
Provincia di Brescia
Comune di Corzano

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTICO
MODIFICA DI INTERSEZIONE ESISTENTE CON REALIZZAZIONE DI ROTATORIA TRA LA
S.P.16 E VIA GARIBALDI NEL COMUNE DI CORZANO

ALLEGATO B – RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

UFFICIO TECNICO COMUNE DI CORZANO
PROGETTISTA E RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
GEOM. PIETRO NUCCIO

LUGLIO 2018

COMUNE DI CORZANO

Provincia di Brescia

INDAGINE GEOLOGICA E GEOTECNICA RELATIVA ALLA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE DELL'INTERVENTO DI MODIFICA DI INTERSEZIONE ESISTENTE CON REALIZZAZIONE DI ROTATORIA TRA LA S.P.16 E VIA GARIBALDI IN COMUNE DI CORZANO.

RELAZIONE GEOLOGICA

Ai sensi del
D.M. 17/01/2018
D.G.R. 2616/2011

RELAZIONE GEOTECNICA

Ai sensi del
D.M. 17/01/2018

RELAZIONE SISMICA

ai sensi del
D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129

COMMITTENTE: **COMUNE DI CORZANO**

GEOLOGO: DOTT. GUIDO TORRESANI
O.G.L. n° 1141



DATA: 25 LUGLIO 2018

Studio di Geologia dott. GUIDO TORRESANI

25034 – ORZINUOVI (BS) - Via Giordano Bruno, 44

tel/fax 030 944193

GEOLOGIA AMBIENTALE, IDROGEOLOGIA, GEOTECNICA, GESTIONE CAVE, AUTORIZZAZIONI POZZI

SOMMARIO:

- Inquadramento geologico e natura litologica dei terreni di fondazione;
- Piano di imposta e tipo di fondazione;
- Sismicità dell'area;
- Definizione dell'azione sismica;
- Indagini geognostiche;
- Caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica;
- Determinazione delle resistenze dei terreni Rd ai sensi del D.M. 17-01-2018;
- Calcolo dei cedimenti;
- Suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione;
- Verifica della fattibilità geologica dell'intervento in riferimento ai criteri indicati nella D.G.R. 2616/2011.
- Considerazioni conclusive.

ALLEGATI:

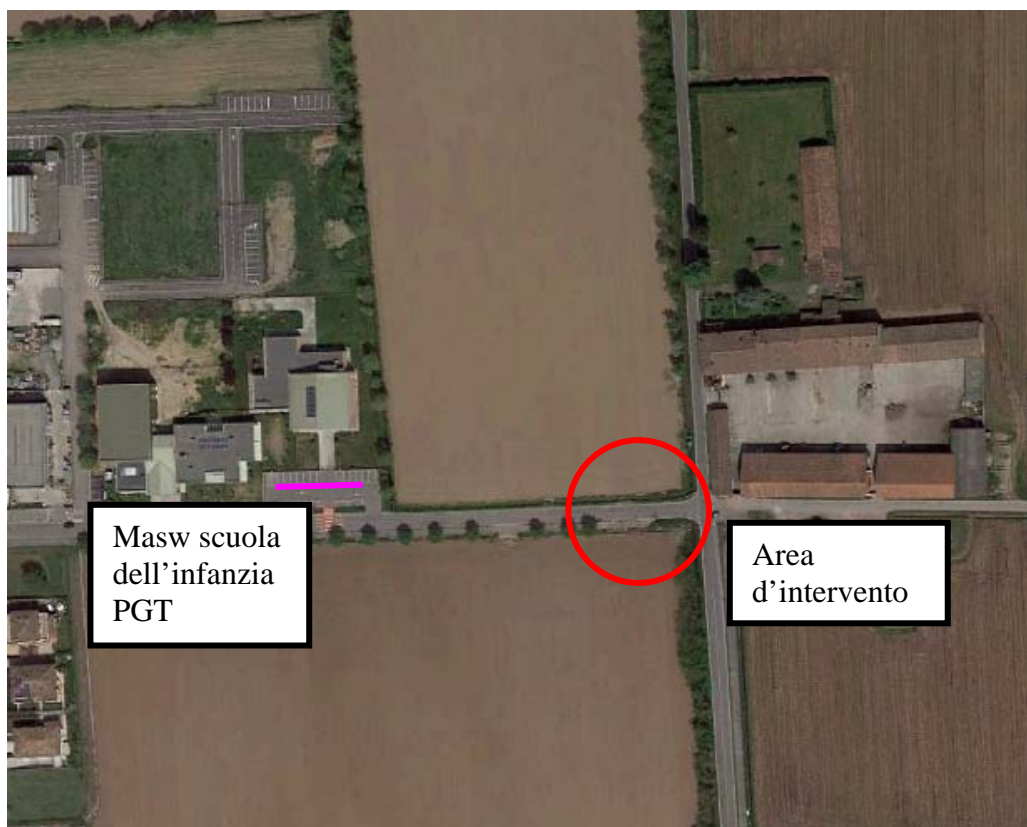
- ❖ Inquadramento corografico (C.T.R. 1:10.000);
- ❖ Planimetria dell'intervento con ubicazione delle indagini eseguite;
- ❖ Tabelle e diagrammi di interpretazione dei dati penetrometrici di riferimento (prove P1÷P5);
- ❖ Tabelle parametri geotecnici;
- ❖ Stratigrafia trincee esplorative T1, T2 con relativa documentazione fotografica;
- ❖ Risultati indagine sismica masw di riferimento
- ❖ Asseverazione relazione geologica – MODULO 9;
- ❖ Asseverazione relazione geotecnica – MODULO 10.

PREMESSA

La presente relazione geologica e geotecnica ha lo scopo di caratterizzare da un punto di vista geomeccanico e litostratigrafico la porzione di area, di proprietà del Comune di Corzano, sita in corrispondenza dell'intersezione tra la S.P. 16 e Via Garibaldi nel Comune di CORZANO (BS), interessata dal progetto di realizzazione nuova rotonda.

L'indagine è stata programmata ed esperita sulla base della normativa ministeriale oggetto del **D.M. 17.01.2018** concernente "aggiornamento delle Norme tecniche sulle costruzioni". Tale caratterizzazione è importante non solo per una corretta scelta e dimensionamento delle strutture di fondazione, ma anche perchè a seguito di detto D.M. è necessario verificare i parametri sismici della zona.

Sulla base del **D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129** "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)", **il territorio comunale di CORZANO è stato classificato come ZONA 3**. In riferimento all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 e sulla base della litostratigrafia rilevata, è possibile attribuire ai terreni indagati il profilo stratigrafico del **suolo di fondazione di "tipo C"**. Il profilo stratigrafico del suolo di tipo "C" deriva da un'analisi sismica MASW (Masw scuola dell'infanzia) eseguita a livello di PGT in corrispondenza dell'are d'intervento. Inoltre dall'approfondimento sismico di II livello eseguito risulta che il fattore di amplificazione F_a è inferiore al valore di soglia regionale.



E' necessario quindi prevedere in sede di indagine geologico-tecnica la verifica di alcuni elementi e fattori che influenzano il comportamento delle fondazioni; tra questi la **litologia** dei terreni di substrato, la **profondità del piano di imposta**, il **carico allo stato limite ultimo**, la **suscettibilità alla liquefazione** dei terreni di fondazione, i possibili **cedimenti** e il **livello della falda acquifera**.

Considerata l'entità delle opere da realizzarsi e considerate le caratteristiche geomeccaniche dei terreni della zona, si è proceduto all'esecuzione di **n.2 scavi esplorativi (trincee T1, T2)**. Inoltre si è fatto riferimento a **n. 5 prove di tipo statico CPT (prove P1÷P5)** eseguite dal sottoscritto in un'area posta 100 m di distanza in direzione Nord-Ovest in occasione della realizzazione del nuovo asilo comunale; gli scavi, profondi circa 1,5 metri, hanno consentito in primo luogo l'osservazione diretta della litozona superficiale interessata dal piano d'imposta delle fondazioni di progetto e di seguito hanno permesso di verificare l'assenza della falda acquifera entro tale profondità. Con le prove penetrometriche si è potuto invece verificare il comportamento geomeccanico del sottosuolo di fondazione e individuare la profondità della falda acquifera alla quota di - 4,0 m dal p.c..

Considerata l'omogeneità litostratigrafica e geomeccanica dei terreni presenti nell'ambito della zona indagata e tenuto in considerazione l'estensione del lotto da indagare, si ritiene che le indagini eseguite siano sufficienti per poter caratterizzare i terreni ospitanti le strutture in progetto. Tale scelta è avvalorata dalla conoscenza delle aree circostanti a quella di intervento che in un intorno significativo presentano caratteristiche litostratigrafiche e geomeccaniche simili.

Si tenga presente che la superficie scelta come quota 0 di RIFERIMENTO per tutte le quote indicate nella relazione è il PIANO MARCIAPIEDE di Via Garibaldi che coincide con il piano campagna su cui sono state eseguite le indagini.

Lo studio è stato condotto in osservanza alle seguenti normative vigenti:

- **Decreto Ministeriale 14.01.2008**
- 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. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 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 (stesura finale 2003)
- **Eurocodice 7.1 (1997)**
Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI
- **Eurocodice 7.2 (2002)**
Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- **Eurocodice 7.3 (2002)** Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI
- **D.G.R. n. 2616/11** "Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT".
- **D.G.R. n. 2129/14 Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia**
- **LR 33/15** Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche. Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica
- **D.G.R. n. 5001/16** Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica
- **Decreto Ministeriale 17.01.2018**
Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

La conoscenza delle condizioni geomorfologiche generali del territorio è basata sul rilievo diretto mediante il quale si sono controllati e puntualizzati gli elementi forniti dalla bibliografia.

L'indagine si è avvalsa delle conoscenze geologiche dello scrivente riguardo le caratteristiche medio generali del territorio comunale e si è svolta mediante la realizzazione di n.2 scavi esplorativi e prendendo come riferimento n. 5 prove penetrometriche al fine di visionare le condizioni litostratigrafiche e geotecniche dei terreni in posto.

L'areale indagato è ubicato nella porzione Est dell'abitato di Corzano (come evidenziato nella allegata C.T.R. 1:10.000). Il terreno si presenta come una superficie pianeggiante ad una quota di ca.95 metri s.l.m.

Dal punto di vista morfologico questa zona appartiene all'unità definita "Livello Fondamentale della Pianura" ovvero "Piano Generale Terrazzato (P.G.T.)".

Una descrizione geologica a carattere generale dei terreni prossimi all'area di intervento ha poco significato in un'indagine di dettaglio come la presente e pertanto viene tralasciata.

La natura del terreno, dedotta direttamente dagli scavi esplorativi e indirettamente dalle prove penetrometriche, mostra una successione litostratigrafica che può essere sintetizzata come di seguito riportato (profondità riferite al p.c.):

- 0,00 - 0,30 Terreno vegetale
- 0,30 - 1,00 Sabbie limose
- Oltre 1,00 Sabbie limose con poca ghiaia

Falda rilevata in corrispondenza delle prove penetrometriche eseguite ad una profondità di circa -4,0 m dal p.c. Tale valore piezometrico può subire tuttavia delle oscillazioni verticali; in particolare durante i mesi autunnali tale valore può raggiungere i -2,5 m dal p.c. (valore di massima risalita della falda attualmente noto).

I valori di resistenza alla punta ottenuti valutando le prove supportati dalle conoscenze litostratigrafiche locali, portano a ritenere l'intera area indagata abbastanza omogenea da un punto di vista litostratigrafico e geomeccanico e costituita prevalentemente da litologie sabbioso-limose nella litozona superficiale (orizzonti A) e, a partire da circa -1,0 m dal p.c., da sabbie limose con poca ghiaia (orizzonte B).

PIANO DI IMPOSTA E TIPO DI FONDAZIONE

Le risultanze dell'indagine effettuata, unitamente a quanto riscontrato in precedenti indagini effettuate nelle vicinanze, ha consentito di individuare al di sotto del terreno vegetale superficiale (spessore 0,3 m) un orizzonte a sabbia limosa (**orizzonte A**) fino alla profondità di 1,0 dal p.c. Oltre tale quota si rinviene un orizzonte a sabbie limose con poca ghiaia (**orizzonte B**).

Valutate pertanto le caratteristiche geomeccaniche e litologiche dei terreni indagati, in relazione alle caratteristiche strutturali dell'opera di progetto, si è proceduto ad utilizzare nei calcoli della capacità portante del terreno, delle fondazioni superficiali tipo PLATEA impostate ad una profondità $\geq 1,0$ m dal p.c. (nell'Orizzonte B costituito da terreni sabbioso-limosi con poca ghiaia). Tale tipologia di opera è riferita al manufatto in calcestruzzo carrabile utilizzato come attraversamento stradale intubato della Roggia ivi presente.

Nel caso specifico saranno verificate le seguenti tipologie di fondazioni:

- **PLATEA** aventi dimensioni di 5 m X 1,2 m impostate ad una profondità di $\geq 1,0$ m dal p.c., all'interno dell'orizzonte sabbioso- limoso con poca ghiaia (orizzonte B).
- **Per l'imposta del sottofondo stradale è possibile utilizzare come quota di fondo scavo la profondità di -0,7 m dallo 0 RIF.**

SISMICITA' DELL'AREA

Con l'introduzione dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e succ. modif. sono stati rivisti i criteri per l'individuazione delle zone sismiche. Inoltre sono state definite le norme tecniche per la progettazione di nuovi edifici, di nuovi ponti, per le opere di fondazione, per le strutture di sostegno. La suddetta ordinanza riporta, sino alla deliberazione delle regioni (cosa che in Lombardia è avvenuto con la D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129), le nuove classificazioni sismiche individuate sulla base del documento "Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale". In particolare, l'intero territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone.

Nello specifico il territorio comunale di **Corzano** ricade, per quanto indicato in Allegato A della D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129 "elenco dei Comuni con indicazione delle relative zone sismiche e dell'accelerazione massima ($a_{g_{max}}$) presente all'interno del territorio comunale" in **ZONA 3**.

ISTAT	Provincia	Comune	Zona Sismica Ag_{Max}	Ag_{max}
03017064	BS	CORZANO	3	0,138136

Il terreno indagato secondo lo schema presente nell'Ordinanza risulta appartenente alla categoria di **suolo di fondazione tipo "C"**, (Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi fra 180 e 360 m/s e $15 < NSPT < 50$) così come specificato al paragrafo 3.1 del Capitolo 3 "Azione sismica" di dette norme.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

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

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per il calcolo dei valori sopra citati sono stati considerati i seguenti parametri in base al tipo di opera in progetto:

- **Vita nominale dell'opera V_N :** intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata

Tabella 1 – Vita nominale v_n per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali -Strutture in fase costruttiva1	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

- **Classe d'uso:** classe nella quale sono suddivise le opere, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso

L'opera in progetto appartiene alla Classe d'uso II: costruzioni il cui uso preveda affollamenti normali.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un **periodo di riferimento V_R** che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la **vita nominale N_v** per il **coefficiente d'uso C_U** :

$$V_R = V_N \times C_U$$

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

Tabella n. 2 -Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0.7	1.0	1.5	2.0

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni

Dopo aver definito la Vita Nominale e la Classe d'uso e possibile, quindi, calcolare il **Periodo di riferimento per l'azione sismica V_R** come:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1,0 = 50 \text{ anni}$$

Tabella 3 -riassuntiva

tipo di costruzione	2
vita nominale	≥ 50
classe d'uso	II
coefficiente C_U	1,0
vita di riferimento $V_r = V_n \times C_U$	50

DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA -STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

Le *azioni sismiche di progetto* si definiscono a partire dalla “**pericolosità sismica di base**” del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (“periodo di riferimento” V_R espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata “**Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento**” (P_{VR}).

La pericolosità sismica è definita in termini di :

- accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A, ecc.), con superficie topografica orizzontale (categoria T1; ecc.);
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $Se(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

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

- **ag** accelerazione orizzontale massima al sito;
- **Fo** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- **T*C** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Tabella n.4 -Categorie topografiche

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i \leq 15^\circ \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E il *coefficiente di Amplificazione stratigrafica* (S_s) e il *coefficiente funzione della categoria di sottosuolo* (C_c) possono essere calcolati in funzione dei valori di F_o (Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_c^* (Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella seguente Tabella, nella quale g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi:

Tabella n. 5 -Espressioni di SS e di CC

CATEGORIA SOTTOSUOLO	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 * F_0 \text{ ag/g} \leq 1.20$	$1.10 * (T_c) - 0.20$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 * F_0 \text{ ag/g} \leq 1.50$	$1.05 * (T_c) - 0.33$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 * F_0 \text{ ag/g} \leq 1.80$	$1.25 * (T_c) - 0.50$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 * F_0 \text{ ag/g} \leq 1.60$	$1.15 * (T_c) - 0.40$

AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST riportati nella seguente Tabella, in funzione delle categorie topografiche definite in Tabella n.4 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella n. 6 -Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	ST
T1		1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove ST assume valore unitario.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata mediante l'utilizzo del programma **GEOSTRU**, da cui sono stati ottenuti i seguenti **parametri sito-specifici**:

Determinazione dei parametri sismici	
(1)* Coordinate WGS84	
Lat. <input type="text" value="45.444098"/>	Long. <input type="text" value="10.015397"/>
(1)* Coordinate ED50	
Lat. <input type="text" value="45.445025"/>	Long. <input type="text" value="10.016437"/>
Classe dell'edificio	
<input type="text" value="II. Affollamento normale."/> ▼	<input type="text" value="Cu = 1"/>
Vita nominale (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)	

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C


Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50 anni


In funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} vengono calcolati i valori a_g , F_0 , T^*C e del periodo di ritorno:


Tabella 7 – Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

Stati limite

 Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

 Vita Nominale 50

 Interpolazione Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.038	2.452	0.210
Danno (SLD)	50	0.050	2.397	0.233
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.136	2.429	0.276
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.177	2.432	0.287
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Dove:

SLE = stati limite di esercizio

SLO = stato limite di operatività: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

SLD = stato limite di danno: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

SLU = stati limite ultimi

SLV = stato limite di salvaguardia della vita: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte di resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

SLC = stato limite di prevenzione del collasso: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli nei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Tabella n. 8 - Coefficienti sismici stati limite

Coefficienti sismici

Tipo

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

Stabilità dei pendii e fondazioni

H (m)

1

us (m)

0.1

Cat. Sottosuolo

Cat. Topografica

C

T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,44
CC Coeff. funz categoria	1,76	1,70	1,61	1,59
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.011	0.015	0.049	0.061
kv	0.006	0.008	0.025	0.031
Amax [m/s ²]	0.559	0.743	2.004	2.502
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Allo scopo di ottenere utili informazioni tecniche destinate ad una corretta interpretazione delle caratteristiche geologiche dei terreni di fondazione dell'opera in progetto sono state eseguite le seguenti indagini:

- n.5 prove penetrometriche statiche CPT (prove P1÷P5);
- n.2 scavi esplorativi (trincee T1, T2)
- n.1 indagine sismica tipo MASW.

L'ubicazione delle indagini effettuate viene riportata nella planimetria allegata.

Si tenga presente che la superficie scelta come quota 0 di RIFERIMENTO per tutte le quote indicate nella relazione è il PIANO MARCIAPIEDE di Via Garibaldi che coincide con il piano campagna su cui sono state eseguite le indagini.

Prove penetrometriche statiche (prove P1÷P5)

Le prove statiche (CPT) consistono nell'infiggere nel terreno una punta conica e un manicotto di attrito di dimensioni standard utilizzando un pistone idraulico che esercita una spinta costante (10 t).

La punta e il manicotto di attrito misurano rispettivamente la resistenza alla punta (Rp) e la resistenza laterale (RI).

L'infissione avviene per tratti consecutivi di 20 cm.

Le caratteristiche del penetrometro statico Pagani tipo Gouda da 10 t utilizzato, rispondono agli standard europei richiesti per questo tipo di prove e presenta le seguenti specifiche tecniche:

- punta conica con angolo di 60° e superficie di 10 cm²;
- manicotto di frizione con superficie di 150 cm² posto sopra la punta;
- le letture dei valori di resistenza alla punta e al manicotto vengono fatte su un manometro.

Nell'esecuzione delle prove non è stata raggiunta la situazione di rifiuto geotecnico; le prove sono state comunque arrestate ad una profondità più che sufficiente per la comprensione delle problematiche inerenti il sistema terreno-fondazione.

Le tabelle e i diagrammi di interpretazione delle prove penetrometriche statiche vengono riportati in allegato.

CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA

L'elaborazione dei dati desunti dalle indagini eseguite ha permesso di ricostruire l'assetto litostratigrafico del sottosuolo rappresentato graficamente nello schema stratigrafico sotto riportato ritenuto rappresentativa dell'intera zona indagata e, contestualmente, di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni interessati dalle fondazioni delle opere in progetto.

Modello litostratigrafico del sottosuolo

Le risultanze dell'indagine effettuata, unitamente a quanto riscontrato in precedenti indagini effettuate nelle vicinanze, ha consentito di individuare al di sotto del terreno vegetale superficiale (spessore 0,3 m) un orizzonte a sabbia limosa (**orizzonte A**) fino alla profondità di 1,0 dal p.c. Oltre tale quota si rinviene un orizzonte a sabbie limose con poca ghiaia (**orizzonte B**).

A	(da 0,0 a 1,0 m) sabbia limosa
B	(oltre 1,0 m) sabbia limosa con poca ghiaia

Modello geomeccanico

Nella seguente tabella, viene riportato il profilo geotecnico dei livelli riconosciuti, suddivisi in base delle seguenti caratteristiche: litologia prevalente, stato di addensamento e proprietà fisico-meccaniche; per ciascuna grandezza fisica considerata, è stato riportato il valore di riferimento.

Orizzonte A – “SABBIA LIMOSA” (da 0,0 m a 1,0 m dal piano campagna)			
Parametri	Simbolo	Unità di misura	Valore
Consistenza			mediamente costipato
Peso di volume	g	t/m ³	1,8
Angolo di attrito	Ø	°	26
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm ²	0,1
Modulo elastico	E	Kg/cm ²	100
Densità relativa	Dr	%	40

Orizzonte B – “SABBIA LIMOSA CON POCO GHIAIA” (oltre 1,0 m dal piano campagna)			
Parametri	Simbolo	Unità di misura	Valore
Addensamento			Moderatamente COSTIPATO
Peso di volume	g	t/m ³	1,85
Angolo di attrito	Ø	°	28
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm ²	0,1
Modulo elastico	E	Kg/cm ²	150
Densità relativa	Dr	%	50

Nella seguente tabella, viene riportato per ogni orizzonte individuato il **valore caratteristico * di resistenza al taglio** ottenuto analiticamente partendo dai valori medi sopra riportati:

Orizzonte A

Ø'm	26° valore medio
Ø'k	26° valore caratteristico *
Ø'd	26° valore di progetto

Cu m	0,1 Kg/cm ² valore medio
Cu k	0,1 Kg/cm² valore caratteristico*
Cu d	0,1 Kg/cm ² valore di progetto

Orizzonte B

Ø'm	28° valore medio
Ø'k	28° valore caratteristico *
Ø'd	28° valore di progetto

Cu m	0,1 Kg/cm ² valore medio
Cu k	0,1 Kg/cm² valore caratteristico*
Cu d	0,1 Kg/cm ² valore di progetto

***il valore caratteristico k** rappresenta la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove.

Nel caso specifico è stato determinato il valore caratteristico dell'angolo di attrito e della coesione non drenata Cu.

I valori caratteristici di Ø' sono determinabili con la seguente relazione:

$$\text{Ø'k} = \text{Ø'm} (1 + CxV\text{Ø})$$

dove:

σ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito interno;

σ'_m = valore medio dell'angolo di attrito;

$V\sigma'$ = coefficiente di variazione di σ' , definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio (deviazione standard) e la media dei valori di σ' ;

C = parametro dipendente dalla legge di distribuzione della probabilità e dalla probabilità di non superamento adottata.

L'Eurocodice 7 fissa, per i parametri della resistenza al taglio, una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiano, un valore di **C = - 1,645**.

Di conseguenza la precedente relazione diventa:

$$\sigma'_k = \sigma'_m (1 - 1,645 V\sigma'^\circ)$$

$^\circ$ coefficiente di variazione $= V\sigma'^\circ$ = rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori

Si riportano per completezza alcune importanti precisazioni riportate nelle Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC 2018.

A) Valori caratteristici circa uguali ai valori medi

Nelle valutazioni che il geotecnico deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato, secondo il CSLP, il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (in fondazioni superficiali o in una frana il volume interessato dalla superficie di rottura è grande), con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

B) Valori caratteristici circa uguali ai valori minimi

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (ad es. terreno di base di un palo, verifica a scorrimento di un muro), con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità. La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni; (ad esempio, effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata).

Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato.

DETERMINAZIONE DELLE RESISTENZE (R_d)

Per ogni stato limite per perdita di equilibrio (EQU) deve essere rispettata la condizione:

$$E_{inst,d} \leq E_{stb,d}$$

dove $E_{inst,d}$ è il valore di progetto dell'azione instabilizzante, $E_{stb,d}$ è il valore di progetto dell'azione stabilizzante.

La verifica della suddetta condizione deve essere eseguita impiegando come fattori parziali per le azioni i valori γF riportati nella colonna EQU della tabella 6.2.I.

Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO) deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d \quad [6.2.1]$$

essendo E_d il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni [6.2.2a] o [6.2.2b]

$$E_d = E \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.2a]$$

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.2b]$$

e R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico definito dalla relazione [6.2.3].

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.3]$$

essendo E_d il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione.

Effetto delle azioni e resistenza di progetto sono espresse nelle [6.2.2a] e [6.2.3] rispettivamente in funzione delle azioni di progetto $\gamma F F_k$, dei parametri geotecnici di progetto X_k/γ_M e dei parametri geometrici di progetto a_d . Il coefficiente parziale di sicurezza γ_R opera direttamente sulla resistenza del sistema. L'effetto delle azioni di progetto può anche essere valutato direttamente con i valori caratteristici delle azioni come indicato dalla [6.2.2b] con $\gamma_E = \gamma_F$.

la verifica della condizione [6.2.1] deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (*Approccio 1*) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto.

Nel secondo approccio progettuale (**Approccio 2**) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti.

I fattori parziali per il gruppo R1 sono sempre unitari; quelli del gruppo R2 possono essere maggiori o uguali all'unità e, in assenza di indicazioni specifiche per lo stato limite ultimo considerato, devono essere scelti dal progettista in relazione alle incertezze connesse con i procedimenti adottati.

Azioni

I coefficienti parziali γ_F relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I. Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Resistenze

Il valore di progetto della resistenza R_d può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Nelle verifiche di sicurezza per le **FONDAZIONI SUPERFICIALI** devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica anche con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite, accertando che la condizione [6.2.1] sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- collasso per scorrimento sul piano di posa;
- stabilità globale.
- SLU di tipo strutturale (STR)
- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la **combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2**, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale (STR), il coefficiente γ_R non deve essere portato in conto.

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

L'analisi della capacità portante del terreno, ossia la verifica agli SLU di collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno, è stata effettuata con l'ausilio di specifico programma di calcolo "Loadcap" (con licenza concessa da "Geostru S.r.l.").

Il calcolo è stato effettuato con il metodo di **Brinch-Hansen**, ritenuto il più idoneo per il caso in esame:

$$Q_{lim} = 1/2 * B * \gamma * N_{\gamma} * s_{\gamma} * i_{\gamma} * b_{\gamma} * g_{\gamma} * z_{\gamma} + c * N_c * s_c * i_c * b_c * g_c * d_c * z_c + q * N_q * s_q * i_q * b_q * g_q * d_q * z_q$$

dove :

- N_c N_q = Fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio;
 s_{γ} s_c s_q s_{γ} = Fattori di forma della fondazione;
 i_c i_q i_{γ} = Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;

- $bc\ bq\ by$ = Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base;
 $gc\ gq\ gy$ = Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del p. c.;
 $zc\ zq\ zy$ = Fattori correttivi che tengono dell'inerzia dovuta al sisma (solo per condizioni dinamiche)
 $Dc\ dq$ = Fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa;
 γ = Peso specifico del terreno sotto il piano di fondazione;
 q = Carico litostatico presente sopra il piano di fondazione (proporzionale all'altezza del confinamento laterale);
 Q_{lim} = Capacità portante determinata allo stato limite ultimo

Di seguito vengono riassunti i risultati ottenuti in riferimento alle diverse configurazioni fondazionali considerate ed **utilizzando l'Approccio 2**, come indicato dalla normativa, allo scopo di dare utili indicazioni allo strutturista.

Nelle tabelle seguenti si riportano i valori calcolati delle Resistenze (R_d), depurate del fattore di sicurezza a partire dai valori di Q_{lim} , per le seguenti ipotesi di fondazione:

- **PLATEA** aventi dimensioni di 5 m X 1,2 m impostate ad una profondità $\geq 1,0$ m dal p.c., all'interno dell'orizzonte sabbioso- limoso con poca ghiaia (orizzonte B).

PLATEA

Profondità di imposta: $\geq 1,0$ m dallo 0 RIF. nell'orizzonte B
 Dimensioni fondazione: 5 m x 1,2 m

CONDIZIONI STATICHE

APPROCCIO	Combinazione	Q_{lim} (Kg/cm ²)	γ_R	R_d (Kg/cm ²)	Cedimento(cm) ($Q_{SLE} = 0,8$ Kg/cm ²)
2	1 (A1+M1+R3)	2,76	2,3	1,2	1,6

CONDIZIONI SISMICHE

APPROCCIO	Combinazione	Q_{lim} (Kg/cm ²)	γ_R	R_d (Kg/cm ²)
2	1 (A1+M1+R3)	2,30	2,3	1,0

coefficiente di sottofondazione K Winkler: 2,0 Kg/cm³

*i parametri di resistenza sono stati calcolati applicando i fattori correttivi previsti dal metodo Richards et al. (1993).

CALCOLO DEI CEDIMENTI

Nel dimensionamento delle fondazioni è necessario tener conto non solo della resistenza al taglio dei terreni, ma anche dei cedimenti indotti dal carico applicato.

Tali cedimenti dovranno essere ovviamente inferiori ad un valore critico che, se superato, potrebbe generare inconvenienti nella struttura.

E' stata pertanto eseguita una verifica dei cedimenti indotti nel terreno di fondazione nella combinazione di carico massimo di esercizio ipotizzato in precedenza come Q_{SLE} (0,8 kg/cm²).

Per il calcolo dei cedimenti è stato adottato il metodo dei cedimenti elastici:

I cedimenti di una fondazione rettangolare di dimensioni $B \times L$ posta sulla superficie di un semispazio elastico si possono calcolare in base ad una equazione basata sulla teoria dell'elasticità (Timoshenko e Goodier (1951):

$$\Delta H = q_0 B' \frac{1 - \mu^2}{E_s} \left(I_1 + \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} I_2 \right) I_F \quad (1)$$

dove:

q_0 Intensità della pressione di contatto

B' Minima dimensione dell'area reagente,

E e μ Parametri elastici del terreno.

I_i Coefficienti di influenza dipendenti da: L/B' , spessore dello strato H , coefficiente di Poisson μ , profondità del piano di posa D ;

I coefficienti I_1 e I_2 si possono calcolare utilizzando le equazioni fornite da *Steinbrenner (1934)* (V. Bowles), in funzione del rapporto L/B' ed H/B , utilizzando $B'=B/2$ e $L'=L/2$ per i coefficienti relativi al centro e $B'=B$ e $L'=L$ per i coefficienti relativi al bordo.

Il coefficiente di influenza I_F deriva dalle equazioni di *Fox (1948)*, che indicano il cedimento si riduce con la profondità in funzione del coefficiente di *Poisson* e del rapporto L/B .

In modo da semplificare l'equazione (1) si introduce il coefficiente I_S :

$$I_S = I_1 + \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} I_2$$

Il cedimento dello strato di spessore H vale:

$$\Delta H = q_0 B' \frac{1 - \mu^2}{E_s} I_S I_F$$

Per meglio approssimare i cedimenti si suddivide la base di appoggio in modo che il punto si trovi in corrispondenza di uno spigolo esterno comune a più rettangoli. In pratica si moltiplica per un fattore pari a 4 per il calcolo dei cedimenti al centro e per un fattore pari a 1 per i cedimenti al bordo.

Nel calcolo dei cedimenti si considera una profondità del bulbo delle tensioni pari a $5B$, se il substrato roccioso si trova ad una profondità maggiore.

A tal proposito viene considerato substrato roccioso lo strato che ha un valore di E pari a 10 volte dello strato soprastante.

Il modulo elastico per terreni stratificati viene calcolato come media pesata dei moduli elastici degli strati interessati dal cedimento immediato.

Nella tabella sopraindicata sono stati riassunti i cedimenti indotti dalla PLATEA impostata alla profondità $\geq 1,0$ m dallo 0 RIF. che esercita una sovraccarico pari alla Pressione di Lavoro massima stabilita in precedenza (Q_{SLE}).

Come si può notare i cedimenti sono compatibili con la struttura di progetto.

SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Ai sensi della Legge 64/74, del D.M. 19/6/1984 e dell'attuale D.M. 17/01/2018, in aree classificate sismiche deve essere valutata la possibilità che insorgano fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione in seguito alle vibrazioni prodotte dalle scosse telluriche.

I fenomeni di liquefazione possono verificarsi in particolari condizioni, come quelle indotte da un sisma di Magnitudo superiore a 6, in terreni a granulometria fine (sabbioso-limosi), allo stato sciolto o poco addensato, in falda oppure interessati dalla oscillazione della falda stessa.

Al paragrafo 7.11.3.4 del DM 17.01.2018 è ribadito che tali analisi possono essere omesse 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 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} 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 Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

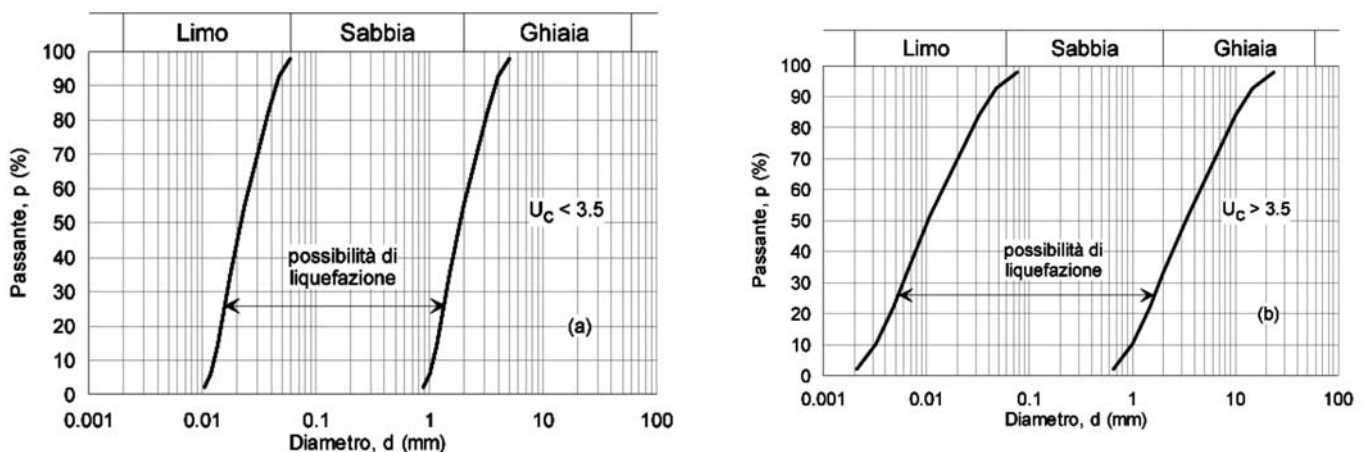


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

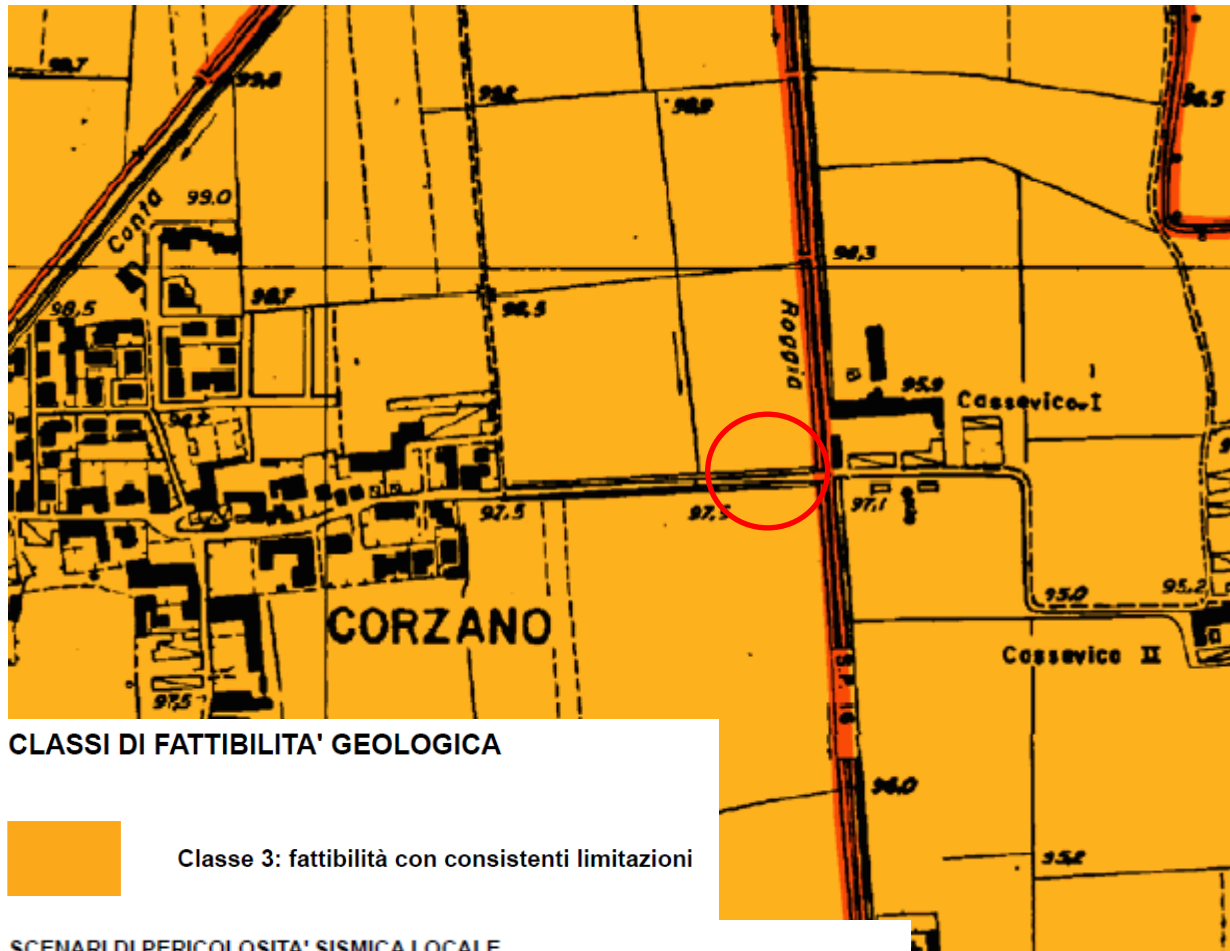
Nel nostro caso è verificata la n.4, quindi l'analisi della liquefazione può essere omessa.

Il terreno di fondazione dell'area in oggetto, si presenta infatti, come dimostrano le risultanze dell'indagine eseguita, costituito da litologie sabbioso limose con presenza di ghiaia e saturi a partire da circa 2,5 m dal p.c.

Essendo le fondazioni di progetto impostate nella litozona asciutta, la presenza della componente grossolana ghiaiosa, esclude quindi l'ipotesi che si possano verificare incipienti fenomeni di liquefazione dei terreni oggetto di indagine.

VERIFICA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA AI SENSI DELLA D.G.R. 2616/2011

LA CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA allegata al PGT, redatta ai sensi della L.R. 12/05 (vedi stralcio sotto allegato), attribuisce all'area in esame una CLASSE DI FATTIBILITÀ 3 "fattibilità con consistenti limitazioni": aree a grado medio-elevato/elevato di vulnerabilità idrogeologica, nonché da una bassa (o molto bassa) soggiacenza della falda freatica.



Considerati i risultati ottenuti nel corso della presente indagine redatti in prospettiva sismica, non vi sono particolari prescrizioni nell'attuazione delle future strutture di progetto.

Da un punto di vista del rischio idraulico ed idrogeologico locale non si rilevano particolari fattori limitativi o di rischio.

Ai sensi della D.G.R. 2616/2011, si ritiene pertanto fattibile da un punto di vista geologico, idrogeologico e sismico l'intervento prospettato.

CONCLUSIONI

L'indagine eseguita ha permesso di giungere ad una caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni di fondazione i cui risultati sono favorevoli all'intervento di progetto. Dal punto di vista geologico tecnico nulla osta alla all'esecuzione dei lavori, purché siano rispettate le prescrizioni riportate in precedenza e qui riassunte:

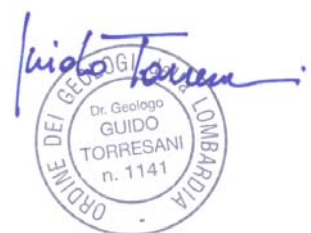
- **Si tenga presente che la superficie scelta come quota 0 di RIFERIMENTO per tutte le quote indicate nella relazione è il PIANO MARCIAPIEDE di Via Garibaldi che coincide con il piano campagna su cui sono state eseguite le indagini.**
- **Falda rilevata in corrispondenza delle prove penetrometriche eseguite ad una profondità di circa -4,0 m dal p.c. Tale valore piezometrico può subire tuttavia delle oscillazioni verticali; in particolare durante i mesi autunnali tale valore può raggiungere i -2,5 m dal p.c. (valore di massima risalita della falda attualmente noto).**
- **Categoria sismica di suolo: tipo "C".**
- Fondazione verificata:
 - PLATEA aventi dimensioni di 5 m X 1,2 m impostate ad una profondità di $\geq 1,0$ m dal p.c., all'interno dell'orizzonte sabbioso- limoso con poca ghiaia (orizzonte B). Tale tipologia di opera è riferita al manufatto in calcestruzzo carrabile utilizzato come attraversamento stradale intubato della Roggia ivi presente.
- **Per l'imposta del sottofondo stradale è possibile utilizzare come quota di fondo scavo la profondità di -0,7 m dallo 0 RIF accertandosi di costipare adeguatamente, mediante la ricostruzione del sottofondo stradale, il substrato portante.**
- In merito ai valori di resistenza del terreno si veda quanto riportato nella tabella di pagina 21.
- cedimenti: accettabili i secondari.
- coefficiente di sottofondazione K Winkler: $2,0 \text{ Kg/cm}^3$

Spetta alla Direzione Lavori verificare che il piano di posa delle fondazioni sia solido e non costituito da materiale alterato.

Si rimane infine a disposizione per ulteriori ed eventuali chiarimenti, qualora in fase di esecuzione dei lavori si presentasse una situazione diversa da quella prospettata.

Orzinuovi, 25/07/2018

Geol. Guido Torresani



AII.1 – INQUADRAMENTO COROGRAFICO su base CTR
Scala 1: 10.000



localizzazione dell'area oggetto dell'indagine geologico-tecnica

**ALL. 2 – PLANIMETRIA DELL'INTERVENTO CON UBICAZIONE
DELLE INDAGINI ESEGUITE**



P1 Prove penetrometriche



T1 Trincea esplorativa



Prova MASW

TABELLE E DIAGRAMMI DI INTERPRETAZIONE DEI DATI PENETROMETRICI

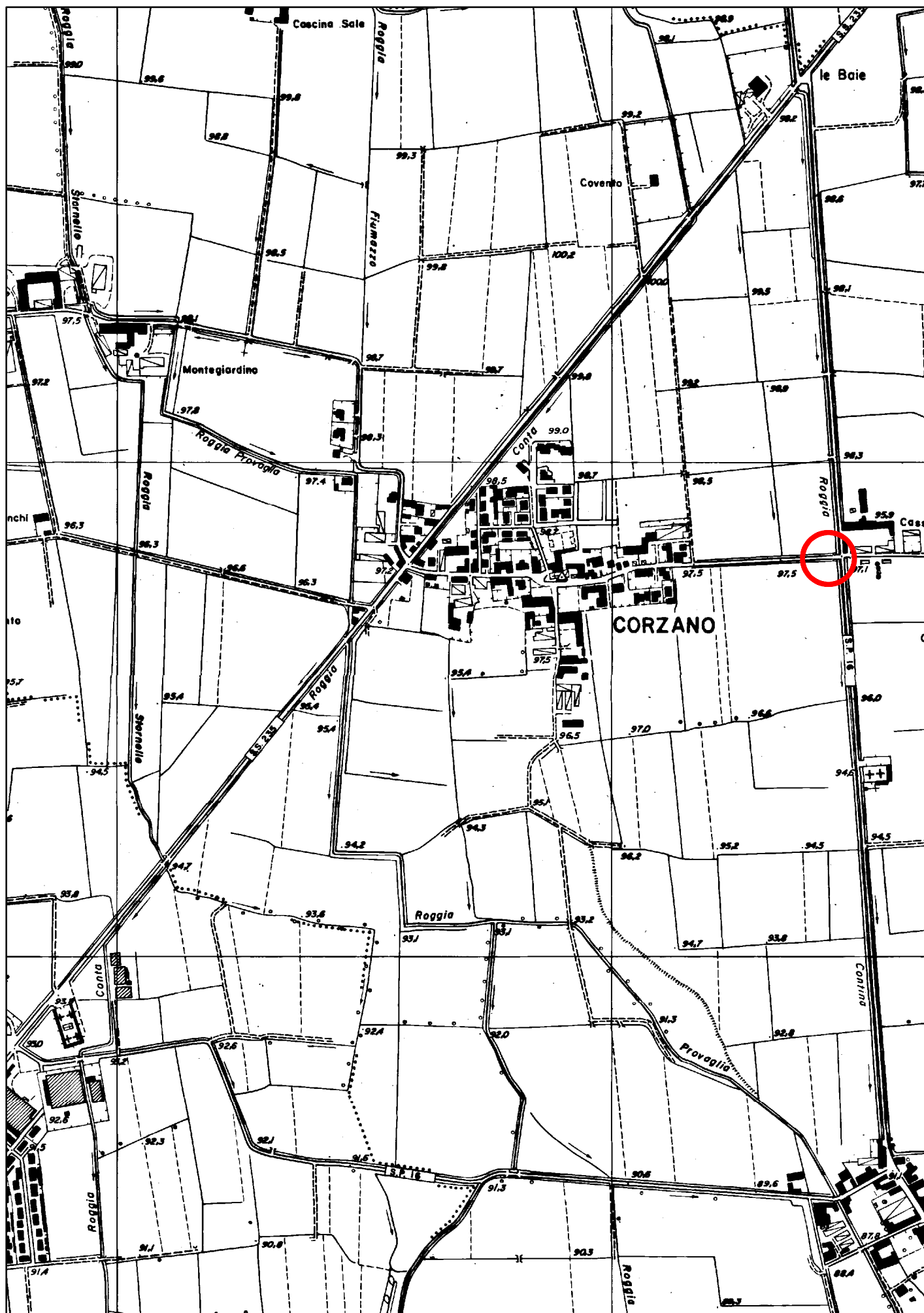
TABELLE PARAMETRI GEOTECNICI

STRATIGRAFIE TRINCEE ESPLORATIVA T1, T2 CON RELATIVA
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

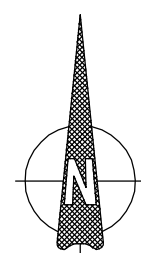
RISULTATI PROVA MASW

ASSEVERAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA – MODULO 9

ASSEVERAZIONE RELAZIONE GEOTECNICA – MODULO 10



INQUADRAMENTO CTR - SCALA 1:10.000 - FOGLIO C6E3 - CORZANO (BS)



P1



P4



P5



P2



P3

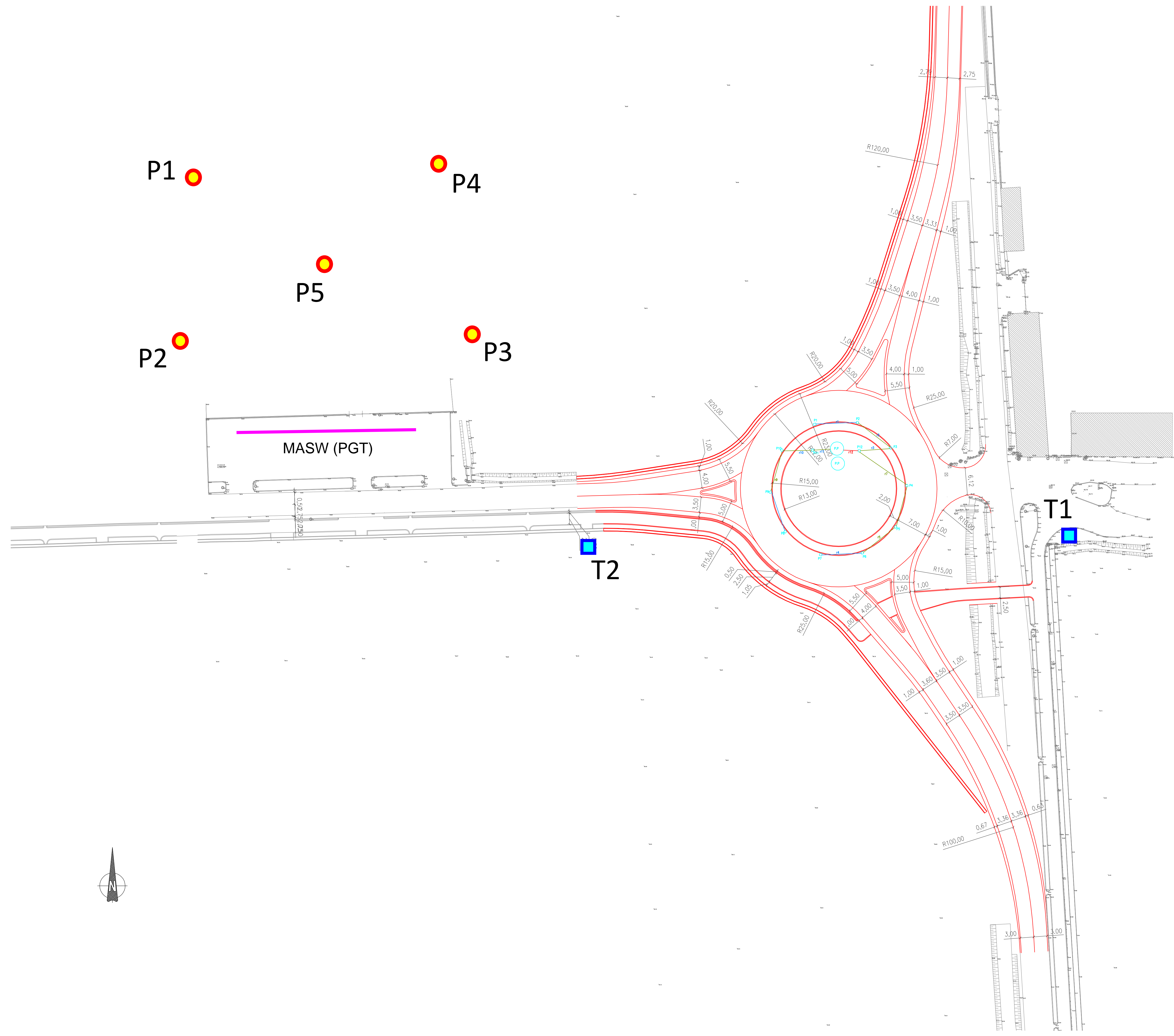


MASW (PGT)

T2



T1




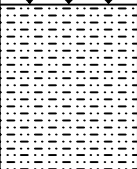
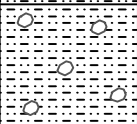
Committente: Comune di Corzano

A photograph of a soil profile. A yellow measuring tape is placed vertically on the left side of the soil face for scale. The soil is dark brown and appears to be a loam or clay loam. There are visible roots extending from the surface into the soil. The soil surface is uneven, with some areas of erosion and some areas of accumulation. The background shows some green grass and other vegetation.

Trincea esplorativa T2 - stratigrafia

Località: Corzano (BS) - Via Garibaldi

Committente: Comune di Corzano

Scala	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione
0,3	0,30		Terreno vegetale
0,6			Sabbia limosa
0,9	1,00		Sabbia limosa con poca ghiaia
1,2			
1,5	1,50		
1,8			





UBICAZIONE TRINCEA ESPLORATIVA T1



UBICAZIONE TRINCEA ESPLORATIVA T2

Geol. Guido Torresani

Via Roma, 4-25034 Orzinuovi (BS)-tel. 030944193

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

Altezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 1

Tabulato della prova

Profondità (m)	Rp(kg/cm ²)	Rp+Rl (kg/cm ²)	qc(kg/cm ²)	fs(kg/cm ²)	u(kg/cm ²)	qc/fs
0,2	10	15	10	0,4		25
0,4	11	17	11	0,67		16,42
0,6	16	26	16	1,13		14,16
0,8	18	35	18	1,47		12,24
1	28	50	28	1,73		16,18
1,2	34	60	34	1,6		21,25
1,4	40	64	40	2,07		19,32
1,6	37	68	37	1,53		24,18
1,8	75	98	75	1,07		70,09
2	79	95	79	0,8		98,75
2,2	62	74	62	2,27		27,31
2,4	69	103	69	1		69
2,6	60	75	60	0,6		100
2,8	99	108	99	0,87		113,79
3	95	108	95	3		31,67
3,2	50	95	50	2,13		23,47
3,4	131	163	131	1,4		93,57
3,6	107	128	107	8,07		13,26
3,8	177	298	177	0,87		203,45
4	191	204	191	4,07		46,93
4,2	175	236	175	8,87		19,73
4,4	118	251	118	8,87		13,3

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

Attrezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 2

Tabulato della prova

Profondità (m)	Rp(kg/cm ^q)	Rp+Rl (kg/cm ^q)	qc(kg/cm ^q)	fs(kg/cm ^q)	u(kg/cm ^q)	qc/fs
0,2	18	22	18	0,4		45
0,4	20	26	20	0,93		21,51
0,6	10	24	10	1,47		6,8
0,8	76	98	76	1,13		67,26
1	77	94	77	3,2		24,06
1,2	140	188	140	3,4		41,18
1,4	213	264	213	2,53		84,19
1,6	195	233	195	4,4		44,32
1,8	128	194	128	8,87		14,43
2	144	277	144	2,13		67,61
2,2	134	166	134	1,8		74,44
2,4	165	192	165	1,8		91,67

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

Attrezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 3

Tabulato della prova

Profondità (m)	Rp(kg/cm ²)	Rp+RI (kg/cm ²)	qc(kg/cm ²)	fs(kg/cm ²)	u(kg/cm ²)	qc/fs
0,2	16	21	16	0,33		48,48
0,4	20	25	20	1,33		15,04
0,6	12	32	12	0,67		17,91
0,8	13	23	13	0,8		16,25
1	76	88	76	2,2		34,55
1,2	37	70	37	0,8		46,25
1,4	26	38	26	1,4		18,57
1,6	39	60	39	0,67		58,21
1,8	31	41	31	0,53		58,49
2	19	27	19	1,4		13,57
2,2	23	44	23	0,53		43,4
2,4	51	59	51	0,47		108,51
2,6	65	72	65	1,73		37,57
2,8	90	116	90	1,87		48,13
3	210	238	210	2,67		78,65
3,2	121	161	121	2,47		48,99
3,4	140	177	140	1,4		100
3,6	133	154	133	2,47		53,85
3,8	201	238	201	3,93		51,15
4	155	214	155	5,53		28,03
4,2	219	302	219	5,53		39,6

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

Attrezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 4

Tabulato della prova

Profondità (m)	Rp(kg/cm ^q)	Rp+Rl (kg/cm ^q)	qc(kg/cm ^q)	fs(kg/cm ^q)	u(kg/cm ^q)	qc/fs
0,2	15	22	15	0,53		28,3
0,4	19	27	19	0,67		28,36
0,6	16	26	16	0,33		48,48
0,8	16	21	16	1,13		14,16
1	40	57	40	0,33		121,21
1,2	37	42	37	0,73		50,68
1,4	31	42	31	2,67		11,61
1,6	80	120	80	1		80
1,8	145	160	145	2,73		53,11
2	167	208	167	2,53		66,01
2,2	171	209	171	3,27		52,29
2,4	209	258	209	3,67		56,95
2,6	86	141	86	2,67		32,21
2,8	85	125	85	1,53		55,56
3	91	114	91	2		45,5
3,2	122	152	122	4,67		26,12
3,4	170	240	170	2,67		63,67
3,6	137	177	137	2,8		48,93
3,8	166	208	166	2,8		59,29
4	199	241	199	2,6		76,54
4,2	227	266	227	2,6		87,31

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

Attrezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 5

Tabulato della prova

Profondità (m)	Rp(kg/cm ²)	Rp+Rl (kg/cm ²)	qc(kg/cm ²)	fs(kg/cm ²)	u(kg/cm ²)	qc/fs
0,2	15	25	15	0,73		20,55
0,4	16	27	16	0,73		21,92
0,6	12	23	12	0,67		17,91
0,8	14	24	14	1,53		9,15
1	25	48	25	1,27		19,69
1,2	56	75	56	0,73		76,71
1,4	56	67	56	2,6		21,54
1,6	40	79	40	1,47		27,21
1,8	45	67	45	3,47		12,97
2	44	96	44	3,47		12,68
2,2	44	96	44	0,6		73,33
2,4	31	40	31	1,27		24,41
2,6	20	39	20	0,8		25
2,8	43	55	43	0,87		49,43
3	88	101	88	1,8		48,89
3,2	44	71	44	2		22
3,4	56	86	56	1,73		32,37
3,6	64	90	64	3		21,33
3,8	280	325	280	3,27		85,63
4	259	308	259	3,27		79,2

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

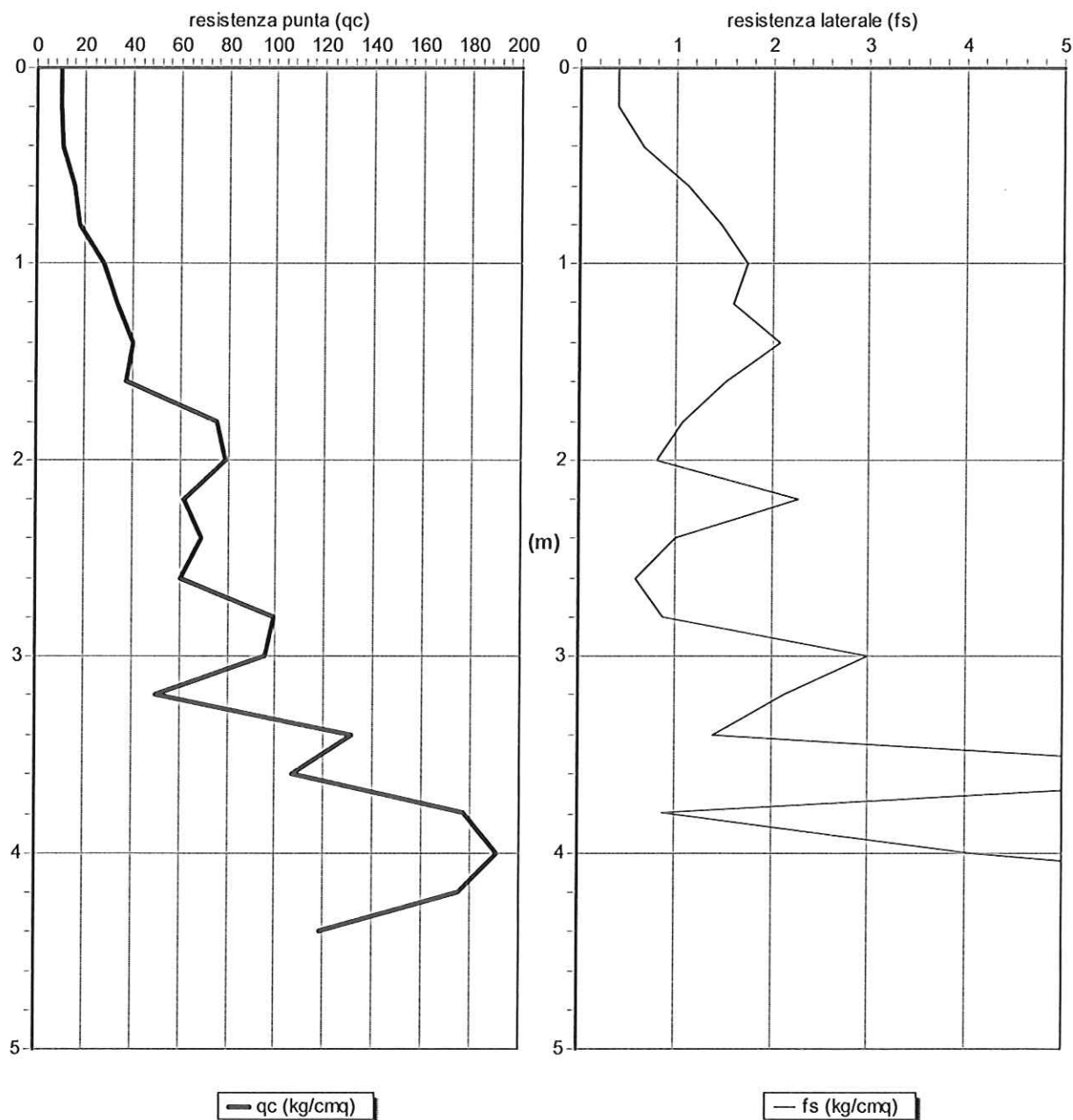
Attrezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 1

Grafico della prova



Profondità della falda dal p.c.(m): 4

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

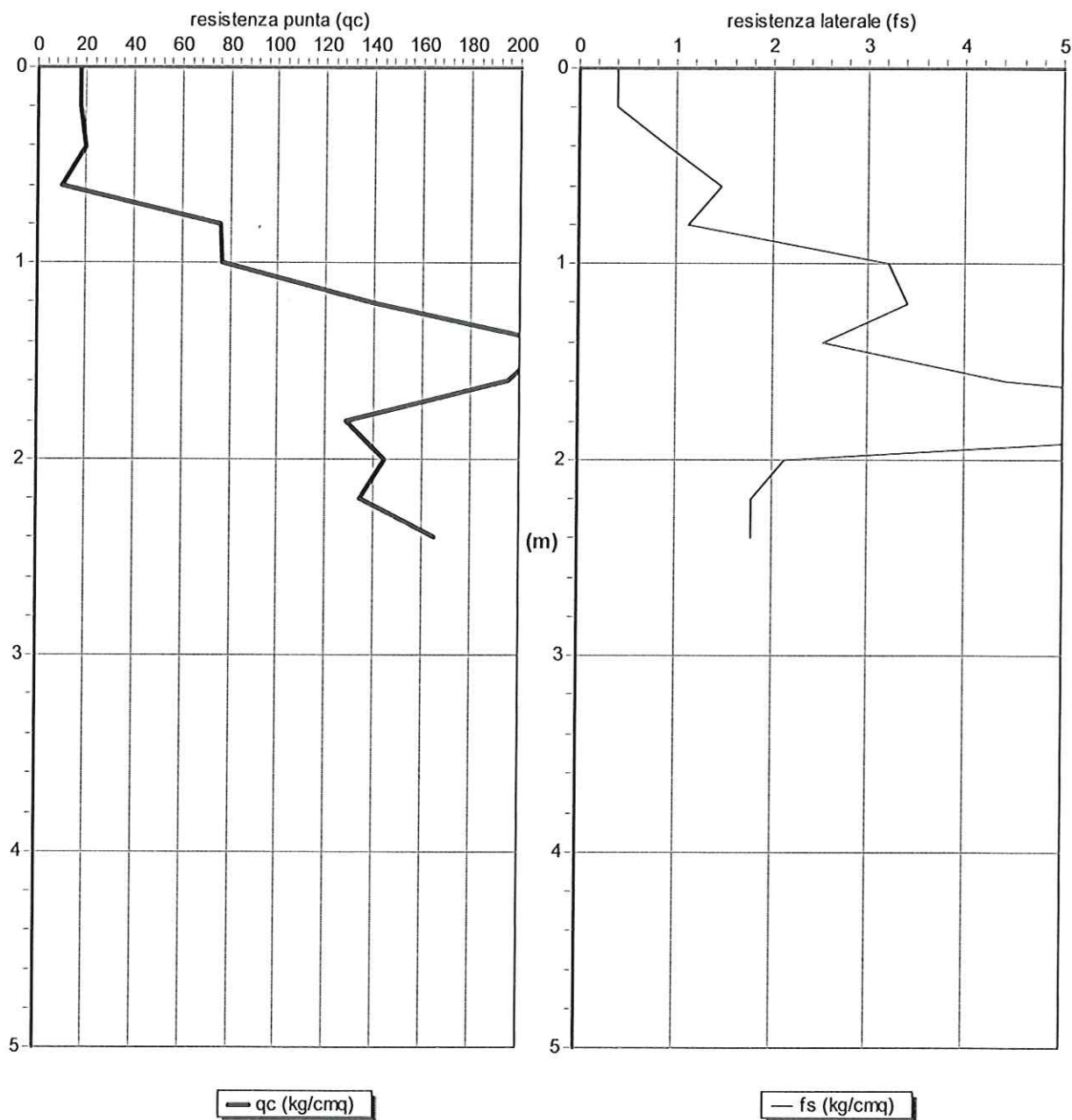
Attrezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 2

Grafico della prova



Profondità della falda dal p.c.(m): 4,0

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

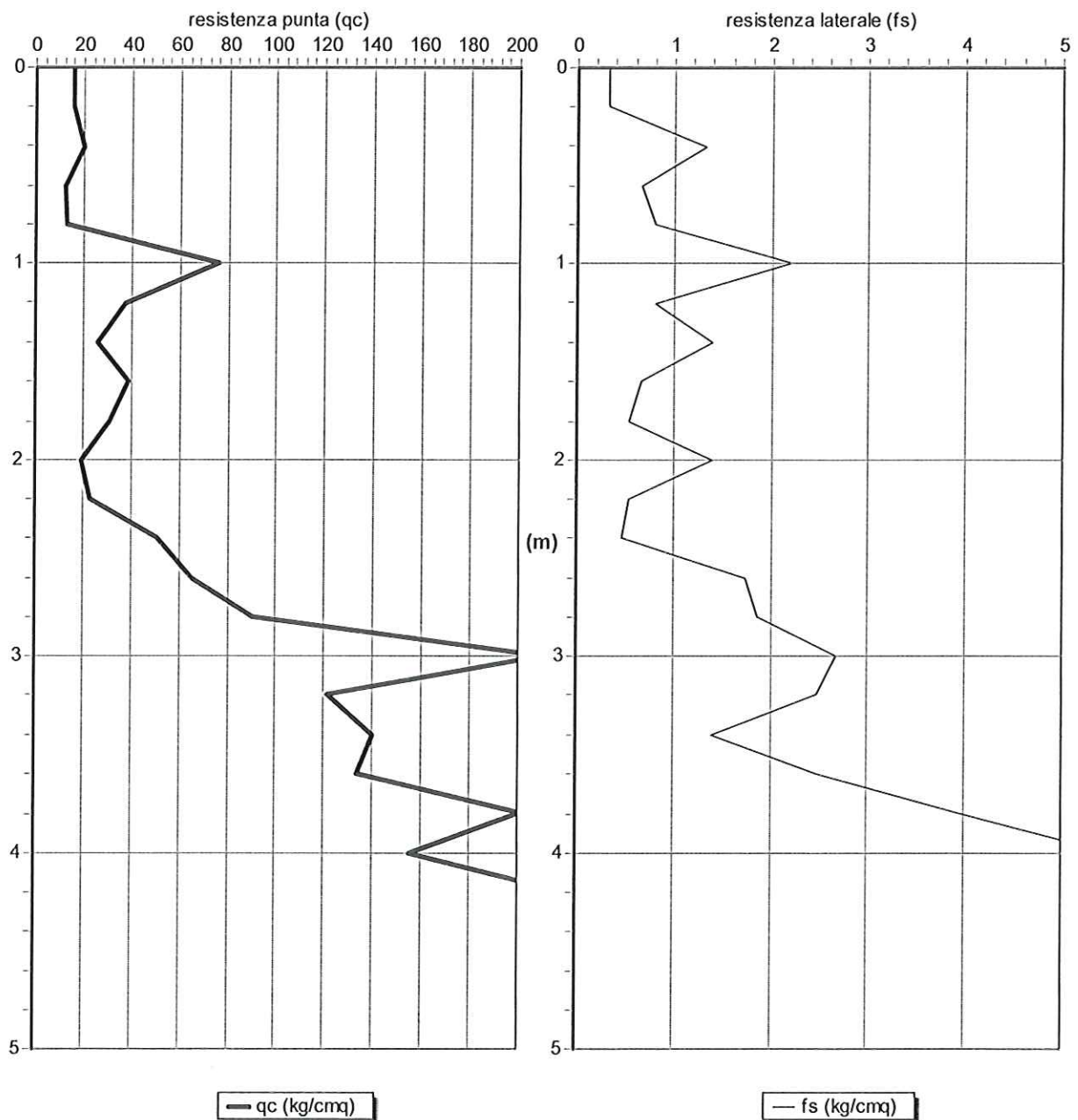
Attrezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 3

Grafico della prova



Profondità della falda dal p.c.(m): 4

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

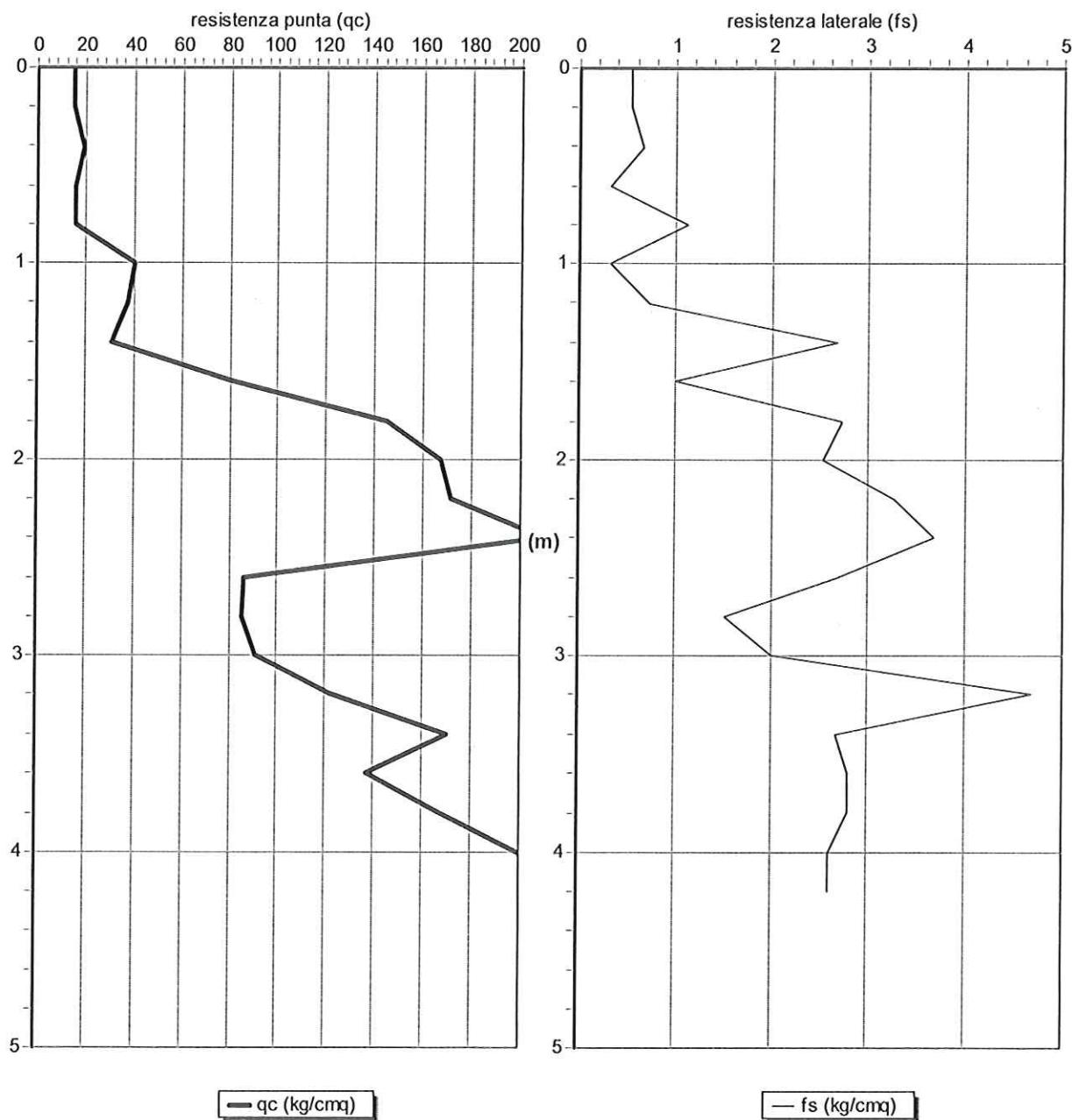
Attrezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 4

Grafico della prova



Profondità della falda dal p.c.(m): 4

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

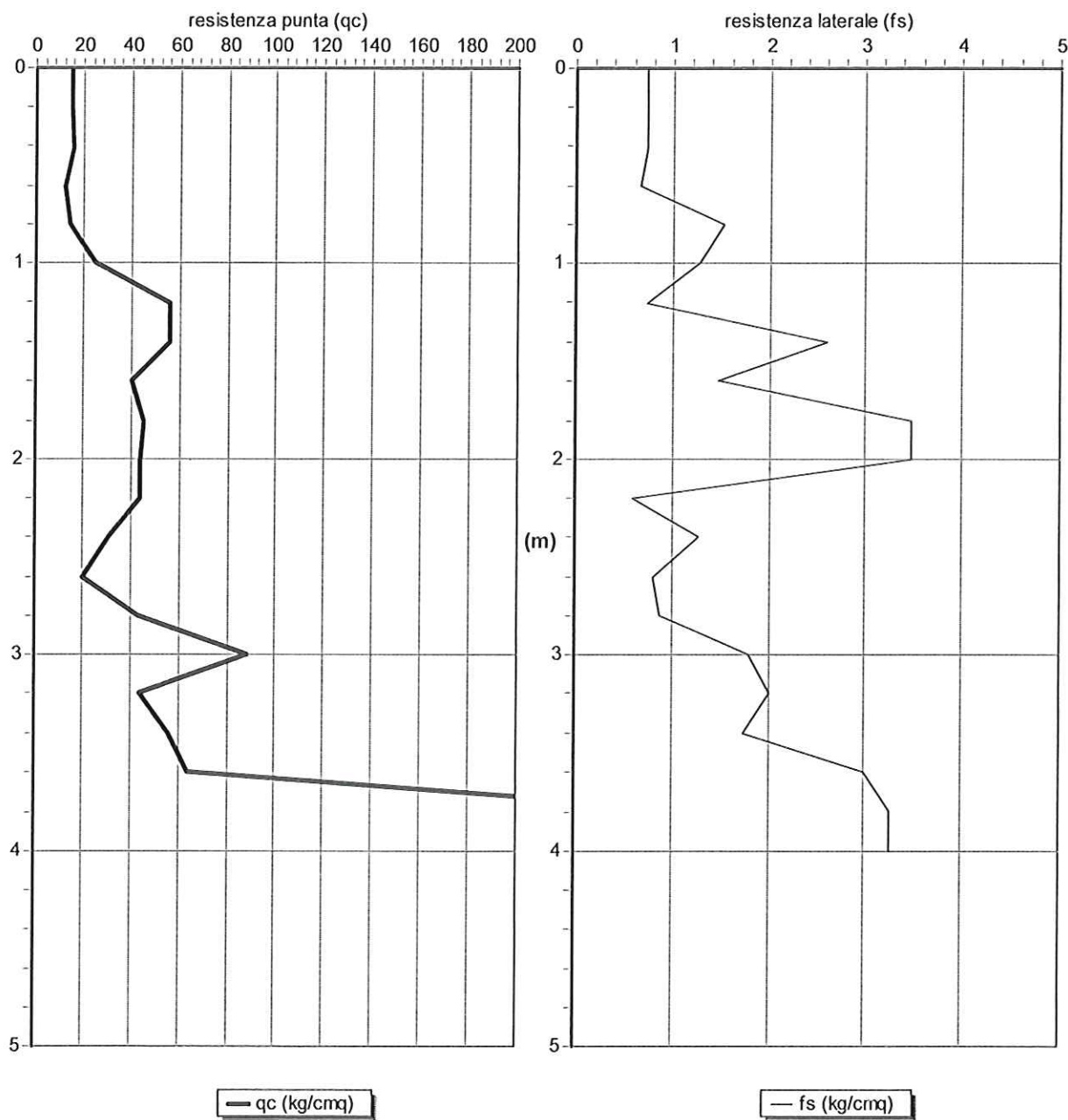
Attrezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 5

Grafico della prova



Profondità della falda dal p.c.(m): 4

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

Attrezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 1

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	qc (kg/cmq)	Descrizione litologica dello strato	Cc	Angolo d'attrito(*)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres. eff. a metà strato (kg/cmq)
1	17	limo		26	1,75	70	43				158	57	0,09
1,6	37	sabbia e ghiaietto		29	1,8	73	93				254	62	0,23
3,2	74	sabbia e ghiaia		32	1,8	82	185				388	73	0,43
4,4	150	sabbia e ghiaia costipata		35	1,8	85	375				598	81	0,68

Profondità della falda (m): 4

Geol. Guido Torresani

Via Roma, 4-25034 Orzinuovi (BS)-tel. 030944193

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

Attrezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 2

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	qc (kg/cm ²)	Descrizione litologica dello strato	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Modulo edom. coesivi (kg/cm ²)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cm ²)	Modulo edom. incoerenti (kg/cm ²)	Pres.eff. a metà strato (kg/cm ²)
1	40	sabbia		30	1,8	85	100				267	70	0,09
2,4	160	sabbia e ghiaia costipata		36	1,8	85	400				622	77	0,31

Profondità della falda (m): 4,0

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

Attrezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 3

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	qc (kg/cm ²)	Descrizione litologica dello strato	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/m ³)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Modulo edom. coesivi (kg/cm ²)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cm ²)	Modulo edom. incoerenti (kg/cm ²)	Pres. eff. a metà strato (kg/cm ²)
0,8	15	limo sabbioso		25	1,7	71	38				146	58	0,07
2,2	36	sabbia e ghiaia		29	1,8	69	90				250	59	0,26
4,2	138	sabbia e ghiaia costipata		35	1,8	85	345				568	79	0,57

Profondità della falda (m): 4

Geol. Guido Torresani

Via Roma, 4-25034 Orzinuovi (BS)-tel. 030944193

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

Attrezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 4

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	qc (kg/cm ²)	Descrizione litologica dello strato	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/m ³)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Modulo edom. coesivi (kg/cm ²)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cm ²)	Modulo edom. incoerenti (kg/cm ²)	Pres. eff. a metà strato (kg/cm ²)
1,4	25	sabbia limosa		27	1,8	74	63				200	61	0,13
2,4	154	sabbia e ghiaia costipata		36	1,8	85	385				608	77	0,34
4,2	143	sabbia e ghiaia		35	1,8	85	358				581	79	0,59

Profondità della falda (m): 4

Geol. Guido Torresani

Via Roma, 4-25034 Orzinuovi (BS)-tel. 030944193

Committente: Comune di Corzano

Località: nuova scuola materna

Data: giugno 2008

Attrezzatura: penetr. statico

Note:

Quota(m):97,5

Prova 5

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	qc (kg/cm ²)	Descrizione litologica dello strato	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/m ³)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Modulo edom. coesivi (kg/cm ²)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cm ²)	Modulo edom. incoerenti (kg/cm ²)	Pres. eff. a metà strato (kg/cm ²)
1	16	limo sabbioso		25	1,7	68	40				152	56	0,09
2,8	42	sabbia		30	1,8	69	105				275	60	0,33
3,6	63	sabbia e ghiaia		32	1,8	70	158				352	64	0,57
4	270	sabbia e ghiaia costipata		38	1,8	85	675				856	85	0,67

Profondità della falda (m): 4

TECNOGEOFISICA S.n.c.

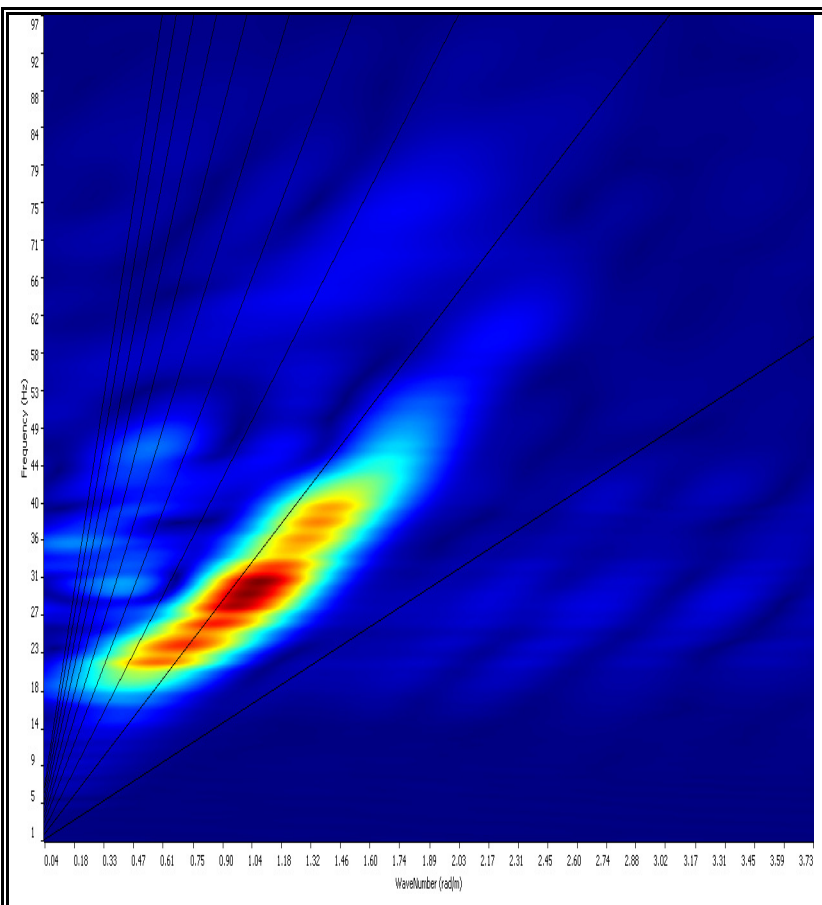
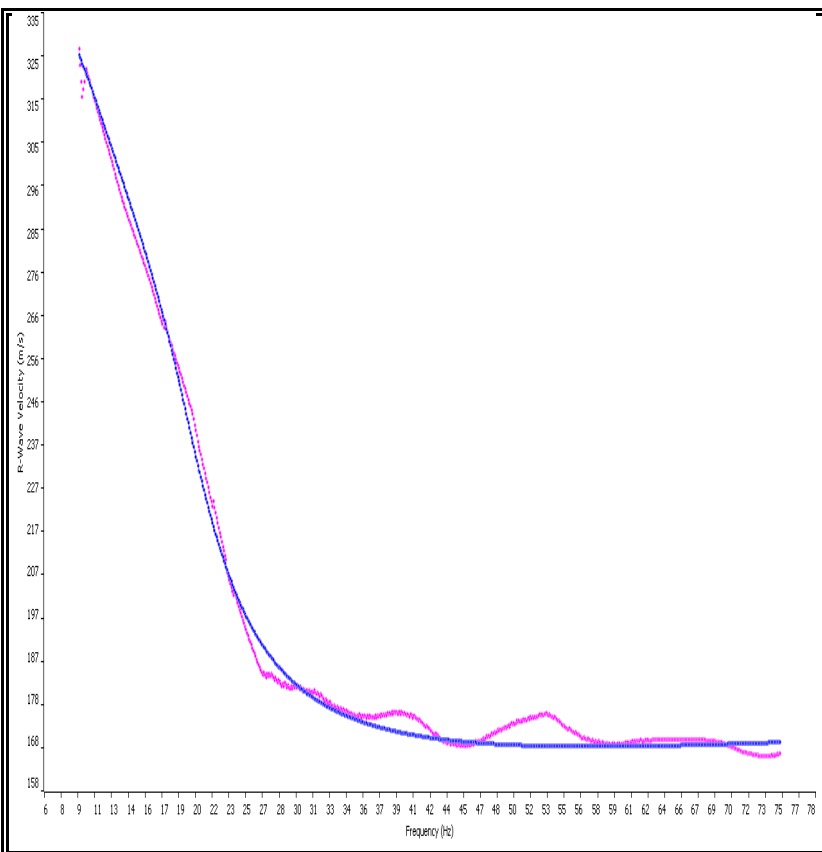
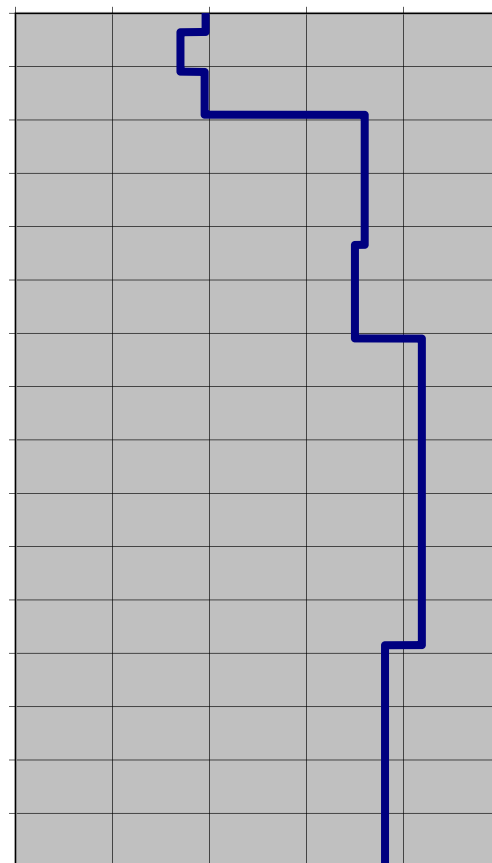
Via Malta 2, 41012 CARPI (MO)

tel. 059/693491 fax. 059/642606

E-mail info@tecnogeofisica.com

Prospezione Sismica di Superficie**Definizione Azione Sismica di Progetto**

(in ottemperanza D.M. 14/01/2008)

Metodologia MASW**COMMITTENTE:****Amministrazione Comunale****Corzano (BS)****Dir. Lavori:** Geol. Mattia Lucchi**Nome File:** MW_Corzano**Località:** Corzano (BS)**Data:** Aprile 2011**Strumentazione:** PASI SG 24**Cantiere:** Scuola dell'infanzia**Spettro Ampiezza/Frequenza****Sovrapposizione Curva teorica / Curva di calcolo****Profilo velocità/profondità**

	Profondità		Spessore	Vel. Media
	da	a	m	m/sec
Strato1	0,00	0,70	0,70	196
Strato2	0,70	2,19	1,49	170
Strato3	2,19	3,80	1,61	195
Strato4	3,80	8,68	4,88	360
Strato5	8,68	12,19	3,51	350
Strato6	12,19	23,69	11,50	419
Strato7	23,69	30,00	6,31	381

Vs₃₀ = 340 m/sec**Caratteristiche**

N° geofoni a 4,5Hz	24
Spaziatura geofoni	1 m
Lunghezza base	23 m
Energizzazione	15 m