

Comune di Fiorano Modenese

Provincia di Modena

INTEGRAZIONE SISMICA

alla relazione Rif.79/12, concernente studi di microzonazione sismica con approfondimento di terzo livello (svolti in conformità delle norme D.M. 14/01/08 NNTC e D.a.I. n° 112/2007, per un'area sita in Comune di Fiorano Modenese, nella quale verrà realizzato un impianto di distribuzione carburanti.



OGGETTO:

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA (TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO)

in riferimento all'area, nella quale verrà realizzato un impianto di distribuzione carburanti, sita tra Via Statale e Via S.Giovanni Evangelista, in località Spezzano, Comune di Fiorano Modenese



Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

**Settembre 2013
Rif. 578/13**



GEO GROUP s.r.l. P.IVA 02981500362
Sede Legale: Via C. Costa, 182 - 41123 Modena
Uffici: Via Per Modena, 12 - 41051 Castelnovo R. (MO)
Tel. 059/3967169 Fax. 059/5332019
info@geogroupmodena.it - www.geogroupmodena.it



RELAZIONE TECNICA

comprendente:

INTEGRAZIONE SISMICA

alla relazione Rif.79/12, concernente studi di microzonazione sismica con approfondimento di terzo livello (svolti in conformità delle norme D.M. 14/01/08 NNTC e D.a.I. n° 112/2007, per un'area sita in Comune di Fiorano Modenese, nella quale verrà realizzato un impianto di distribuzione carburanti.

OGGETTO

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA (TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO)

in riferimento all'area, nella quale verrà realizzato un impianto di distribuzione carburanti, sita tra Via Statale e Via S.Giovanni Evangelista, in località Spezzano, Comune di Fiorano Modenese

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



INDICE DEL CONTENUTO

1. PREMESSE e INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	3
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	4
2.1 GEOLOGIA DEL SITO.....	4
2.2 MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO (P.S.C. COMUNE DI FIORANO MODENESE).....	5
3 CAMPAGNA GEOGNOSTICA	7
3.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	7
3.1.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica cpt	7
3.2 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E LITOSTRATIGRAFICHE DEL SOTTOSUOLO.....	10
3.3 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	11
4. CLASSIFICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO.....	12
4.1 INDAGINI GEOFISICHE	12
4.1.1 Indagine sismica con metodo MASW	12
4.1.2 Indagine sismica passiva secondo la metodologia HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).....	14
4.2 AZIONE SISMICA: STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA CON III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	16
4.2.1 R.S.L. mediante verifica monodimensionale in campo lineare equivalente dell'amplificazione locale	16
5. VERIFICA DELLA SUSCETTIVITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	24
5.1 VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE	24
5.2 STIMA DEI CEDIMENTI POST-SISMICI	28
5.2.1 Cedimenti post-sismici dei terreni coesivi	28
5.2.2 Cedimenti post-sismici dei terreni incoerenti	30
6. CONCLUSIONI	30

TAVOLE

Tav. n. 1: "Carta corografica"	scala 1: 25.000;
Tav. n. 2: "Carta topografica"	scala 1: 10.000;
Tav. n. 3: "Ripresa satellitare dell'area di interesse"	scala grafica;
Tav. n. 4: "Carta geologica"	scala 1: 5.000;
Tav. n. 5: "Indagini geognostiche"	scala 1:1.000;

ALLEGATI

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche CPT corredate di interpretazione geotecnica;
ALL. n. 2 Indagine sismica – tecnica MASW;
ALL. n. 3 Indagine sismica – tecnica HVSR;
ALL. n. 4 Verifica a liquefazione.

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena
 Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
 Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019
 p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



1. PREMESSE e INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Su richiesta dell' ufficio tecnico del Comune di Fiorano Modenese, in accordo con la proprietà e il progettista delle opere, nel mese di Settembre 2013 è stato eseguito il presente studio di microzonazione sismica, nei confronti dell'area, sita tra Via Statale e Via S.Giovanni Evangelista in località Spezzano (Comune di Fiorano Modenese), nella quale verrà realizzato un impianto di distribuzione carburanti.

L'area oggetto di studi è sita nel Viale Gaetano Storchi, nel Comune di Modena (MO), come visibile nella "Carta Corografica" (**Tav. n. 1**) a scala 1:25.000, sezione CTR n. 219_NE, nella "Carta Topografica" (**Tav. n. 2**) a scala 1:10.000, Sezioni CTR n. 219070 "Maranello" e nella "Ripresa fotografica generale dell'area di interesse" (**Tav. n. 3 e Fig. 1.1**) che compaiono in allegato.



Fig. 1.1 – Ripresa orto fotogrammetrica (ORTOFOTO AGEA 2011 – Regione Emilia Romagna / CTR Regione Emilia Romagna ed.2008) dell'area in oggetto. [SISTEMA DI RIFERIMENTO COORDINATE WGS 84]

Il presente studio di microzonazione sismica è stato eseguito in conformità delle norme descritte dal **D.M. 14/01/2008** e dalla **D.a.I. n°112/2007**, nonché nel rispetto delle norme descritte dalla **variante luglio 2013 del P.S.C. del Comune di Fiorano Modenese**.

Le coordinate geografiche relative all'area in oggetto sono le seguenti:

COORDINATE ED50

LATITUDINE	LONGITUDINE
44.531267	10.854202

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1 GEOLOGIA DEL SITO

L'area in oggetto ricade ad est rispetto al centro storico della città di Fiorano Modenese, tra la strada statale e Via S.Giovanni Evangelista, ad una quota topografica media di circa 130 m s.l.m. Dal punto di vista geologico nell'area affiorano i depositi di seguito illustrati e riportati nella "Carta della litologia di superficie" (**tav. n. 4**) a scala 1:5.000, tratta da "Carta geologica - Progetto CARG Regione Emilia Romagna:

SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA DEL MARGINE APPENNINICO PADANO

AES8a – Unità di Modena

Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 m, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).
Post-VI secolo d.C..

AES7b- Unità di Vignola

Ghiaie con matrice limo-sabbiosa, passanti a limi e limi sabbiosi. Deposito fluviale intravallivo. Copertura colluviale limosa e argillosa alla base dei versanti. Al tetto suoli decarbonatati con tracce di illuviazione di argilla e fronte di alterazione tra 1,5 e 2 m, orizzonti superficiali di colore da rosso bruno a bruno scuro. Contatto inferiore in discontinuità su unità più antiche. Potenza di alcuni metri.
Pleistocene superiore–Olocene basale



Fig. 2.1 – Stralcio della cartografia geologica della Regione Emilia Romagna relativa all'area di interesse.

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

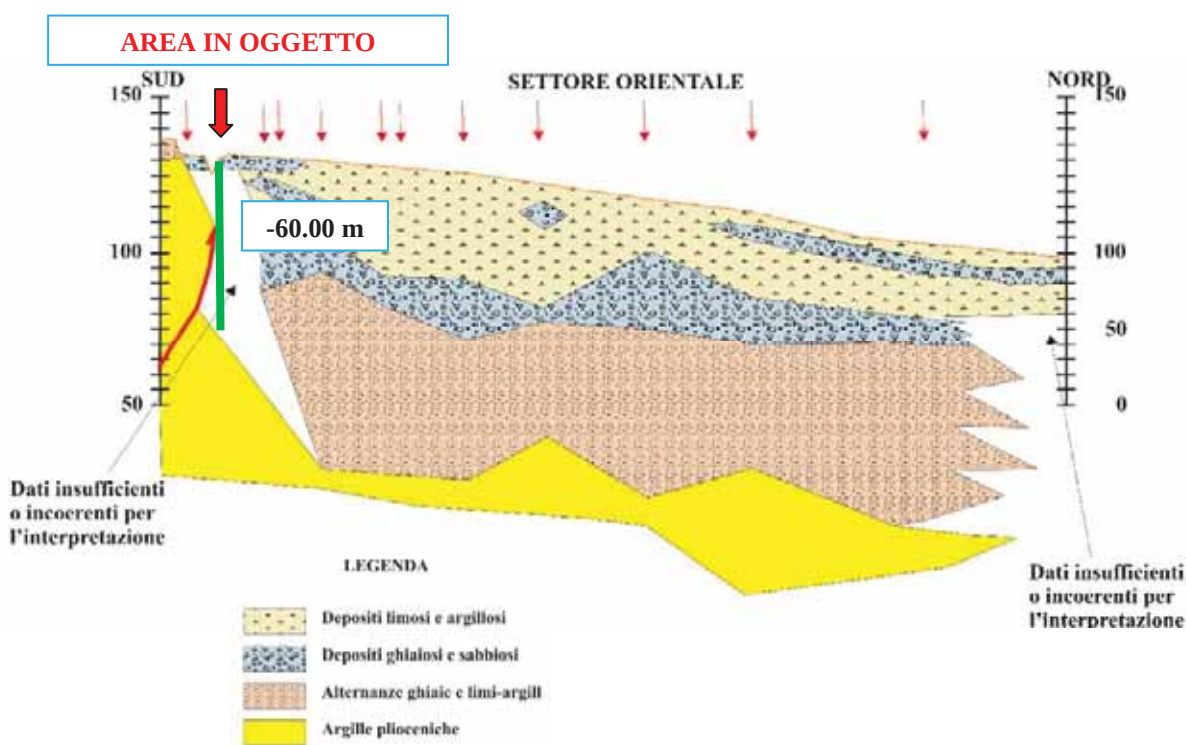
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



2.2 MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO (P.S.C. COMUNE DI FIORANO MODENESE)

Dalla consultazione di stratigrafie di pozzi, ubicati in prossimità dell'area in oggetto, è possibile affermare che la copertura dei depositi quaternari raggiunge uno spessore medio di circa **60 m**. Al disotto dei depositi quaternari si rinviene il substrato pliocenico composto dalla formazione delle **ARGILLE AZZURRE (FAA)**. Tale osservazione è validata dalla sezione litrostratigrafica, relativa alla porzione orientale del comune di Fiorano Modenese, riportata alla **tavola n. 4 "MOPS" (APRILE 2012)** e visibile in **Fig. n. 2.1**, relativa allo studio di microzonazione sismica di secondo livello del P.S.C. del Comune di Fiorano Modense.



Dalla consultazione dei dati bibliografici relativi a stratigrafie di pozzi eseguiti nelle vicinanze dell'area in oggetto e sulla base della sezione litrostratigrafica appena citata, è possibile affermare che il substrato di riferimento è composto dalla formazione delle **ARGILLE AZZURRE (FAA)** e risulta approfondito di circa 60 m da p.c. .



Sempre dalla consultazione della **tavola n. 4 “MOPS” (APRILE 2012)**, relativa allo studio di microzonazione sismica del Comune di Fiorano Modenese, l'area in oggetto è inserita in “Zona 4”: tale areale è caratterizzato dalla presenza di depositi prevalentemente limosi con strati ghiaiosi-sabbiosi. In corrispondenza dell'area in oggetto, secondo quanto esposto dalla cartografia appena citata, è presente una faglia regionale inversa attiva, denominata “Faglia di Sassuolo”



Fig. 2.3 – Stralcio della tavola n.4 “MOPS” (Aprile 2012) P.S.C. Comune di Fiorano Modenese

Dalla consultazione della tavola n.4 “Carta del fattore di amplificazione PGA”, per quanto riguarda l'area in oggetto, non è possibile definire un valore del fattore di amplificazione della PGA poiché il sito in oggetto ricade nell'area di prossima influenza della “Faglia di Sassuolo”.



Fig. 2.4 – Stralcio della tavola n.4 “Carta del fattore di amplificazione PGA” (Aprile 2012)
P.S.C. Comune di Fiorano Modenese

Pertanto, in accordo con le norme relative alla variante 2013 al P.S.C. del Comune di Fiorano, si provvederà, come prescritto, a svolgere la valutazione del fattore di amplificazione della PGA secondo studi di terzo livello di approfondimento.

3 CAMPAGNA GEOGNOSTICA

3.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

In relazione alla litologia presente nell'area e in merito agli studi di microzonazione sismica di III livello, sono state considerate le seguenti indagini geognostiche eseguite in corrispondenza dell'area in oggetto :

- **n°1 indagine sismica in dispersione di onde di superficie (METODOLOGIA MASW), eseguite in data 17/09/2013;**
- **n° 4 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT eseguite in data 29/02/2012;**
- **n° 1 acquisizione sismica passiva a stazione singola elaborata secondo il metodo dei rapporti spettrali (Metodologia HVSR) eseguita in data 29/02/2012;**

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nella **Tavola n. 6**.

L'elaborazione delle prove penetrometriche statiche CPT, corredata di interpretazione litostratigrafica e geotecnica, è riportata in **Allegato n.1**, mentre in **Allegato n. 2 e n.3** sono visibili l'elaborazioni delle indagini geofisiche.

3.1.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica cpt

Sono state eseguite, in data 29/02/2012, n.4 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (**CPT**), spinte sino alla profondità variabile da -7.20 m (CPT n.1, CPT n.4) a -7.80 m (CPT n.3) dal piano di campagna attuale. Il penetrometro utilizzato è un GOUDA da 200 kN di spinta montato su cingoli. Il dispositivo di misura consiste in una centralina di acquisizione digitale. Il segnale elettrico generato dalla cella di pressione durante l'infissione della CPT viene opportunamente condizionato ed amplificato dalla centralina di acquisizione e visualizzato su di un display digitale a quattro cifre.

Le caratteristiche dello strumento impiegato per il sondaggio sono le seguenti:

Punta meccanica	Begemann
Spinta	200 kN
Intervalli di misura	20 cm
Parametri registrati	R_p (resistenza alla punta)
	RI (resistenza attrito laterale)
Area punta	10 cm²
Angolo alla punta	60°

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



In allegato (**all. n. 1**) sono riportati i grafici e le tabelle riguardanti le prove eseguite, corredate dell'elaborazione geotecnica e litostratigrafica.

La prova penetrometrica statica CPT (Cone Penetration Test) viene realizzata infiggendo nel terreno, alla velocità di 2 cm/sec, la punta meccanica Begemann. La punta (**fig. 2.1**) presenta alla sua estremità inferiore un cono avente un angolo al vertice di 60°, un diametro alla base di 36 mm e quindi un area di base di 10 cm². Esso supporta lungo il suo stelo un manicotto d'attrito, la cui superficie laterale è di 150 cm².

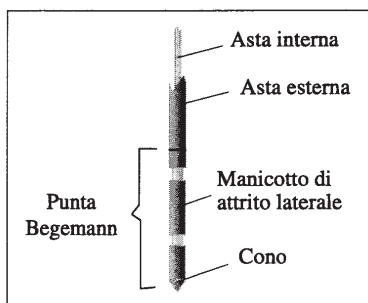


Figura 2.1

I valori degli sforzi di reazione che il suolo oppone alla penetrazione della punta, allo scorrimento del manicotto laterale e l'avanzamento dell'insieme punta più aste, verranno registrati ogni 20 cm di avanzamento in profondità.

L'esecuzione della prova avviene tramite il seguente schema di avanzamento :

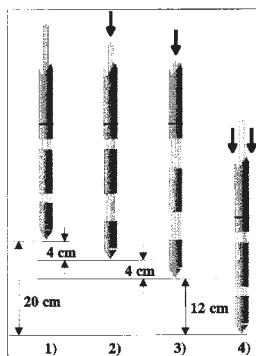


Figura 2.2

- 1) posizione di riposo con punta completamente chiusa;
- 2) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm del solo cono; visualizzazione dello sforzo di punta (Rp);
- 3) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm di cono + manicotto; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito laterale (RI);



- 4) spinta esercitata sulle aste esterne con avanzamento di 12 cm e ritorno alla posizione di riposo con punta completamente chiusa; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito + attrito della batteria di aste (Rt).

Nella fase d'avanzamento in cui viene letta la resistenza alla punta, il display restituisce automaticamente il carico unitario di resistenza (Rp) tenuto conto della superficie di infissione di circa 10 cm². Nella fase di avanzamento in cui viene letta la somma delle resistenze alla punta ed al manicotto di frizione il display visualizza il carico assoluto espresso in kg diviso per 10 (RI).

Ad ogni profondità di misura (x), i valori reali della resistenza alla penetrazione della punta “q_c” e dell'attrito laterale locale “f_s” possono essere calcolati tramite le seguenti formule:

$$q_c(x) = R_p(x) \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

dove:

$$AP \text{ (Area Punta)} = 10 \text{ cm}^2$$

$$AM \text{ (Area Manicotto Laterale)} = 150 \text{ cm}^2$$

$$f_s(X) = (RI(x+1) - R_p(x+1)) \cdot (AP/AM) = (RI(x+1) - R_p(x+1)) / 15$$

La particolare punta utilizzata per la perforazione “Friction Jacket Cone” è servita a determinare, oltre al carico di rottura, anche la litologia dei terreni investigati: dal rapporto tra la resistenza penetrometrica alla punta e la resistenza laterale locale è infatti possibile risalire, attraverso l'esperienza di **Begemann**, modificata da **Schmertmann** (di seguito descritti), alla granulometria, e di conseguenza alla litologia, dei terreni attraversati dall'indagine.

Metodo di Begemann:

Il metodo di BEGEMANN considera il **rapporto tra Rp e RI** come parametro indicativo delle variazioni litologiche. In particolare l'Autore suggerisce le seguenti correlazioni:

Rapporto Rp/RI	Litologia
Rp/RI < 15	Argilla organica e torba
15 < Rp/RI < 20	Limo e/o argilla inorganica
30 < Rp/RI < 60	Limo sabbioso e sabbia limosa
Rp/RI > 60	Sabbie o sabbia più ghiaia

Va ricordato che tali correlazioni sono valide solo per terreni immersi in falda.

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



3.2 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E LITOSTRATIGRAFICHE DEL SOTTOSUOLO

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini geognostiche CPT, eseguite, in data 29/02/2012, nell'area in studio, si evince quanto segue:

- A seguito del sottofondo dell'area, dello spessore di 0.40/0.80 m, si rileva un livello **coesivo argilloso – limoso mediamene consistente**, caratterizzato da valori di resistenza alla punta del penetrometro statico **R_p** compresi **tra 1.29 e 3.37 MPa**, che si approfondisce sino alla quota compresa tra -3.00 m (CPT n.2) e -4.20 m (CPT n.4) da p.c. ed è intervallato da livelli limoso – sabbiosi decimetrici. Dalle quote sopracitate si rileva nelle prove CPT n. 1, 3 e 4 un **livello limoso – sabbioso**, caratterizzato da valori di **R_p** compresi tra **2.97 e 4.75 MPa** presenti fino alla quota di -4.60 m da p.c.; da tale quota, nelle CPT n.1, 3 e 4, e da -3.00 m da p.c. nella CPT n.2, si rileva la presenza di **depositi argilloso – limosi a consistenza elevata**, caratterizzati da valori di **R_p** compresi tra **2.87 e 6.04 MPa** che si approfondiscono sino alla quota compresa tra -5.60 m (CPT n.4) e -6.60 m (CPT n.1). Da tali profondità è stato rilevato **il tetto del substrato sabbioso– ghiaioso**, che ha presentato valori di **R_p** medio compresi tra **1.58 e 29.50 MPa** ed ha mandato a rifiuto strumentale le attrezzature di prova in tutte le verticali indagate, alla quota compresa tra -7.20 m (CPT n.1 e n.4) e -7.80 m (CPT n.3) da piano campagna attuale.
- Per quanto riguarda il grado di consolidazione dei materiali coesivi, è stata rinvenuta la presenza di terreni **sovracconsolidati SC**, con **OCR > 4** in tutte le verticali di prova.
- Per quanto riguarda il grado di addensamento dei depositi incoerenti si sono rilevati valori di Densità relativa **Dr%** compresi **tra 15 e 100**, indicativi di depositi da **sciolti a molto densi**.
- In **Allegato n. 1**, tabella dei parametri geotecnici desunti dalla prova penetrometrica, sono visibili gli angoli d'attrito dei terreni attraversati, che si diversificano in base ai diversi autori (es. **Ø Ca** = Caquot; **Ø Ko** = Koppejan; **Ø DB** = De Beer etc.).
- al termine delle CPT non è stata rilevata la soggiacenza della falda freatica all'interno dei fori di sondaggio; le misurazioni sono state effettuate con freatimetro elettroacustico.

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



3.3 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per il progetto. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini geognostiche, prove CPT precedentemente descritte, si può schematizzare il seguente modello geotecnico medio del terreno investigato, utilizzato per le verifiche geotecniche dell'ampliamento in oggetto.

Strato	Profondità (in m da p.c.)	Litologia	FALDA	Parametri Geotecnici
1	da 0.00 m a - 4.00 m	Argilla limosa a medio - elevata consistenza	FALDA	$\gamma = 1850 \text{ kg/m}^3 \approx 18.50 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 2150 \text{ kg/m}^3 \approx 21.50 \text{ kN/m}^3$ $C_{uk} = 0.80 \text{ kg/cm}^2 \approx 80.0 \text{ kN/m}^2$ $C'_k = 0.08 \text{ kg/cm}^2 \approx 8.0 \text{ kN/m}^2$ $Mo = 60.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 6000 \text{ kN/m}^2$ $\phi_k = 25^\circ$ $\nu = 0.40$
2	da - 4.00 m a - 7.00 m	Argilla limosa consistente	FALDA	$\gamma = 1900 \text{ kg/m}^3 \approx 19.00 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 2200 \text{ kg/m}^3 \approx 21.00 \text{ kN/m}^3$ $C_{uk} = 1.20 \text{ kg/cm}^2 \approx 120.0 \text{ kN/m}^2$ $C'_k = 0.12 \text{ kg/cm}^2 \approx 12.0 \text{ kN/m}^2$ $Mo = 120.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 12000 \text{ kN/m}^2$ $\phi_k = 27^\circ$ $\nu = 0.30$
3	da - 7.00 m a - 15.00 m	Ghiaia sabbiosa addensata	SENTINTE	$\gamma = 1900 \text{ kg/m}^3 \approx 19.00 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 2100 \text{ kg/m}^3 \approx 21.00 \text{ kN/m}^3$ $Dr \% = 80$ $ME = 700.0 \text{ kg/cm}^2 \approx 70000 \text{ kN/m}^2$ $\phi_k = 35^\circ$ $\nu = 0.30$

Legenda:

- γ = peso specifico terreno naturale;
- γ' = peso specifico terreno saturo;
- C_{uk} = coesione non drenata caratteristica;
- C'_k = coesione efficace caratteristica;
- Mo_k = modulo di deformazione edometrico;
- ME_k = modulo elastico di Young;
- ϕ_k = angolo d'attrito caratteristico;
- $Dr\%$ = densità relativa;
- ν = modulo di Poisson

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



4. CLASSIFICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

4.1 INDAGINI GEOFISICHE

Per caratterizzare l'area da un punto di vista sismico sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche in sito:

- ***n°1 indagine sismica in dispersione di onde di superficie (metodologia MASW), eseguita in data 17/09/2013;***
- ***n° 1 acquisizione sismica passiva a stazione singola elaborata secondo il metodo dei rapporti spettrali (metodologia HVSR) eseguita in data 29/02/2012;***

L'ubicazione delle indagini geofisiche è illustrata nella **tav. n. 5**, riportata in allegato. Negli **allegati n. 2 e n. 3** sono invece visibili i grafici e i risultati delle indagini sismiche *MASW* e *HVSR* rispettivamente.

4.1.1 Indagine sismica con metodo MASW

Per potere classificare con precisione l'area da un punto di vista sismico, è stata eseguita nell' area in oggetto n. 1 indagine sismica in dispersione di onde di superficie, secondo la metodologia MASW.

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz e valutare la dispersione di onde di superficie (tipo Rayleigh) mediante un array lineare. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde di superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la "**curva di dispersione**", dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs). I dati sono stati registrati mediante un sismografo *Geode Geometrics 24 bit* con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.2 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 1 secondo. Si effettuano battute poste ad offset diversi (es.10.00 m da geofono 1 e 5.00 m da geofono 1) mediante grave da 8,0 kg di massa.

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



[Rif. 578/2013]

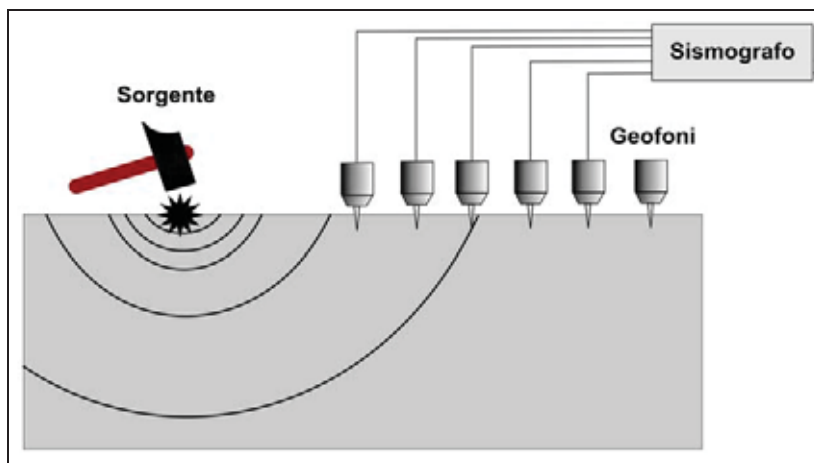


Fig. 4.1 - Schema di Array lineare e punto energizzante.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$. Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale. L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle V_s fino a circa 35 m di profondità. Dalle indagini eseguite è stata ricavata la V_{s30} dalla presente formulazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Tale valore, nell' area indagata, per la classificazione sismica dei terreni di fondazione seguendo le indicazioni del **D.M. 14/01/2008**, è risultato pari a:

MASW n° 1	$V_{s30} = 353 \text{ m/s}$
------------------	---

Pertanto, secondo la classificazione del suolo imposta dalle NNTC 2008, si definisce il terreno di fondazione dell' area studiata come appartenente alla **CATEGORIA [C]**, corrispondente a depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} **compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).**





Fig. 4.2 – Ripresa fotografica della indagine M.A.S.W. eseguita in data 17/09/13

4.1.2 Indagine sismica passiva secondo la metodologia HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di **indagine sismica passiva HVSR** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del sismo-strato individuato. Tramite l'elaborazione di moti superiori e l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli generati dai moti superiori o da artefatti, al fine di garantire una corretta interpretazione dello spettro sismico registrato. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSR) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici. Negli ultimi anni si è affermata anche per la sua versatilità



poiché si è dimostrato come lo spettro sismico può rappresentare un modello sismo – stratigrafico del sottosuolo.

La tecnica **HVSR** 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 energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un "velocimetro triassiale" conforme alle norme SESAME. I risultati che si possono ottenere da indagini sismiche HVSR sono:

- La **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto **dimensionamento degli edifici antisismici**. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "**doppia risonanza**", fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni.
- 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, etc.) e riconoscibile nella **curva H/V**. E' possibile calcolare la **Vs30** e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.
- 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 tecnica **HVSR**, 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.

Dall'analisi della registrazione di rumore sismico ambientale (All. n. 3), elaborata secondo il rapporto delle componenti verticali su quelle orizzontali, **non è stata individuata alcuna frequenza fondamentale di sito**. Tale risultato è pienamente in accordo con quanto esposto nella "**Carta delle frequenze**" relativa allo studio di microzonazione sismica del P.S.C. del Comune di Fiorano Modenese, dove per l'area in oggetto non viene identificata alcuna frequenza di risonanza fondamentale.



4.2 AZIONE SISMICA: STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA (III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO)

Alla luce di quanto esposto nel § 3.2.2 del D.M. 14/01/2008 e in accordo con la D.a.l. 112/2007 della Regione Emilia Romagna, è stata definita l'azione sismica di progetto secondo uno **studio di microzonazione sismica con III livello di approfondimento**. Per ottemperare ai riferimenti normativi citati è stata in primo luogo eseguita una risposta sismica locale (RSL), come indicato § 7.11.3 del D.M. 14/01/2008, mediante analisi numerica monodimensionale in campo lineare equivalente considerando il codice di calcolo EERA. I valori ottenuti sulla base dell'analisi monodimensionale sono stati in seguito confrontati con il calcolo dell'azione sismica riferita all'approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di parametri di amplificazione del moto sismico, in funzione delle categorie di sottosuolo di riferimento.

4.2.1 R.S.L. mediante verifica monodimensionale in campo lineare equivalente dell'amplificazione locale

Ai fini della restituzione dello spettro sismico è stata svolta la verifica dell'amplificazione del sito mediante l'utilizzo di un modello simulato in campo del lineare equivalente. Tale analisi è svolta per ottemperare a ciò che è richiesto dalla normativa nazionale vigente (NNTC 2008), la normativa regionale dell'Emilia Romagna (D.a.l. n° 112/2007) nonché dallo studio di microzonazione sismica, svolto secondo il II livello di approfondimento, per il P.S.C. del Comune di Fiorano.

L'analisi monodimensionale in campo lineare equivalente è stata svolta attraverso il codice di calcolo EERA (*Equivalent linear Earthquake site Response Analysis of Layered Soil Deposits*) sviluppato dal dipartimento di ingegneria civile della "University of Memphis".

Il codice di calcolo EERA è in grado di valutare la risposta sismica di un deposito di terreno, schematizzandolo come un sistema di N strati orizzontali omogenei, isotropi e visco-elastici, sovrastanti un semispazio uniforme, attraversati da un treno di onde di taglio che incidono verticalmente le superfici. Ogni strato è descritto per mezzo dello spessore H , del modulo di taglio massimo $G_{\max}$ o dalla corrispondente velocità massima $V_{\max}$, dal valore dello smorzamento D , dal peso dell'unità di volume γ e dalle curve di decadimento del modulo di rigidità a taglio normalizzato ($G / G_0 - \gamma$) e le corrispondenti curve dello smorzamento ($D - \gamma$) con la deformazione di taglio γ .

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



[Rif. 578/2013]

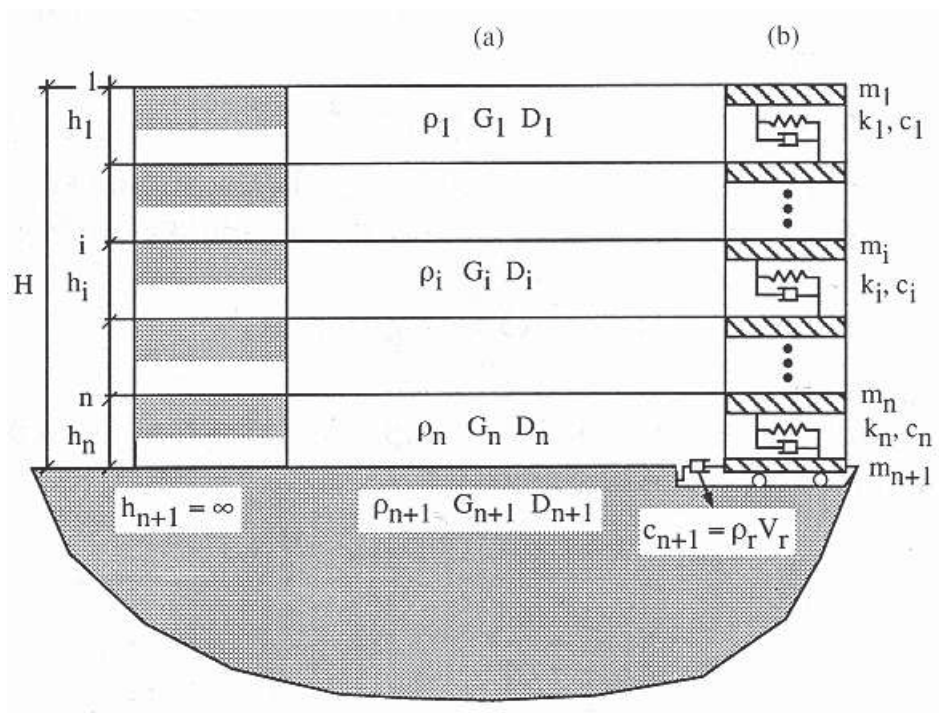


Fig. 4.3 – Modello a strati continui adottato per la simulazione con il codice di calcolo EERA

Il modello simulato per tale analisi deriva dai dati ottenuti dalle prove che compongono la campagna geognostica eseguita in sito. Tale profilo approssima il comportamento del sottosuolo, dal punto di vista sismico, in corrispondenza dell'area studiata. Il profilo considerato deriva dall'interpolazione dei dati provenienti dalla indagine MASW eseguita e i dati, di natura bibliografica, riportati nel capitolo **n. 2.2** del presente elaborato.

Sulla base di quest'ultimi, considerando il bedrock sismico posto alla quota di -60 m da p.c., è stata svolta un'interpolazione polinomiale tra i dati di superficie e quelli bibliografici. Il risultato è un profilo che individua le caratteristiche meccaniche principali del sottosuolo dell'area in oggetto.



Il profilo considerato risulta essere il seguente:

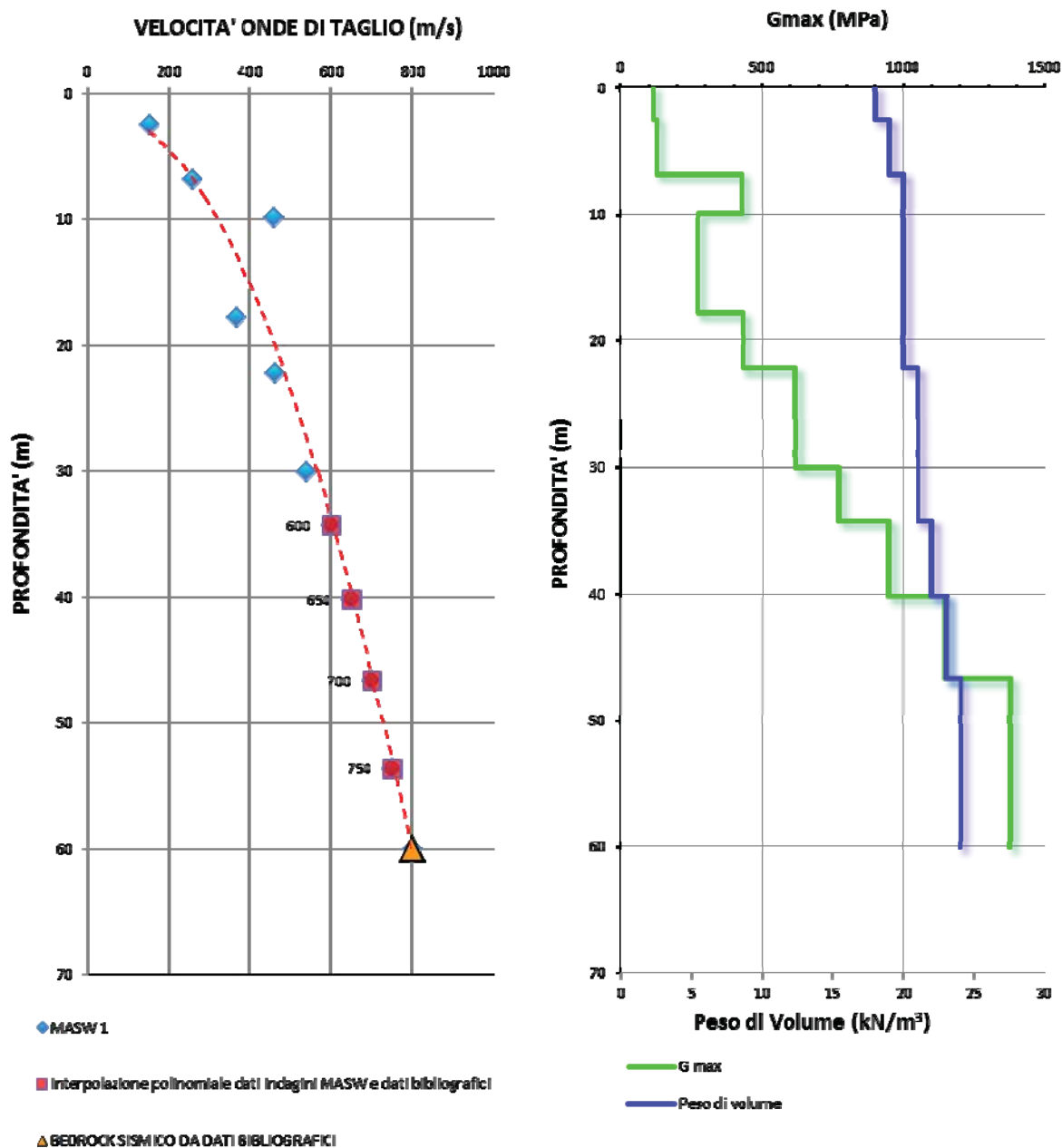


Fig. 4.4 – A destra: Gradiente delle velocità relative alle onde di taglio nel sottosuolo. A sinistra: gradiente relativo a modulo di taglio massimo e al peso di volume

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



Il modello lineare visco-elastico fa riferimento al modello reologico di Kelvin-Voigt, costituito da una molla e uno smorzatore viscoso in parallelo. Tale modello è descritto quindi dalla rigidezza (**G**) e dallo smorzamento (**D**). Per descrivere la stratigrafia relativa al sito in oggetto dal punto di vista dei due principali parametri appena descritti, sono state considerate curve di decadimento dei moduli di rigidezza e smorzamento, al variare della deformazione percentuale $\gamma(\%)$, per ciascun materiale costituente il modello. Si riportano successivamente le curve di decadimento considerate per l'esecuzione del calcolo di risposta sismica locale:

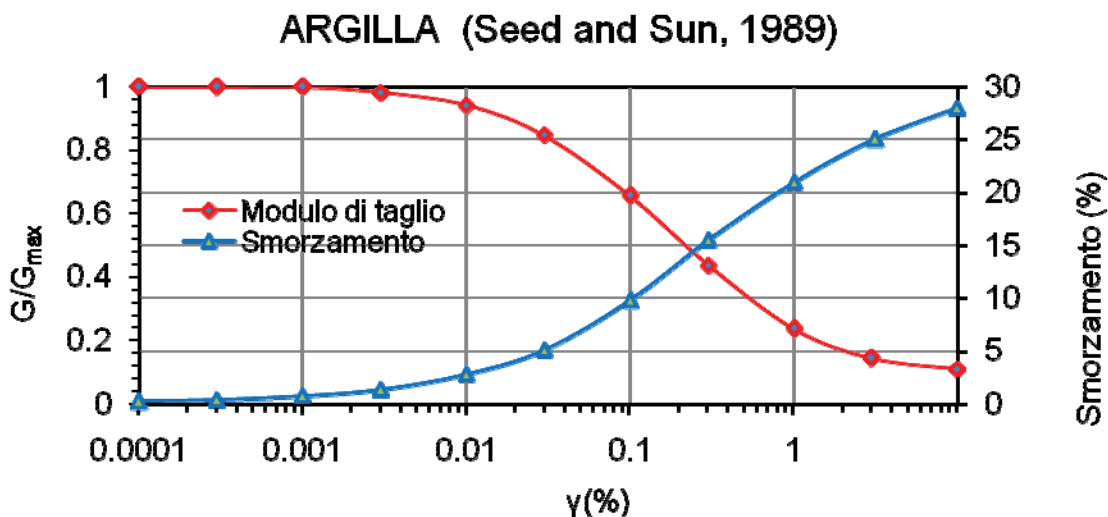


Fig. 4.5 – Curva di decadimento dei moduli G/G_{max} e D , utilizzata per descrivere il comportamento dei materiali coesivi che compongono il sottosuolo in oggetto

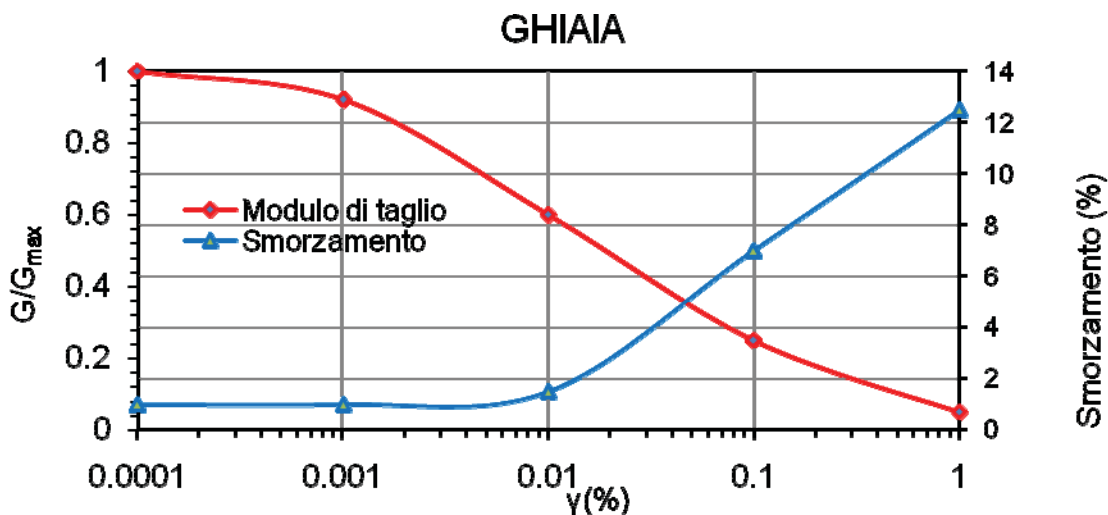
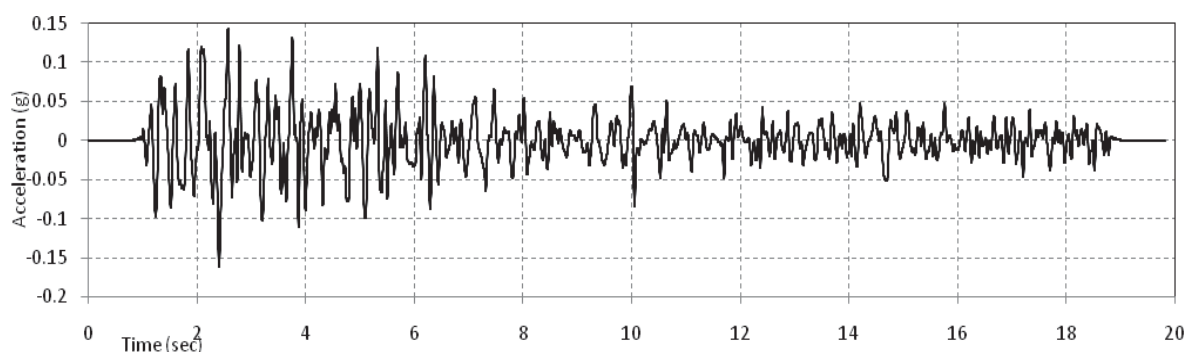


Fig. 4.6 – Curva di decadimento dei moduli G/G_{max} e D , utilizzata per descrivere il comportamento dei livelli ghiaiosi che si rinvengono nel sottosuolo in oggetto

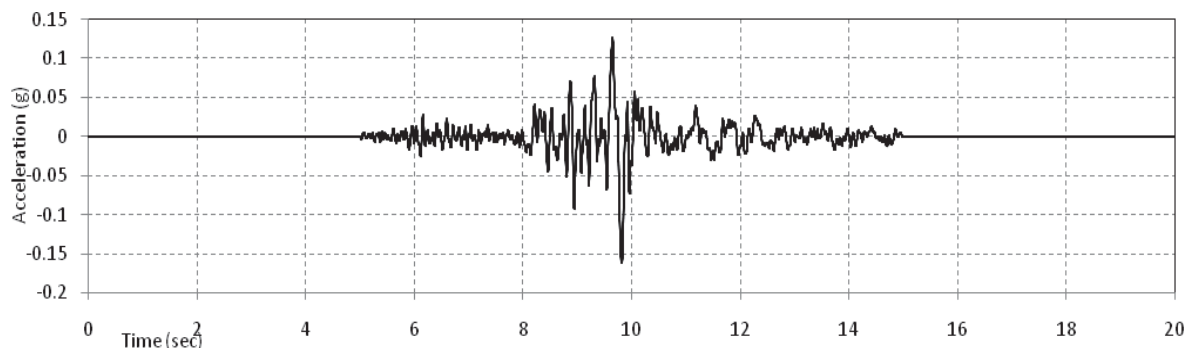


Per quanta riguarda il moto sismico, sono stati considerati accelerogrammi, riferiti al suolo rigido, forniti dalla Regione Emilia Romagna. Si tratta di 3 accelerogrammi, selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" e forniti per il Comune di Fiorano Modenese dal Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna. I tre segnali di riferimento, che vengono implementati all'interno del codice di calcolo, corrispondono ad un sisma di natura impulsiva (INPUT 000046), un sisma con ampio contenuto in frequenze (INPUT 000156) ed infine un sisma con componente predominante alle alte frequenze (INPUT 000354).

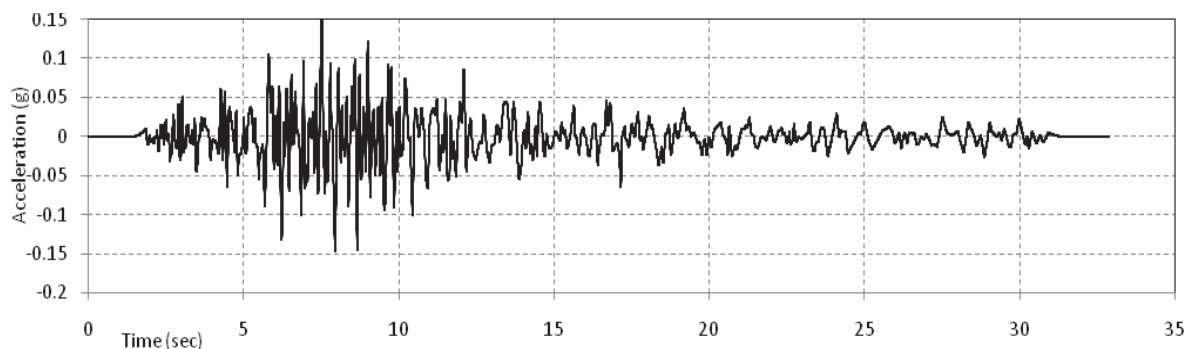
INPUT 000046



INPUT 000126



INPUT 000354



GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



Definiti i parametri che descrivono il comportamento del sottosuolo nel campo elastico lineare e descritti gli accelerogrammi su suolo rigido validi per il territorio comunale di Fiorano Modenese, il codice di calcolo ha generato i seguenti spettri in termini accelerazione e velocità alla superficie:

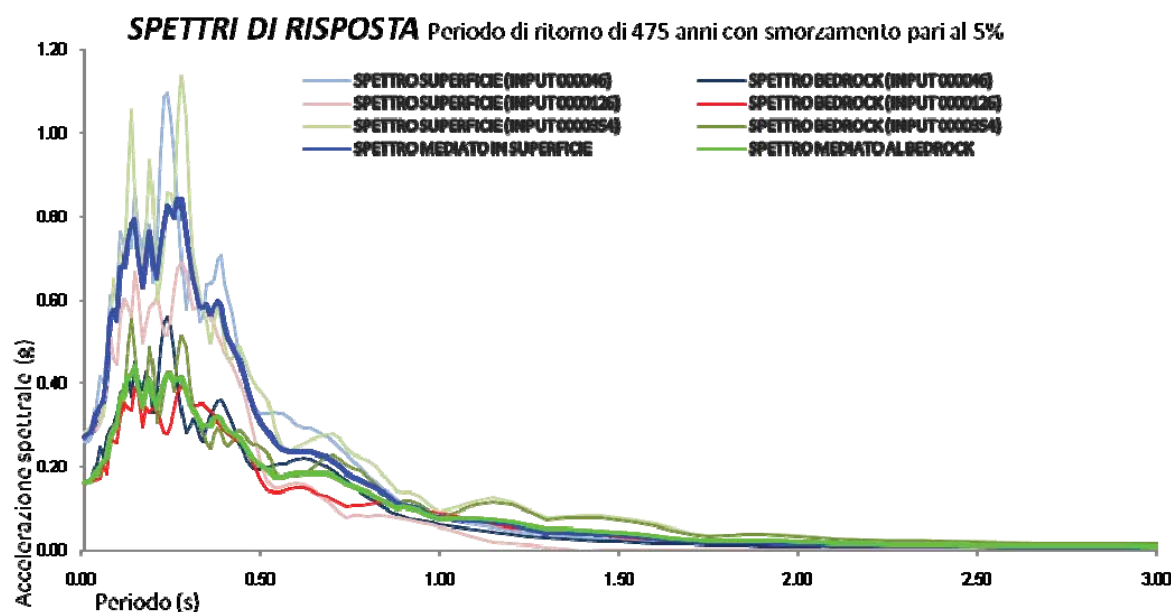


Fig. 4.7 – Accelerazioni spettrali, derivate durante il calcolo eseguito

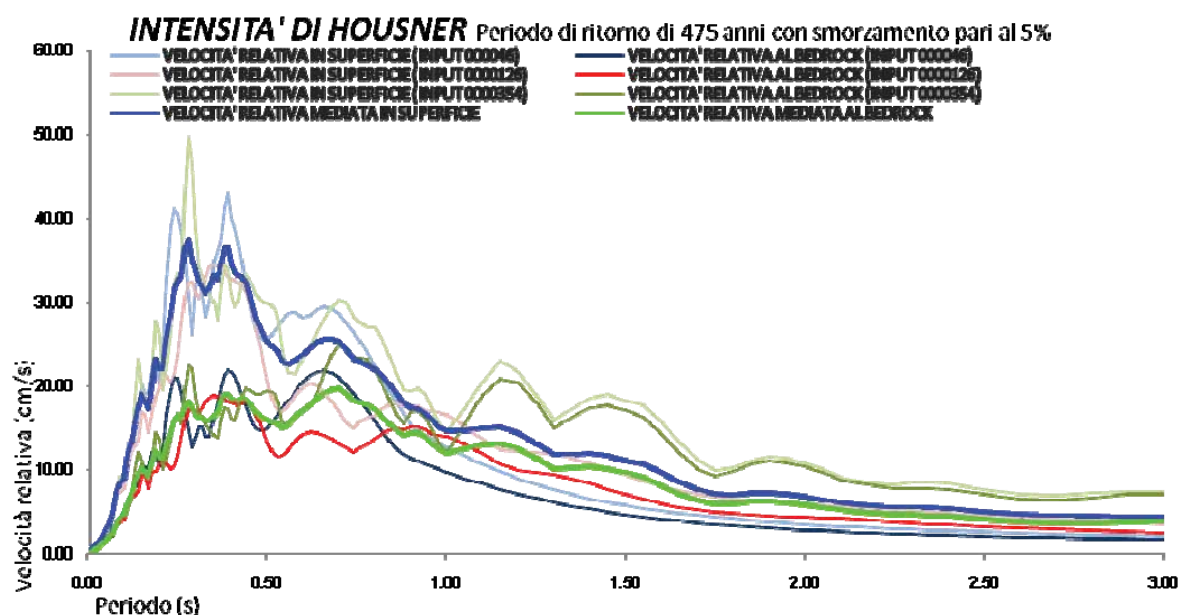


Fig. 4.8 – Velocità relative, derivate durante il calcolo eseguito



Dall'analisi di risposta sismica locale, svolta attraverso il codice di calcolo EERA e considerando un modello continuo lineare equivalente, è emerso che il valore di PGA alla superficie di riferimento risulta pari a **0.271 g**. I valori evidenziati durante l'analisi in oggetto sono riassunti nella seguente tabella:

PGA ₀ di riferimento valida per il territorio comunale di Fiorano Modenese (NNTC 2008)	0.162 g
PGA in superficie ottenuta dal modello simulato	0.271 g
Fattore di amplificazione della PGA	1.67
Fattore di amplificazione d'intensità spettrale compresa tra l'intervallo di frequenza 0.1 e 0.5 s	1.44
Fattore di amplificazione d'intensità spettrale compresa tra l'intervallo di frequenza 0.5 e 1.0 s	1.10

Successivamente viene riportata la funzione di trasferimento, individuata durante l'analisi svolta mediante il codice di calcolo EERA, relativa al modello considerato. Come visibile successivamente, per il sito in oggetto, si ottiene la massima amplificazione per una frequenza compresa tra **11-12 Hz**.

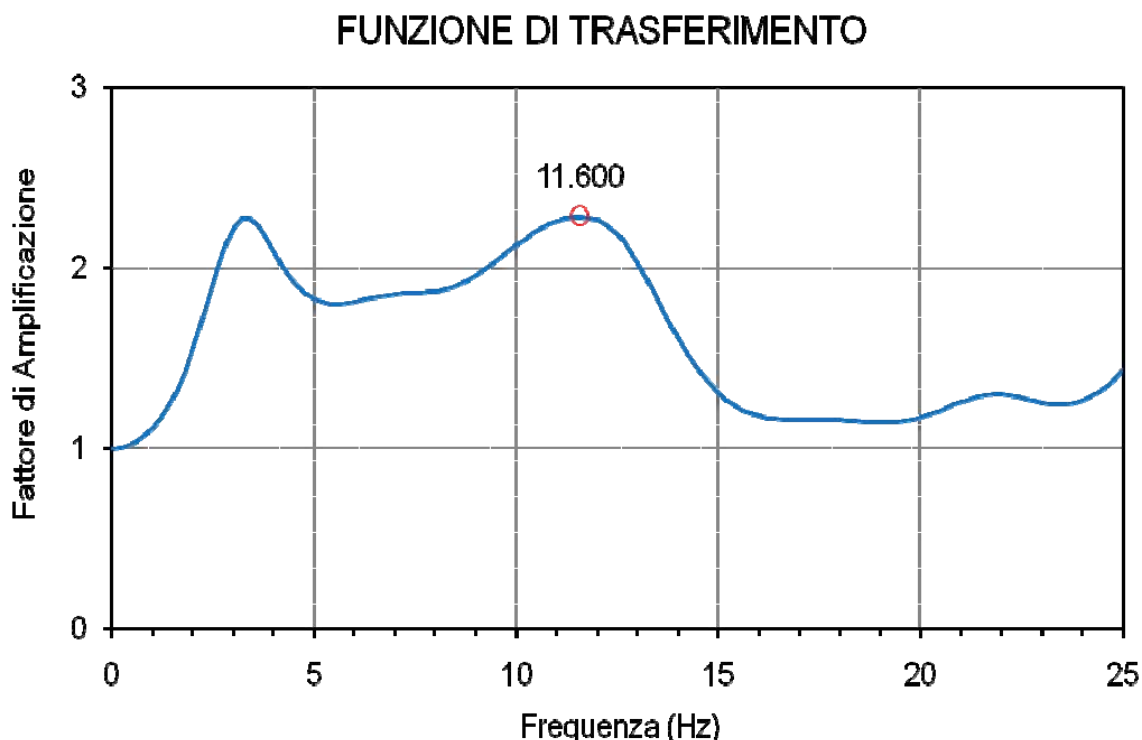


Fig. 4.9 – Funzione di trasferimento ottenuta

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



Dati i valori di accelerazione ottenuti dal calcolo eseguito è stato infine svolto un confronto con lo spettro di accelerazione, definito secondo i criteri delle NNTC 2008, considerando una classe di sottosuolo tipo C e un tempo di ritorno pari a 475 anni.

Lo spettro di accelerazione ottenuto tramite la modellazione eseguita è stato invece normalizzato secondo quanto descritto nel **All. n. 4** della D.a.l. 112/2007. Così facendo è stato ottenuto lo spettro a probabilità uniforme, sulla base dei risultati ottenuti mediante il codice di calcolo EERA.

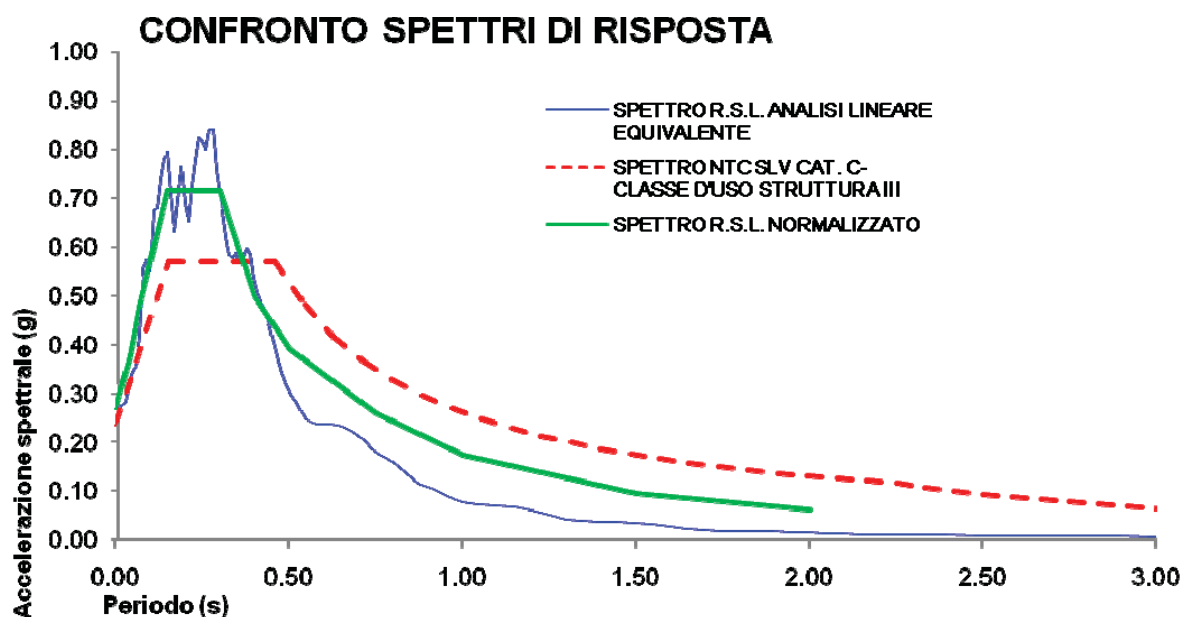


Fig. 4.10 – Confronto tra lo spettro di accelerazione calcolato secondo NTC (CAT. C) (in rosso tratteggiato) e lo spettro di accelerazione ottenuto dal calcolo mediante il codice EERA (in verde)

Da quanto è possibile osservare in **Fig. n. 4.10**, lo spettro calcolato per una categoria di sottosuolo C, sottostima l'azione sismica per il sito in oggetto. Considerando invece lo spettro normalizzato, ottenuto sulla base dell'analisi mediante il codice EERA, è possibile definire un' azione sismica maggiore. Il nuovo spettro ottenuto è caratterizzato dai seguenti parametri:

PGA (g)	Tr (anni)	F ₀	T _s [*] (s)	S	n	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
0.271	475	2.28	0.29	1.67	1	0.15	0.46	2.68

Tab. 4.1 – Parametri che identificano lo spettro normalizzato, derivato dall'analisi mediante il codice di calcolo EERA

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



5. VERIFICA DELLA SUSCETTIVITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

5.1 VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio, con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano i **depositi sabbiosi saturi** e dipendono da:

- proprietà geotecniche dei terreni;
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata;
- genesi e storia geologica dei terreni;
- fattori ambientali.

Un **terreno incoerente saturo**, in assenza di sollecitazioni sismiche, è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti (in campo libero e con superficie piana).

Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza.

Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Di conseguenza, maggiore è la **durata di un terremoto** (maggior numero di cicli), più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'**ampiezza della vibrazione** e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione.

Il terreno può essere però soggetto a sforzi di taglio statici dovuti alla presenza di strutture in superficie o alla sua particolare posizione (per es. al di sotto di un versante). In questo caso l'instaurarsi del fenomeno della liquefazione dipende, oltre che dalle caratteristiche del sisma, anche dal rapporto che si stabilisce tra le tensioni di taglio indotte da quest'ultimo e quelle statiche preesistenti al terremoto.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso.

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



Tanto minore è il **grado di addensamento** del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Anche la **distribuzione**, la **forma delle particelle** e il **grado di uniformità** influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso.

Per quanto riguarda la **storia delle sollecitazioni sismiche**, si può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di ri-liquefazione.

I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti. A parità di composizione e di altre condizioni lo stesso deposito, se più antico, avrà sviluppato legami intergranulari e cementazioni sempre più forti con il tempo.

Inoltre, la struttura di un deposito antico sarà resa più stabile e omogenea per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità.

Dopo aver caratterizzato il terreno attraverso l'interpretazione di dati da prove penetrometriche statiche CPT, è stata eseguita una stima del rischio di liquefazione di terreni sotto falda in condizioni sismiche, mediante il metodo semplificato di **“Robertson e Wride”**.

I metodi semplificati richiedono che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'*accelerazione sismica orizzontale massima* in superficie e della *magnitudo di riferimento*.

I dati del sisma di progetto sono stati ricavati attraverso l'analisi probabilistica dei dati del Catalogo Sismico Nazionale.

Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la **resistenza al taglio mobilitabile nello strato (R)** e lo **sforzo tangenziale indotto dal sisma (T)**. In pratica si avrà:

$$F_s = \frac{R}{T}.$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione se il coefficiente di sicurezza F_s sarà minore di 1.

La grandezza **T** dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto). **R** è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato,



principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche statiche.

La grandezza **T** viene ricavata attraverso la relazione:

$$T = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} r_d \frac{1}{MSF};$$

dove:

$a_{\max}$ = accelerazione sismica massima;
 g = accelerazione di gravità = 980.7 cm/s²;
 σ_{v0} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;
 σ_{v0}' = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;
 r_d = coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutabile secondo il seguente schema:
 $r_d = 1 - 0.00765z$ per $z \leq 9.15$ m
 $r_d = 1.174 - 0.0267z$ per $9.15 < z \leq 23$ m
 $r_d = 0.774 - 0.008z$ per $23 < z \leq 30$ m
 $r_d = 0.5$ per $z > 30$ m

MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma.

Il metodo di **Robertson e Wride** permette di correlare la resistenza al taglio **R** mobilitata nel terreno con i risultati delle prove penetrometriche statiche (CPT). La procedura di calcolo si basa sulle due seguenti equazioni:

$$R = 0.883 \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right] + 0.05 \quad \text{per } (q_{c1n})_{cs} < 50 \text{ e}$$

$$R = 93 \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 \quad \text{per } 50 \leq (q_{c1n})_{cs} < 160.$$

La grandezza $(q_{c1n})_{cs}$ rappresenta la resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente.

Viene considerato **non** liquefacibile un deposito in cui sia $F_s > 1$.



Calcolo dell'indice di liquefacibilità

Una stima del rischio di liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione **IL**. Tale indice viene definito dalla seguente relazione:

$$IL = \sum_{i=1}^n FW(z)\Delta z$$

dove:

- n = numero degli intervalli di calcolo di Fs lungo la verticale;
F = 1-Fs per $F_s \leq 1$ e F = 0 per $F_s > 1$;
 Δz = spessore dell'intervallo di calcolo;
W(z) = $10 - 0,5z$, con z = profondità di calcolo (massimo 20 m).

In base al valore di IL ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione attraverso la seguente tabella:

IL	Rischio di liquefazione
IL=0	Molto basso
$0 < IL \leq 5$	Basso
$5 < IL \leq 15$	Alto
$15 < IL$	Molto alto

La verifica alla liquefazione è stata svolta mediante il software LiqIT della software-house Geologismiki. Gli elaborati relativi alla presente verifica sono riportati in All. n. 4. Le verifiche sono state svolte considerando le n.4 CPT eseguite nel 2012. Per la verifica sono stati considerati i seguenti parametri:

Magnitudo di riferimento = 6.00
PGA = 0.271 g
Dw= -1.00 m da p.c. (ipotizzata)

Si riassumono i potenziali, relativi al rischio di liquefazione, calcolati per ciascuna verticale d'indagine:

CPT 1	$I_L=0.00$	RISCHIO MOLTO BASSO
CPT 2	$I_L=0.00$	RISCHIO MOLTO BASSO
CPT 3	$I_L=0.00$	RISCHIO MOLTO BASSO
CPT 4	$I_L=0.00$	RISCHIO MOLTO BASSO

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



5.2 STIMA DEI CEDIMENTI POST-SISMICI

La generazione di sovrappressioni interstiziali durante l'applicazione di carichi ciclici, in condizioni non drenate, provoca all'interno dei terreni una riduzione degli sforzi efficaci. Una volta che il sistema è soggetto a drenaggio, la pressione in eccesso si dissipa e il terreno è soggetto a una variazione dell'indice dei vuoti. Così facendo si generano deformazioni volumetriche negative, che comportano l'instaurarsi di cedimenti permanenti all'interno del terreno stesso.

Per tale motivo, durante input sismico, i terreni subiscono un fenomeno di riconsolidazione dovuta all'applicazione di un carico ciclico. Pertanto risulta essenziale stimare la potenziale deformazione volumetrica del sottosuolo, considerando l'azione sismica di riferimento.

I cedimenti post-sismici sono stati calcolati secondo quanto descritto nell'All. n. 3 della D.a.I. n. 112/2007. Per tale stima sono state considerate le n. 4 prove CPT eseguite nell'anno 2012, in prossimità del sito in oggetto.

5.2.1 Cedimenti post-sismici dei terreni coesivi

La stima dei cedimenti post-sismici nei terreni coesivi viene eseguito mediante la seguente formula:

$$\Delta H = \varepsilon_{vr} H$$

dove H è l'altezza dello strato e ε_{vr} (%) è la deformazione volumetrica post-ciclica. ε_{vr} è stato stimato, come da procedura descritta nell'All. n. 3 della D.a.I. n. 112/2007, secondo la seguente relazione

$$\varepsilon_{vr} = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

in cui α (costante sperimentale) è stata posta uguale a 1, l'indice dei vuoti e il parametro C_r è stato ricavato dal modulo edometrico, che a sua volta è stato derivato dall'elaborazione delle prove CPT eseguite considerando la relazione di Mitchell e Gardner (1975).

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



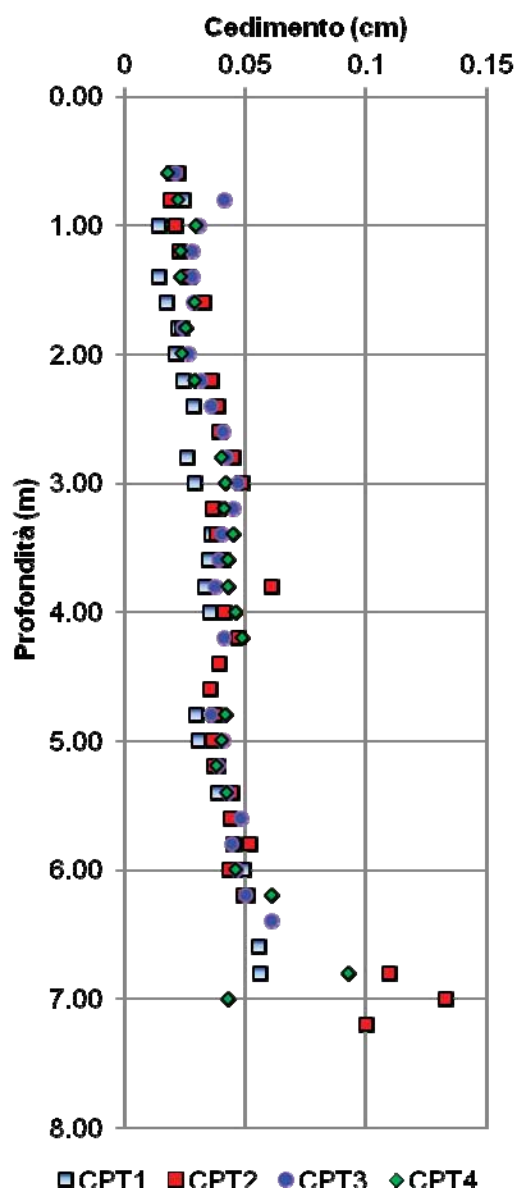
La stima dei cedimenti è stata svolta considerando le n. 4 verticali relative alle CPT eseguite in corrispondenza dell'area in oggetto. Per lo svolgimento del calcolo è stata ipotizzata la superficie piezometrica alla quota di -1.00 m da p.c., dato che durante le indagini CPT non è stata rilevata alcuna falda. Per quanto riguarda l'azione sismica, è stato considerato il valore di PGA di 0.271 g, derivato dall'analisi svolta mediante il codice di calcolo EERA.

Si riportano successivamente i valori di cedimenti post-sismici, relativi ai terreni a natura coesiva, calcolati per ciascuna indagine CPT:

CEDIMENTI POST-SISMICI DEI TERRENI COESIVI

CPT 1	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	0.812
CPT 2	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	1.399
CPT 3	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	1.037
CPT 4	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	0.976

CEDIMENTI POST-SISMICI TERRENI COESIVI



GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



5.2.2 Cedimenti post-sismici dei terreni incoerenti saturi

I cedimenti post-sismici dei terreni granulari viene valutata con l'analoga formula appena descritta:

$$\Delta H = \varepsilon_{vr} H$$

dove H è l'altezza dello strato e ε_{vr} (%) è la deformazione volumetrica post-ciclica. ε_{vr} è stato stima, come da procedura descritta nel All. n. 3 della D.a.l. n. 112/2007, secondo la seguente relazione

$$\varepsilon_{vr} = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

in cui α (costante sperimentale) è stata posta uguale a 1, l'indice dei vuoti e il parametro C_r è stato ricavato dal modulo edometrico, che a sua volta è stato derivato dall'elaborazione delle prove CPT eseguite considerando la relazione di Robertson e Campanella (1983).

La stima dei cedimenti è stata svolta considerando le n. 4 verticali relative alle CPT eseguite in corrispondenza dell'area in oggetto. Per lo svolgimento del calcolo è stata ipotizzata la superficie piezometrica alla quota di -1.00 m da p.c., dato che durante le indagini CPT non è stata rilevata alcuna falda. Per quanto riguarda l'azione sismica, è stato considerato il valore di PGA di 0.271 g, derivato dall'analisi svolta mediante il codice di calcolo EERA.

Si riportano successivamente i valori di cedimenti post-sismici, relativi ai terreni a natura granulare, calcolati per ciascuna indagine CPT. I valori ottenuti, come visibile nelle successive tabelle riportate, risultano esigui poiché durante le indagini eseguite non sono stati rilevati livelli incoerenti di significante spessore.

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

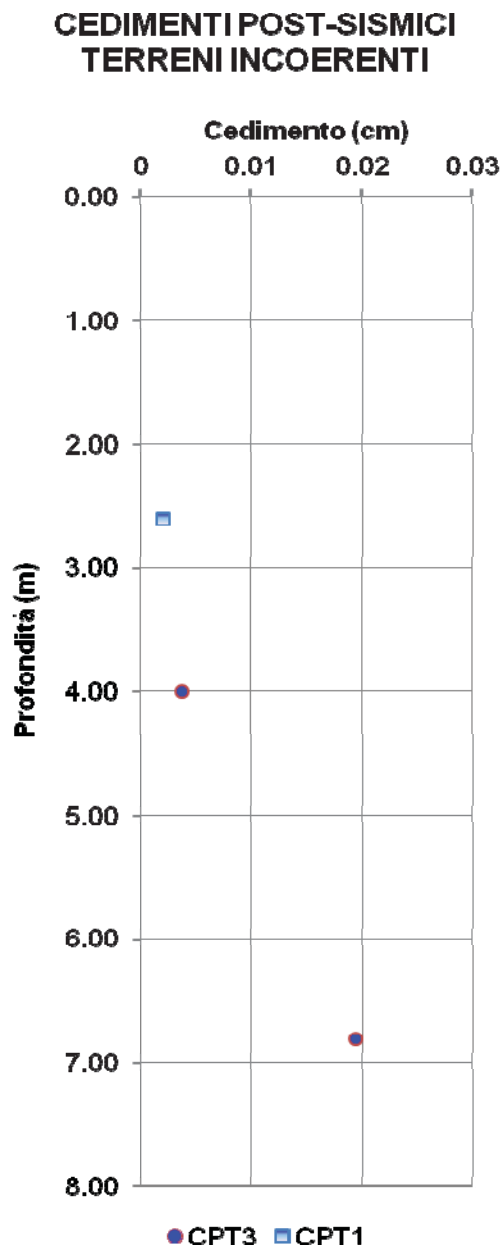
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



CEDIMENTI POST-SISMICI DEI TERRENI INCOERENTI SATURI

CPT 1	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	0.002
CPT 2	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	0.000
CPT 3	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	0.023
CPT 4	CEDIMENTO POST SISMICO (cm)
TOTALE	0.000



5.2.3 Cedimenti post-sismici dei terreni incoerenti non saturi

Non avendo individuato livelli incoerenti di significante spessore e avendo ipotizzato la superficie freatica alla quota di -1.00 m da p.c., si esclude che possano verificarsi, a seguito di input sismico, cedimenti post-sismici dovuti a deformazioni volumetriche di livelli incoerenti non saturi.

Pertanto si è ritenuto superfluo la stima dei cedimenti post-sismici, legati a deformazioni di livelli incoerenti non saturi.

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



6. CONCLUSIONI

Il presente elaborato è stato redatto su incarico del Comune di Fiorano Modenese e in accordo con la proprietà e il progettista delle opere, al fine di definire l'azione sismica del sito secondo uno studio di **microzonazione sismica di III livello di approfondimento**. Le analisi che compongono tale studio sono state svolte in conformità del D.M 14/01/2008, della D.a.l. n°112/2007 e delle norme descritte per P.S.C. del Comune di Fiorano Modenese.

L'area in oggetto è sita tra Via Statale e Via S.Giovanni Evangelista, in località Spezzano (Comune di Fiorano Modenese), nella quale verrà realizzato un impianto di distribuzione carburanti.

Per poter strutturare lo studio di microzonazione sismica sono state considerate le **n.4 prove CPT** eseguite nel lotto nell'anno 2012, **n.1 acquisizione a stazione singola di rumore sismico** (metodologia HVSR) eseguita sempre nel 2012. A supporto di tali dati, nel mese di settembre 2013, è stata eseguita **n.1 indagine secondo dispersione di onde di superficie (metodologia MASW)**, per poter caratterizzare con precisione l'area in oggetto.

Dall'elaborazione dell'indagine MASW è stato possibile definire che, l'area in oggetto, risulta caratterizzato da un valore di **V_{s30}** pari a **353 m/s**. Tale valore farebbe ricadere l'area, secondo il D.M. 14/01/2008, secondo una categoria di sottosuolo C.

Poiché l'area, da quanto emerso dallo studio di microzonazione sismica di II livello svolto per la variante luglio 2013 del P.S.C. del Comune di Fiorano, ricade nel raggio di influenza della "Faglia di Sassuolo", si è provveduto a svolgere un'analisi di risposta sismica locale mediante il codice di calcolo EERA.

L'analisi di risposta sismica locale, svolta mediante un modello lineare equivalente, è illustrata nel capitolo n. 4.2. Tale verifica ha definito l'azione sismica per il sito in oggetto, definendo i valori di PGA, FA PGA e intensità spettrale. Inoltre tale studio ha permesso di identificare lo spettro relativo all'azione sismica, definita sulla base di uno studio di III livello di approfondimento. Si riassumono i risultati ottenuti tramite tale analisi:

PGA ₀ di riferimento valida per il territorio comunale di Fiorano Modenese (NNTC 2008)	0.162 g
PGA in superficie ottenuta dal modello simulato	0.271 g
Fattore di amplificazione della PGA	1.67
Fattore di amplificazione d'intensità spettrale compresa tra l'intervallo di frequenza 0.1 e 0.5 s	1.44
Fattore di amplificazione d'intensità spettrale compresa tra l'intervallo di frequenza 0.5 e 1.0 s	1.10

GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



SPETTRO DI RISPOSTA DA R.S.L MEDIANTE CODICE DI CALCOLO EERA

PGA (g)	Tr (anni)	F ₀	T _s [*] (s)	S	n	T _b (s)	T _c (s)	T _d (s)
0.271	475	2.28	0.29	1.67	1	0.15	0.46	2.68

A seguito dell'identificazione dell'azione sismica per il sito in oggetto, è stata verificata la suscettibilità del sito al fenomeno della liquefazione. La verifica è stata svolta su tutte le n.4 verticali, relative alle indagini CPT.

La verifica alla liquefazione, eseguita secondo il metodo di **Robertson e Wride** ha fornito valore di “**indice di liquefacibilità**” **IL = 0.0** segno di un **rischio di liquefazione “ molto basso”**, per tutte le quattro verticali d'indagine considerate.

A corredo dell'analisi del fenomeno della liquefazione è stata svolta la stima dei cedimenti post-sismici, dei terreni coesivi e dei terreni granulari saturi. Non è stata eseguita la stima dei cedimenti post-sismici dei terreni granulari non saturi, poiché durante le indagini non sono stati evidenziati livelli incoerenti, nel tratto al disopra della superficie piezometrica. Si riportano successivamente i valori di cedimenti post-sismici per i livelli coesivi e granulari:

CEDIMENTI POST-SISMICI TERRENI COESIVI

	CPT 1	CPT2	CPT3	CPT4
CEDIMENTO POST-SISMICO (cm)	0.812	1.399	1.037	0.976

CEDIMENTI POST-SISMICI TERRENI GRANULARI SATURI

	CPT 1	CPT2	CPT3	CPT4
CEDIMENTO POST-SISMICO (cm)	0.002	0.000	0.023	0.000

A disposizione per ulteriori chiarimenti cogliamo l'occasione per porgere cordiali saluti.

Modena, 23 Settembre 2013

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

Dott. Ghirardini Gabriele



GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



Tavole

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



Tav. n. 1 "Carta Corografica"

Scala 1: 25000



Legenda

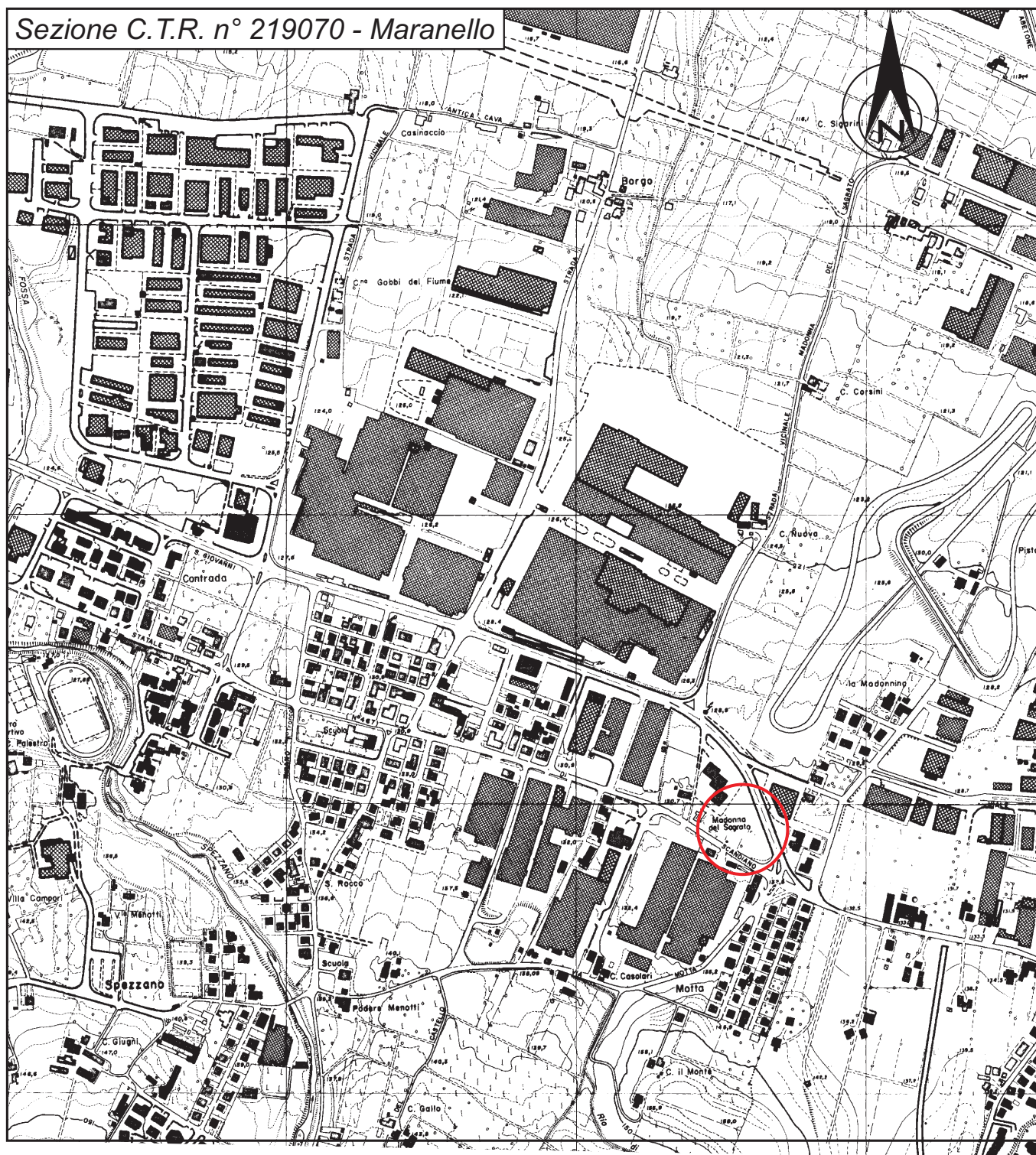


Area di interesse

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it

Sezione C.T.R. n° 219070 - Maranello



Tav. n. 2 "Carta topografica"

Scala 1: 10000

Legenda



Area di interesse

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

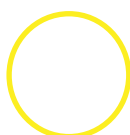
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



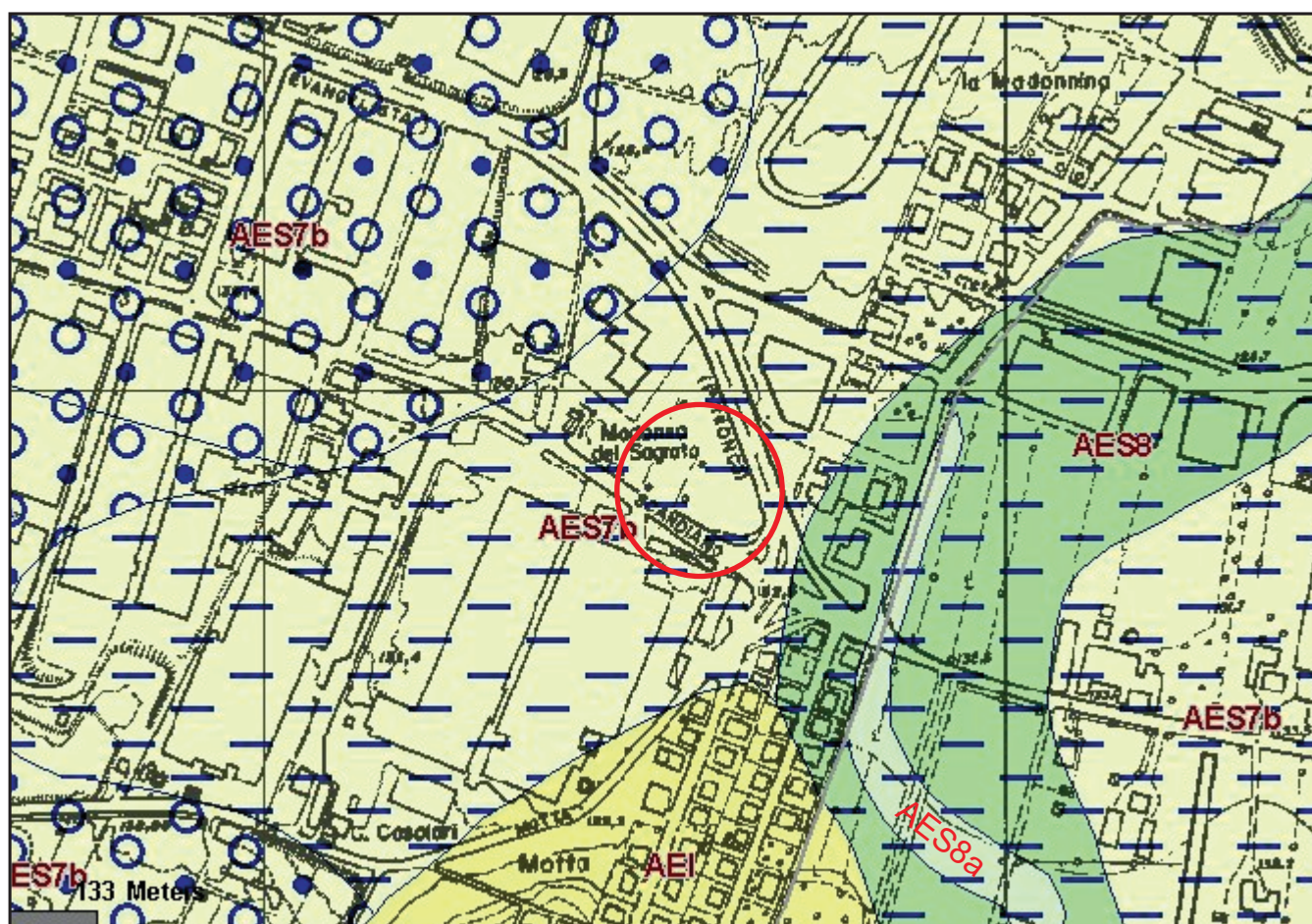
Tav. n. 3 “Ripresa satellitare generale dell’area di interesse”

(tratta da Google earth)

Scala grafica



area di interesse

**Tav. n. 4: "Carta geologica"**

Scala 1: 5.000



 Area di interesse

**AES8 – Subsistema di Ravenna:**

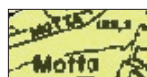
Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. (Olocene)

**AES8a - Unità ' di Modena:**

Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. (Post-VI secolo d.C.)

**AES7b- Unità di Vignola:**

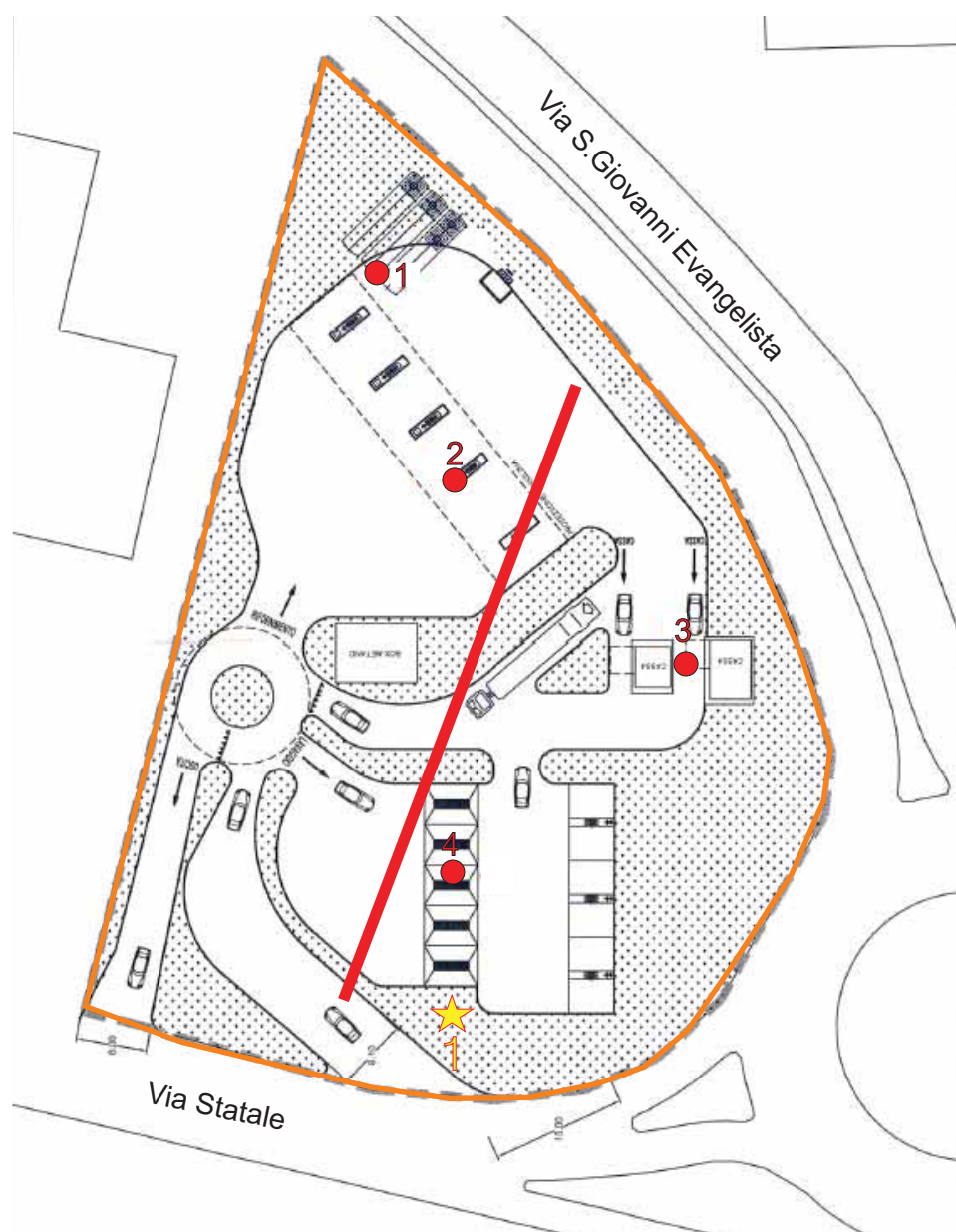
Ghiaie con matrice limo-sabbiosa, passanti a limi e limi sabbiosi. Deposito fluviale intravallivo. Copertura colluviale limosa e argillosa alla base dei versanti. (Pleistocene superiore–Olocene basale)

**AEI - SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE:**

Limi prevalenti (ghiaie prevalenti nelle aree poste presso il fiume Secchia); contatto inferiore in discontinuità su CMZ e su FAA attraverso una superficie di discontinuità di importanza regionale. (Pleistocene medio?)

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



Tav. n. 5 “Ubicazione indagini geognostiche”

Scala grafica

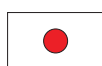
Legenda



Lotto oggetto di studio



Indagine sismica HVSR
(ANNO 2012)



Prove penetrometriche
CPT (ANNO 2012)



Indagine secondo dispersione di
onde superficiali (MASW) (ANNO 2013)

ALLEGATO N° 1

***Prove penetrometriche statiche CPT
corredate d'interpretazione
geotecnica***



LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:

Pagani TG63-100 -

Caratteristiche:

- punta conica meccanica $\varnothing 35.7$ mm, area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura: $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ($\varnothing = 35.7$ mm - $h = 133$ mm - $A_m = 150 \text{ cm}^2$)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm/sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta: $q_c \text{ (MPa)} = (L_1) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale: $f_s \text{ (kPa)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale: $R_t \text{ (kPa)} = (L_t) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l'infissione della sola punta (fase 1)
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- Terza lettura = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta $S \text{ (Kg)}$, corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione CT .

N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale f_s viene computata 20 cm sopra la punta.

CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N $\approx 100 \text{ kg} = 0,1 \text{ t}$

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N $\approx 100 \text{ t}$

1 kPa (kiloPascal) = $1 \text{ kN/m}^2 = 0,001 \text{ MN/m}^2 = 0,001 \text{ MPa} \approx 0,1 \text{ t/m}^2 = 0,01 \text{ kg/cm}^2$

1 MPa (megaPascal) = $1 \text{ MN/m}^2 = 1.000 \text{ kN/m}^2 = 1000 \text{ kPa} \approx 100 \text{ t/m}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$

$1 \text{ kg/cm}^2 \approx 10 \text{ t/m}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MN/m}^2 = 0,1 \text{ MPa}$

$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg} \approx 10 \text{ kN}$



LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

Valutazioni in base al rapporto: $F = (q_c / f_s)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 1470 \text{ kPa}$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$1470 \text{ kPa} < F \leq 2940 \text{ kPa}$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$2940 \text{ kPa} < F \leq 5880 \text{ kPa}$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 5880 \text{ kPa}$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978),
ricavabili in base ai valori di q_c e di $FR = (f_s / q_c) \%$:

- AO	= argilla organica e terreni misti
- Att	= argilla (inorganica) molto tenera
- At	= argilla (inorganica) tenera
- Am	= argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac	= argilla (inorganica) consistente
- Acc	= argilla (inorganica) molto consistente
- ASL	= argilla sabbiosa e limosa
- SAL	= sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss	= sabbia sciolta
- Sm	= sabbia mediamente addensata
- Sd	= sabbia densa o cementata
- SC	= sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

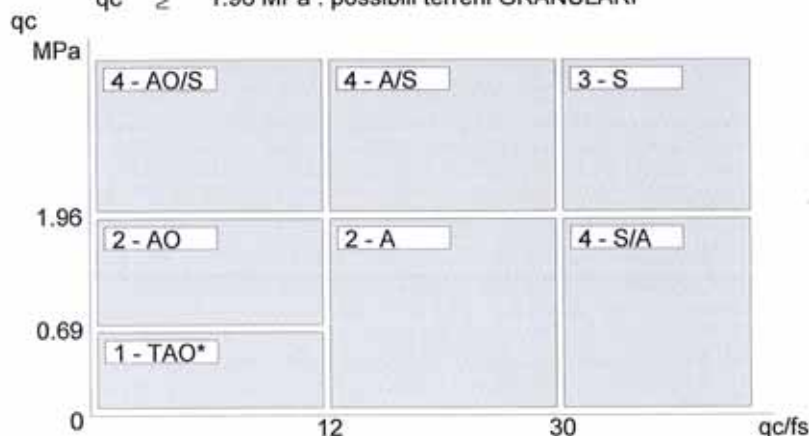


LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto qc / fs (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$qc \leq 1.96 \text{ MPa}$: possibili terreni COESIVI
 $qc \geq 1.96 \text{ MPa}$: possibili terreni GRANULARI

anche se $(qc / fs) > 30$
 anche se $(qc / fs) < 30$



NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIM.
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : $\gamma' - qc - natura$]
(Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : $C_u - qc$]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : $OCR - C_u - \sigma'_{vo}$]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- E_u = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. : $E_u - C_u - OCR - I_p$ I_p = ind.plast.]
 $E_{u50} - E_{u25}$ corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : $E' - qc$]
 $E'_{50} - E'_{25}$ corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)
- M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : $M_o - qc - natura$]
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- D_r = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : $D_r - R_p - \sigma'_{vo}$ (Schmertmann 1976)]
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : $\phi' - D_r - qc - \sigma'_{vo}$]
 - $\phi'_{Ca} - Caquot$ (1948) $\phi'_{Ko} - Koppejan$ (1948)
 - $\phi'_{DB} - De Beer$ (1965) $\phi'_{Sc} - Schmertmann$ (1978)
 - $\phi'_{DM} - Durgunoglu \& Mitchell$ (1975) (sabbie N.C.) $\phi'_{Me} - Meyerhof$ (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : $(A_{max}/g) - D_r$]
- V_s = velocità di propagazione delle onde sismiche (Iyisan 1996)



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

riferimento

certificato n°

1**123-2012**

5048

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Realizzazione distributore carburanti**
Località: **Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista**

U.M.: **MPa** Data esec.: **29/02/2012**
Pagina: **1/4** Data certificato: **01/03/2012**
Elaborato: Falda: **Non rilevata**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.00	0.00		0.00	0.00										
0.40	0.00	0.00		0.00	33.00	0									
0.60	10.00	15.00		0.98	53.00	19	5.3								
0.80	13.00	21.00		1.27	107.00	12	8.2								
1.00	22.00	38.00		2.16	93.00	24	4.2								
1.20	25.00	39.00		2.45	73.00	34	2.9								
1.40	30.00	41.00		2.94	107.00	28	3.6								
1.60	26.00	42.00		2.55	107.00	24	4.1								
1.80	22.00	38.00		2.16	107.00	21	4.9								
2.00	26.00	42.00		2.55	113.00	23	4.3								
2.20	25.00	42.00		2.45	120.00	21	4.8								
2.40	22.00	40.00		2.16	93.00	24	4.2								
2.60	26.00	40.00		2.55	40.00	65	1.5								
2.80	30.00	36.00		2.94	120.00	25	4.0								
3.00	28.00	46.00		2.74	107.00	26	3.8								
3.20	23.00	39.00		2.25	153.00	15	6.7								
3.40	25.00	48.00		2.45	113.00	22	4.5								
3.60	28.00	45.00		2.74	120.00	23	4.3								
3.80	32.00	50.00		3.14	140.00	23	4.4								
4.00	32.00	53.00		3.14	133.00	24	4.2								
4.20	44.00	64.00		4.31	140.00	31	3.2								
4.40	45.00	66.00		4.41	147.00	31	3.3								
4.60	45.00	67.00		4.41	140.00	32	3.1								
4.80	53.00	74.00		5.19	207.00	26	3.9								
5.00	55.00	86.00		5.39	220.00	25	4.0								
5.20	42.00	75.00		4.12	167.00	25	4.0								
5.40	44.00	69.00		4.31	180.00	24	4.1								
5.60	47.00	74.00		4.61	140.00	34	3.0								
5.80	40.00	61.00		3.92	147.00	27	3.7								
6.00	37.00	59.00		3.63	133.00	28	3.6								
6.20	39.00	59.00		3.82	207.00	19	5.3								
6.40	54.00	85.00		5.29	160.00	34	3.0								
6.60	37.00	61.00		3.63	153.00	24	4.1								
6.80	45.00	68.00		4.41	633.00	7	14.1								
7.00	90.00	185.00		8.82	873.00	10	9.7								
7.20	230.00	361.00		22.54											

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata
0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

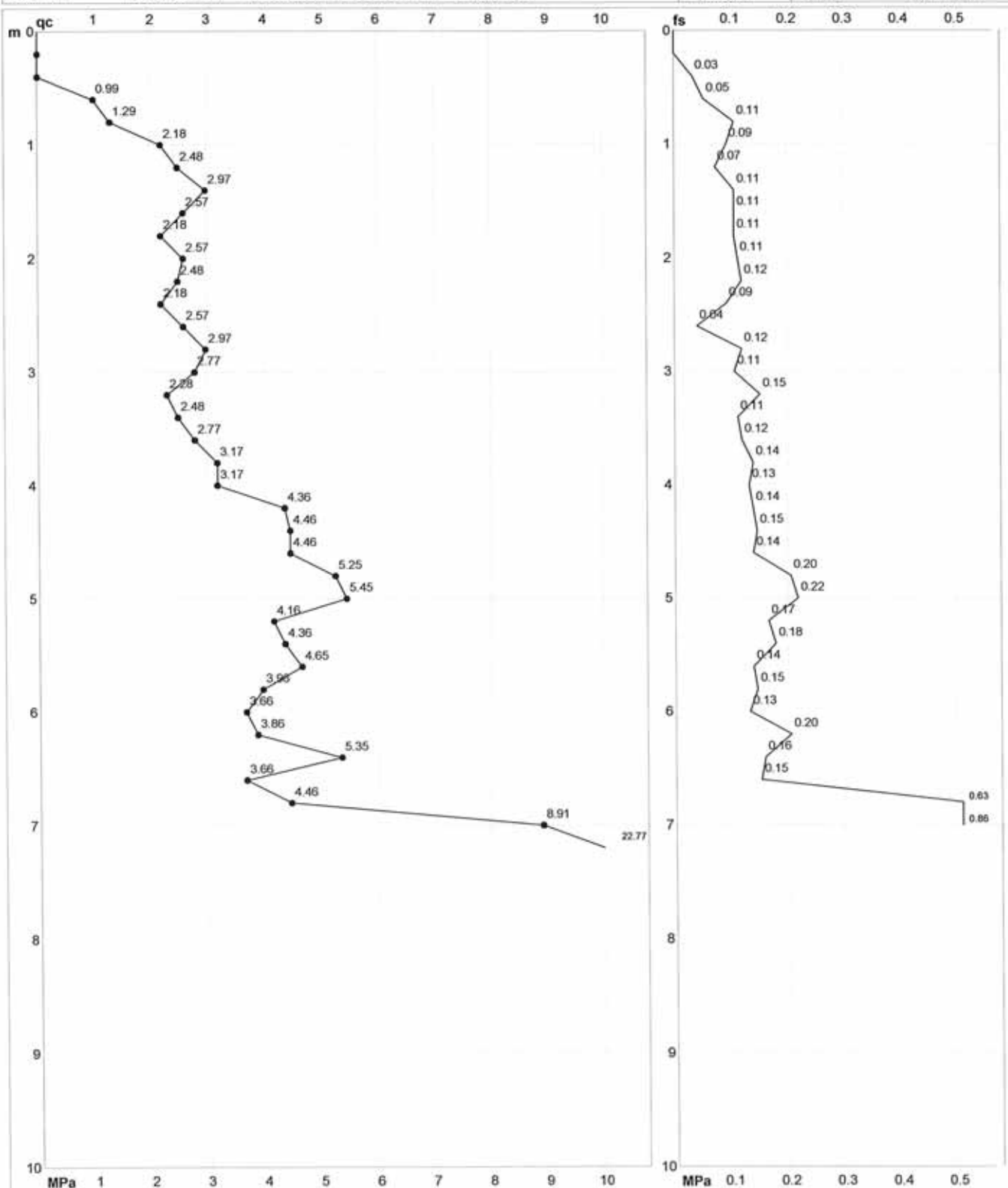


PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT	1
riferimento	123-2012
certificato n°	5048

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Realizzazione distributore carburanti**
Località: **Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:50**
Pagina: **2/4**
Elaborato:
Data esec.: **29/02/2012**
Data certificato: **01/03/2012**
Falda: **Non rilevata**



Penetrometro: **Pagani TG63-100**
Responsabile:
Assistente:

Preforo: **m**
Corr.astine: **kN/ml**
Corr.astine: **kN/ml**



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

1

riferimento

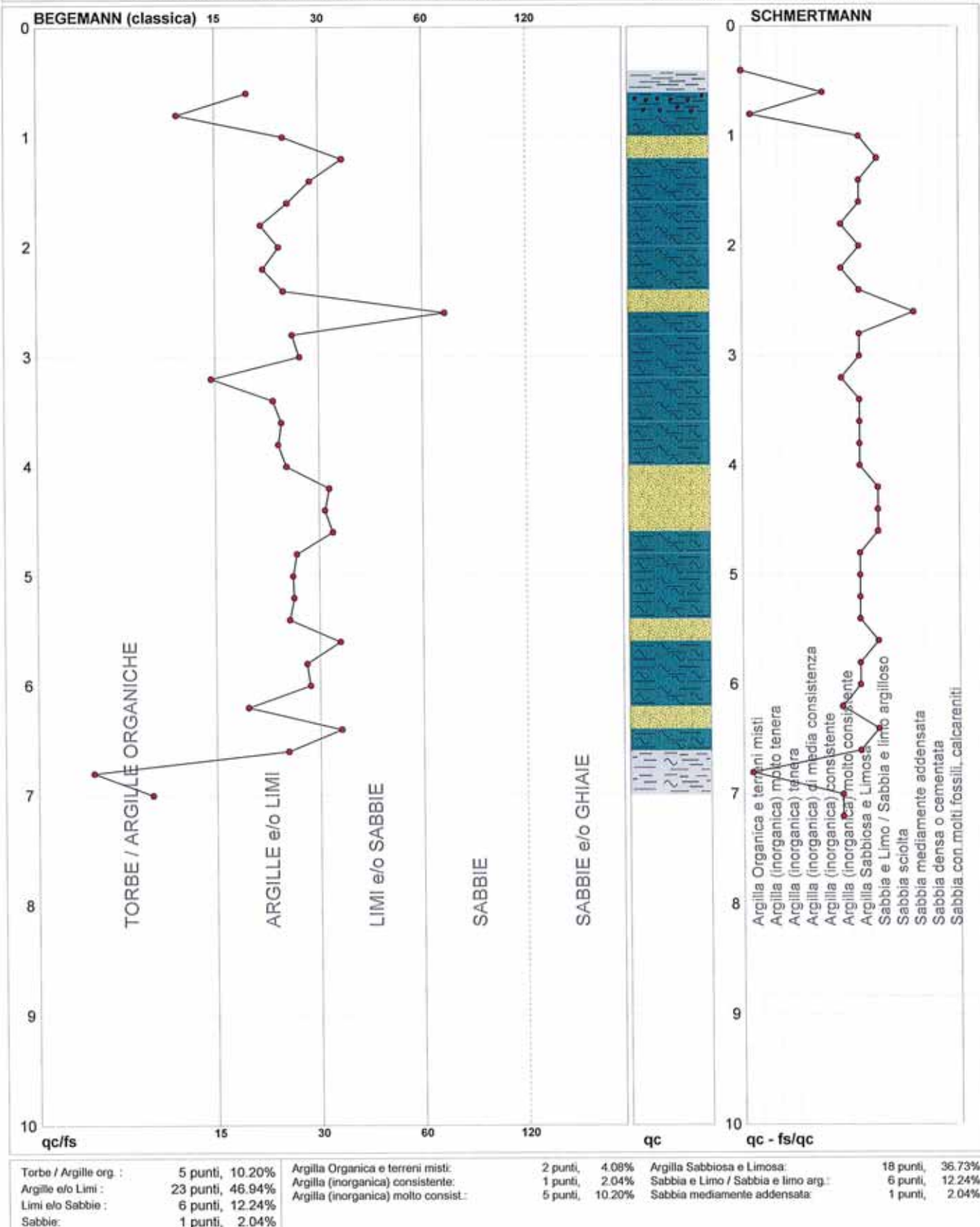
123-2012

certificato n°

5048

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Realizzazione distributore carburanti
Località: Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista

U.M.: MPa
Scala: 1:50
Pagina: 3/4
Elaborato:
Data eseg.: 29/02/2012
Data certificato: 01/03/2012
Falda: Non rilevata





PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT	1
riferimento	123-2012
certificato n°	5048

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Realizzazione distributore carburanti
Località: Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista

U.M.: MPa Data eseg.: 29/02/2012
Pagina: 4/4 Data certificato: 01/03/2012
Elaborato: Falda: Non rilevata

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ^* t/m³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	σ_{Sc} (°)	σ_{Ca} (°)	σ_{Ko} (°)	σ_{DB} (°)	σ_{DM} (°)	σ_{Me} (°)							
0.20	—	—	—	1.85	3.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.40	—	—	—	1.85	7.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.60	0.98	18.87	—	1.90	11.0	132	49.0	40.7	8.3	12.5	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.80	1.27	12.15	—	1.93	14.8	145	59.3	35.7	10.1	15.1	4.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.00	2.16	23.66	—	1.93	18.6	177	82.9	40.8	14.1	21.1	6.5	61	43	33	31	29	38	28	—	—	—	3.6	5.4	6.5	
1.20	2.45	34.25	—	1.86	22.2	186	—	—	—	—	—	61	43	33	30	28	38	28	—	—	—	4.1	6.1	7.4	
1.40	2.94	28.04	—	1.96	26.0	199	98.0	32.9	16.7	25.0	8.8	63	43	33	30	28	38	29	—	—	—	4.9	7.4	8.8	
1.60	2.55	24.30	—	1.95	29.9	189	91.0	25.3	15.5	23.2	7.6	55	42	32	29	27	36	28	—	—	—	4.2	6.4	7.6	
1.80	2.16	20.56	—	1.93	33.6	177	82.9	19.4	14.1	21.1	6.5	46	42	30	27	26	34	28	—	—	—	3.6	5.4	6.5	
2.00	2.55	23.01	—	1.95	37.5	189	91.0	19.0	15.5	23.2	7.6	49	42	31	28	26	35	28	—	—	—	4.2	6.4	7.6	
2.20	2.45	20.83	—	1.94	41.3	186	89.1	16.4	15.1	22.7	7.4	45	42	30	27	25	34	28	—	—	—	4.1	6.1	7.4	
2.40	2.16	23.66	—	1.93	45.1	177	82.9	13.5	14.1	21.1	6.5	39	41	29	26	24	33	28	—	—	—	3.6	5.4	6.5	
2.60	2.55	65.00	—	1.87	48.7	189	—	—	—	—	—	43	41	29	26	25	33	28	—	—	—	4.2	6.4	7.6	
2.80	2.94	25.00	—	1.96	52.6	199	98.0	13.7	16.7	25.0	8.8	46	42	30	27	25	34	29	—	—	—	4.9	7.4	8.8	
3.00	2.74	26.17	—	1.96	56.4	194	94.6	12.0	16.1	24.1	8.2	42	41	29	26	24	33	28	—	—	—	4.6	6.9	8.2	
3.20	2.25	15.03	—	1.94	60.2	180	85.1	9.7	14.6	21.8	6.8	33	41	28	25	23	31	28	—	—	—	3.8	5.6	6.8	
3.40	2.45	22.12	—	1.94	64.0	186	89.1	9.5	15.4	23.0	7.4	35	41	28	25	23	32	28	—	—	—	4.1	6.1	7.4	
3.60	2.74	23.33	—	1.96	67.8	194	94.6	9.5	16.3	24.4	8.2	37	41	28	25	24	32	28	—	—	—	4.6	6.9	8.2	
3.80	3.14	22.86	—	1.97	71.7	204	104.5	10.1	17.8	26.7	9.4	40	41	29	25	24	32	29	—	—	—	5.2	7.8	9.4	
4.00	3.14	24.06	—	1.97	75.5	204	104.5	9.4	18.1	27.1	9.4	39	41	28	25	24	32	29	—	—	—	5.2	7.8	9.4	
4.20	4.31	31.43	—	1.91	79.3	230	—	—	—	—	—	49	42	30	27	25	34	31	—	—	—	7.2	10.8	12.9	
4.40	4.41	30.61	—	1.91	83.0	232	—	—	—	—	—	49	42	30	26	25	33	31	—	—	—	7.4	11.0	13.2	
4.60	4.41	32.14	—	1.91	86.8	232	—	—	—	—	—	48	42	29	26	25	33	31	—	—	—	7.4	11.0	13.2	
4.80	5.19	25.60	—	2.01	90.7	247	173.1	14.1	29.4	44.1	15.6	52	42	30	27	25	34	31	—	—	—	8.7	13.0	15.6	
5.00	5.39	25.00	—	2.01	94.7	251	179.7	14.0	30.5	45.8	16.2	52	42	30	27	25	34	31	—	—	—	9.0	13.5	16.2	
5.20	4.12	25.15	—	2.00	98.6	226	137.2	9.5	23.7	35.5	12.3	42	41	28	25	24	32	30	—	—	—	6.9	10.3	12.3	
5.40	4.31	24.44	—	2.00	102.5	230	143.7	9.6	24.7	37.0	12.9	43	41	28	25	24	32	31	—	—	—	7.2	10.8	12.9	
5.60	4.61	33.57	—	1.91	106.3	236	—	—	—	—	—	44	42	28	25	24	32	31	—	—	—	7.7	11.5	13.8	
5.80	3.92	27.21	—	2.00	110.2	222	130.7	7.8	26.7	40.0	11.8	38	41	28	24	23	31	30	—	—	—	6.5	9.8	11.8	
6.00	3.63	27.82	—	1.99	114.1	216	120.9	6.7	29.0	43.5	10.9	34	41	27	24	22	31	30	—	—	—	6.0	9.1	10.9	
6.20	3.62	18.84	—	2.00	118.0	220	127.4	6.9	29.7	44.6	11.5	35	41	27	24	22	31	30	—	—	—	6.4	9.6	11.5	
6.40	5.29	33.75	—	1.92	121.8	249	—	—	—	—	—	46	42	29	25	24	32	31	—	—	—	8.8	13.2	15.9	
6.60	3.63	24.18	—	1.99	125.7	216	120.9	6.0	33.3	49.9	10.9	32	41	26	23	22	30	30	—	—	—	6.0	9.1	10.9	
6.80	4.41	7.11	—	2.00	129.6	232	147.0	7.4	31.9	47.9	13.2	38	41	27	24	23	31	31	—	—	—	7.4	11.0	13.2	
7.00	6.82	10.31	—	2.04	133.6	302	294.0	16.8	50.0	75.0	26.5	61	43	31	28	26	35	33	—	—	—	14.7	22.1	26.5	
7.20	22.54	—	—	2.15	137.8	430	—	—	—	—	—	92	45	35	32	30	39	39	—	—	—	37.6	56.4	67.6	



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT	2
riferimento	123-2012
certificato n°	5049

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Realizzazione distributore carburanti
Località: Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista

U.M.: MPa Data eseg.: 29/02/2012
Pagina: 1/4 Data certificato: 01/03/2012
Elaborato: Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.00	0.00		0.00	47.00	0									
0.40	7.00	14.00		0.69	60.00	12	8.6								
0.60	9.00	18.00		0.88	67.00	13	7.4								
0.80	18.00	28.00		1.76	153.00	12	8.5								
1.00	23.00	46.00		2.25	167.00	14	7.3								
1.20	28.00	53.00		2.74	133.00	21	4.8								
1.40	30.00	50.00		2.94	127.00	24	4.2								
1.60	29.00	48.00		2.84	153.00	19	5.3								
1.80	35.00	58.00		3.43	200.00	18	5.7								
2.00	40.00	70.00		3.92	120.00	33	3.0								
2.20	24.00	42.00		2.35	133.00	18	5.5								
2.40	23.00	43.00		2.25	93.00	25	4.0								
2.60	24.00	38.00		2.35	93.00	26	3.9								
2.80	22.00	36.00		2.16	100.00	22	4.5								
3.00	22.00	37.00		2.16	153.00	14	7.0								
3.20	34.00	57.00		3.33	180.00	19	5.3								
3.40	34.00	61.00		3.33	160.00	21	4.7								
3.60	34.00	58.00		3.33	173.00	20	5.1								
3.80	31.00	57.00		3.04	133.00	23	4.3								
4.00	37.00	57.00		3.63	187.00	20	5.1								
4.20	33.00	61.00		3.23	193.00	17	5.8								
4.40	45.00	74.00		4.41	220.00	20	4.9								
4.60	53.00	86.00		5.19	200.00	27	3.8								
4.80	52.00	82.00		5.10	200.00	26	3.8								
5.00	58.00	88.00		5.68	247.00	23	4.3								
5.20	61.00	98.00		5.98	260.00	23	4.3								
5.40	51.00	90.00		5.00	280.00	18	5.5								
5.60	52.00	94.00		5.10	207.00	25	4.0								
5.80	43.00	74.00		4.21	167.00	26	3.9								
6.00	59.00	84.00		5.78	233.00	25	3.9								
6.20	51.00	86.00		5.00	180.00	28	3.5								
6.40	29.00	56.00		2.84	93.00	31	3.2								
6.60	49.00	63.00		4.80	93.00	53	1.9								
6.80	19.00	33.00		1.86	80.00	24	4.2								
7.00	16.00	28.00		1.57	113.00	14	7.1								
7.20	24.00	41.00		2.35	133.00	18	5.5								
7.40	150.00	170.00		14.70	200.00	75	1.3								
7.60	200.00	230.00		19.60											

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata
0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

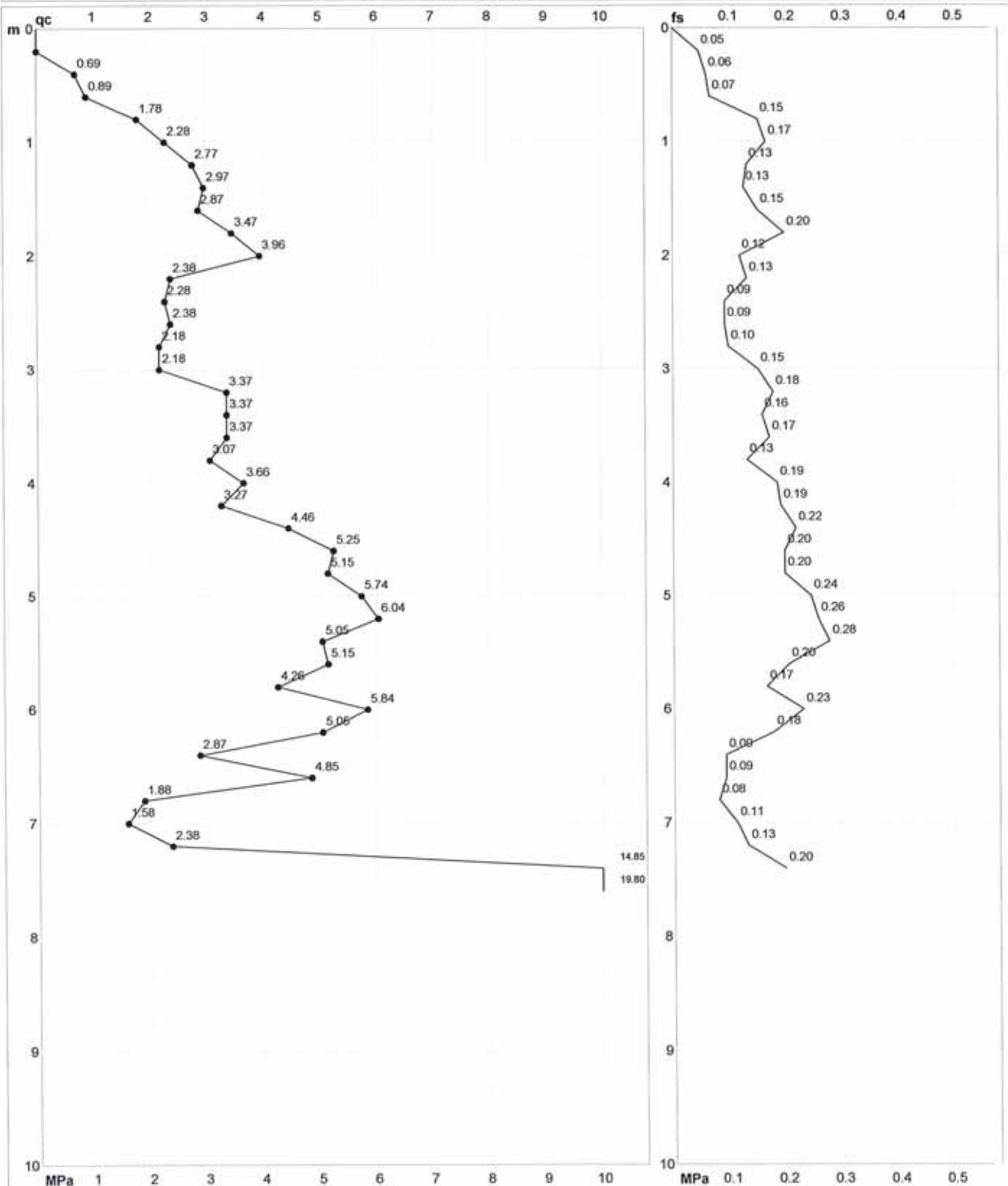


PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT	2
riferimento	123-2012
certificato n°	5049

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Realizzazione distributore carburanti**
Località: **Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista**

U.M.: **MPa** Data esec.: **29/02/2012**
Scala: **1:50**
Pagina: **2/4** Data controllo: **01/03/2012**
Elaborato: Falda: **Non rilevata**



Penetrometro: **Pagani TG63-100**
Responsabile:
Assistente:

Preforo: **m**
Corr.astine: **kN/ml**
Corr.astine: **kN/ml**



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

2

referimento

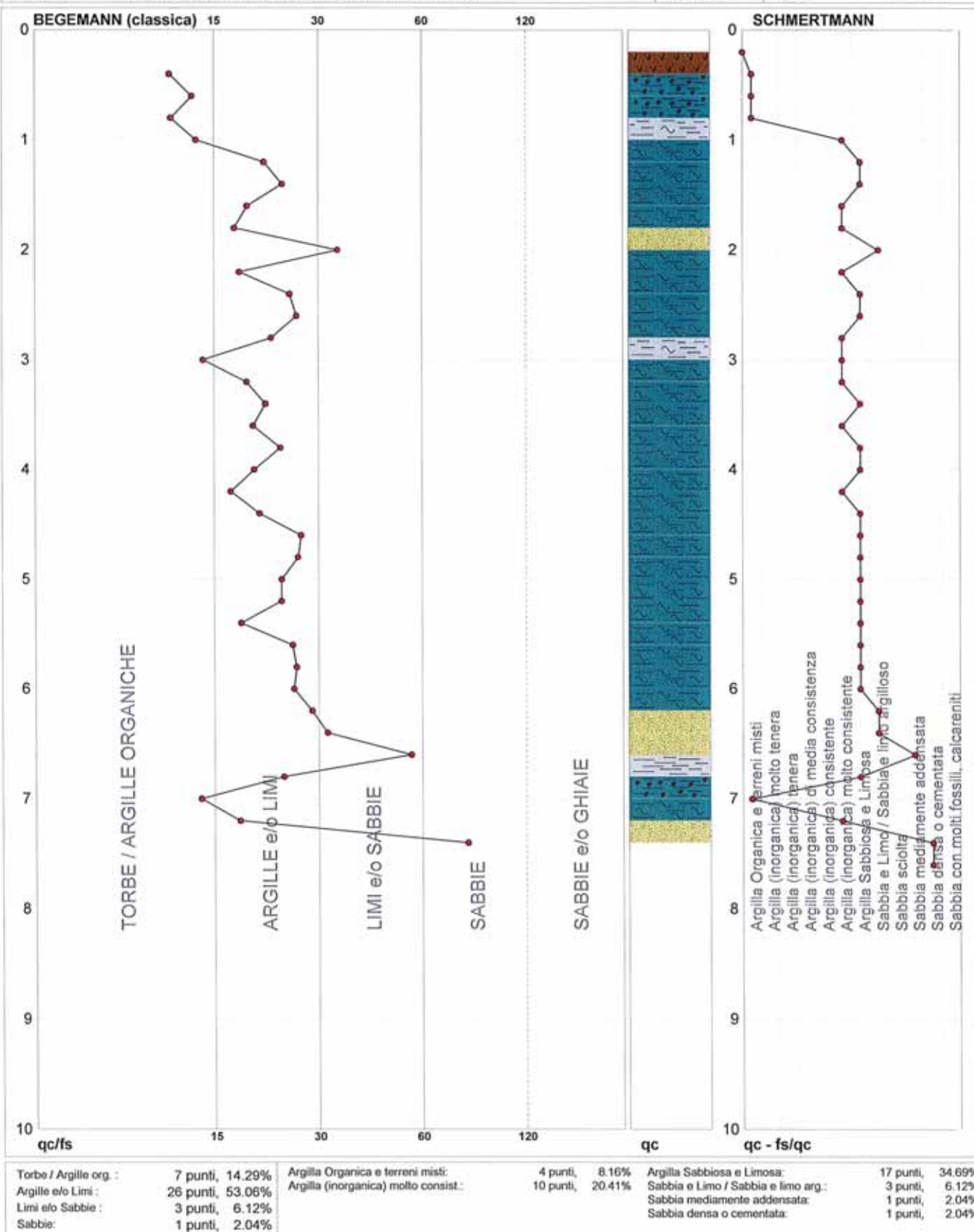
123-2012

certificato n°

5049

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Realizzazione distributore carburanti
Località: Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista

U.M.: MPa
Scala: 1:50
Pagina: 3/4
Elaborato:
Data eseg.: 29/02/2012
Data certificato: 01/03/2012
Falda: Non rilevata





PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT	2
riferimento	123-2012
certificato n°	5049

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Realizzazione distributore carburanti
Località: Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista

U.M.: MPa Data eseg.: 29/02/2012
Pagina: 4/4 Data certificato: 01/03/2012
Elaborato: Falda: Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' U/m³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	σ_{Sc} (°)	σ_{Ca} (°)	σ_{Ko} (°)	σ_{DB} (°)	σ_{DM} (°)	σ_{Me} (°)	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	
0.20	—	—		1.85	3.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0.40	0.69	11.67		1.46	6.5	115	34.3	50.3	1.4	2.1	1.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0.60	0.88	13.43		1.88	10.2	127	44.1	39.3	7.5	11.2	3.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0.80	1.76	11.76		1.98	14.1	164	73.5	49.7	12.5	18.7	5.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1.00	2.25	13.77		1.94	17.8	180	85.1	44.2	14.5	21.7	6.8	63	43	34	31	29	38	28	—	3.8	5.6	6.8	
1.20	2.74	21.05		1.96	21.7	194	94.6	39.6	16.1	24.1	8.2	65	43	34	31	29	38	28	—	4.6	6.9	8.2	
1.40	2.94	23.62		1.96	25.5	199	98.0	33.8	16.7	25.0	8.8	63	43	33	30	28	38	29	—	4.9	7.4	8.8	
1.60	2.84	18.95		1.96	29.4	197	96.3	27.7	16.4	24.6	8.5	59	43	32	30	26	37	29	—	4.7	7.1	8.5	
1.80	3.43	17.50		1.98	33.2	211	114.3	29.4	19.4	29.2	10.3	62	43	33	30	28	37	29	—	5.7	8.6	10.3	
2.00	3.92	33.33		1.90	37.0	222	—	—	—	—	—	64	43	33	30	28	37	30	—	6.5	9.8	11.8	
2.20	2.35	18.05		1.94	40.8	183	87.1	16.2	14.8	22.2	7.1	44	42	30	27	25	34	28	—	3.9	5.9	7.1	
2.40	2.25	24.73		1.94	44.6	180	85.1	14.1	14.5	21.7	6.8	41	41	29	26	25	33	28	—	3.8	5.6	6.8	
2.60	2.35	25.81		1.94	48.4	183	87.1	13.1	14.8	22.2	7.1	40	41	29	26	24	33	28	—	3.9	5.9	7.1	
2.80	2.16	22.00		1.93	52.2	177	82.9	11.2	14.1	21.1	6.5	35	41	28	25	24	32	28	—	3.6	5.4	6.5	
3.00	2.16	14.38		1.93	55.9	177	82.9	10.3	14.1	21.1	6.5	34	41	28	25	23	32	28	—	3.6	5.4	6.5	
3.20	3.33	18.89		1.98	59.8	209	111.1	13.6	18.9	28.3	10.0	47	42	30	27	25	34	29	—	5.6	8.3	10.0	
3.40	3.33	21.25		1.98	63.7	209	111.1	12.6	18.9	28.3	10.0	45	42	29	26	25	33	29	—	5.6	8.3	10.0	
3.60	3.33	19.65		1.98	67.6	209	111.1	11.7	18.9	28.3	10.0	44	42	29	26	24	33	29	—	5.6	8.3	10.0	
3.80	3.04	23.31		1.97	71.4	202	101.3	9.7	17.3	26.0	9.1	39	41	28	25	24	32	29	—	5.1	7.6	9.1	
4.00	3.63	19.79		1.99	75.3	216	120.9	11.3	20.5	30.8	10.9	44	42	29	26	24	33	30	—	6.0	9.1	10.9	
4.20	3.23	17.10		1.97	79.2	207	107.8	9.2	18.9	28.3	9.7	39	41	28	25	24	32	29	—	5.4	8.1	9.7	
4.40	4.41	20.45		2.00	83.1	232	147.0	12.8	25.0	37.5	13.2	49	42	29	26	25	33	31	—	7.4	11.0	13.2	
4.60	5.19	26.50		2.01	87.1	247	173.1	14.8	29.4	44.1	15.6	53	42	30	27	25	34	31	—	8.7	13.0	15.6	
4.80	5.10	26.00		2.01	91.0	245	169.9	13.7	28.9	43.3	15.3	51	42	30	27	25	34	31	—	8.5	12.7	15.3	
5.00	5.68	23.48		2.02	95.0	256	189.5	14.9	32.2	48.3	17.1	54	42	30	27	25	34	31	—	9.5	14.2	17.1	
5.20	5.98	23.46		2.02	98.9	260	199.3	15.1	33.9	50.8	17.9	55	42	30	27	25	34	32	—	10.0	14.9	17.9	
5.40	5.00	18.21		2.01	102.9	243	166.6	11.5	28.3	42.5	15.0	48	42	29	26	24	33	31	—	8.3	12.5	15.0	
5.60	5.10	25.12		2.01	106.8	245	169.9	11.2	28.9	43.3	15.3	47	42	29	26	24	33	31	—	8.5	12.7	15.3	
5.80	4.21	25.75		2.00	110.7	228	140.5	8.5	26.3	39.4	12.6	40	41	28	25	23	32	30	—	7.0	10.5	12.6	
6.00	5.78	25.32		2.02	114.7	257	192.7	12.0	32.8	49.1	17.3	50	42	29	26	25	33	32	—	9.6	14.5	17.3	
6.20	5.00	28.33		2.01	118.6	243	166.6	9.6	28.6	42.9	15.0	44	42	28	25	24	32	31	—	8.3	12.5	15.0	
6.40	2.84	31.18		1.87	122.3	197	—	—	—	—	—	24	40	25	22	21	29	29	—	4.7	7.1	8.5	
6.60	4.80	52.69		1.92	126.0	240	—	—	—	—	—	41	41	28	25	23	32	31	—	8.0	12.0	14.4	
6.80	1.86	23.75		1.99	129.9	168	76.0	3.2	36.2	54.2	5.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
7.00	1.57	14.16		1.96	133.8	157	68.2	2.7	35.2	52.8	5.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
7.20	2.35	18.05		1.94	137.6	183	87.1	3.5	38.8	58.2	7.1	15	39	24	21	19	27	28	—	3.9	5.9	7.1	
7.40	14.70	75.00		2.08	141.6	366	—	—	—	—	—	77	44	33	30	28	37	36	—	24.5	36.8	44.1	
7.60	19.60	—		2.15	145.9	408	—	—	—	—	—	86	45	34	31	29	38	38	—	32.7	49.0	58.8	



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT	3
riferimento	123-2012
certificato n°	5050

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Realizzazione distributore carburanti
Località: Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista

U.M.: MPa Data eseg.: 29/02/2012
Pagina: 1/4 Data certificato: 01/03/2012
Elaborato: Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.00	0.00		0.00	0.00										
0.40	0.00	0.00		0.00	107.00	0									
0.60	10.00	26.00		0.98	100.00	10	10.0								
0.80	7.00	22.00		0.69	113.00	6	16.1								
1.00	14.00	31.00		1.37	127.00	11	9.1								
1.20	22.00	41.00		2.16	207.00	11	9.4								
1.40	28.00	59.00		2.74	187.00	15	6.7								
1.60	36.00	64.00		3.53	213.00	17	5.9								
1.80	33.00	65.00		3.23	160.00	21	4.8								
2.00	33.00	57.00		3.23	207.00	16	6.3								
2.20	28.00	59.00		2.74	173.00	16	6.2								
2.40	25.00	51.00		2.45	113.00	22	4.5								
2.60	23.00	40.00		2.25	107.00	21	4.7								
2.80	23.00	39.00		2.25	80.00	29	3.5								
3.00	24.00	36.00		2.35	267.00	9	11.1								
3.20	26.00	66.00		2.55	173.00	15	6.7								
3.40	31.00	57.00		3.04	147.00	21	4.7								
3.60	34.00	56.00		3.33	153.00	22	4.5								
3.80	39.00	62.00		3.82	180.00	22	4.6								
4.00	30.00	57.00		2.94	27.00	111	0.9								
4.20	38.00	42.00		3.72	147.00	26	3.9								
4.40	35.00	57.00		3.43	113.00	31	3.2								
4.60	46.00	63.00		4.51	80.00	58	1.7								
4.80	55.00	67.00		5.39	193.00	28	3.5								
5.00	49.00	78.00		4.80	193.00	25	3.9								
5.20	56.00	85.00		5.49	233.00	24	4.2								
5.40	51.00	86.00		5.00	200.00	26	3.9								
5.60	45.00	75.00		4.41	173.00	26	3.8								
5.80	54.00	80.00		5.29	220.00	25	4.1								
6.00	54.00	87.00		5.29	240.00	23	4.4								
6.20	49.00	85.00		4.80	173.00	28	3.5								
6.40	42.00	68.00		4.12	273.00	15	6.5								
6.60	34.00	75.00		3.33	73.00	47	2.1								
6.80	159.00	170.00		15.58	180.00	88	1.1								
7.00	69.00	96.00		6.76	173.00	40	2.5								
7.20	95.00	121.00		9.31	267.00	36	2.8								
7.40	180.00	220.00		17.64	720.00	25	4.0								
7.60	162.00	270.00		15.88	433.00	37	2.7								
7.80	255.00	320.00		24.99											

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata
0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT

3

riferimento

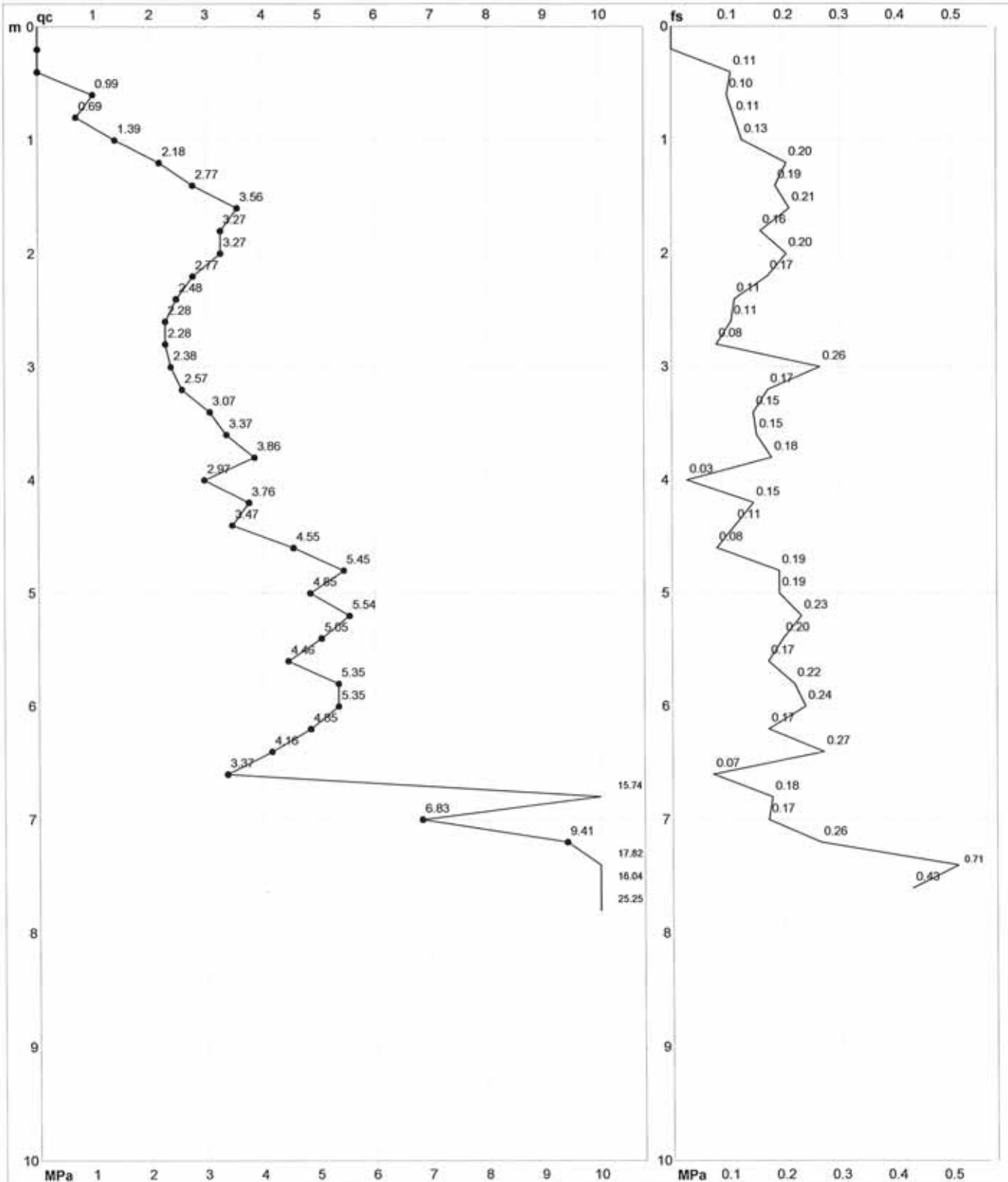
123-2012

certificato n°

5050

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Realizzazione distributore carburanti**
Località: **Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista**

U.M.: **MPa** Data eseg.: **29/02/2012**
Scala: **1:50**
Pagina: **2/4** Data certificato: **01/03/2012**
Elaborato: Falda: **Non rilevata**



Penetrometro: **Pagani TG63-100**
Responsabile:
Assistente:

Preforo: **m**
Corr.astine: **kN/ml**
Corr.astine: **kN/ml**



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

3

referimento

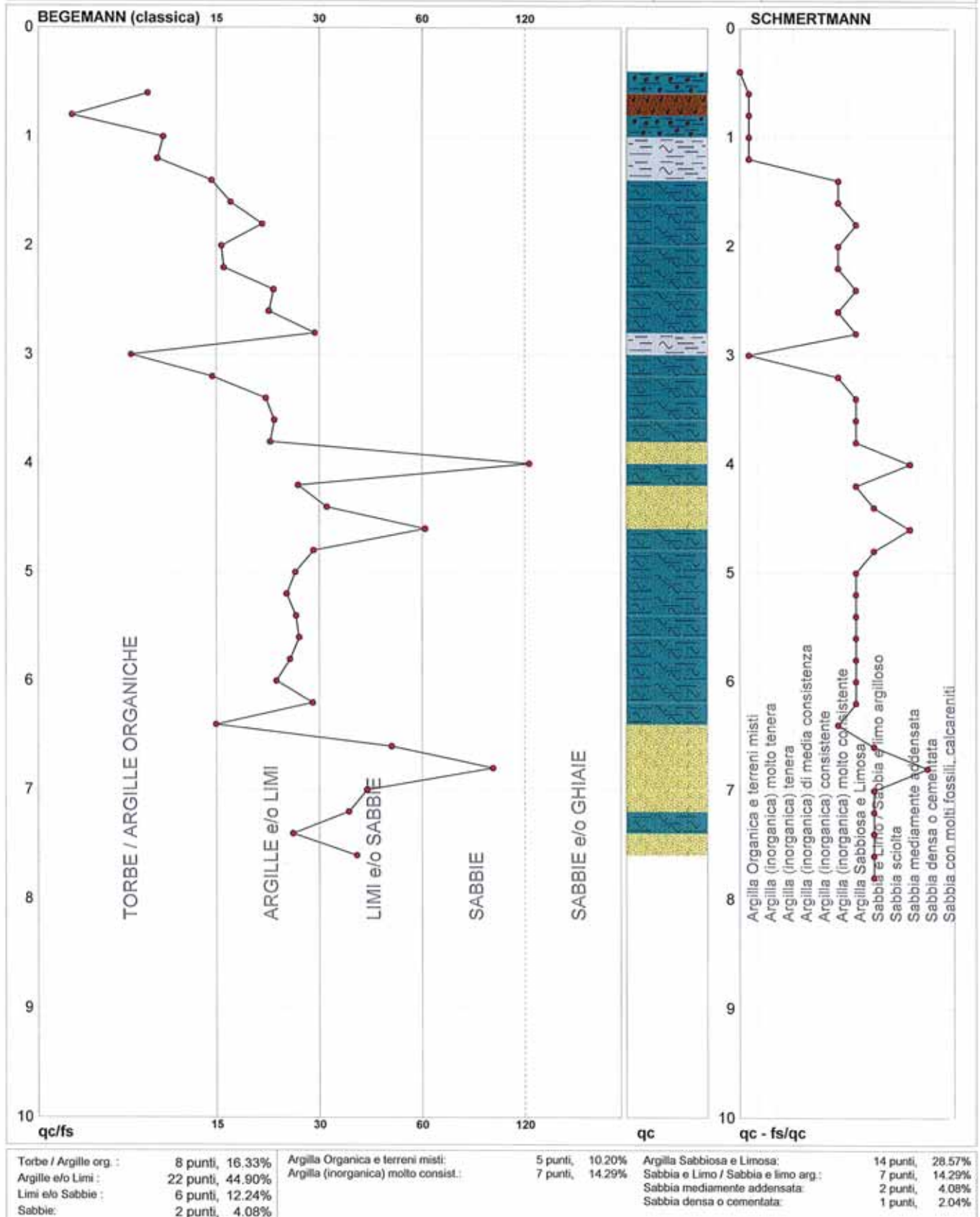
123-2012

certificato n°

5050

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Realizzazione distributore carburanti
Località: Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista

U.M.: MPa
Scala: 1:50
Pagina: 3/4
Elaborato:
Data esec.: 29/02/2012
Data certificato: 01/03/2012
Falda: Non rilevata





PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT**3**

riferimento

123-2012

certificato n°

5050

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Realizzazione distributore carburanti
Località: Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista

U.M.: MPa Data esec.: 29/02/2012
Pagina: 4/4 Data certificato: 01/03/2012
Elaborato: Falda: Non rilevata

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'vo kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	σSc (°)	σCa (°)	σKo (°)	σDB (°)	σDM (°)	σMe (°)	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	
0.20	—	—	—	1.85	3.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.40	—	—	—	1.85	7.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.60	0.98	10.00	—	1.90	11.0	132	49.0	40.7	8.3	12.5	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.80	0.69	6.19	—	1.46	13.8	115	34.3	19.5	1.4	2.1	1.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.00	1.37	11.02	—	1.94	17.6	150	62.4	30.4	10.6	15.9	4.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.20	2.16	10.63	—	1.93	21.4	177	82.9	34.1	14.1	21.1	6.5	57	43	33	30	28	37	28	—	3.6	5.4	6.5	
1.40	2.74	14.97	—	1.96	25.3	194	94.6	32.7	16.1	24.1	8.2	61	43	33	30	28	37	28	—	4.6	6.9	8.2	
1.60	3.53	16.90	—	1.99	29.2	214	117.6	35.9	20.0	30.0	10.6	66	43	34	31	29	38	30	—	5.9	8.8	10.6	
1.80	3.23	20.63	—	1.97	33.0	207	107.8	27.5	18.3	27.5	9.7	60	43	33	30	28	37	29	—	5.4	8.1	9.7	
2.00	3.23	15.94	—	1.97	36.9	207	107.8	24.0	18.3	27.5	9.7	58	43	32	29	27	36	29	—	5.4	8.1	9.7	
2.20	2.74	16.19	—	1.96	40.7	194	94.6	18.0	16.1	24.1	8.2	50	42	31	28	26	35	28	—	4.6	6.9	8.2	
2.40	2.45	22.12	—	1.94	44.5	186	89.1	14.9	15.1	22.7	7.4	44	41	30	27	25	34	28	—	4.1	6.1	7.4	
2.60	2.25	21.50	—	1.94	48.3	180	85.1	12.7	14.5	21.7	6.8	39	41	29	26	24	33	28	—	3.8	5.6	6.8	
2.80	2.25	28.75	—	1.94	52.1	180	85.1	11.6	14.5	21.7	6.8	37	41	28	25	24	32	28	—	3.8	5.6	6.8	
3.00	2.35	8.99	—	1.94	55.9	183	87.1	10.9	14.8	22.2	7.1	37	41	28	25	24	32	28	—	3.9	5.9	7.1	
3.20	2.55	15.03	—	1.95	59.7	189	91.0	10.6	15.5	23.2	7.6	38	41	28	25	24	32	28	—	4.2	6.4	7.6	
3.40	3.04	21.09	—	1.97	63.6	202	101.3	11.2	17.2	25.8	9.1	42	41	29	26	24	33	29	—	5.1	7.6	9.1	
3.60	3.33	22.22	—	1.98	67.5	209	111.1	11.7	18.9	28.3	10.0	44	42	29	26	24	33	29	—	5.6	8.3	10.0	
3.80	3.82	21.67	—	2.00	71.4	220	127.4	13.0	21.7	32.5	11.5	47	42	30	26	25	33	30	—	6.4	9.6	11.5	
4.00	2.94	111.11	—	1.88	75.1	199	—	—	—	—	—	37	41	28	25	23	32	29	—	4.9	7.4	8.8	
4.20	3.72	25.85	—	1.99	79.0	218	124.1	11.1	21.1	31.7	11.2	44	42	29	26	24	33	30	—	6.2	9.3	11.2	
4.40	3.43	30.97	—	1.89	82.7	211	—	—	—	—	—	40	41	28	25	24	32	29	—	5.7	8.6	10.3	
4.60	4.51	57.50	—	1.91	86.4	234	—	—	—	—	—	48	42	29	26	25	33	31	—	7.5	11.3	13.5	
4.80	5.39	28.50	—	2.01	90.3	251	179.7	14.8	30.5	45.8	16.2	53	42	30	27	25	34	31	—	9.0	13.5	16.2	
5.00	4.80	25.39	—	2.01	94.3	240	160.1	12.2	27.2	40.8	14.4	48	42	29	26	25	33	31	—	8.0	12.0	14.4	
5.20	5.49	24.03	—	2.01	98.2	252	182.9	13.7	31.1	46.6	16.5	52	42	30	27	25	34	31	—	9.1	13.7	16.5	
5.40	5.00	25.50	—	2.01	102.2	243	166.6	11.6	28.3	42.5	15.0	48	42	29	26	24	33	31	—	8.3	12.5	15.0	
5.60	4.41	26.01	—	2.00	106.1	232	147.0	9.4	25.4	38.1	13.2	43	41	28	25	24	32	31	—	7.4	11.0	13.2	
5.80	5.29	24.55	—	2.01	110.0	249	176.4	11.3	30.0	45.0	15.9	48	42	29	26	24	33	31	—	8.8	13.2	15.9	
6.00	5.29	22.50	—	2.01	114.0	249	176.4	10.8	30.0	45.0	15.9	47	42	29	26	24	33	31	—	8.8	13.2	15.9	
6.20	4.80	28.32	—	2.01	117.9	240	160.1	9.2	28.1	42.1	14.4	43	41	28	25	24	32	31	—	8.0	12.0	14.4	
6.40	4.12	15.38	—	2.00	121.8	226	137.2	7.3	30.1	45.2	12.3	37	41	27	24	23	31	30	—	6.9	10.3	12.3	
6.60	3.33	46.58	—	1.89	125.5	209	—	—	—	—	—	29	40	26	23	22	30	29	—	5.6	8.3	10.0	
6.80	15.58	88.33	—	2.09	129.6	374	—	—	—	—	—	81	44	34	31	29	38	36	—	26.0	39.0	46.7	
7.00	6.76	39.88	—	1.95	133.4	273	—	—	—	—	—	52	42	29	26	25	33	32	—	11.3	16.9	20.3	
7.20	9.31	35.58	—	1.99	137.3	308	—	—	—	—	—	62	43	31	28	26	35	34	—	15.5	23.3	27.9	
7.40	17.64	25.00	—	2.11	141.5	392	588.0	37.3	100.0	149.9	52.9	83	45	34	31	29	38	37	—	29.4	44.1	52.9	
7.60	15.88	37.41	—	2.09	145.6	376	—	—	—	—	—	79	44	33	30	28	37	36	—	26.5	39.7	47.6	
7.80	24.99	—	—	2.15	149.8	447	—	—	—	—	—	94	46	35	32	30	39	39	—	41.7	62.5	75.0	



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT	4
riferimento	123-2012
certificato n°	5051

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Realizzazione distributore carburanti
Località: Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista

U.M.: MPa	Data esec.: 29/02/2012
Pagina: 1/4	Data certificato: 01/03/2012
Elaborato:	Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.00	0.00		0.00	0.00										
0.40	0.00	0.00		0.00	87.00	0									
0.60	12.00	25.00		1.18	120.00	10	10.0								
0.80	15.00	33.00		1.47	173.00	9	11.5								
1.00	15.00	41.00		1.47	147.00	10	9.8								
1.20	28.00	50.00		2.74	193.00	15	6.9								
1.40	36.00	65.00		3.53	167.00	22	4.6								
1.60	34.00	59.00		3.33	167.00	20	4.9								
1.80	31.00	56.00		3.04	113.00	27	3.6								
2.00	37.00	54.00		3.63	180.00	21	4.9								
2.20	31.00	58.00		3.04	133.00	23	4.3								
2.40	24.00	44.00		2.35	73.00	33	3.0								
2.60	29.00	40.00		2.84	87.00	33	3.0								
2.80	25.00	38.00		2.45	100.00	25	4.0								
3.00	26.00	41.00		2.55	120.00	22	4.6								
3.20	28.00	46.00		2.74	120.00	23	4.3								
3.40	27.00	45.00		2.65	120.00	23	4.4								
3.60	30.00	48.00		2.94	113.00	27	3.8								
3.80	32.00	49.00		3.14	120.00	27	3.8								
4.00	31.00	49.00		3.04	133.00	23	4.3								
4.20	30.00	50.00		2.94	107.00	28	3.6								
4.40	38.00	54.00		3.72	113.00	34	3.0								
4.60	48.00	65.00		4.70	153.00	31	3.2								
4.80	45.00	68.00		4.41	180.00	25	4.0								
5.00	50.00	77.00		4.90	200.00	25	4.0								
5.20	57.00	87.00		5.59	227.00	25	4.0								
5.40	52.00	86.00		5.10	193.00	27	3.7								
5.60	56.00	85.00		5.49	180.00	31	3.2								
5.80	53.00	80.00		5.19	140.00	38	2.6								
6.00	53.00	74.00		5.19	173.00	31	3.3								
6.20	38.00	64.00		3.72	173.00	22	4.6								
6.40	32.00	58.00		3.14	100.00	32	3.1								
6.60	31.00	46.00		3.04	93.00	33	3.0								
6.80	33.00	47.00		3.23	1587.00	2	48.1								
7.00	120.00	358.00		11.76	613.00	20	5.1								
7.20	298.00	390.00		29.20											

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata
0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT

riferimento

certificato n°

4

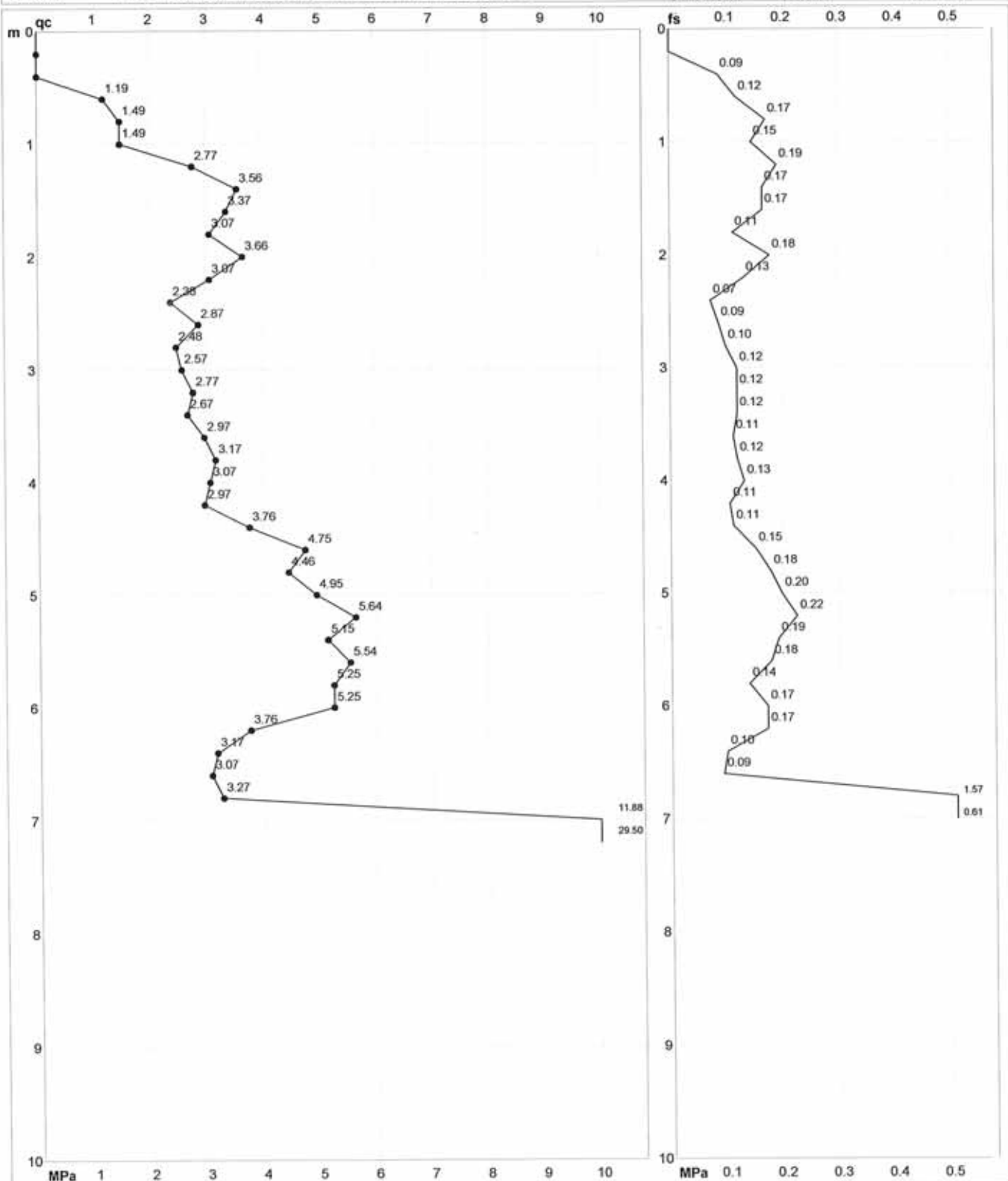
123-2012

5051

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Realizzazione distributore carburanti**
Località: **Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:50**
Pagina: **2/4**
Elaborato:

Data exec.: **29/02/2012**
Data certificato: **01/03/2012**
Falda: **Non rilevata**



Penetrometro: **Pagani TG63-100**
Responsabile:
Assistente:

Preforo: **m**
Corr.astine: **kN/ml**
Corr.astine: **kN/ml**



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

riferimento

certificato n°

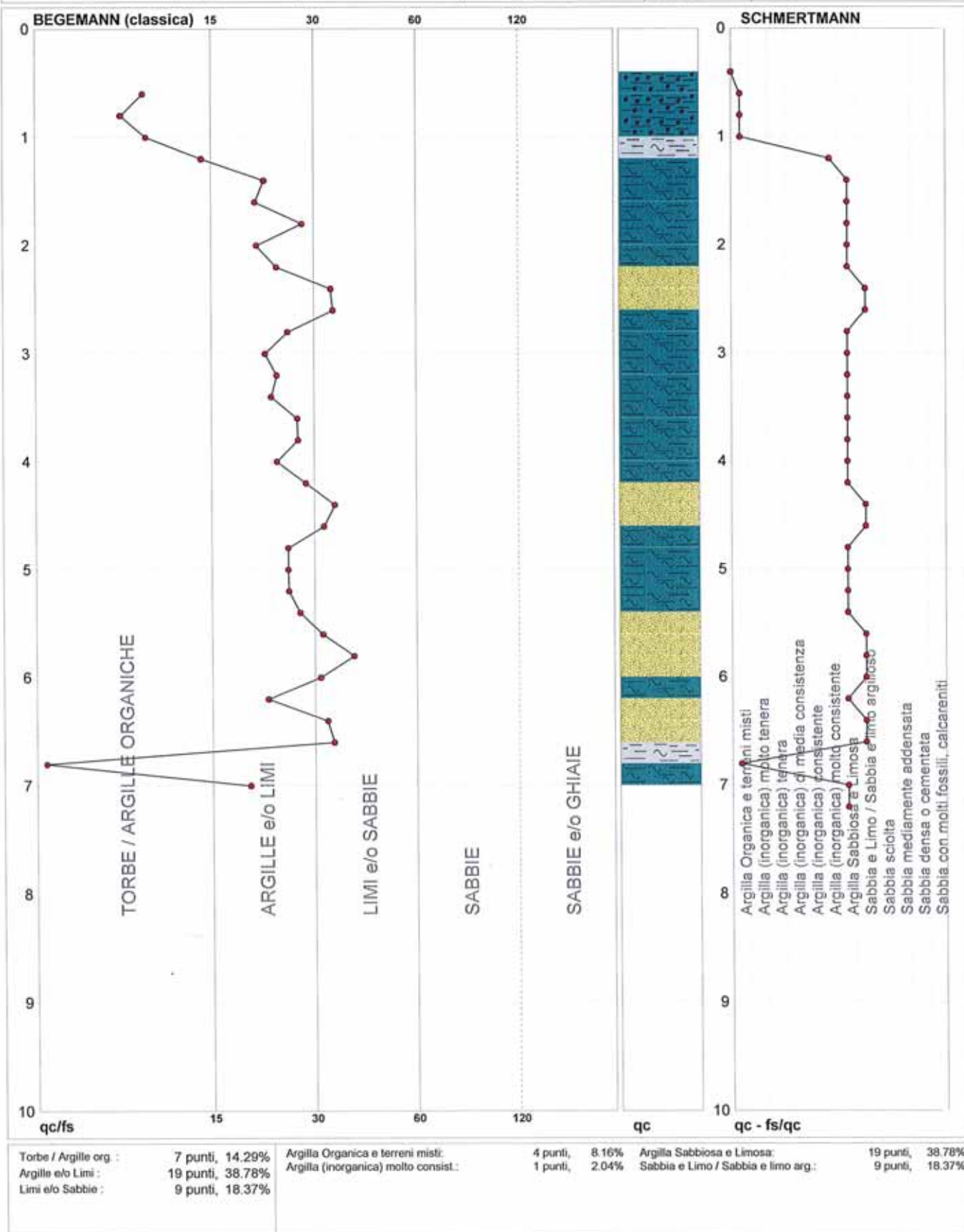
4

123-2012

5051

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Realizzazione distributore carburanti**
Località: **Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista**

U.M.: **MPa** Data esec.: **29/02/2012**
Scala: **1:50**
Pagina: **3/4** Data certificato: **01/03/2012**
Elaborato: **Falda:** Non rilevata





PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT	4
riferimento	123-2012
certificato n°	5051

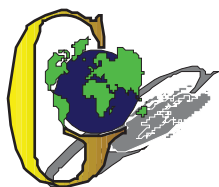
Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Realizzazione distributore carburanti**
Località: **Fiorano (MO) - Via Statale, Via S.Giovanni Evangelista**

U.M.: **MPa** Data esec.: **29/02/2012**
Pagina: **4/4** Data certificato: **01/03/2012**
Elaborato: **Falda: Non rilevata**

NATURA COESIVA													NATURA GRANULARE												
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ^* t/m³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	ϕ_{Sc} (°)	ϕ_{Ca} (°)	ϕ_{Ko} (°)	ϕ_{DB} (°)	ϕ_{DM} (°)	ϕ_{Me} (°)	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.			
0.20	--	--	--	1.85	3.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0.40	--	--	--	1.85	7.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0.60	1.18	10.00	--	1.92	11.0	141	56.0	47.9	9.5	14.3	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0.80	1.47	8.67	--	1.95	14.8	154	65.3	40.0	11.1	16.7	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1.00	1.47	10.20	--	1.95	18.7	154	65.3	30.1	11.1	16.7	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1.20	2.74	14.51	--	1.96	22.5	194	94.6	37.8	16.1	24.1	8.2	64	43	34	31	29	38	28	--	4.6	6.9	8.2	--		
1.40	3.53	21.56	--	1.99	26.4	214	117.6	40.7	20.0	30.0	10.6	69	44	34	31	29	38	30	--	5.9	8.8	10.6	--		
1.60	3.33	20.36	--	1.98	30.3	209	111.1	31.9	18.9	28.3	10.0	64	43	33	30	28	38	29	--	5.6	8.3	10.0	--		
1.80	3.04	27.43	--	1.97	34.1	202	101.3	24.5	17.2	25.8	9.1	57	43	32	29	27	36	29	--	5.1	7.6	9.1	--		
2.00	3.63	20.56	--	1.99	38.0	216	120.9	26.7	20.5	30.8	10.9	61	43	32	30	28	37	30	--	6.0	9.1	10.9	--		
2.20	3.04	23.31	--	1.97	41.9	202	101.3	18.9	17.2	25.8	9.1	52	42	31	28	26	35	29	--	5.1	7.6	9.1	--		
2.40	2.35	32.88	--	1.86	45.5	183	--	--	--	--	--	42	41	29	26	25	33	28	--	3.9	5.9	7.1	--		
2.60	2.84	33.33	--	1.87	49.2	197	--	--	--	--	--	46	42	30	27	25	34	29	--	4.7	7.1	8.5	--		
2.80	2.45	25.00	--	1.94	53.0	186	89.1	12.0	15.1	22.7	7.4	39	41	29	26	24	33	28	--	4.1	6.1	7.4	--		
3.00	2.55	21.67	--	1.95	56.8	189	91.0	11.3	15.5	23.2	7.6	39	41	29	26	24	33	28	--	4.2	6.4	7.6	--		
3.20	2.74	23.33	--	1.96	60.6	194	94.6	11.0	16.1	24.1	8.2	40	41	29	26	24	33	28	--	4.6	6.9	8.2	--		
3.40	2.65	22.50	--	1.95	64.5	192	92.8	9.9	15.8	23.7	7.9	37	41	28	25	24	32	28	--	4.4	6.6	7.9	--		
3.60	2.94	26.55	--	1.96	68.3	199	98.0	9.9	16.7	25.0	8.8	39	41	28	25	24	32	29	--	4.9	7.4	8.8	--		
3.80	3.14	26.67	--	1.97	72.2	204	104.5	10.0	17.8	26.7	9.4	40	41	29	25	24	32	29	--	5.2	7.8	9.4	--		
4.00	3.04	23.31	--	1.97	76.0	202	101.3	9.0	18.0	27.0	9.1	38	41	28	25	23	32	29	--	5.1	7.6	9.1	--		
4.20	2.94	28.04	--	1.96	79.9	199	98.0	8.1	19.1	28.7	8.8	36	41	28	25	23	31	29	--	4.9	7.4	8.8	--		
4.40	3.72	33.63	--	1.90	83.6	218	--	--	--	--	--	43	41	29	26	24	32	30	--	6.2	9.3	11.2	--		
4.60	4.70	31.37	--	1.91	87.3	238	--	--	--	--	--	50	42	30	27	25	34	31	--	7.8	11.8	14.1	--		
4.80	4.41	25.00	--	2.00	91.2	232	147.0	11.4	25.0	37.5	13.2	46	42	29	26	24	33	31	--	7.4	11.0	13.2	--		
5.00	4.90	25.00	--	2.01	95.2	242	163.3	12.3	27.8	41.7	14.7	49	42	29	26	25	33	31	--	8.2	12.3	14.7	--		
5.20	5.59	25.11	--	2.01	99.1	254	186.2	13.8	31.7	47.5	16.8	52	42	30	27	25	34	31	--	9.3	14.0	16.8	--		
5.40	5.10	26.94	--	2.01	103.1	245	169.9	11.7	28.9	43.3	15.3	48	42	29	26	24	33	31	--	8.5	12.7	15.3	--		
5.60	5.49	31.11	--	1.93	106.8	252	--	--	--	--	--	50	42	29	26	25	33	31	--	9.1	13.7	16.5	--		
5.80	5.19	37.86	--	1.92	110.6	247	--	--	--	--	--	47	42	29	26	24	33	31	--	8.7	13.0	15.6	--		
6.00	5.19	30.64	--	1.92	114.4	247	--	--	--	--	--	46	42	29	26	24	33	31	--	8.7	13.0	15.6	--		
6.20	3.72	21.97	--	1.99	118.3	218	124.1	6.7	30.2	45.3	11.2	34	41	27	24	22	31	30	--	6.2	9.3	11.2	--		
6.40	3.14	32.00	--	1.88	122.0	204	--	--	--	--	--	27	40	26	23	21	29	29	--	5.2	7.8	9.4	--		
6.60	3.04	33.33	--	1.88	125.6	202	--	--	--	--	--	26	40	26	22	21	29	29	--	5.1	7.6	9.1	--		
6.80	3.23	2.08	--	1.97	129.5	207	107.8	5.0	35.8	53.6	9.7	27	40	26	23	21	29	29	--	5.4	8.1	9.7	--		
7.00	11.76	19.58	--	2.07	133.6	336	392.0	24.1	66.6	100.0	35.3	71	44	32	29	27	36	35	--	19.6	29.4	35.3	--		
7.20	29.20	--	--	2.15	137.8	474	--	--	--	--	--	100	46	36	34	31	40	40	--	48.7	73.0	87.6	--		

ALLEGATO N° 2

***INDAGINE SISMICA SECONDO
DISPERSIONE DI ONDE DI
SUPERFICIE
(METODOLOGIA MASW)***



GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



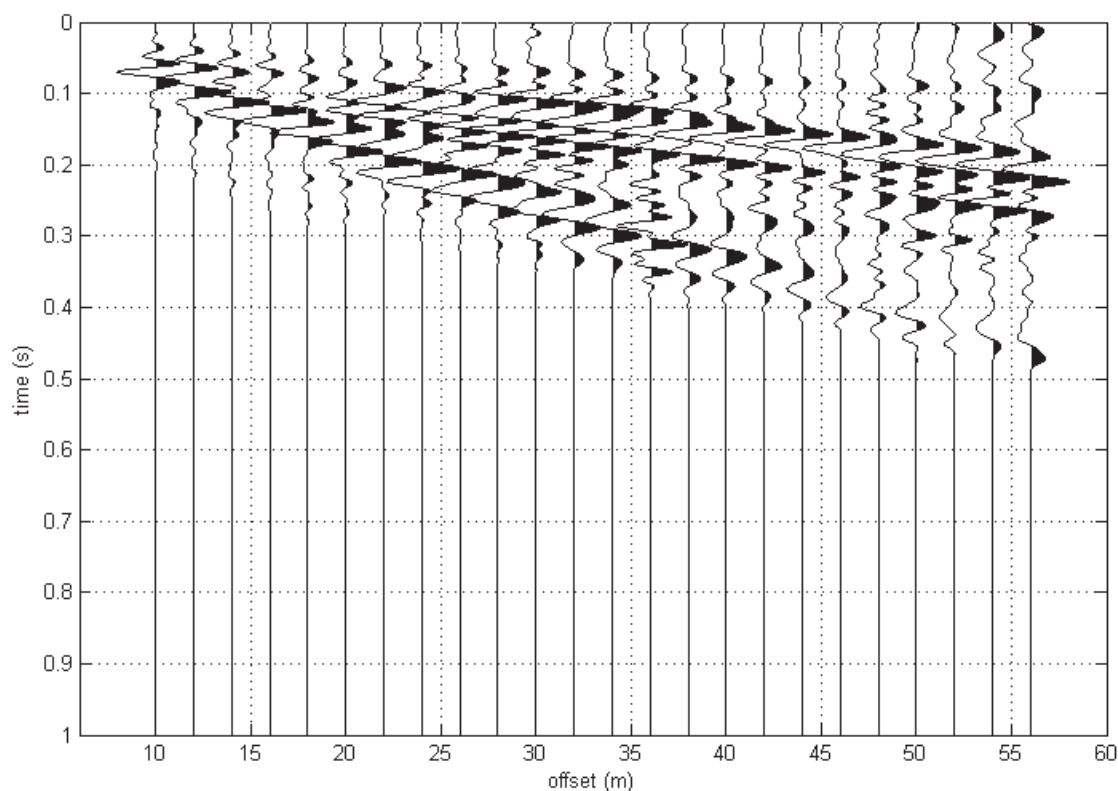
ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA M.A.S.W.

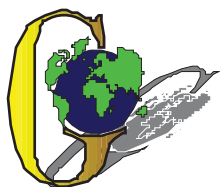
Cantiere: Fiorano Modenese, Via Statale angolo Via S.Giovanni Evangelista
Operatori: Dott. Ghirardini Gabriele
Data: 17/09/2013
Lavoro: Integrazione sismica
Elaborazione: Dott. Gabriele Ghirardini
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

CERTIFICATO
306_M_13



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO





GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

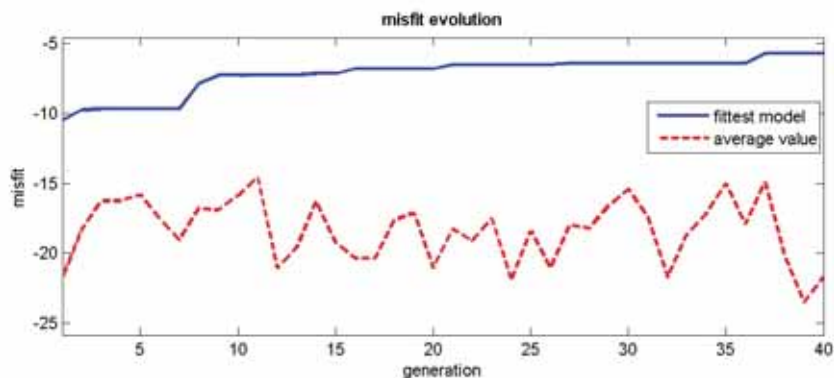
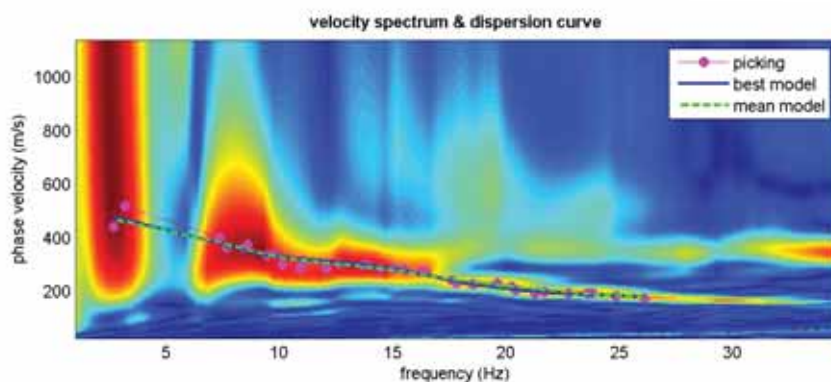
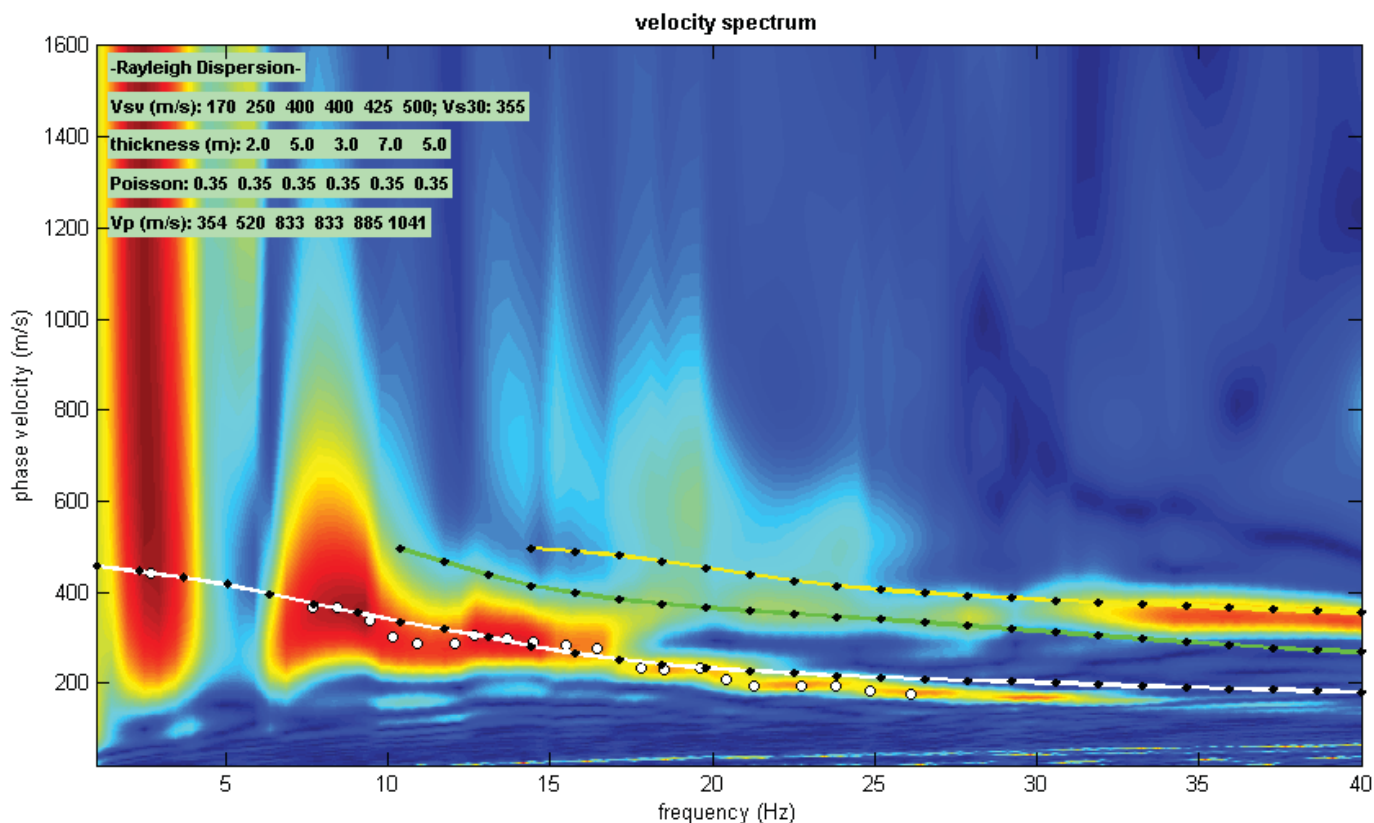
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

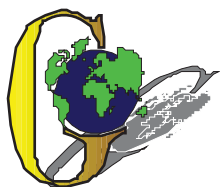
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it - e-mail: info@geogroupmodena.it



SPETTRO RELATIVO ALLE VELOCITA' DI FASE, REGISTRATE NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE





GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

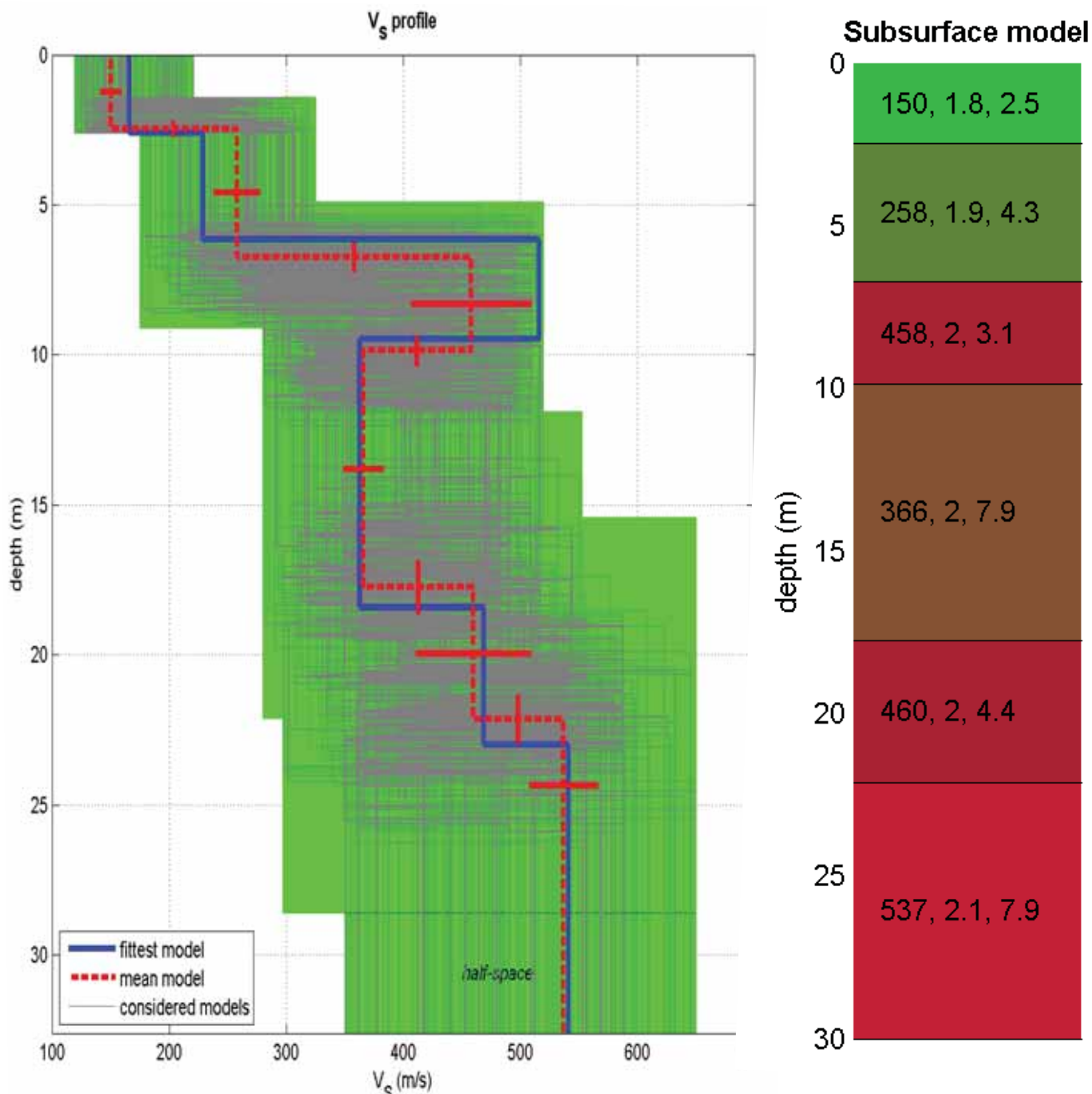
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogrouppmodena.it - e-mail: info@geogrouppmodena.it



MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



BEST MODEL
Vs30 = 353 m/s

V_s density thickness
(m/s) (gr/cm³) (m)

ALLEGATO N° 3

***INDAGINE SISMICA PASSIVA
SECONDO METODOLOGIA HVSR***

FIORANO MODENESE - HVSR 1

Strumento: TRZ-0121/01-11

Inizio registrazione: 23/02/12 10:40:04 Fine registrazione: 23/02/12 10:56:05

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS: LAT 44.530388° LONG 10,852612°

Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 89% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

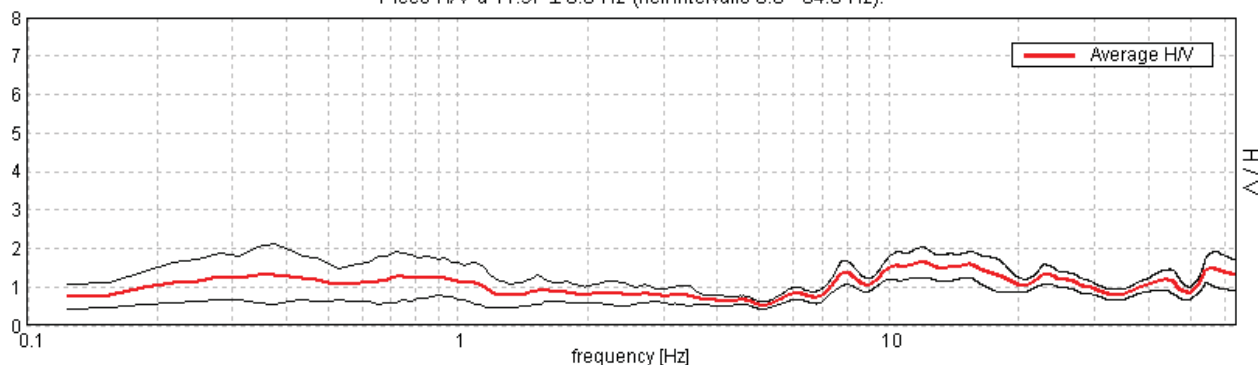
Lunghezza finestre: 18 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

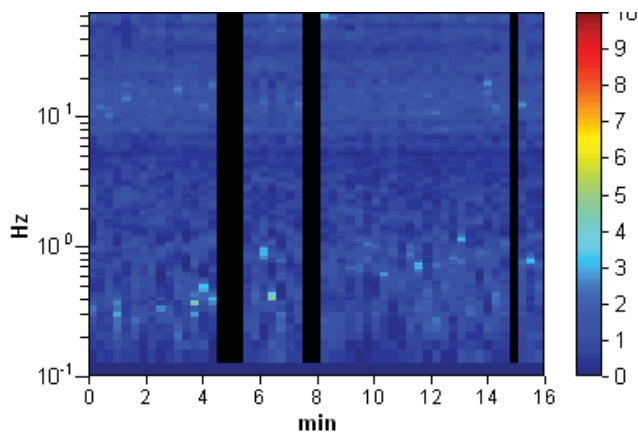
Lisciamento: 8%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

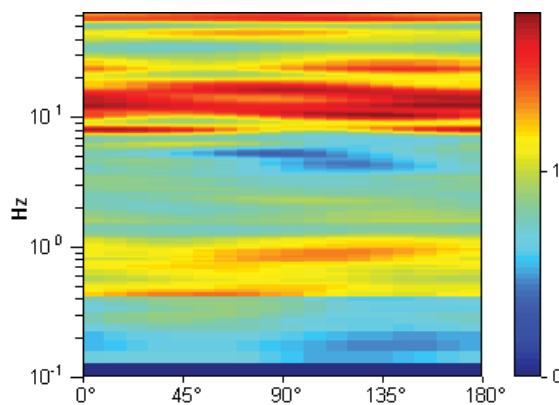
Picco H/V a 11.97 ± 0.6 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



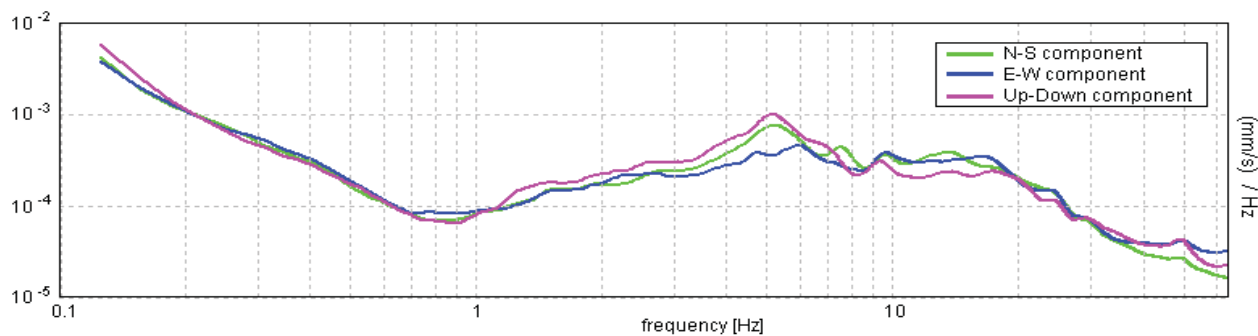
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

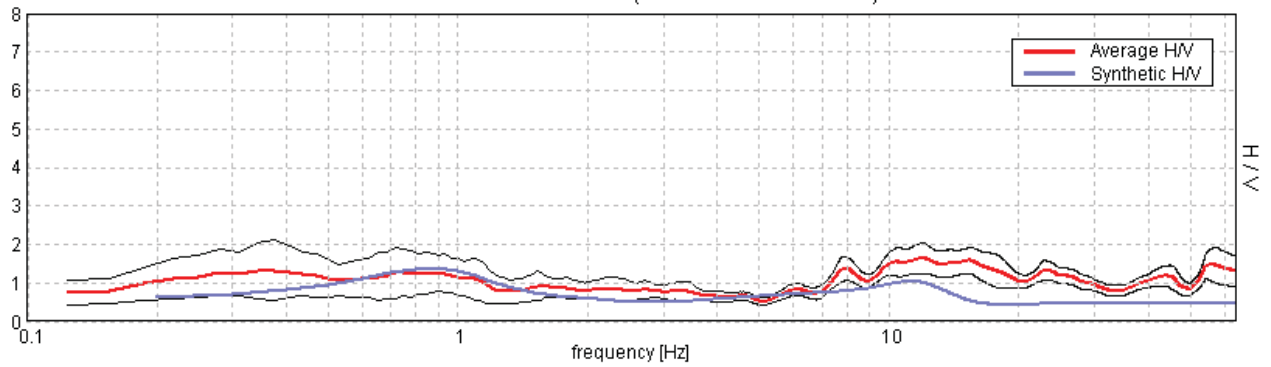


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



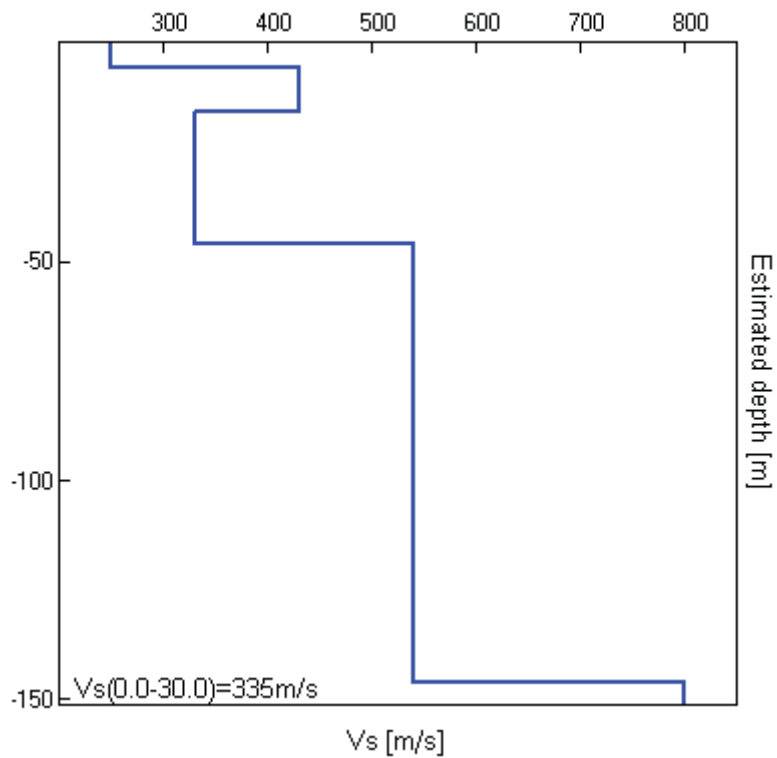
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a 11.97 ± 0.6 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
6.00	6.00	250	0.35
16.00	10.00	430	0.35
46.00	30.00	330	0.35
146.00	100.00	540	0.35
inf.	inf.	800	0.35

$V_s(0.0-30.0)=335\text{m/s}$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di [Grilla](#) prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 11.97 ± 0.6 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$11.97 > 0.56$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$10125.6 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 576	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	7.031 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	32.031 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.64 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02461 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.2946 < 0.59844$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1977 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

ALLEGATO N° 4

VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

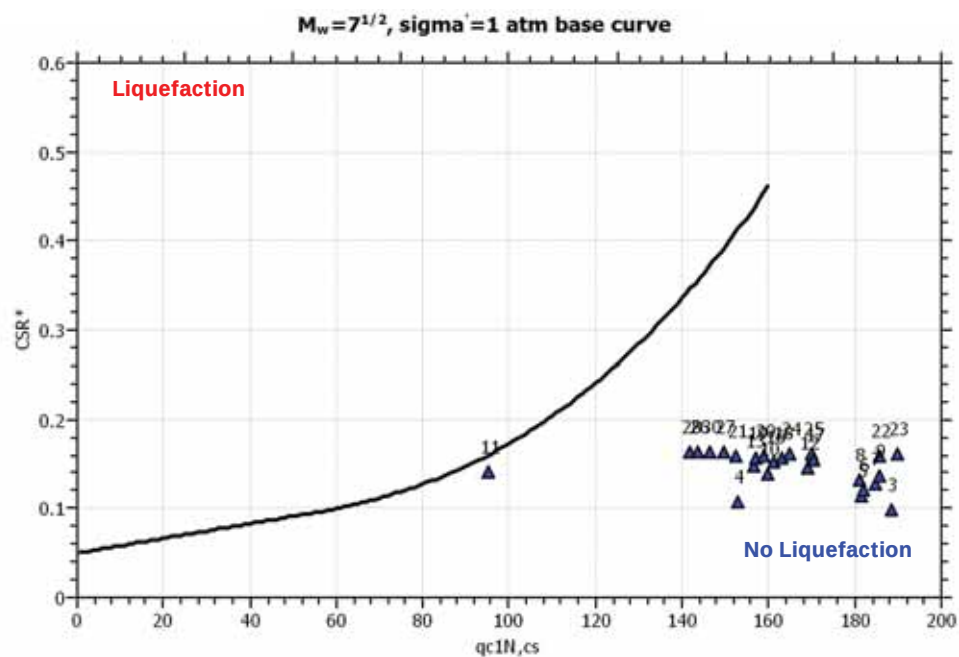
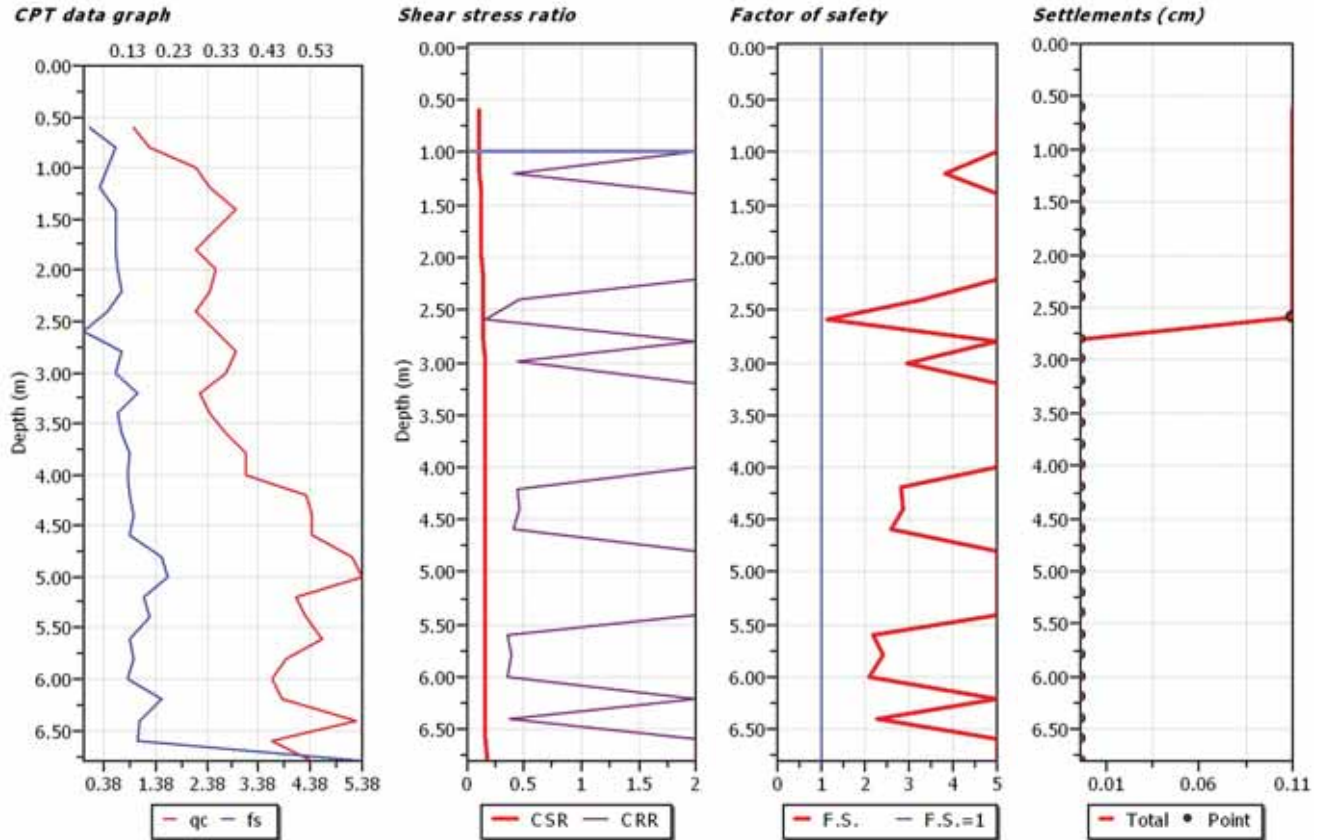
Project title :

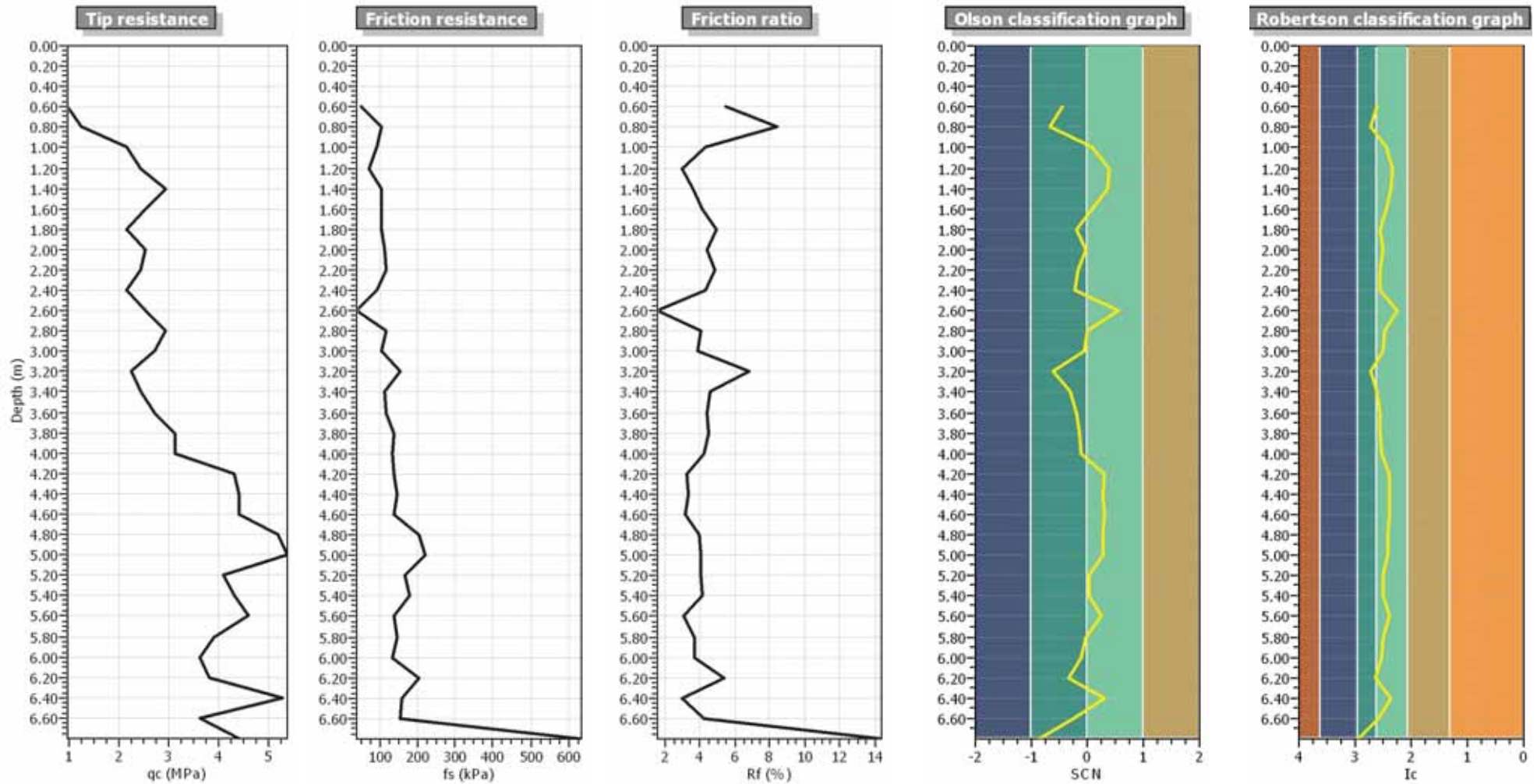
Project subtitle :

Input parameters and analysis data

In-situ data type: Cone Penetration Test
Analysis type: Deterministic
Analysis method: Robertson (1998)
Fines correction method: Robertson (1998)

Depth to water table: 1.00 m
Earthquake magnitude M_w : 6.00
Peak ground acceleration: 0.27 g
User defined F.S.: 1.00





Soil type index legend

	Gravelly sand to dense sand		Silt mixtures: clayey silt to silty clay
	Sands: clean sand to silty sand		Clays: silty clay to clay
	Sand mixtures: silty sand to sandy silt		Organic soils: peats

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	q_c (MPa)	f_s (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
1	0.60	0.98	53.33	36.24	18.79
2	0.80	1.27	106.67	42.27	18.88
3	1.00	2.15	93.33	28.74	19.15
4	1.20	2.45	73.33	23.90	19.23
5	1.40	2.94	106.67	24.83	19.38
6	1.60	2.54	106.67	28.70	19.26
7	1.80	2.15	106.67	33.57	19.15
8	2.00	2.54	113.33	30.76	19.26
9	2.20	2.45	120.00	33.17	19.23
10	2.40	2.15	93.33	33.77	19.15
11	2.60	2.54	40.00	21.01	19.26
12	2.80	2.94	120.00	30.13	19.38
13	3.00	2.74	106.67	30.87	19.32
14	3.20	2.25	153.33	42.48	19.18
15	3.40	2.45	113.33	35.83	19.23
16	3.60	2.74	120.00	33.94	19.32
17	3.80	3.13	140.00	32.88	19.44
18	4.00	3.13	133.33	32.65	19.44
19	4.20	4.31	140.00	25.58	19.79
20	4.40	4.40	146.67	25.95	19.82
21	4.60	4.40	140.00	25.72	19.82
22	4.80	5.19	206.67	26.95	20.06
23	5.00	5.38	220.00	27.17	20.11
24	5.20	4.11	166.67	30.73	19.73
25	5.40	4.31	180.00	30.88	19.79
26	5.60	4.60	140.00	26.23	19.88
27	5.80	3.91	146.67	31.34	19.67
28	6.00	3.62	133.33	32.55	19.59
29	6.20	3.82	206.67	37.82	19.64
30	6.40	5.28	160.00	25.54	20.09
31	6.60	3.62	153.33	35.57	19.59
32	6.80	4.40	633.33	55.24	19.82

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
 q_c : Measured cone resistance
 f_s : Sleeve friction resistance
Fines content : Percentage of fines in soil (%)
Unit weight : Bulk soil unit weight (kPa)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR*
1	0.60	11.27	0.00	11.27	1.00	0.17	1.77	0.10	1.00	0.10
2	0.80	15.05	0.00	15.05	0.99	0.17	1.77	0.10	1.00	0.10
3	1.00	18.88	0.00	18.88	0.99	0.17	1.77	0.10	1.00	0.10
4	1.20	22.73	1.96	20.76	0.99	0.19	1.77	0.11	1.00	0.11
5	1.40	26.60	3.92	22.68	0.99	0.20	1.77	0.12	1.00	0.12
6	1.60	30.45	5.89	24.57	0.99	0.21	1.77	0.12	1.00	0.12
7	1.80	34.28	7.85	26.44	0.99	0.22	1.77	0.13	1.00	0.13
8	2.00	38.14	9.81	28.33	0.98	0.23	1.77	0.13	1.00	0.13
9	2.20	41.98	11.77	30.21	0.98	0.24	1.77	0.14	1.00	0.14
10	2.40	45.81	13.73	32.08	0.98	0.25	1.77	0.14	1.00	0.14
11	2.60	49.66	15.70	33.97	0.98	0.25	1.77	0.14	1.00	0.14
12	2.80	53.54	17.66	35.88	0.98	0.26	1.77	0.14	1.00	0.14
13	3.00	57.40	19.62	37.78	0.98	0.26	1.77	0.15	1.00	0.15
14	3.20	61.24	21.58	39.66	0.98	0.26	1.77	0.15	1.00	0.15

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) (continued) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR*
15	3.40	65.09	23.54	41.54	0.97	0.27	1.77	0.15	1.00	0.15
16	3.60	68.95	25.51	43.44	0.97	0.27	1.77	0.15	1.00	0.15
17	3.80	72.84	27.47	45.37	0.97	0.27	1.77	0.15	1.00	0.15
18	4.00	76.73	29.43	47.30	0.97	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
19	4.20	80.68	31.39	49.29	0.97	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
20	4.40	84.65	33.35	51.29	0.97	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
21	4.60	88.61	35.32	53.30	0.96	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
22	4.80	92.62	37.28	55.35	0.96	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
23	5.00	96.65	39.24	57.41	0.96	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
24	5.20	100.59	41.20	59.39	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
25	5.40	104.55	43.16	61.39	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
26	5.60	108.53	45.13	63.40	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
27	5.80	112.46	47.09	65.37	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
28	6.00	116.38	49.05	67.33	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
29	6.20	120.31	51.01	69.29	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
30	6.40	124.32	52.97	71.35	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
31	6.60	128.24	54.94	73.31	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
32	6.80	132.21	56.90	75.31	0.95	0.29	1.77	0.17	1.00	0.17

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
 Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
 u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
 Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
 r_d : Nonlinear shear mass factor
 CSR : Cyclic Stress Ratio
 MSF : Magnitude Scaling Factor
 $CSR_{eq,M=7.5}$: CSR adjusted for M=7.5
 K_{sigma} : Effective overburden stress factor
 CSR* : CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$::

Point ID	q_c (MPa)	I_c	F (%)	n	q_{clin}	K_c	q_{c1cs}	$CRR_{7.5}$
1	0.98	2.62	5.51	0.79	54.46	0.00	0.00	2.00
2	1.27	2.73	8.49	0.83	60.24	0.00	0.00	2.00
3	2.15	2.46	4.37	0.74	73.74	2.55	188.35	2.00
4	2.45	2.34	3.03	0.71	73.76	2.07	152.83	0.41
5	2.94	2.36	3.67	0.72	84.10	2.16	181.47	2.00
6	2.54	2.45	4.24	0.74	71.42	2.55	182.15	2.00
7	2.15	2.56	5.04	0.78	59.52	3.11	184.93	2.00
8	2.54	2.50	4.52	0.76	65.21	2.78	181.08	2.00
9	2.45	2.55	4.99	0.77	60.72	3.06	185.70	2.00
10	2.15	2.57	4.43	0.78	51.02	3.13	159.69	0.46
11	2.54	2.26	1.60	0.69	52.26	1.82	95.21	0.16
12	2.94	2.49	4.16	0.75	62.42	2.71	168.95	2.00
13	2.74	2.50	3.98	0.76	56.15	2.79	156.66	0.44
14	2.25	2.74	7.00	0.83	47.13	2.79	131.50	2.00
15	2.45	2.61	4.76	0.79	47.70	2.79	133.07	2.00
16	2.74	2.57	4.49	0.78	51.14	3.15	161.18	2.00
17	3.13	2.55	4.58	0.77	56.31	3.02	170.29	2.00
18	3.13	2.54	4.37	0.77	54.40	3.00	163.01	2.00
19	4.31	2.38	3.31	0.72	70.39	2.23	156.97	0.44
20	4.40	2.39	3.40	0.72	70.05	2.27	158.76	0.45
21	4.40	2.38	3.24	0.72	68.00	2.24	152.59	0.41
22	5.19	2.41	4.06	0.73	78.53	2.37	185.85	2.00
23	5.38	2.42	4.16	0.73	79.40	2.39	189.70	2.00
24	4.11	2.50	4.16	0.76	59.52	2.77	165.10	2.00
25	4.31	2.50	4.28	0.76	60.85	2.79	169.78	2.00

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ (continued) ::

Point ID	q_c (MPa)	I_c	F (%)	n	q_{c1n}	K_c	q_{c1cs}	$CRR_{7.5}$
26	4.60	2.40	3.12	0.73	62.53	2.29	143.50	0.35
27	3.91	2.51	3.86	0.76	52.57	2.84	149.46	0.39
28	3.62	2.54	3.81	0.77	47.53	2.98	141.83	0.35
29	3.82	2.65	5.59	0.80	49.62	2.98	148.06	2.00
30	5.28	2.38	3.10	0.72	65.83	2.23	146.57	0.37
31	3.62	2.60	4.39	0.79	44.62	2.23	99.35	2.00
32	4.40	2.95	14.83	0.89	55.02	2.23	122.51	2.00

q_c : Measured cone resistance
 I_c : Soil behavior type index
F : Normalized friction ratio
n : Stress exponent
 q_{c1n} : Normalized cone resistance
 K_c : Cone resistance correction factor due to fines
 q_{c1ncs} : Normalized and adjusted cone resistance
 $CRR_{7.5}$: Cyclic resistance ratio for $M_w=7.5$

:: Overall liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L	Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	9.70	0.00	2	0.00	9.60	0.00
3	0.00	9.50	0.00	4	0.00	9.40	0.00
5	0.00	9.30	0.00	6	0.00	9.20	0.00
7	0.00	9.10	0.00	8	0.00	9.00	0.00
9	0.00	8.90	0.00	10	0.00	8.80	0.00
11	0.00	8.70	0.00	12	0.00	8.60	0.00
13	0.00	8.50	0.00	14	0.00	8.40	0.00
15	0.00	8.30	0.00	16	0.00	8.20	0.00
17	0.00	8.10	0.00	18	0.00	8.00	0.00
19	0.00	7.90	0.00	20	0.00	7.80	0.00
21	0.00	7.70	0.00	22	0.00	7.60	0.00
23	0.00	7.50	0.00	24	0.00	7.40	0.00
25	0.00	7.30	0.00	26	0.00	7.20	0.00
27	0.00	7.10	0.00	28	0.00	7.00	0.00
29	0.00	6.90	0.00	30	0.00	6.80	0.00
31	0.00	6.70	0.00	32	0.00	6.60	0.00

Overall potential I_L : 0.00

$I_L = 0.00$ - No liquefaction
 I_L between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable
 I_L between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable
 $I_L > 15.00$ - Liquefaction certain



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

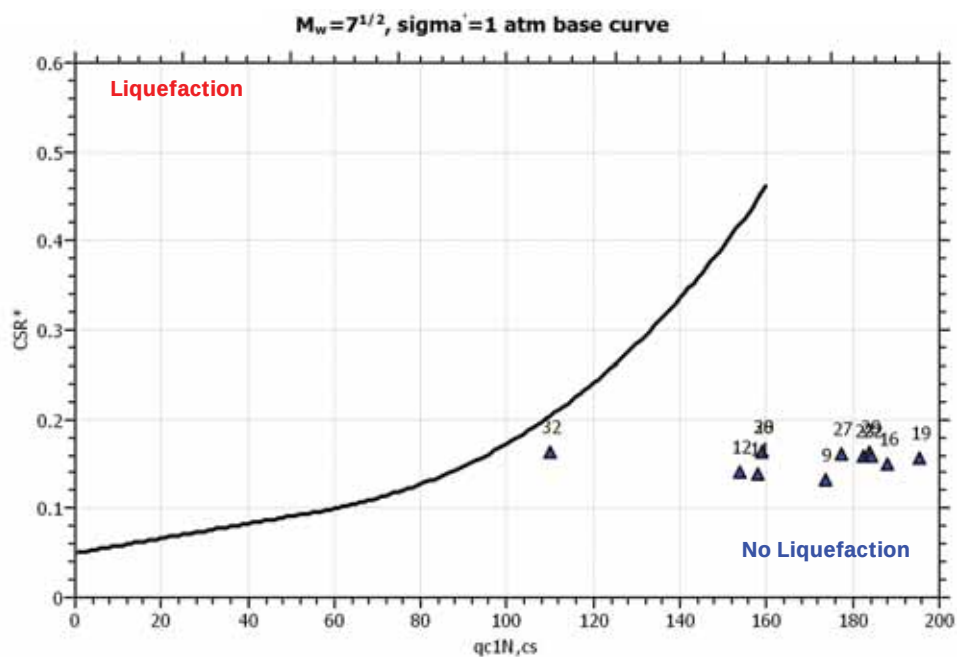
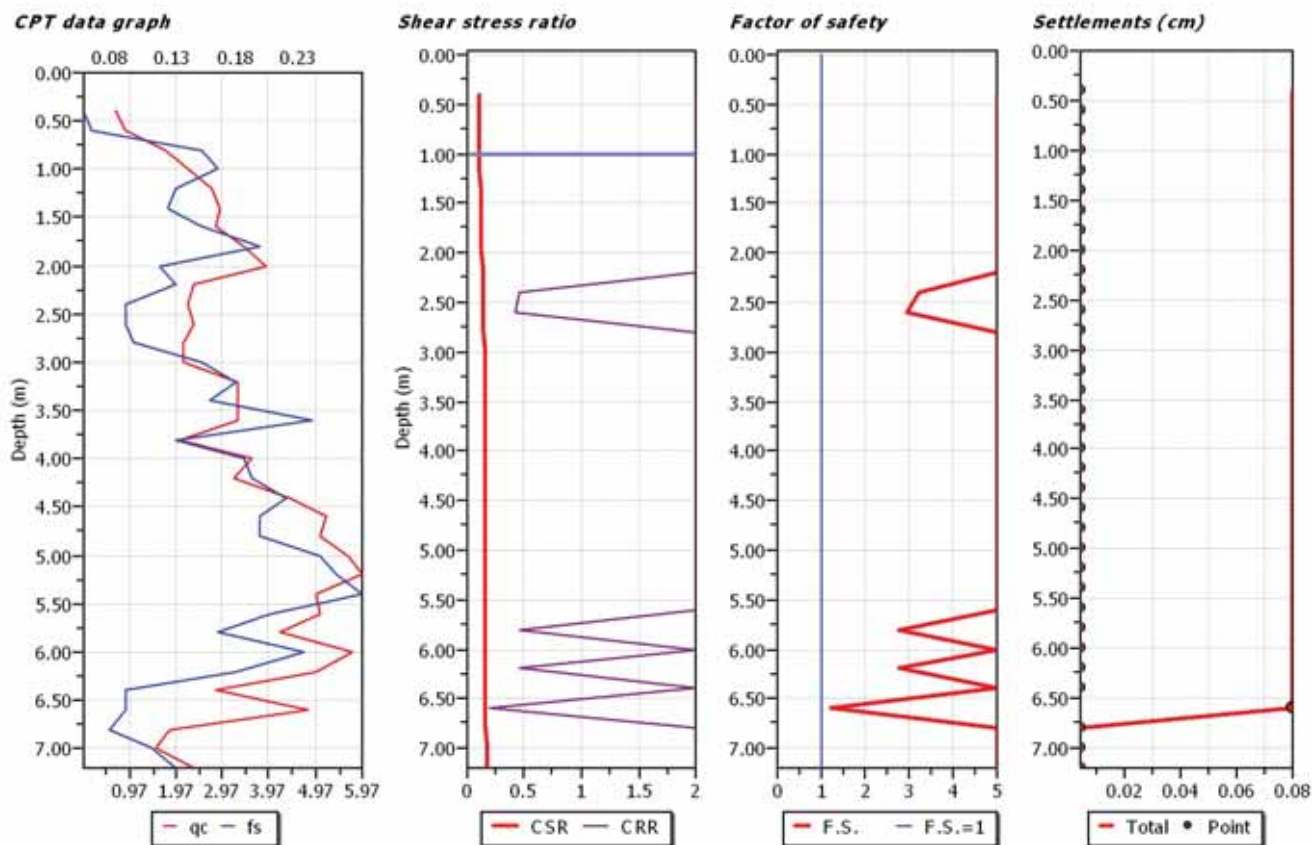
Project title :

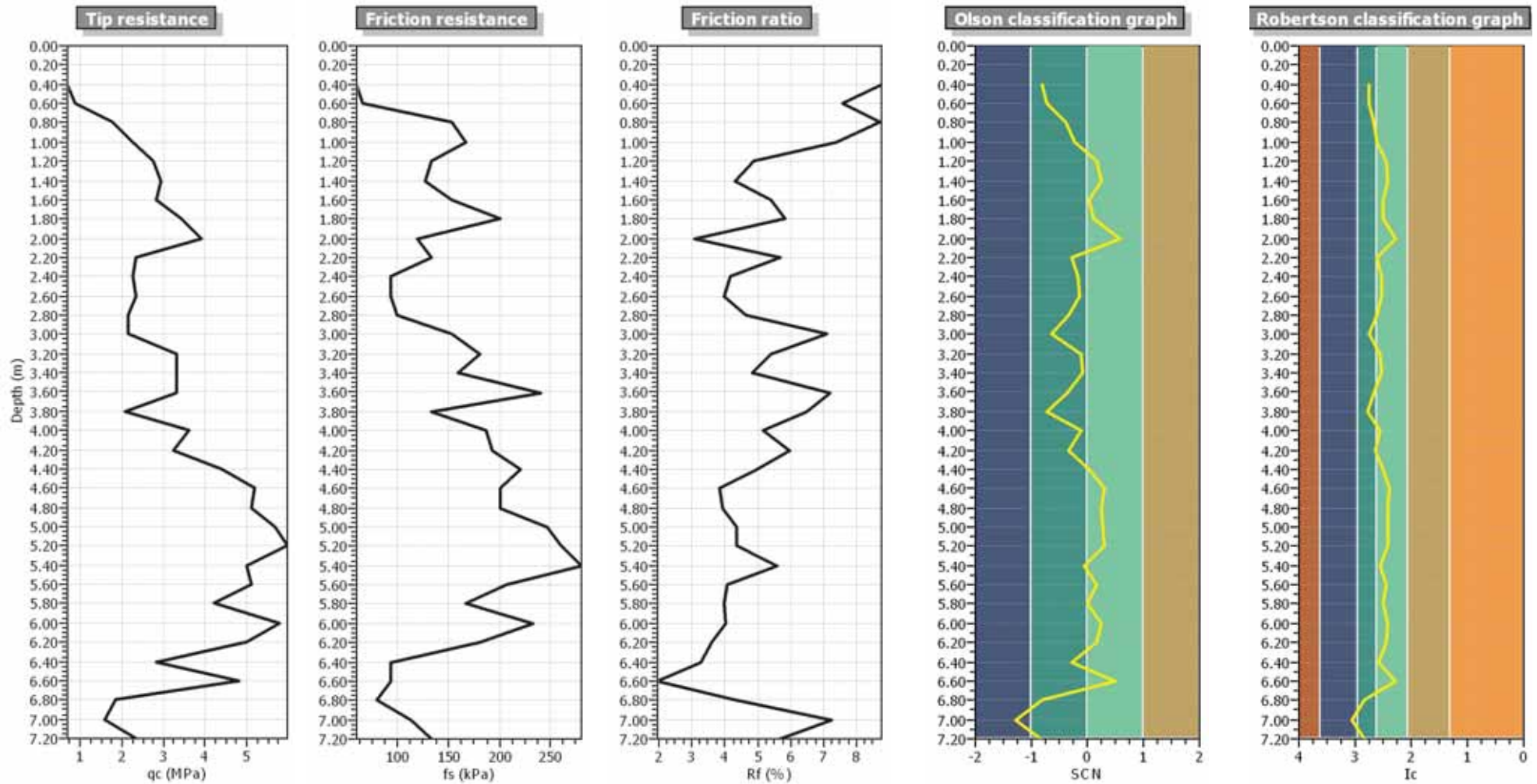
Project subtitle :

Input parameters and analysis data

In-situ data type: Cone Penetration Test
Analysis type: Deterministic
Analysis method: Robertson (1998)
Fines correction method: Robertson (1998)

Depth to water table: 1.00 m
Earthquake magnitude M_w : 6.00
Peak ground acceleration: 0.27 g
User defined F.S.: 1.00





Soil type index legend

 Gravelly sand to dense sand	 Silt mixtures: clayey silt to silty clay
 Sands: clean sand to silty sand	 Clays: silty clay to clay
 Sand mixtures: silty sand to sandy silt	 Organic soils: peats

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	q_c (MPa)	f_s (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
1	0.40	0.68	60.00	43.46	18.71
2	0.60	0.88	66.67	42.30	18.76
3	0.80	1.76	153.33	38.83	19.03
4	1.00	2.25	166.67	35.59	19.18
5	1.20	2.74	133.33	28.40	19.32
6	1.40	2.94	126.67	26.87	19.38
7	1.60	2.84	153.33	30.81	19.35
8	1.80	3.42	200.00	30.47	19.53
9	2.00	3.91	120.00	21.74	19.67
10	2.20	2.35	133.33	35.85	19.20
11	2.40	2.25	93.33	32.64	19.18
12	2.60	2.35	93.33	32.11	19.20
13	2.80	2.15	100.00	36.02	19.15
14	3.00	2.15	153.33	43.30	19.15
15	3.20	3.33	180.00	33.45	19.50
16	3.40	3.33	160.00	32.25	19.50
17	3.60	3.33	240.00	38.92	19.50
18	3.80	2.05	133.33	45.04	19.12
19	4.00	3.62	186.67	33.48	19.59
20	4.20	3.23	193.33	37.77	19.47
21	4.40	4.40	220.00	31.32	19.82
22	4.60	5.19	200.00	26.24	20.06
23	4.80	5.09	200.00	27.02	20.03
24	5.00	5.68	246.67	27.40	20.20
25	5.20	5.97	260.00	27.15	20.29
26	5.40	4.99	280.00	33.26	20.00
27	5.60	5.09	206.67	28.72	20.03
28	5.80	4.21	166.67	31.16	19.76
29	6.00	5.77	233.33	27.68	20.23
30	6.20	4.99	180.00	28.27	20.00
31	6.40	2.84	93.33	35.58	19.35
32	6.60	4.79	93.33	22.09	19.94
33	6.80	1.86	80.00	48.57	19.06
34	7.00	1.57	113.33	62.88	18.97
35	7.20	2.35	133.33	49.36	19.20

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
 q_c : Measured cone resistance
 f_s : Sleeve friction resistance
Fines content : Percentage of fines in soil (%)
Unit weight : Bulk soil unit weight (kPa)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR*
1	0.40	7.48	0.00	7.48	1.00	0.17	1.77	0.10	1.00	0.10
2	0.60	11.24	0.00	11.24	1.00	0.17	1.77	0.10	1.00	0.10
3	0.80	15.04	0.00	15.04	0.99	0.17	1.77	0.10	1.00	0.10
4	1.00	18.88	0.00	18.88	0.99	0.17	1.77	0.10	1.00	0.10
5	1.20	22.74	1.96	20.78	0.99	0.19	1.77	0.11	1.00	0.11
6	1.40	26.62	3.92	22.69	0.99	0.20	1.77	0.12	1.00	0.12
7	1.60	30.49	5.89	24.60	0.99	0.21	1.77	0.12	1.00	0.12
8	1.80	34.39	7.85	26.54	0.99	0.22	1.77	0.13	1.00	0.13
9	2.00	38.33	9.81	28.52	0.98	0.23	1.77	0.13	1.00	0.13
10	2.20	42.17	11.77	30.40	0.98	0.24	1.77	0.14	1.00	0.14
11	2.40	46.00	13.73	32.27	0.98	0.25	1.77	0.14	1.00	0.14

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) (continued) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r _d	CSR	MSF	CSR _{eq,M=7.5}	K _{sigma}	CSR*
12	2.60	49.84	15.70	34.15	0.98	0.25	1.77	0.14	1.00	0.14
13	2.80	53.67	17.66	36.01	0.98	0.26	1.77	0.14	1.00	0.14
14	3.00	57.50	19.62	37.88	0.98	0.26	1.77	0.15	1.00	0.15
15	3.20	61.40	21.58	39.82	0.98	0.26	1.77	0.15	1.00	0.15
16	3.40	65.30	23.54	41.76	0.97	0.27	1.77	0.15	1.00	0.15
17	3.60	69.20	25.51	43.69	0.97	0.27	1.77	0.15	1.00	0.15
18	3.80	73.02	27.47	45.56	0.97	0.27	1.77	0.15	1.00	0.15
19	4.00	76.94	29.43	47.51	0.97	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
20	4.20	80.84	31.39	49.44	0.97	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
21	4.40	84.80	33.35	51.45	0.97	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
22	4.60	88.81	35.32	53.49	0.96	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
23	4.80	92.82	37.28	55.54	0.96	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
24	5.00	96.86	39.24	57.62	0.96	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
25	5.20	100.91	41.20	59.71	0.96	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
26	5.40	104.91	43.16	61.75	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
27	5.60	108.92	45.13	63.79	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
28	5.80	112.87	47.09	65.78	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
29	6.00	116.92	49.05	67.87	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
30	6.20	120.92	51.01	69.91	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
31	6.40	124.79	52.97	71.81	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
32	6.60	128.78	54.94	73.84	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
33	6.80	132.59	56.90	75.69	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
34	7.00	136.38	58.86	77.52	0.95	0.29	1.77	0.17	1.00	0.17
35	7.20	140.22	60.82	79.40	0.94	0.29	1.77	0.17	1.00	0.17

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
 Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
 u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
 Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
 r_d : Nonlinear shear mass factor
 CSR : Cyclic Stress Ratio
 MSF : Magnitude Scaling Factor
 CSR_{eq,M=7.5} : CSR adjusted for M=7.5
 K_{sigma} : Effective overburden stress factor
 CSR* : CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation CRR_{7.5} ::

Point ID	q _c (MPa)	I _c	F (%)	n	q _{c1n}	K _c	q _{c1cs}	CRR _{7.5}
1	0.68	2.76	8.86	0.83	58.70	0.00	0.00	2.00
2	0.88	2.73	7.67	0.83	53.03	0.00	0.00	2.00
3	1.76	2.67	8.78	0.81	80.71	0.00	0.00	2.00
4	2.25	2.60	7.47	0.79	83.15	0.00	0.00	2.00
5	2.74	2.45	4.91	0.74	87.15	2.52	219.43	2.00
6	2.94	2.41	4.35	0.73	85.99	2.36	202.80	2.00
7	2.84	2.50	5.46	0.76	81.32	2.78	226.31	2.00
8	3.42	2.50	5.90	0.76	92.44	2.74	253.65	2.00
9	3.91	2.28	3.10	0.69	92.25	1.88	173.61	2.00
10	2.35	2.61	5.78	0.79	59.14	1.88	111.30	2.00
11	2.25	2.54	4.23	0.77	52.70	2.99	157.85	0.45
12	2.35	2.53	4.06	0.77	52.41	2.93	153.71	0.42
13	2.15	2.61	4.76	0.79	47.12	2.93	138.19	2.00
14	2.15	2.75	7.32	0.83	47.06	2.93	138.00	2.00
15	3.33	2.56	5.51	0.78	66.72	3.09	206.33	2.00
16	3.33	2.53	4.91	0.77	63.80	2.95	188.14	2.00
17	3.33	2.67	7.37	0.81	63.66	2.95	187.73	2.00
18	2.05	2.78	6.73	0.84	38.45	2.95	113.39	2.00
19	3.62	2.56	5.27	0.78	63.14	3.10	195.43	2.00

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ (continued) ::

Point ID	q_c (MPa)	I_c	F (%)	n	q_{c1n}	K_c	q_{c1cs}	$CRR_{7.5}$
20	3.23	2.65	6.14	0.80	55.40	3.10	171.49	2.00
21	4.40	2.51	5.09	0.76	71.67	2.84	203.61	2.00
22	5.19	2.40	3.92	0.73	80.31	2.30	184.31	2.00
23	5.09	2.41	4.00	0.73	76.85	2.37	182.45	2.00
24	5.68	2.42	4.42	0.74	83.66	2.41	201.83	2.00
25	5.97	2.42	4.43	0.73	85.65	2.39	204.49	2.00
26	4.99	2.56	5.73	0.78	70.99	3.07	217.86	2.00
27	5.09	2.46	4.15	0.74	69.58	2.55	177.54	2.00
28	4.21	2.51	4.07	0.76	56.33	2.82	159.01	0.45
29	5.77	2.43	4.13	0.74	75.28	2.44	183.79	2.00
30	4.99	2.44	3.70	0.74	63.50	2.50	158.98	0.45
31	2.84	2.60	3.44	0.79	35.23	2.50	88.21	2.00
32	4.79	2.29	2.00	0.69	57.60	1.91	110.12	0.20
33	1.86	2.84	4.63	0.86	21.95	1.91	41.96	2.00
34	1.57	3.06	7.93	0.93	18.10	1.91	34.60	2.00
35	2.35	2.86	6.04	0.87	26.96	1.91	51.54	2.00

q_c : Measured cone resistance
 I_c : Soil behavior type index
F : Normalized friction ratio
n : Stress exponent
 q_{c1n} : Normalized cone resistance
 K_c : Cone resistance correction factor due to fines
 $q_{c1n/cs}$: Normalized and adjusted cone resistance
 $CRR_{7.5}$: Cyclic resistance ratio for $M_w=7.5$

:: Overall liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L	Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	9.80	0.00	2	0.00	9.70	0.00
3	0.00	9.60	0.00	4	0.00	9.50	0.00
5	0.00	9.40	0.00	6	0.00	9.30	0.00
7	0.00	9.20	0.00	8	0.00	9.10	0.00
9	0.00	9.00	0.00	10	0.00	8.90	0.00
11	0.00	8.80	0.00	12	0.00	8.70	0.00
13	0.00	8.60	0.00	14	0.00	8.50	0.00
15	0.00	8.40	0.00	16	0.00	8.30	0.00
17	0.00	8.20	0.00	18	0.00	8.10	0.00
19	0.00	8.00	0.00	20	0.00	7.90	0.00
21	0.00	7.80	0.00	22	0.00	7.70	0.00
23	0.00	7.60	0.00	24	0.00	7.50	0.00
25	0.00	7.40	0.00	26	0.00	7.30	0.00
27	0.00	7.20	0.00	28	0.00	7.10	0.00
29	0.00	7.00	0.00	30	0.00	6.90	0.00
31	0.00	6.80	0.00	32	0.00	6.70	0.00
33	0.00	6.60	0.00	34	0.00	6.50	0.00
35	0.00	6.40	0.00				

Overall potential I_L : 0.00

$I_L = 0.00$ - No liquefaction
 I_L between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable
 I_L between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable
 $I_L > 15.00$ - Liquefaction certain



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

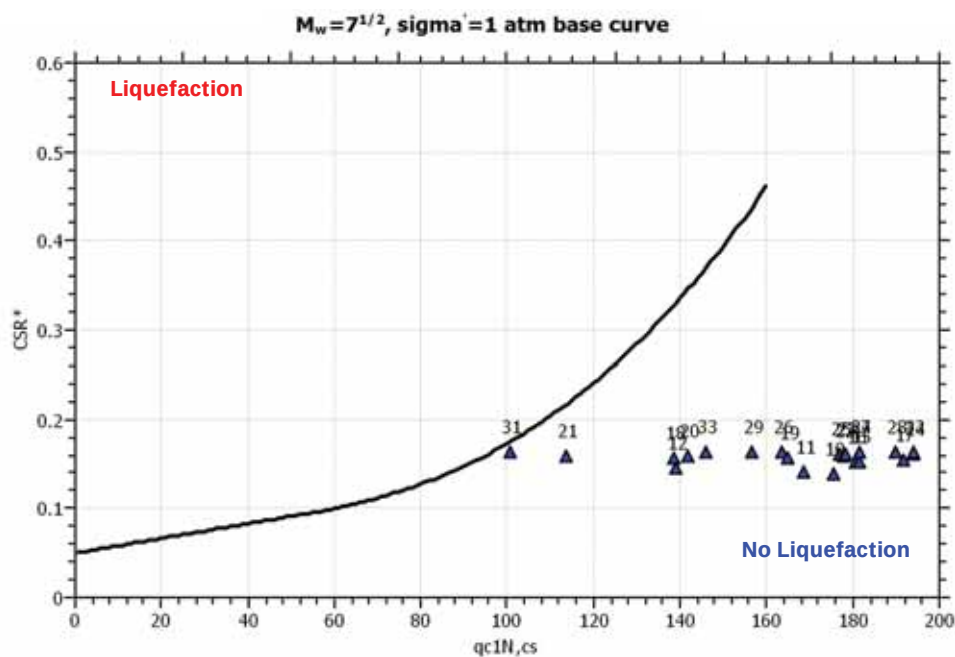
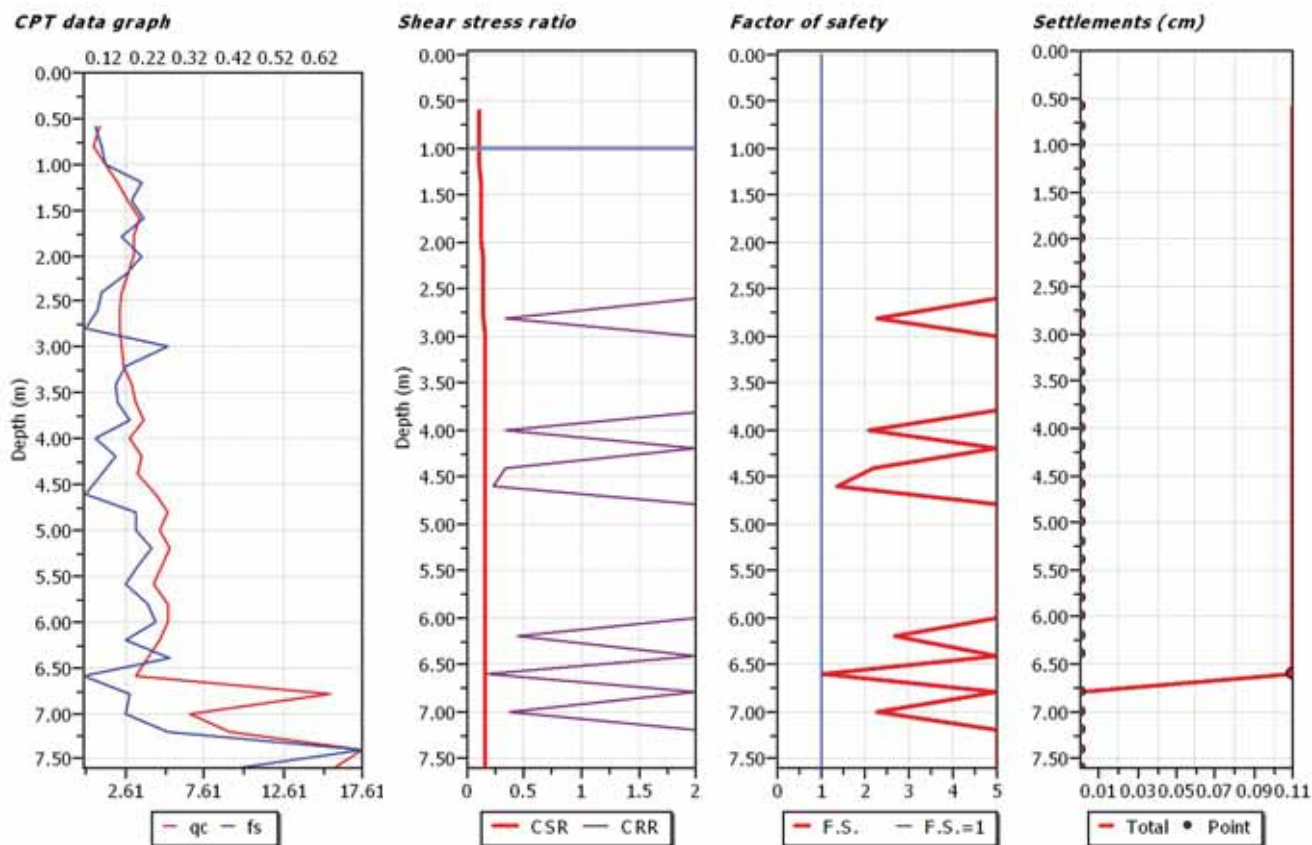
Project title :

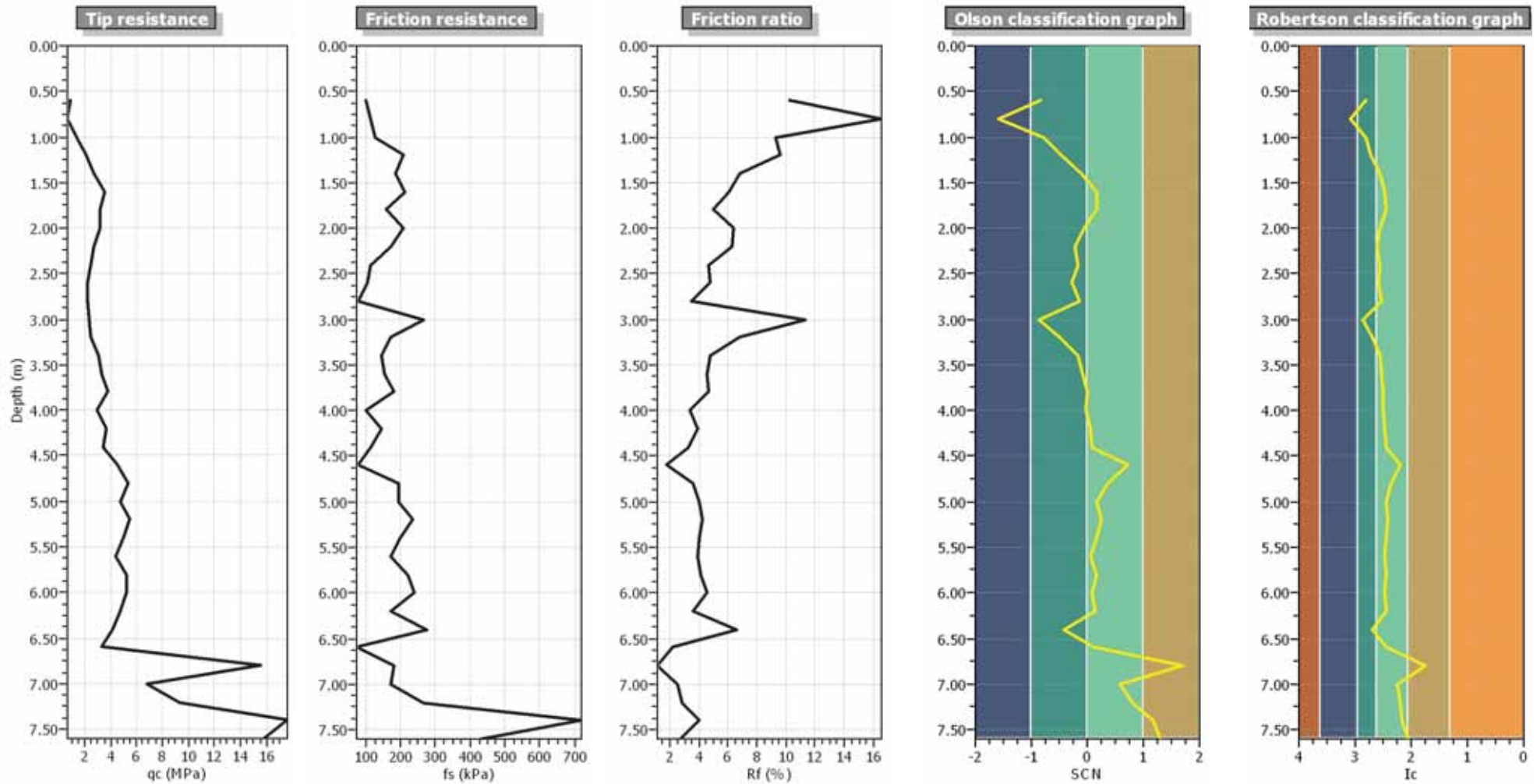
Project subtitle :

Input parameters and analysis data

In-situ data type: Cone Penetration Test
Analysis type: Deterministic
Analysis method: Robertson (1998)
Fines correction method: Robertson (1998)

Depth to water table: 1.00 m
Earthquake magnitude M_w : 6.00
Peak ground acceleration: 0.27 g
User defined F.S.: 1.00





Soil type index legend

	Gravelly sand to dense sand		Silt mixtures: clayey silt to silty clay
	Sands: clean sand to silty sand		Clays: silty clay to clay
	Sand mixtures: silty sand to sandy silt		Organic soils: peats

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	q_c (MPa)	f_s (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
1	0.60	0.98	100.00	45.82	18.79
2	0.80	0.68	113.33	64.34	18.71
3	1.00	1.37	126.67	45.43	18.91
4	1.20	2.15	206.67	41.18	19.15
5	1.40	2.74	186.67	33.74	19.32
6	1.60	3.52	213.33	30.03	19.56
7	1.80	3.23	160.00	28.84	19.47
8	2.00	3.23	206.67	33.02	19.47
9	2.20	2.74	173.33	35.45	19.32
10	2.40	2.45	113.33	33.02	19.23
11	2.60	2.25	106.67	35.05	19.18
12	2.80	2.25	80.00	31.76	19.18
13	3.00	2.35	266.67	50.40	19.20
14	3.20	2.54	173.33	40.65	19.26
15	3.40	3.03	146.67	33.49	19.41
16	3.60	3.33	153.33	32.08	19.50
17	3.80	3.82	180.00	31.10	19.64
18	4.00	2.94	100.00	30.58	19.38
19	4.20	3.72	146.67	29.80	19.62
20	4.40	3.42	113.33	28.98	19.53
21	4.60	4.50	80.00	19.32	19.85
22	4.80	5.38	193.33	25.22	20.11
23	5.00	4.79	193.33	28.37	19.94
24	5.20	5.48	233.33	27.81	20.14
25	5.40	4.99	200.00	28.44	20.00
26	5.60	4.40	173.33	30.11	19.82
27	5.80	5.28	220.00	28.84	20.09
28	6.00	5.28	240.00	30.35	20.09
29	6.20	4.79	173.33	28.78	19.94
30	6.40	4.11	273.33	40.50	19.73
31	6.60	3.33	73.33	28.31	19.50
32	6.80	15.56	180.00	7.54	23.17
33	7.00	6.75	173.33	21.56	20.53
34	7.20	9.30	266.67	19.66	21.29
35	7.40	17.61	720.00	18.32	23.78
36	7.60	15.85	433.33	14.88	23.26

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
 q_c : Measured cone resistance
 f_s : Sleeve friction resistance
Fines content : Percentage of fines in soil (%)
Unit weight : Bulk soil unit weight (kPa)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,H=7.5}$	K_{sigma}	CSR*
1	0.60	11.28	0.00	11.28	1.00	0.17	1.77	0.10	1.00	0.10
2	0.80	15.02	0.00	15.02	0.99	0.17	1.77	0.10	1.00	0.10
3	1.00	18.80	0.00	18.80	0.99	0.17	1.77	0.10	1.00	0.10
4	1.20	22.63	1.96	20.67	0.99	0.19	1.77	0.11	1.00	0.11
5	1.40	26.49	3.92	22.57	0.99	0.20	1.77	0.12	1.00	0.12
6	1.60	30.40	5.89	24.52	0.99	0.21	1.77	0.12	1.00	0.12
7	1.80	34.30	7.85	26.45	0.99	0.22	1.77	0.13	1.00	0.13
8	2.00	38.19	9.81	28.38	0.98	0.23	1.77	0.13	1.00	0.13
9	2.20	42.06	11.77	30.28	0.98	0.24	1.77	0.14	1.00	0.14
10	2.40	45.90	13.73	32.17	0.98	0.25	1.77	0.14	1.00	0.14

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) (continued) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR*
11	2.60	49.74	15.70	34.04	0.98	0.25	1.77	0.14	1.00	0.14
12	2.80	53.57	17.66	35.91	0.98	0.26	1.77	0.14	1.00	0.14
13	3.00	57.41	19.62	37.79	0.98	0.26	1.77	0.15	1.00	0.15
14	3.20	61.27	21.58	39.68	0.98	0.26	1.77	0.15	1.00	0.15
15	3.40	65.15	23.54	41.60	0.97	0.27	1.77	0.15	1.00	0.15
16	3.60	69.05	25.51	43.54	0.97	0.27	1.77	0.15	1.00	0.15
17	3.80	72.98	27.47	45.51	0.97	0.27	1.77	0.15	1.00	0.15
18	4.00	76.85	29.43	47.42	0.97	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
19	4.20	80.78	31.39	49.38	0.97	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
20	4.40	84.68	33.35	51.33	0.97	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
21	4.60	88.65	35.32	53.34	0.96	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
22	4.80	92.67	37.28	55.40	0.96	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
23	5.00	96.66	39.24	57.42	0.96	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
24	5.20	100.69	41.20	59.49	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
25	5.40	104.69	43.16	61.53	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
26	5.60	108.65	45.13	63.53	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
27	5.80	112.67	47.09	65.58	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
28	6.00	116.69	49.05	67.64	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
29	6.20	120.68	51.01	69.66	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
30	6.40	124.62	52.97	71.65	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
31	6.60	128.52	54.94	73.59	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
32	6.80	133.16	56.90	76.26	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
33	7.00	137.26	58.86	78.40	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
34	7.20	141.52	60.82	80.70	0.94	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
35	7.40	146.28	62.78	83.49	0.94	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
36	7.60	150.93	64.75	86.18	0.94	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
 Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
 u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
 Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
 r_d : Nonlinear shear mass factor
 CSR : Cyclic Stress Ratio
 MSF : Magnitude Scaling Factor
 $CSR_{eq,M=7.5}$: CSR adjusted for M=7.5
 K_{sigma} : Effective overburden stress factor
 CSR* : CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$::

Point ID	q_c (MPa)	I_c	F (%)	n	q_{c1n}	K_c	q_{c1cs}	$CRR_{7.5}$
1	0.98	2.80	10.34	0.85	61.32	0.00	0.00	2.00
2	0.68	3.08	16.92	0.93	39.29	0.00	0.00	2.00
3	1.37	2.79	9.38	0.84	55.43	0.00	0.00	2.00
4	2.15	2.71	9.70	0.82	77.81	0.00	0.00	2.00
5	2.74	2.57	6.88	0.78	86.33	3.13	269.96	2.00
6	3.52	2.49	6.11	0.75	100.68	2.69	271.30	2.00
7	3.23	2.46	5.01	0.75	86.05	2.57	220.76	2.00
8	3.23	2.55	6.48	0.77	84.48	3.04	256.85	2.00
9	2.74	2.60	6.43	0.79	69.18	3.04	210.32	2.00
10	2.45	2.55	4.72	0.77	57.68	3.04	175.38	2.00
11	2.25	2.59	4.85	0.79	51.33	3.29	168.78	2.00
12	2.25	2.52	3.64	0.76	48.08	2.89	139.06	0.33
13	2.35	2.87	11.64	0.87	53.42	2.89	154.50	2.00
14	2.54	2.70	6.98	0.82	52.93	2.89	153.06	2.00
15	3.03	2.56	4.94	0.78	58.63	3.10	181.56	2.00
16	3.33	2.53	4.71	0.77	61.65	2.93	180.58	2.00
17	3.82	2.51	4.81	0.76	68.13	2.82	191.83	2.00

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ (continued) ::

Point ID	q_c (MPa)	I_c	F (%)	n	q_{c1n}	K_c	q_{c1cs}	$CRR_{7.5}$
18	2.94	2.50	3.50	0.76	50.29	2.76	138.66	0.33
19	3.72	2.48	4.03	0.75	61.83	2.67	165.08	2.00
20	3.42	2.46	3.39	0.75	54.94	2.58	141.76	0.34
21	4.50	2.21	1.81	0.67	67.26	1.69	113.73	0.22
22	5.38	2.37	3.66	0.72	80.88	2.20	177.60	2.00
23	4.79	2.45	4.12	0.74	70.90	2.51	178.26	2.00
24	5.48	2.43	4.34	0.74	78.92	2.46	193.79	2.00
25	4.99	2.45	4.09	0.74	70.07	2.52	176.70	2.00
26	4.40	2.49	4.04	0.75	60.46	2.70	163.47	2.00
27	5.28	2.46	4.25	0.75	70.83	2.57	181.69	2.00
28	5.28	2.49	4.64	0.76	69.44	2.73	189.61	2.00
29	4.79	2.46	3.71	0.75	61.19	2.56	156.55	0.44
30	4.11	2.70	6.86	0.82	52.35	2.56	133.94	2.00
31	3.33	2.45	2.29	0.74	40.15	2.51	100.70	0.17
32	15.56	1.77	1.17	0.54	178.54	1.09	194.05	2.00
33	6.75	2.27	2.62	0.69	78.24	1.87	146.10	0.37
34	9.30	2.22	2.91	0.67	105.78	1.72	181.54	2.00
35	17.61	2.18	4.12	0.66	196.82	1.62	318.49	2.00
36	15.85	2.07	2.76	0.63	172.39	1.40	241.52	2.00

q_c : Measured cone resistance
 I_c : Soil behavior type index
F : Normalized friction ratio
n : Stress exponent
 q_{c1n} : Normalized cone resistance
 K_c : Cone resistance correction factor due to fines
 q_{c1ncs} : Normalized and adjusted cone resistance
 $CRR_{7.5}$: Cyclic resistance ratio for $M_w=7.5$

:: Overall liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L	Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	9.70	0.00	2	0.00	9.60	0.00
3	0.00	9.50	0.00	4	0.00	9.40	0.00
5	0.00	9.30	0.00	6	0.00	9.20	0.00
7	0.00	9.10	0.00	8	0.00	9.00	0.00
9	0.00	8.90	0.00	10	0.00	8.80	0.00
11	0.00	8.70	0.00	12	0.00	8.60	0.00
13	0.00	8.50	0.00	14	0.00	8.40	0.00
15	0.00	8.30	0.00	16	0.00	8.20	0.00
17	0.00	8.10	0.00	18	0.00	8.00	0.00
19	0.00	7.90	0.00	20	0.00	7.80	0.00
21	0.00	7.70	0.00	22	0.00	7.60	0.00
23	0.00	7.50	0.00	24	0.00	7.40	0.00
25	0.00	7.30	0.00	26	0.00	7.20	0.00
27	0.00	7.10	0.00	28	0.00	7.00	0.00
29	0.00	6.90	0.00	30	0.00	6.80	0.00
31	0.00	6.70	0.00	32	0.00	6.60	0.00
33	0.00	6.50	0.00	34	0.00	6.40	0.00
35	0.00	6.30	0.00	36	0.00	6.20	0.00

Overall potential I_L : 0.00

$I_L = 0.00$ - No liquefaction
 I_L between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable
 I_L between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable
 $I_L > 15.00$ - Liquefaction certain



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

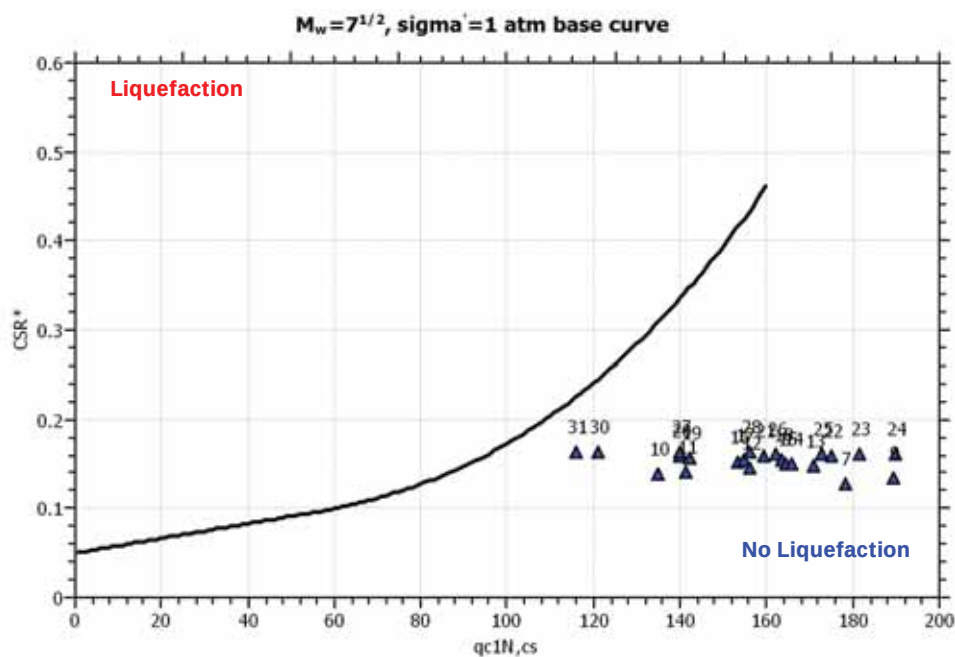
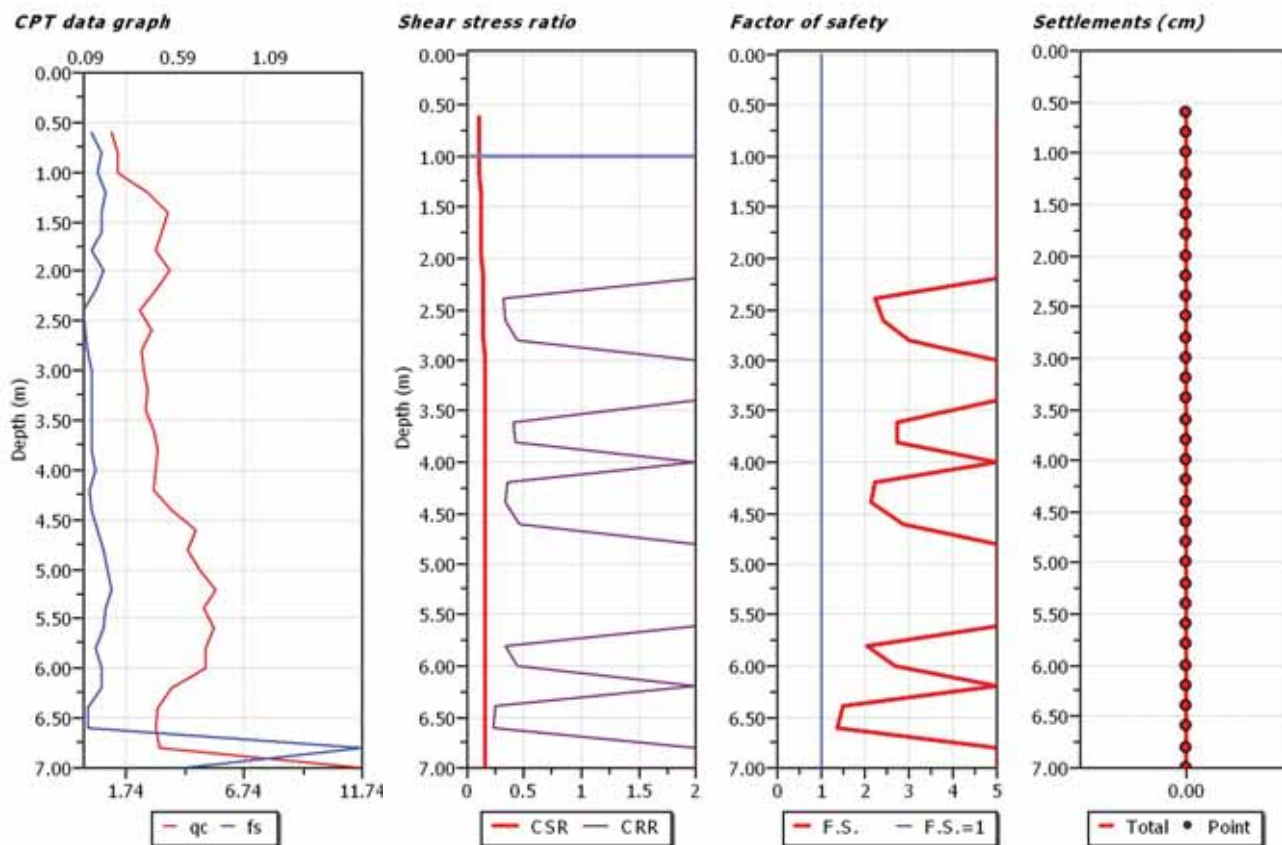
Project title :

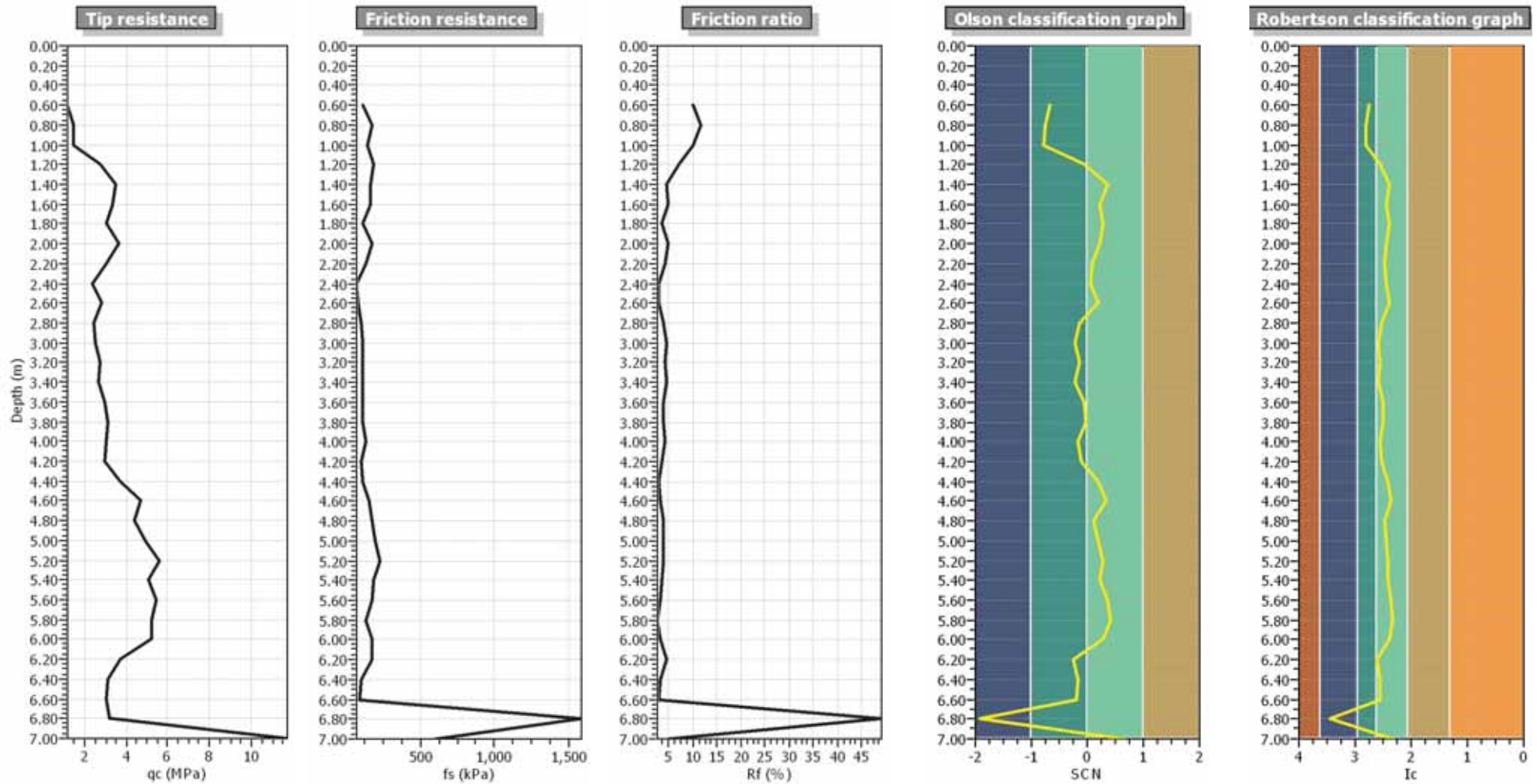
Project subtitle :

Input parameters and analysis data

In-situ data type: Cone Penetration Test
Analysis type: Deterministic
Analysis method: Robertson (1998)
Fines correction method: Robertson (1998)

Depth to water table: 1.00 m
Earthquake magnitude M_w : 6.00
Peak ground acceleration: 0.27 g
User defined F.S.: 1.00





Soil type index legend

Gravelly sand to dense sand	Silt mixtures: clayey silt to silty clay
Sands: clean sand to silty sand	Clays: silty clay to clay
Sand mixtures: silty sand to sandy silt	Organic soils: peats

:: Field input data ::

Point ID	Depth (m)	q_c (MPa)	f_s (kPa)	Fines content (%)	Unit weight (kN/m ³)
1	0.60	1.17	120.00	43.52	18.85
2	0.80	1.47	173.33	46.30	18.94
3	1.00	1.47	146.67	45.87	18.94
4	1.20	2.74	193.33	33.53	19.32
5	1.40	3.52	166.67	26.19	19.56
6	1.60	3.33	166.67	28.11	19.50
7	1.80	3.03	113.33	26.03	19.41
8	2.00	3.62	180.00	28.29	19.59
9	2.20	3.03	133.33	29.18	19.41
10	2.40	2.35	73.33	28.56	19.20
11	2.60	2.84	86.67	26.54	19.35
12	2.80	2.45	100.00	32.54	19.23
13	3.00	2.54	120.00	34.53	19.26
14	3.20	2.74	120.00	33.02	19.32
15	3.40	2.64	120.00	34.54	19.29
16	3.60	2.94	113.33	31.36	19.38
17	3.80	3.13	120.00	30.86	19.44
18	4.00	3.03	133.33	33.60	19.41
19	4.20	2.94	106.67	31.89	19.38
20	4.40	3.72	113.33	26.95	19.62
21	4.60	4.70	153.33	25.31	19.91
22	4.80	4.40	180.00	29.28	19.82
23	5.00	4.89	200.00	28.32	19.97
24	5.20	5.58	226.67	27.00	20.17
25	5.40	5.09	193.33	27.51	20.03
26	5.60	5.48	180.00	25.10	20.14
27	5.80	5.19	140.00	23.70	20.06
28	6.00	5.19	173.33	26.52	20.06
29	6.20	3.72	173.33	35.98	19.62
30	6.40	3.13	100.00	33.57	19.44
31	6.60	3.03	93.33	33.91	19.41
32	6.80	3.23	1586.67	95.98	19.47
33	7.00	11.74	613.33	24.56	22.02

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
 q_c : Measured cone resistance
 f_s : Sleeve friction resistance
 Fines content : Percentage of fines in soil (%)
 Unit weight : Bulk soil unit weight (kPa)

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{sigma}	CSR*
1	0.60	11.31	0.00	11.31	1.00	0.17	1.77	0.10	1.00	0.10
2	0.80	15.10	0.00	15.10	0.99	0.17	1.77	0.10	1.00	0.10
3	1.00	18.89	0.00	18.89	0.99	0.17	1.77	0.10	1.00	0.10
4	1.20	22.75	1.96	20.79	0.99	0.19	1.77	0.11	1.00	0.11
5	1.40	26.66	3.92	22.74	0.99	0.20	1.77	0.12	1.00	0.12
6	1.60	30.56	5.89	24.68	0.99	0.21	1.77	0.12	1.00	0.12
7	1.80	34.44	7.85	26.60	0.99	0.22	1.77	0.13	1.00	0.13
8	2.00	38.36	9.81	28.55	0.98	0.23	1.77	0.13	1.00	0.13
9	2.20	42.24	11.77	30.47	0.98	0.24	1.77	0.14	1.00	0.14
10	2.40	46.08	13.73	32.35	0.98	0.25	1.77	0.14	1.00	0.14
11	2.60	49.96	15.70	34.26	0.98	0.25	1.77	0.14	1.00	0.14
12	2.80	53.80	17.66	36.14	0.98	0.26	1.77	0.14	1.00	0.14
13	3.00	57.65	19.62	38.03	0.98	0.26	1.77	0.15	1.00	0.15

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) (continued) ::

Point ID	Depth (m)	Sigma (kPa)	u (kPa)	Sigma' (kPa)	r_d	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{σ}	CSR*
14	3.20	61.52	21.58	39.94	0.98	0.26	1.77	0.15	1.00	0.15
15	3.40	65.38	23.54	41.83	0.97	0.27	1.77	0.15	1.00	0.15
16	3.60	69.25	25.51	43.75	0.97	0.27	1.77	0.15	1.00	0.15
17	3.80	73.14	27.47	45.67	0.97	0.27	1.77	0.15	1.00	0.15
18	4.00	77.02	29.43	47.59	0.97	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
19	4.20	80.90	31.39	49.51	0.97	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
20	4.40	84.82	33.35	51.47	0.97	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
21	4.60	88.80	35.32	53.49	0.96	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
22	4.80	92.77	37.28	55.49	0.96	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
23	5.00	96.76	39.24	57.52	0.96	0.28	1.77	0.16	1.00	0.16
24	5.20	100.80	41.20	59.59	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
25	5.40	104.80	43.16	61.64	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
26	5.60	108.83	45.13	63.70	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
27	5.80	112.84	47.09	65.75	0.96	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
28	6.00	116.85	49.05	67.80	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
29	6.20	120.78	51.01	69.76	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
30	6.40	124.66	52.97	71.69	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
31	6.60	128.55	54.94	73.61	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
32	6.80	132.44	56.90	75.54	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16
33	7.00	136.84	58.86	77.98	0.95	0.29	1.77	0.16	1.00	0.16

Depth : Depth from free surface, at which CPT was performed (m)
 Sigma : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)
 u : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)
 Sigma' : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)
 r_d : Nonlinear shear mass factor
 CSR : Cyclic Stress Ratio
 MSF : Magnitude Scaling Factor
 $CSR_{eq,M=7.5}$: CSR adjusted for M=7.5
 K_{σ} : Effective overburden stress factor
 CSR* : CSR fully adjusted

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$::

Point ID	q_c (MPa)	I_c	F (%)	n	q_{c1n}	K_c	q_{c1cs}	$CRR_{7.5}$
1	1.17	2.76	10.32	0.83	71.61	0.00	0.00	2.00
2	1.47	2.81	11.93	0.85	72.33	0.00	0.00	2.00
3	1.47	2.80	10.12	0.85	59.44	0.00	0.00	2.00
4	2.74	2.56	7.12	0.78	91.95	3.10	285.18	2.00
5	3.52	2.39	4.77	0.73	102.44	2.29	234.60	2.00
6	3.33	2.44	5.06	0.74	92.82	2.49	230.88	2.00
7	3.03	2.39	3.78	0.72	78.31	2.27	178.11	2.00
8	3.62	2.45	5.03	0.74	90.70	2.51	227.27	2.00
9	3.03	2.47	4.46	0.75	72.71	2.60	189.18	2.00
10	2.35	2.45	3.19	0.74	53.26	2.53	134.99	0.31
11	2.84	2.40	3.11	0.73	60.84	2.33	141.47	0.34
12	2.45	2.54	4.18	0.77	52.38	2.98	156.25	0.43
13	2.54	2.58	4.83	0.78	52.99	3.22	170.83	2.00
14	2.74	2.55	4.48	0.77	54.46	3.04	165.59	2.00
15	2.64	2.58	4.66	0.78	50.97	3.22	164.35	2.00
16	2.94	2.52	3.95	0.76	53.83	2.85	153.20	0.41
17	3.13	2.50	3.92	0.76	55.43	2.79	154.56	0.42
18	3.03	2.56	4.51	0.78	52.63	3.11	163.67	2.00
19	2.94	2.53	3.74	0.77	48.91	2.91	142.15	0.35
20	3.72	2.41	3.12	0.73	59.08	2.37	139.82	0.33
21	4.70	2.37	3.33	0.72	72.29	2.20	159.38	0.46
22	4.40	2.47	4.18	0.75	66.98	2.61	174.96	2.00
23	4.89	2.45	4.17	0.74	72.27	2.51	181.33	2.00

:: Cyclic Resistance Ratio calculation $CRR_{7.5}$ (continued) ::

Point ID	q_c (MPa)	I_c	F (%)	n	q_{c1n}	K_c	q_{c1cs}	$CRR_{7.5}$
24	5.58	2.41	4.14	0.73	80.00	2.37	189.78	2.00
25	5.09	2.43	3.88	0.74	71.15	2.42	172.53	2.00
26	5.48	2.37	3.35	0.72	74.24	2.18	162.11	2.00
27	5.19	2.33	2.76	0.71	68.24	2.05	140.11	0.34
28	5.19	2.40	3.42	0.73	67.29	2.32	156.33	0.44
29	3.72	2.61	4.82	0.79	47.84	2.32	111.15	2.00
30	3.13	2.56	3.33	0.78	38.94	3.11	120.94	0.24
31	3.03	2.57	3.21	0.78	36.88	3.15	116.08	0.23
32	3.23	3.47	51.24	1.00	40.99	3.15	129.02	2.00
33	11.74	2.35	5.29	0.71	138.60	2.13	295.63	2.00

q_c : Measured cone resistance
 I_c : Soil behavior type index
 F : Normalized friction ratio
 n : Stress exponent
 q_{c1n} : Normalized cone resistance
 K_c : Cone resistance correction factor due to fines
 $q_{c1n,cs}$: Normalized and adjusted cone resistance
 $CRR_{7.5}$: Cyclic resistance ratio for $M_w=7.5$

:: Overall liquefaction potential according to Iwasaki ::

Point ID	F	w_z	I_L	Point ID	F	w_z	I_L
1	0.00	9.70	0.00	2	0.00	9.60	0.00
3	0.00	9.50	0.00	4	0.00	9.40	0.00
5	0.00	9.30	0.00	6	0.00	9.20	0.00
7	0.00	9.10	0.00	8	0.00	9.00	0.00
9	0.00	8.90	0.00	10	0.00	8.80	0.00
11	0.00	8.70	0.00	12	0.00	8.60	0.00
13	0.00	8.50	0.00	14	0.00	8.40	0.00
15	0.00	8.30	0.00	16	0.00	8.20	0.00
17	0.00	8.10	0.00	18	0.00	8.00	0.00
19	0.00	7.90	0.00	20	0.00	7.80	0.00
21	0.00	7.70	0.00	22	0.00	7.60	0.00
23	0.00	7.50	0.00	24	0.00	7.40	0.00
25	0.00	7.30	0.00	26	0.00	7.20	0.00
27	0.00	7.10	0.00	28	0.00	7.00	0.00
29	0.00	6.90	0.00	30	0.00	6.80	0.00
31	0.00	6.70	0.00	32	0.00	6.60	0.00
33	0.00	6.50	0.00				

Overall potential I_L : 0.00

$I_L = 0.00$ - No liquefaction
 I_L between 0.00 and 5.00 - Liquefaction not probable
 I_L between 5.00 and 15.00 - Liquefaction probable
 $I_L > 15.00$ - Liquefaction certain