

# **RELAZIONE GEOLOGICO-SISMICA**

**OGGETTO: Piano di Recupero Comparto PR6**

**Loc.: Via Circonvallazione Ovest - Luzzara (RE)**

- Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008
- Delibera RER n° 2131 del 2 Maggio 2007
- Delibera RER n° 2193 del 21 Dicembre 2015

**Committente:** "Il Mio Paese" srl  
Via F.lli Bandiera, 3 – Suzzara (MN)

**Progettista:** Studio Architettura Berni  
Via Ampere, 40 - Milano

**Gualtieri (RE), Giugno 2016**

***Dr Geol. Sergio Lasagna***  
*Via Carso, 59/1*  
*42021 Bibbiano (RE)*  
*PI: 02411370352*  
*CF: LSGSRG62R21H223N*  
*[sergiolasagna@alice.it](mailto:sergiolasagna@alice.it)*

## **Indice**

- 1. PREMESSA**
- 2. INDAGINI ESEGUITE**
- 3. MODELLO GEOLOGICO**
- 4. MODELLO GEOTECNICO**
- 5. ANALISI RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)**
- 6. PERICOLOSITA' SISMICA – EFFETTI ATTESI**
- 7. CONCLUSIONI**

### **ALLEGATI**

**ALLEGATO 1: *prove penetrometriche statiche (CPT)***

**ALLEGATO 2: *indagine sismica HVSR***

**ALLEGATO 3: *tabulati verifica alla liquefazione***

## **1. PREMESSA**

Come richiesto dalla normativa vigente le indagini e gli studi contenuti nella presente relazione sono finalizzati a verificare l'idoneità geologico-sismica ed idrogeologica dell'area indicata in Fig. 1 ad essere interessata dal piano di recupero denominato PR6. Nello specifico vengono trattati i seguenti aspetti:

- Caratteri geologico-sismici, geomorfologici ed idrogeologici del sito;
- Modellazione geotecnica del sito: stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici dei terreni indagati;
- Analisi di Risposta Sismica Locale (RSL);
- Pericolosità sismica del sito;

## **2. INDAGINI ESEGUITE**

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni di fondazione sono state eseguite n° 4 prove penetrometriche statiche/dinamiche - Allegato 1:

CPT1 profondità 11m (eseguita nell'anno 2010 per la ristrutturazione di fabbricati presenti all'interno del PR6)  
CPT2 profondità 15m (eseguita nell'anno 2010 per la ristrutturazione di fabbricati presenti all'interno del PR6)  
CPT3 profondità 11m (eseguita nell'anno 2010 per la ristrutturazione di fabbricati presenti all'interno del PR6)  
DPSH4 profondità 15m (eseguita al posto della prevista CPT per la presenza di pavimentazione in cemento)

Ai fini della modellizzazione sismica e della valutazione di  $V_s30$  e conseguente categoria di sottosuolo, secondo NTC 2008, è stata eseguita una indagine di sismica passiva HVSR (metodo Nakamura H/V) - Allegato 2.

L'ubicazione delle indagini eseguite è indicata nella planimetria di Fig. 1.

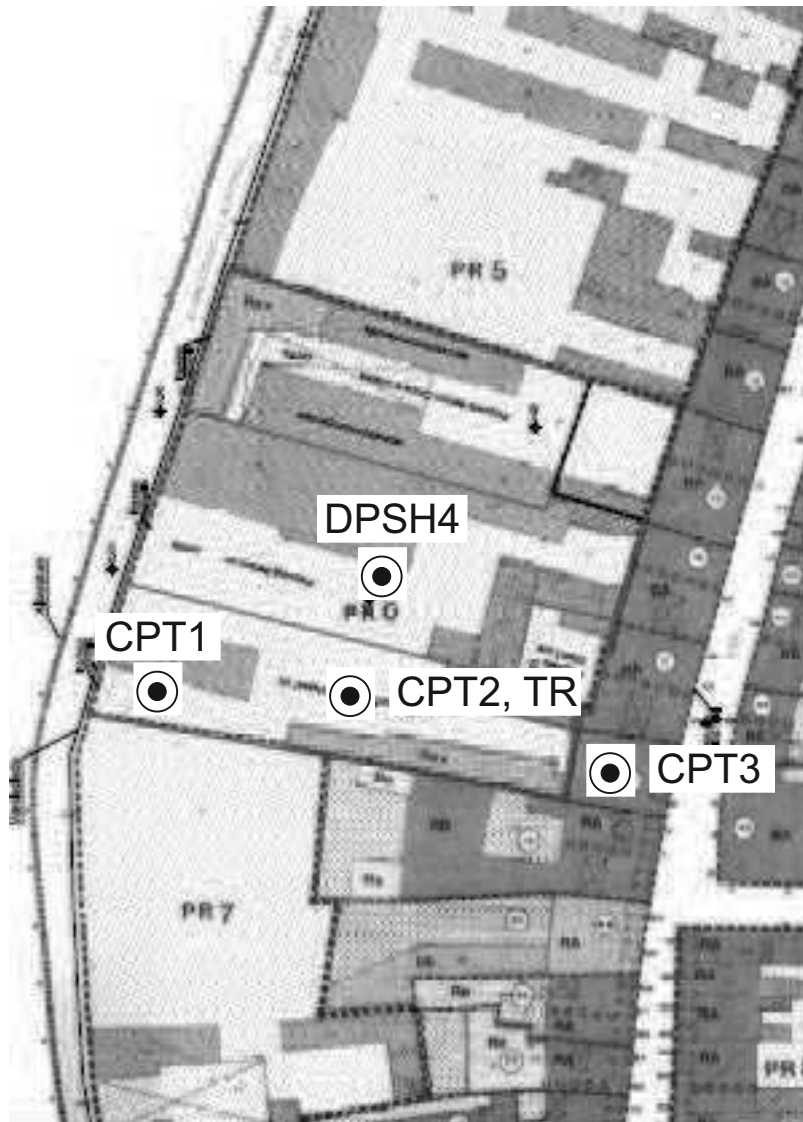


Fig. 1 - Planimetria generale di progetto con ubicazione indagini geognostiche eseguite (prove penetrometriche CPT / DPSH, indagine tromografica TR)

### 3. MODELLO GEOLOGICO

L'area di studio ricade in prossimità della zona assiale del Bacino Sedimentario Padano, vasta depressione delimitata a cintura dai rilievi appenninici ed alpini e colmata da un potente accumulo di depositi marini ed alluvionali di età pliocenica e quaternaria.

Nello specifico i terreni di sottosuolo che potranno influenzare direttamente o indirettamente l'opera in progetto sono rappresentati da sistemi sedimentari di pianura alluvionale ad alimentazione padana (Fiume Po) costituiti da depositi di copertura prevalentemente limoso argillosi, con possibili intercalazioni lenticolari di sabbie fini/sabbie limose e argille organiche, e da un substrato costituito da depositi prevalentemente sabbiosi, rinvenibile nell'area in esame alla profondità di circa 8-9 m da piano campagna (Fig. 2, Allegato 1).

Il livello piezometrico, alla data di esecuzione delle indagini geognostiche, è stato rinvenuto alla profondità di 3.6 m da piano campagna. Occorre però sottolineare che le variazioni stagionali del regime idrico della falda, anche in concomitanza ad eventi di piena del F. Po, potrebbero determinare la risalita della superficie freatica fino alla profondità di circa 1.0-1.5 m da piano campagna.

Per quanto concerne l'aspetto geomorfologico l'area appartiene alla bassa pianura alluvionale reggiana; topograficamente si trova a circa 20 - 21 m.s.l.m.; presenta una morfologia decisamente pianeggiante, classificabile come T1 secondo le NTC/2008.

L'andamento tettonico dell'area in esame, desumibile dalla Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna (Fig. 3), presenta in generale un direttrice principale orientata NO - SE ed una secondaria NE - SW; i lineamenti tettonici riportati dagli Autori non interessano comunque i depositi superficiali sede di intervento. Indagini profonde sia dirette (sondaggi) che indirette, di tipo geofisico, hanno evidenziato la presenza di ampie strutture plicative, con direzione NO - SE e vergenza a NE (rampe frontali) che si raccordano tra loro dando luogo a strutture traspressive a direzione NE - SW (rampe laterali). Tutte queste strutture rappresentano la risposta all'azione dello stress tettonico legato alle fasi orogenetiche dell'Appennino settentrionale.

Le anticlinali sono, a volte accompagnate da faglie inverse e sovrascorrimenti a testimonianza del carattere fortemente compressivo dell'azione tettonica mentre, la presenza di faglie normali con giacitura meridiana, evidenzia una successiva fase distensiva che ha disarticolato le strutture a pieghe.

L'esame della Carta Sismotettonica di Fig. 3 mostra che la struttura attiva sepolta più prossima al Comune di Luzzara, peraltro responsabile della sequenza sismogenetica di maggio-giugno 2012, è la rampa laterale associata al sistema della Dorsale Ferrarese. Presenta direzione NE - SW passando per i comuni di Cadelbosco di Sopra, Novellara, Fabbriico e Rolo.

La recente riclassificazione sismica del territorio nazionale (Ordinanza P.C.M. 3274/2003) classifica 105 comuni in zona 2 ( $0,15 < a_g/g < 0,25$ ; dove "ag" è l'accelerazione di picco orizzontale al suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni e "g" è l'accelerazione di gravità), 214 in zona 3 ( $0,05 < a_g/g < 0,15$ ) e i restanti 22 comuni in zona 4 ( $a_g/g < 0,05$ ). Il Comune di Luzzara è inserito in **zona sismica 4**.

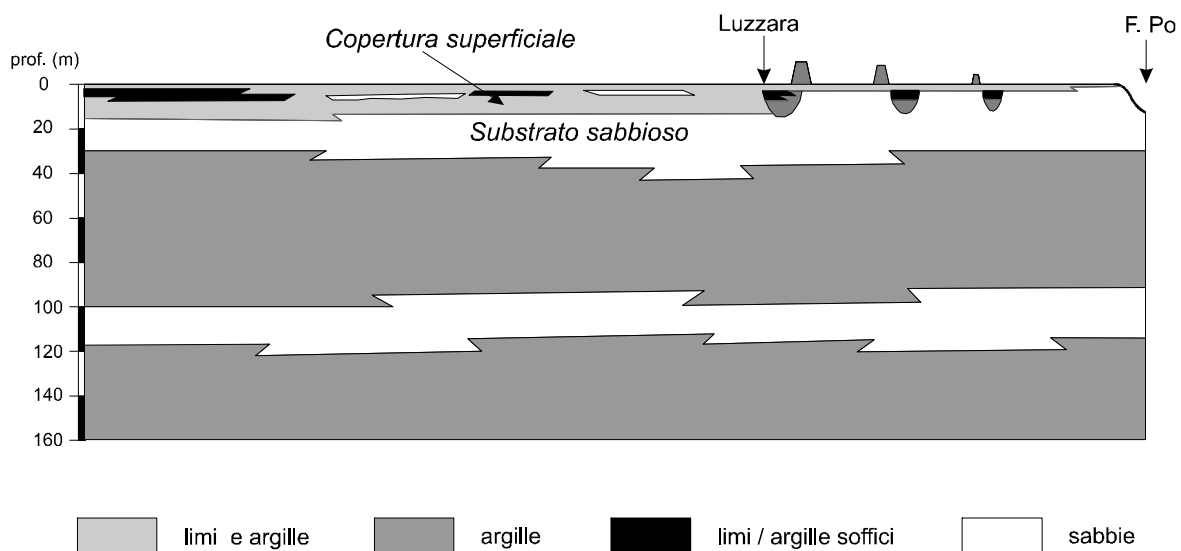


Fig. 2 - Sezione litostратigrafica schematica del territorio comunale di Luzzara

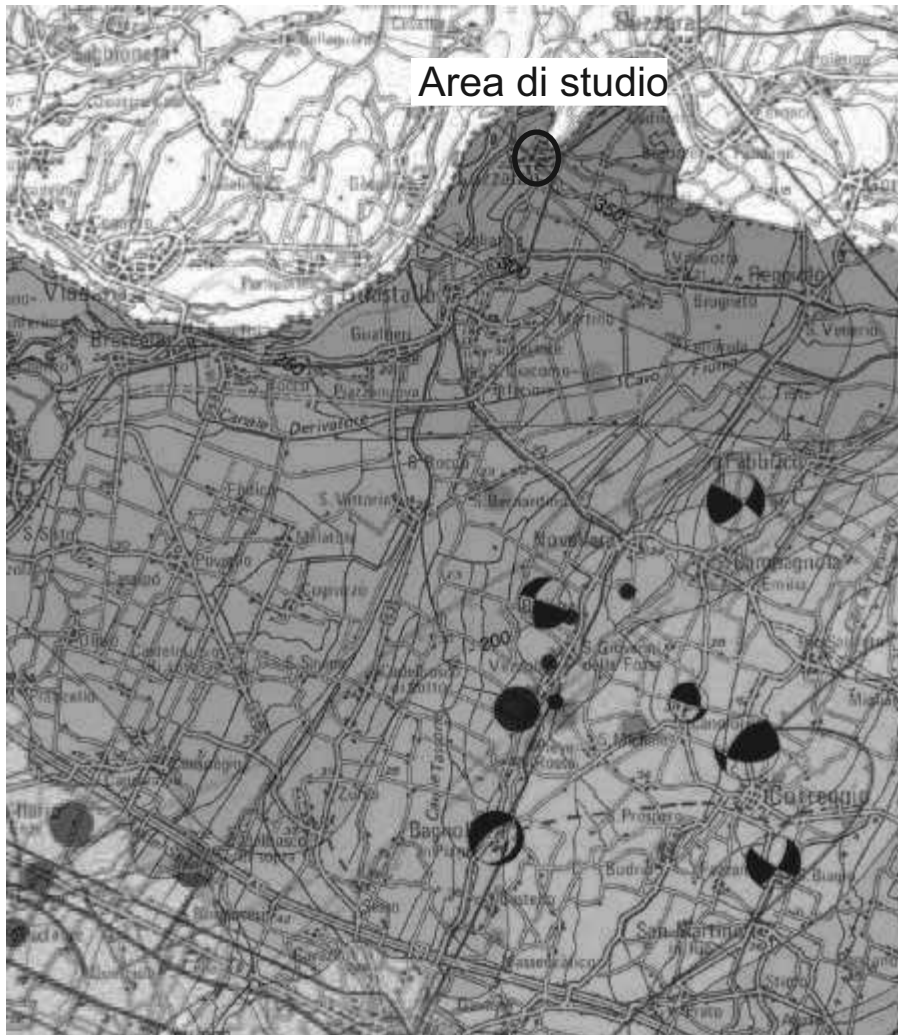
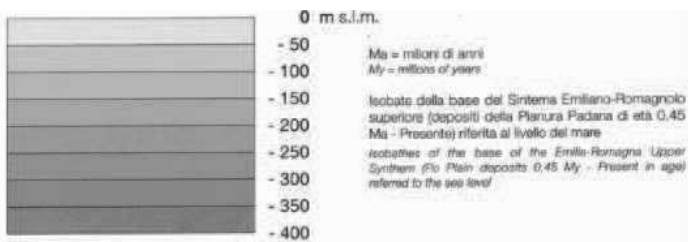


Fig. 3 - Stralcio Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna

# LEGENDA CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA (scala 1:250.000)



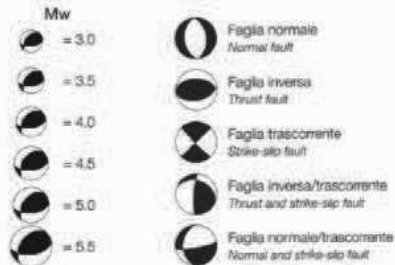
- |    |  |
|----|--|
| 1  | Depositi di conoidi e alluvionali intramontani (Pleistocene medio-Olocene, 0,8 Ma - Presente)<br><i>Alluvial fan and intramontain alluvial deposits (Middle Pleistocene-Holocene, 0,8 My - Present)</i>  |
| 2  | Depositi alluvionali (terrazzi) della Pianura Padana (Pleistocene medio e superiore, 0,8 - 0,01 Ma)<br><i>Po Plain terraced alluvial deposits (Middle and Late Pleistocene, 0,8 - 0,01 My)</i>   |
| 3  | Sabbie di Imola (Pleistocene medio, 0,8 - 0,65 Ma)<br><i>Imola Sands (Middle Pleistocene, 0,8 - 0,65 My)</i>   |
| 4  | Sabbie gialle (Pleistocene inferiore, 1 - 0,8 Ma)<br><i>Yellow sands (Early Pleistocene, 1 - 0,8 My)</i>   |
| 5  | Depositi fluvio-lacustri intramontani (Pliocene superiore-Pleistocene medio, 2,1 - 0,2 Ma)<br><i>Intramontain fluvio-lacustrine deposits (Late Pliocene-Middle Pleistocene, 2,1 - 0,2 My)</i>  |
| 6  | Depositi marini post fase Pliocene inferiore (zona a G. Punctulata) (Pliocene inferiore-Pleistocene inferiore, 4,5 - 1 Ma)<br><i>Post Early Pliocene (G. Punctulata zone) tectonic phase marine deposits (Early Pliocene - Early Pleistocene, 4,5 - 1 My)</i>  |
| 7  | Depositi lagunari e marini compresi tra la fase tettoniche del Messiniano superiore e del Pliocene inferiore (zona a G. Punctulata) (5,3 - 4,5 Ma)<br><i>Late Messinian-Early Pliocene (G. Punctulata zone) lagoonal and marine deposits (5,3 - 4,5 My)</i>  |
| 8  | Depositi evaporitici e clastici del Messiniano inferiore e medio (5,8 - 6,3 Ma)<br><i>Early and Middle Messinian evaporitic and clastic deposits (5,8 - 6,3 My)</i>  |
| 9  | Depositi delle avanzate dell'Oligocene superiore-Miocene: Macigno, Arenarie del M. Cervarola, Arenarie del M. Falterona, Marnoso-Arenacea (28 - 6,8 Ma)<br><i>Foredeep deposits Late Oligocene-Miocene in age: Macigno, Mt Cervarola Sandstones, Mt Falterona Sandstones, Marnoso-Arenacea (28 - 6,8 My)</i> |
| 10 | Unità Liguri, Subiguri ed Epiliguri (Giurassico - Miocene, 205 - 6,8 Ma)<br><i>Ligurian, Subigurian and Epiligurian Units (Jurassic - Miocene, 205 - 6,8 My)</i>   |
| 11 | Evaporiti triassici (220 - 210 Ma)<br><i>Triassic evaporites (220 - 210 My)</i>  |

Limite Pliocene-Pleistocene  
*Pliocene-Pleistocene boundary*

## Epicioni dei terremoti Earthquake epicenters



## Meccanismi focali Earthquake focal solutions



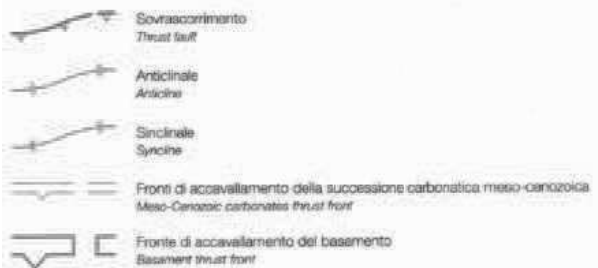
"box" sismogenetica da dati macro-sismici (Gasperini et al., 1999)  
*Sismogenetic box from macroseismic data (Gasperini et al., 1999)*

Il lato lungo della "box" indica la direzione dell'Azimut. Le dimensioni della "box", in funzione della magnitudo, determinano la lunghezza e la larghezza della possibile struttura sismogenetica (da Wells and Copper-smith, 1994)

The long axis of the box indicates the Azimuth strike. The box dimensions, related to the magnitude, define the length and the width of the possible sismogenetic structure from: Wells and Copper-smith, 1994

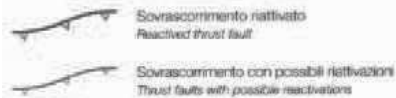
## Strutture sepolte Buried structures

Strutture attive e recenti (<1 Ma), determinate sulla base di dati morfologici di superficie e di dati geologici di sottosuolo  
*Active and recent structures (<1 My), recognized on the basis of surface morphological data and subsol geological data*



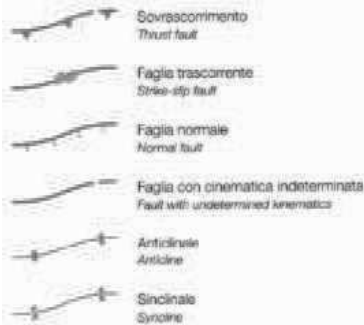
Fronti dei principali sovrascoglimenti di età Pliocene-Pleistocene inferiore (4,5 - 1 Ma) (da Structural Model of Italy, 1:500,000)

Fronts of the main Pliocene-Early Pleistocene thrust faults (4,5 - 1 My) (from Structural Model of Italy, 1:500,000)



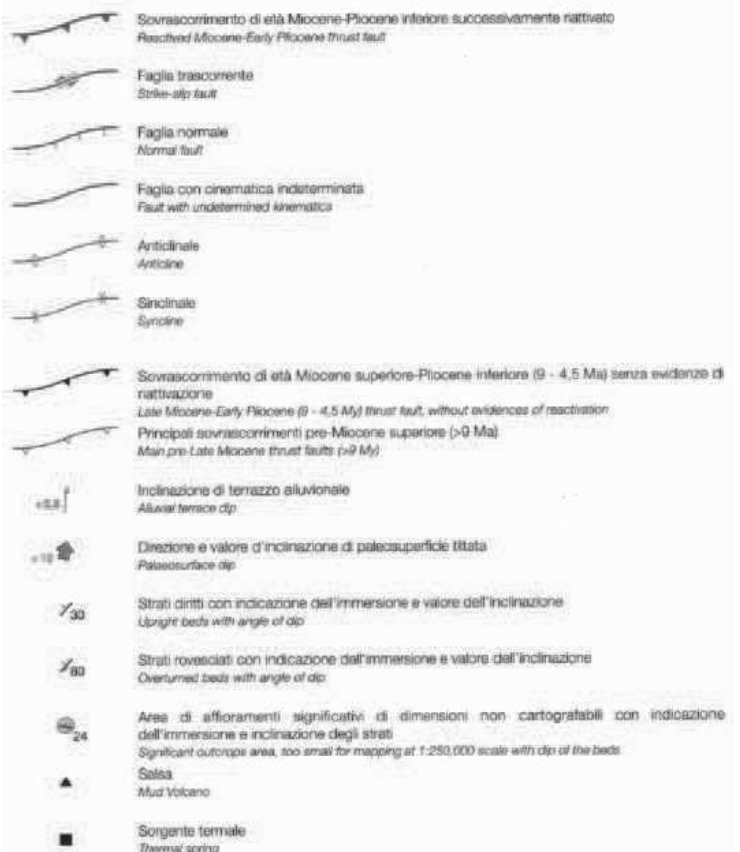
## Strutture affioranti Outcropping structures

Strutture attive e recenti (<1 Ma), determinate su base morfotettonica (M) e/o geologica (G)  
*Active and recent structures (<1 My), recognized on the basis of morphotectonic (M) and/or geological (G) data*



## Strutture plio-quadernarie (4,5 - 1 Ma)

Plio-Quaternary structures (4,5 - 1 My)



## 4. MODELLO GEOTECNICO

I risultati ottenuti dalle indagini eseguite sono riportati in Allegato 1A (Prove penetrometriche statiche: Letture di campagna, Diagrammi di resistenza) Allegato 1b (Prove penetrometriche dinamiche: Letture di campagna, Diagrammi N. colpi).

Sempre in Allegato 1A (Prove penetrometriche statiche: Parametri geotecnici) sono tabulate anche le caratteristiche litostratigrafiche ed i parametri geotecnici puntuali (ogni 20 cm) dei terreni indagati, ricavati tramite le seguenti correlazioni:

- Begemann (1965) e Schmertmann (1978) per la classificazione dei terreni in base ai valori della resistenza alla punta ( $q_c$ ) e della resistenza d'attrito laterale locale ( $f_s$ );
- Terzaghi e Peck (1967), Bowles (1982) per la stima del peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) in base ai valori della resistenza alla punta ( $q_c$ ) e alla natura litologica dei terreni;
- Schmertmann (1978), Durgunoglu e Mitchell (1975), Meyerhof (1976) per la stima dell'angolo d'attrito interno ( $\phi'$ ) dei terreni incoerenti;
- Raccomandazioni A.G.I. (1977) per la stima della coesione non drenata ( $C_u$ ) dei terreni coesivi;
- Schmertmann (1970 / 1978), Jamilkowski et al. (1983) per la stima del modulo di deformabilità drenato ( $E'_{25-50}$ );
- Sanglerat (1972), Mitchell e Gardner (1975) per la stima del modulo di deformabilità ( $M_o$ ).

Il valore dei parametri geotecnici caratteristici di ciascun strato di terreno, richiesti dalle NTC/08, è stato ricavato (Allegato 2) calcolando il 5° percentile del valore medio del parametro in esame sulla base dei dati puntuali tabulati in Allegato 1A. Per tale operazione è stato utilizzato opportuno foglio di calcolo presentato al: "Corso di aggiornamento professionale per geologi" - Università degli Studi di Parma, settembre 2008 (Relatore Dr. Geol. Luca Nori).

Si è inoltre tenuto conto, oltre che dei dati contenuti nel PSC di Gualtieri, anche di indagini eseguite dallo scrivente in aree prossime a quella in esame.

Sulla base di tutte le analisi eseguite si perviene alla parametrizzazione geotecnica del sito riportata nella Tabella seguente:

Tabella 1: stratigrafia di sintesi e parametri geotecnici caratteristici dei terreni di fondazione

Strato	prof. (m da p.c.)	Litologia prevalente	Y (kN/m <sup>3</sup> )	$\Phi'$ (°)	C <sub>u</sub> (kPa)	C' (kPa)	M, E' <sub>25</sub> (MPa)
1	0 – 3.0	limi sabbiosi	17.0	26			5.0
2	3.0 – 8.0	limi/argille poco consistenti	17.0	20	40	5	3.5
3	8.0 – 11.0	sabbie	18.5	34			30.0
4	11.0 – 13.0	sabbie	18.0	33			25.0
5	13.0 – 15.0	sabbie	18.5	34			30.0

### Falda freatica

Il livello piezometrico, alla data di esecuzione delle indagini geognostiche, è stato rinvenuto alla profondità di 3.6 m da piano campagna. Occorre però sottolineare che le variazioni stagionali del regime idrico della falda, anche in concomitanza ad eventi di piena del Fiume Po, potrebbero determinare la risalita della superficie freatica fino alla profondità di circa 1.0 m da piano campagna.



## 5. ANALISI RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)

Per l'analisi di RSL del sito in esame si adottano i dati e gli elaborati di III livello di approfondimento riportati nello studio: " Microzonazione Sismica dell'Unione dei Comuni della Bassa Reggiana – Luglio 2015":

### 5.1 Sismicità di base del Comune di Luzzara

I parametri di riferimento ( $PGA_0 = a_{refg}$  su suolo di categoria A, spettri di risposta in accelerazione e velocità) sono quelli contenuti nell'allegato A4 della DAL 2131/2007 della Regione Emilia Romagna:

- forma dello spettro di risposta normalizzato rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni, con smorzamento del 5%;
- valore di  $a_{refg}$  (accelerazione massima orizzontale di picco su suolo rigido con 10% di probabilità di superamento in 50 anni, espresso in funzione dell'accelerazione di gravità  $g$ ) per il Comune di Gualtieri:

$$PGA_0 = a_{refg} = 0.091g$$

Per quanto riguarda la magnitudo attesa si consiglia di adottare, con riferimento alla classificazione ZS9 dell'IMCS, il valore massimo della zona più prossima (Zona 912) al Comune di Gualtieri, cioè:

$$Mw = 6.14$$

In alternativa si può dedurre  $Mw$ , più realisticamente anche se in via meno cautelativa, con il metodo della disaggregazione, secondo INGV, che fornisce il seguente dato:

$$Mw = 5.70$$

### 5.2 Elaborati di output della RSL

Il modello geofisico del sito di Luzzara (Tabella 2), basato su indagini in posto e di laboratorio, riporta valutazioni sui seguenti parametri:

- litologia;
- velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ );
- curve di variazione della rigidità ( $G/G_0$ ) e dello smorzamento in funzione della deformazione e densità in sito.

Tabella 2: parametri del modello geofisico

Strato	Litologia	Spess.	Prof.	$\gamma$	$V_s$	Parametri $G/G_0$		Parametri D	
		<i>m</i>	<i>m</i>	<i>kN/m<sup>3</sup></i>	<i>m/s</i>	$\alpha$	$\beta$	$\eta$	$\lambda$
1	Argille	8	8	18.5	160	31.26	1.03	26.61	1.24
2	Sabbie	12	20	19.5	210	39.45	1.24	26.03	1.07
3	Sabbie	24	44	19.5	265	39.45	1.24	26.03	1.07
4	Sabbie	31	75	20.5	325	39.45	1.24	26.03	1.07
5	Bedrock			22.0	750				

$V_{s30} = 200 - 220$  m/sec (dati studio di MZS del Comune di Gualtieri)

$V_{s30} = 221$  m/sec (dato indagine HVSR eseguita dallo scrivente)

Categoria di sottosuolo = C

I risultati delle analisi, condotte con il codice STRATA, elaborate nel dominio del tempo e delle frequenze, hanno consentito di definire, per il sito di Gualtieri:

- la curva di variazione dell'accelerazione con la profondità (Fig. 4) che consente di valutare l'entità dell'amplificazione locale ( $FA_{PGA}$ ), intesa come rapporto fra il valore della PGA in superficie e il valore della  $PGA_0$  per sottosuolo di categoria A cioè al bedrock (Tabella 3);
- lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione PSA (Fig. 5) da cui si ricava lo spettro di risposta elastico in pseudovelocità PSV (Fig. 6) che consente di valutare l'entità dell'amplificazione locale ( $FA_{Si}$ ), intesa come rapporto tra lo spettro di risposta in velocità calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido, negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s (Tabella 3).

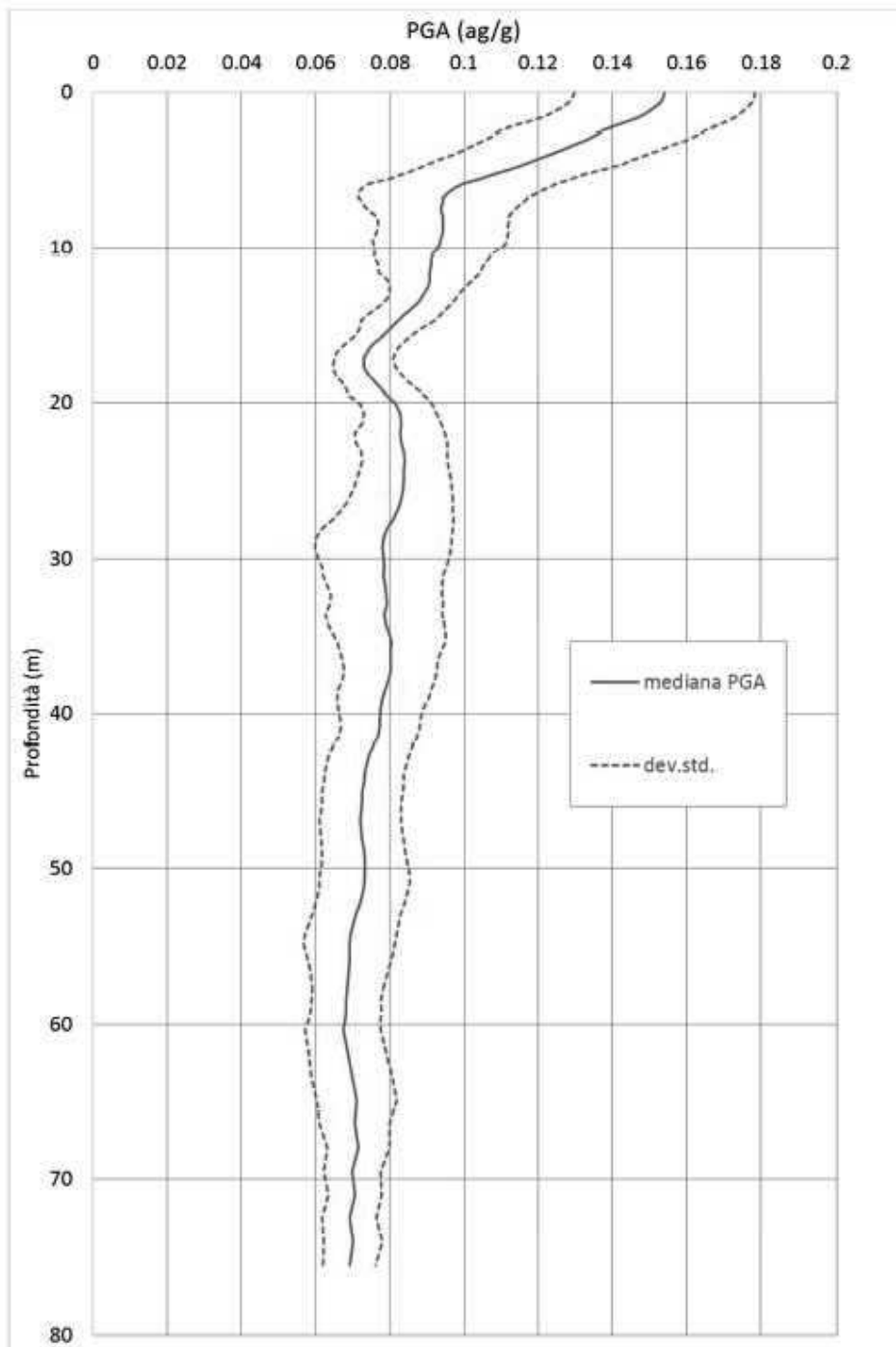


Fig. 4: variazione dell'accelerazione PGA con la profondità

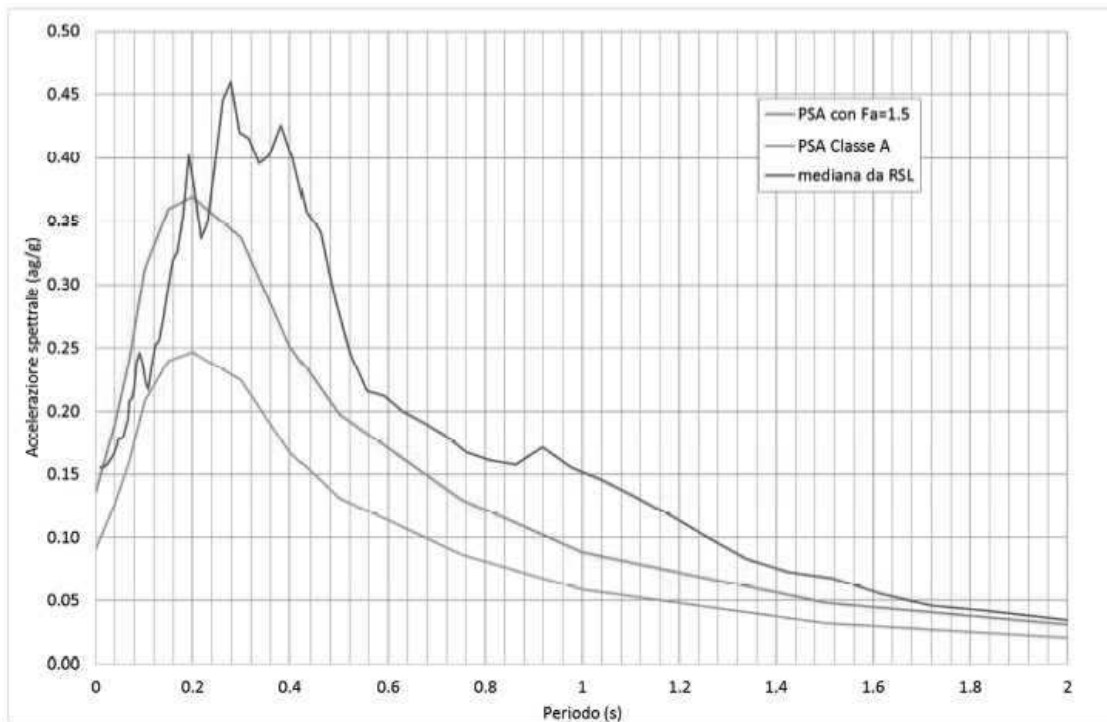


Fig. 5: spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione PSA

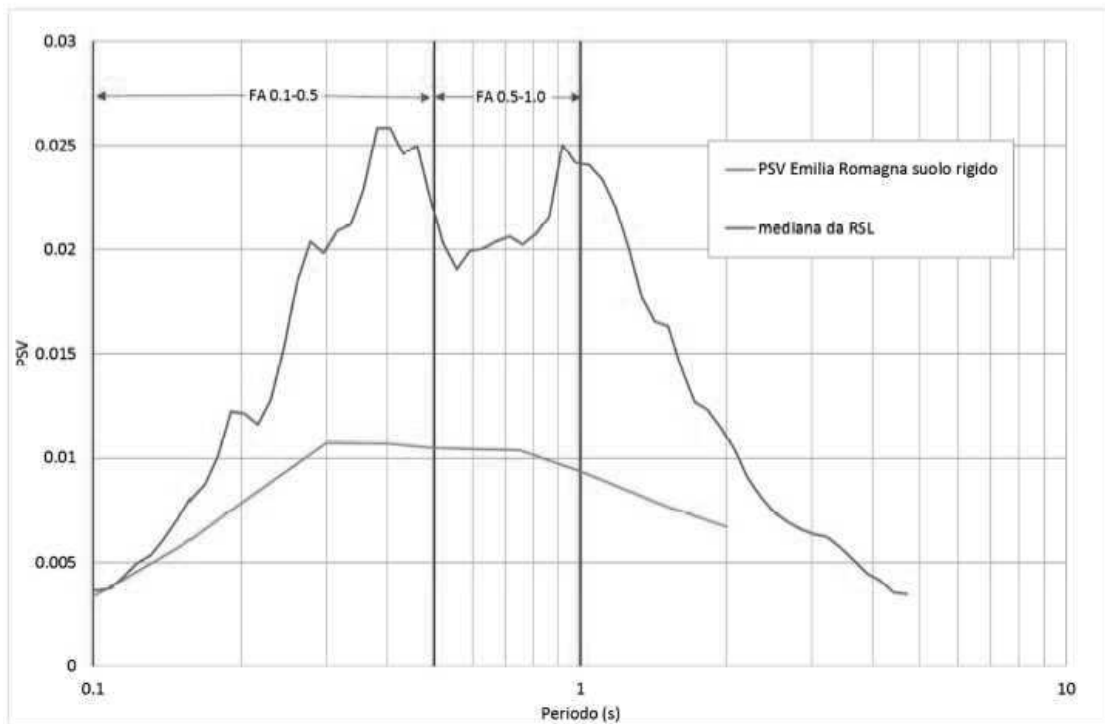


Fig. 6: spettro di risposta elastico in pseudoveleceità PSV

Tabella 3: fattori di amplificazione locale del moto sismico

	RSL	DAL 112/2007	NTC 2008
$FA_{PGA}$	1.69	1.5	1.5
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.86	1.7-1.8	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	2.12	2.5	

## 6. PERICOLOSITA' SISMICA – EFFETTI ATTESI

Nella Carta di microzonazione sismica del Comune di Luzzara (Fig. 7), l'area in esame viene classificata:

- suscettibile di amplificazioni locali del moto sismico, come ampiamente illustrato nel precedente Cap. 5, a cui si rimanda;
- potenzialmente suscettibile nei confronti della liquefazione per la presenza di depositi sabbiosi nei primi 15 m di profondità. Le verifiche eseguite indicano comunque che il potenziale di liquefazione è basso / molto basso;
- suscettibile di instabilità dovuta alla presenza di terreni coesivi aventi scadenti caratteristiche geotecniche, potenzialmente soggetti a cedimenti post-sismici.

Vediamo di analizzare nel dettaglio le possibili problematiche relative ai fenomeni della liquefazione delle sabbie e dei cedimenti post-sismici dei terreni coesivi:

### Suscettibilità alla liquefazione dei terreni sabbiosi

In ottemperanza alle NTC 2008 e agli atti di indirizzo tecnico (Del. 2193/2015) promossi dalla Regione Emilia Romagna in merito alla valutazione della risposta sismica locale del territorio, per l'analisi della pericolosità sismica del sito in esame risulta di primaria importanza la verifica di eventuali fenomeni di liquefazione in corrispondenza di strati (spessore minimo > 1.0 m) di terreni sabbiosi saturi presenti nei primi 15-20 m di sottosuolo.

Per verificare la possibilità dell'occorrenza di tale fenomeno, nell'atto di indirizzo sopracitato, si raccomandano i metodi semplificati basati su prove CPT e tra questi il metodo di Robertson e Wride (1998). Tale procedura, consigliata anche dall'AGI, definisce la suscettibilità alla liquefazione in rapporto ai valori di  $q_c$  della prova penetrometrica ed alla sollecitazione tangenziale ciclica delle onde sismiche.

La procedura si applica a strati con un contenuto in frazione fine (i.e. argilla: frazione passante al setaccio 0.005 mm) inferiore al 20%.

La magnitudo del sisma atteso è considerata in via cautelativa (Cap. 5) pari a:

$$M = 6.14$$

L'accelerazione sismica su suolo rigido di riferimento per il sito in esame (Cap. 5) è pari a:

$$PGA_0 = a_{refg} = 0.091g$$

Considerato in via cautelativa un fattore di amplificazione  $FA = 1.69$  (Cap. 5) si ricava una accelerazione massima attesa in superficie:

$$a_{max}/g = 0.154$$

La superficie della falda acquifera è considerata, in via cautelativa, alla profondità di 1.0 m da piano campagna.

Il coefficiente di sicurezza alla liquefazione viene determinato dalla relazione:

$$FS_L = (CRR / CSR_{7.5}) \cdot MSF$$

in cui:

$FS_L$  = coefficiente di sicurezza (viene considerato non liquefacibile un deposito con:  $FS_L > 1$ , in via cautelativa la normativa vigente fissa, come limite di attenzione, il valore  $FS_L = 1.25$ )

$CSR_{7.5}$  carico sismico ad una data profondità (sforzo di taglio indotto dal sisma) per Magnitudo pari a 7.5

$CSR$  = carico sismico ad una data profondità per la Magnitudo del sisma atteso ( $M = 6.14$ )

$CRR$  = resistenza alla liquefazione (resistenza al taglio mobilitata)

$MSF$  = coefficiente correttivo in funzione dell'intensità del sisma atteso  $M$  (Idriss 1990)

dove:

$$CRR = 0.883 [(q_{c(in)cs} / 1000) + 0.05] \text{ per } (q_{c(in)cs} < 50 \text{ kg/cm}^2 \text{ oppure} \\ = 93 [(q_{c(in)cs} / 1000)^3 + 0.008] \text{ per } 50 \text{ kg/cm}^2 \leq (q_{c(in)cs} < 160 \text{ kg/cm}^2$$

$$CSR = 0.65 a_{max} / g \cdot \sigma_{vo} / \sigma'_{vo} \cdot (1 - 0.00765 z) \text{ per } z \leq 9.15 \text{ m oppure} \\ = 0.65 a_{max} / g \cdot \sigma_{vo} / \sigma'_{vo} \cdot (1.174 - 0.0267 z) \text{ per } 9.15 < z \leq 23.0$$

$(q_{c(in)cs}$  valore di resistenza alla punta normalizzato in funzione di  $CF$  (% componenti fini) e di  $K$ , funzione a sua volta di  $IC$  (indice del tipo di terreno)

$a_{max}$  = accelerazione sismica massima

$z$  = profondità strato di terreno considerato

Il potenziale di liquefazione LP di uno strato esprime con un numero compreso tra 0 e 1, la pericolosità di liquefazione dello strato nei confronti dell'evento sismico atteso:

$$LP = F(z) \times w(z)$$

F(z) = funzione che esprime il potenziale di liquefazione di ogni strato in rapporto al FS calcolato

w(z) = funzione che tiene conto della profondità dello strato

con:

$$F = 0 \text{ per } FS \geq 1$$

$$F = 1 - FS \text{ per } FS < 1$$

$$w(z) = 10^{-0,5z}$$

Allo scopo di avere una valutazione complessiva dello spessore di terreno indagato, e per tenere conto del fatto che in superficie si risente dell'effetto cumulativo della liquefacibilità degli strati sottostanti, Iwasaky et al. (1982) introducono l'indice di liquefazione potenziale LPI.

$$LPI = \int_{0}^{Z_{cr}} F(z) \times w(z) \times dz$$

Dove Zcr è la profondità critica entro la quale si ritengono significativi gli effetti della liquefazione qui cautelativamente assunta come pari a 20 m.

Dalla verifica numerica della possibilità di manifestazione di fenomeni di liquefazione vengono automaticamente escluse le unità argilloso limose incontrate, poiché detti terreni non possono essere soggetti a questo tipo di fenomeno.

Le classi di pericolosità alla liquefazione sono valutate dai vari autori in funzione dell'indice di liquefazione. In particolare la normativa vigente consiglia:

Iwasaky, 1982

Sonmez, 2003

<i>Valori di LPI</i>	<i>Rischio di liquefazione</i>	<b>Indice del potenziale di liquefazione, LPI</b>	<b>Pericolosità di liquefazione</b>
$I_L = 0$	Molto basso	LPI = 0	Nulla
$0 < I_L \leq 5$	Basso	$0 < LPI \leq 2$	Bassa
$5 < I_L \leq 15$	Alto	$2 < LPI \leq 5$	Moderata
$15 < I_L$	Molto alto	$5 < LPI \leq 15$	Alta
		LPI > 15	Molto alta

Nel caso in esame l'indice di liquefazione LPI del terreno risulta, per le verticali indagate:

$$LPI (CPT 1) = 0$$

$$LPI (CPT 2) = 0$$

$$LPI (CPT 3) = 0$$

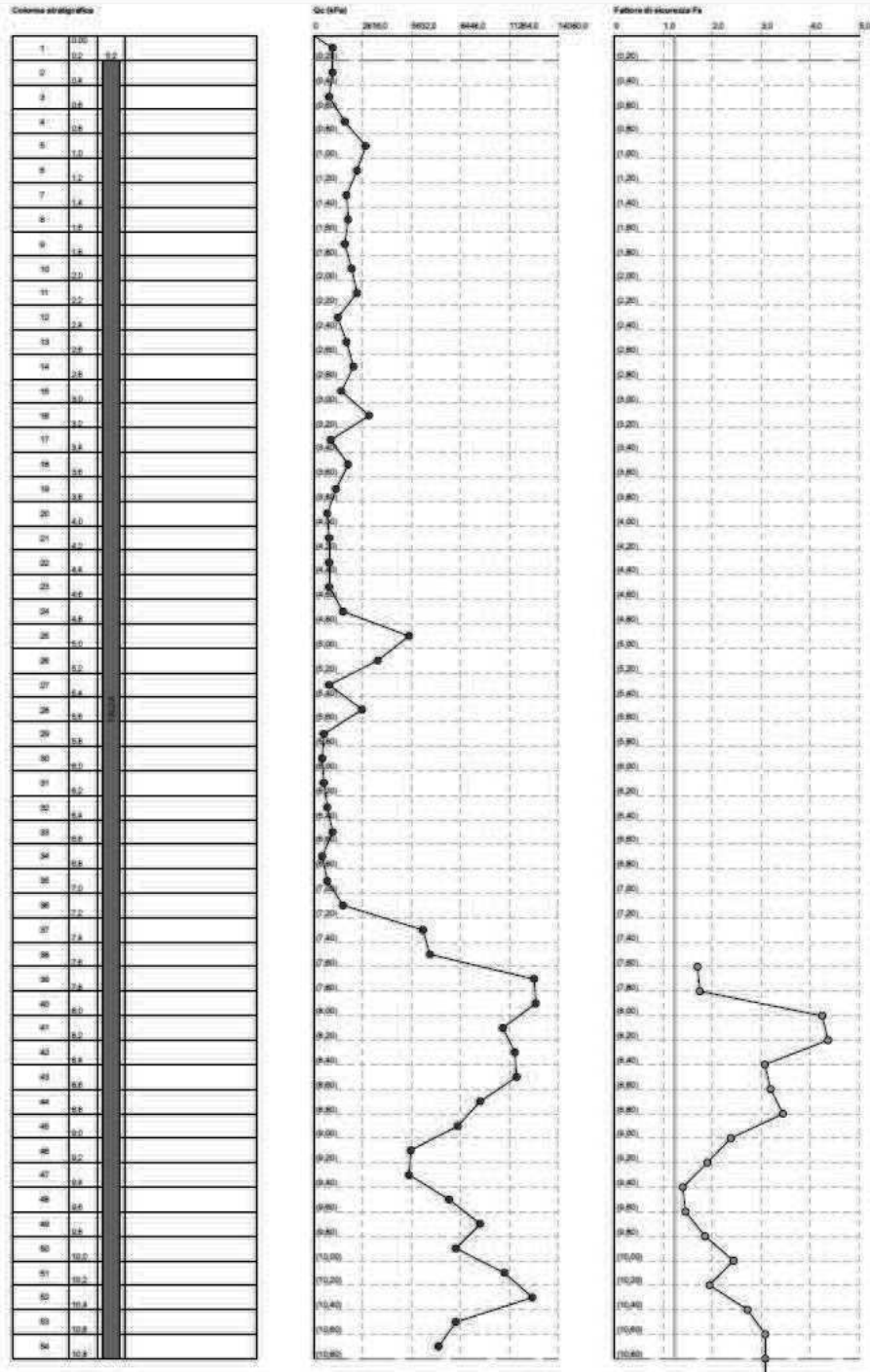
Sulla base delle tabelle sopra riportate si ricava che:

secondo Iwasaky (1982) il rischio liquefazione risulta **Molto Basso**

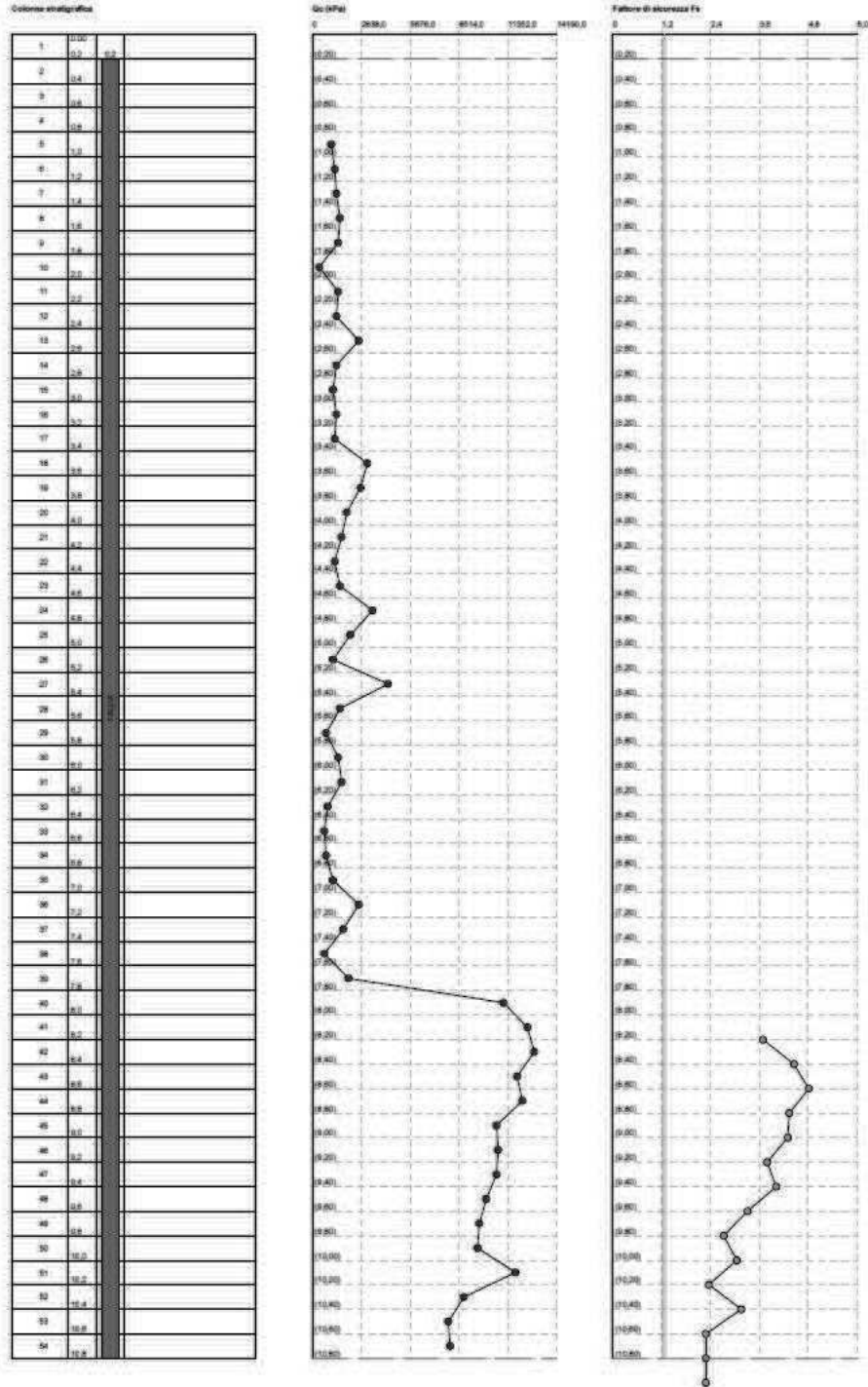
secondo Sonmez (2003) il rischio liquefazione risulta **Nulla**

I relativi tabulati di calcolo sono riportati in Allegato 3.

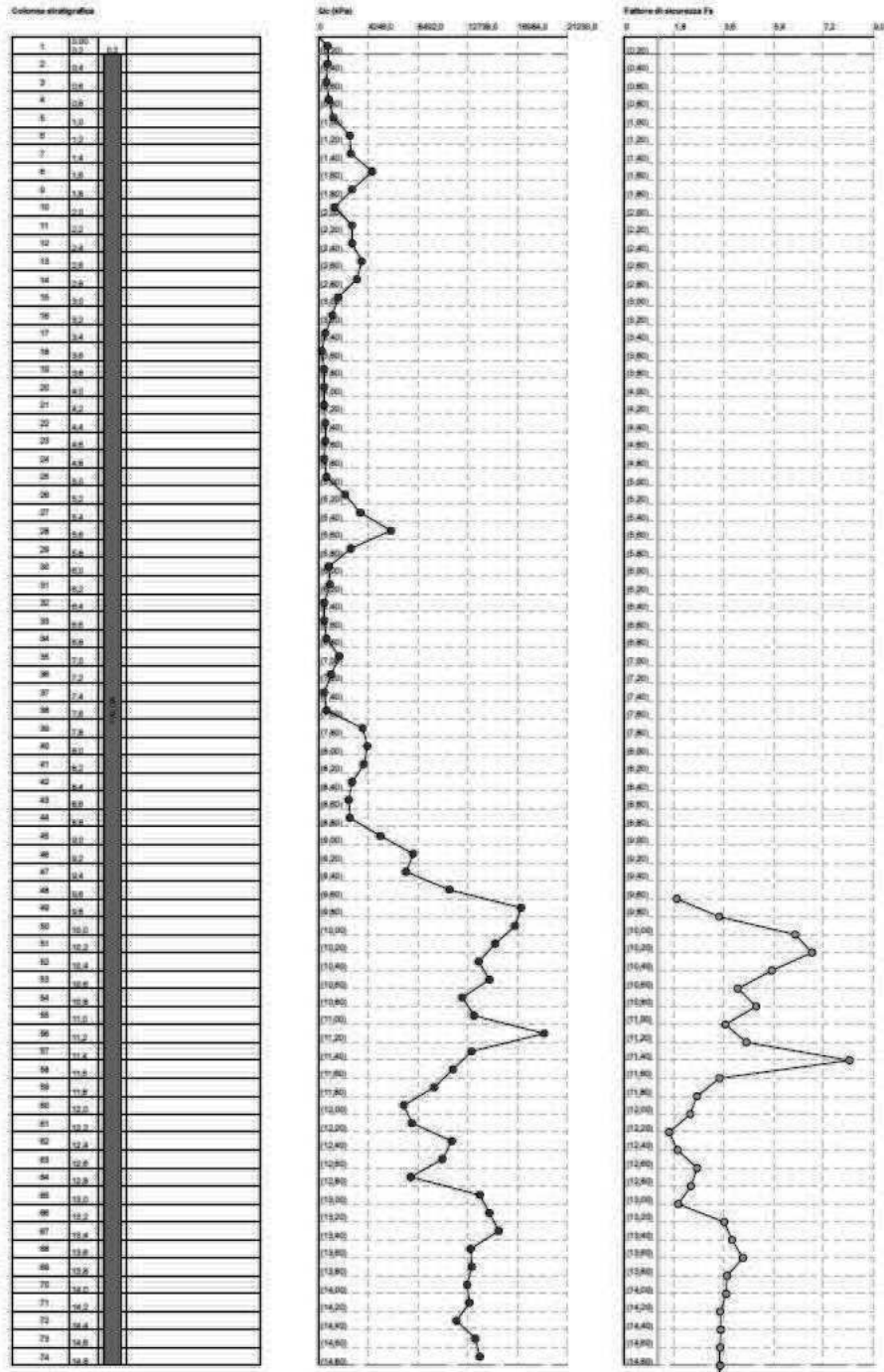
Pr6 Luzzara - CPT1



Pr6 Luzzara - CPT3



Pr6 Luzzara - CPT2





### Cedimenti post-sismici dei terreni coesivi

La stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica è affetta da notevoli incertezze. I valori che si ottengono con la procedura nel seguito riportata devono intendersi solo orientativi.

Come consigliato in DAL 2193/2015, si applica l'equazione di Yasuhara e Anderson, 1991 relativamente allo strato di argille soffici ( $C_u < 70\text{kPa}$ ) compreso tra quota -3.0 m e quota - 8.0 m da piano campagna:

$$\Delta H = \varepsilon_v H$$

$$\varepsilon_v = \alpha * C_r / (1 + e_0) * \log[1 / (1 - \Delta u / p_0')]$$

$\Delta H$ : cedimento di riconsolidazione dello strato deformabile di spessore H

$\varepsilon_v$  (%): deformazione volumetrica verticale post-ciclica

$C_r$ : indice di ricomprensione

$\alpha = 1.5$ : coefficiente empirico che dipende dalla storia del carico ciclico

$e_0$ : indice dei vuoti

$\Delta u / p_0'$ : incremento delle pressioni interstiziali durante l'azione sismica

Considerata la magnitudo attesa del sito, compresa tra 5.7 e 6.14 (Cap. 5), si può assumere:

$$\Delta u / p_0' = 0.3$$

Dai dati delle analisi di laboratorio dello studio di Microzonazione sismica dell'Unione dei Comuni della Bassa Reggiana, relativamente al territorio di Luzzara, si ricava:

$$e_0 = 2$$

considerato che:

$$C_r = 0.225 C_c \text{ (DAL 2131/2007)}$$

$$C_c = [1.33 / (q_c / f_s)] + 0.067 \text{ (Marchi e Righi,)}$$

$$q_c = 10 \text{ kg/cm}^2 \text{ dati prove penetrometriche}$$

$$f_s = 0.4 \text{ kg/cm}^2 \text{ dati prove penetrometriche}$$

si ottiene:

$$\varepsilon_v = 0.0047$$

quindi:

$$\Delta H = \varepsilon_v H = 0.0047 * 5 = 0.0235 \text{ m}$$

## 7. CONCLUSIONI

Sulla base delle indagini e degli studi eseguiti si può affermare che il sito in esame non presenta controindicazioni di tipo geologico relativamente al progetto in essere.

Sotto il profilo edificatorio la natura prevalentemente limosa dei terreni di sottosuolo impone, in fase di progettazione esecutiva di eventuali manufatti, l'esecuzione di ulteriori indagini in sito finalizzate al corretto dimensionamento delle opere di fondazione, così come previsto dalla vigente normativa in materia (NTC/08). Per quanto riguarda la pericolosità sismica (Cap. 6) le indagini e gli studi eseguiti portano ad escludere la possibilità che si manifestino fenomeni di liquefazione in occasione di eventi sismici. Si potranno avere amplificazione stratigrafica e cedimenti post-sismici dei terreni coesivi che dovranno essere tenuti in conto in fase di progetto esecutivo delle opere ma che non pregiudicano la fattibilità di eventuali interventi edilizi.

Fatte salve le indicazioni di cui sopra e gli eventuali vincoli territoriali, si ritiene che il sito esaminato sia **idoneo**, sotto l'aspetto geologico-sismico ed idrogeologico, alla destinazione prevista.

# **ALLEGATO 1**

*prove penetrometriche statiche CPT*

**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA****CPT 1**

2.01PG05-083

- committente : Sig. Zavattini - Luzzara (RE)  
 - lavoro : Ristrutturazione edilizia  
 - località : Via Circonvallazione Ovest / Via Dalai - Luzzara (RE)  
 - note :

- data : 11/10/2010  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : 3,60 m da quota inizio  
 - pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>				punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>		
0,20	11,0	----	11,0	1,20	9,0	5,80	6,0	18,0	6,0	0,53	11,0
0,40	11,0	29,0	11,0	0,60	18,0	<b>6,00</b>	5,0	13,0	5,0	0,53	9,0
0,60	9,0	18,0	9,0	0,47	19,0	6,20	6,0	14,0	6,0	0,47	13,0
0,80	18,0	25,0	18,0	0,27	67,0	6,40	8,0	15,0	8,0	0,33	24,0
<b>1,00</b>	30,0	34,0	30,0	0,93	32,0	6,60	11,0	16,0	11,0	0,33	33,0
1,20	25,0	39,0	25,0	0,73	34,0	6,80	5,0	10,0	5,0	0,60	8,0
1,40	19,0	30,0	19,0	1,07	18,0	<b>7,00</b>	8,0	17,0	8,0	1,40	6,0
1,60	20,0	36,0	20,0	0,80	25,0	7,20	17,0	38,0	17,0	0,93	18,0
1,80	18,0	30,0	18,0	1,40	13,0	7,40	63,0	77,0	63,0	1,80	35,0
<b>2,00</b>	22,0	43,0	22,0	1,20	18,0	7,60	67,0	94,0	67,0	1,80	37,0
2,20	25,0	43,0	25,0	1,20	21,0	7,80	127,0	154,0	127,0	2,73	46,0
2,40	14,0	32,0	14,0	0,60	23,0	<b>8,00</b>	128,0	169,0	128,0	3,00	43,0
2,60	19,0	28,0	19,0	0,60	32,0	8,20	109,0	154,0	109,0	2,40	45,0
2,80	23,0	32,0	23,0	0,87	27,0	8,40	116,0	152,0	116,0	2,27	51,0
<b>3,00</b>	16,0	29,0	16,0	0,53	30,0	8,60	117,0	151,0	117,0	2,73	43,0
3,20	32,0	40,0	32,0	0,47	69,0	8,80	96,0	137,0	96,0	2,20	44,0
3,40	10,0	17,0	10,0	0,60	17,0	<b>9,00</b>	83,0	116,0	83,0	1,87	44,0
3,60	20,0	29,0	20,0	0,73	27,0	9,20	56,0	84,0	56,0	1,60	35,0
3,80	13,0	24,0	13,0	1,33	10,0	9,40	55,0	79,0	55,0	1,73	32,0
<b>4,00</b>	8,0	28,0	8,0	0,40	20,0	9,60	78,0	104,0	78,0	2,07	38,0
4,20	9,0	15,0	9,0	0,87	10,0	9,80	96,0	127,0	96,0	2,53	38,0
4,40	9,0	22,0	9,0	0,87	10,0	<b>10,00</b>	82,0	120,0	82,0	2,13	38,0
4,60	9,0	22,0	9,0	1,00	9,0	10,20	110,0	142,0	110,0	2,47	45,0
4,80	17,0	32,0	17,0	0,80	21,0	10,40	126,0	163,0	126,0	2,20	57,0
<b>5,00</b>	55,0	67,0	55,0	0,60	92,0	10,60	82,0	115,0	82,0	2,07	40,0
5,20	37,0	46,0	37,0	0,93	40,0	10,80	72,0	103,0	72,0	2,20	33,0
5,40	9,0	23,0	9,0	0,40	22,0	<b>11,00</b>	74,0	107,0	74,0	-----	----
5,60	28,0	34,0	28,0	0,80	35,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t  
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
 - punta meccanica tipo Begemann  $\varnothing = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
 - manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

## PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

### CPT 3

2.01PG05-083

- committente : Sig. Zavattini - Luzzara (RE)  
 - lavoro : Ristrutturazione edilizia  
 - località : Via Circonvallazione Ovest / Via Dalai - Luzzara (RE)  
 - note :

- data : 11/10/2010  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : 3,60 m da quota inizio  
 - pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>				punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>		
0,20	---	---	--	----	---	5,80	16,0	42,0	16,0	1,07	15,0
0,40	---	---	--	----	---	<b>6,00</b>	8,0	24,0	8,0	0,93	9,0
0,60	---	---	--	----	---	6,20	15,0	29,0	15,0	0,47	32,0
0,80	---	---	--	----	---	6,40	17,0	24,0	17,0	1,00	17,0
<b>1,00</b>	---	---	--	0,40	---	6,60	9,0	24,0	9,0	0,73	12,0
1,20	11,0	17,0	11,0	0,87	13,0	6,80	7,0	18,0	7,0	0,60	12,0
1,40	13,0	26,0	13,0	0,93	14,0	<b>7,00</b>	8,0	17,0	8,0	0,47	17,0
1,60	14,0	28,0	14,0	1,20	12,0	7,20	12,0	19,0	12,0	0,93	13,0
1,80	16,0	34,0	16,0	1,13	14,0	7,40	27,0	41,0	27,0	1,20	22,0
<b>2,00</b>	15,0	32,0	15,0	0,53	28,0	7,60	18,0	36,0	18,0	1,20	15,0
2,20	4,0	12,0	4,0	0,33	12,0	7,80	7,0	25,0	7,0	0,40	17,0
2,40	15,0	20,0	15,0	0,47	32,0	<b>8,00</b>	21,0	27,0	21,0	2,13	10,0
2,60	14,0	21,0	14,0	0,60	23,0	8,20	111,0	143,0	111,0	2,80	40,0
2,80	27,0	36,0	27,0	0,80	34,0	8,40	125,0	167,0	125,0	3,00	42,0
<b>3,00</b>	14,0	26,0	14,0	1,00	14,0	8,60	129,0	174,0	129,0	3,27	39,0
3,20	12,0	27,0	12,0	0,93	13,0	8,80	119,0	168,0	119,0	3,47	34,0
3,40	14,0	28,0	14,0	0,87	16,0	<b>9,00</b>	122,0	174,0	122,0	3,40	36,0
3,60	13,0	26,0	13,0	0,73	18,0	9,20	107,0	158,0	107,0	3,73	29,0
3,80	32,0	43,0	32,0	0,80	40,0	9,40	108,0	164,0	108,0	4,00	27,0
<b>4,00</b>	28,0	40,0	28,0	1,40	20,0	9,60	107,0	167,0	107,0	3,13	34,0
4,20	20,0	41,0	20,0	1,47	14,0	9,80	101,0	148,0	101,0	2,60	39,0
4,40	17,0	39,0	17,0	0,93	18,0	<b>10,00</b>	97,0	136,0	97,0	3,40	29,0
4,60	13,0	27,0	13,0	0,73	18,0	10,20	96,0	147,0	96,0	2,27	42,0
4,80	16,0	27,0	16,0	0,73	22,0	10,40	118,0	152,0	118,0	2,53	47,0
<b>5,00</b>	35,0	46,0	35,0	1,00	35,0	10,60	88,0	126,0	88,0	2,60	34,0
5,20	22,0	37,0	22,0	1,20	18,0	10,80	79,0	118,0	79,0	2,60	30,0
5,40	12,0	30,0	12,0	0,87	14,0	<b>11,00</b>	80,0	119,0	80,0	----	----
5,60	44,0	57,0	44,0	1,73	25,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t  
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
 - punta meccanica tipo Begemann  $\varnothing = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
 - manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA**  
**LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA****CPT 2**

2.01PG05-083

- committente : Sig. Zavattini - Luzzara (RE)  
 - lavoro : Ristrutturazione edilizia  
 - località : Via Circonvallazione Ovest / Via Dalai - Luzzara (RE)  
 - note :

- data : 11/10/2010  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : 3,60 m da quota inizio  
 - pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>				punta	laterale	kg/cm <sup>2</sup>		
0,20	8,0	----	8,0	0,40	20,0	7,80	38,0	45,0	38,0	1,27	30,0
0,40	8,0	14,0	8,0	0,40	20,0	<b>8,00</b>	42,0	61,0	42,0	1,27	33,0
0,60	7,0	13,0	7,0	0,60	12,0	8,20	39,0	58,0	39,0	1,07	37,0
0,80	9,0	18,0	9,0	0,67	13,0	8,40	29,0	45,0	29,0	1,00	29,0
<b>1,00</b>	13,0	23,0	13,0	0,60	22,0	8,60	26,0	41,0	26,0	0,93	28,0
1,20	27,0	36,0	27,0	1,27	21,0	8,80	27,0	41,0	27,0	1,60	17,0
1,40	28,0	47,0	28,0	1,47	19,0	<b>9,00</b>	53,0	77,0	53,0	1,60	33,0
1,60	46,0	68,0	46,0	2,13	22,0	9,20	81,0	105,0	81,0	2,27	36,0
1,80	29,0	61,0	29,0	1,60	18,0	9,40	75,0	109,0	75,0	2,20	34,0
<b>2,00</b>	14,0	38,0	14,0	1,20	12,0	9,60	112,0	145,0	112,0	3,27	34,0
2,20	29,0	47,0	29,0	1,07	27,0	9,80	173,0	222,0	173,0	2,93	59,0
2,40	29,0	45,0	29,0	1,13	26,0	<b>10,00</b>	168,0	212,0	168,0	4,20	40,0
2,60	37,0	54,0	37,0	1,47	25,0	10,20	151,0	214,0	151,0	3,80	40,0
2,80	33,0	55,0	33,0	1,80	18,0	10,40	137,0	194,0	137,0	3,13	44,0
<b>3,00</b>	17,0	44,0	17,0	0,93	18,0	10,60	146,0	193,0	146,0	3,60	41,0
3,20	12,0	26,0	12,0	0,27	45,0	10,80	123,0	177,0	123,0	3,40	36,0
3,40	6,0	10,0	6,0	0,20	30,0	<b>11,00</b>	133,0	184,0	133,0	4,07	33,0
3,60	3,0	6,0	3,0	0,13	22,0	11,20	193,0	254,0	193,0	4,47	43,0
3,80	5,0	7,0	5,0	0,20	25,0	11,40	131,0	198,0	131,0	2,80	47,0
<b>4,00</b>	5,0	8,0	5,0	0,20	25,0	11,60	115,0	157,0	115,0	2,27	51,0
4,20	5,0	8,0	5,0	0,27	19,0	11,80	99,0	133,0	99,0	2,60	38,0
4,40	6,0	10,0	6,0	0,40	15,0	<b>12,00</b>	73,0	112,0	73,0	1,87	39,0
4,60	6,0	12,0	6,0	0,20	30,0	12,20	80,0	108,0	80,0	2,33	34,0
4,80	5,0	8,0	5,0	0,73	7,0	12,40	114,0	149,0	114,0	2,47	46,0
<b>5,00</b>	7,0	18,0	7,0	0,87	8,0	12,60	106,0	143,0	106,0	2,47	43,0
5,20	23,0	36,0	23,0	1,13	20,0	12,80	79,0	116,0	79,0	2,47	32,0
5,40	36,0	53,0	36,0	1,67	22,0	<b>13,00</b>	138,0	175,0	138,0	3,07	45,0
5,60	62,0	87,0	62,0	1,13	55,0	13,20	146,0	192,0	146,0	3,13	47,0
5,80	28,0	45,0	28,0	1,47	19,0	13,40	154,0	201,0	154,0	3,27	47,0
<b>6,00</b>	9,0	31,0	9,0	0,60	15,0	13,60	130,0	179,0	130,0	3,87	34,0
6,20	10,0	19,0	10,0	1,00	10,0	13,80	131,0	189,0	131,0	3,73	35,0
6,40	5,0	20,0	5,0	0,33	15,0	<b>14,00</b>	127,0	183,0	127,0	3,67	35,0
6,60	5,0	10,0	5,0	0,53	9,0	14,20	129,0	184,0	129,0	3,60	36,0
6,80	7,0	15,0	7,0	1,13	6,0	14,40	118,0	172,0	118,0	4,13	29,0
<b>7,00</b>	18,0	35,0	18,0	0,73	25,0	14,60	134,0	196,0	134,0	4,20	32,0
7,20	11,0	22,0	11,0	0,73	15,0	14,80	138,0	201,0	138,0	4,27	32,0
7,40	5,0	16,0	5,0	0,40	12,0	<b>15,00</b>	135,0	199,0	135,0	-----	----
7,60	7,0	13,0	7,0	0,47	15,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t  
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
 - punta meccanica tipo Begemann  $\varnothing = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
 - manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

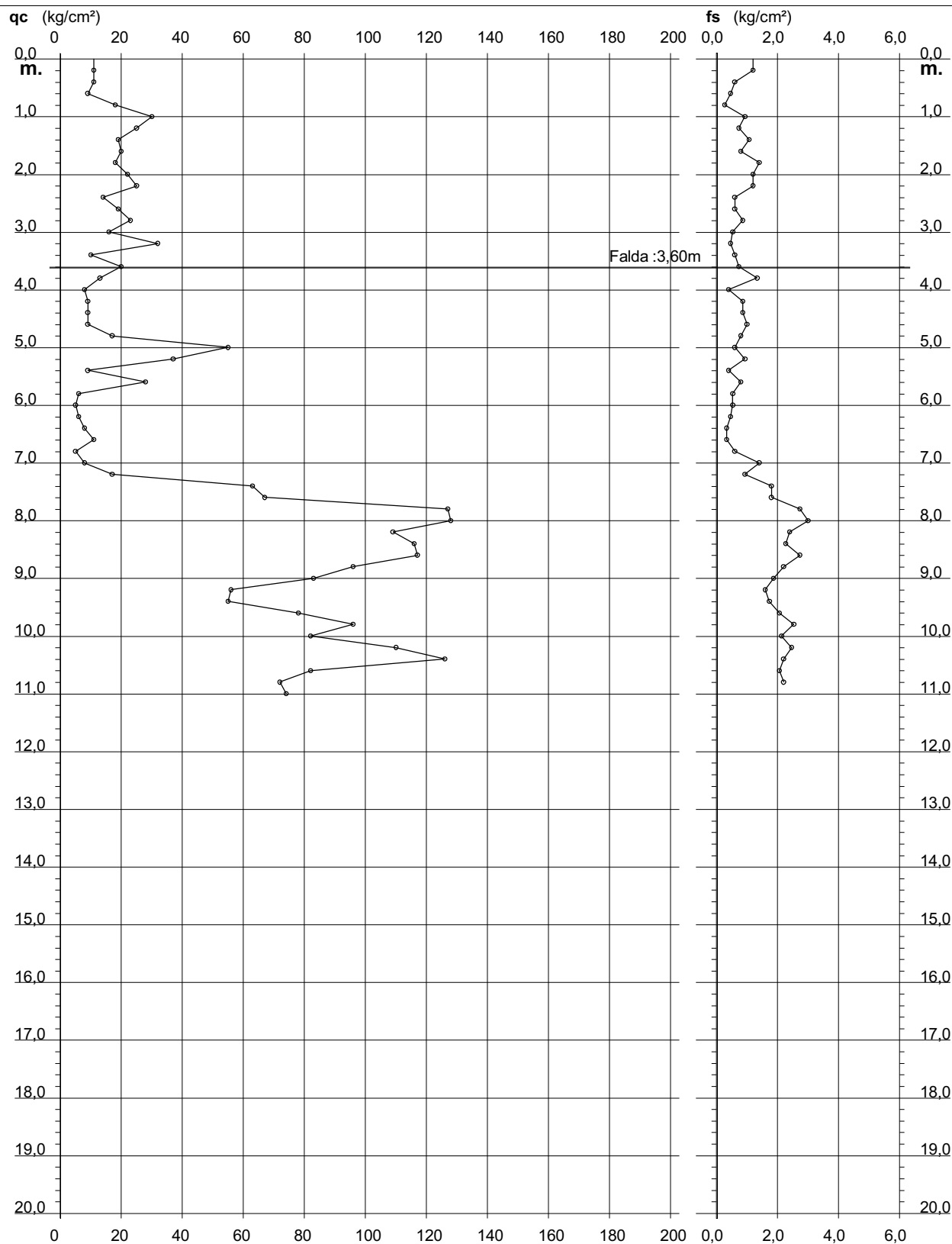
# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.01PG05-083

- committente : Sig. Zavattini - Luzzara (RE)  
- lavoro : Ristrutturazione edilizia  
- località : Via Circonvallazione Ovest / Via Dalai - Luzzara (RE)

- data : 11/10/2010  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 3,60 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100



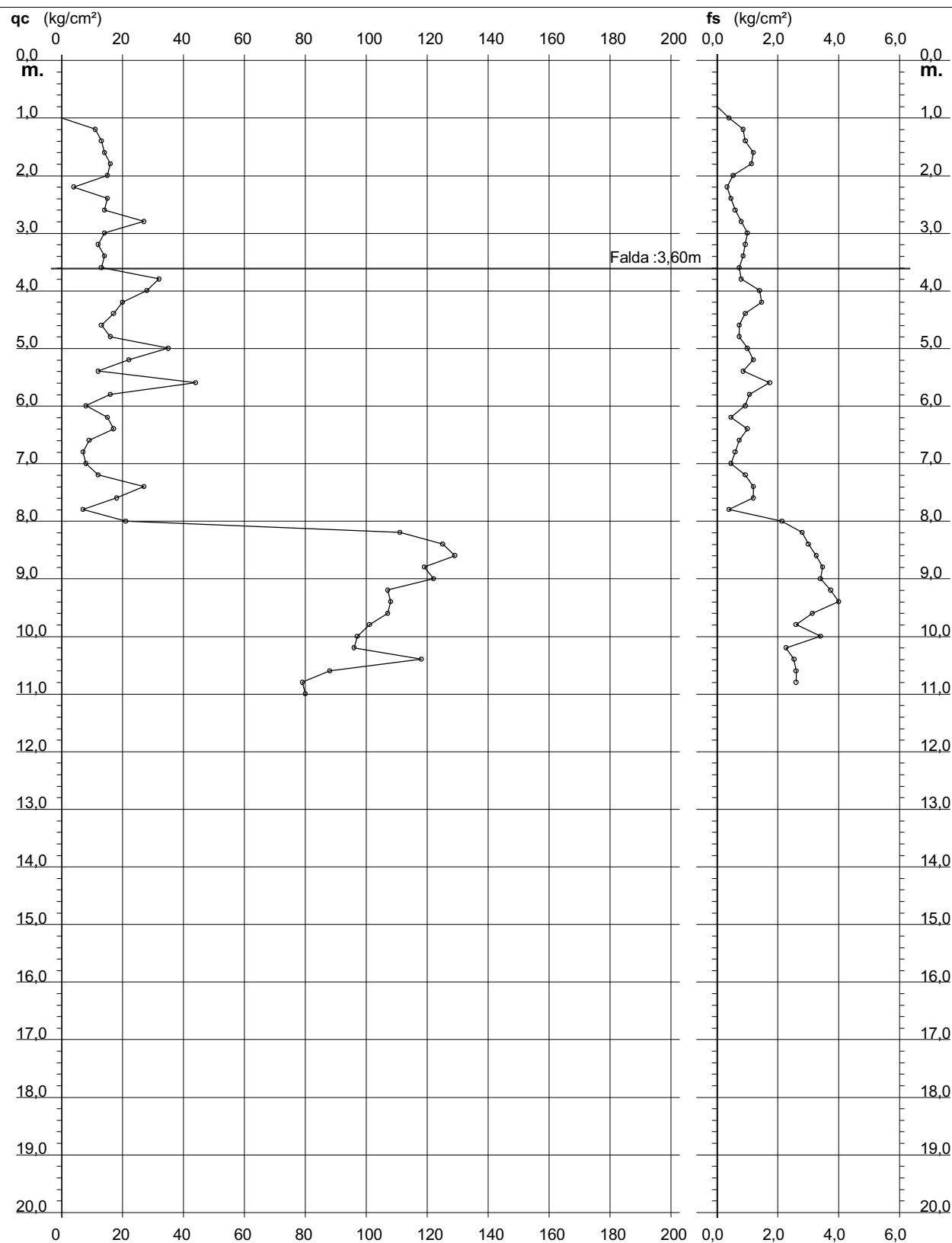
# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

## CPT 3

2.01PG05-083

- committente : Sig. Zavattini - Luzzara (RE)  
- lavoro : Ristrutturazione edilizia  
- località : Via Circonvallazione Ovest / Via Dalai - Luzzara (RE)

- data : 11/10/2010  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 3,60 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100



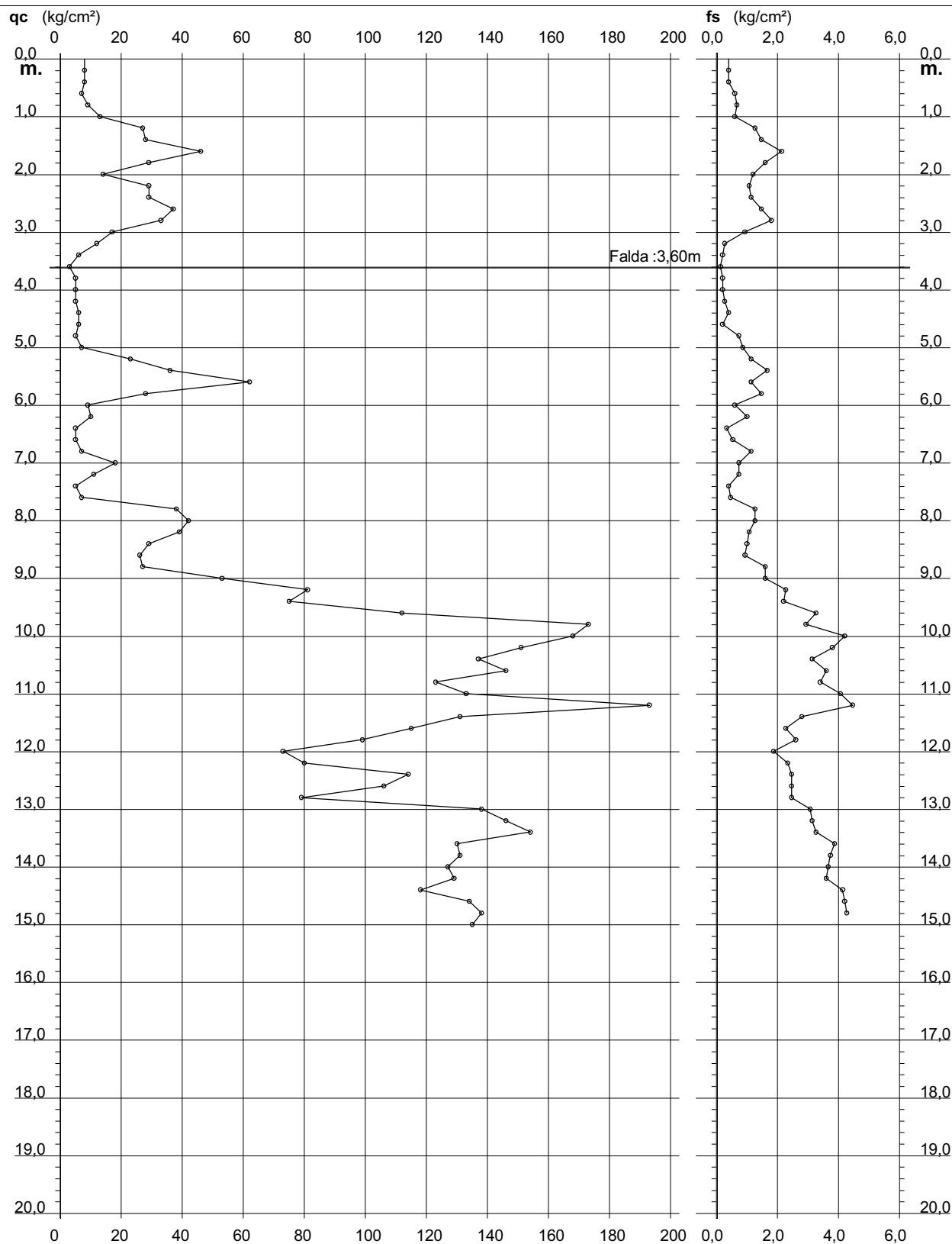
# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

## CPT 2

2.01PG05-083

- committente : Sig. Zavattini - Luzzara (RE)  
- lavoro : Ristrutturazione edilizia  
- località : Via Circonvallazione Ovest / Via Dalai - Luzzara (RE)

- data : 11/10/2010  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 3,60 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100





**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI**

**CPT 1**

2.01PG05-083

- committente : Sig. Zavattini - Luzzara (RE)  
- lavoro : Ristrutturazione edilizia  
- località : Via Circonvallazione Ovest / Via Dalai - Luzzara (RE)  
- note :

- data : 11/10/2010  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 3,60 m da quota inizio  
- pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc kg/cm <sup>2</sup>	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m <sup>3</sup>	d'vo kg/cm <sup>2</sup>	Cu kg/cm <sup>2</sup>	OCR (-)	Eu50 kg/cm <sup>2</sup>	Eu25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm <sup>2</sup>	E'25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	
0,20	11	9	2////	1,85	0,04	0,54	99,9	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	11	18	2////	1,85	0,07	0,54	74,7	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	9	19	2////	1,85	0,11	0,45	36,1	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	18	67	4://:	1,85	0,15	0,75	47,7	128	191	56	60	36	38	41	43	38	27	0,130	30	45	54	
1,00	30	32	3:::	1,85	0,19	--	--	--	--	--	72	38	40	42	44	39	29	0,164	50	75	90	
1,20	25	34	3:::	1,85	0,22	--	--	--	--	--	61	37	39	41	43	38	28	0,133	42	63	75	
1,40	19	18	2////	1,85	0,26	0,78	24,7	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,60	20	25	4://:	1,85	0,30	0,90	21,8	136	204	60	46	34	37	39	42	35	27	0,095	33	50	60	
1,80	18	13	2////	1,85	0,33	0,75	17,3	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,00	22	18	4://:	1,85	0,37	0,85	17,7	144	216	66	44	34	37	39	42	34	28	0,090	37	55	66	
2,20	25	21	4://:	1,85	0,41	0,91	17,1	155	232	75	46	34	37	39	42	34	28	0,095	42	63	75	
2,40	14	23	2////	1,85	0,44	0,64	9,8	108	163	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,60	19	32	4://:	1,85	0,48	0,78	11,4	132	198	58	33	33	35	38	41	32	27	0,064	32	48	57	
2,80	23	27	4://:	1,85	0,52	0,87	12,0	148	221	69	38	33	36	38	41	32	28	0,074	38	58	69	
3,00	16	30	4://:	1,85	0,55	0,70	8,3	132	198	52	23	31	34	37	40	30	27	0,044	27	40	48	
3,20	32	69	3:::	1,85	0,59	--	--	--	--	--	46	34	37	39	42	34	29	0,093	53	80	96	
3,40	10	17	2////	1,85	0,63	0,50	4,7	175	262	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,60	20	27	4://:	0,93	0,65	0,80	8,2	155	232	60	27	32	35	37	40	30	27	0,052	33	50	60	
3,80	13	10	2////	0,93	0,67	0,60	5,6	180	270	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,00	8	20	2////	0,86	0,68	0,40	3,2	190	285	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,20	9	10	2////	0,88	0,70	0,45	3,6	198	297	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,40	9	10	2////	0,88	0,72	0,45	3,5	203	304	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,60	9	9	2////	0,88	0,74	0,45	3,4	207	310	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,80	17	21	2////	0,97	0,76	0,72	5,9	200	301	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,00	55	92	3:::	0,93	0,77	--	--	--	--	--	58	36	38	40	43	35	31	0,124	92	138	165	
5,20	37	40	3:::	0,89	0,79	--	--	--	--	--	44	34	36	39	41	33	30	0,088	62	93	111	
5,40	9	22	2////	0,88	0,81	0,45	3,0	222	332	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,60	28	35	3:::	0,87	0,83	--	--	--	--	--	33	33	35	38	41	31	28	0,064	47	70	84	
5,80	6	11	1***	0,46	0,84	0,30	1,7	37	56	9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,00	5	9	1***	0,46	0,85	0,25	1,4	32	48	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,20	6	13	1***	0,46	0,85	0,30	1,7	37	56	9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,40	8	24	2////	0,86	0,87	0,40	2,4	215	323	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,60	11	33	4://:	0,87	0,89	0,54	3,3	249	374	42	--	28	31	35	38	25	26	--	18	28	33	
6,80	5	8	1***	0,46	0,90	0,25	1,3	32	48	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,00	8	6	2////	0,86	0,92	0,40	2,2	219	328	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,20	17	18	2////	0,97	0,93	0,72	4,6	261	391	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,40	63	35	3:::	0,94	0,95	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	35	32	0,123	105	158	189	
7,60	67	37	3:::	0,95	0,97	--	--	--	--	--	59	36	38	40	43	35	32	0,127	112	168	201	
7,80	127	46	3:::	1,04	0,99	--	--	--	--	--	80	39	41	43	44	38	35	0,191	212	318	381	
8,00	128	43	3:::	1,04	1,01	--	--	--	--	--	80	39	41	43	44	38	35	0,190	213	320	384	
8,20	109	45	3:::	1,01	1,03	--	--	--	--	--	74	38	40	42	44	37	34	0,172	182	273	327	
8,40	116	51	3:::	1,02	1,05	--	--	--	--	--	76	39	40	42	44	38	35	0,177	193	290	348	
8,60	117	43	3:::	1,03	1,08	--	--	--	--	--	76	39	40	42	44	37	35	0,176	195	293	351	
8,80	96	44	3:::	0,99	1,10	--	--	--	--	--	68	38	39	41	43	36	34	0,154	160	240	288	
9,00	83	44	3:::	0,97	1,11	--	--	--	--	--	63	37	39	41	43	35	33	0,139	138	208	249	
9,20	56	35	3:::	0,93	1,13	--	--	--	--	--	49	35	37	39	42	33	31	0,101	93	140	168	
9,40	55	32	3:::	0,93	1,15	--	--	--	--	--	48	35	37	39	42	33	31	0,099	92	138	165	
9,60	78	38	3:::	0,96	1,17	--	--	--	--	--	60	36	38	41	43	35	33	0,129	130	195	234	
9,80	96	38	3:::	0,99	1,19	--	--	--	--	--	66	37	39	41	43	36	34	0,148	160	240	288	
10,00	82	38	3:::	0,97	1,21	--	--	--	--	--	61	36	39	41	43	35	33	0,132	137	205	246	
10,20	110	45	3:::	1,02	1,23	--	--	--	--	--	70	38	40	42	44	36	34	0,160	183	275	330	
10,40	126	57	3:::	1,04	1,25	--	--	--	--	--	74	38	40	42	44	37	35	0,173	210	315	378	
10,60	82	40	3:::	0,97	1,27	--	--	--	--	--	59	36	38	40	43	35	33	0,129	137	205	246	
10,80	72	33	3:::	0,95	1,29	--	--	--	--	--	54	36	38	40	42	34	32	0,116	120	180	216	
11,00	74	--	3:::	0,96	1,31	--	--	--	--	--	55	36	38	40	42	34	32	0,117	123	185	222	



# PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

## CPT 2

2.01PG05-083

- committente : Sig. Zavattini - Luzzara (RE)  
 - lavoro : Ristrutturazione edilizia  
 - località : Via Circonvallazione Ovest / Via Dalai - Luzzara (RE)  
 - note :

- data : 11/10/2010  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : 3,60 m da quota inizio  
 - pagina : 1

NATURA COESIVA										NATURA GRANULARE												
Prof. m	qc kg/cm <sup>2</sup>	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m <sup>3</sup>	d'vo kg/cm <sup>2</sup>	Cu kg/cm <sup>2</sup>	OCR (-)	Eu50 kg/cm <sup>2</sup>	Eu25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm <sup>2</sup>	E'25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	
0,20	8	20	2////	1,85	0,04	0,40	99,9	68	102	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	8	20	2////	1,85	0,07	0,40	51,7	68	102	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	7	12	1***	1,85	0,11	0,35	26,4	14	21	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	9	13	2////	1,85	0,15	0,45	25,2	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	13	22	2////	1,85	0,19	0,60	27,6	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,20	27	21	4:/:	1,85	0,22	0,95	38,5	161	242	81	64	37	39	41	43	38	28	0,141	45	68	81	--
1,40	28	19	4:/:	1,85	0,26	0,97	32,5	164	246	84	61	37	39	41	43	37	28	0,134	47	70	84	--
1,60	46	22	4:/:	1,85	0,30	1,53	49,1	261	391	138	75	39	40	42	44	39	31	0,174	77	115	138	--
1,80	29	18	4:/:	1,85	0,33	0,98	24,3	167	251	87	56	36	38	40	43	36	29	0,120	48	73	87	--
2,00	14	12	2////	1,85	0,37	0,64	12,4	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,20	29	27	4:/:	1,85	0,41	0,98	18,9	167	251	87	51	35	37	40	42	35	29	0,108	48	73	87	--
2,40	29	26	4:/:	1,85	0,44	0,98	17,0	167	251	87	49	35	37	39	42	35	29	0,102	48	73	87	--
2,60	37	25	4:/:	1,85	0,48	1,23	20,4	210	315	111	56	36	38	40	42	36	30	0,119	62	93	111	--
2,80	33	18	4:/:	1,85	0,52	1,10	16,1	187	281	99	50	35	37	40	42	34	29	0,104	55	83	99	--
3,00	17	18	2////	1,85	0,55	0,72	8,7	131	197	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,20	12	45	4:/:	1,85	0,59	0,57	6,0	157	235	45	12	30	33	36	39	28	26	0,024	20	30	36	--
3,40	6	30	4:/:	1,85	0,63	0,30	2,5	159	239	29	--	28	31	35	38	25	26	--	10	15	18	--
3,60	3	22	2////	0,76	0,64	0,15	1,0	90	135	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,80	5	25	2////	0,80	0,66	0,25	1,9	142	213	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,00	5	25	2////	0,80	0,68	0,25	1,8	142	214	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,20	5	19	2////	0,80	0,69	0,25	1,8	143	215	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,40	6	15	1***	0,46	0,70	0,30	2,2	35	53	9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,60	6	30	4:/:	0,82	0,72	0,30	2,1	166	249	29	--	28	31	35	38	25	26	--	10	15	18	--
4,80	5	7	1***	0,46	0,73	0,25	1,7	31	47	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,00	7	8	1***	0,46	0,74	0,35	2,5	39	59	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,20	23	20	4:/:	0,94	0,75	0,87	7,5	185	278	69	28	32	35	37	40	30	28	0,054	38	58	69	--
5,40	36	22	4:/:	0,99	0,77	1,20	10,9	204	306	108	43	34	36	39	41	33	30	0,087	60	90	108	--
5,60	62	55	3:..:	0,94	0,79	--	--	--	--	--	61	37	39	41	43	36	32	0,134	103	155	186	--
5,80	28	19	4:/:	0,96	0,81	0,97	7,8	196	295	84	33	33	35	38	41	31	28	0,065	47	70	84	--
6,00	9	15	2////	0,88	0,83	0,45	2,9	225	337	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,20	10	10	2////	0,90	0,85	0,50	3,2	237	355	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,40	5	15	1***	0,46	0,86	0,25	1,3	32	48	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,60	5	9	1***	0,46	0,87	0,25	1,3	32	48	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,80	7	6	1***	0,46	0,88	0,35	2,0	42	63	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,00	18	25	2////	0,98	0,90	0,75	5,0	247	370	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,20	11	15	2////	0,91	0,91	0,54	3,2	255	382	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,40	5	12	1***	0,46	0,92	0,25	1,2	32	48	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,60	7	15	1***	0,46	0,93	0,35	1,8	43	64	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,80	38	30	4:/:	0,99	0,95	1,27	9,0	226	338	114	40	34	36	39	41	32	30	0,080	63	95	114	--
8,00	42	33	3:..:	0,90	0,97	--	--	--	--	--	43	34	36	39	41	32	30	0,087	70	105	126	--
8,20	39	37	3:..:	0,90	0,99	--	--	--	--	--	40	34	36	39	41	32	30	0,080	65	98	117	--
8,40	29	29	4:/:	0,96	1,01	0,98	6,1	265	398	87	29	32	35	37	40	30	29	0,056	48	73	87	--
8,60	26	28	4:/:	0,95	1,03	0,93	5,5	277	416	78	25	32	34	37	40	29	28	0,048	43	65	78	--
8,80	27	17	4:/:	0,95	1,04	0,95	5,6	282	424	81	26	32	34	37	40	29	28	0,049	45	68	81	--
9,00	53	33	3:..:	0,92	1,06	--	--	--	--	--	49	35	37	39	42	33	31	0,101	88	133	159	--
9,20	81	36	3:..:	0,97	1,08	--	--	--	--	--	63	37	39	41	43	35	33	0,138	135	203	243	--
9,40	75	34	3:..:	0,96	1,10	--	--	--	--	--	60	36	38	41	43	35	32	0,130	125	188	225	--
9,60	112	34	3:..:	1,02	1,12	--	--	--	--	--	73	38	40	42	44	37	34	0,168	187	280	336	--
9,80	173	59	3:..:	1,11	1,14	--	--	--	--	--	88	40	42	43	45	39	37	0,215	288	433	519	--
10,00	168	40	3:..:	1,10	1,17	--	--	--	--	--	86	40	42	43	45	39	37	0,210	280	420	504	--
10,20	151	40	3:..:	1,08	1,19	--	--	--	--	--	82	39	41	43	45	38	36	0,196	252	378	453	--
10,40	137	44	3:..:	1,06	1,21	--	--	--	--	--	78	39	41	42	44	38	35	0,184	228	343	411	--
10,60	146	41	3:..:	1,07	1,23	--	--	--	--	--	80	39	41	43	44	38	36	0,190	243	365	438	--
10,80	123	36	3:..:	1,03	1,25	--	--	--	--	--	74	38	40	42	44	37	35	0,170	205	308	369	--
11,00	133	33	3:..:	1,05	1,27	--	--	--	--	--	76	39	40	42	44	37	35	0,177	222	333	399	--
11,20	193	43	3:..:	1,14	1,29	--	--	--	--	--	88	40	42	43	45	39	38	0,217	322	483	579	--
11,40	131	47	3:..:	1,05	1,32	--	--	--	--	--	75	38	40	42	44	37	35	0,173	218	328	393	--
11,60	115	51	3:..:	1,02	1,34	--	--	--	--	--	70	38	40	42	44	36	35	0,158	192	288	345	--
11,80	99	38	3:..:	1,00	1,36	--	--	--	--	--	64	37	39	41	43	35	34	0,142	165	248	297	--
12,00	73	39	3:..:	0,96	1,38	--	--	--	--	--	53	35	38	40	42	33	32	0,113	122	183	219	--
12,20	80	34	3:..:	0,97	1,39	--	--	--	--	--	56	36	38	40	42	34	33	0,120	133	200	240	--
12,40	114	46	3:..:	1,02	1,42	--	--	--	--	--	68	38	39	41	43	36	34	0,153	190	285	342	--
12,60	106	43	3:..:	1,01	1,44	--	--	--	--	--	65	37	39	41	43	35	34	0,145	177	265	318	--
12,80	79	32	3:..:	0,97	1,45	--	--	--	--	--	55	36	38	40	42	34	33	0,116	132	198	237	--
13,00	138	45	3:..:	1,06	1,48	--	--	--	--	--	74	38	40	42	44	37	36	0,170	230	345	414	--
13,20	146	47	3:..:	1,07	1,50	--	--	--	--	--	75	39	40	42	44	37	36	0,175	243	365	438	--
13,40	154	47	3:..:	1,08	1,52	--	--	--	--	--	77	39	40	42	44	37	36	0,179	257	385	462	--
13,60	130	34	3:..:	1,05	1,54	--	--	--	--	--	70	38	40	42	44	36	35	0,161	217	325	390	--
13,80	131	35	3:..:	1,05	1,56	--	--	--	--	--	70	38	40	42	44	36	35	0,160	218	328	393	--
14,00	127	35	3:..:	1,04	1,58	--	--	--	--	--	69	38	40	41	44							

# **ALLEGATO 1B**

*prove penetrometriche dinamiche DPSH*

## PENETROMETRO DINAMICO IN USO : **DPSH (S. Heavy)**

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

## CARATTERISTICHE TECNICHE : **DPSH (S. Heavy)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M <sub>s</sub> = 30,00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L <sub>a</sub> = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M <sub>a</sub> = 8,00 kg
PROF. GIUNZIONE 1 <sup>a</sup> ASTA	P <sub>1</sub> = 0,80 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,20$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(20) ⇒ Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A $\delta$ ) = 11,91 kg/cm <sup>2</sup> ( prova SPT : Q <sub>spt</sub> = 7.83 kg/cm <sup>2</sup> )
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ ( teoricamente : N <sub>spt</sub> = $\beta_t$ N )

Valutazione resistenza dinamica alla punta R<sub>pd</sub> [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

R<sub>pd</sub> = resistenza dinamica punta [ area A]  
e = infissione per colpo =  $\delta / N$

M = peso massa battente (altezza caduta H)  
P = peso totale aste e sistema battuta

### UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm<sup>2</sup> = 0.098067 MPa  
1 MPa = 1 MN/m<sup>2</sup> = 10.197 kg/cm<sup>2</sup>  
1 bar = 1.0197 kg/cm<sup>2</sup> = 0.1 MPa  
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

## DIN 4

- committente : Il Mio Paese  
- lavoro : PR6 Luzzara  
- località : Via Circonvallazione, Luzzara (RE)  
- note :

- data : 08/06/2016  
- quota inizio : piano campagna  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm <sup>2</sup> )	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	----	----	----	1	7,40 - 7,60	6	28,8	----	8
0,20 - 0,40	----	----	----	1	7,60 - 7,80	4	19,2	----	8
0,40 - 0,60	----	----	----	1	7,80 - 8,00	4	18,3	----	9
0,60 - 0,80	1	7,4	----	1	8,00 - 8,20	4	18,3	----	9
0,80 - 1,00	1	6,9	----	2	8,20 - 8,40	4	18,3	----	9
1,00 - 1,20	1	6,9	----	2	8,40 - 8,60	6	27,4	----	9
1,20 - 1,40	1	6,9	----	2	8,60 - 8,80	6	27,4	----	9
1,40 - 1,60	1	6,9	----	2	8,80 - 9,00	6	26,1	----	10
1,60 - 1,80	4	27,6	----	2	9,00 - 9,20	7	30,5	----	10
1,80 - 2,00	8	51,5	----	3	9,20 - 9,40	7	30,5	----	10
2,00 - 2,20	8	51,5	----	3	9,40 - 9,60	7	30,5	----	10
2,20 - 2,40	2	12,9	----	3	9,60 - 9,80	8	34,9	----	10
2,40 - 2,60	2	12,9	----	3	9,80 - 10,00	10	41,7	----	11
2,60 - 2,80	1	6,4	----	3	10,00 - 10,20	11	45,8	----	11
2,80 - 3,00	1	6,0	----	4	10,20 - 10,40	13	54,2	----	11
3,00 - 3,20	1	6,0	----	4	10,40 - 10,60	17	70,8	----	11
3,20 - 3,40	2	12,0	----	4	10,60 - 10,80	16	66,6	----	11
3,40 - 3,60	1	6,0	----	4	10,80 - 11,00	17	67,8	----	12
3,60 - 3,80	1	6,0	----	4	11,00 - 11,20	15	59,8	----	12
3,80 - 4,00	1	5,7	----	5	11,20 - 11,40	15	59,8	----	12
4,00 - 4,20	2	11,3	----	5	11,40 - 11,60	13	51,9	----	12
4,20 - 4,40	1	5,7	----	5	11,60 - 11,80	13	51,9	----	12
4,40 - 4,60	2	11,3	----	5	11,80 - 12,00	15	57,4	----	13
4,60 - 4,80	2	11,3	----	5	12,00 - 12,20	16	61,2	----	13
4,80 - 5,00	2	10,7	----	6	12,20 - 12,40	15	57,4	----	13
5,00 - 5,20	2	10,7	----	6	12,40 - 12,60	13	49,8	----	13
5,20 - 5,40	3	16,0	----	6	12,60 - 12,80	15	57,4	----	13
5,40 - 5,60	3	16,0	----	6	12,80 - 13,00	15	55,2	----	14
5,60 - 5,80	4	21,4	----	6	13,00 - 13,20	13	47,8	----	14
5,80 - 6,00	3	15,2	----	7	13,20 - 13,40	13	47,8	----	14
6,00 - 6,20	3	15,2	----	7	13,40 - 13,60	11	40,5	----	14
6,20 - 6,40	3	15,2	----	7	13,60 - 13,80	15	55,2	----	14
6,40 - 6,60	6	30,3	----	7	13,80 - 14,00	17	60,2	----	15
6,60 - 6,80	7	35,4	----	7	14,00 - 14,20	16	56,7	----	15
6,80 - 7,00	7	33,6	----	8	14,20 - 14,40	15	53,1	----	15
7,00 - 7,20	7	33,6	----	8	14,40 - 14,60	15	53,1	----	15
7,20 - 7,40	8	38,4	----	8	14,60 - 14,80	16	56,7	----	15

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,00** cm<sup>2</sup> - D(diam. punta)= **50,50** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [  $\delta$  = 20 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

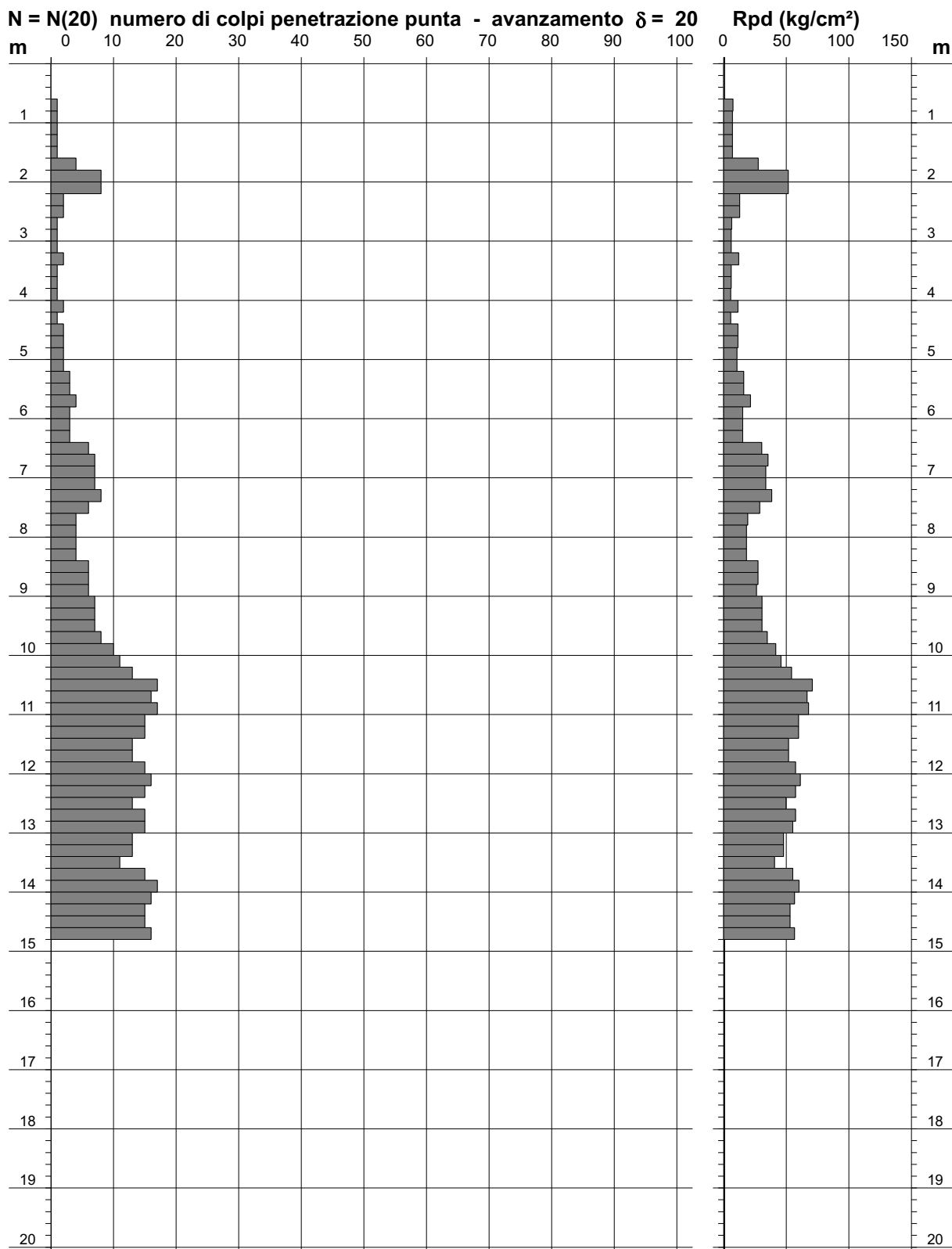
# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 4

Scala 1: 100

- committente : Il Mio Paese  
- lavoro : PR6 Luzzara  
- località : Via Circonvallazione, Luzzara (RE)  
- note :

- data : 08/06/2016  
- quota inizio : piano campagna  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1



# **ALLEGATO 2**

*Indagine sismica HVSR*



## INDAGINE SISMICA CON MICROTREMORI – METODO DI NAKAMURA (H/V)

Data indagine: 11/10/2010

Località: Luzzara – Via Circonvallazione Ovest

### Metodologia d'indagine

La misura a stazione singola del tremore sismico, attraverso l'analisi dei rapporti spettrali consente la determinazione della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo; mediante il processo di inversione le misure del microtremore consentono di stimare in maniera rapida il valore di  $V_{s30}$ .

La prova è stata condotta utilizzando un sismometro a stazione singola (tromografo digitale) in grado di registrare i microtremori lungo le direzioni X coincidente con l'Est topografico e Y coincidente con il Nord e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 15 minuti). Il moto indotto nel terreno è stato misurato dallo strumento in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z). Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della frequenza).

Per la determinazione delle onde di taglio  $V_s$  è stata utilizzata l'inversione vincolata dello spettro H/V sulla base della relazione:

$$f(\text{Hz}) = \frac{V_s}{4H}$$

### Elaborati d'indagine

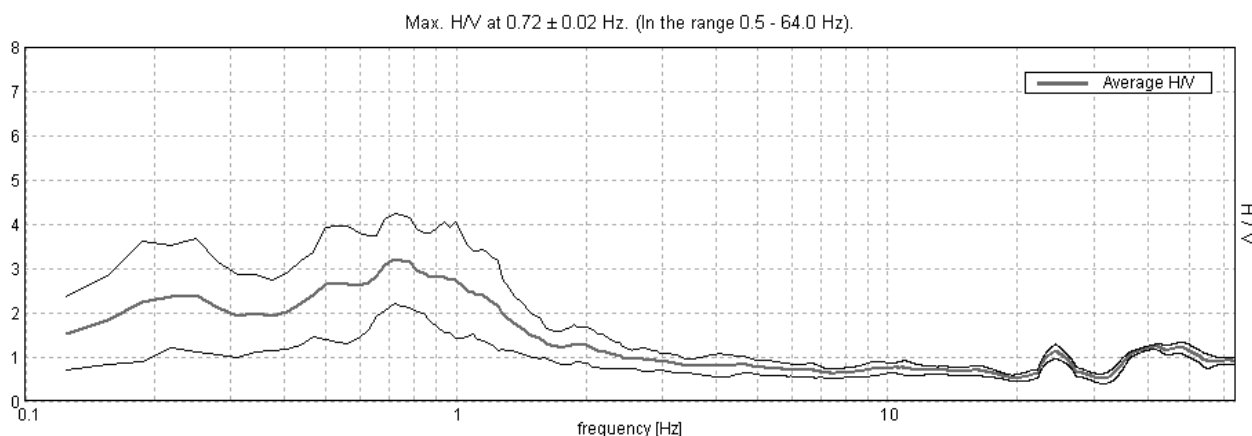


Grafico 1 – Rapporto spettrale orizzontale su verticale

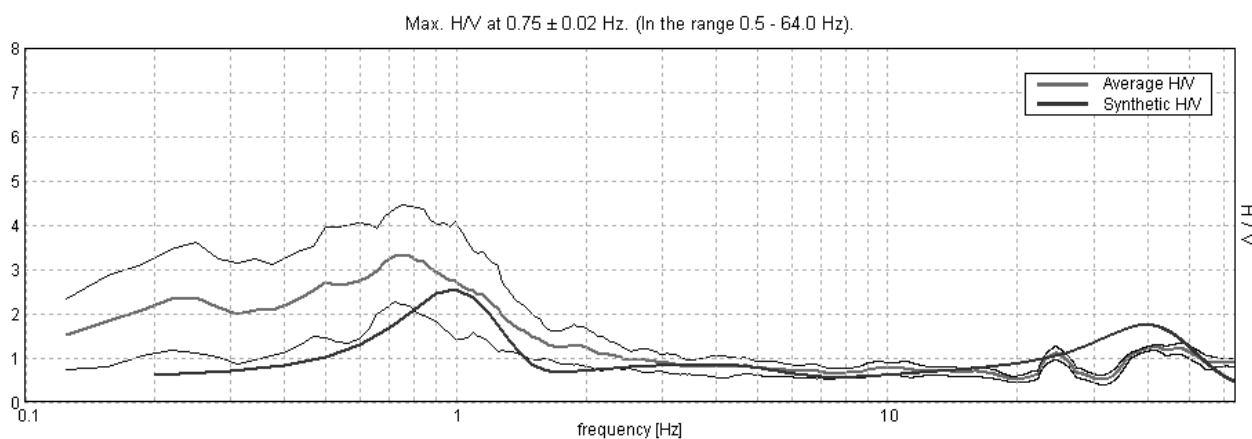


Grafico 2 – Rapporto di inversione H/V sperimentale (Rosso) e H/V sintetico (Blu)

Andamento onde S

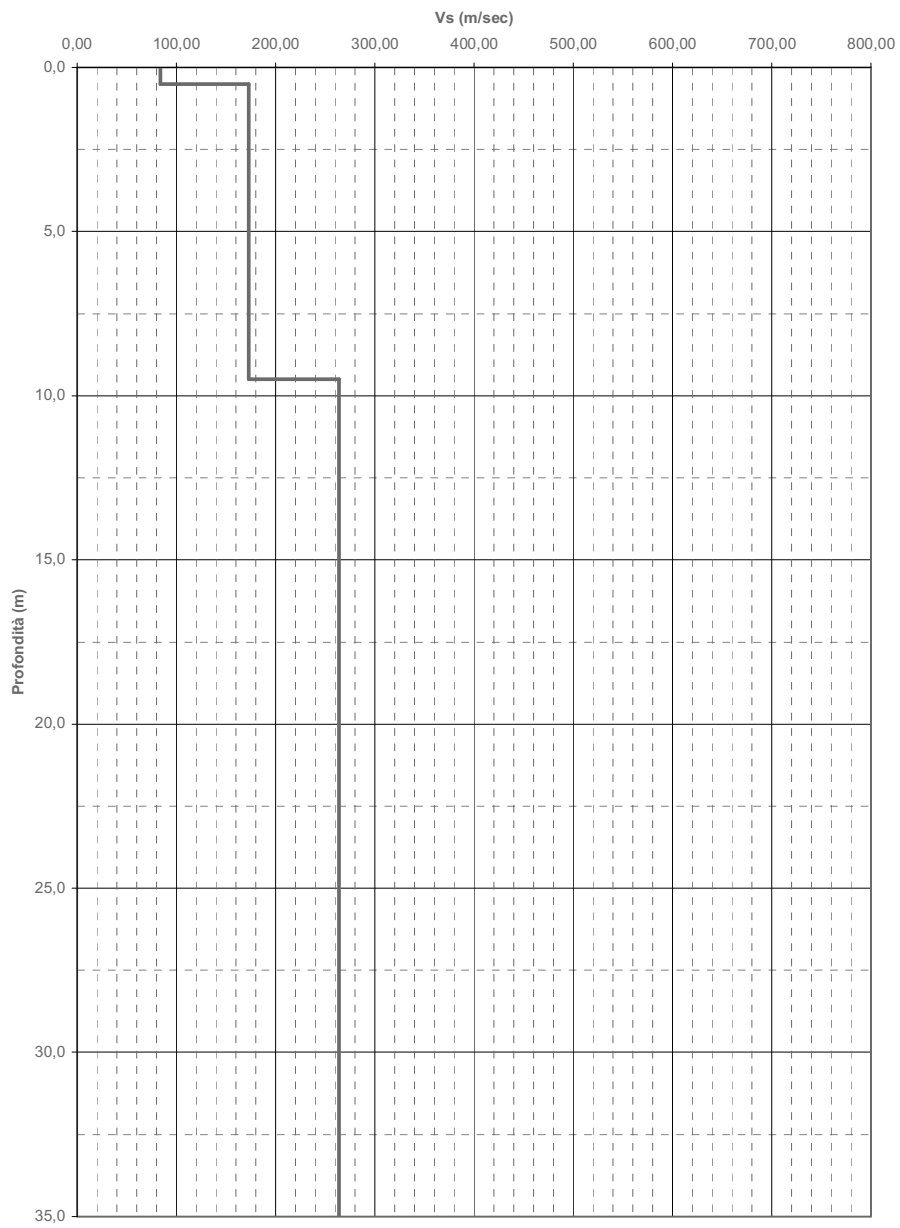


Grafico 3– Andamento della Vs in funzione della profondità

**Vs30 = 221 m/sec**

**Categoria di sottosuolo = C**

# **ALLEGATO 3**

*Tabulati calcolo suscettibilità alla liquefazione*

## Metodo di Robertson e Wride (1997)

Il 'metodo di Robertson e Wride' è basato sui risultati di prove CPT (*Cone Penetration Test*) ed utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo  $I_C$  che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_C = \left[ (3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (5.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (5.0c)$$

dove:

$q_c$  è la resistenza alla punta misurata

$Pa$  è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di  $\sigma'_{vo}$

$f_s$  è l'attrito del manicotto

$n$  è un'esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume  $n = 1$ , come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di  $I_C$  con la (5.0a).

Se  $I_C > 2,6$  il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma. Il terreno non si considera a rischio di liquefazione.

Se  $I_C \leq 2,6$ , vuol dire che l'ipotesi assunta è errata, il suolo è di natura granulare,  $Q$  verrà ricalcolato utilizzando la (5.0a) usando come esponente  $n = 0,5$ .

Se è ancora  $I_C \leq 2,6$ , significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece  $I_C > 2,6$ , vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso.  $Q$  deve essere nuovamente ricalcolato dalla (2.8b) ponendo  $n = 0,75$ .

Calcolato  $I_C$ , si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata  $q_c$  mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.1)$$

Dove l'esponente di sforzo  $n$  è lo stesso utilizzato nel calcolo di  $I_C$ .

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene determinata dalla seguente procedura:

### Robertson e Wride classico

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N} \quad (5.2a)$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad (5.2b)$$

### Robertson e Wride modificato

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (5.3a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N} \quad (5.3b)$$

dove  $K_c$  dipende dal contenuto di fine, FC (%):

$$K_c = 0 \quad \text{per } FC \leq 5$$

$$K_c = 0,0267(FC - 5) \quad \text{per } 5 < FC \leq 35$$

$$K_c = 0,8 \quad \text{per } FC > 35$$

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1,75 (I_c)^{3,25} - 3,7 \quad (5.4)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR<sub>7,5</sub>**) si calcola con le espressioni seguenti:

se  $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0,833 \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 \quad (5.5)$$

se  $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR = 93 \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \quad (5.6)$$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 (**CSR<sub>7,5</sub>**) si determina dalla seguente espressione:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}} r_d \quad (5.7)$$

Per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** (*Magnitude Scaling Factor*) come raccomandato dal **NCEER** (vedi Tabella 1)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF} \quad (5.8)$$

**Tabella 1-** Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M.	Ambraseys N.N	NCEER (Seed R. B. et alii)
-----------	-------------------------	---------------	----------------------------

	(1982)	(1988).	(1997; 2003)
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo  $r_d$  vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del **NCEER** (*National Center for Earthquake Engineering Research*):

per  $z < 9,15$  m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z \quad (5.9)$$

per  $9,15 \leq z < 23$  m

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z \quad (5.10)$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione **FS** viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (5.11)$$

mentre l'**indice e il rischio di liquefazione** vengono calcolati con il metodo di **Iwasaki et alii** (1978; 1984).

## DATI GENERALI

### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: PR6 Luzzara - CPT1

Cliente: "Il Mio Paese" srl

Data 17/06/2016

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1,25

### FALDA

Profondità falda idrica 0,2 m

### CARICHI SUL PIANO CAMPAGNA

Base 1 m

Lunghezza 10m

Carico in superficie 100 kPa

Metodo calcolo stato tensionale Bussinesq

Coefficiente di Poisson 0,25

### DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0,091

Fattore amplificazione 1,69

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1,69
Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
Magnitudo momento sismico (Mw)	6,14
Peak ground acceleration (PGA)	0,15379

## PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0,2	0,4	18,5	0	0	0	1100	61	0
2		0,4	0,6	18,5	0	0	0	1100	31	0
3		0,6	0,8	18,5	0	0	0	900	24	0
4		0,8	1	18,5	0	0	0	1800	13	0
5		1	1,2	18,5	0	0	0	3000	47	0
6		1,2	1,4	18,5	0	0	0	2500	37	0
7		1,4	1,6	18,5	0	0	0	1900	53	0
8		1,6	1,8	18,5	0	0	0	2000	40	0
9		1,8	2	18,5	0	0	0	1800	69	0
10		2	2,2	18,5	0	0	0	2200	61	0
11		2,2	2,4	18,5	0	0	0	2500	60	0
12		2,4	2,6	18,5	0	0	0	1400	30	0
13		2,6	2,8	18,5	0	0	0	1900	30	0
14		2,8	3	18,5	0	0	0	2300	43	0
15		3	3,2	18,5	0	0	0	1600	27	0
16		3,2	3,4	18,5	0	0	0	3200	23	0
17		3,4	3,6	18,5	0	0	0	1000	29	0
18		3,6	3,8	18,5	0	0	0	2000	37	0
19		3,8	4	18,5	0	0	0	1300	65	0
20		4	4,2	18,5	0	0	0	800	20	0
21		4,2	4,4	18,5	0	0	0	900	45	0
22		4,4	4,6	18,5	0	0	0	900	45	0
23		4,6	4,8	18,5	0	0	0	900	50	0
24		4,8	5	18,5	0	0	0	1700	40	0
25		5	5,2	18,5	0	0	0	5500	30	0
26		5,2	5,4	18,5	0	0	0	3700	46	0
27		5,4	5,6	18,5	0	0	0	900	20	0
28		5,6	5,8	18,5	0	0	0	2800	40	0
29		5,8	6	18,5	0	0	0	600	27	0
30		6	6,2	18,5	0	0	0	500	28	0
31		6,2	6,4	18,5	0	0	0	600	23	0
32		6,4	6,6	18,5	0	0	0	800	17	0
33		6,6	6,8	18,5	0	0	0	1100	17	0
34		6,8	7	18,5	0	0	0	500	31	0
35		7	7,2	18,5	0	0	0	800	67	0
36		7,2	7,4	18,5	0	0	0	1700	47	0
37		7,4	7,6	18,5	0	0	0	6300	90	0
38		7,6	7,8	18,5	0	0	0	6700	91	0
39		7,8	8	18,5	0	0	0	12700	138	0
40		8	8,2	18,5	0	0	0	12800	149	0
41		8,2	8,4	18,5	0	0	0	10900	121	0

42	8,4	8,6	18,5	0	0	0	11600	114	0
43	8,6	8,8	18,5	0	0	0	11700	136	0
44	8,8	9	18,5	0	0	0	9600	109	0
45	9	9,2	18,5	0	0	0	8300	94	0
46	9,2	9,4	18,5	0	0	0	5600	80	0
47	9,4	9,6	18,5	0	0	0	5500	86	0
48	9,6	9,8	18,5	0	0	0	7800	103	0
49	9,8	10	18,5	0	0	0	9600	126	0
50	10	10,2	18,5	0	0	0	8200	108	0
51	10,2	10,4	18,5	0	0	0	11000	122	0
52	10,4	10,6	18,5	0	0	0	12600	111	0
53	10,6	10,8	18,5	0	0	0	8200	103	0
54	10,8	11	18,5	0	0	0	7200	109	0

Correzione per la magnitudo (MSF) 1,67

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica (KPa)	Pressione verticale (KPa)	Resistenza alla punta lizzata (KPa)	Attrito laterale (KPa)	Indice di compattamento (Ic)	Correzione per la litostatica efficace (CQ)	Resistenza alla punta corretta (KPa)	Coefficiente di riduzione (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normale lizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza (Fs)	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
0,40	31,845	29,883										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
0,60	30,832	26,910										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
0,80	33,135	27,251										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
1,00	35,26	27,42										Terreno	0	Molto basso



	7	2		no non susce tibile di liquef azion e	basso
1,20	37,39 2	27,58 5		Terre no non susce tibile di liquef azion e	0 Molto basso
1,40	39,60 5	27,83 7		Terre no non susce tibile di liquef azion e	0 Molto basso
1,60	41,94 7	28,21 8		Terre no non susce tibile di liquef azion e	0 Molto basso
1,80	44,42 8	28,73 8		Terre no non susce tibile di liquef azion e	0 Molto basso
2,00	47,04 3	29,39 1		Terre no non susce tibile di liquef azion e	0 Molto basso
2,20	49,78 0	30,16 7		Terre no	0 Molto basso

2,40	52,62	31,05	non suscetibile di liquefazione e	0 Molto basso
	5	0	Terre non suscetibile di liquefazione e	
2,60	55,56	32,02	Terre non suscetibile di liquefazione e	0 Molto basso
	3	7	Terre non suscetibile di liquefazione e	
2,80	58,58	33,08	Terre non suscetibile di liquefazione e	0 Molto basso
	3	6	Terre non suscetibile di liquefazione e	
3,00	61,67	34,21	Terre non suscetibile di liquefazione e	0 Molto basso
	3	4	Terre non suscetibile di liquefazione e	
3,20	64,82	35,40	Terre non suscetibile di liquefazione e	0 Molto basso
	3	3	Terre non suscetibile di liquefazione e	
3,40	68,02	36,64	Terre non suscetibile di liquefazione e	0 Molto basso
	7	5	Terre non suscetibile di liquefazione e	

3,60 71,27 37,93  
6 3

suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e  
Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

3,80 74,56 39,26  
4 1

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

4,00 77,88 40,62  
8 3

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

4,20 81,24 42,01  
3 6

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

4,40 84,62 43,43  
4 7

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

4,60 88,03 44,88  
0 1

Terre  
no  
non  
suscet

0 Molto  
basso

4,80 91,45 46,34  
7 7

tibile  
di  
liquef  
azion  
e  
Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

5,00 94,90 47,83  
3 1

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

5,20 98,36 49,33  
6 3

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

5,40 101,8 50,85  
45 0

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

5,60 105,3 52,38  
37 1

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

5,80 108,8 53,92  
42 5

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile

0 Molto  
basso

6,00	112,3	55,48	di liquef azion e	0	Molto basso
	59	0	Terre no non susct tibile di liquef azion e		
6,20	115,8	57,04	Terre	0	Molto basso
	85	5	no non susct tibile di liquef azion e		
6,40	119,4	58,62	Terre	0	Molto basso
	22	0	no non susct tibile di liquef azion e		
6,60	122,9	60,20	Terre	0	Molto basso
	67	4	no non susct tibile di liquef azion e		
6,80	126,5	61,79	Terre	0	Molto basso
	20	6	no non susct tibile di liquef azion e		
7,00	130,0	63,39	Terre	0	Molto basso
	80	5	no non susct tibile di		

7,20	133,647	65,001											liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,40	137,221	66,613	23,461	3,007	2,700	1,036944	0,000	0,891	0,345	0,112	0,000		Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	
7,60	140,800	68,231	76,269	1,461	2,107	1,210623	108,033	0,942	0,197	0,116	1,694		Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
7,80	144,385	69,855	80,164	1,388	2,076	1,196472	109,709	0,940	0,203	0,116	1,741		Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
8,00	147,975	71,483	150,211	1,099	1,806	1,182763	164,528	0,939	0,494	0,116	4,244		Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
8,20	151,570	73,117	149,693	1,178	1,829	1,169477	166,308	0,937	0,508	0,116	4,362		Terreno non suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso

8,40	155,169	74,755	126,069	1,126	1,869	1,156594	143,951	0,936	0,357	0,116	3,071	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
8,60	158,773	76,397	132,715	0,996	1,816	1,144097	146,286	0,934	0,371	0,116	3,190	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
8,80	162,380	78,043	132,440	1,179	1,867	1,131967	151,016	0,933	0,400	0,116	3,443	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
9,00	165,991	79,692	107,538	1,155	1,927	1,120189	128,302	0,931	0,276	0,116	2,379	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
9,20	169,606	81,346	92,026	1,156	1,978	1,108748	114,587	0,928	0,220	0,116	1,896	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
9,40	173,223	83,002	61,467	1,474	2,181	1,097628	95,513	0,923	0,161	0,115	1,395	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso

9,60	176,844	84,662	59,775	1,616	2,215	1,086817	97,597	0,918	0,166	0,115	1,449	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
9,80	180,468	86,324	83,951	1,352	2,053	1,0763	112,191	0,912	0,211	0,114	1,849	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,00	184,095	87,990	102,342	1,338	1,986	1,066065	128,290	0,907	0,276	0,114	2,431	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,20	187,724	89,658	86,600	1,348	2,042	1,056102	114,454	0,902	0,219	0,113	1,940	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,40	191,356	91,328	115,104	1,129	1,899	1,046398	134,318	0,896	0,305	0,113	2,714	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,60	194,991	93,001	130,655	0,895	1,791	1,036944	141,703	0,891	0,345	0,112	3,079	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso



10,80	0,000	0,000	130,6 55	0,895	1,791	1,036 944	141,7 03	0,891	0,345	0,112	3,079	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
11,00	0,000	0,000	130,6 55	0,895	1,791	1,036 944	141,7 03	0,891	0,345	0,112	3,079	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

## Metodo di Robertson e Wride (1997)

Il 'metodo di Robertson e Wride' è basato sui risultati di prove CPT (*Cone Penetration Test*) ed utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo  $I_C$  che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_C = \left[ (3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (5.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (5.0c)$$

dove:

$q_c$  è la resistenza alla punta misurata

$Pa$  è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di  $\sigma'_{vo}$

$f_s$  è l'attrito del manicotto

$n$  è un'esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume  $n = 1$ , come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di  $I_C$  con la (5.0a).

Se  $I_C > 2,6$  il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma. Il terreno non si considera a rischio di liquefazione.

Se  $I_C \leq 2,6$ , vuol dire che l'ipotesi assunta è errata, il suolo è di natura granulare,  $Q$  verrà ricalcolato utilizzando la (5.0a) usando come esponente  $n = 0,5$ .

Se è ancora  $I_C \leq 2,6$ , significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece  $I_C > 2,6$ , vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso.  $Q$  deve essere nuovamente ricalcolato dalla (2.8b) ponendo  $n = 0,75$ .

Calcolato  $I_C$ , si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata  $q_c$  mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.1)$$

Dove l'esponente di sforzo  $n$  è lo stesso utilizzato nel calcolo di  $I_C$ .

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene determinata dalla seguente procedura:

### Robertson e Wride classico

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N} \quad (5.2a)$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad (5.2b)$$

### Robertson e Wride modificato

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (5.3a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N} \quad (5.3b)$$

dove  $K_c$  dipende dal contenuto di fine, FC (%):

$$K_c = 0 \quad \text{per } FC \leq 5$$

$$K_c = 0,0267(FC - 5) \quad \text{per } 5 < FC \leq 35$$

$$K_c = 0,8 \quad \text{per } FC > 35$$

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1,75 (I_c)^{3,25} - 3,7 \quad (5.4)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR<sub>7,5</sub>**) si calcola con le espressioni seguenti:

se  $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0,833 \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 \quad (5.5)$$

se  $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR = 93 \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \quad (5.6)$$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 (**CSR<sub>7,5</sub>**) si determina dalla seguente espressione:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}} r_d \quad (5.7)$$

Per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** (*Magnitude Scaling Factor*) come raccomandato dal **NCEER** (vedi Tabella 1)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF} \quad (5.8)$$

**Tabella 1-** Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M.	Ambraseys N.N	NCEER (Seed R. B. et alii)
-----------	-------------------------	---------------	----------------------------

	(1982)	(1988).	(1997; 2003)
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo  $r_d$  vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del **NCEER** (*National Center for Earthquake Engineering Research*):

per  $z < 9,15$  m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z \quad (5.9)$$

per  $9,15 \leq z < 23$  m

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z \quad (5.10)$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione **FS** viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (5.11)$$

mentre l'**indice e il rischio di liquefazione** vengono calcolati con il metodo di **Iwasaki et alii** (1978; 1984).

## DATI GENERALI

### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: PR6 Luzzara - CPT2

Data 17/06/2016

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1,25

### FALDA

Profondità falda idrica 0,2 m

### CARICHI SUL PIANO CAMPAGNA

Base 1 m

Lunghezza 10m

Carico in superficie 100 kPa

Metodo calcolo stato tensionale Westergaard

Coefficiente di Poisson 0,25

### DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0,091

Fattore amplificazione 1,69

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1,69
Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
Magnitudo momento sismico (Mw)	6,14
Peak ground acceleration (PGA)	0,15379

## PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0,2	0,4	18,5	0	0	0	800	20	0
2		0,4	0,6	18,5	0	0	0	800	20	0
3		0,6	0,8	18,5	0	0	0	700	29	0
4		0,8	1	18,5	0	0	0	900	35	0
5		1	1,2	18,5	0	0	0	1300	30	0
6		1,2	1,4	18,5	0	0	0	2700	64	0
7		1,4	1,6	18,5	0	0	0	2800	74	0
8		1,6	1,8	18,5	0	0	0	4600	105	0
9		1,8	2	18,5	0	0	0	2900	81	0
10		2	2,2	18,5	0	0	0	1400	58	0
11		2,2	2,4	18,5	0	0	0	2900	54	0
12		2,4	2,6	18,5	0	0	0	2900	56	0
13		2,6	2,8	18,5	0	0	0	3700	74	0
14		2,8	3	18,5	0	0	0	3300	92	0
15		3	3,2	18,5	0	0	0	1700	47	0
16		3,2	3,4	18,5	0	0	0	1200	13	0
17		3,4	3,6	18,5	0	0	0	600	10	0
18		3,6	3,8	18,5	0	0	0	300	7	0
19		3,8	4	18,5	0	0	0	500	10	0
20		4	4,2	18,5	0	0	0	500	10	0
21		4,2	4,4	18,5	0	0	0	500	13	0
22		4,4	4,6	18,5	0	0	0	600	20	0
23		4,6	4,8	18,5	0	0	0	600	10	0
24		4,8	5	18,5	0	0	0	500	36	0
25		5	5,2	18,5	0	0	0	700	44	0
26		5,2	5,4	18,5	0	0	0	2300	58	0
27		5,4	5,6	18,5	0	0	0	3600	82	0
28		5,6	5,8	18,5	0	0	0	6200	56	0
29		5,8	6	18,5	0	0	0	2800	74	0
30		6	6,2	18,5	0	0	0	900	30	0
31		6,2	6,4	18,5	0	0	0	1000	50	0
32		6,4	6,6	18,5	0	0	0	500	17	0
33		6,6	6,8	18,5	0	0	0	500	28	0
34		6,8	7	18,5	0	0	0	700	58	0
35		7	7,2	18,5	0	0	0	1800	36	0
36		7,2	7,4	18,5	0	0	0	1100	37	0
37		7,4	7,6	18,5	0	0	0	500	21	0
38		7,6	7,8	18,5	0	0	0	700	23	0
39		7,8	8	18,5	0	0	0	3800	63	0
40		8	8,2	18,5	0	0	0	4200	64	0
41		8,2	8,4	18,5	0	0	0	3900	53	0
42		8,4	8,6	18,5	0	0	0	2900	50	0

43	8,6	8,8	18,5	0	0	0	2600	46	0
44	8,8	9	18,5	0	0	0	2700	79	0
45	9	9,2	18,5	0	0	0	5300	80	0
46	9,2	9,4	18,5	0	0	0	8100	113	0
47	9,4	9,6	18,5	0	0	0	7500	110	0
48	9,6	9,8	18,5	0	0	0	11200	165	0
49	9,8	10	18,5	0	0	0	17300	147	0
50	10	10,2	18,5	0	0	0	16800	210	0
51	10,2	10,4	18,5	0	0	0	15100	189	0
52	10,4	10,6	18,5	0	0	0	13700	156	0
53	10,6	10,8	18,5	0	0	0	14600	178	0
54	10,8	11	18,5	0	0	0	12300	171	0
55	11	11,2	18,5	0	0	0	13300	202	0
56	11,2	11,4	18,5	0	0	0	19300	224	0
57	11,4	11,6	18,5	0	0	0	13100	139	0
58	11,6	11,8	18,5	0	0	0	11500	113	0
59	11,8	12	18,5	0	0	0	9900	130	0
60	12	12,2	18,5	0	0	0	7300	94	0
61	12,2	12,4	18,5	0	0	0	8000	118	0
62	12,4	12,6	18,5	0	0	0	11400	124	0
63	12,6	12,8	18,5	0	0	0	10600	123	0
64	12,8	13	18,5	0	0	0	7900	123	0
65	13	13,2	18,5	0	0	0	13800	153	0
66	13,2	13,4	18,5	0	0	0	14600	155	0
67	13,4	13,6	18,5	0	0	0	15400	164	0
68	13,6	13,8	18,5	0	0	0	13000	191	0
69	13,8	14	18,5	0	0	0	13100	187	0
70	14	14,2	18,5	0	0	0	12700	181	0
71	14,2	14,4	18,5	0	0	0	12900	179	0
72	14,4	14,6	18,5	0	0	0	11800	203	0
73	14,6	14,8	18,5	0	0	0	13400	209	0
74	14,8	15	0	0	0	0	13800	216	0

Correzione per la magnitudo (MSF) 1,67

Profondità (m)	Pressi litostatica (KPa)	Pressi verticali (KPa)	Resistenza alla punta lizzata (KPa)	Attrito laterale (KPa)	Indice di compattamento (Ic)	Correzione per la litostatica efficace (CQ)	Resistenza alla punta corretta (KPa)	Coefficiente ridotto (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normale lizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza (Fs)	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischi
0,40	7,400	5,439										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso

0,60	7,400	3,477	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0 Molto basso
0,80	11,10 0	5,216	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0 Molto basso
1,00	14,80 0	6,955	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0 Molto basso
1,20	18,50 0	8,693	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0 Molto basso
1,40	22,20 0	10,43 2	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0 Molto basso
1,60	25,90 0	12,17 1	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0 Molto basso
1,80	29,60	13,90	Terre	0 Molto

	0	9		no non susce- tibile di liquef- azion e	basso
2,00	33,30	15,64		Terre no non susce- tibile di liquef- azion e	0 Molto basso
	0	8			
2,20	37,00	17,38		Terre no non susce- tibile di liquef- azion e	0 Molto basso
	0	7			
2,40	40,70	19,12		Terre no non susce- tibile di liquef- azion e	0 Molto basso
	0	5			
2,60	44,40	20,86		Terre no non susce- tibile di liquef- azion e	0 Molto basso
	0	4			
2,80	48,10	22,60		Terre no non susce- tibile di liquef- azion e	0 Molto basso
	0	3			
3,00	51,80	24,34		Terre no	0 Molto basso
	0	1			



3,20	55,50	26,08	0	0	non suscetibile di liquefazione e Terre non non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
3,40	59,20	27,81	0	9	Terre non non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
3,60	62,90	29,55	0	7	Terre non non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
3,80	66,60	31,29	0	6	Terre non non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
4,00	70,30	33,03	0	5	Terre non non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
4,20	74,00	34,77	0	3	Terre non non	0	Molto basso

4,40 77,70 36,51  
0 2

suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e  
Terre  
no  
non

0 Molto  
basso

4,60 81,40 38,25  
0 1

suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e  
Terre  
no  
non

0 Molto  
basso

4,80 85,10 39,98  
0 9

suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e  
Terre  
no  
non

0 Molto  
basso

5,00 88,80 41,72  
0 8

suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e  
Terre  
no  
non

0 Molto  
basso

5,20 92,50 43,46  
0 7

suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e  
Terre  
no  
non

0 Molto  
basso

5,40 96,20 45,20  
0 5

suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e  
Terre  
no  
non

0 Molto  
basso

suscet

5,60 99,90 46,94  
0 4

tibile  
di  
liquef  
azion  
e  
Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

5,80 103,6 48,68  
00 3

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

6,00 107,3 50,42  
00 1

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

6,20 111,0 52,16  
00 0

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

6,40 114,7 53,89  
00 9

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

6,60 118,4 55,63  
00 7

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile

0 Molto  
basso

6,80	122,100	57,376	di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,00	125,800	59,115	di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,20	129,500	60,853	di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,40	133,200	62,592	di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,60	136,900	64,331	di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
7,80	140,600	66,070	di liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso

8,00	144,300	67,808	liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8,20	148,000	69,547	liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8,40	151,700	71,286	liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8,60	155,400	73,024	liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
8,80	159,100	74,763	liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
9,00	162,800	76,502	liquefazione Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso

9,20	166,500	78,240										Terre non suscet tibile di liquef azion e	0	Molto basso
9,40	170,200	79,979										Terre non suscet tibile di liquef azion e	0	Molto basso
9,60	173,900	81,718	82,967	1,501	2,087	1,106222	114,964	0,918	0,221	0,117	1,891	Terre non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
9,80	177,600	83,456	122,600	1,497	1,963	1,094638	150,684	0,912	0,398	0,116	3,423	Terre non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,00	181,300	85,195	187,430	0,859	1,663	1,083411	189,629	0,907	0,714	0,116	6,175	Terre non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,20	185,000	86,934	180,184	1,264	1,795	1,072522	195,939	0,902	0,780	0,115	6,781	Terre non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso

10,40	188,700	88,672	160,355	1,267	1,830	1,061955	178,366	0,896	0,608	0,114	5,318	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,60	192,400	90,411	144,082	1,155	1,834	1,051695	160,683	0,891	0,466	0,114	4,100	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,80	196,100	92,150	152,092	1,236	1,838	1,041726	170,084	0,886	0,538	0,113	4,761	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
11,00	199,800	93,888	126,940	1,413	1,935	1,032035	152,394	0,880	0,409	0,112	3,645	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
11,20	203,500	95,627	136,007	1,542	1,941	1,02261	164,120	0,875	0,491	0,112	4,402	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
11,40	207,200	97,366	195,594	1,173	1,747	1,013438	206,776	0,870	0,902	0,111	8,137	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso

11,60	210,9 00	99,10 4	131,5 91	1,078	1,842	1,004 509	147,5 39	0,864	0,379	0,110	3,436	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
11,80	214,6 00	100,8 43	114,5 18	1,001	1,866	0,995 812	130,4 88	0,859	0,287	0,110	2,617	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
12,00	218,3 00	102,5 82	97,74 6	1,343	2,002	0,987 3368	124,2 86	0,854	0,259	0,109	2,375	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
12,20	222,0 00	104,3 20	71,47 2	1,328	2,101	0,979 0745	100,6 12	0,848	0,175	0,108	1,615	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
12,40	225,7 00	106,0 59	77,68 1	1,518	2,112	0,971 0161	110,6 61	0,843	0,206	0,107	1,917	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
12,60	229,4 00	107,7 98	109,8 00	1,110	1,909	0,963 1535	129,1 46	0,838	0,280	0,107	2,625	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
12,80	233,1	109,5	101,2	1,186	1,954	0,955	123,5	0,832	0,255	0,106	2,406	Terre	0,00	Molto



	00	36	81			4788	36						no non susct tibile di liquef azion e	0,00	basso
13,00	236,8 00	111,2 75	74,89 1	1,605	2,140	0,947 9848	110,3 32	0,827	0,205	0,105	1,943	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso	
13,20	240,5 00	113,0 14	129,8 12	1,128	1,860	0,940 6644	147,3 22	0,822	0,377	0,105	3,602	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso	
13,40	244,2 00	114,7 52	136,2 93	1,080	1,832	0,933 5109	151,7 15	0,816	0,405	0,104	3,889	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso	
13,60	247,9 00	116,4 91	142,6 84	1,082	1,818	0,926 5182	157,4 16	0,811	0,443	0,103	4,282	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso	
13,80	251,6 00	118,2 30	119,5 58	1,498	1,971	0,919 6803	147,9 53	0,806	0,381	0,103	3,711	Terre no non susct tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso	
14,00	255,3 00	119,9 68	119,6 02	1,456	1,963	0,912 9917	146,8 80	0,800	0,375	0,102	3,672	Terre no	0,00	Molto basso	

												non suscet tibile di liquef azion e		
14,20	259,0 00	121,7 07	115,1 19	1,455	1,974	0,906 4468	142,7 91	0,795	0,351	0,101	3,461	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
14,40	262,7 00	123,4 46	116,1 05	1,416	1,963	0,900 0409	142,6 85	0,790	0,350	0,101	3,478	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
14,60	266,4 00	125,1 84	105,4 65	1,760	2,059	0,893 7688	141,8 73	0,784	0,346	0,100	3,456	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
14,80	0,000	0,000	105,4 65	1,760	2,059	0,893 7688	141,8 73	0,784	0,346	0,100	3,456	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
15,00	0,000	0,000	105,4 65	1,760	2,059	0,893 7688	141,8 73	0,784	0,346	0,100	3,456	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

## Metodo di Robertson e Wride (1997)

Il 'metodo di Robertson e Wride' è basato sui risultati di prove CPT (*Cone Penetration Test*) ed utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo  $I_C$  che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_C = \left[ (3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (5.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (5.0c)$$

dove:

$q_c$  è la resistenza alla punta misurata

$Pa$  è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di  $\sigma'_{vo}$

$f_s$  è l'attrito del manicotto

$n$  è un'esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume  $n = 1$ , come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di  $I_C$  con la (5.0a).

Se  $I_C > 2,6$  il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma. Il terreno non si considera a rischio di liquefazione.

Se  $I_C \leq 2,6$ , vuol dire che l'ipotesi assunta è errata, il suolo è di natura granulare,  $Q$  verrà ricalcolato utilizzando la (5.0a) usando come esponente  $n = 0,5$ .

Se è ancora  $I_C \leq 2,6$ , significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece  $I_C > 2,6$ , vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso.  $Q$  deve essere nuovamente ricalcolato dalla (2.8b) ponendo  $n = 0,75$ .

Calcolato  $I_C$ , si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata  $q_c$  mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.1)$$

Dove l'esponente di sforzo  $n$  è lo stesso utilizzato nel calcolo di  $I_C$ .

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene determinata dalla seguente procedura:

### Robertson e Wride classico

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N} \quad (5.2a)$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad (5.2b)$$

**Robertson e Wride modificato**

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (5.3a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N} \quad (5.3b)$$

dove  $K_c$  dipende dal contenuto di fine, FC (%):

$$K_c = 0 \quad \text{per } FC \leq 5$$

$$K_c = 0,0267(FC - 5) \quad \text{per } 5 < FC \leq 35$$

$$K_c = 0,8 \quad \text{per } FC > 35$$

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1,75 (I_c)^{3,25} - 3,7 \quad (5.4)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR<sub>7,5</sub>**) si calcola con le espressioni seguenti:

se  $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0,833 \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 \quad (5.5)$$

se  $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR = 93 \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \quad (5.6)$$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 (**CSR<sub>7,5</sub>**) si determina dalla seguente espressione:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}} r_d \quad (5.7)$$

Per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** (*Magnitude Scaling Factor*) come raccomandato dal **NCEER** (vedi Tabella 1)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF} \quad (5.8)$$

**Tabella 1-** Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M.	Ambraseys N.N	NCEER (Seed R. B. et alii)
-----------	-------------------------	---------------	----------------------------

	(1982)	(1988).	(1997; 2003)
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo  $r_d$  vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del **NCEER** (*National Center for Earthquake Engineering Research*):

per  $z < 9,15$  m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z \quad (5.9)$$

per  $9,15 \leq z < 23$  m

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z \quad (5.10)$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione **FS** viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (5.11)$$

mentre l'**indice e il rischio di liquefazione** vengono calcolati con il metodo di **Iwasaki et alii** (1978; 1984).

## DATI GENERALI

### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: PR6 Luzzara - CPT3

Cliente: "Il Mio Paese" srl

Data 17/06/2016

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1,25

### FALDA

Profondità falda idrica 0,2 m

### CARICHI SUL PIANO CAMPAGNA

Base 1 m

Lunghezza 10m

Carico in superficie 100 kPa

Metodo calcolo stato tensionale Bussinesq

Coefficiente di Poisson 0,25

### DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0,091

Fattore amplificazione 1,69

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1,69
Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
Magnitudo momento sismico (Mw)	6,14
Peak ground acceleration (PGA)	0,15379

## PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unià volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0
2		0,4	0,6	0	0	0	0	0	0	0
3		0,6	0,8	0	0	0	0	0	0	0
4		0,8	1	0	0	0	0	0	0	0
5		1	1,2	18,5	0	0	0	1100	42	0
6		1,2	1,4	18,5	0	0	0	1300	46	0
7		1,4	1,6	18,5	0	0	0	1400	58	0
8		1,6	1,8	18,5	0	0	0	1600	57	0
9		1,8	2	18,5	0	0	0	1500	27	0
10		2	2,2	18,5	0	0	0	400	17	0
11		2,2	2,4	18,5	0	0	0	1500	23	0
12		2,4	2,6	18,5	0	0	0	1400	30	0
13		2,6	2,8	18,5	0	0	0	2700	40	0
14		2,8	3	18,5	0	0	0	1400	50	0
15		3	3,2	18,5	0	0	0	1200	46	0
16		3,2	3,4	18,5	0	0	0	1400	44	0
17		3,4	3,6	18,5	0	0	0	1300	36	0
18		3,6	3,8	18,5	0	0	0	3200	40	0
19		3,8	4	18,5	0	0	0	2800	70	0
20		4	4,2	18,5	0	0	0	2000	71	0
21		4,2	4,4	18,5	0	0	0	1700	47	0
22		4,4	4,6	18,5	0	0	0	1300	36	0
23		4,6	4,8	18,5	0	0	0	1600	36	0
24		4,8	5	18,5	0	0	0	3500	50	0
25		5	5,2	18,5	0	0	0	2200	61	0
26		5,2	5,4	18,5	0	0	0	1200	43	0
27		5,4	5,6	18,5	0	0	0	4400	88	0
28		5,6	5,8	18,5	0	0	0	1600	53	0
29		5,8	6	18,5	0	0	0	800	44	0
30		6	6,2	18,5	0	0	0	1500	23	0
31		6,2	6,4	18,5	0	0	0	1700	50	0
32		6,4	6,6	18,5	0	0	0	900	38	0
33		6,6	6,8	18,5	0	0	0	700	29	0
34		6,8	7	18,5	0	0	0	800	24	0
35		7	7,2	18,5	0	0	0	1200	46	0
36		7,2	7,4	18,5	0	0	0	2700	61	0
37		7,4	7,6	18,5	0	0	0	1800	60	0
38		7,6	7,8	18,5	0	0	0	700	21	0
39		7,8	8	18,5	0	0	0	2100	105	0
40		8	8,2	18,5	0	0	0	11100	139	0
41		8,2	8,4	18,5	0	0	0	12500	149	0

42	8,4	8,6	18,5	0	0	0	12900	165	0
43	8,6	8,8	18,5	0	0	0	11900	175	0
44	8,8	9	18,5	0	0	0	12200	169	0
45	9	9,2	18,5	0	0	0	10700	184	0
46	9,2	9,4	18,5	0	0	0	10800	200	0
47	9,4	9,6	18,5	0	0	0	10700	157	0
48	9,6	9,8	18,5	0	0	0	10100	129	0
49	9,8	10	18,5	0	0	0	9700	167	0
50	10	10,2	18,5	0	0	0	9600	114	0
51	10,2	10,4	18,5	0	0	0	11800	126	0
52	10,4	10,6	18,5	0	0	0	8800	129	0
53	10,6	10,8	18,5	0	0	0	7900	132	0
54	10,8	11	18,5	0	0	0	8000	121	0

Correzione per la magnitudo (MSF) 1,67

Profondità (m)	Pressione litostatica (KPa)	Pressione verticale (KPa)	Resistenza alla punta (KPa)	Attrito laterale (KPa)	Indice di compattamento (Ic)	Correzione per la litostatica (CQ)	Resistenza alla punta corretta (KPa)	Coefficiente di riduzione (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normale (CSR)	Coefficiente di sicurezza (Fs)	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
0,40	24,445	22,483										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
0,60	23,432	19,510										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
0,80	22,035	16,151										Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
1,00	24,16	16,32										Terreno	0	Molto basso

	7	2		no non susce tibile di liquef azion e	basso
1,20	26,29	16,48		Terre no non susce tibile di liquef azion e	0 Molto basso
	2	5			
1,40	28,50	16,73		Terre no non susce tibile di liquef azion e	0 Molto basso
	5	7			
1,60	30,84	17,11		Terre no non susce tibile di liquef azion e	0 Molto basso
	7	8			
1,80	33,32	17,63		Terre no non susce tibile di liquef azion e	0 Molto basso
	8	8			
2,00	35,94	18,29		Terre no non susce tibile di liquef azion e	0 Molto basso
	3	1			
2,20	38,68	19,06		Terre no	0 Molto basso
	0	7			



2,40	41,52	19,95	non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
	5	0	Terre non suscetibile di liquefazione e		
2,60	44,46	20,92	Terre non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
	3	7	Terre non suscetibile di liquefazione e		
2,80	47,48	21,98	Terre non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
	3	6	Terre non suscetibile di liquefazione e		
3,00	50,57	23,11	Terre non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
	3	4	Terre non suscetibile di liquefazione e		
3,20	53,72	24,30	Terre non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
	3	3	Terre non suscetibile di liquefazione e		
3,40	56,92	25,54	Terre non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
	7	5	Terre non suscetibile di liquefazione e		

3,60 60,17 26,83  
6 3

suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e  
Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

3,80 63,46 28,16  
4 1

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

4,00 66,78 29,52  
8 3

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

4,20 70,14 30,91  
3 6

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

4,40 73,52 32,33  
4 7

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

4,60 76,93 33,78  
0 1

Terre  
no  
non  
suscet

0 Molto  
basso

4,80 80,35 35,24  
7 7

tibile  
di  
liquef  
azion  
e  
Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

5,00 83,80 36,73  
3 1

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

5,20 87,26 38,23  
6 3

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

5,40 90,74 39,75  
5 0

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

5,60 94,23 41,28  
7 1

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile  
di  
liquef  
azion  
e

0 Molto  
basso

5,80 97,74 42,82  
2 5

Terre  
no  
non  
suscet  
tibile

0 Molto  
basso

6,00	101,259	44,380	di liquef azion e Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0	Molto basso
6,20	104,785	45,945	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0	Molto basso
6,40	108,322	47,520	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0	Molto basso
6,60	111,867	49,104	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0	Molto basso
6,80	115,420	50,696	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0	Molto basso
7,00	118,980	52,295	Terre no non suscet tibile di	0	Molto basso



8,40	144,069	63,655	156,673	1,206	1,822	1,253387	173,302	0,936	0,564	0,127	4,445	Terre no non susce tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
8,60	147,673	65,297	159,641	1,294	1,838	1,237526	178,494	0,934	0,609	0,127	4,810	Terre no non susce tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
8,80	151,280	66,943	145,444	1,490	1,910	1,222217	171,254	0,933	0,547	0,126	4,332	Terre no non susce tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
9,00	154,891	68,592	147,307	1,403	1,888	1,20743	170,521	0,931	0,541	0,126	4,295	Terre no non susce tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
9,20	158,506	70,246	127,666	1,745	1,999	1,193137	161,968	0,928	0,475	0,126	3,786	Terre no non susce tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
9,40	162,123	71,902	127,366	1,880	2,024	1,179313	165,332	0,923	0,500	0,125	4,012	Terre no non susce tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso

9,60	165,7 44	73,56 2	124,7 55	1,490	1,957	1,165 934	152,4 69	0,918	0,410	0,124	3,306	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
9,80	169,3 68	75,22 4	116,4 51	1,299	1,936	1,152 977	139,9 42	0,912	0,335	0,123	2,721	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,00	172,9 95	76,89 0	110,6 21	1,753	2,044	1,140 422	146,4 31	0,907	0,372	0,122	3,042	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,20	176,6 24	78,55 8	108,3 12	1,210	1,938	1,128 25	130,3 74	0,902	0,286	0,121	2,355	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,40	180,2 56	80,22 8	131,7 40	1,084	1,844	1,116 441	147,8 32	0,896	0,380	0,121	3,153	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,60	183,8 91	81,90 1	97,23 8	1,497	2,036	1,104 98	127,6 86	0,891	0,274	0,120	2,283	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso

10,80	0,000	0,000	97,23 8	1,497	2,036	1,104 98	127,6 86	0,891	0,274	0,120	2,283	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
11,00	0,000	0,000	97,23 8	1,497	2,036	1,104 98	127,6 86	0,891	0,274	0,120	2,283	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso