

MODENA, 23/07/2012

**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA INERENTE UN LOTTO
DI TERRENO SITO IN COMUNE DI ROLO (RE) INTERESSATO DALLA
MESSA IN OPERA PROVVISORIA DI MODULI PREFABBRICATI DA
DESTINARE AD EDIFICI SCOLASTICI**

INDICE

1. PREMESSA ED INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE
2. INDAGINI ESEGUITE, RISULTATI OTTENUTI, MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA
3. ASPETTI SISMICI
4. CONCLUSIONI

ALLEGATI: Corografia
Ubicazione lotto e prove penetrometriche
Diagrammi penetrometrici
Tabulati di calcolo

1. PREMESSA ED INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Su incarico della Amministrazione Comunale di Rolo (Provincia di Reggio Emilia) e d'intesa con l'Ing. Giulia Rinaldi, Funzionario dell'Area Tecnica ed Attività Produttive della Amministrazione Comunale, il sottoscritto Dott. Rino Guadagnini, geologo libero professionista regolarmente iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Emilia Romagna con il n° 192, ha provveduto ad effettuare uno studio geologico-geotecnico e sismico di un lotto di terreno sito in Via del Torchio ove si intende procedere alla messa in opera di elementi prefabbricati da destinare ad edificio scolastico (n. 11 aule oltre ad una palestra ed ulteriori 3 aule di servizio).

Scopo dello studio, in questa fase progettuale, è stato oltre quello di definire il quadro geologico generale, soprattutto quello di verificare le caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche e sismiche del sottosuolo e dei terreni che saranno destinati dalle nuove costruzioni, in modo da permettere al Tecnico Progettista che sarà incaricato una corretta scelta fondazionale ed un altrettanto corretto dimensionamento delle fondazioni stesse, in relazione soprattutto alle interazioni che saranno indotte dall'intervento edilizio in progetto.

Come accennato il lotto oggetto dell'intervento si trova in Comune di Rolo (Provincia di Reggio Emilia) nella periferia sud dell'abitato, all'interno di un piano particolareggiato in fase di ultimazione, e prende accesso dalla Via del Torchio con la quale confina; catastalmente è censito al F.o 16 Mappale 486.

Da un punto di vista morfologico l'area, in espansione urbanistica, è pianeggiante ed essendo posta a quote di 21-22 m s.l.m. appartiene alla bassa pianura reggiana a confine con quella modenese.

Geologicamente il sottosuolo, per parecchie decina di metri almeno e comunque per spessori di gran lunga superiori a quelli che possono essere

interessati da qualsiasi opera fondazionale e dalla diffusione in profondità dei carichi trasmessi dalle fondazioni, è costituito da depositi alluvionali che nella zona sono caratterizzati dalla presenza, di gran lunga prevalente, di argille e limi con i relativi termini intermedi.

All'interno di tali materiali fini e/o finissimi sono presenti intercalazioni di materiali più grossolani costituiti da sabbie più o meno limose e raramente da sabbie con ghiaietto.

Nella zona la prima lente sabbiosa arealmente continua e di spessore geotecnicamente significativa si rinviene a profondità inferiori ai 15÷20 metri.

Nei materiali relativamente più grossolani presenti nel pacco argilloso limoso che sovrasta la prima lente sabbiosa non è infrequente la presenza di piccole lenti limose e raramente limo-sabbiose di spessore modesto e andamento marcatamente lenticolare che sono sedi di modeste falde idriche sospese, alimentate per lo più da infiltrazioni superficiali, che presentano soggiacenze minime dell'ordine del metro÷metro e mezzo; la falda idrica contenuta nelle lenti sabbiose e sabbioso-ghiaioso non sarà interessata dalle costruzioni.

Come anticipato lo studio è stato condotto, oltre che mediante rilevamento diretto e ricerca bibliografica, soprattutto con l'ausilio di un'apposita indagine geognostica espletata mediante esecuzione di prove penetrometriche; ci si è inoltre anche potuto avvalere dei risultati di altre indagini geognostiche eseguite nelle vicinanze per l'edificazione di edifici residenziali oltre che di quelle eseguite per lo studio geologico-geotecnico di fattibilità eseguito per il progetto di lottizzazione del quale il lotto fa parte.

2. INDAGINI ESEGUITE, RISULTATI OTTENUTI, E MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA

Come accennato per verificare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo e che saranno interessati dalle opere fondazionali e dalla diffusione in profondità dei carichi trasmessi è stata eseguita, in data 20/07/2012, dall'INTERGEO S.r.l. di Modena un'apposita indagine geognostica.

L'indagine è stata sviluppata mediante esecuzione di n. 3 prove penetrometriche che, in relazione alle presumibili caratteristiche granulometriche dei terreni del primo sottosuolo, sono state ad infissione statica; l'ubicazione delle prove compare nella planimetria allegata unitamente ai diagrammi penetrometrici ed ai tabulati di calcolo.

Le prove, che hanno raggiunto una profondità massima di m 30 dal p.c., sono state eseguite in campagna utilizzando un penetrometro statico Olandese Gouda da 10 ton di spinta ed impiegando per la penetrazione una punta "Friction Jacket Cone" avente un'area di 10 cm² ed un angolo alla punta di 60°.

L'uso della punta "Friction Jacket Cone" è stato espressamente richiesto dal sottoscritto per poter determinare, oltre al carico di rottura, anche la litologia dei terreni attraversati dalla punta penetrometrica.

Infatti dal rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale, applicando la correlazione di Begemann modificata da Schmestron, si riesce a risalire alla granulometria e, come conseguenza, alla litologia dei terreni attraversati dalla punta penetrometrica.

Nei tabulati di calcolo sono stati riportati, oltre ai valori misurati in sito ogni 20 cm d'avanzamento della punta penetrometrica, i valori, calcolati mediante elaborazione automatica dei dati, della resistenza penetrometrica alla punta,

(carico di rottura del terreno), espressi in kg/cm^2 , i valori della resistenza laterale locale, sempre espressi in kg/cm^2 , nonché i valori del rapporto fra la resistenza penetrometrica alla punta e la resistenza laterale locale (rapporto di Begemann).

Nei diagrammi penetrometrici, graficati mediante plotter interfacciato con l'elaboratore automatico, per semplicità di lettura, sono state riportate solamente due curve e precisamente:

- a sinistra del diagramma la curva della resistenza penetrometrica alla punta (carico di rottura del terreno), espressa in kg/cm^2 ;
- a destra, la curva del rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale (rapporto di Begemann).

Le prove penetrometriche, appositamente eseguite, hanno evidenziato una buona omogeneità fra loro e con altre prove eseguite nelle immediate vicinanze, sia per quanto riguarda i valori della resistenza alla punta, sia per quanto riguarda i valori del rapporto di Begemann e quindi della litologia, evidenziando, nel contempo, una situazione litostratigrafica assai semplice e cioè la presenza fino a 11,5÷14,0 m di terreni argilloso-limosi generalmente mediamente consolidati che ricoprono depositi sabbiosi presenti sino ad almeno 30 m di profondità dal p.c..

La caratterizzazione litologica e geotecnica dei terreni del primo sottosuolo è stata eseguita, come detto, mediante l'elaborazione di tre prove penetrometriche statiche, spinte sino alla profondità massima di 30 m dal piano campagna, eseguite sull'area sulla quale sono previste le opere in progetto.

La parametrizzazione delle unità litotecniche del sottosuolo è stata realizzata attraverso le correlazioni proposte in letteratura, con riferimento alle unità litostratigrafiche individuate.

Complessivamente l'indagine eseguita ha evidenziato la presenza di terreni con caratteristiche favorevoli alla progettazione dell'intervento previsto.

I terreni interessati dalle strutture di fondazione in progetto, ovvero quelli soggetti alla interazione struttura-terreno, sono quelli superficiali entro i primi 4-5 m di profondità, sufficientemente consistenti da affrontare le normali problematiche fondazionali.

Nella tabella seguente è riportata la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica, con i principali parametri.

PARAMETRI GEOTECNICI

Nr: Numero progressivo strato
 Prof: Profondità strato (m)
 Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
 Cu: Coesione non drenata (Kg/cm²)
 Eu: Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm²)
 Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm²)
 G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
 OCR: Grado di sovraconsolidazione
 γ : Peso unità di volume (t/m³)
 Dr: Densità relativa (%)
 ϕ : Angolo di resistenza al taglio (°)
 Ey: Modulo di Young (Kg/cm²)

PS1

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	γ	Dr	Fi	Ey
1	0,60	C	0,84	628,44	47,39	156,97	>9	1,94	--	--	--
2	2,00	CI	1,97	1468,94	78,80	264,24	0,92	2,09	75,53	38,69	78,80
3	14,20	C	0,91	628,11	45,43	165,39	3,60	1,94	--	--	--
4	18,60	I	--	--	109,20	384,52	<0.5	1,90	33,08	31,89	145,60
5	30,00	I	--	--	225,00	598,07	<0.5	1,90	47,28	33,93	300,00

PS2

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	γ	Dr	Fi	Ey
1	0,60	C	0,61	452,15	46,96	128,45	>9	1,89	--	--	--
2	1,00	CI	2,35	1761,46	94,20	294,70	0,50	2,12	95,65	41,80	94,20
3	12,40	C	0,92	642,37	45,26	165,94	4,43	1,95	--	--	--
4	13,80	I	--	--	102,60	242,35	<0.5	1,80	12,97	28,94	68,40
5	15,00	I	--	--	112,20	255,97	<0.5	1,90	13,63	29,02	74,80
6	20,00	I	--	--	99,75	363,83	<0.5	1,90	28,27	31,16	133,00

PS3

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	γ	Dr	Fi	Ey
1	0,60	C	0,88	654,63	46,60	160,94	>9	1,95	--	--	--
2	2,00	C	1,54	1146,43	61,60	227,33	>9	2,04	--	--	--
3	11,40	C	0,79	544,94	48,13	151,20	4,43	1,92	--	--	--
4	18,60	I	--	--	96,45	356,43	<0.5	1,90	30,89	31,58	128,60
5	29,00	I	--	--	243,00	626,86	<0.5	1,90	50,28	34,38	324,00
6	30,00	C	2,16	1390,50	86,60	279,93	1,67	2,08	--	--	--

Sulla base dell'indagine eseguita si può stimare, per i terreni presenti, considerando una profondità di posa delle fondazioni a circa 1 m di profondità dall'attuale piano campagna, una portata massima in termini di tensioni ammissibili, pari a 1,2 Kg/cm² che naturalmente andrà verificata in relazione alle nuove norme vigenti (NTC2008).

3. ASPETTI SISMICI

Con l'entrata in vigore, il 23 ottobre 2005, delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14.09.2005, le cui norme tecniche includono tra le referenze tecniche essenziali anche l'Ordinanza n. 3274/2003 e s.m.i., è diventata obbligatoria la progettazione antisismica per tutto il territorio nazionale, facendo riferimento alle zone sismiche di cui alla OPCM 3274/2003.

Ai fini dell'applicazione di queste norme, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche, a ciascuna delle quali è assegnato un intervallo di valori dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni; in particolare, per la determinazione delle azioni sismiche, risulta assegnato un valore (a_g / g), di ancoraggio dello spettro di risposta elastico, diverso per ogni zona sismica; il Comune di Rolo ricade nella zona 3 a sismicità bassa, a cui è associato un valore della massima accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a $a_g = 0,15g$.

I valori di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

Zona	Valore di a_g
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo

rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

Secondo l'approccio "zona dipendente", adottato dalla precedenti normative nazionali in campo antisismico, l'accelerazione di base a_g , senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni, era direttamente derivante dalla Zona sismica di appartenenza del comune nel cui territorio è localizzato il sito di progetto.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica.

Pertanto, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento, riportato nella tabella 1 nell'allegato B del D.M. del 2008.

Tale griglia è costituita da 10.751 nodi (distanziati di non più di 10 km) e copre l'intero territorio nazionale ad esclusione delle isole (tranne Sicilia, Ischia, Procida e Capri) dove, con metodologia e convenzioni analoghe vengono forniti parametri spettrali costanti per tutto il territorio (tabella 2 nell'allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Per ciascuno dei nodi della griglia vengono forniti, per 9 valori del periodo di ritorno (da 30 anni a 2.475 anni), i valori dei parametri di pericolosità sismica, utili per la progettazione e cioè i valori di a_g (accelerazione orizzontale massima del terreno espressa in $g/10$), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale adimensionale) e T^*c (periodo di inizio

del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale espresso in secondi) necessari per la definizione dell'azione sismica, una volta definito per l'intervento in progetto, ai sensi sempre delle NTC2008, il tipo e la classe (ad esempio, per fabbricati normali, tipo 2 e classe II).

Secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, è possibile il calcolo dei suddetti parametri spettrali (per uno dei tempi di ritorno forniti) tramite media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni (Tabella 1 in Allegato B) che comprendono il sito in esame, per i quattro stati limite previsti dalle norme *S.L.O.*, *S.L.D.*, *S.L.V.* e *S.L.C.*

Inoltre allo scopo di valutare l'amplificazione lito-stratigrafica dell'azione sismica di progetto, intesa come l'azione generata dal moto non uniforme del terreno di sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche, deve essere classificato il terreno di fondazione, nelle seguenti categorie individuate dalle NTC 2008.

Il sito viene classificato sulla base di V_{s30} se disponibile, altrimenti sulla base del valore di N_{spt} , per terreni prevalentemente granulari, ovvero sulla base della c_u , per i terreni prevalentemente coesivi, nelle seguenti categorie di suolo:

- A - *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s30} > 800$ m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
- B - *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti*, 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 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fine).
- C - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensate, o terreni a grana fine 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 $15 < N_{SPT} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fine).

- D - *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti*, con spessori superiori ai 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s (ovvero $N_{SPT} < 15$ nei terreni a grana grossa, $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fine).
- E - *Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali*, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.

Esistono poi due categorie speciali che sono individuate con le lettere S1 e S2 per le quali le NTC2008 richiedono per la definizione dell'azione sismica il ricorso a studi specifici

- S1 - Depositi di terreni caratterizzati da valori $V_{s30} < 100$ m/s (ovvero $10 < c_u < 70$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
- S2 - Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle definizioni precedenti V_{s30} è la velocità media di propagazione entro i primi 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la formula riportata nel capitolo precedente.

Per la determinazione della velocità delle onde S negli strati di copertura, come previsto dalla normativa vigente, si è elaborata la prova penetrometrica eseguita spinta sino ai 30 di profondità, ubicate come da allegato, applicando correlazioni empiriche note e diffuse in bibliografia (Otha e Goto – Ijisan), che correlano per i singoli strati individuati il valore del R_p medio con il corrispondente valore del V_s medio. In particolare la prova penetrometrica, spinta

sino ai 30 m, è stata suddivisa in strati a caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche omogenee e per ogni strato è stato determinato, noto il valore della resistenza alla punta medio R_p , il valore della velocità delle onde S con le correlazioni note.

Pertanto mediante la correlazione sopra detta si è calcolato il valore della V_{s30} cioè riferito ai primi 30 m di profondità e quindi la relativa categoria di suolo di fondazione.

PROVA PENETROMETRICA					
Profondità da m a m		Rp med. Kg/cmq	Spessore	Vs m/sec	hi/Vsi
0,00	0,60	/	0,60		
0,60	2,00	40,50	1,40	263,59	0,005
2,00	14,20	17,15	12,20	190,65	0,064
14,20	18,60	70,45	4,40	324,76	0,014
18,60	30,00	146,59	11,40	428,09	0,027
					S=
					0,109

Vs30	274,02
-------------	---------------

Per i terreni in oggetto, nell'area sulla quale è previsto l'intervento in progetto, fino ai 30 m di profondità, tenuto conto dei risultati ottenuti, Vs₃₀ pari a 274,02 m/sec, si definisce una categoria di suolo di fondazione di tipo C, riferibile a *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati, o terreni a grana fine 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 ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa).

Sulla base della categoria di suolo di appartenenza del terreno, le NTC2008 associano un coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s, da applicare alle componenti orizzontali dell'azione sismica; viene inoltre definito un coefficiente C_c che serve per il calcolo del periodo di controllo T_c corrispondente

all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico in accelerazione.

Poiché tale valore è riferito al bedrock, per definire il valore di a_g in superficie si calcola quindi il fattore S_s , caratteristico dell'area, che dipende dalla categoria di suolo di fondazione; essendo i terreni dell'area in esame in categoria C, avremo:

$$- S_s = 1.70 - (0.6 \times F_o \times a_g/g)$$

Viene inoltre definito un coefficiente C_c , che serve per il calcolo del periodo di controllo T_c , corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico in accelerazione; in particolare T_c è calcolato come prodotto di C_c per il periodo T^*_c , ottenuto dallo studio di pericolosità sismici del sito specifico, come riportato nella tabella precedente.

Per suoli in categoria C il coefficiente C_c risulta pari a:

$$- C_c = 1.05 \times (T^*_c)^{-0.33}.$$

Le NTC 2008 di cui al DM 14/01/2008 prevedono anche un coefficiente di amplificazione topografica che tiene conto della particolare ubicazione del sito, in relazione alla sua configurazione morfologica.

Vengono previste 4 categorie topografiche, a secondo della configurazione geometrica del sito, alle quali è associato un coefficiente di amplificazione S_T che varia da 1 a 1.4.

Per quanto concerne la topografia del sito, l'area ricade nella categoria T1, caratterizzata da una superficie pianeggiante con inclinazione media inferiore a 15° , alla quale è associata un valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T pari a 1.

Ciò detto, sulla base della collocazione del sito in oggetto, corrispondente al punto sul quale sono in progetto le opere previste, si ottengono i relativi parametri di pericolosità sismica, come riportato di seguito.

Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 44,882473
longitudine: 10,863635
Classe: 3
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 14947	Lat: 44,9048	Lon: 10,8095	Distanza: 4937,553
Sito 2	ID: 14948	Lat: 44,9064	Lon: 10,8800	Distanza: 2953,750
Sito 3	ID: 15170	Lat: 44,8564	Lon: 10,8822	Distanza: 3246,708
Sito 4	ID: 15169	Lat: 44,8548	Lon: 10,8117	Distanza: 5115,961

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75anni
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 45 [anni]
ag: 0,045 g
Fo: 2,546
Tc*: 0,260 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 75 [anni]
ag: 0,056 g
Fo: 2,530
Tc*: 0,277 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 712 [anni]
ag: 0,163 g
Fo: 2,549
Tc*: 0,273 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1462 [anni]
ag: 0,219 g
Fo: 2,494
Tc*: 0,280 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,640
St: 1,000
Kh: 0,014
Kv: 0,007
Amax: 0,664
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,017
Kv: 0,008
Amax: 0,828
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,450
Cc: 1,610
St: 1,000
Kh: 0,057
Kv: 0,028
Amax: 2,321
Beta: 0,240

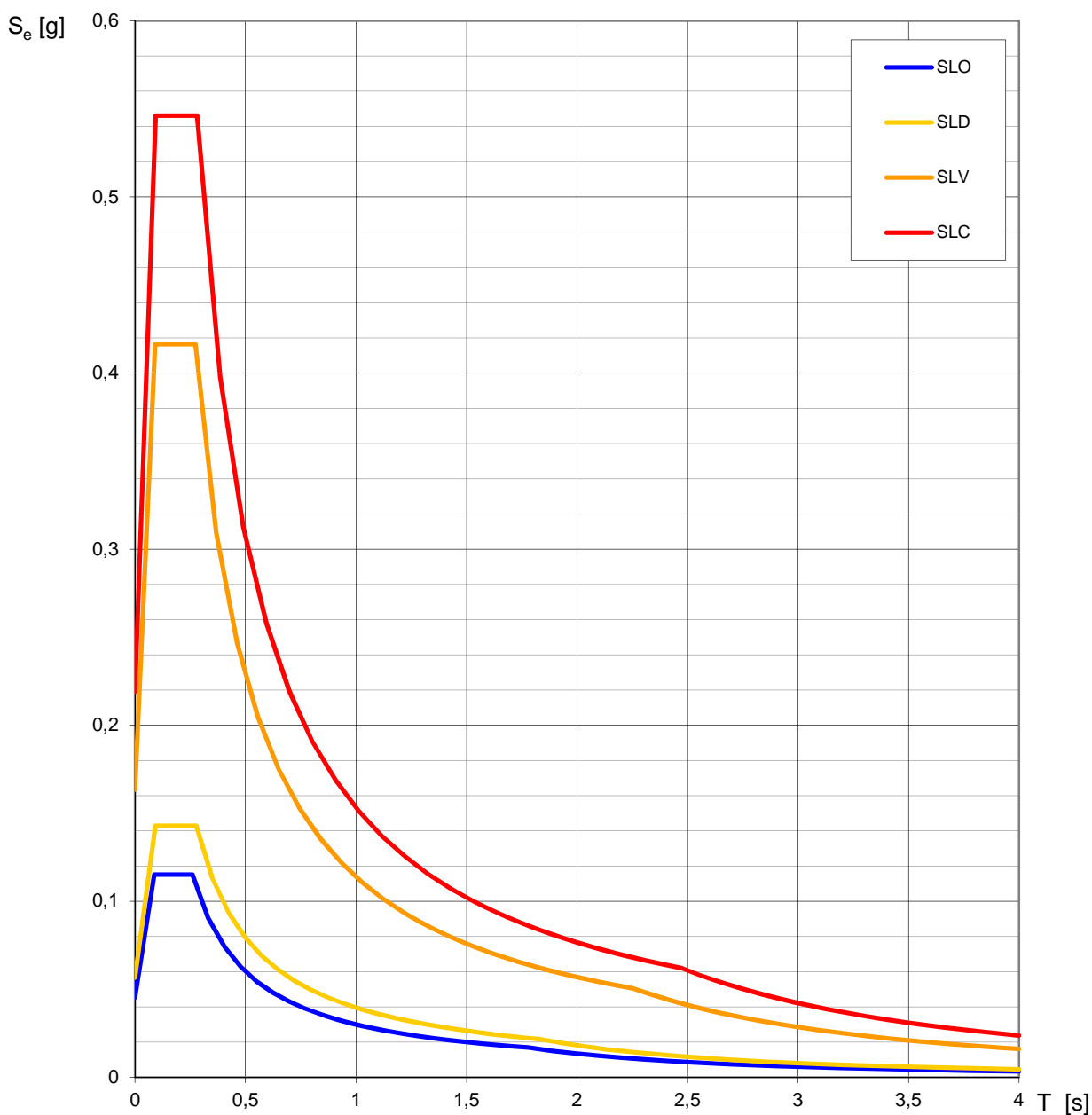
SLC:

Ss:	1,370
Cc:	1,600
St:	1,000
Kh:	0,084
Kv:	0,042
Amax:	2,940
Beta:	0,280

Dove Kh e Kv sono i coefficienti sismici, orizzontale e verticale, per il sito in esame, calcolati, nei diversi stati limite, mediante il coefficiente di riduzione sismica Beta (funzione della categoria di suolo).

Noti i parametri di pericolosità sismica si possono calcolare gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il sito in esame, relativi al computo dell'azione sismica di progetto ai sensi del D.M. 14/01/2008 (Allegato 10).

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri dello spettro di risposta in base allo stato limite

Spettro di risposta orizzontale

SLO	
a_g	0,045
F_O	2,546
T_c^*	0,260
S_s	1,500
C_c	1,637
S_T	1,000
q	2,400
S	1,500
η	0,417
T_B	0,142
T_c	0,426
T_D	1,781

SLD	
a_g	0,057
F_O	2,529
T_c^*	0,277
S_s	1,500
C_c	1,605
S_T	1,000
q	2,400
S	1,500
η	0,417
T_B	0,148
T_c	0,444
T_D	1,826

SLV	
a_g	0,163
F_O	2,549
T_c^*	0,273
S_s	1,450
C_c	1,611
S_T	1,000
q	2,400
S	1,450
η	0,417
T_B	0,147
T_c	0,440
T_D	2,253

SLC	
a_g	0,219
F_O	2,494
T_c^*	0,280
S_s	1,372
C_c	1,598
S_T	1,000
q	2,400
S	1,372
η	0,417
T_B	0,149
T_c	0,448
T_D	2,476

Spettro di risposta verticale

SLO	
a_{gv}	0,013
S_s	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050
T_c	0,150
T_D	1,000
F_V	0,731
S	1,000
η	0,667

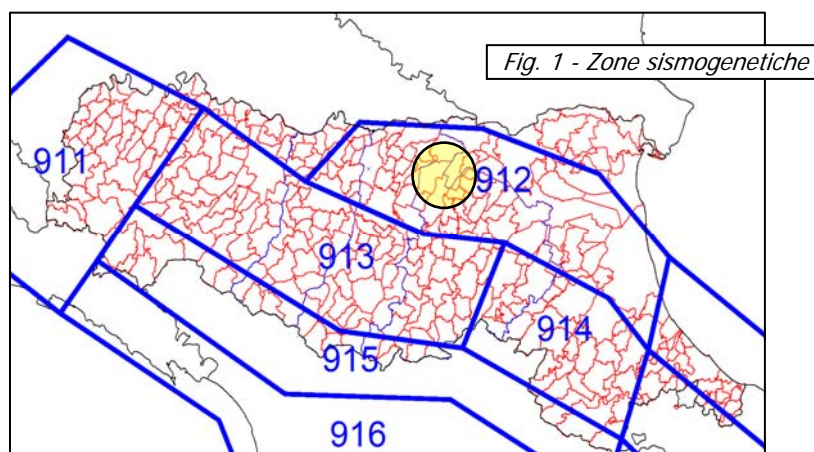
SLD	
a_{gv}	0,018
S_s	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050
T_c	0,150
T_D	1,000
F_V	0,812
S	1,000
η	0,667

SLV	
a_{gv}	0,089
S_s	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050
T_c	0,150
T_D	1,000
F_V	1,391
S	1,000
η	0,667

SLC	
a_{gv}	0,138
S_s	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050
T_c	0,150
T_D	1,000
F_V	1,576
S	1,000
η	0,667

VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

L'area in esame appartiene alla Zona Sismogenetica n° 912 denominata “Dorsale Ferrarese” che rappresenta la zona più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale, come riportato in figura 1.



Il Catalogo parametrico dei terremoti italiani Edizione 2004 denominato CPTI04 registra valori massimi di magnitudo momento M_w per la zona sismogenetica n° 912 pari a 6.14.

In considerazione degli eventi sismici che hanno colpito l'area in esame nel maggio/giugno 2012 e delle prime indicazioni fornite dall'INGV, per le verifiche alla liquefazione si è fatto cautelativamente riferimento ad un valore di magnitudo massima attesa pari a 6.20.

Litologicamente i terreni del primo sottosuolo in tutta l'area di interesse risultano caratterizzati da una certa omogeneità e tipica di un ambiente di pianura alluvionale nel quale si alternano sia spazialmente che temporalmente ambienti deposizionali tra loro collegati.

Sostanzialmente si evidenzia una componente limo-argillosa predominante sino a profondità variabili da circa 11 m (Prova P3) a circa 14 m (Prova P1),

seguita da livelli prevalentemente sabbiosi rilevati fino alla profondità di 20 m dal p.d.c..

La verifica della suscettibilità alla liquefazione è stata eseguita pertanto considerando i risultati, sino alla profondità di 20 m dal p.d.c. delle indagini penetrometriche eseguite (P1, P2 e P3).

I livelli sabbiosi e limo-sabbiosi individuati risultano essere in falda e pertanto potenzialmente liquefacibili.

La falda è stata considerata alla profondità di 3 m dal p.d.c.

Di conseguenza è stata effettuata un'analisi per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione attraverso un'analisi semplificata in condizioni di free-field valutando, ad ogni quota z del deposito compresa nei primi 20 m, la suscettibilità alla liquefazione attraverso un coefficiente di sicurezza F_L dato dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione (CRR) e sollecitazione indotta dall'azione sismica (rapporto di tensione ciclica CSR) mediante i metodi riportati di seguito ed indicati dalle *“Linee Guida AGI – Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”*.

Per quanto concerne la magnitudo, come riportato nei capitoli precedenti, si è fatto riferimento ad un valore massimo pari a 6.20.

Per quel che concerne invece l'accelerazione massima attesa in superficie nell'area in esame, le analisi effettuate secondo quanto stabilito dalle NTC 2008 e dalla Circolare n°617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 2 febbraio 2009 hanno portato ad un valore pari a 0.232 g.

Il coefficiente di sicurezza F_L è stato calcolato a partire dalla seguente formula:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} MSF$$

Il rapporto di tensione ciclica CSR, ad una determinata profondità, può essere valutato attraverso l'espressione di Seed e Idriss, 1971 riportata di seguito:

$$CSR = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} R_d$$

Dove:

a_{\max} : accelerazione di picco al piano campagna del terremoto di progetto;

g : accelerazione di gravità;

σ_{v0} : tensione totale verticale alla profondità considerata;

σ'_{v0} : tensione efficace verticale alla profondità considerata;

R_d : coefficiente riduttivo dell'azione sismica per valutare la deformabilità del sottosuolo;

Il coefficiente riduttivo dell'azione sismica R_d si può ricavare, per profondità del piano campagna inferiori a 20 m, mediante la seguente espressione (Idriss e Boulanger, 2004):

$$R_d = \exp \left[\left(-1.012 - 1.126 \sin \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right) \right) + \left(0.106 + 0.118 \sin \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right) \right) M \right]$$

Essendo z la profondità dal piano campagna espressa in metri ed M la magnitudo di momento dell'evento sismico atteso.

Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo di momento M pari a 7.5, per eventi di magnitudo diversa occorre ridurre il carico sismico a quello equivalente di un terremoto di magnitudo 7.5 ($CSR_{M=7.5}$) attraverso la seguente relazione:

$$CSR_{M=7.5} = \frac{CSR}{MSF}$$

In cui MSF è un fattore di scala per la magnitudo che si può ricavare dall'espressione riportata di seguito (Idriss e Boulanger, 2004):

$$MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058$$

Per quel che concerne invece la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR, la resistenza penetrometrica, q_c , ricavata dalle indagine penetrometriche statiche CPT, deve essere ricondotta ad un valore normalizzato, q_{c1N} , attraverso la seguente espressione:

$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_c}{p_a}$$

Dove p_a (pressione atmosferica pari a 100kPa) e q_c espressa nella stessa unità di misura.

Il coefficiente C_Q (fattore correttivo per tener conto dell'influenza della pressione verticale efficace) può essere ricavato per via iterativa dalla seguente espressione (Boulanger e Idriss, 2004):

$$C_Q = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{1.338 - 0.294(q_{c1N})^{0.264}}$$

Tale coefficiente non deve superare il valore di 1.7.

Dal valore di (q_{c1N}) è possibile ottenere la resistenza alla liquefazione, per eventi sismici di magnitudo di momento pari a $M=7.5$, mediante la seguente espressione valida per sabbie pulite (Idriss e Boulanger, 2004).

$$CRR = \exp \left[\frac{q_{c1N}}{540} + \left(\frac{q_{c1N}}{67} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1N}}{80} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1N}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

Per materiali con frazione fine non trascurabile invece, per ottenere la resistenza alla liquefazione CRR è stata utilizzata la seguente equazione (Robertson e Wride, 1997):

$$\begin{aligned} \text{CRR} &= 0.883 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0.05 & \text{se } (q_{c1N})_{cs} < 50 \\ \text{CRR} &= 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 & \text{se } (q_{c1N})_{cs} > 50 \end{aligned}$$

Nelle equazioni sopra riportate appare il valore $(q_{c1N})_{cs}$.

Infatti, nel caso di materiali con frazione fine non trascurabile la resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1N} deve essere ricondotta ad un valore per sabbie pulite $(q_{c1N})_{cs}$ mediante la seguente espressione (Robertson e Wride, 1998):

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c * q_{c1N}$$

Il fattore correttivo K_c è dato da:

$$K_c = 1.0 \quad \text{per } I_c \leq 1.64$$

$$K_c = -17.88 + 33.75I_c - 21.63I_c^2 + 5.581I_c^3 - 0.4031I_c^4 \quad \text{per } I_c > 1.64$$

1.64

Il parametro di comportamento del terreno I_c da inserire nelle equazioni sopra riportate è una funzione della resistenza alla punta q_c e della resistenza laterale del manicotto f_s misurate dalle prove penetrometriche CPT.

In particolare:

$$I_c = \left[(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2 \right]^{0.5}$$

con:

$$Q = \left[\left(\frac{(q_c - \sigma_{vo})}{P_a} \right) \right] \left[\left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \right] \quad \text{resistenza penetrometrica}$$

normalizzata

$$F = \left[\frac{f_s}{(q_c - \sigma_{vo})} \right] * 100\% \quad \text{resistenza laterale normalizzata}$$

Da quanto sopra, il 1° dato da ottenere è l'Indice I_C e relativo esponente di sforzo (n), che si ottengono procedendo per steps successivi:

- 1) se $I_C > 2,6$ ed $n=1$ allora il terreno è classificabile coesivo quindi non liquefacibile ed il calcolo è terminato;
- 2) se $I_C < 2,6$ il suolo può essere di natura granulare e si ripete il calcolo con $n=0,5$;
- 3) se dal ricalcolo del punto 2 $I_C > 2,6$ il suolo è classificabile come non coesivo ed il valore di I_C sarà utilizzato nel calcolo di q_{cIN}
- 4) se dal ricalcolo del punto 3 $I_C > 2,6$ il suolo è classificabile come limoso ed eventualmente coesivo e si dovrà ripetere il calcolo con $n=0,7$ ed il valore del nuovo I_C sarà utilizzato nel calcolo di q_{cIN}
- 5) se dal ricalcolo del punto 4 $I_C > 2,6$ si utilizzerà come q_{cIN} il valore di 2_{qc} .

Nel caso in esame sono stati considerati, come sabbie pulite, tutti i depositi grossolani rilevati in profondità.

In ottemperanza a quanto previsto dalla Del. Ass. Reg. n° 112 (All. A3, cap. 2), ottenuti i valori di CSR e di CRR è possibile valutare il coefficiente di sicurezza F_L .

Come previsto da tale normativa se $F_L > 1$ si possono escludere fenomeni di liquefazione mentre se $F_L < 1$ è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione.

Ottenuto il parametro F_L è possibile operare una stima probabilistica della possibilità che avvenga la liquefazione, utilizzando la seguente relazione proposta dalla normativa:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

In cui z è la profondità dal piano campagna in metri e $w(z) = 10 - 0.5z$.

Ad una data quota z il fattore $F(z)$ vale:

$$F = 1 - F_L \quad \text{se } F_L \leq 1$$

$$F = 0 \quad \text{se } F_L > 1$$

In particolare, come previsto dalla normativa suddetta, il valore dell'indice del potenziale di liquefazione I_L valutato porta alla definizione del rischio di liquefazione che è: basso se $0 < I_L \leq 5$; elevato se $5 < I_L \leq 15$; estremamente elevato se $I_L > 15$.

Come riportato in allegato, e riassunto nella tabella seguente si sono ottenuti valori bassi dell'indice di potenziale di liquefazione I_L con il rischio di liquefazione che può essere considerato basso e quindi accettabile.

Prova	Indice di potenziale liquefazione I_L	Rischio di liquefazione
P1	1.90	basso
P2	4.01	basso
P3	4.57	basso

Informazioni generali				Informazioni falda		Informazioni terremoto		Informazioni e Risultati analisi				
Località	Via del Torchio - Rolo (RE)			Profondità falda da pdc (m) = 3.00	M_w : 6.20 a_{max} (g): 0.232	CRR > Formule di Robertson e Wride (1997) - sabbie con fine			I_L (indice del potenziale liquefazione) = 1.90	Rischio di liquefazione =	Basso	I_L Indice Pot. liquefazione
Coord GB	0					CSR = $0.65(a_{max}/g)(\sigma'_{vo}/\sigma'_v)J_L$ con rd Idriss e Boulanger, 2004						
Prova	Prova nr. P1					$F_{LIQ} = (CRR/CSR)*MSF$ con MSF di Idriss e Boulanger, 2004						
data	20/07/2012											
				$[FR(\%)]$	$[I_c]$	Apparent FC (%)	Kc	CRR - CRR (strati sottili) - CSRm	FS LIQ			

Informazioni generali			Informazioni falda		Informazioni terremoto		Informazioni e Risultati analisi					
Località	Via del Torchio - Rolo (RE)		Profondità falda da pdc (m) = 3.00	M_w : 6.20	a_{max} (g): 0.232	CRR > Formule di Robertson e Wride (1997) - sabbie con fine CSR = $0.65(a_{max}/g)(\sigma_v/\sigma'_{v0})^{1/2}$ con rd Idriss e Boulanger, 2004 $F_{Liq} = (CRR/CSR)*MSF$ con MSF di Idriss e Boulanger, 2004	$CRR - CRR$ (strati sottili) - CSR_m	FS LIQ	I_L (indice del potenziale liquefazione)	I_L Indice Pot. liquefazione	Rischio di liquefazione =	Basso
Coord GB	0											
Prova nr.	P2											
data	20/07/2012											
[Qc1N]			[FR(%)]		[Ic]		[Apparent FC (%)]		[Kc]			

Informazioni generali			Informazioni falda		Informazioni terremoto		Informazioni e Risultati analisi												
Località	Via del Torchio - Rolo (RE)		Profondità falda da pdc (m) = 3.00	M_w : 6.20 $a_{max}(g)$: 0.232	CRR > Formule di Robertson e Wride (1997) - sabbie con fine					I_L (indice del potenziale liquefazione) = 4.57					Rischio di liquefazione = Basso				
Coord GB	0				CSR = $0.65(a_{max}/g)(\sigma'_{vo}/\sigma'_v)J_d$ con rd Idriss e Boulanger, 2004														
Prova	Prova nr. P3				F _{LIQ} = (CRR/CSR)*MSF con MSF di Idriss e Boulanger, 2004														
data	20/07/2012																		
[Qc1N]			[FR(%)]		[Ic]		Apparent FC (%)		[Kc]		CRR - CRR (strati sottili) - CSRm		FS LIQ		I_L Indice Pot. liquefazione				

4. CONCLUSIONI

Lo studio geologico - geotecnico e sismico condotto sulla scorta di ricerca bibliografica, rilevamento diretto e soprattutto mediante una apposita indagine in sito espletata mediante effettuazione di due prove penetrometriche ad infissione statica con punta meccanica, nonché di altre indagini effettuate per interventi edilizi nelle vicinanze su terreni del tutto simili, ha permesso di stabilire che da un punto di vista geologico - geotecnico e sismico generale e particolare il lotto di terreno oggetto della presente relazione, sito in Comune di Rolo Via del Torchio censito al F.o 16 Mappale 486 ed identificato nella cartografia allegata, è idoneo ad ospitare la messa in opera di elementi prefabbricati che l'Amministrazione Comunale intende realizzare e che prevede la realizzazione temporanea di undici aule, una palestra e tre aule di servizio.

Le prove eseguite e prese a riferimento hanno consentito di definire il modello litostratigrafico e geotecnico dei terreni presenti nel primo sottosuolo evidenziando la presenza di materiali argilloso limosi con buone caratteristiche geotecniche.

Per quanto riguarda le opere fondazionali, in relazione alle caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche e sismiche riscontrate ed alle caratteristiche dell'intervento edilizio che s'intende realizzare, appare possibile ricorrere a fondazioni del tipo diretto che, salvo verifiche, potranno essere dimensionate facendo affidamento a carichi unitari massimi in termini di tensioni ammissibili dell'ordine di almeno $1,2 \text{ kg/cm}^2$.



SCALA 1:5.000
Elemento n. 183114

N=4971400

E=1646900

Particella: 486





Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **449/12**

Data emissione: 20/07/12

Committente : AMM.NE COMUNALE ROLO

Località : VIA DEL TORCHIO ROLO (RE)

Prova numero : 1

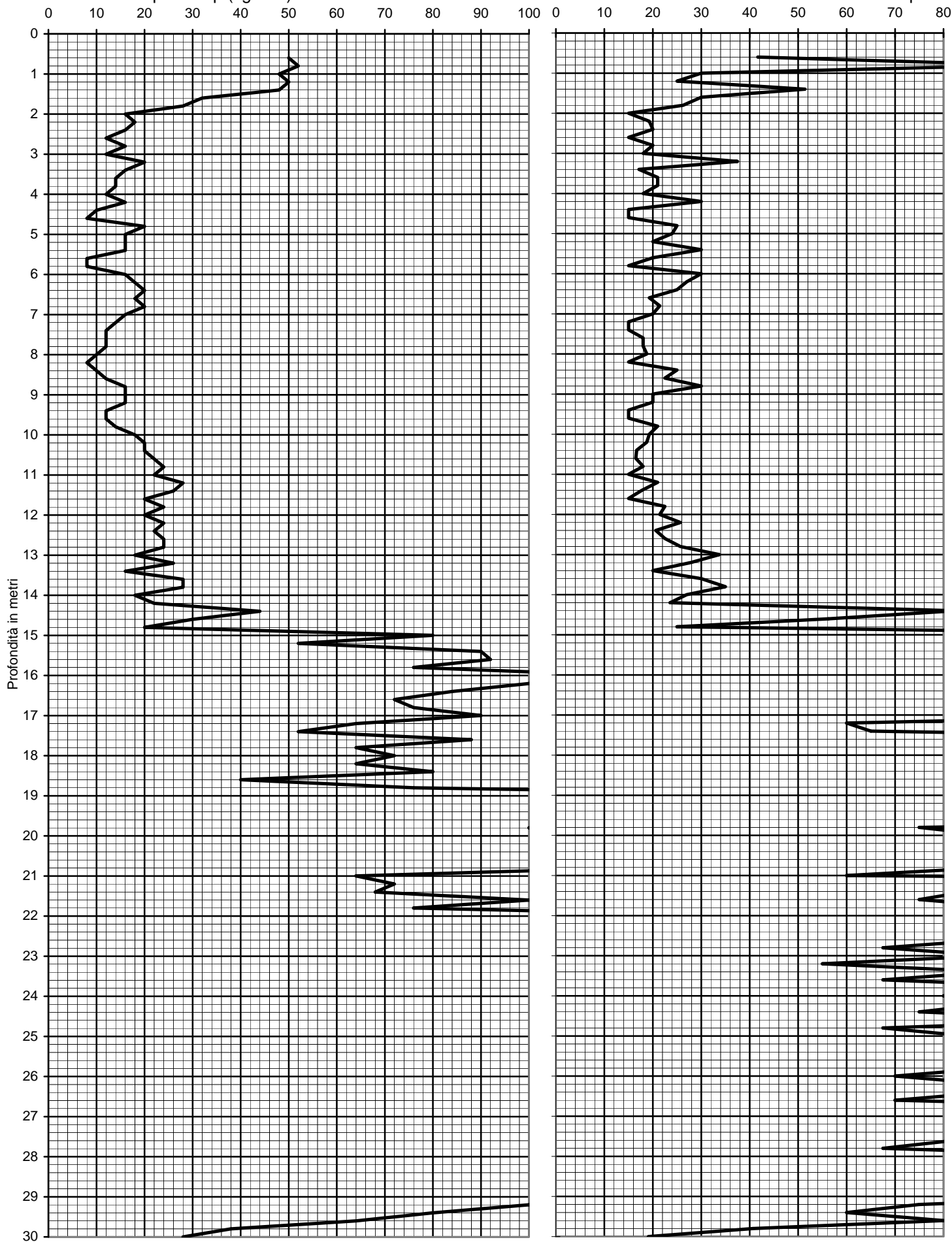
Data : 20/07/2012

Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta R_p (kg/cm²)

Rp/Rl



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	50	68	50	1,20	41,67
0,80	52	60	52	0,53	97,50
1,00	48	72	48	1,60	30,00
1,20	50	80	50	2,00	25,00
1,40	48	62	48	0,93	51,43
1,60	32	48	32	1,07	30,00
1,80	28	44	28	1,07	26,25
2,00	16	32	16	1,07	15,00
2,20	18	32	18	0,93	19,29
2,40	16	28	16	0,80	20,00
2,60	12	24	12	0,80	15,00
2,80	16	28	16	0,80	20,00
3,00	12	22	12	0,67	18,00
3,20	20	28	20	0,53	37,50
3,40	16	30	16	0,93	17,14
3,60	14	24	14	0,67	21,00
3,80	14	24	14	0,67	21,00
4,00	12	22	12	0,67	18,00
4,20	16	24	16	0,53	30,00
4,40	10	20	10	0,67	15,00
4,60	8	16	8	0,53	15,00
4,80	20	32	20	0,80	25,00
5,00	16	26	16	0,67	24,00
5,20	16	28	16	0,80	20,00
5,40	16	24	16	0,53	30,00
5,60	8	14	8	0,40	20,00
5,80	8	16	8	0,53	15,00
6,00	16	24	16	0,53	30,00
6,20	18	28	18	0,67	27,00
6,40	20	32	20	0,80	25,00
6,60	18	32	18	0,93	19,29
6,80	20	34	20	0,93	21,43
7,00	16	28	16	0,80	20,00
7,20	14	28	14	0,93	15,00
7,40	12	24	12	0,80	15,00
7,60	12	22	12	0,67	18,00
7,80	12	22	12	0,67	18,00
8,00	10	18	10	0,53	18,75
8,20	8	16	8	0,53	15,00
8,40	10	16	10	0,40	25,00
8,60	12	20	12	0,53	22,50
8,80	16	24	16	0,53	30,00
9,00	16	28	16	0,80	20,00
9,20	16	28	16	0,80	20,00
9,40	12	24	12	0,80	15,00
9,60	12	24	12	0,80	15,00
9,80	14	24	14	0,67	21,00
10,00	18	32	18	0,93	19,29
10,20	20	36	20	1,07	18,75
10,40	20	38	20	1,20	16,67
10,60	22	42	22	1,33	16,50
10,80	24	44	24	1,33	18,00
11,00	22	44	22	1,47	15,00
11,20	28	48	28	1,33	21,00
11,40	26	48	26	1,47	17,73
11,60	20	40	20	1,33	15,00
11,80	24	40	24	1,07	22,50
12,00	20	34	20	0,93	21,43
12,20	24	38	24	0,93	25,71
12,40	22	38	22	1,07	20,63
12,60	24	40	24	1,07	22,50
12,80	24	38	24	0,93	25,71
13,00	18	26	18	0,53	33,75
13,20	26	40	26	0,93	27,86
13,40	16	28	16	0,80	20,00
13,60	28	42	28	0,93	30,00
13,80	28	40	28	0,80	35,00
14,00	18	28	18	0,67	27,00
14,20	22	36	22	0,93	23,57
14,40	44	52	44	0,53	82,50
14,60	30	38	30	0,53	56,25
14,80	20	32	20	0,80	25,00
15,00	80	88	80	0,53	150,00

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	52	60	52	0,53	97,50
15,40	90	100	90	0,67	135,00
15,60	92	100	92	0,53	172,50
15,80	76	84	76	0,53	142,50
16,00	120	140	120	1,33	90,00
16,20	100	110	100	0,67	150,00
16,40	84	96	84	0,80	105,00
16,60	72	84	72	0,80	90,00
16,80	76	88	76	0,80	95,00
17,00	90	100	90	0,67	135,00
17,20	64	80	64	1,07	60,00
17,40	52	64	52	0,80	65,00
17,60	88	96	88	0,53	165,00
17,80	64	72	64	0,53	120,00
18,00	72	80	72	0,53	135,00
18,20	64	72	64	0,53	120,00
18,40	80	92	80	0,80	100,00
18,60	40	46	40	0,40	100,00
18,80	76	88	76	0,80	95,00
19,00	180	190	180	0,67	270,00
19,20	140	160	140	1,33	105,00
19,40	150	170	150	1,33	112,50
19,60	120	130	120	0,67	180,00
19,80	100	120	100	1,33	75,00
20,00	120	140	120	1,33	90,00
20,20	190	210	190	1,33	142,50
20,40	180	200	180	1,33	135,00
20,60	160	180	160	1,33	120,00
20,80	120	140	120	1,33	90,00
21,00	64	80	64	1,07	60,00
21,20	72	76	72	0,27	270,00
21,40	68	80	68	0,80	85,00
21,60	100	120	100	1,33	75,00
21,80	76	88	76	0,80	95,00
22,00	150	170	150	1,33	112,50
22,20	200	220	200	1,33	150,00
22,40	160	180	160	1,33	120,00
22,60	180	210	180	2,00	90,00
22,80	180	220	180	2,67	67,50
23,00	120	140	120	1,33	90,00
23,20	110	140	110	2,00	55,00
23,40	120	140	120	1,33	90,00
23,60	180	220	180	2,67	67,50
23,80	220	250	220	2,00	110,00
24,00	160	190	160	2,00	80,00
24,20	180	210	180	2,00	90,00
24,40	200	240	200	2,67	75,00
24,60	230	260	230	2,00	115,00
24,80	180	220	180	2,67	67,50
25,00	170	200	170	2,00	85,00
25,20	190	220	190	2,00	95,00
25,40	180	210	180	2,00	90,00
25,60	120	140	120	1,33	90,00
25,80	120	140	120	1,33	90,00
26,00	140	170	140	2,00	70,00
26,20	120	140	120	1,33	90,00
26,40	120	140	120	1,33	90,00
26,60	140	170	140	2,00	70,00
26,80	180	200	180	1,33	135,00
27,00	260	300	260	2,67	97,50
27,20	270	320	270	3,33	81,00
27,40	260	300	260	2,67	97,50
27,60	220	260	220	2,67	82,50
27,80	180	220	180	2,67	67,50
28,00	160	180	160	1,33	120,00
28,20	190	220	190	2,00	95,00
28,40	140	160	140	1,33	105,00
28,60	120	140	120	1,33	90,00
28,80	120	140	120	1,33	90,00
29,00	160	180	160	1,33	120,00
29,20	100	120	100	1,33	75,00
29,40	80	100	80	1,33	60,00
29,60	64	76	64	0,80	80,00
29,80	38	52	38	0,93	40,71
30,00	28	50	28	1,47	19,09



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999
Telefax 059/454827



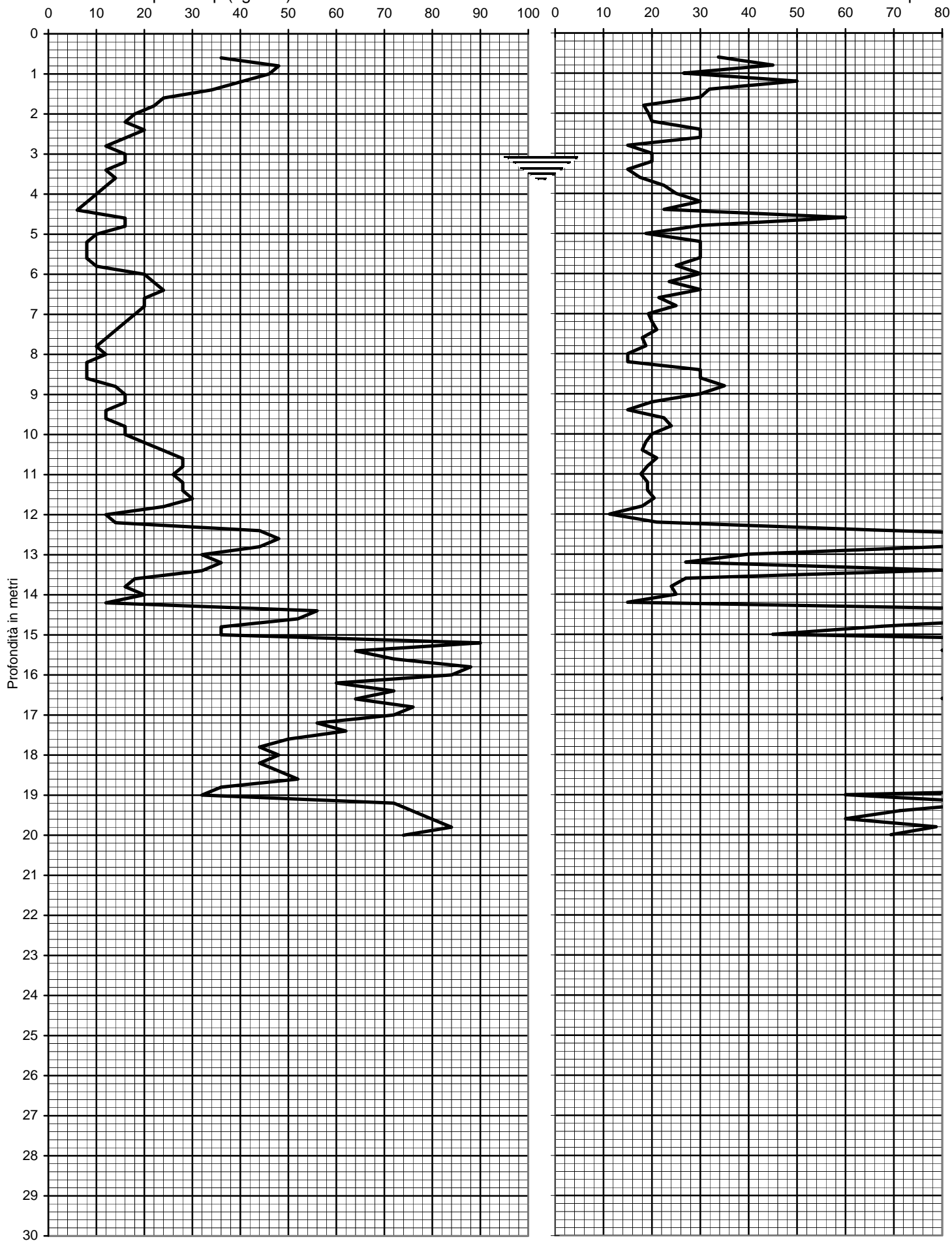
PROVA PENETROMETRICA STATICA
Penetrometro Gouda

Certificato n. : **450/12** Data emissione: 20/07/12

Committente : AMM.NE COMUNALE ROLO
Località : VIA DEL TORCHIO ROLO (RE)
Prova numero : 2
Data : 20/07/2012
Operatore : DR. REBECCHI
Quota : P.C.

Resistenza alla punta R_p (kg/cm²)

Rp/Rl



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	36	52	36	1,07	33,75
0,80	48	64	48	1,07	45,00
1,00	46	72	46	1,73	26,54
1,20	40	52	40	0,80	50,00
1,40	34	50	34	1,07	31,88
1,60	24	36	24	0,80	30,00
1,80	22	40	22	1,20	18,33
2,00	18	32	18	0,93	19,29
2,20	16	28	16	0,80	20,00
2,40	20	30	20	0,67	30,00
2,60	16	24	16	0,53	30,00
2,80	12	24	12	0,80	15,00
3,00	16	28	16	0,80	20,00
3,20	16	28	16	0,80	20,00
3,40	12	24	12	0,80	15,00
3,60	14	26	14	0,80	17,50
3,80	12	20	12	0,53	22,50
4,00	10	16	10	0,40	25,00
4,20	8	12	8	0,27	30,00
4,40	6	10	6	0,27	22,50
4,60	16	20	16	0,27	60,00
4,80	16	24	16	0,53	30,00
5,00	10	18	10	0,53	18,75
5,20	8	12	8	0,27	30,00
5,40	8	12	8	0,27	30,00
5,60	8	12	8	0,27	30,00
5,80	10	16	10	0,40	25,00
6,00	20	30	20	0,67	30,00
6,20	22	36	22	0,93	23,57
6,40	24	36	24	0,80	30,00
6,60	20	34	20	0,93	21,43
6,80	20	32	20	0,80	25,00
7,00	18	32	18	0,93	19,29
7,20	16	28	16	0,80	20,00
7,40	14	24	14	0,67	21,00
7,60	12	22	12	0,67	18,00
7,80	10	18	10	0,53	18,75
8,00	12	24	12	0,80	15,00
8,20	8	16	8	0,53	15,00
8,40	8	12	8	0,27	30,00
8,60	8	12	8	0,27	30,00
8,80	14	20	14	0,40	35,00
9,00	16	24	16	0,53	30,00
9,20	16	28	16	0,80	20,00
9,40	12	24	12	0,80	15,00
9,60	12	20	12	0,53	22,50
9,80	16	26	16	0,67	24,00
10,00	16	28	16	0,80	20,00
10,20	20	36	20	1,07	18,75
10,40	24	44	24	1,33	18,00
10,60	28	48	28	1,33	21,00
10,80	28	50	28	1,47	19,09
11,00	26	48	26	1,47	17,73
11,20	28	50	28	1,47	19,09
11,40	28	50	28	1,47	19,09
11,60	30	52	30	1,47	20,45
11,80	24	44	24	1,33	18,00
12,00	12	28	12	1,07	11,25
12,20	14	24	14	0,67	21,00
12,40	44	54	44	0,67	66,00
12,60	48	54	48	0,40	120,00
12,80	44	52	44	0,53	82,50
13,00	32	44	32	0,80	40,00
13,20	36	56	36	1,33	27,00
13,40	32	38	32	0,40	80,00
13,60	18	28	18	0,67	27,00
13,80	16	26	16	0,67	24,00
14,00	20	32	20	0,80	25,00
14,20	12	24	12	0,80	15,00
14,40	56	64	56	0,53	105,00
14,60	52	60	52	0,53	97,50
14,80	36	44	36	0,53	67,50
15,00	36	48	36	0,80	45,00

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	90	100	90	0,67	135,00
15,40	64	76	64	0,80	80,00
15,60	72	80	72	0,53	135,00
15,80	88	100	88	0,80	110,00
16,00	84	92	84	0,53	157,50
16,20	60	68	60	0,53	112,50
16,40	72	84	72	0,80	90,00
16,60	64	76	64	0,80	80,00
16,80	76	88	76	0,80	95,00
17,00	72	80	72	0,53	135,00
17,20	56	64	56	0,53	105,00
17,40	62	70	62	0,53	116,25
17,60	50	56	50	0,40	125,00
17,80	44	52	44	0,53	82,50
18,00	48	52	48	0,27	180,00
18,20	44	50	44	0,40	110,00
18,40	48	52	48	0,27	180,00
18,60	52	60	52	0,53	97,50
18,80	36	40	36	0,27	135,00
19,00	32	40	32	0,53	60,00
19,20	72	84	72	0,80	90,00
19,40	76	92	76	1,07	71,25
19,60	80	100	80	1,33	60,00
19,80	84	100	84	1,07	78,75
20,00	74	90	74	1,07	69,38
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999
Telefax 059/454827



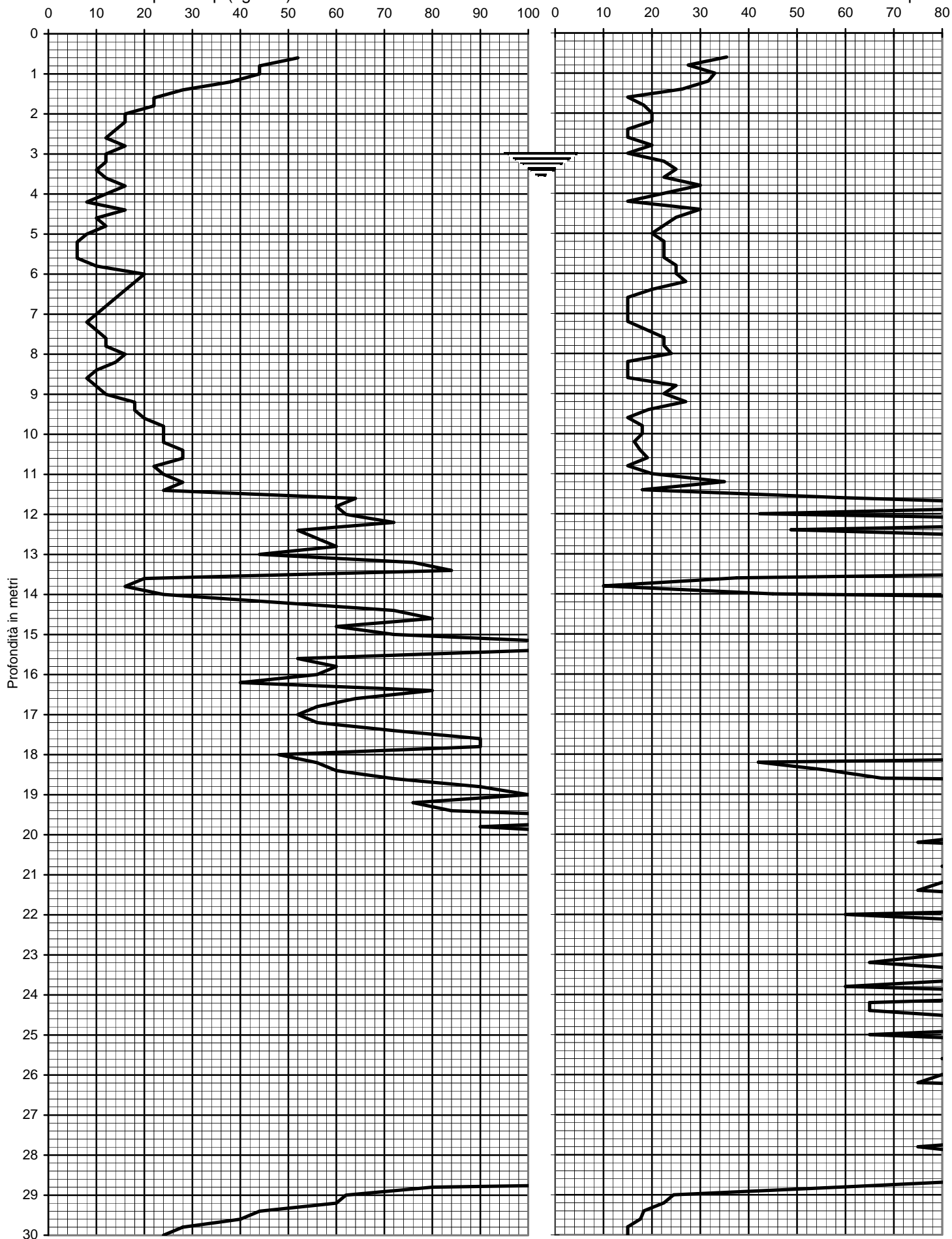
PROVA PENETROMETRICA STATICA
Penetrometro Gouda

Certificato n. : **451/12** Data emissione: 20/07/12

Committente : AMM.NE COMUNALE ROLO
Località : VIA DEL TORCHIO ROLO (RE)
Prova numero : 3
Data : 20/07/2012
Operatore : DR. REBECCHI
Quota : P.C.

Resistenza alla punta R_p (kg/cm^2)

Rp/RI



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	52	74	52	1,47	35,45
0,80	44	68	44	1,60	27,50
1,00	44	64	44	1,33	33,00
1,20	38	56	38	1,20	31,67
1,40	28	44	28	1,07	26,25
1,60	22	44	22	1,47	15,00
1,80	22	40	22	1,20	18,33
2,00	16	28	16	0,80	20,00
2,20	16	28	16	0,80	20,00
2,40	14	28	14	0,93	15,00
2,60	12	24	12	0,80	15,00
2,80	16	28	16	0,80	20,00
3,00	12	24	12	0,80	15,00
3,20	12	20	12	0,53	22,50
3,40	10	16	10	0,40	25,00
3,60	12	20	12	0,53	22,50
3,80	16	24	16	0,53	30,00
4,00	12	20	12	0,53	22,50
4,20	8	16	8	0,53	15,00
4,40	16	24	16	0,53	30,00
4,60	10	16	10	0,40	25,00
4,80	12	20	12	0,53	22,50
5,00	8	14	8	0,40	20,00
5,20	6	10	6	0,27	22,50
5,40	6	10	6	0,27	22,50
5,60	6	10	6	0,27	22,50
5,80	10	16	10	0,40	25,00
6,00	20	32	20	0,80	25,00
6,20	18	28	18	0,67	27,00
6,40	16	28	16	0,80	20,00
6,60	14	28	14	0,93	15,00
6,80	12	24	12	0,80	15,00
7,00	10	20	10	0,67	15,00
7,20	8	16	8	0,53	15,00
7,40	10	18	10	0,53	18,75
7,60	12	20	12	0,53	22,50
7,80	12	20	12	0,53	22,50
8,00	16	26	16	0,67	24,00
8,20	14	28	14	0,93	15,00
8,40	10	20	10	0,67	15,00
8,60	8	16	8	0,53	15,00
8,80	10	16	10	0,40	25,00
9,00	12	20	12	0,53	22,50
9,20	18	28	18	0,67	27,00
9,40	18	32	18	0,93	19,29
9,60	20	40	20	1,33	15,00
9,80	24	44	24	1,33	18,00
10,00	24	44	24	1,33	18,00
10,20	24	46	24	1,47	16,36
10,40	28	52	28	1,60	17,50
10,60	28	50	28	1,47	19,09
10,80	22	44	22	1,47	15,00
11,00	24	42	24	1,20	20,00
11,20	28	40	28	0,80	35,00
11,40	24	44	24	1,33	18,00
11,60	64	80	64	1,07	60,00
11,80	60	68	60	0,53	112,50
12,00	62	84	62	1,47	42,27
12,20	72	80	72	0,53	135,00
12,40	52	68	52	1,07	48,75
12,60	56	64	56	0,53	105,00
12,80	60	68	60	0,53	112,50
13,00	44	52	44	0,53	82,50
13,20	76	84	76	0,53	142,50
13,40	84	92	84	0,53	157,50
13,60	20	28	20	0,53	37,50
13,80	16	40	16	1,60	10,00
14,00	24	32	24	0,53	45,00
14,20	48	52	48	0,27	180,00
14,40	72	80	72	0,53	135,00
14,60	80	88	80	0,53	150,00
14,80	60	68	60	0,53	112,50
15,00	72	84	72	0,80	90,00

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	110	120	110	0,67	165,00
15,40	100	110	100	0,67	150,00
15,60	52	60	52	0,53	97,50
15,80	60	68	60	0,53	112,50
16,00	56	64	56	0,53	105,00
16,20	40	44	40	0,27	150,00
16,40	80	84	80	0,27	300,00
16,60	64	68	64	0,27	240,00
16,80	56	64	56	0,53	105,00
17,00	52	56	52	0,27	195,00
17,20	56	60	56	0,27	210,00
17,40	72	80	72	0,53	135,00
17,60	90	100	90	0,67	135,00
17,80	90	100	90	0,67	135,00
18,00	48	52	48	0,27	180,00
18,20	56	76	56	1,33	42,00
18,40	60	76	60	1,07	56,25
18,60	72	88	72	1,07	67,50
18,80	90	96	90	0,40	225,00
19,00	100	110	100	0,67	150,00
19,20	76	88	76	0,80	95,00
19,40	84	92	84	0,53	157,50
19,60	130	140	130	0,67	195,00
19,80	90	100	90	0,67	135,00
20,00	120	140	120	1,33	90,00
20,20	150	180	150	2,00	75,00
20,40	160	180	160	1,33	120,00
20,60	160	180	160	1,33	120,00
20,80	160	190	160	2,00	80,00
21,00	200	220	200	1,33	150,00
21,20	160	190	160	2,00	80,00
21,40	150	180	150	2,00	75,00
21,60	140	160	140	1,33	105,00
21,80	180	200	180	1,33	135,00
22,00	120	150	120	2,00	60,00
22,20	190	220	190	2,00	95,00
22,40	230	260	230	2,00	115,00
22,60	230	260	230	2,00	115,00
22,80	250	280	250	2,00	125,00
23,00	160	190	160	2,00	80,00
23,20	130	160	130	2,00	65,00
23,40	120	140	120	1,33	90,00
23,60	120	140	120	1,33	90,00
23,80	120	150	120	2,00	60,00
24,00	160	180	160	1,33	120,00
24,20	130	160	130	2,00	65,00
24,40	130	160	130	2,00	65,00
24,60	120	140	120	1,33	90,00
24,80	140	160	140	1,33	105,00
25,00	130	160	130	2,00	65,00
25,20	140	160	140	1,33	105,00
25,40	140	160	140	1,33	105,00
25,60	160	190	160	2,00	80,00
25,80	180	200	180	1,33	135,00
26,00	160	190	160	2,00	80,00
26,20	150	180	150	2,00	75,00
26,40	180	200	180	1,33	135,00
26,60	180	200	180	1,33	135,00
26,80	180	210	180	2,00	90,00
27,00	200	230	200	2,00	100,00
27,20	190	220	190	2,00	95,00
27,40	240	280	240	2,67	90,00
27,60	260	300	260	2,67	97,50
27,80	200	240	200	2,67	75,00
28,00	240	280	240	2,67	90,00
28,20	260	300	260	2,67	97,50
28,40	230	270	230	2,67	86,25
28,60	190	220	190	2,00	95,00
28,80	80	100	80	1,33	60,00
29,00	62	100	62	2,53	24,47
29,20	60	100	60	2,67	22,50
29,40	44	80	44	2,40	18,33
29,60	40	74	40	2,27	17,65
29,80	28	56	28	1,87	15,00
30,00	24	48	24	1,60	15,00