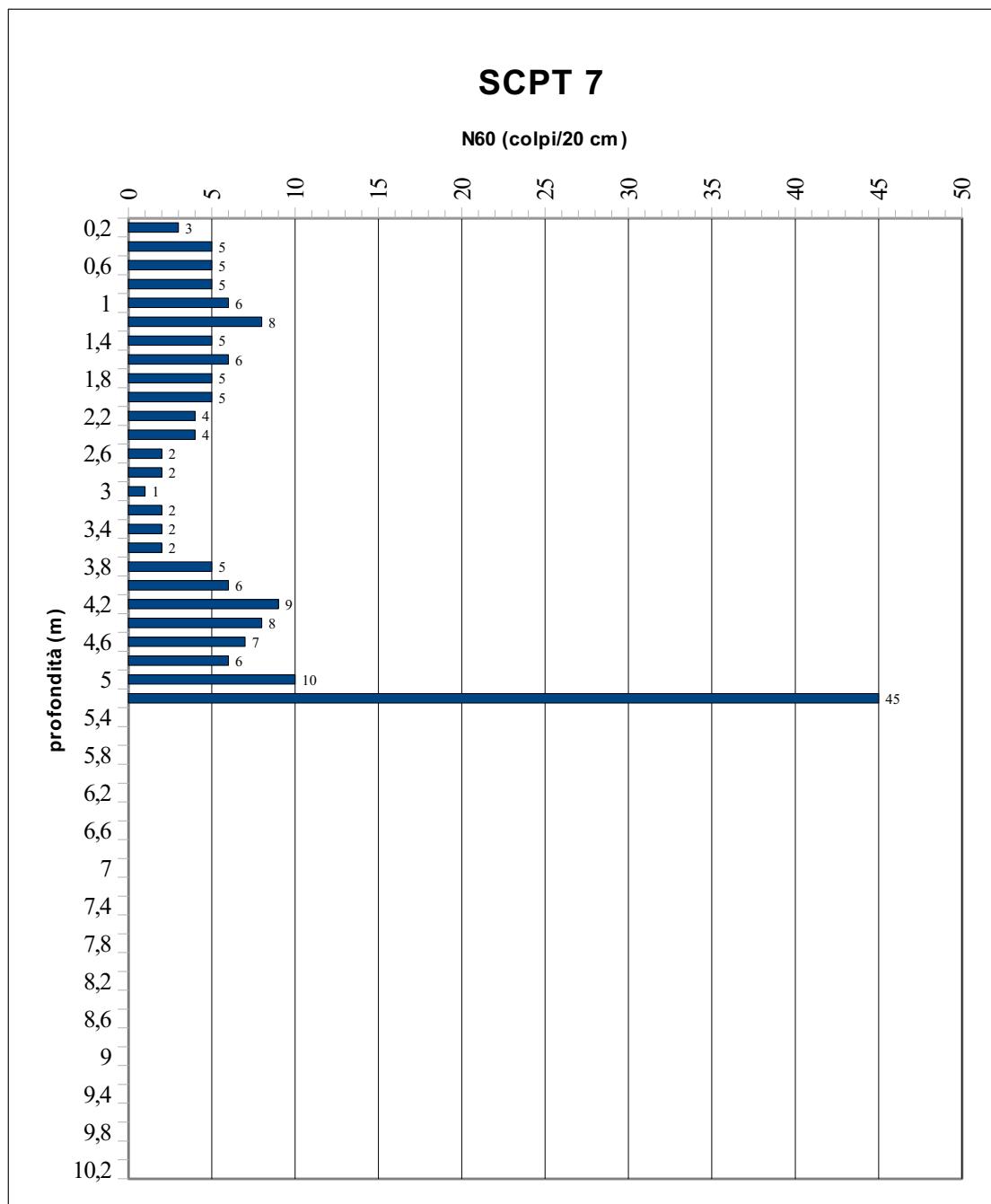


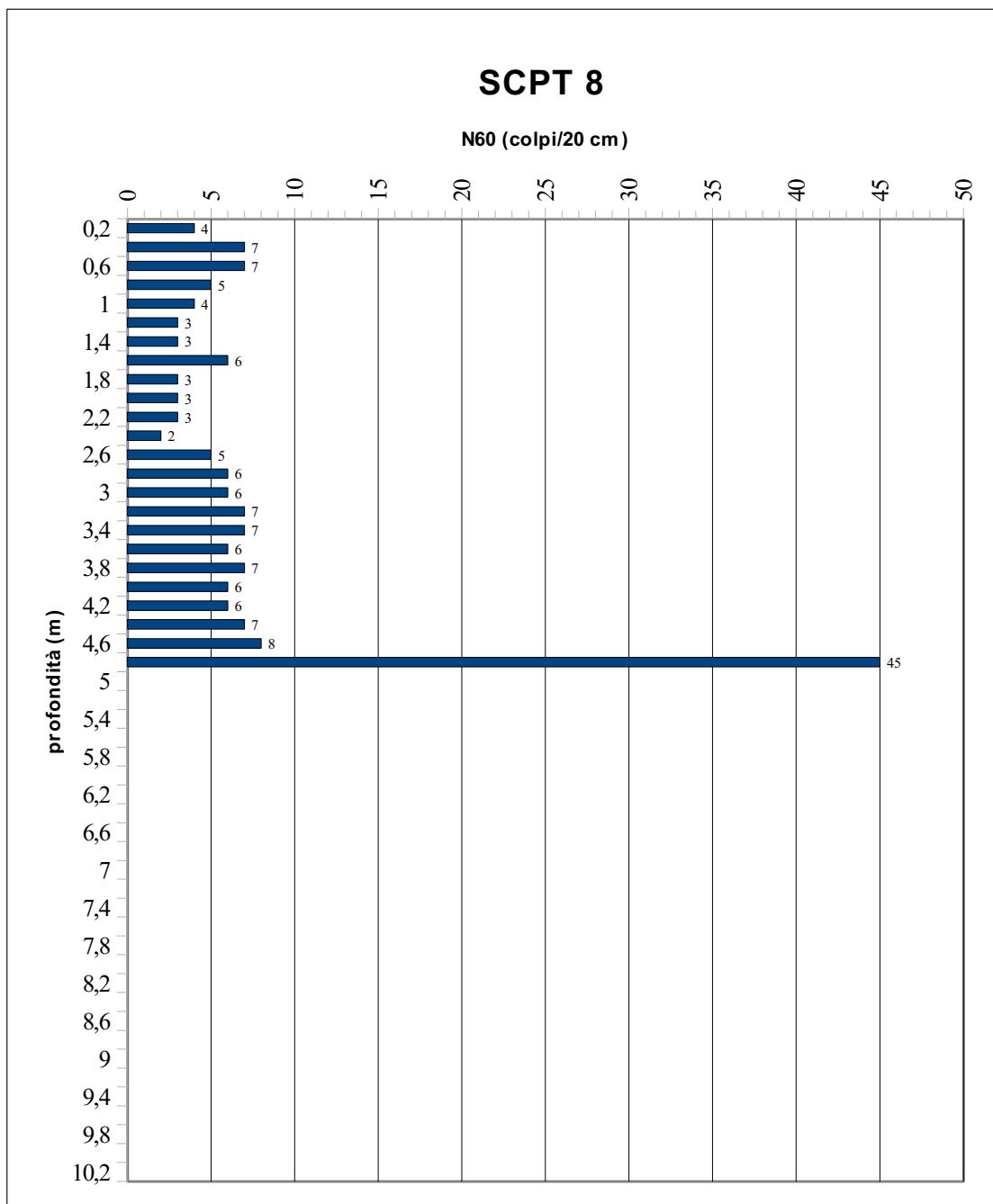


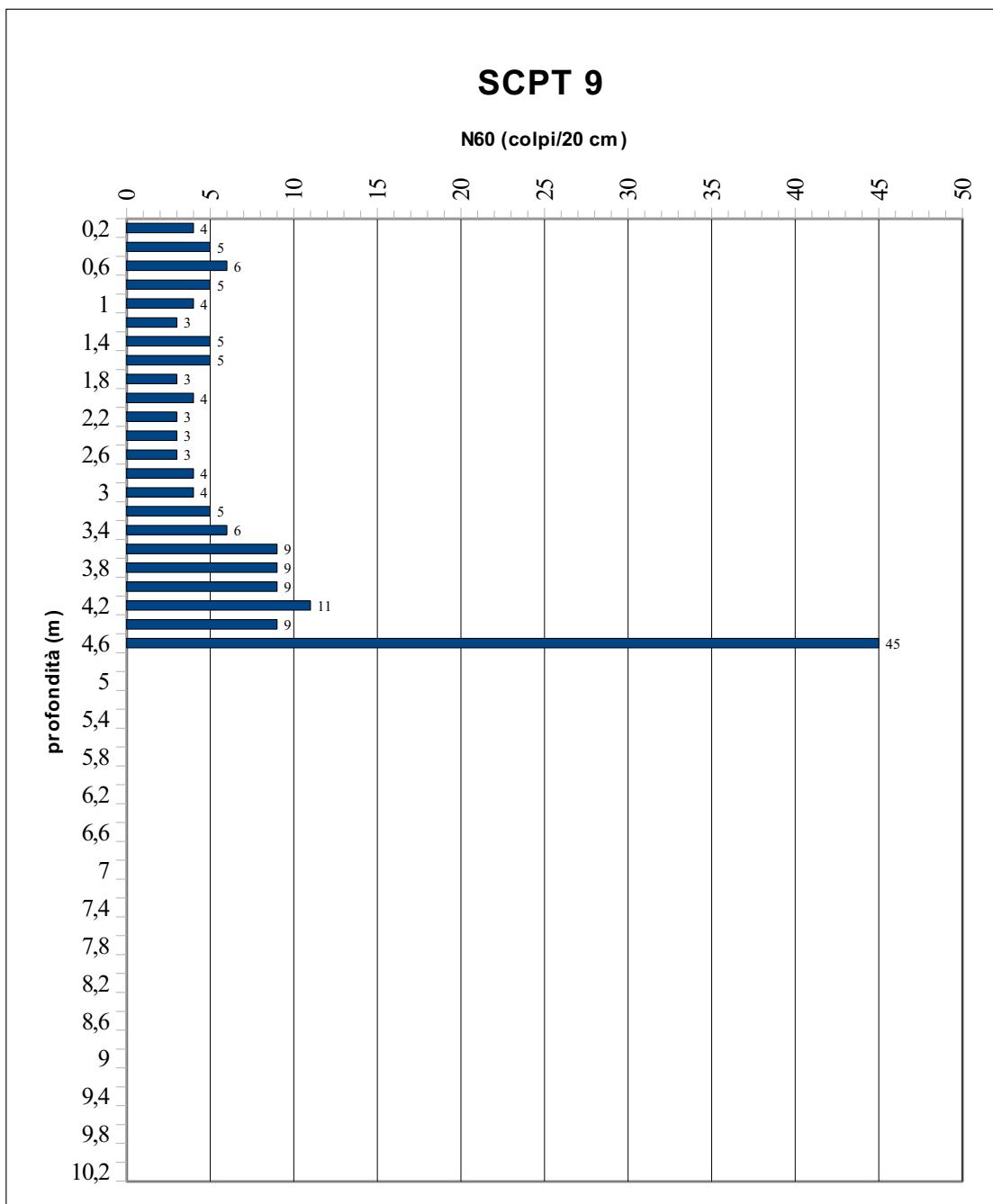


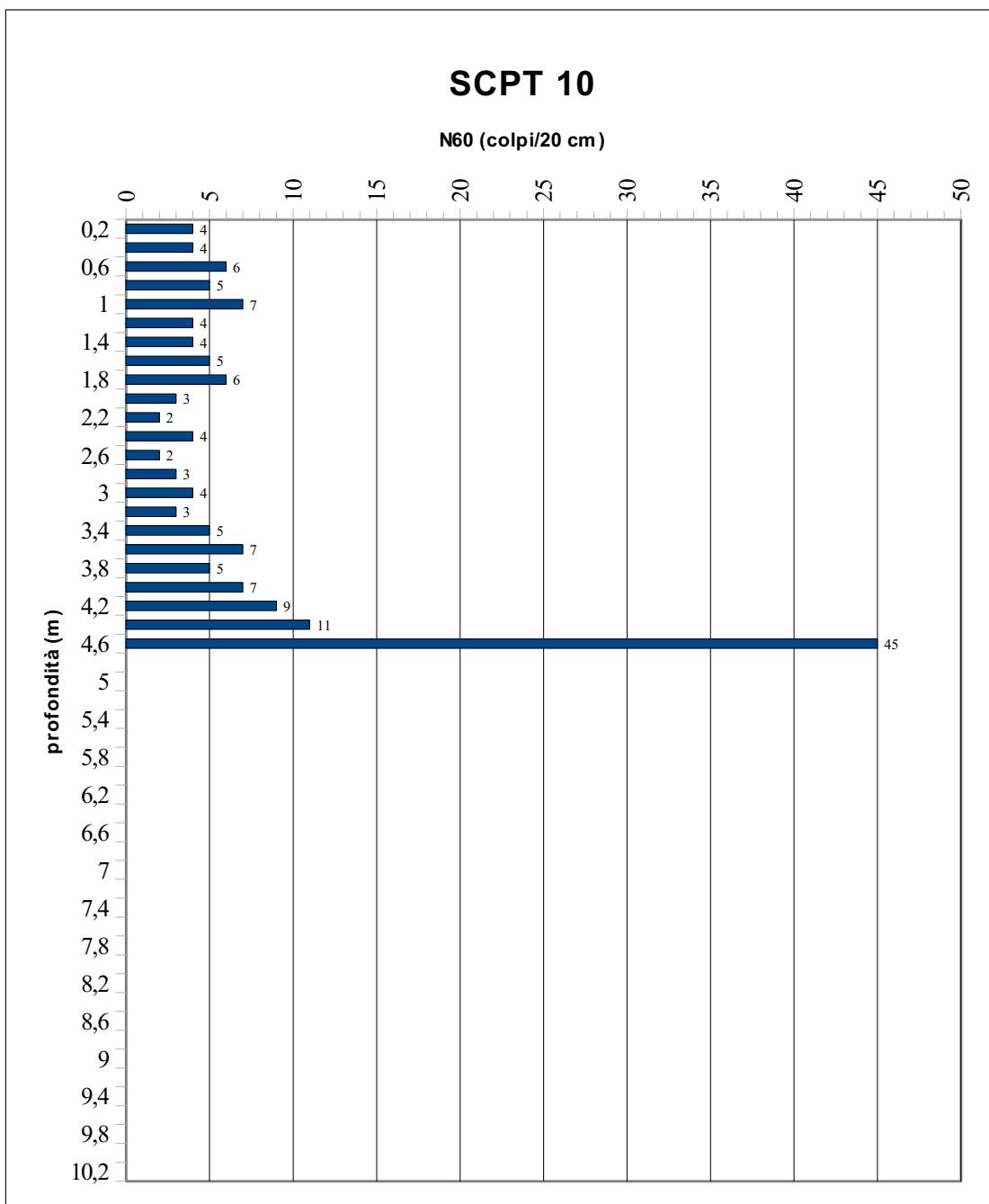












Allegato III)

Report prova geofisica in situ

Dott. MARCO STOPPA - GEOLOGO

GEOLOGIA IDROGEOLOGIA E GEOLOGIA AMBIENTALE

Ordine Regionale dei Geologi del Piemonte n° 482

Strada Biandrate, 24 - 28100 Novara (NO)

Tel. 0321.407246 - 347.2540415

marco.stoppa@geologipiemonte.it

Dott. MARCO STOPPA – GEOLOGO

GEOLOGIA IDROGEOLOGIA E GEOLOGIA AMBIENTALE

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DEL PIEMONTE N° 482

Dott. Marco Stoppa - Geologo
C.FISC: STPMRC75E26F952K
P.IVA: 01780320030

Strada Biandrate, 24 - 28100 Novara -
Tel: 0321 407246
Cell: 347 2540415
Email: marco.stoppa@geologipiemonte.it
Web: www.stoppamarcogeologo.com

Costruzione di un nuovo fabbricato ad uso industriale

Data: Marzo 2022

Il committente: TECNOS S.r.l.

Il tecnico



Il progettista



Indagine geofisica tramite tecnica HVSR

Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo Vseq attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo Vseq.

Dati generali

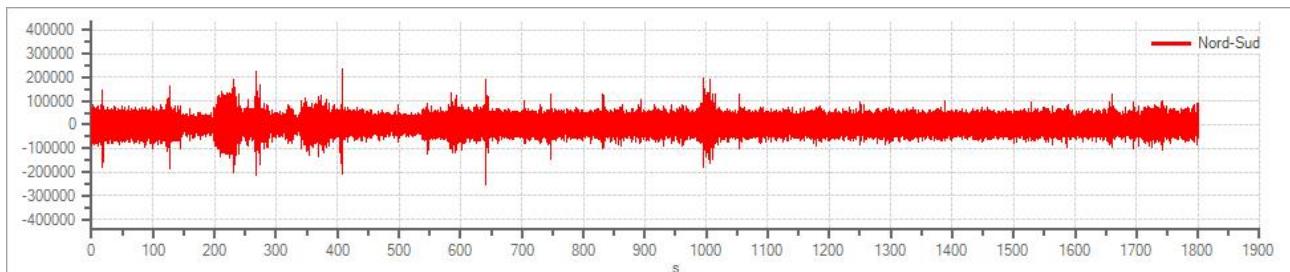
Nome progetto: Costruzione di un nuovo fabbricato ad uso industriale
Committente: TECNOS S.r.l.
Cantiere: Via Francesco Somma
Località: Cuggiono
Operatore: Dott. Geol. Marco Stoppa
Responsabile: Dott. Geol. Marco Stoppa
Data: 22/03/2022
Latitudine: 45.51624047361573
Longitudine: 8.805700684698912

Tracce in input

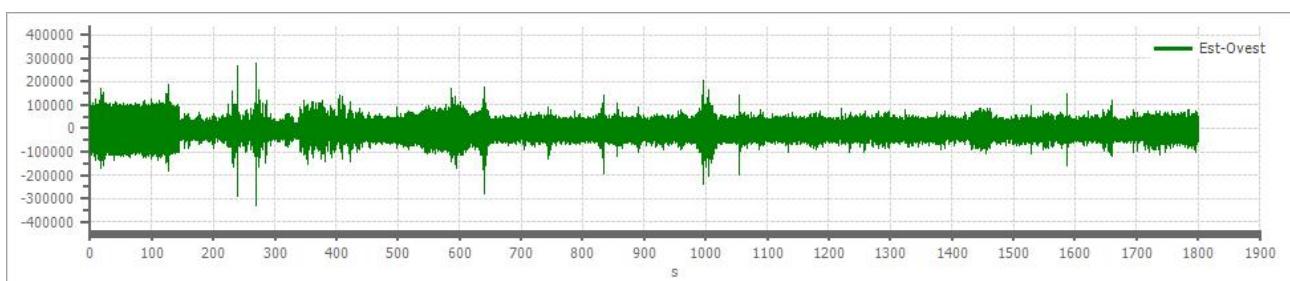
Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1800 s
Frequenza di campionamento: 250.00 Hz
Numero campioni: 450099
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

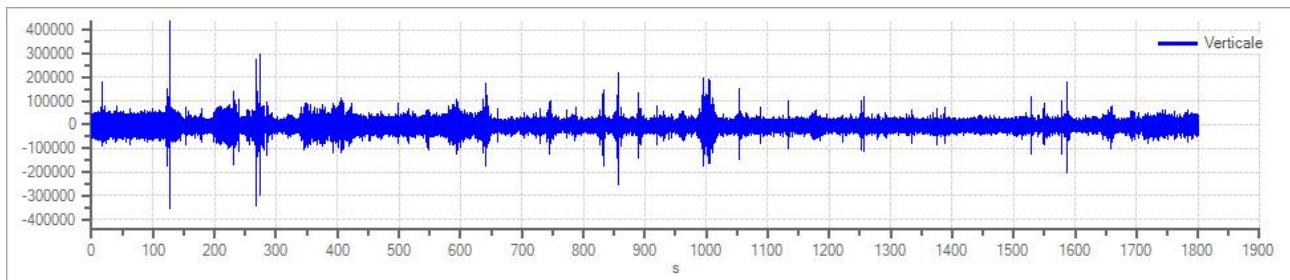
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

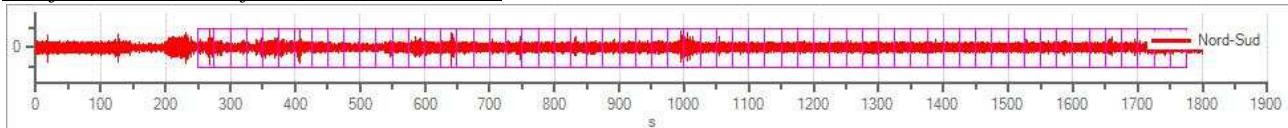
Numero totale finestre selezionate:	61
Numero finestre incluse nel calcolo:	61
Dimensione temporale finestre:	25.000 s
Tipo di lisciamento:	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	10.00 %
Coefficiente di banda:	40.00

Tabella finestre:

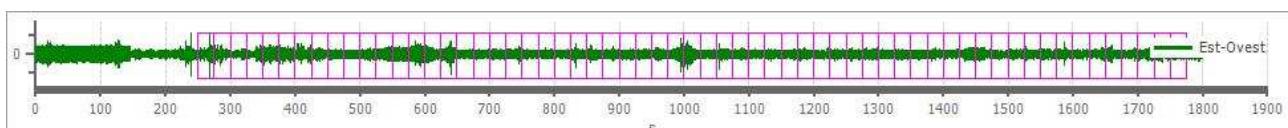
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	250	275	Inclusa
2	275	300	Inclusa
3	300	325	Inclusa
4	325	350	Inclusa
5	350	375	Inclusa
6	375	400	Inclusa
7	400	425	Inclusa
8	425	450	Inclusa
9	450	475	Inclusa
10	475	500	Inclusa
11	500	525	Inclusa
12	525	550	Inclusa
13	550	575	Inclusa
14	575	600	Inclusa
15	600	625	Inclusa
16	625	650	Inclusa
17	650	675	Inclusa
18	675	700	Inclusa
19	700	725	Inclusa
20	725	750	Inclusa
21	750	775	Inclusa
22	775	800	Inclusa
23	800	825	Inclusa
24	825	850	Inclusa
25	850	875	Inclusa
26	875	900	Inclusa
27	900	925	Inclusa
28	925	950	Inclusa
29	950	975	Inclusa
30	975	1000	Inclusa
31	1000	1025	Inclusa
32	1025	1050	Inclusa
33	1050	1075	Inclusa
34	1075	1100	Inclusa
35	1100	1125	Inclusa
36	1125	1150	Inclusa
37	1150	1175	Inclusa
38	1175	1200	Inclusa
39	1200	1225	Inclusa

40	1225	1250	Inclusa
41	1250	1275	Inclusa
42	1275	1300	Inclusa
43	1300	1325	Inclusa
44	1325	1350	Inclusa
45	1350	1375	Inclusa
46	1375	1400	Inclusa
47	1400	1425	Inclusa
48	1425	1450	Inclusa
49	1450	1475	Inclusa
50	1475	1500	Inclusa
51	1500	1525	Inclusa
52	1525	1550	Inclusa
53	1550	1575	Inclusa
54	1575	1600	Inclusa
55	1600	1625	Inclusa
56	1625	1650	Inclusa
57	1650	1675	Inclusa
58	1675	1700	Inclusa
59	1700	1725	Inclusa
60	1725	1750	Inclusa
61	1750	1775	Inclusa

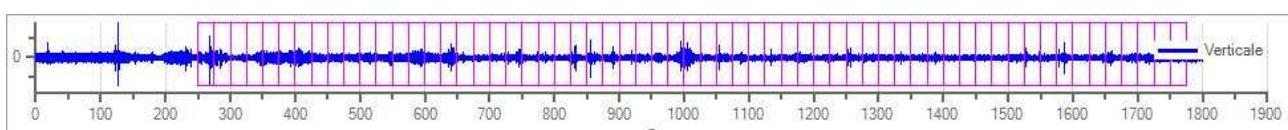
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

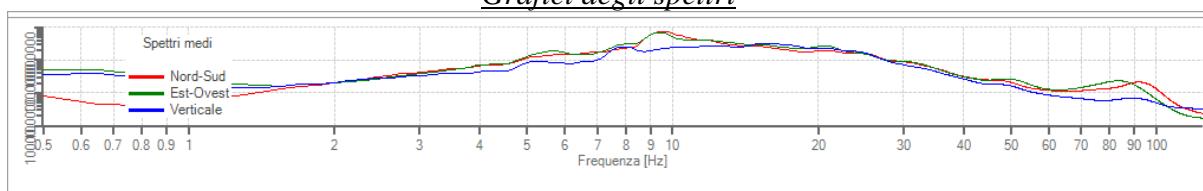


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

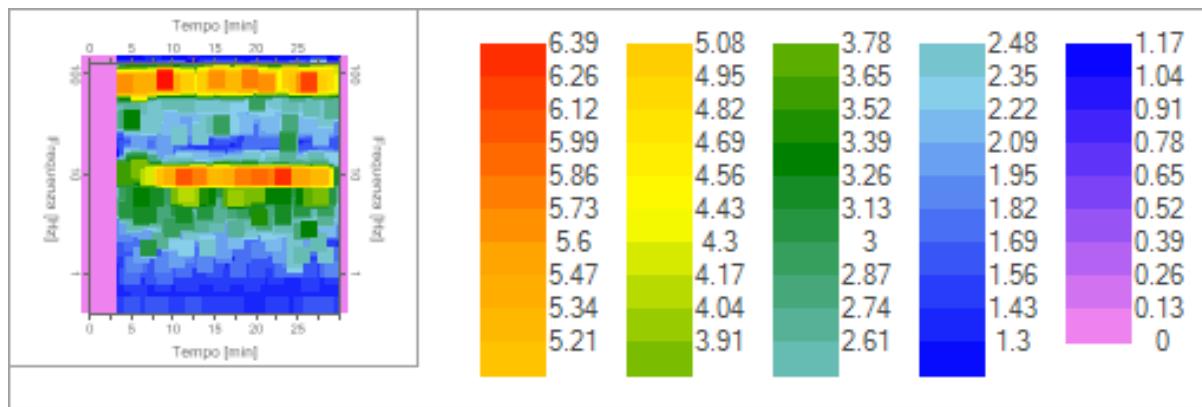


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

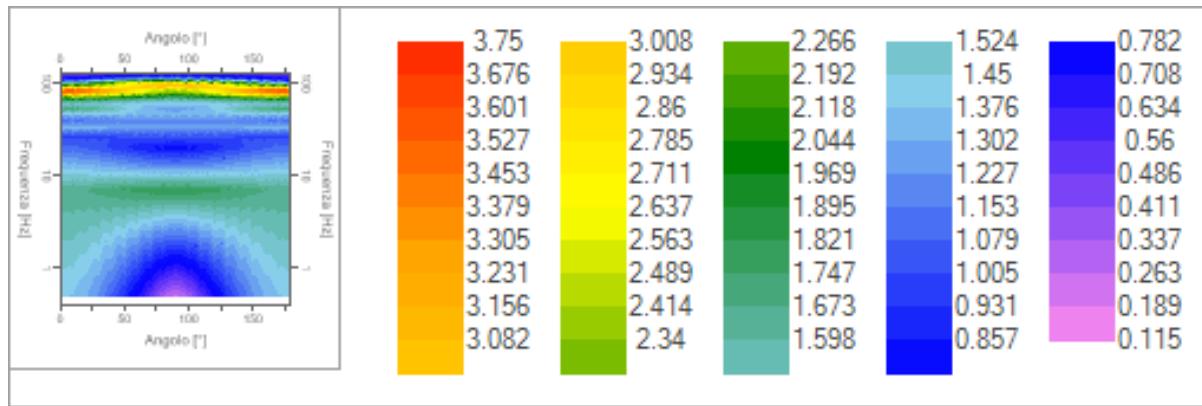
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

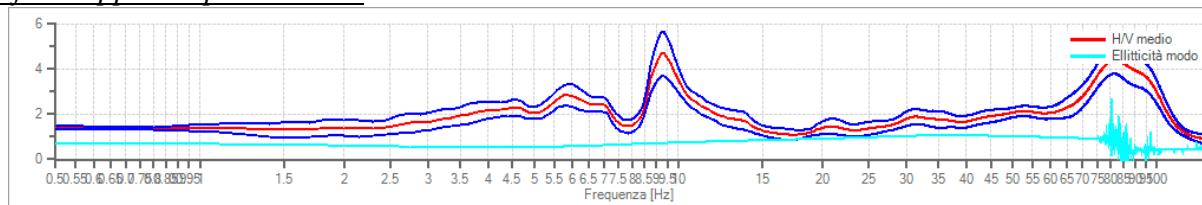
Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	125.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento::	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	10.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 9.35 Hz ± 0.21 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok

$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2 \text{ per } 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \text{ se } f_0 > 0.5H;$	Ok
$\sigma_A(f) < 3 \text{ per } 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \text{ se } f_0 < 0.5H;$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

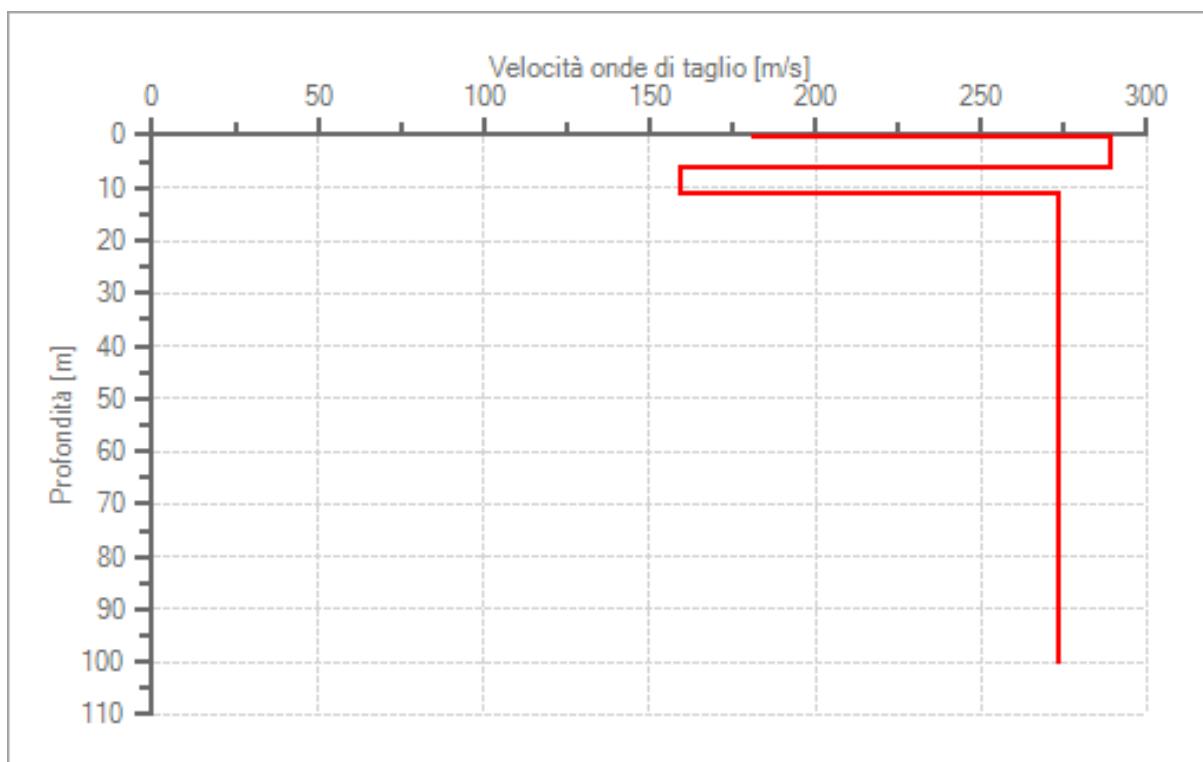
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati:	4
Frequenza del picco dell'ellitticità:	80.60 Hz
Valore di disadattamento:	0.44
Valore Vs _{eq} :	244.09 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	0.55	18	0.3	181
2	0.55	5.75	18	0.3	289
3	6.3	5.06	18	0.3	159
4	11.36	89	18	0.3	273



Allegato IV)
M9 e M10 D.G.R. 2616/2011

Dott. MARCO STOPPA - GEOLOGO
GEOLOGIA IDROGEOLOGIA E GEOLOGIA AMBIENTALE
Ordine Regionale dei Geologi del Piemonte n° 482

Strada Biandrate, 24 - 28100 Novara (NO)
Tel. 0321.407246 - 347.2540415
marco.stoppa@geologipiemonte.it



DICHIARAZIONE/ ASSEVERAZIONE DEL GEOLOGO DI CONGRUITA' DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL PARAGRAFO 6.2.1 NTC 2018 e/o DALLA D.G.R. 2616/2011

Il sottoscritto Dott. Marco Stoppa

iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Piemonte al n.482

incaricato in data 07/03/2022

da TECNOS SRL

per conto di idem

di redigere la relazione geologica relativa al seguente intervento

Costruzione nuovo fabbricato ad uso industriale

da eseguire in Comune di Cuggiono

Località

indirizzo Via Francesco Somma

n° 000

CAP

2	0	0	1	2
---	---	---	---	---

Comune Catastale D198

Foglio n. 2

Mappale o Particella 84

consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'art. 76 del D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadranno dai benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (art. 75 D.P.R. 445/2000),

DICHIARA

A. che la relazione geologica in oggetto è stata redatta ai sensi di:

- D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018)
- D.G.R. 2616/2011 e D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018)
- D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018), recependo quanto contenuto in una relazione geologica già depositata, redatta ai sensi della D.G.R. 2616/2011 per il rilascio del titolo abilitativo relativo all'intervento in questione

B. che, nello studio geologico comunale (PGT vigente) redatto in attuazione dell'art. 57 comma 1 della L.R. 12/2005, al sito di intervento sono state attribuite le seguenti caratteristiche geologiche:

1. SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE PSL 1 LIV – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.1

- | | | |
|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> Z1 Instabilità dei versanti | <input type="checkbox"/> Z2a Cedimenti | <input type="checkbox"/> Z2b Liquefazione |
| <input type="checkbox"/> Z3 Amplificazione topografica | <input type="checkbox"/> Z4 Amplificazione Stratigrafica | |
| <input type="checkbox"/> Z5 Comportamenti differenziali | <input checked="" type="checkbox"/> Nessuno scenario | |

1.1 VERIFICA SISMICA DI SECONDO LIVELLO PSL 2 LIV – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.2

- Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) > Soglia comunale (FAS)*
- Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) <= Soglia comunale (FAS)*
- Analisi di secondo livello non effettuata

* tenuto conto delle tolleranze ammesse nell'Allegato 5 della D.G.R. 2616/2011

2. CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR 2616/2011 p.to 3.1

- 1 senza particolari limitazioni
- 2 con modeste limitazioni
- 3 con consistenti limitazioni
- 4 con gravi limitazioni

2.1 TIPO DI LIMITAZIONE ALLA FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR 2616/2011 p.to 3.2

- a) Instabilità dei versanti
- b) Vulnerabilità idrogeologica
- c) Vulnerabilità idraulica
- d) Scadenti caratteristiche geotecniche
- nessuna particolare limitazione

DICHIARA INOLTRE

in fase di predisposizione dello studio geologico a supporto della progettazione

C. di aver seguito tutte le prescrizioni previste dalle norme geologiche di piano vigenti riportate nel piano delle regole del PGT del Comune di Cuggiono

D. di aver eseguito ai sensi degli allegati alla DGR 2616/2011, conformemente alle linee guida disponibili:

- Approfondimento relativo all'instabilità dei versanti dal punto di vista statico (App1)
- Approfondimento relativo alla vulnerabilità idrogeologica (App2)
- Approfondimento relativo alla vulnerabilità idraulica (App3)
- Approfondimento relativo alle scadenti caratteristiche geotecniche (App4)
- Approfondimento relativo agli aspetti sismici (App5), la cui tipologia e grado sono dettagliatamente descritte nelle successive schede
- Nessun particolare approfondimento

E. di aver redatto il modello geologico del sito sulla base di:

- indagini appositamente eseguite nel sito d'interesse o nel suo immediato intorno, del tipo
indagine sismica passiva tipo HVSR, prove penetrometriche dinamiche continue tipo SCPT, pozzetti geognostici
- indagini pregresse, la cui estendibilità al sito d'interesse è stata adeguatamente motivata in relazione, del tipo

F. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico attraverso:

- analisi di risposta sismica locale
- procedura semplificata basata sulla definizione della categoria di sottosuolo, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria di sottosuolo:

A B C D E

mediante la seguente tipologia d'indagine sismica passiva tipo HVSR

la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione

G. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo topografico attraverso:

- analisi di risposta sismica locale
- procedura semplificata basata sulla definizione della categoria topografica, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria topografica:

T1 T2 T3 T4

mediante analisi morfologica condotta su base topografica a scala 1:10.000

la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione

H. di aver adeguatamente considerato la sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione, mediante:

- esclusione della verifica (paragrafo 7.11.3.4.2 NTC 2018), opportunamente motivata in relazione
- verifica della stabilità (paragrafo 7.11.3.4.3 NTC 2018) mediante la seguente metodologia

I. che l'intervento previsto risulta fattibile e compatibile con l'assetto geologico del sito:

- senza esecuzione di opere e/o interventi specifici per la mitigazione del rischio
- previa esecuzione di opere e/o accorgimenti costruttivi da eseguirsi durante i lavori relativi all'intervento in oggetto
- previa esecuzione di specifiche opere e/o interventi per la mitigazione del rischio da eseguirsi prima dei lavori relativi all'intervento in oggetto; in relazione a questo si specifica che tali lavori:
 - non sono stati eseguiti o sono stati eseguiti solo parzialmente
 - sono stati eseguiti nel rispetto delle prescrizioni contenute nello studio specifico e con il quale risultano compatibili

ASSEVERA

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale e regionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti .

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti del Regolamento UE 2016/679 e del Dlgs 101/2018 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

luogo Novara

data 23/03/2022

IL GEOLOGO

Dott. Marco Stoppa

(timbro e firma)

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) - INSTABILITA'

Nel caso di scenari PSL di tipo Z1a, Z1b e Z1c (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. 2616/2011) per tipologia di frane in terra

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Modello geologico del sito <input type="checkbox"/> Classificazione USCS dei materiali <input type="checkbox"/> Modello geotecnico del sito		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Analisi all'equilibrio limite in condizioni statiche (FS) e pseudo-statiche (F _{PS})		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> FS _{ps} ≥ 1.3 Fine approfondimento SITO STABILE	<input type="checkbox"/> 1.1 ≤ FS _{ps} < 1.3 Obbligo del 2° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> FS _{ps} < 1.1 Obbligo del 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Prove in situ per determinazione indiretta dei parametri di resistenza	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Stima dello spostamento atteso mediante relazioni empiriche disponibili in letteratura opportunamente scelte e motivate	
Risultati al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Spostamento ≤ 2 cm Fine approfondimento SITO STABILE	<input type="checkbox"/> Spostamento > 2 cm Obbligo del 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Rilievo topografico di dettaglio <input type="checkbox"/> Indagine di sismica rifrazione <input type="checkbox"/> Indagini in situ di tipo diretto tramite sondaggio/i a carotaggio continuo <input type="checkbox"/> Prove in foro <input type="checkbox"/> Prove di laboratorio su campioni indisturbati
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Analisi dinamiche semplificate (metodo degli spostamenti)
Risultati al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Spostamento ≤ 5 cm Fine approfondimento SITO STABILE <input type="checkbox"/> Spostamento > 5 e ≤ 15 cm Verifica DI AMMISSIBILITA' DELLO SPOSTAMENTO <input type="checkbox"/> Spostamento > 15 cm OPERE DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO
<input type="checkbox"/> Eventuali verifiche di stabilità con metodi avanzati di analisi dinamica (da non intendere come sostitutivi dei metodi precedenti)			

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) - AMPLIFICAZIONE

Nel caso di scenari PSL di tipo Z3, Z4 e relativi sottotipi (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. 2616/2011), qualora l'analisi sismica di II° livello non fosse stata eseguita al sito d'indagine, sebbene obbligatoria, o fosse stata eseguita ma il fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) risulti maggiore del valore di soglia comunale (FAS* previo specifica tolleranza ammessa dalla normativa regionale (Allegato 5 D.G.R. 2616/2011); tali approfondimenti saranno da prevedere anche nel caso dello scenario PSL di tipo Z5 (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. 2616/2011)

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Modello sismo-stratigrafico del sito		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Analisi di II° livello ai sensi dell'Allegato 5 DGR 2616/2011 applicata al sito oggetto di intervento, previa verifica dei requisiti di applicabilità, ovvero: 1- Assenza di fenomeni 2D legati alla risonanza di bacino 2- Assenza di inversioni di velocità significative 3- Contrasti di impedenza sismica < 3 4- Valori di VSH > 250 m/s		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> FAC ≤ FAS* <p style="text-align: center;">Fine approfondimento</p> Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al §30misurato <input type="checkbox"/> FAC > FAS* <p style="text-align: center;">Fine approfondimento</p> Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al §30misurato	<input type="checkbox"/> FAC > FAS* <p style="text-align: center;">Nel caso non siano disponibili schede II° livello valide per la situazione investigata o nel caso si voglia aumentare il grado di accuratezza delle previsioni</p> <p style="text-align: center;">2° grado di approfondimento</p>	<input type="checkbox"/> Non applicabilità dell'analisi di II° livello Obbligo del 3° grado di approfondimento Oppure nel caso <input type="checkbox"/> FAC > FAS* <p style="text-align: center;">e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al §30misurato</p> <p style="text-align: center;">3° grado di approfondimento</p>
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Indagine sismica di tipo MASW e/o rifrazione onde SH	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Verifica ed integrazione del modello geofisico del sottosuolo e analisi numeriche, utilizzando gli accelerogrammi di input regionali e calcolo di FAC	
Risultati al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> FAC ≤ FAS* <p style="text-align: center;">Fine approfondimento</p> Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al §30misurato <input type="checkbox"/> FAC > FAS* <p style="text-align: center;">Fine approfondimento</p> Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al §30misurato	Nel caso <input type="checkbox"/> FAC > FAS* <p style="text-align: center;">e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al §30misurato</p> <p style="text-align: center;">3° grado di approfondimento</p>

Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Indagine di sismica superficiale combinata con più tecniche, compreso ARRAY2D con velocimetri ad acquisizione sincrona nei casi di substrato rigido posto a profondità maggiori di 20-30 m
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Analisi di risposta sismica locale con sets accelerometrici di input opportunamente selezionati (almeno due gruppi ciascuno da 7 accelerogrammi per SLV e SLD)
Risultati al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Spettri di risposta elastici e/o accelerogrammi calcolati al piano di fondazione Fine approfondimento

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) - LIQUEFAZIONE

Nel caso di scenari PSL di tipo Z2b (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. 2616/2011) soggetti a fenomeni di liquefazione

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Valore di Magnitudo massima attesa <input type="checkbox"/> Valore di a_{max} in superficie <input type="checkbox"/> Soggiacenza della falda <input type="checkbox"/> Curva granulometrica e valori di resistenza penetrometrica normalizzata negli orizzonti non coesivi saturi presenti entro il volume significativo di sottosuolo		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Valutazione dei requisiti per l'esclusione della verifica di sicurezza alla liquefazione		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Assenza dei fattori scatenanti e/o predisponenti Fine approfondimento SITO STABILE	<input type="checkbox"/> Presenza dei fattori scatenanti e predisponenti Obbligo del 2° grado di approfondimento	
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Prove in situ per determinazione indiretta dei parametri di resistenza ciclica CRR <input type="checkbox"/> Determinazione sperimentale della frazione di fine FC alle profondità di analisi	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Stima del coefficiente di sicurezza alla liquefazione (FL) tramite applicazione puntuale di metodi storico-empirici ad almeno 3 diverse profondità ritenute significative	
Risultati al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> $FL \geq 1.0$ (per tutti i punti d'analisi) Fine approfondimento SITO STABILE	<input type="checkbox"/> $FL < 1.0$ (per almeno un punto d'analisi) Obbligo del 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTe) o piezocono (CPTu)
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Stima dell'andamento del coefficiente di sicurezza alla liquefazione con la profondità tramite applicazione di metodi storico-empirici e calcolo del potenziale di liquefazione I_L valido per una profondità critica almeno pari al volume significativo di sottosuolo
Risultati al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> $I_L \leq 2.0$ Fine approfondimento SITO STABILE <input type="checkbox"/> $2.0 < I_L \leq 5.0$ Verifica DI AMMISSIBILITA' DELLO SPOSTAMENTO <input type="checkbox"/> $I_L > 5.0$ OPERE DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO
<input type="checkbox"/> Eventuali verifiche di sicurezza con metodi avanzati di analisi dinamica (da non intendere come sostitutivi dei metodi precedenti)			



**DICHIARAZIONE/ ASSEVERAZIONE DELL'ESTENSORE DELLA RELAZIONE GEOTECNICA DI CONGRUENZA
CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOTECNICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL PARAGRAFO 6.2.2 NTC**

Il sottoscritto Dott. Marco Stoppa

iscritto Ordine dei Geologi della Regione Piemonte n.482

incaricato in data 07/03/2022

da TECNOS SRL

per conto di idem

di redigere la relazione geotecnica relativa al seguente intervento

Costruzione nuovo fabbricato ad uso industriale

eseguito in Comune di Cuggiono

Località

Indirizzo Via Francesco Somma

n° 000

cap

2	0	0	1	2
---	---	---	---	---

Comune Catastale D198

Foglio n. 2

Mappale o Particella 84

consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'art. 76 del D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadranno i benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (art. 75 D.P.R. 445/2000),

DICHIARA

A. di aver fatto riferimento al modello geologico desunto da specifica relazione a firma del Geologo

Dott. Marco Stoppa, me medesimo

B. di aver redatto il modello geotecnico del sito considerando un volume significativo di terreno compatibile con le caratteristiche dell'intervento e la natura e caratteristiche del sottosuolo

C. di aver considerato nei relativi calcoli geotecnici l'effetto delle azioni sismiche attese, tenendo adeguatamente in considerazione:

1. gli effetti di amplificazione stratigrafica, attraverso:

- analisi di risposta sismica locale
- procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria di sottosuolo (paragrafo 3.2.2 NTC 2018):

A

B

C

D

E

2. gli effetti di amplificazione topografica, attraverso:

- analisi di risposta sismica locale
- procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria topografica (paragrafo 3.2.2 NTC 2018):

T1

T2

T3

T4

D. di aver adeguatamente tenuto in considerazione i risultati della verifica di sicurezza del terreno di fondazione nei confronti della liquefazione

E. di aver individuato i seguenti parametri geotecnici caratteristici del terreno di fondazione:

peso dell'unità di volume: 1,64 t/mc

angolo di resistenza al taglio 25°-21°

coesione efficace: nulla

coesione non drenata: nulla

F. di avere redatto la presente relazione conformemente a quanto previsto dalle norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17-01-2018

ASSEVERA

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale e regionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti e delle relative istruzioni applicative.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti del Regolamento UE 2016/679 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

luogo Novara

data 23/03/2022

L'ESTENSORE DELLA RELAZIONE GEOTECNICA

Dott. Marco Stoppa

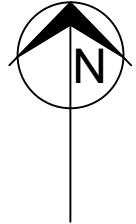
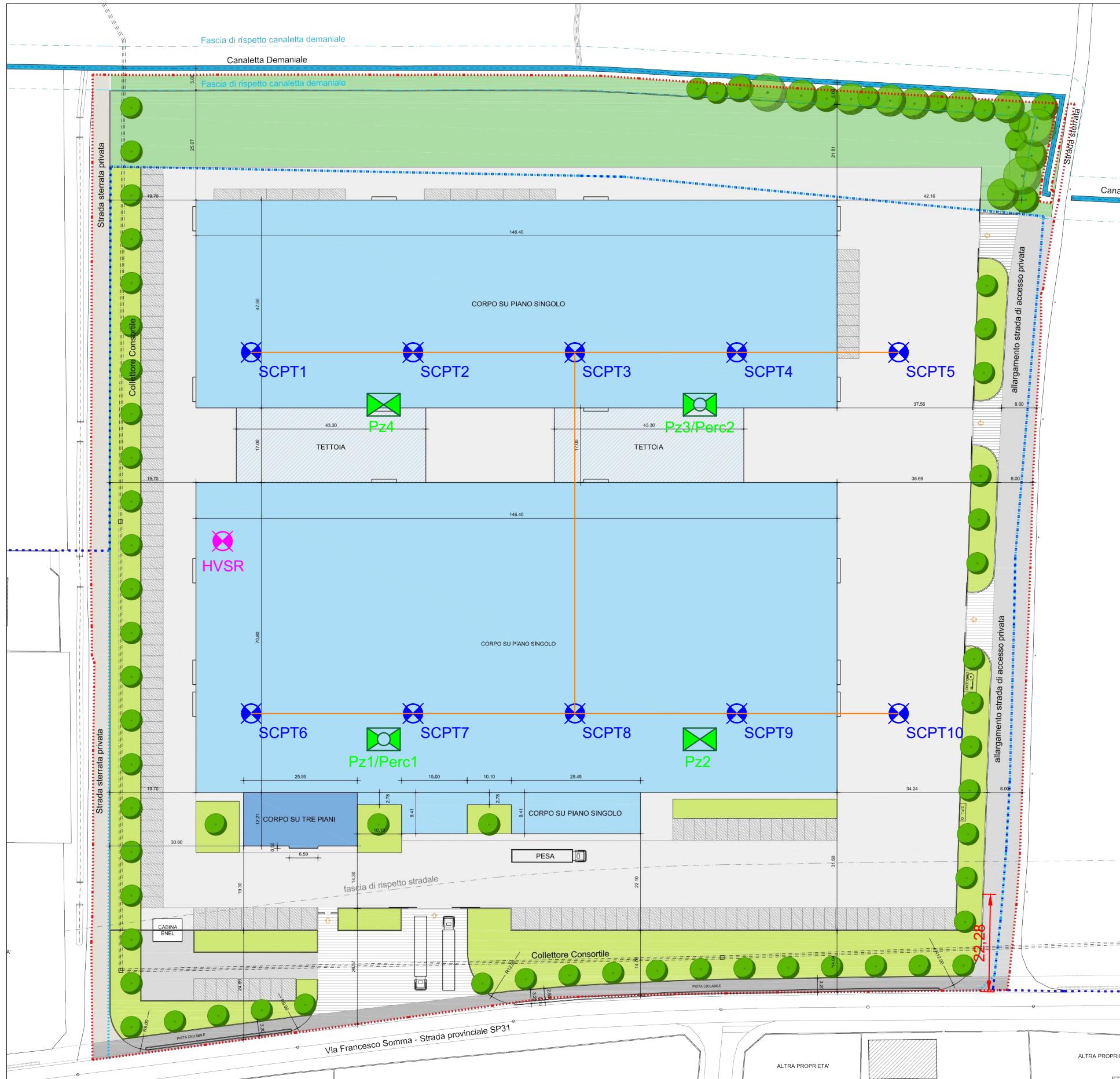
(timbro e firma)

Elaborati grafici

Dott. MARCO STOPPA - GEOLOGO
GEOLOGIA IDROGEOLOGIA E GEOLOGIA AMBIENTALE
Ordine Regionale dei Geologi del Piemonte n° 482

Strada Biandrate, 24 - 28100 Novara (NO)
Tel. 0321.407246 - 347.2540415
marco.stoppa@geologipiemonte.it

Planimetria generale - Stato di Progetto



LEGENDA

- | | |
|--|--|
| | HVSR: indagine simica |
| | SCPT: prova penetrometrica |
| | Prova di percolazione |
| | Pozzetto geognostico |
| | Traccia sezioni geotecniche interpretative |

Il Progettista:



(Dott. Geol. Marco Stoppa)

Committente:

TECNOS s.r.l.

Via Sempione, 94 - 21029 Vergiate (VA)

Lavoro: COSTRUZIONE DI UN NUOVO FABBRICATO AD USO INDUSTRIALE
Via Francesco Somma, snc - 20021 Cuggiono (MI)
R1 - RELAZIONE GEOLOGICA, R2 - RELAZIONE GEOTECNICA

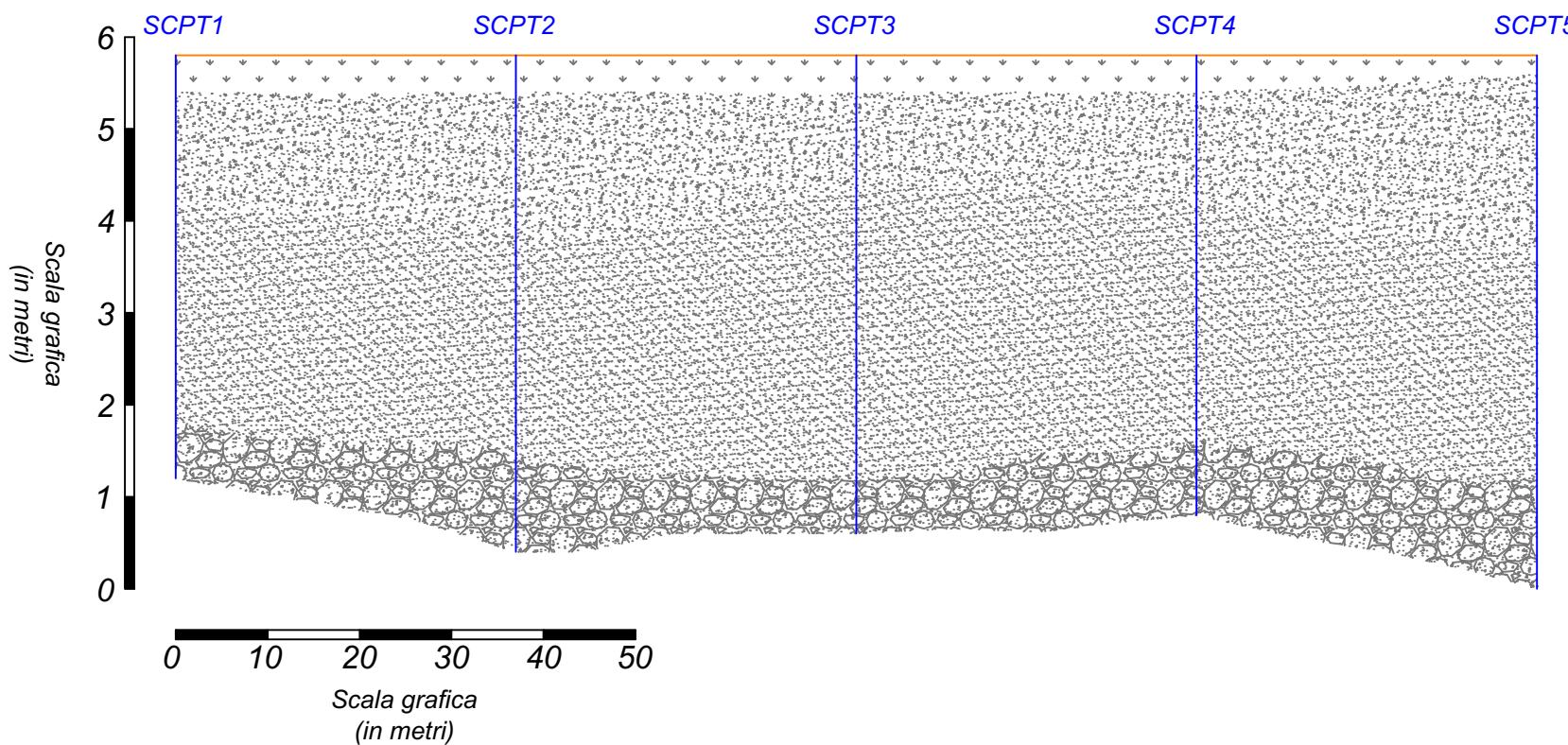
Elaborato:

Ubicazione indagini geognostiche
Traccia sezioni geotecniche interpretative

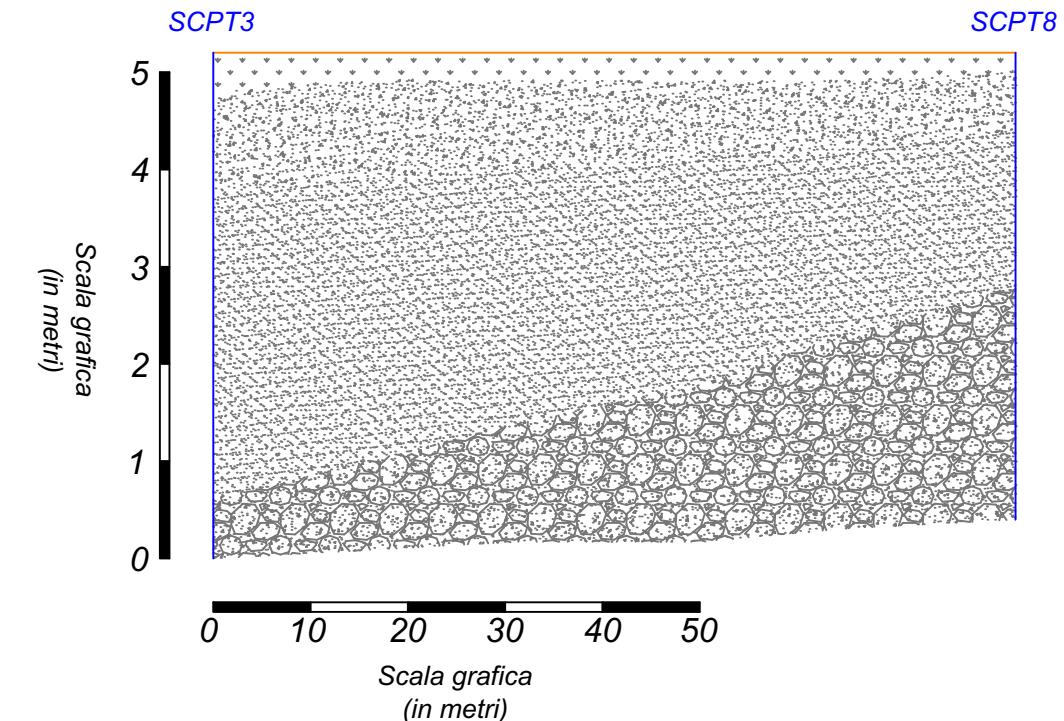
Tav.
Geo.01
Scala:
1 : 1000
Data:
Marzo 2022

Dott. MARCO STOPPA — Geologo
GEOLOGIA IDROGEOLOGIA E GEOLOGIA AMBIENTALE
Ordine Regionale dei Geologi del Piemonte n.482

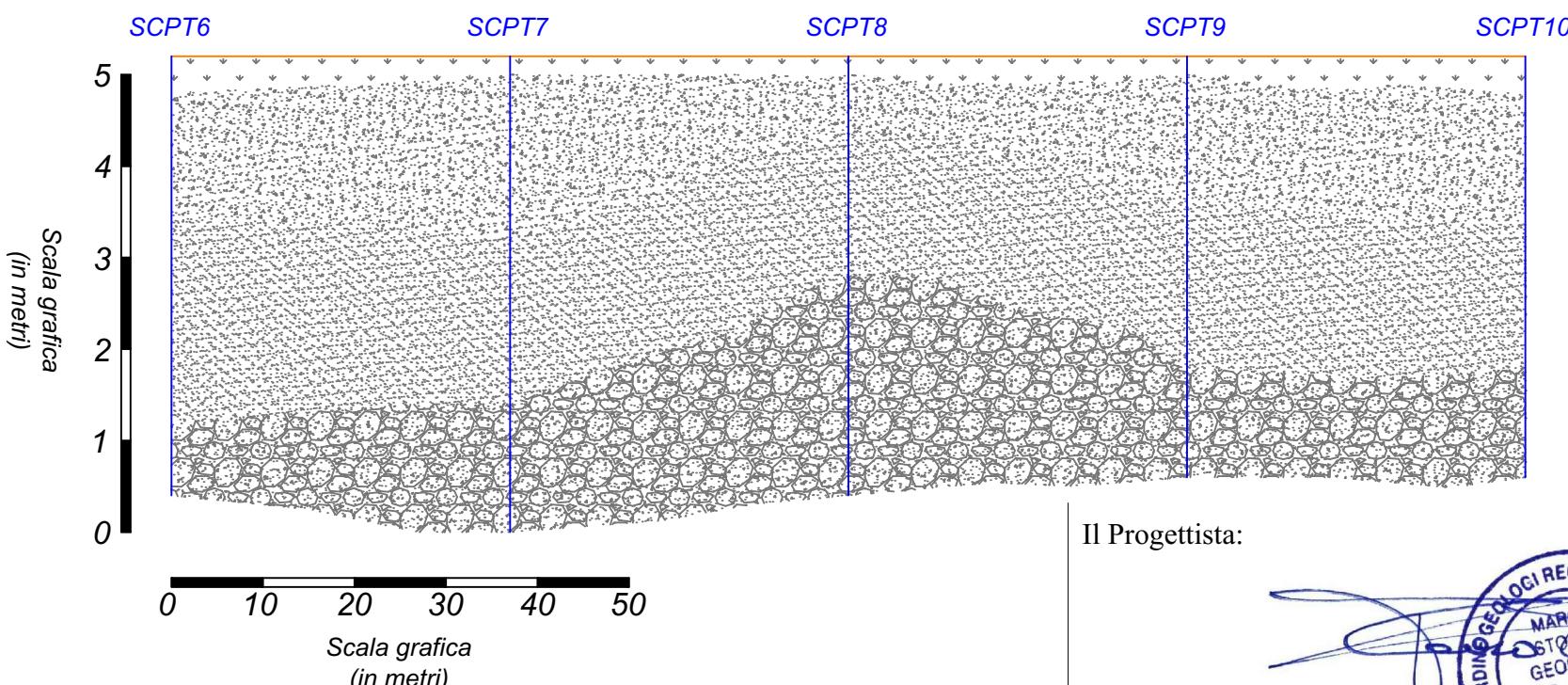
Sezione geotecnica interpretativa SCPT1-SCPT5



Sezione geotecnica interpretativa SCPT3-SCPT8



Sezione geotecnica interpretativa SCPT6-SCPT10



Legenda

- Terreno di coltivo
- Sabbia loc. limosa con ghiaia e ciottoli sparsi (3-10 colpi/piede)
- Sabbia ghiaiosa loc. limosa (1-6 colpi/piede)
- Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (>6 colpi/piede)

Il Progettista:



(Dott. Geol. Marco Stoppa)

Committente:

TECNOS s.r.l.

Via Sempione, 94 - 21029 Vergiate (VA)

Lavoro: COSTRUZIONE DI UN NUOVO FABBRICATO AD USO INDUSTRIALE
Via Francesco Somma, snc - 20021 Cuggiono (MI)
R1 - RELAZIONE GEOLOGICA, R2 - RELAZIONE GEOTECNICA

Elaborato:

Sezioni geotecniche interpretative

Tav.
Geo.02
Scala:
1 : 1000
Data:
Marzo 2022

Dott. MARCO STOPPA — Geologo
GEOLOGIA IDROGEOLOGIA E GEOLOGIA AMBIENTALE
Ordine Regionale dei Geologi del Piemonte n.482