

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

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.

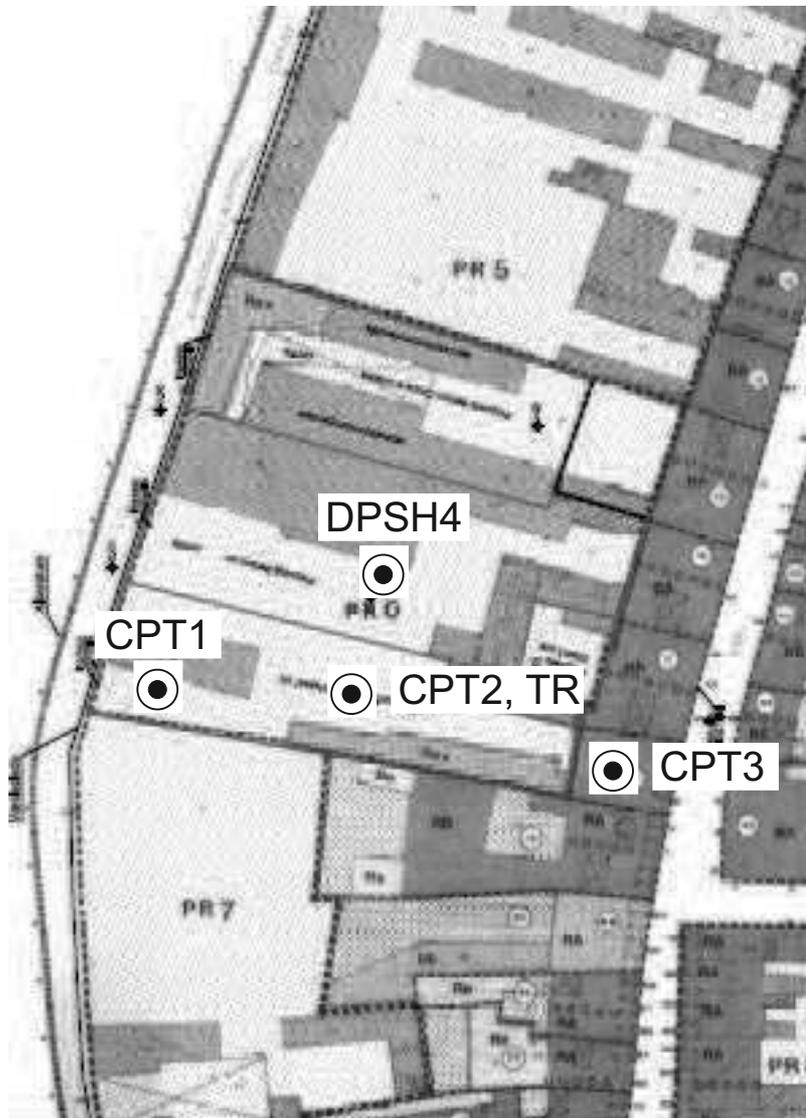


Fig. 1 - Planimetria generale di progetto con ubicazione indagini geognostiche eseguite (prove penetrometriche CPT / DPSH, indagine tromografica TR)

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, Fabbriano 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**.

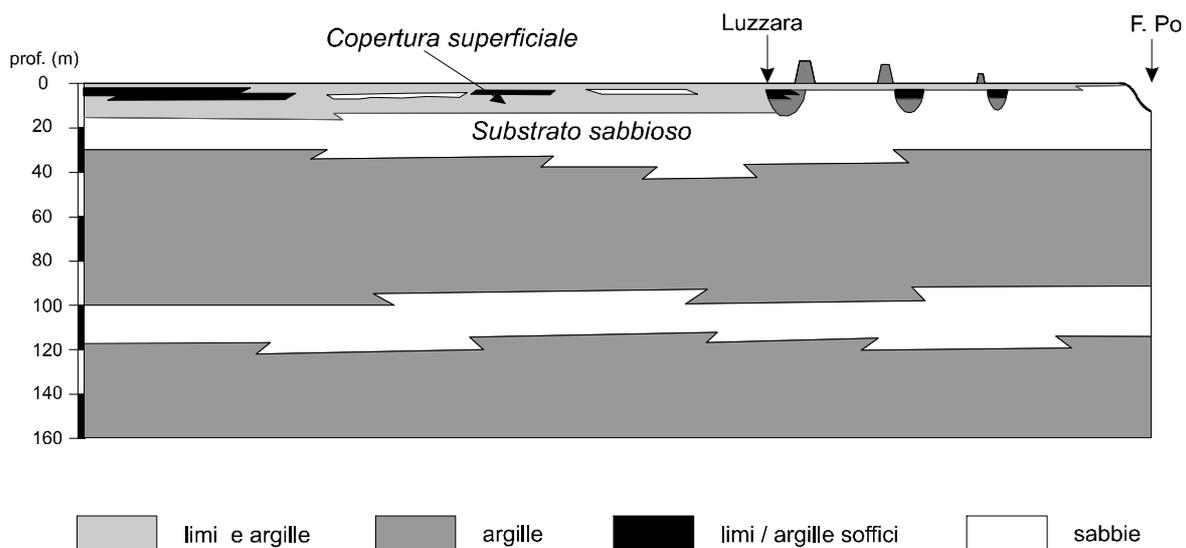


Fig. 2 - Sezione litostратigrafica schematica del territorio comunale di Luzzara

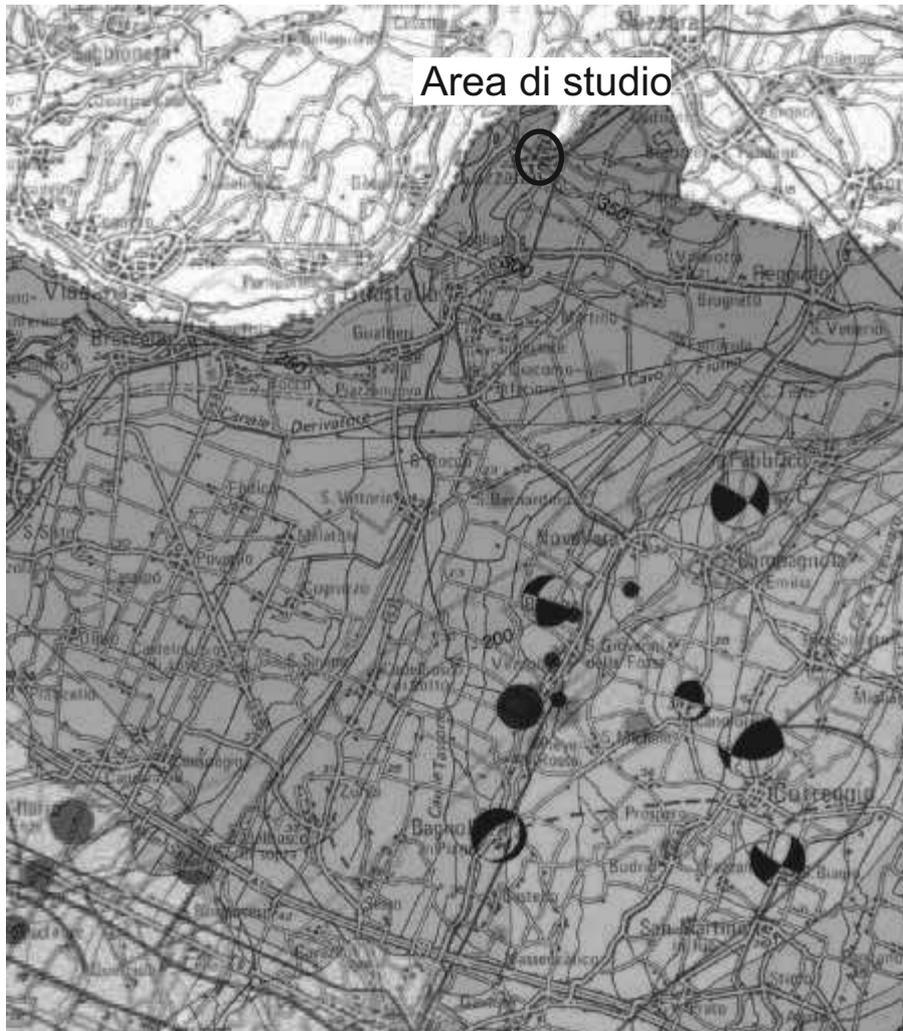
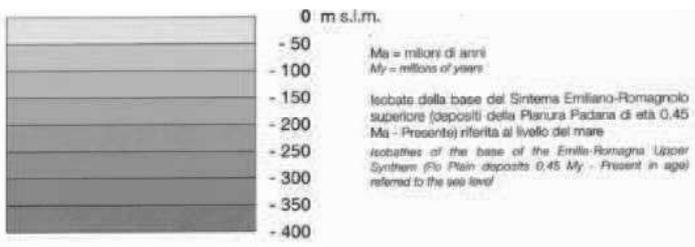


Fig. 3 - Stralcio Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna

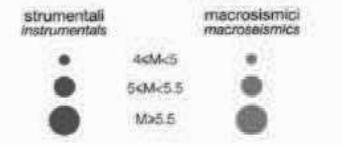
LEGENDA CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA (scala 1:250.000)



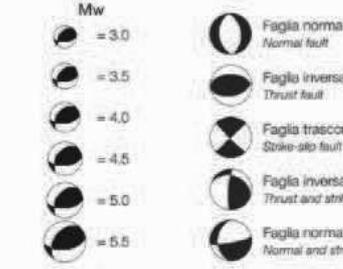
- 1** Depositi di conoidi e alluvionali intramontani (Pleistocene medio-Olocene, 0,8 Ma - Presente)
Alluvial fan and intramontain alluvial deposits (Middle Pleistocene-Holocene, 0,8 My - Present)
- 2** Depositi alluvionali (terrazzi) della Pianura Padana (Pleistocene medio e superiore, 0,8 - 0,01 Ma)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

Limite Pliocene-Pleistocene
Pliocene-Pleistocene boundary

Epicioni dei terremoti *Earthquake epicenters*



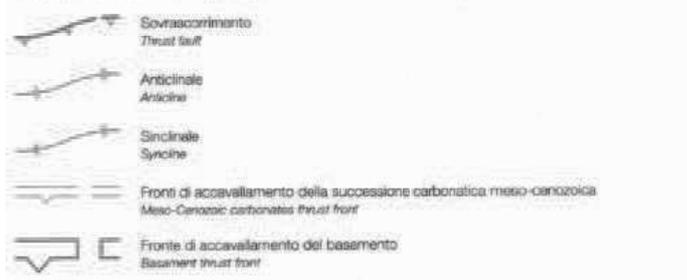
Meccanismi focali *Earthquake focal solutions*



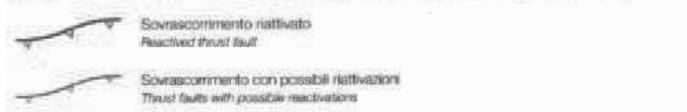
"box" sismogenetica da dati macro-sismici (Gasperini et al., 1999)
Sismogenetic box from macroseismic data (Gasperini et al., 1999)
Il lato lungo della "box" indica la direzione dell'Azimut. Le dimensioni della "box", in funzione della magnitudo, determinano la lunghezza e la larghezza della possibile 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 sovrascorimenti 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)

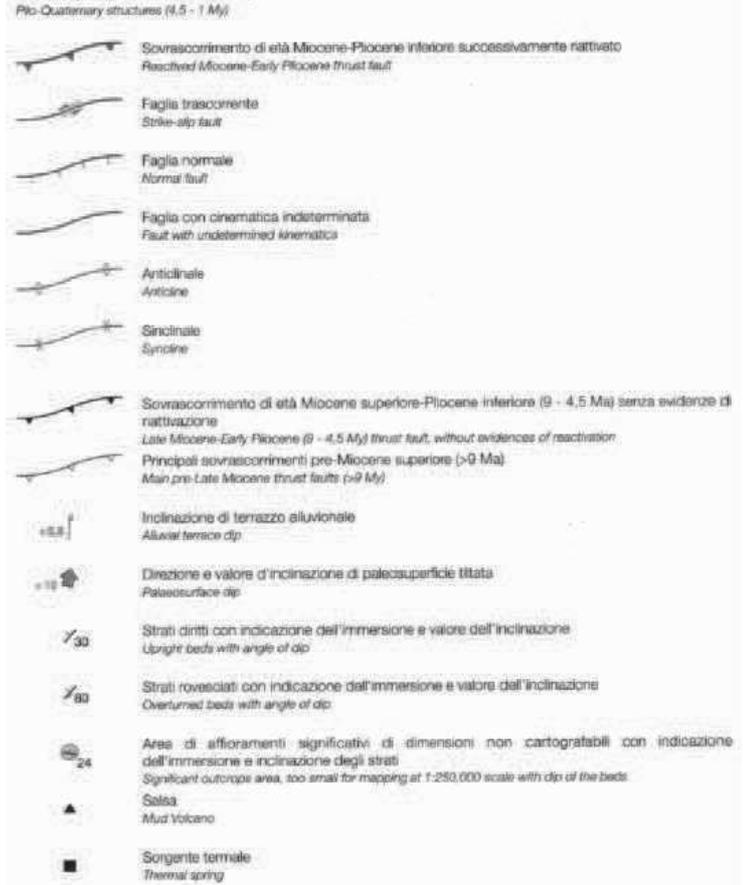


Strutture affioranti *Outcropping structures*

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)



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 (γ) 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 (ϕ') 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 ³)	Φ' (°)	C_u (kPa)	C' (kPa)	M, E'_{25} (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.	γ	V_s	Parametri G/G0		Parametri D	
		m	m	kN/m^3	m/s	α	β	η	λ
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).

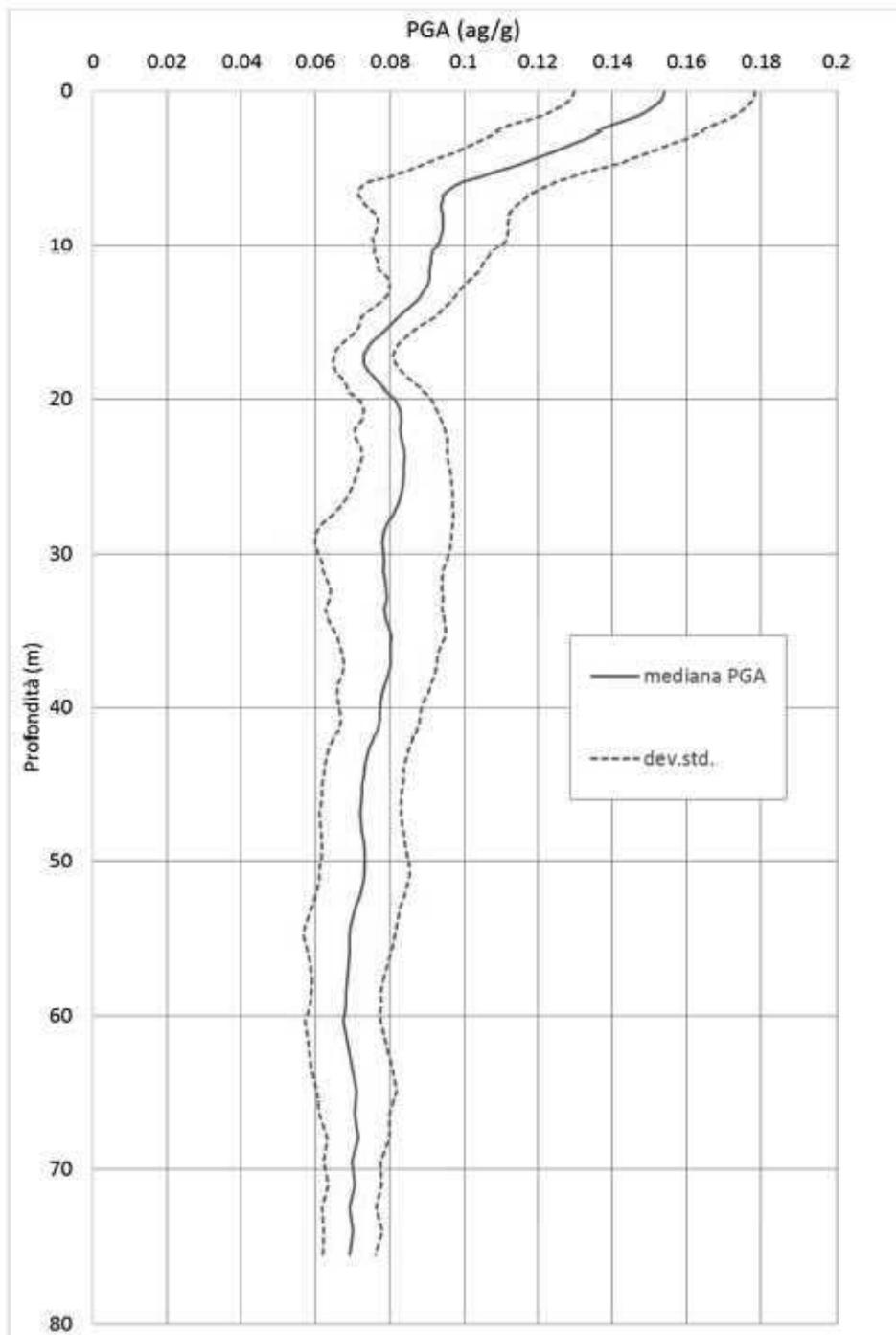


Fig. 4: variazione dell'accelerazione PGA con la profondità

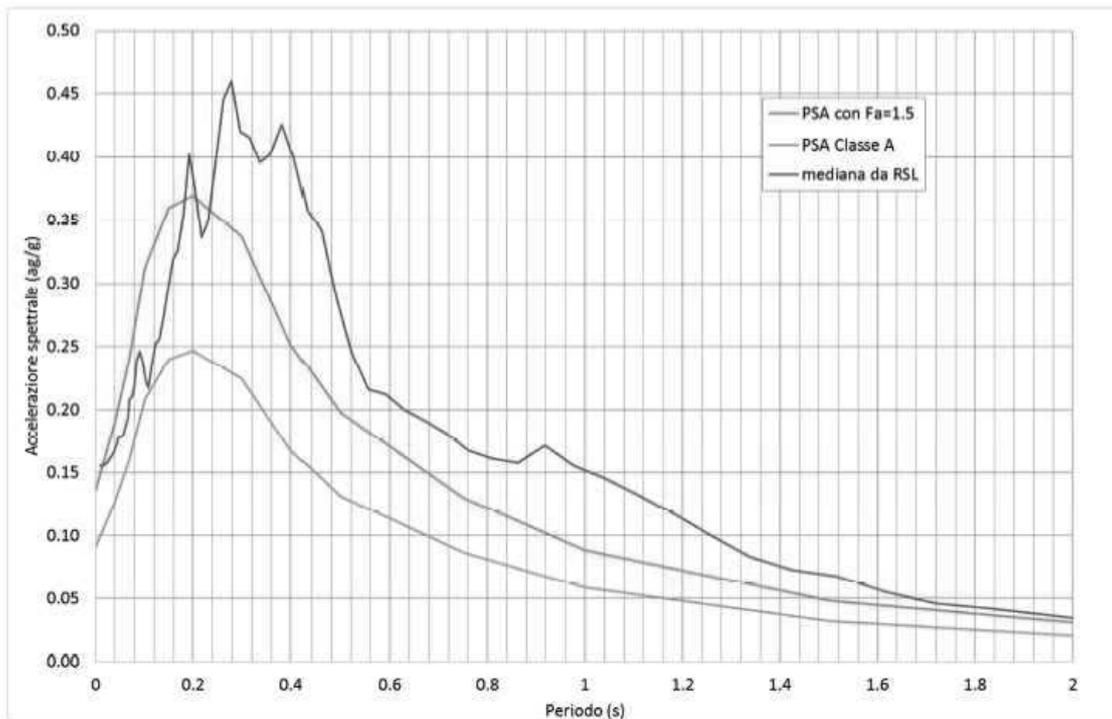


Fig. 5: spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione PSA

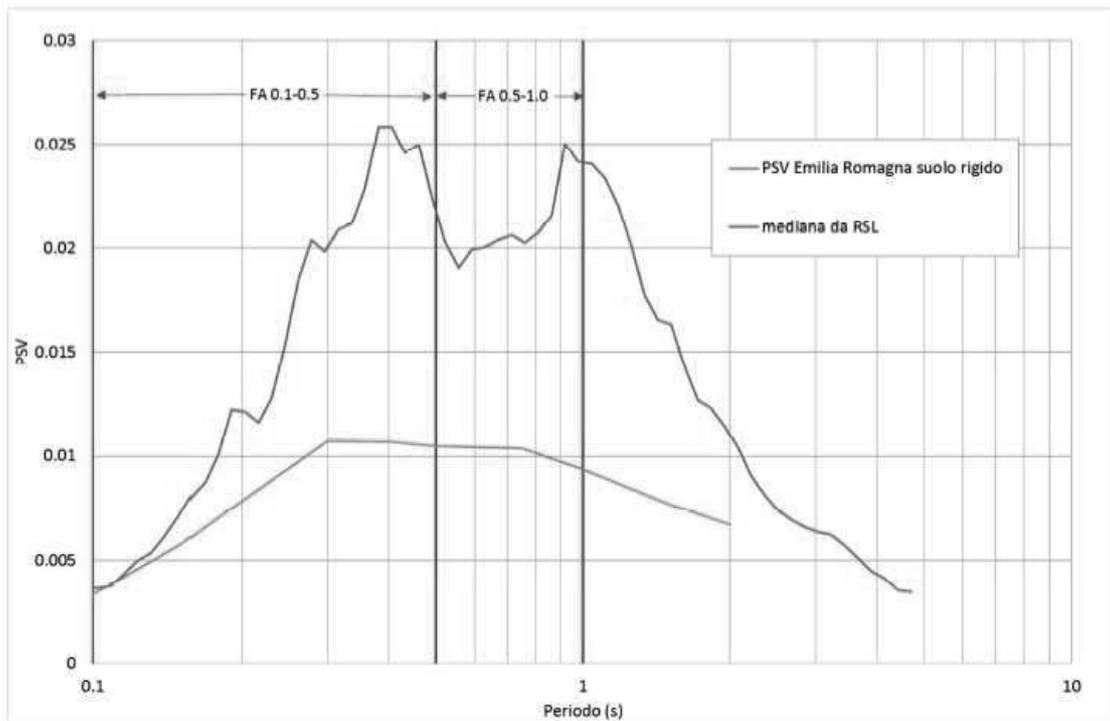


Fig. 6: spettro di risposta elastico in pseudoveleceità PSV

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:

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

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

$(q_{c(in)cs}$ 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 el.ali (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>	Indice del potenziale di liquefazione, LPI	Pericolosità di liquefazione
$I_L = 0$	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:

$$LPI (CPT 1) = 0$$

$$LPI (CPT 2) = 0$$

$$LPI (CPT 3) = 0$$

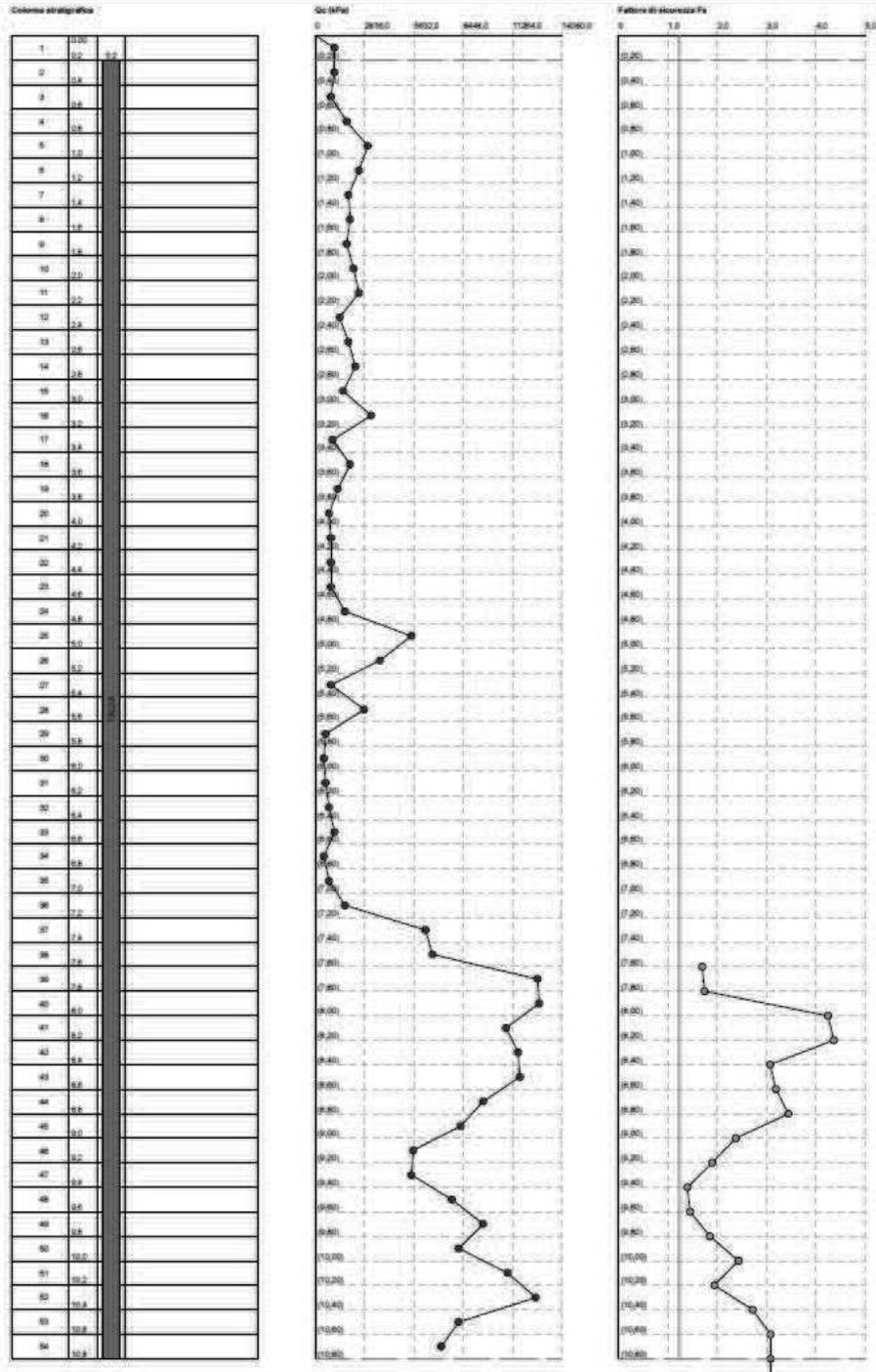
Sulla base delle tabelle sopra riportate si ricava che:

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

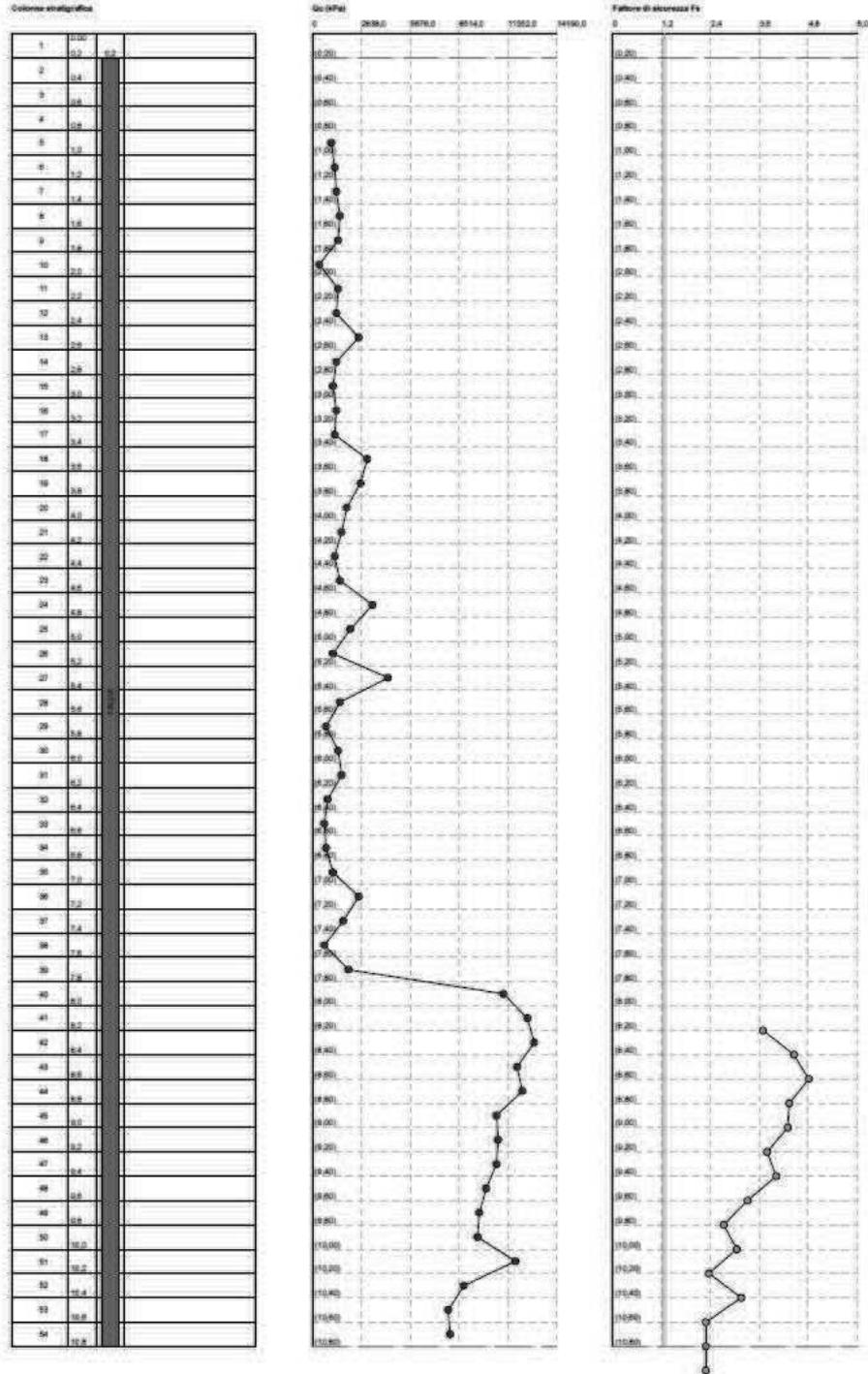
secondo Sonmez (2003) il rischio liquefazione risulta **Nulla**

I relativi tabulati di calcolo sono riportati in Allegato 3.

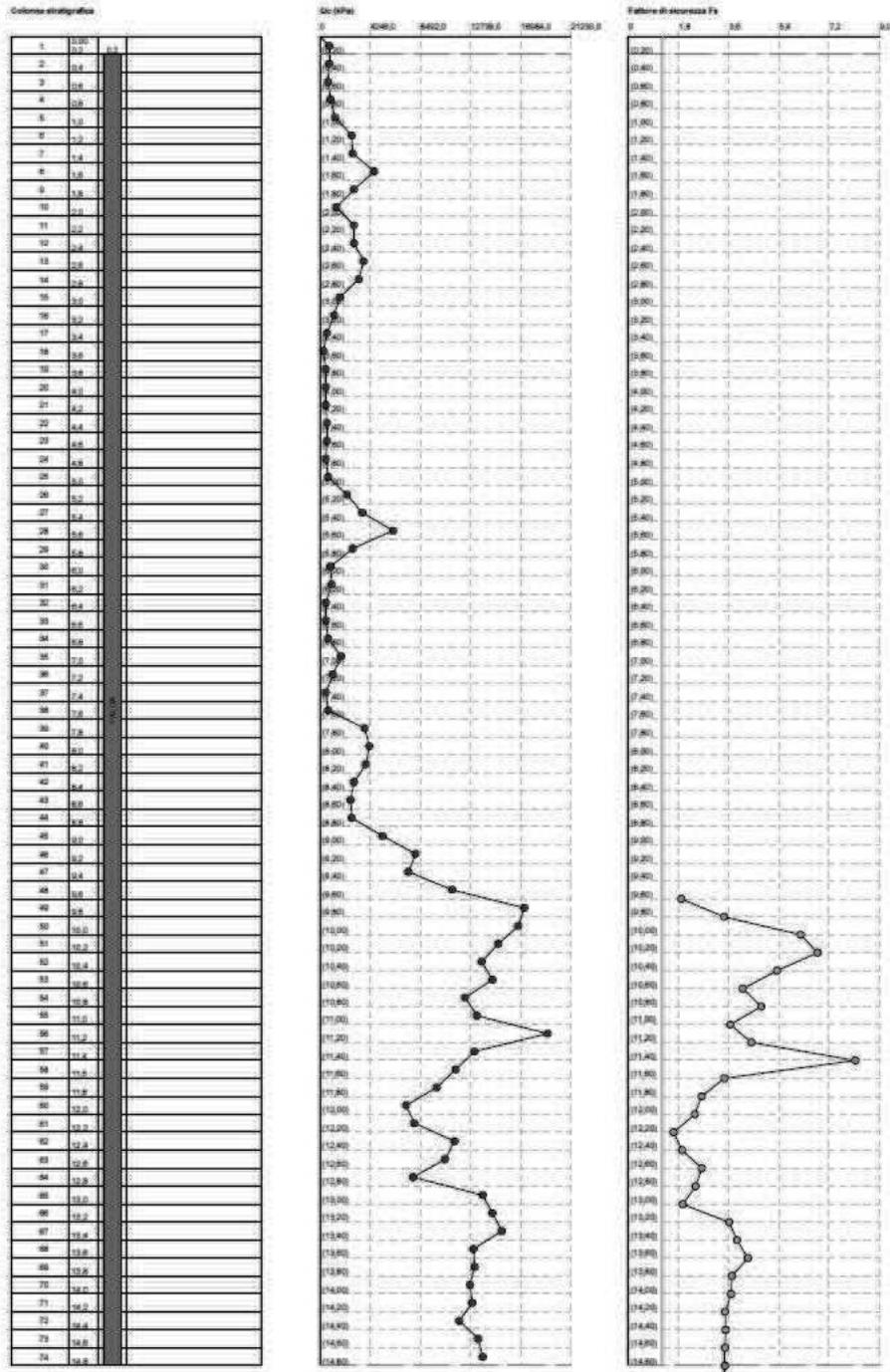
Pr6 Luzzara - CPT1



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:

$$\Delta H = \varepsilon_v H$$

$$\varepsilon_v = \alpha * C_r / (1 + e_0) * \log[1 / (1 - \Delta u / p'_0)]$$

ΔH : cedimento di riconsolidazione dello strato deformabile di spessore H

ε_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 ²				punta	laterale	kg/cm ²		
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	6,00	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
1,00	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	7,00	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
2,00	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	8,00	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
3,00	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	9,00	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
4,00	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	10,00	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
5,00	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	11,00	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 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

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 ²				punta	laterale	kg/cm ²		
0,20	---	---	--	----	---	5,80	16,0	42,0	16,0	1,07	15,0
0,40	---	---	--	----	---	6,00	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
1,00	---	---	--	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	7,00	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
2,00	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	8,00	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
3,00	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	9,00	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
4,00	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	10,00	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
5,00	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	11,00	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 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

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 ²				punta	laterale	kg/cm ²		
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	8,00	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
1,00	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	9,00	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
2,00	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	10,00	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
3,00	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	11,00	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
4,00	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	12,00	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
5,00	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	13,00	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
6,00	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	14,00	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
7,00	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	15,00	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 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

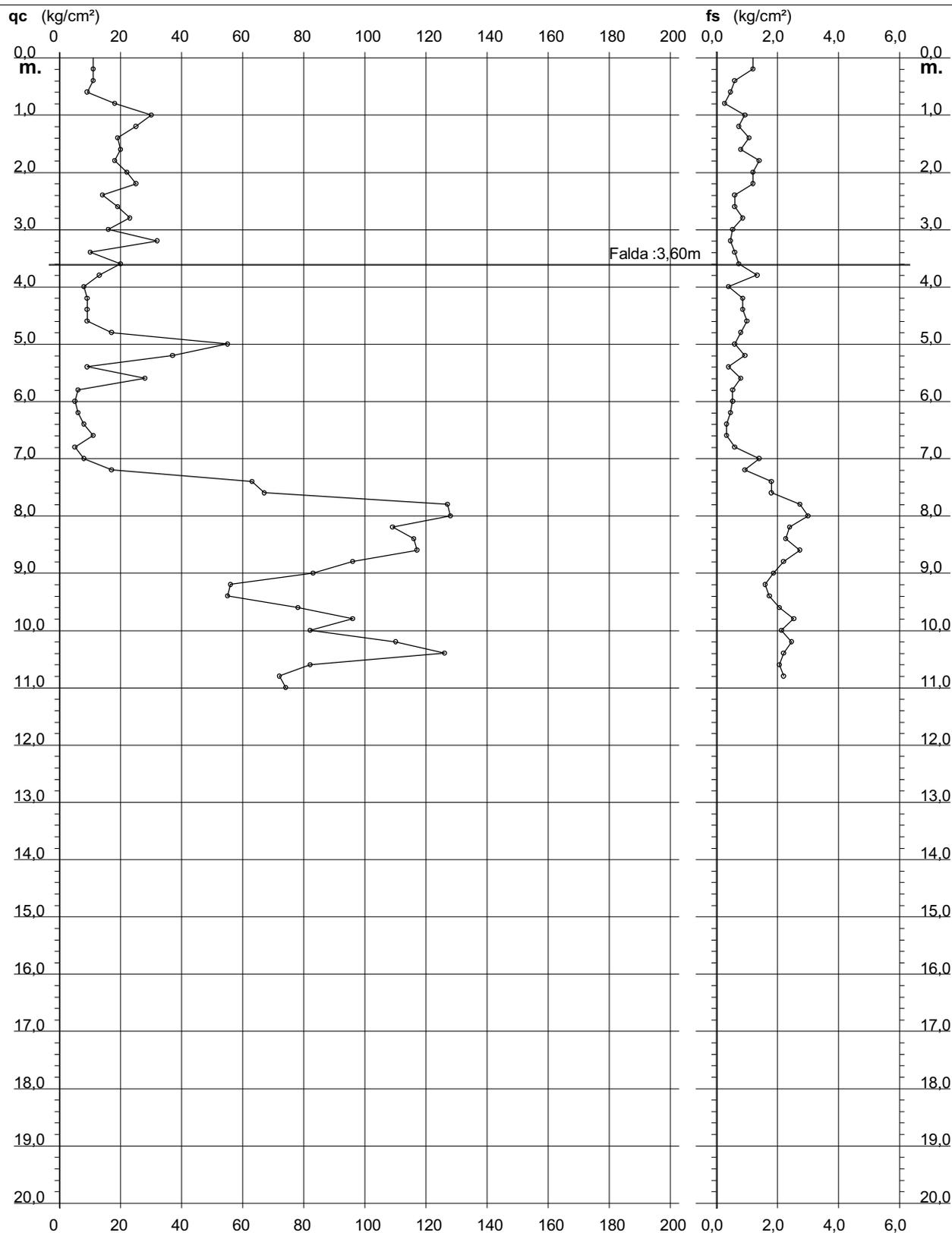
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

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



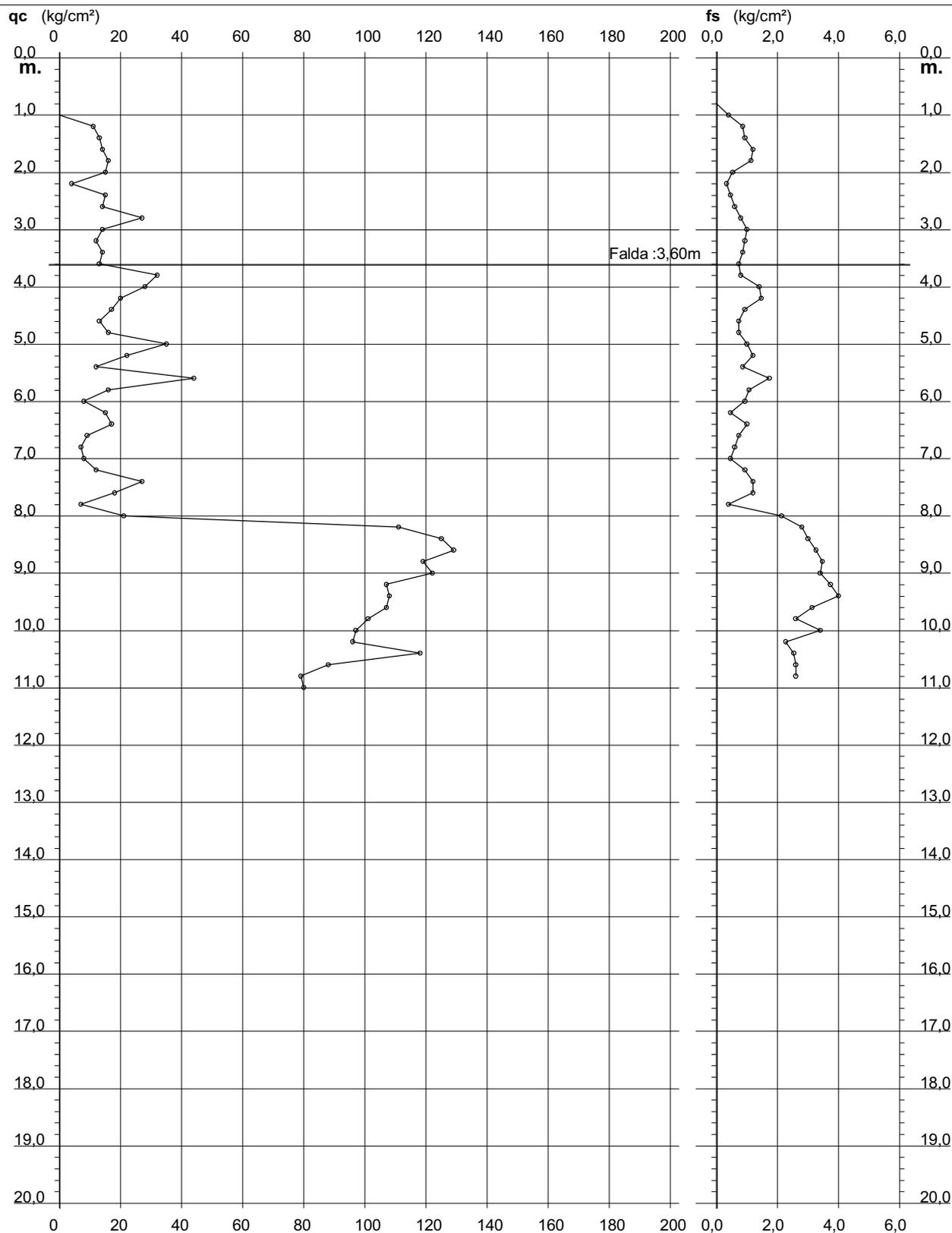
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

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



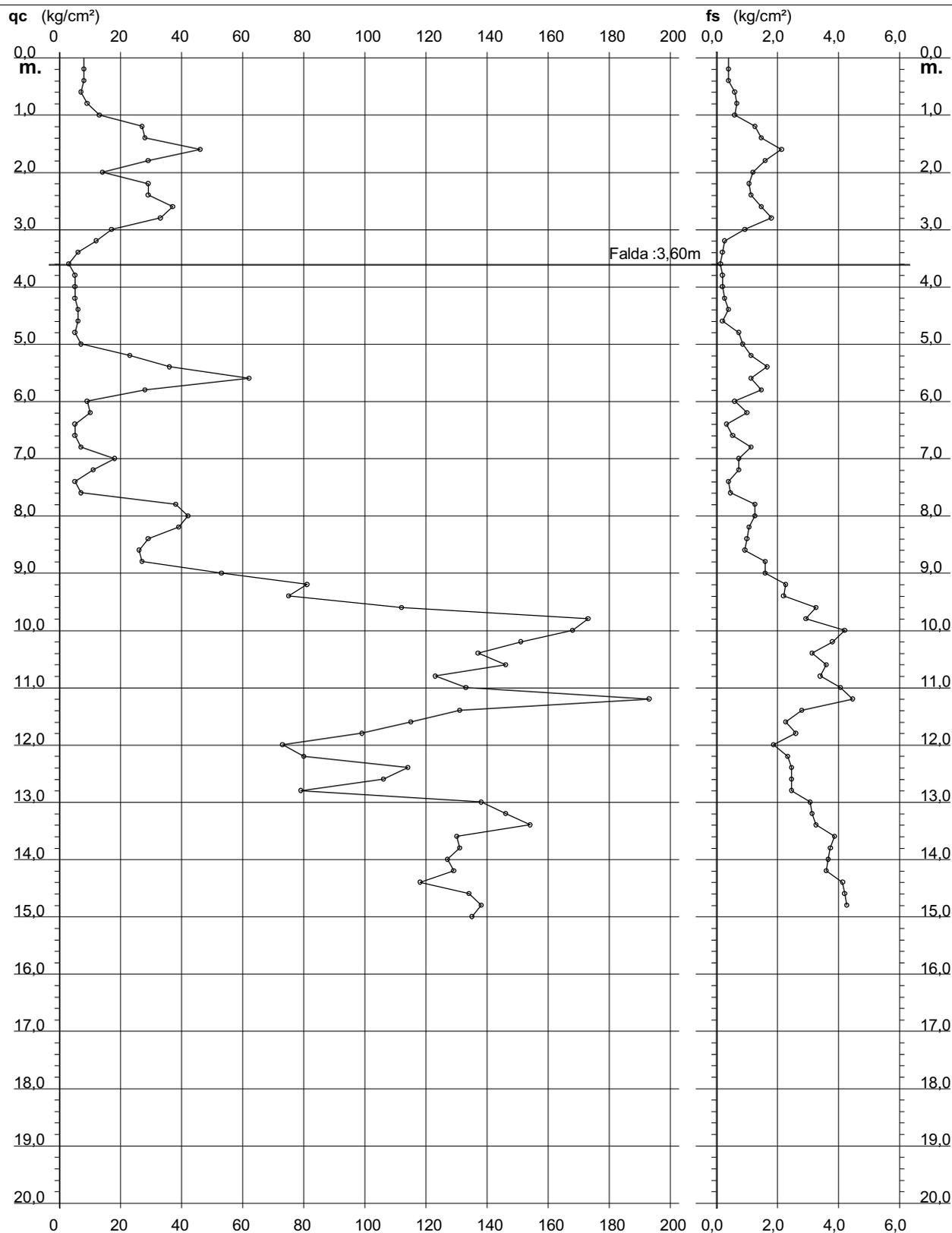
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

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 ²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m ³	d'vo kg/cm ²	Cu kg/cm ²	OCR (-)	Eu50 kg/cm ²	Eu25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm ²	E'25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	
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	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,40	19	18	2////	1,85	0,30	0,80	21,8	136	204	60	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,60	20	25	4://:	1,85	0,33	0,75	17,3	128	191	56	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 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

NATURA COESIVA										NATURA GRANULARE												
Prof. m	qc kg/cm ²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m ³	d'vo kg/cm ²	Cu kg/cm ²	OCR (-)	Eu50 kg/cm ²	Eu25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm ²	E'25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	???	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	--	--	???	1,85	0,11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	--	--	???	1,85	0,15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	--	--	???	1,85	0,19	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,20	11	13	2////	1,85	0,22	0,54	18,9	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,40	13	14	2////	1,85	0,26	0,60	18,1	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,60	14	12	2////	1,85	0,30	0,64	16,3	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,80	16	14	2////	1,85	0,33	0,70	15,8	118	177	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,00	15	28	2////	1,85	0,37	0,67	13,1	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,20	4	12	1****	1,85	0,41	0,20	2,6	22	33	6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,40	15	32	4:/:	1,85	0,44	0,67	10,4	113	170	50	27	32	34	37	40	31	27	0,051	25	38	45	
2,60	14	23	2////	1,85	0,48	0,64	8,9	114	171	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,80	27	34	3:////	1,85	0,52	--	--	--	--	--	43	34	36	39	41	33	28	0,087	45	68	81	
3,00	14	14	2////	1,85	0,55	0,64	7,4	136	204	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,20	12	13	2////	1,85	0,59	0,57	6,0	157	235	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,40	14	16	2////	1,85	0,63	0,64	6,4	163	245	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,60	13	18	2////	0,93	0,65	0,60	5,8	173	260	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,80	32	40	3:////	0,88	0,67	--	--	--	--	--	43	34	36	39	41	33	29	0,086	53	80	96	
4,00	28	20	4:/:	0,96	0,68	0,97	9,7	165	248	84	37	33	36	38	41	32	28	0,074	47	70	84	
4,20	20	14	4:/:	0,93	0,70	0,80	7,4	173	260	60	25	32	34	37	40	30	27	0,048	33	50	60	
4,40	17	18	2////	0,97	0,72	0,72	6,3	188	282	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,60	13	18	2////	0,93	0,74	0,60	4,9	205	308	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,80	16	22	2////	0,96	0,76	0,70	5,6	205	307	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,00	35	35	3:////	0,89	0,78	--	--	--	--	--	42	34	36	39	41	33	29	0,085	58	88	105	
5,20	22	18	4:/:	0,93	0,80	0,85	6,8	202	303	66	26	32	34	37	40	30	28	0,049	37	55	66	
5,40	12	14	2////	0,92	0,81	0,57	4,0	227	341	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,60	44	25	4:/:	1,00	0,83	1,47	12,7	249	374	132	48	35	37	39	42	33	31	0,099	73	110	132	
5,80	16	15	2////	0,96	0,85	0,70	4,9	237	355	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,00	8	9	2////	0,86	0,87	0,40	2,4	215	323	35	10	29	32	35	39	27	27	0,020	25	38	45	
6,20	15	32	4:/:	0,89	0,89	0,67	4,4	248	372	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,40	17	17	2////	0,97	0,91	0,72	4,7	252	379	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,60	9	12	2////	0,88	0,93	0,45	2,5	237	356	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,80	7	12	1****	0,46	0,94	0,35	1,8	43	64	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,00	8	17	2////	0,86	0,95	0,40	2,1	221	332	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,20	12	13	2////	0,92	0,97	0,57	3,2	271	406	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,40	27	22	4:/:	0,95	0,99	0,95	5,9	263	394	81	27	32	35	37	40	30	28	0,052	45	68	81	
7,60	18	15	2////	0,98	1,01	0,75	4,3	282	423	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,80	7	17	2////	0,84	1,03	0,35	1,6	202	303	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,00	21	10	4:/:	0,93	1,04	0,82	4,7	291	436	63	17	30	33	36	39	28	27	0,033	35	53	63	
8,20	111	40	3:////	1,02	1,07	--	--	--	--	--	74	38	40	42	44	37	34	0,171	185	278	333	
8,40	125	42	3:////	1,04	1,09	--	--	--	--	--	78	39	41	42	44	38	35	0,183	208	313	375	
8,60	129	39	3:////	1,04	1,11	--	--	--	--	--	78	39	41	42	44	38	35	0,184	215	323	387	
8,80	119	34	3:////	1,03	1,13	--	--	--	--	--	75	39	40	42	44	37	35	0,174	198	298	357	
9,00	122	36	3:////	1,03	1,15	--	--	--	--	--	75	39	40	42	44	37	35	0,176	203	305	366	
9,20	107	29	4:/:	1,06	1,17	3,57	25,3	606	910	321	70	38	40	42	44	36	34	0,161	178	268	321	
9,40	108	27	4:/:	1,06	1,19	3,60	25,0	612	918	324	70	38	40	42	44	36	34	0,160	180	270	324	
9,60	107	34	3:////	1,01	1,21	--	--	--	--	--	70	38	40	42	44	36	34	0,158	178	268	321	
9,80	101	39	3:////	1,00	1,23	--	--	--	--	--	67	37	39	41	43	36	34	0,151	168	253	303	
10,00	97	29	4:/:	1,05	1,25	3,23	20,6	550	825	291	65	37	39	41	43	36	34	0,146	162	243	291	
10,20	96	42	3:////	0,99	1,27	--	--	--	--	--	65	37	39	41	43	35	34	0,144	160	240	288	
10,40	118	47	3:////	1,03	1,29	--	--	--	--	--	71	38	40	42	44	36	35	0,163	197	295	354	
10,60	88	34	3:////	0,98	1,31	--	--	--	--	--	61	37	39	41	43	35	33	0,133	147	220	264	
10,80	79	30	4:/:	1,03	1,33	2,63	14,7	448	672	237	57	36	38	40	43	34	33	0,122	132	198	237	
11,00	80	--	3:////	0,97	1,35	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	34	33	0,122	133	200	240	

**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 ²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m ³	d'vo kg/cm ²	Cu kg/cm ²	OCR (-)	Eu50 kg/cm ²	Eu25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm ²	E'25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	
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	36	35	0,156	212	318		

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 _s = 30,00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 8,00 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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 δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 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 ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	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 cm²** - D(diam. punta)= **50,50 mm**

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

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

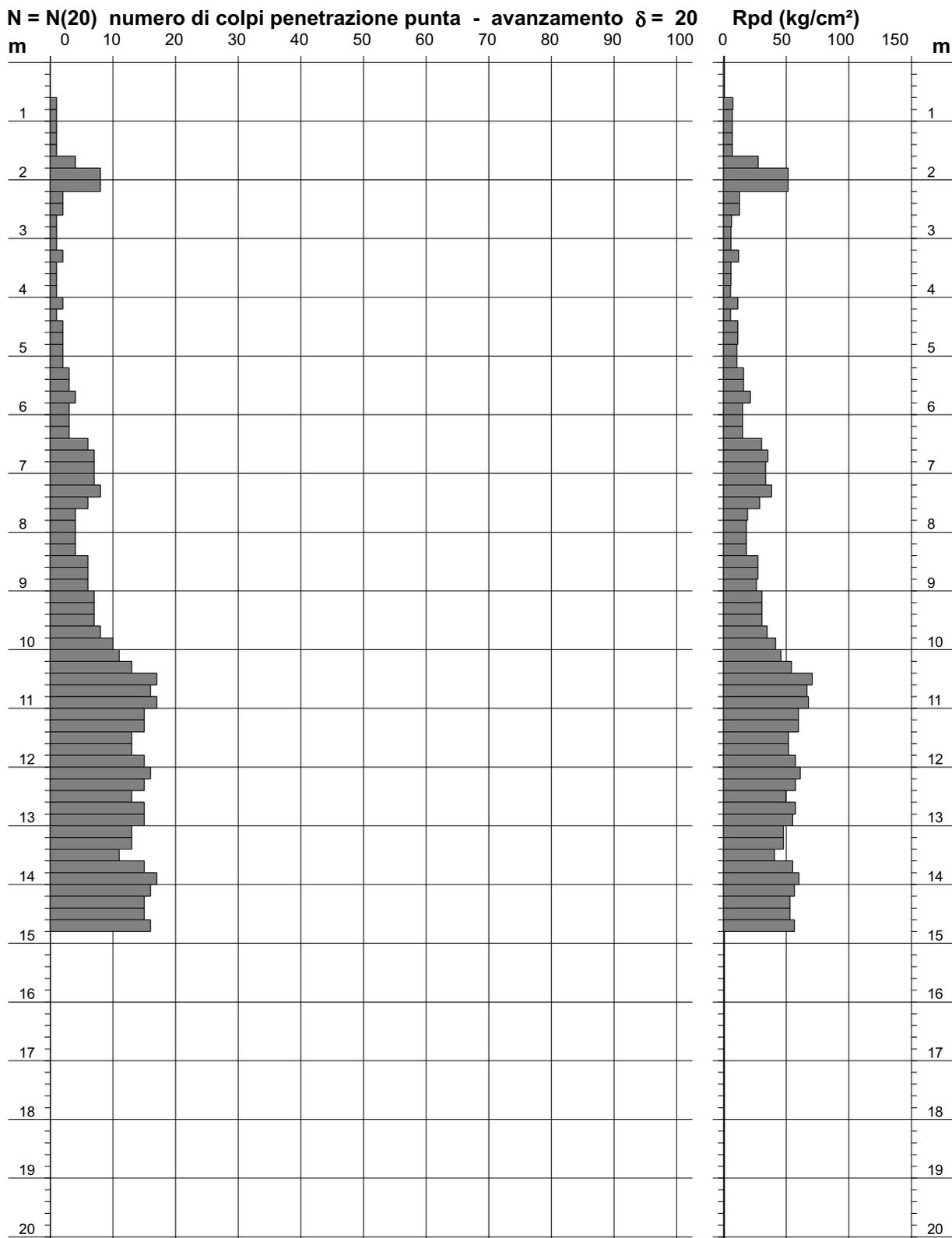
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

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

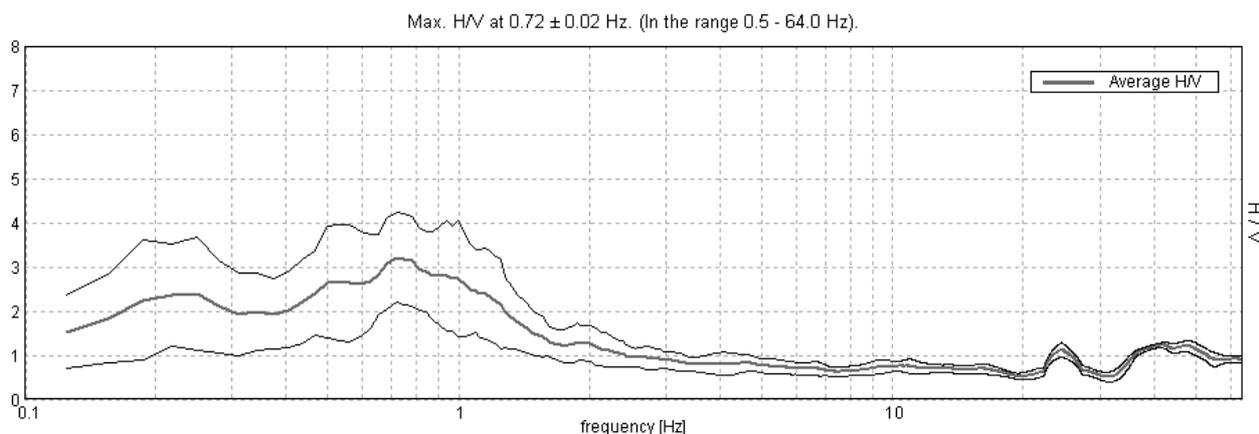


Grafico 1 – Rapporto spettrale orizzontale su verticale

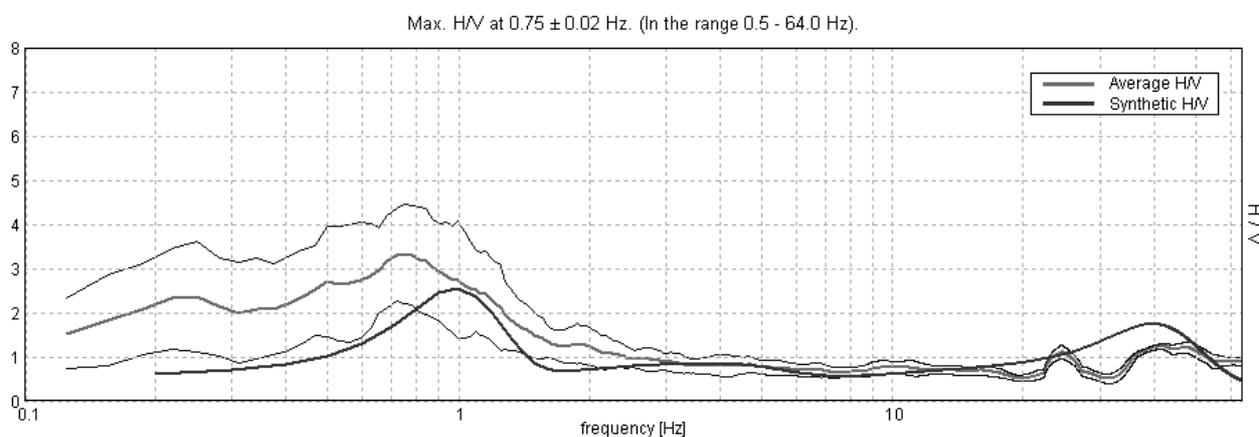


Grafico 2 – Rapporto di inversione H/V sperimentale (Rosso) e H/V sintetico (Blu)

Andamento onde S

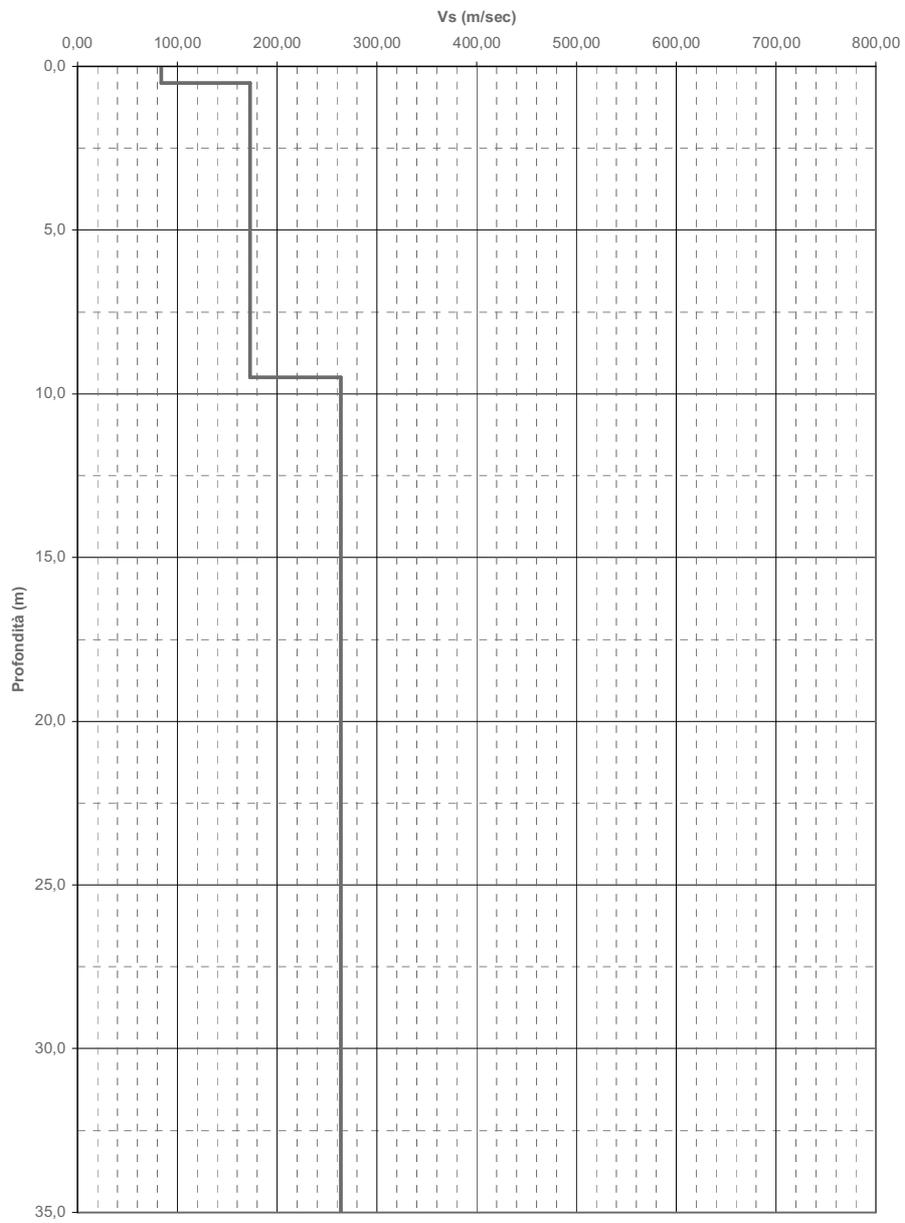


Grafico 3– Andamento della Vs in funzione della profondità

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 σ'_{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_{7,5}**) 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_{7,5}**) 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 effettiva (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	27,58		Terre no non susce- tibile di liquef- azion e	0 Molto basso
	2	5			
1,40	39,60	27,83		Terre no non susce- tibile di liquef- azion e	0 Molto basso
	5	7			
1,60	41,94	28,21		Terre no non susce- tibile di liquef- azion e	0 Molto basso
	7	8			
1,80	44,42	28,73		Terre no non susce- tibile di liquef- azion e	0 Molto basso
	8	8			
2,00	47,04	29,39		Terre no non susce- tibile di liquef- azion e	0 Molto basso
	3	1			
2,20	49,78	30,16		Terre no	0 Molto basso
	0	7			

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

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
tibile
di
liquef
azion
e
0 Molto
basso

4,80	91,45	46,34	tibile di liquef azion e	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0 Molto basso
	7	7			
5,00	94,90	47,83	tibile di liquef azion e	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0 Molto basso
	3	1			
5,20	98,36	49,33	tibile di liquef azion e	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0 Molto basso
	6	3			
5,40	101,8	50,85	tibile di liquef azion e	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0 Molto basso
	45	0			
5,60	105,3	52,38	tibile di liquef azion e	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0 Molto basso
	37	1			
5,80	108,8	53,92	tibile di liquef azion e	Terre no non suscet tibile	0 Molto basso
	42	5			

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 suscetibile 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 suscetibile 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 suscetibile 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 suscetibile 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 suscetibile 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 suscetibile 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 susce 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 susce 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 susce 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 susce 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 susce 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 susce 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 σ'_{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_{7,5}**) 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_{7,5}**) 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 unià volume (KN/mc)	Peso unità volume saturò (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 suscet tibile di liquef azion e	basso
2,00	33,30	15,64		Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0 Molto basso
	0	8			
2,20	37,00	17,38		Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0 Molto basso
	0	7			
2,40	40,70	19,12		Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0 Molto basso
	0	5			
2,60	44,40	20,86		Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0 Molto basso
	0	4			
2,80	48,10	22,60		Terre no non suscet 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
suscet
tibile
di
liquef
azion
e

0 Molto
basso

4,60 81,40 38,25
0 1

Terre
no
non
suscet
tibile
di
liquef
azion
e

0 Molto
basso

4,80 85,10 39,98
0 9

Terre
no
non
suscet
tibile
di
liquef
azion
e

0 Molto
basso

5,00 88,80 41,72
0 8

Terre
no
non
suscet
tibile
di
liquef
azion
e

0 Molto
basso

5,20 92,50 43,46
0 7

Terre
no
non
suscet
tibile
di
liquef
azion
e

0 Molto
basso

5,40 96,20 45,20
0 5

Terre
no
non
suscet

0 Molto
basso

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	122,1	57,37	di liquef azion e	0	Molto basso
	00	6	Terre no non suscet tibile di liquef azion e		
7,00	125,8	59,11	Terre	0	Molto basso
	00	5	no non suscet tibile di liquef azion e		
7,20	129,5	60,85	Terre	0	Molto basso
	00	3	no non suscet tibile di liquef azion e		
7,40	133,2	62,59	Terre	0	Molto basso
	00	2	no non suscet tibile di liquef azion e		
7,60	136,9	64,33	Terre	0	Molto basso
	00	1	no non suscet tibile di liquef azion e		
7,80	140,6	66,07	Terre	0	Molto basso
	00	0	no non suscet tibile di		

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 susct 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 susct 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 susct 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 susct 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 susct 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 susct 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	Molto 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 σ'_{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_{7,5}**) 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_{7,5}**) 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 unità volume (KN/mc)	Peso unità saturo volume (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 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	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	non suscetibile di liquefazione e		
2,80	47,48	21,98	Terre non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
	3	6	non suscetibile di liquefazione e		
3,00	50,57	23,11	Terre non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
	3	4	non suscetibile di liquefazione e		
3,20	53,72	24,30	Terre non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
	3	3	non suscetibile di liquefazione e		
3,40	56,92	25,54	Terre non suscetibile di liquefazione e	0	Molto basso
	7	5	non suscetibile di liquefazione e		

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

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 susct 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 susct 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 susct 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 susct 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 susct 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 susct tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso

9,60	165,744	73,562	124,755	1,490	1,957	1,165934	152,469	0,918	0,410	0,124	3,306	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
9,80	169,368	75,224	116,451	1,299	1,936	1,152977	139,942	0,912	0,335	0,123	2,721	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,00	172,995	76,890	110,621	1,753	2,044	1,140422	146,431	0,907	0,372	0,122	3,042	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,20	176,624	78,558	108,312	1,210	1,938	1,12825	130,374	0,902	0,286	0,121	2,355	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,40	180,256	80,228	131,740	1,084	1,844	1,116441	147,832	0,896	0,380	0,121	3,153	Terre no non suscet tibile di liquef azion e	0,00	Molto basso
10,60	183,891	81,901	97,238	1,497	2,036	1,10498	127,686	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