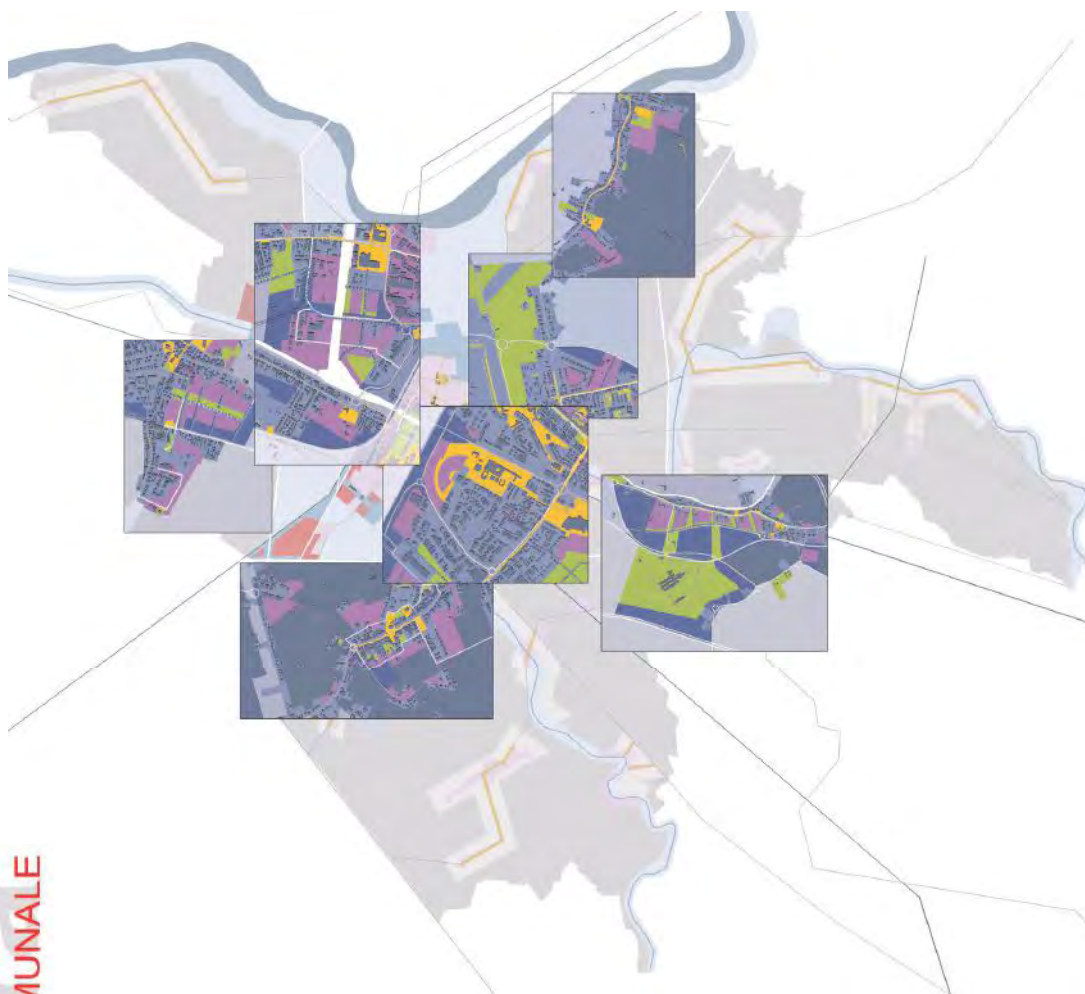




COMUNE DI FERRARA
Città Patrimonio dell'Umanità



POC ferrara
PIANO OPERATIVO COMUNALE

VARIANTE AL 1°PIANO OPERATIVO COMUNALE

Elaborato QC1.2.1 – QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO
RELAZIONI SUI COMPARTI DI INTERVENTO 4AR-01 - 9ASPCN-01
approvato con delibera consiliare PG.132237 del 5/12/2016



Dr. Geol.
**Emanuele
Stevanin**

Piazza del Popolo, 13 Int. 5
44034 Copparo (Ferrara)
tel. 0039 0532 860546
fax 0039 0532 385035
e.stevanin@synthesisrl.com
e.stevanin@epap.sicurezza postale.it

REGIONE EMILIA ROMAGNA

PROVINCIA DI FERRARA



COMUNE DI FERRARA

Piazza Municipale civ. 2 – Ferrara

INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO

DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI

AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC – COMUNE DI FERRARA

COMPARTO POC 4AR-01

VIA GAETANO PESCI - RIVANA

- MODELLO GEOLOGICO E MODELLO SISMICO -

Consulente incaricato

Dr. Geol. Emanuele Stevanin

Collaboratrice

Dr.ssa Geol. Emma Biondani



Località

Ferrara (Fe) – Via Gaetano Pesci

Data

19 febbraio 2016

Rif. 213/15-ES-Rev01

INDICE

PREMESSA	4
1. INQUADRAMENTO GENERALE	7
1.1. Ubicazione del sito	7
1.2. Intervento previsto	7
1.3. Normativa di riferimento	7
2. MODELLO GEOLOGICO E SISMICO	11
2.1. Unità geologiche, litologiche e strutturali	11
2.2. Storia geologica del territorio	22
2.3. Forme del terreno e caratteri geomorfologici	26
2.4. Subsidenza	30
2.5. Rischio geologico	30
2.6. Caratteri idrogeologici e idrologici	30
2.7. Campagna di indagini	34
2.7.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE FORNITE ED ANALIZZATE	34
2.7.1.1. <i>Prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU)</i>	35
2.7.1.2. <i>Prove penetrometriche statiche meccaniche (CPT)</i>	35
2.7.2. INDAGINE GEOFISICA	35
2.8. Campagna geognostica - Risultati	38
2.8.1. ELABORAZIONE SCPTU: CARATTERI LITOLOGICI	38
2.8.1.1 <i>Elaborazione SCPTU: modalità di valutazione</i>	38
2.8.1.2 <i>Elaborazione SCPTU: definizione delle unità litotecniche</i>	40
2.8.2. ELABORAZIONE CPT: CARATTERI LITOLOGICI	42
2.8.2.1 <i>Elaborazione CPT: modalità di valutazione</i>	42
2.8.2.2 <i>Elaborazione CPT: definizione delle unità litotecniche</i>	43
2.8.3. RISULTATI INDAGINE GEOFISICA	46
2.8.3.1. <i>Tecnica in array</i>	46
2.8.4. MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO IN BASE ALLE MISURE VS	50
2.9. Analisi vincolistica	52
2.9.1. VINCOLO IDROGEOLOGICO	52
2.9.2. PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)	52
2.9.3. PIANO TERRITORIALE PER IL COORDINAMENTO PROVINCIALE (P.T.C.P.)	53
2.10. Pericolosità e Fattibilità del Piano Strutturale Comunale	56
2.11. Aspetti geodinamici e sismicità	57
2.12. Aspetti sismici di dettaglio	73
2.12.1. CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO	73
2.12.1.1. <i>Misura della velocità delle onde Vs</i>	74
2.12.2. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	76
2.12.3. PARAMETRI SISMICI DEFINITI IN BASE ALLE "NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2008 (DM 14/01/2008)"	76
2.12.4. VERIFICA DELLE SOLLECITAZIONI SISMICHE SUI TERRENI INCOERENTI	78
2.12.4.1. <i>Fattori scatenanti: Definizione della Magnitudo attesa del sisma</i>	79
2.12.4.2. <i>Fattori scatenanti: Definizione dell'accelerazione sismica orizzontale</i>	79
2.12.4.3. <i>Fattori predisponenti: Profondità della falda</i>	84
2.12.4.4. <i>Fattori predisponenti: Resistenza mobilitabile dal terreno</i>	84
2.12.4.5. <i>Fattori predisponenti: Composizione granulometrica</i>	88
2.12.5. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE PER IL CASO SPECIFICO	90

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	--	---	--

2.13. Note e prescrizioni

116

 Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisr.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	---	--

PREMESSA

Su incarico del **COMUNE DI FERRARA – SERVIZIO PATRIMONIO**, con sede in Ferrara – Via G. Marconi civ. 39, è stato effettuato il presente studio geologico e sismico, finalizzato all'inserimento nel Piano Operativo Comunale, di un'area sita in Ferrara, via Gaetano Pesci.

Lo studio è stato effettuato utilizzando informazioni cartografiche e bibliografiche disponibili per la zona e altri dati forniti dall'Amministrazione Comunale, ed è restituito nel presente rapporto, costituito dalle seguenti parti principali:

- Parte Prima – Inquadramento generale
- Parte Seconda – Modello Geologico e Sismico

Rif. amministrativo: convenzione di incarico per l'integrazione del quadro conoscitivo geologico degli strumenti urbanistici comunali ai fini dell'adozione di variante al piano operativo comunale vigente relativa a due aree di proprietà comunale – PG 123334/2015

Descrizione attività: redazione della relazione geologica e sismica finalizzata all'inserimento nel Piano Operativo Comunale dell'area di via Pesci, sulla scorta dei dati messi a disposizione dall'Amministrazione comunale.

Comparto POC 4AR-01

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	--	---	--

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	--	---	--

- Parte Prima -

INQUADRAMENTO GENERALE

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	--	---	--

1. INQUADRAMENTO GENERALE

1.1. Ubicazione del sito

L'area oggetto di studio, è ubicata all'interno di una zona edificata, nella parte meridionale della città di Ferrara, all'interno del quartiere denominato Rivana. Più precisamente tale sito è ubicato circa 1.80 km a sud rispetto a Piazza Trento Trieste, circa mt 250 in direzione nord rispetto Via Wagner e circa 50.00 mt a sud rispetto al tratto ferroviario Ferrara - Codigoro.

Per quanto riguarda l'inquadramento catastale, l'area in esame è localizzata nel Foglio 193, Mappale 2326/parte del Comune di Ferrara.

Coordinate WGS84: Latitudine 44.818844°; Longitudine 11.615837°.

1.2. Intervento previsto

Il presente studio viene predisposto ad integrazione del quadro conoscitivo geologico degli strumenti urbanistici comunali ai fini dell'adozione di variante al Piano Operativo Comunale vigente, in relazione all'area di proprietà comunale sita in Via Pesci – Rivana.

1.3. Normativa di riferimento

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003 *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. Ordinanza n. 3274”* e successive modifiche.

Delibera Assemblea Legislativa Prog. N. 112 oggetto 2131 02/05/2007 *“Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”*

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti *“Norme tecniche per le Costruzioni”*, D. M. 14/01/2008.

Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 – C.S.LL.PP: *Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.*

L.R. 30 ottobre 2008, n. 19: *“Norme per la riduzione del rischio sismico”* e s.m.i.

Supporti cartografici e grafici:

- Immagine 1-1. Foto da satellite – Google Earth
- Figura 1-2. Stralcio Carta Tecnica Regionale – scala 1:10.000
- Figura 1-3. Stralcio Carta Tecnica Regionale – scala 1:5.000
- Figura 1-4. Stralcio Planimetria Catastale– scala 1:2.000

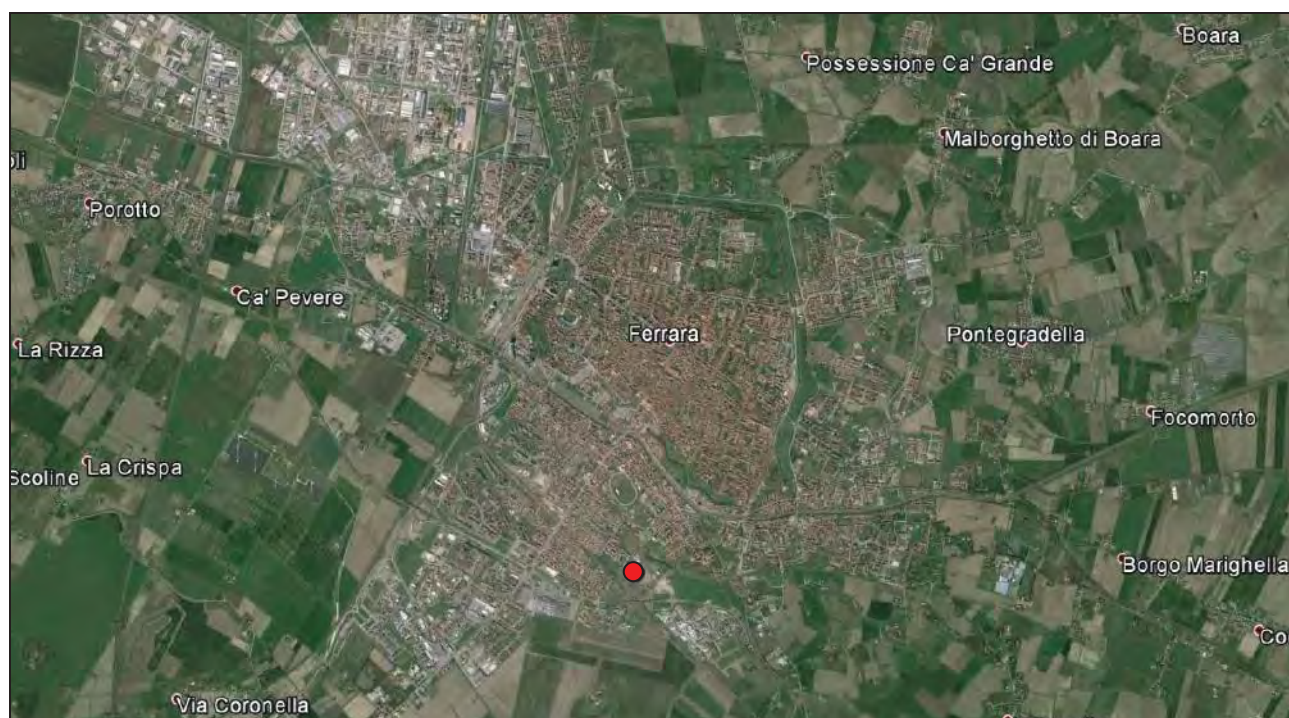


Immagine 1-1

Foto da satellite – Google Earth

● Ubicazione dell'area oggetto di studio

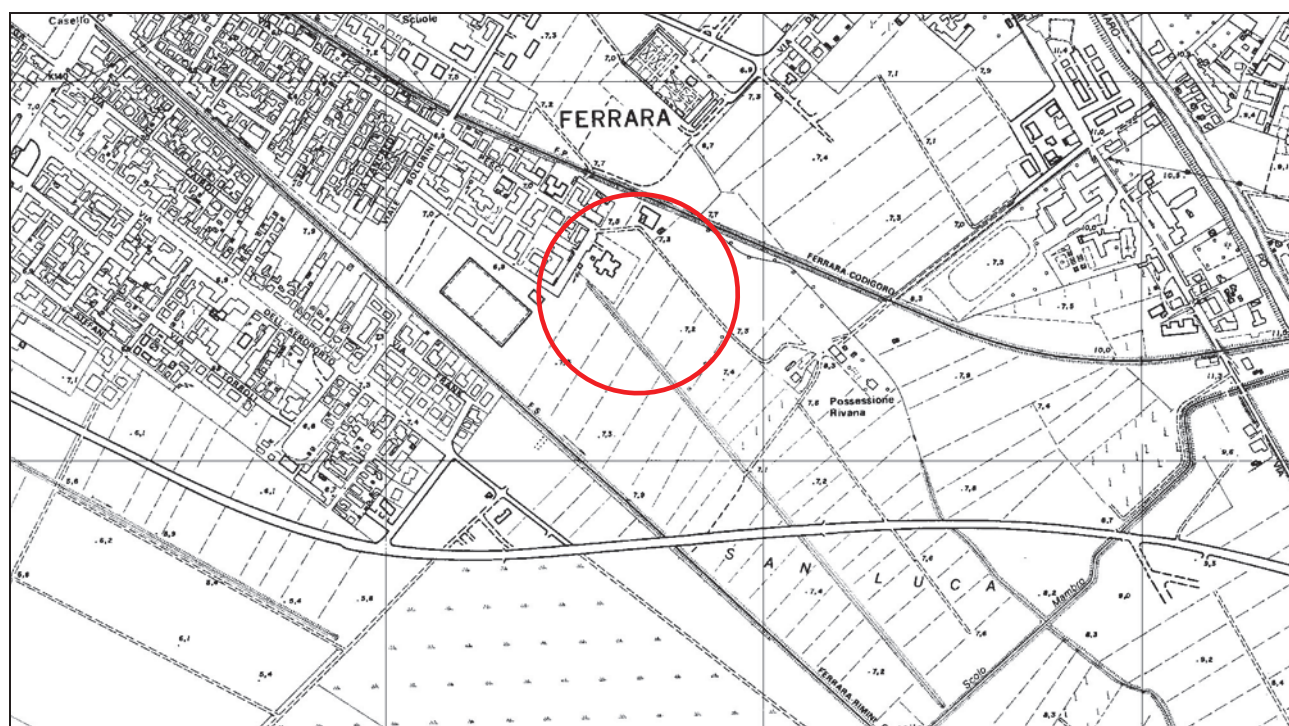


Figura 1-2

Stralcio Carta Tecnica Regionale – scala 1:10.000

Ubicazione dell'area oggetto di studio (cartografia non aggiornata)

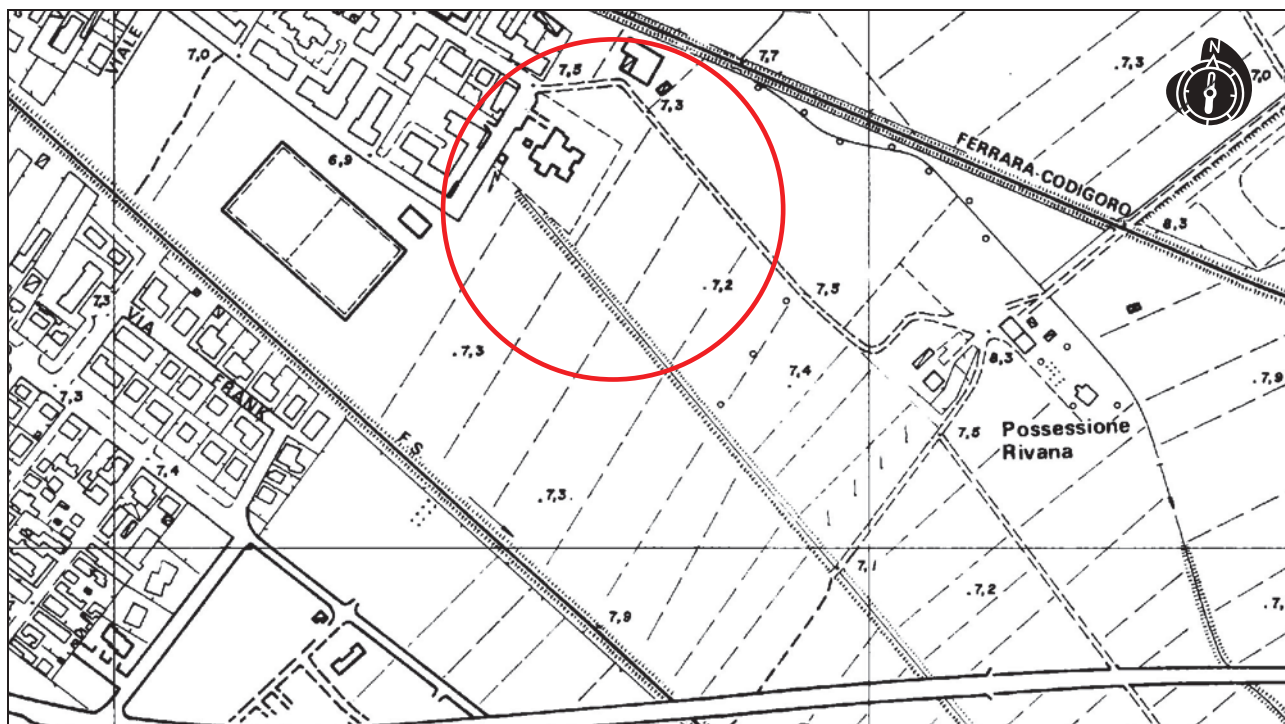


Figura 1-3
Stralcio Carta Tecnica Regionale – scala 1:5.000
 Ubicazione dell'area in esame (cartografia non aggiornata)



Figura 1-4
Plan. catastale estratta dalla CGU della Prov. di Ferrara – scala 1:2.000 con perimetrazione dell'area di studio
 N.T.C. Comune di Ferrara - Foglio 193, Mappale 2326/parte – (<http://visore.cgu-ferrara.it/Geovistaweb/default.aspx?ID=>)

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	--	---	--

- Parte Seconda -

MODELLO GEOLOGICO E SISMICO

2. MODELLO GEOLOGICO E SISMICO

L'analisi del contesto geologico in cui è inserita l'area in esame, è stata effettuata in primo luogo consultando gli studi e la cartografia esistente a disposizione e in secondo luogo con l'analisi e l'elaborazione delle prove fornite, effettuate nei pressi e in corrispondenza del sito.

2.1. Unità geologiche, litologiche e strutturali

Il territorio dell'Emilia Romagna è costituito dal versante Padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a sud del Fiume Po; il limite regionale, infatti, coincide per lunghi tratti con lo spartiacque appenninico verso sud e con il corso del Po verso nord. Pur essendo due ambienti geomorfologici distinguibili, essi risultano strettamente correlati fra loro: il fronte della catena appenninica non coincide con il limite morfologico catena montuosa-pianura, ma è individuabile fra gli archi esterni delle Pieghe Emiliane e Ferraresi (Pieri & Groppi, 1981), sepolte dai sedimenti quaternari della Pianura Padana. Il fronte appenninico sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta, di conseguenza l'evoluzione del territorio dell'Emilia Romagna risulta strettamente legata ai cambiamenti del settore esterno della catena nord-appenninica.

La sismicità rappresenta uno strumento indispensabile per le analisi sismotettoniche e un utile supporto alla geologia strutturale, in quanto varie tipologie di dati sismici, ottenuti attraverso differenti metodologie, garantiscono l'identificazione e la caratterizzazione delle strutture geologicamente attive. L'analisi della sismotettonica dell'Emilia-Romagna, evidenzia come questa sia costituita da strutture caratterizzate da attività da molto recenti ad attuali.

In particolare, come si evince dallo studio "Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'Appennino Tosco-Emiliano-Romagnolo e Val Padana" effettuato dall'Università di Siena, dalla Regione Toscana, dalla Regione Emilia-Romagna e dall'Università di Bologna, il Comune di Ferrara ricade tra due tracce di sezioni sismogeologiche, nello specifico la 6-6' e la 14-14' (figure 2.1-7, 2.1-8 e 2.1-9).

Di seguito si riportano stralci delle descrizioni: *"sezione 6-6'... nel settore delle Pieghe Ferraresi... il substrato costituito da depositi pelagici e di piattaforma carbonatica meso-cenozoici, risulta tettonicamente sollevato sin quasi alla superficie. Ovviamente ciò determina anche il sollevamento relativo dei livelli triassici e del sottostante basamento crostale, posto a meno di 10 km dalla superficie. Per converso, tra Bologna e la Dorsale Ferrarese si osserva il massimo spessore dei depositi plio-quaternari dell'avanfossa padana. Dal punto di vista strutturale, la sezione mostra che i principali sovrascorrimenti e faglie inverse interessano le torbiditi mioceniche, propagandosi sovente anche alle sottostanti unità pelagiche, al Triassico, e in alcuni casi, al basamento crostale. Meno evidente è il coinvolgimento nella fagliazione dei depositi di avanfossa, in particolare dei livelli quaternari.*

La sezione 14-14', descrive l'interpretazione di Picotti e Pazzaglia (2008). Rispetto alla sezione 6-6', si possono notare alcune differenze riguardanti la geometria dei sovrascorrimenti e delle pieghe... l'elemento strutturale più rilevante è comunque il grande sovrascorrimento profondo che, collocato ad oltre 20 km sotto la catena, a nord di Bologna si diffonde in un fascio di fratture che si propagano sino alla zona ferrarese".

Le faglie derivanti dai movimenti dei sovrascorrimenti appenninici quindi, danno origine alle manifestazioni sismiche che interessano la regione (Figure 2.1-2, 2.1-3, 2.1-5, 2.1-6 e 2.1-16).

Nel caso specifico, l'area in esame vede la presenza di alcuni sovrascorrimenti profondi post-tortoniani dedotti, ubicati in direzione nord, nord – est, sud ed ovest, di una faglia profonda indeterminata dedotta, ubicata in direzione est, di una faglia profonda diretta dedotta, ubicata in direzione est e di alcune isobate della base del Pliocene, poste alle profondità di mt 1.000 e di mt 1.500, ubicate in direzione sud-

ovest ed ovest (Figura 2.1-17) (da https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia).

Il Comune di Ferrara, in base all'ultima zonazione sismogenetica pubblicata ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), nella quale vengono individuate per tutto il territorio Italiano n. 42 zone – sorgente identificate con un numero da 901 a 936 o con una lettera da A a F, ricade all'interno della zona sismogenetica 912.

La zona sismogenetica 912 viene caratterizzata dallo studio, come zona a regime tettonico debolmente compressivo con strutture compressive tipo thrust e con meccanismi di fagliazione prevalente inversa e corrisponde al settore di pianura compreso tra il fronte delle pieghe ferraresi e il margine appenninico padano. In tale zona i terremoti storici hanno raggiunto valori di Magnitudo pari a $M = 5.9$ e le zone ipocentrali si verificano generalmente a profondità comprese tra 5 e 8 Km, con profondità efficace di 7 Km. Nella zona sismogenetica 912 è prevista, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo $M_{max} = 6.14$ (Figura 2.1-4).

L'area in esame risulta individuabile quindi sul sistema di pieghe ferraresi, in una zona in corrispondenza della sorgente sismogenetica composta (struttura desunta sulla base della superficie regionale e dati geologici di sottosuolo che vengono sfruttate ben oltre la semplice identificazione delle faglie attive o caratteristiche tettoniche giovanili) ITCS050 – Poggio Rusco-Migliarino (Figure 2.1-5, 2.1-10, 2.1-11 e 2.1-12) le cui caratteristiche vengono riportate in Figura 2.1-13.

La storia sismica del territorio si evince anche dalle immagini di seguito riportate, in particolare in fig. 2.1-15, e dalla lettura dei dati scaricati da ISIDE e relativi agli eventi sismici registrati, a partire dal gennaio 2005, in un raggio di 50 Km rispetto all'abitato di Ferrara; in allegato 15 si riporta la tabella riassuntiva degli eventi verificatisi a partire da gennaio 2005.

Supporti grafici:

- Figura 2.1-1. Stralcio della carta strutturale della pianura padana e delle catene circostanti (da "Carta geomorfologica della Pianura Padana, scala 1:250.000)
- Figura 2.1-2. Carta degli epicentri dei terremoti della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo
- Figura 2.1-3. Localizzazione degli epicentri dei principali terremoti che hanno interessato l'Emilia-Romagna e le aree limitrofe
- Figura 2.1-4. Zonazione sismogenetica ZS9 per il Nord Italia
- Figura 2.1-5. Epicentri dei principali terremoti e principali aree sismogenetiche dell'Emilia-Romagna e aree limitrofe.
- Figura 2.1-6. Sezione geologica attraverso la pianura modenese settentrionale
- Figura 2.1-7. Traccia delle sezioni sismogeologiche
- Figura 2.1-8. Sezione sismogeologica 6-6'
- Figura 2.1-9. Sezione sismogeologica 14-14'
- Figura 2.1-10. Individuazione delle strutture compressive e di fagliazione
- Figura 2.1-11. Sorgente sismogenetica composta
- Figura 2.1-12. Individuazione delle strutture compressive e di fagliazione su Google Earth
- Figura 2.1-13. Sorgente Sismogenetica ITCS050
- Figura 2.1-14. Eventi registrati a partire dal 2005, in un raggio di 50 km rispetto al sito
- Figura 2.1-15. Grafico eventi della storia sismica di Ferrara al 01.2012
- Figura 2.1-16. Principali strutture attive presenti in Emilia Romagna
- Figura 2.1-17. Stralcio Carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna

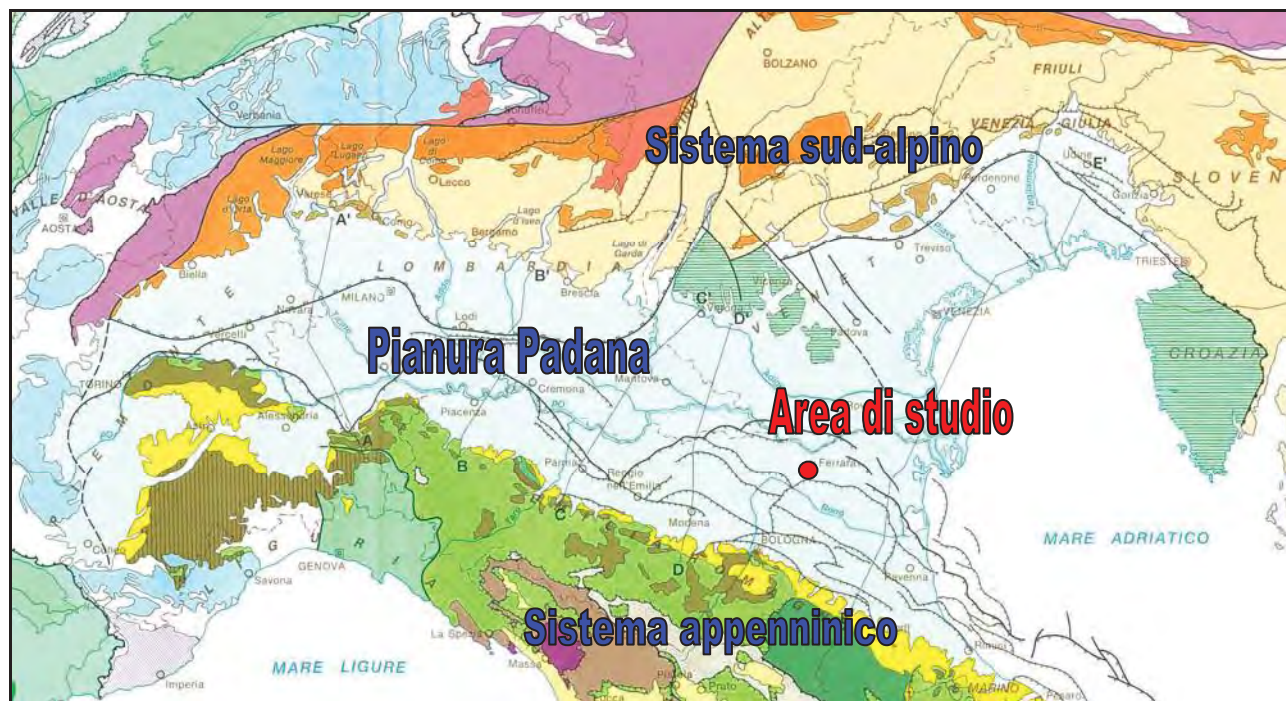


Figura 2.1-1

Stralcio della carta strutturale della pianura padana e delle catene circostanti (da "Carta geomorfologica della Pianura Padana, scala 1:250.000)

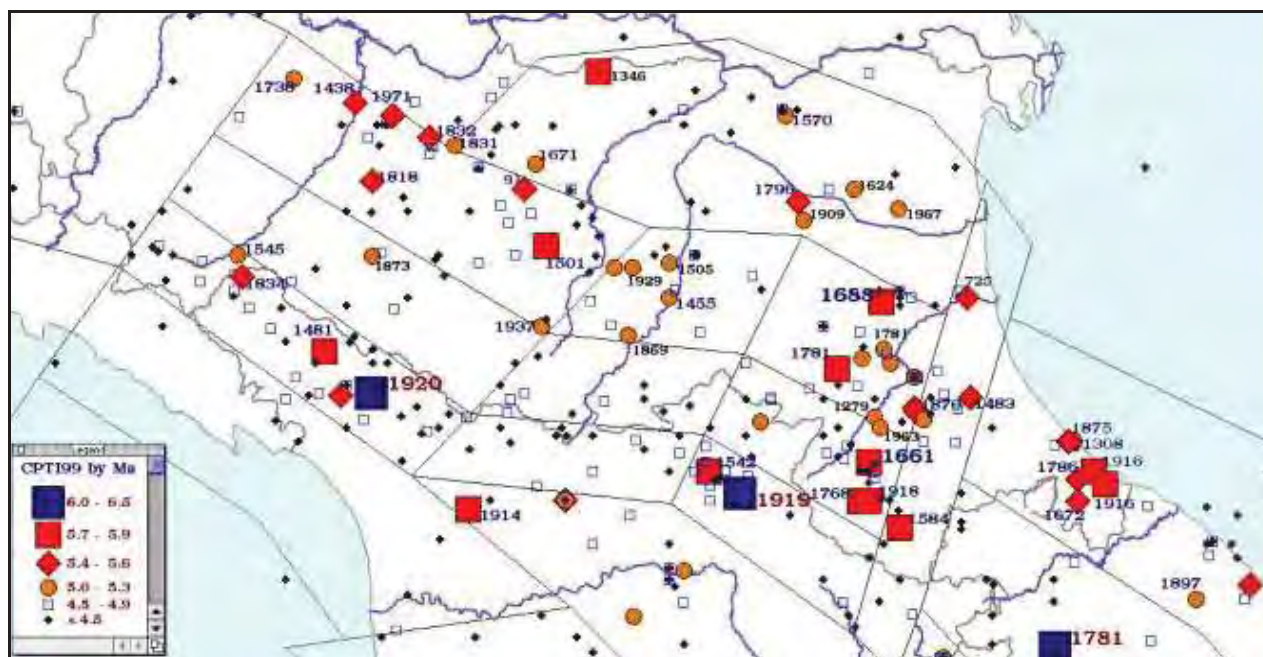


Figura 2.1-2

Carta degli epicentri dei terremoti della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo (CPTI, 1999).

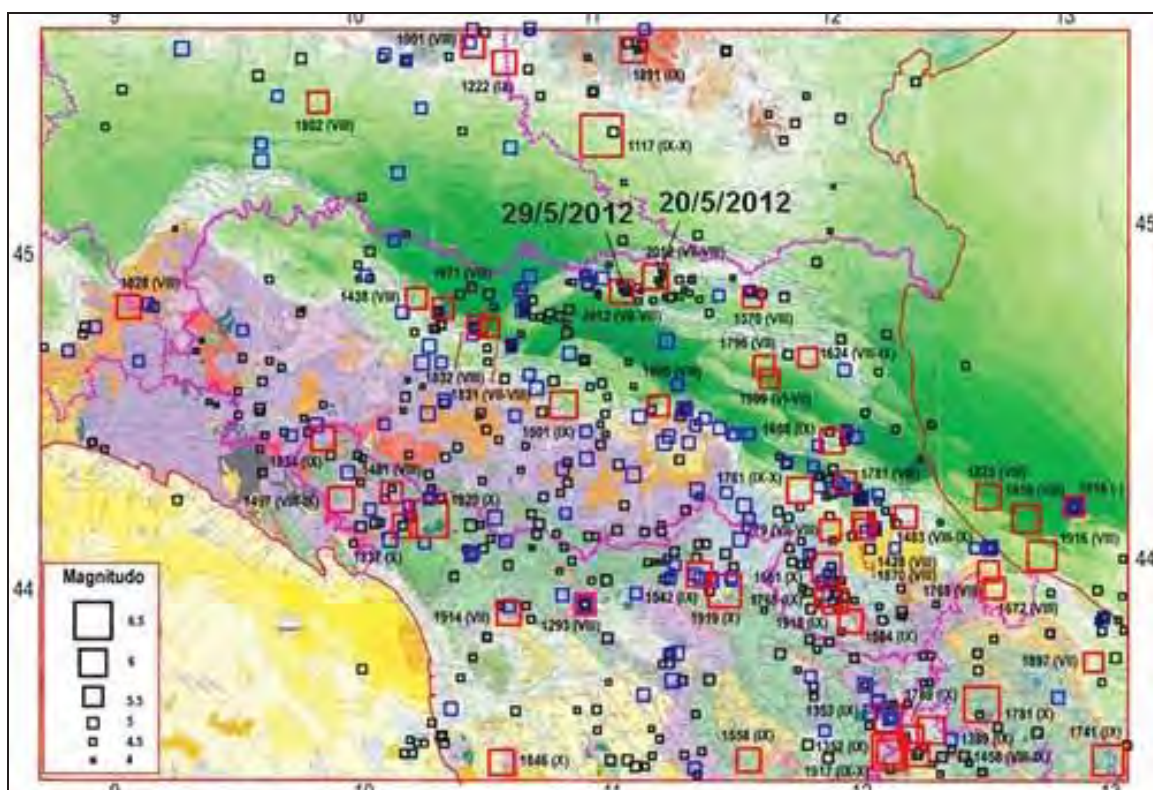


Figura 2.1-3

Localizzazione degli epicentri dei principali terremoti (magnitudo maggiore di 4) che hanno interessato l'Emilia-Romagna e le aree limitrofe. In azzurro i terremoti di magnitudo compresa tra 5 e 5,5, in rosso i terremoti di magnitudo maggiori di 5,5 (da Mantovani et al., 2013). Sono evidenziati anche i terremoti principali del 20 e 29 maggio 2012 e del 1570. Base cartografica: Structural Model of Italy (CNR, 1992).

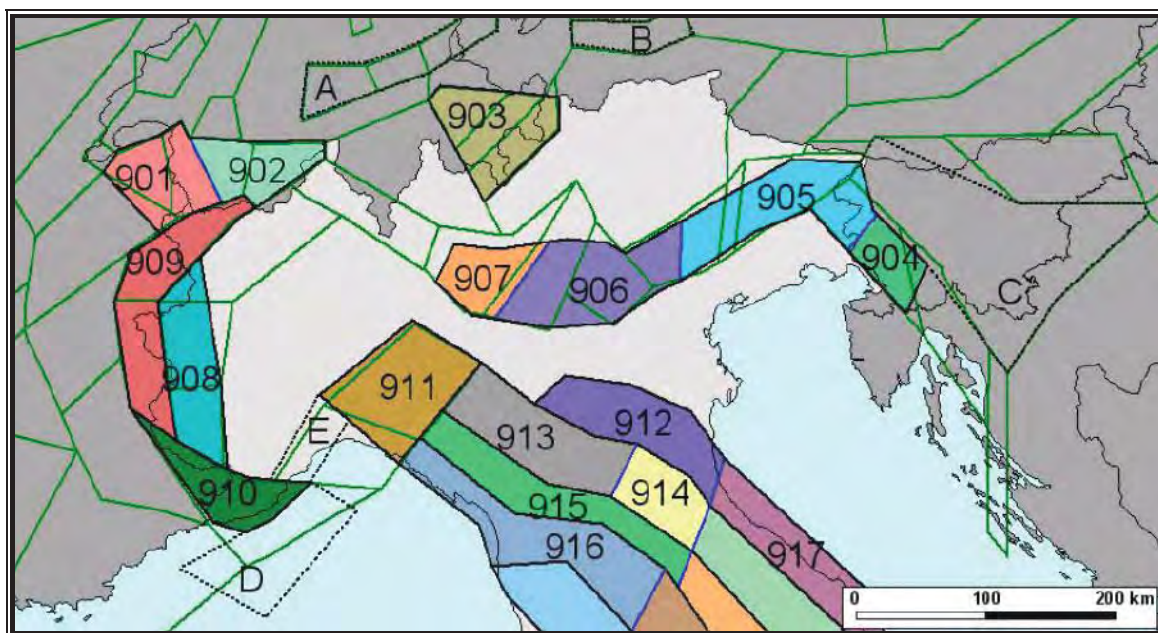


Figura 2.1-4

Zonazione sismogenetica ZS9 per il Nord Italia

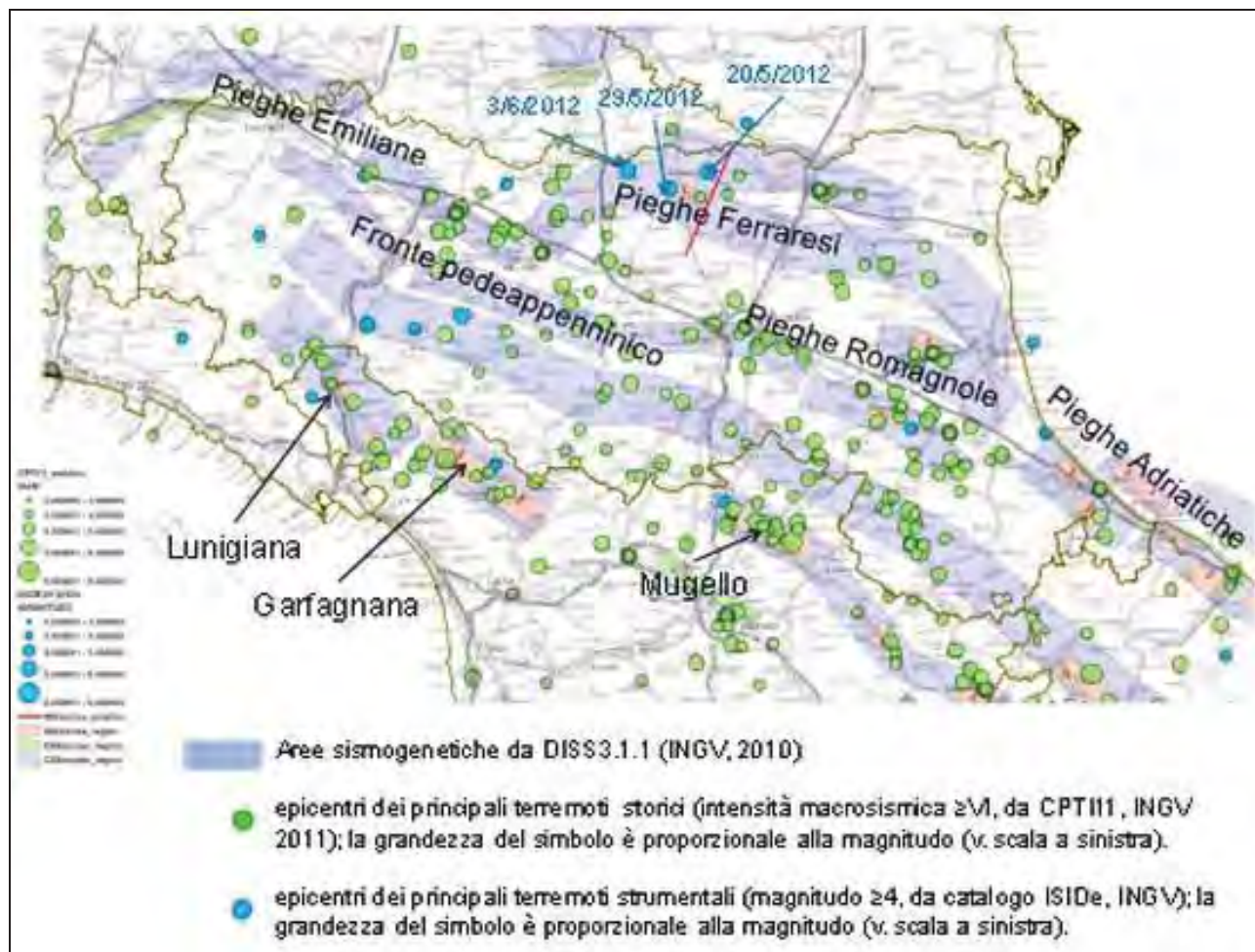


Figura 2.1-5

Epicentri dei principali terremoti e principali aree sismogenetiche dell'Emilia-Romagna e aree limitrofe. La linea rossa indica la traccia della sezione rappresentata sotto. (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/primo-piano/2013/terremoti-emiliani-2012-tra-certezze-storiche-e-indagini-scientifiche>)

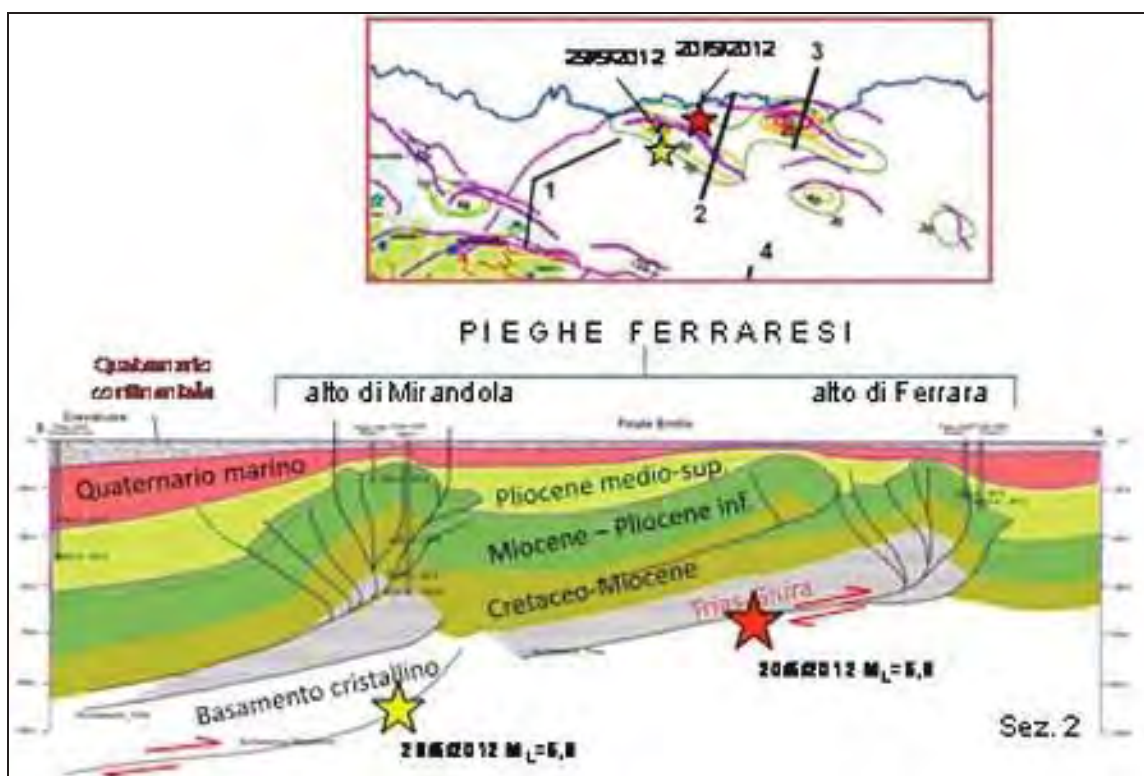


Figura 2.1-6

Sezione geologica attraverso la pianura modenese settentrionale, con proiezione degli ipocentri delle scosse principali del 20 e 29 maggio 2012 (da Martelli & Molinari, 2010). Profondità non in scala (sezione derivata da interpretazione diretta di un profilo sismico con scala verticale in tempi). (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/primo-piano/2013/terremoti-emiliani-2012-tra-certezze-storiche-e-indagini-scientifiche>)

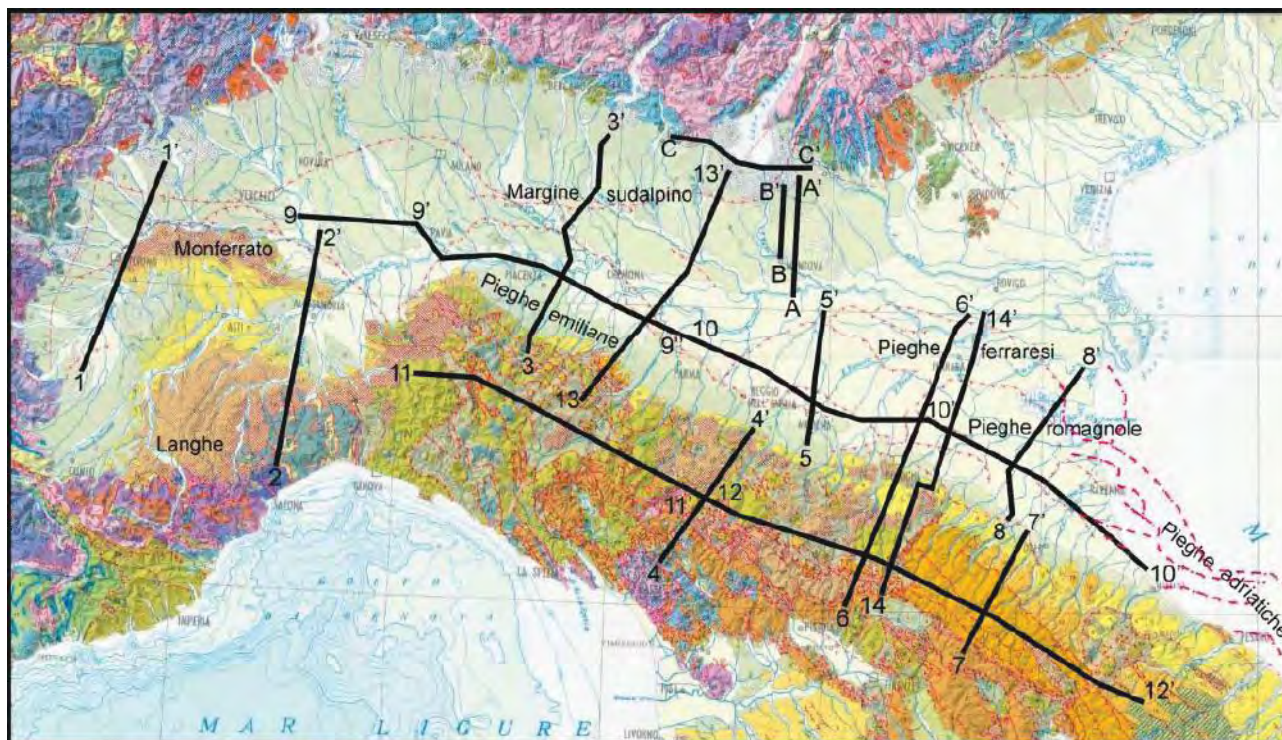


Figura 2.1-7

Traccia delle sezioni sismogeologiche, riportate sulla Carta geologica dell'Italia edita da Compagnoni e Galluzzo (2004). Le sezioni da 3-3' a 12-12' da Boccaletti et alii (2010). La sezione 14-14' è ripresa da Picotti e Pazzaglia (2008).

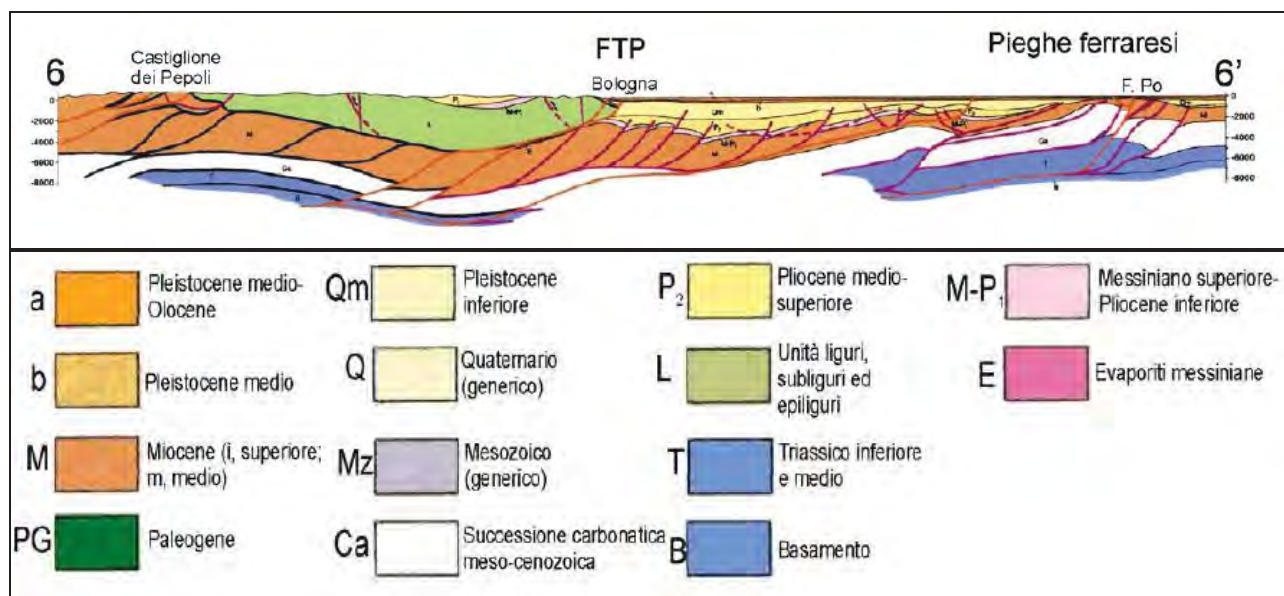


Figura 2.1-8

Sezione sismogeologica trasversale all'Appennino settentrionale (da Boccaletti et alii, 2010, modificate). La traccia della sezione è riportata in figura 2.1-7. FTP = Fronte del sovrascorrimento (thrust) pedeappenninico.

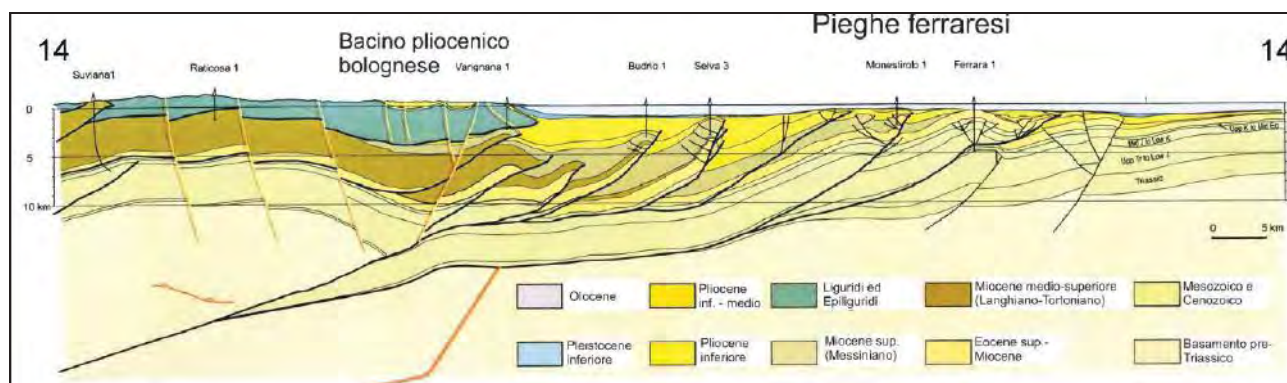


Figura 2.1-9

Sezione sismogeologica trasversale all'Appennino settentrionale (da Picotti et alii, 2009, modificata). La traccia della sezione è riportata in figura 2.1-7.

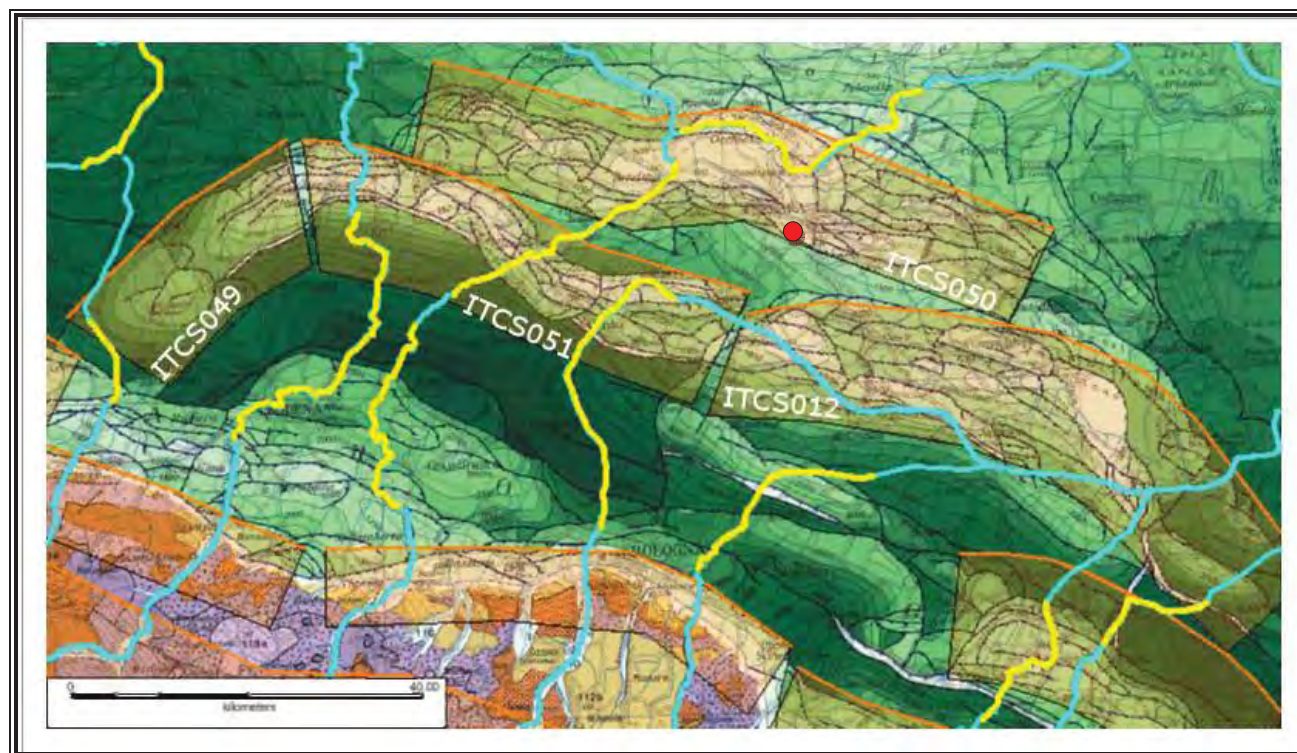


Figura 2.1-10

Individuazione delle strutture compressive e di fagliazione

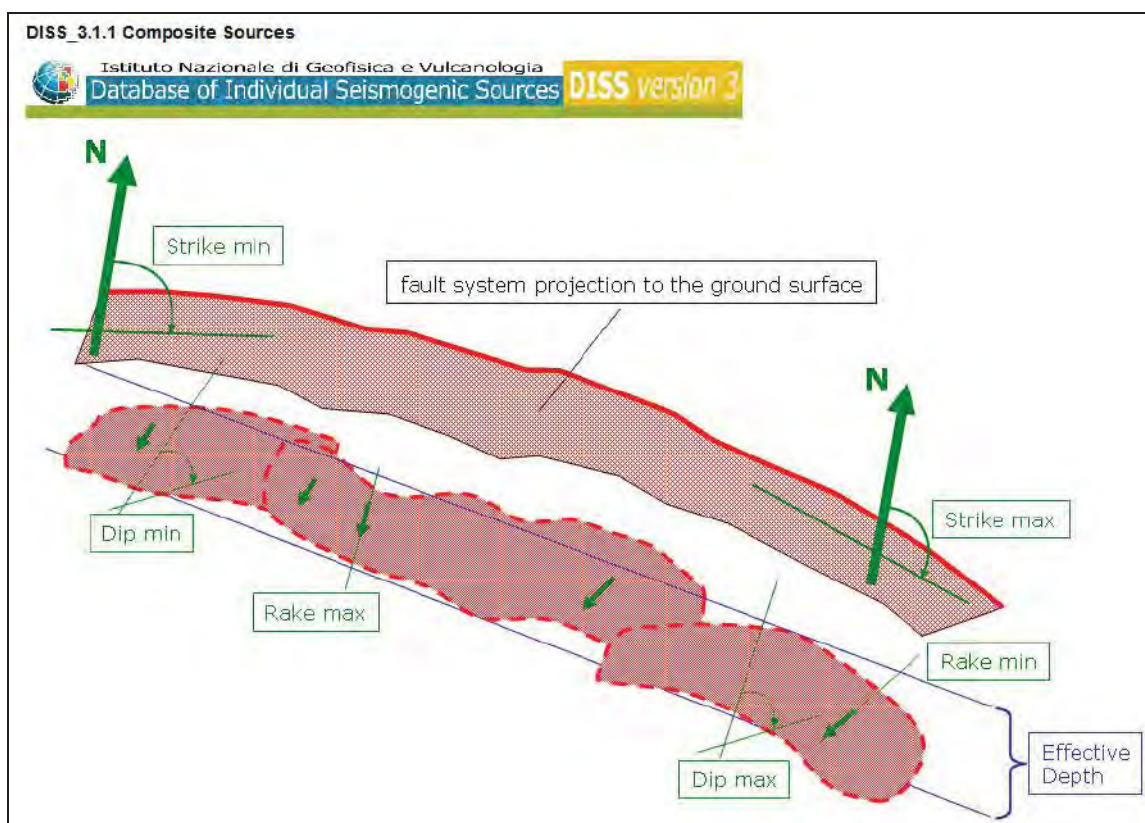


Figura 2.1–11
Sorgente sismogenetica composta

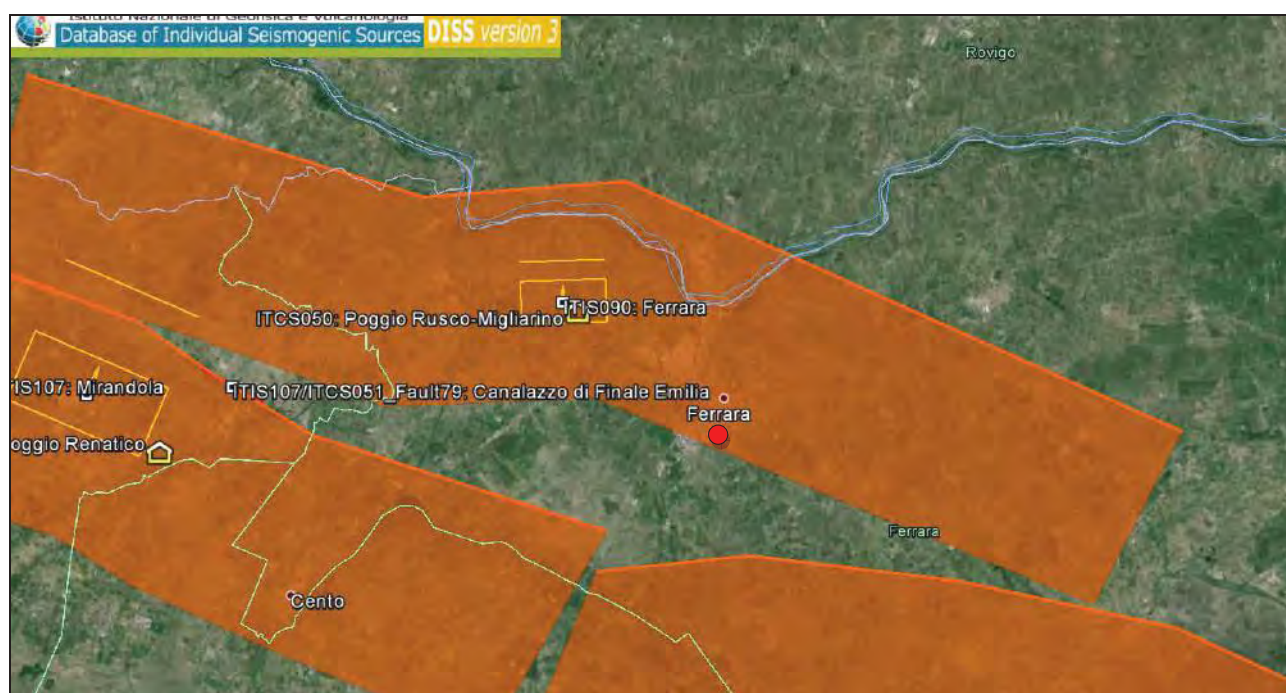


Figura 2.1–12
Individuazione delle strutture compressive e di fagliazione su Google Earth



DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS050 - Poggio Rusco-Migliarino

[Source Info Summary](#)[Commentary](#)[References](#)[Pictures](#)

General information			
Code	ITCS050		
Name	Poggio Rusco-Migliarino		
Compiled By	Burrato, P., and S. Mariano		
Latest Update	07/09/2007		

Parametric information			
	Parameter	Qual.	Evidence
Min Depth (km)	1	OD	Based on geological data from various authors.
Max Depth (km)	8	OD	Based on geological data from various authors.
Strike (deg)	85 - 115	OD	Based on geological data from various authors.
Dip (deg)	25 - 55	OD	Based on geological data from various authors.
Rake (deg)	80 - 100	OD	Based on geological data from various authors.
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5	EJ	Derived from geological data concerning adjacent structures.
Max Magnitude (Mw)	5.5	OD	Based on the strongest earthquake occurred in the region.

Q-keys: LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement

Figura 2.1–13
Sorgente Sismogenetica ITCS050



Figura 2.1-14
Eventi registrati in un raggio di 50 km rispetto al sito a partire dal 2005 - (Fonte ISIDE)

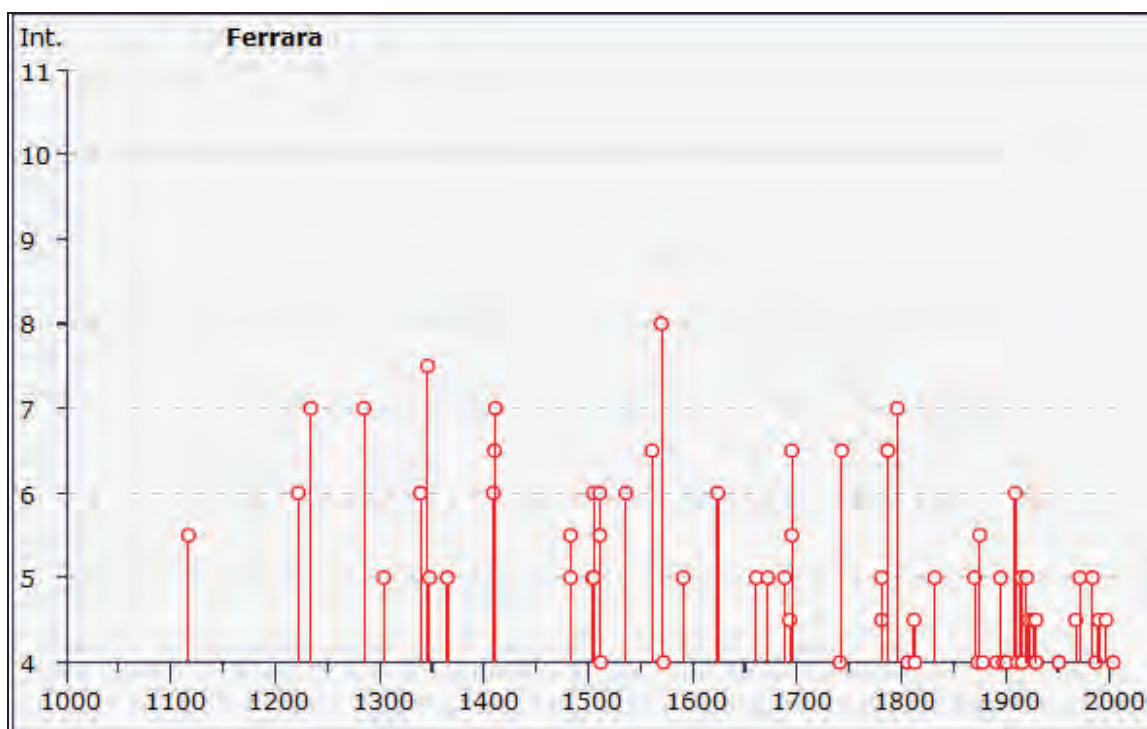


Figura 2.1-15

Grafico eventi della storia sismica di Ferrara

(da http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/query_place/)

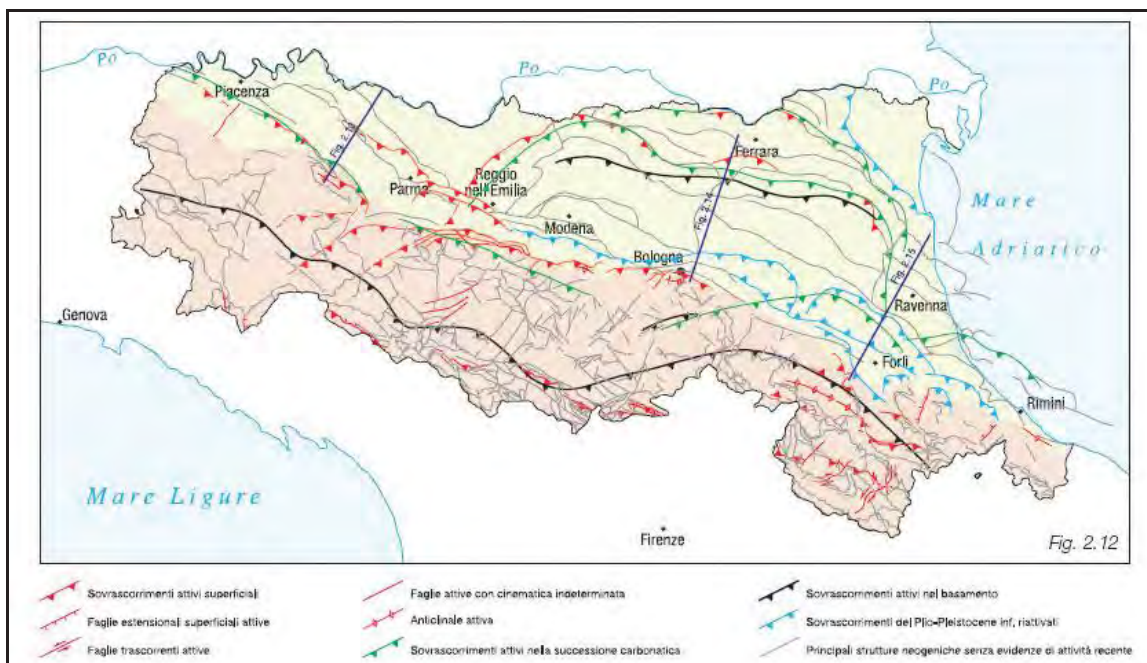


Figura 2.1-16

Principali strutture attive presenti in Emilia Romagna – scala grafica

(da Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna – Note illustrative)

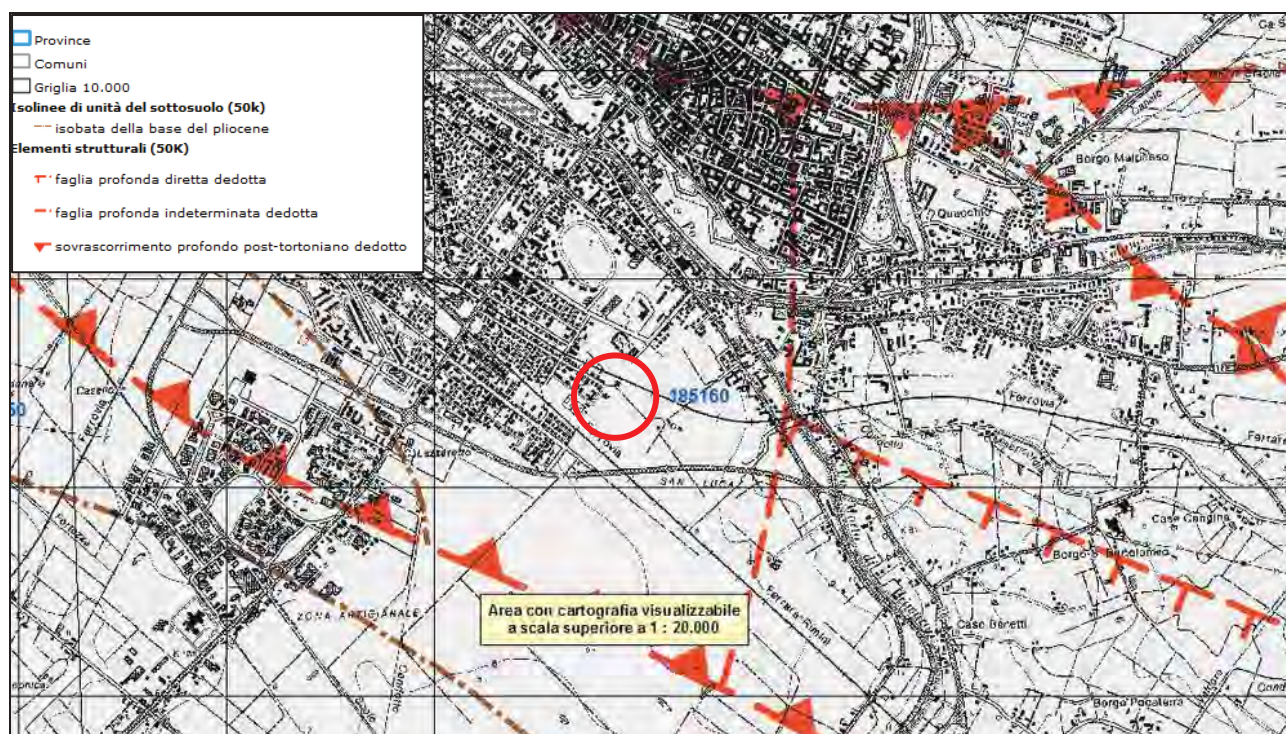


Figura 2.1-17

Stralcio Carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna – scala grafica

(da Cartografia Geologica della Regione Emilia Romagna – Servizio geologico sismico e dei suoli)

2.2. Storia geologica del territorio

Per quanto riguarda la situazione geologica locale i dati bibliografici, nello specifico la carta di pianura della Regione Emilia-Romagna, evidenziano come il sito sia ubicato in corrispondenza di una zona caratterizzata da depositi di piana inondabile.

Per quanto riguarda la litologia di superficie, in base alle cartografie disponibili, l'area di studio risulta posta in corrispondenza di argille, come si evince dagli stralci della Tavola Q.C.0 del P.T.C.P. della Provincia di Ferrara e dalla Carta di Litologia di superficie del P.S.C. di Ferrara (2003) riportati nelle figure 2.2-3 e 2.2-4.

In base a quanto riportato nelle note relative alla cartografia geologica interattiva del sito della Regione Emilia Romagna, dal punto di vista geologico l'area in esame è posta a nord del Sintema emiliano - romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna – unità di Modena (AES8a), in un'area cartograficamente non coperta con gli stessi criteri.

Più in generale, si riporta di seguito la descrizione geologica dell'unità tettonico-stratigrafica "Pianura Padana" tratta dallo studio "Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'Appennino Tosco-Emiliano-Romagnolo e Val Padana" a cura della Regione Emilia-Romagna, della Regione Toscana e dell'Università di Siena: *"La Pianura Padana costituisce il riempimento sedimentario dell'avanfossa dell'attuale orogene appenninico, il cui substrato è costituito dalle falde tettoniche che formano la parte sepolta della catena. Le caratteristiche sedimentologiche e stratigrafiche delle successioni padane post-tortoniane sono descritte da un'ampia letteratura (e.g. Ghielmi et alii, 2010 e riferimenti), per lo più basata sull'interpretazione dei dati di sottosuolo (perforazioni profonde ed indagini sismiche). Si tratta di numerose formazioni, spesso di tipo torbido, riferibili ad un ambiente di avanfossa piuttosto profonda (e.g., Bagnolo, Fusignano, Canopo,*



Porto Corsini, Porto Garibaldi, Carola). E' solo dal Pleistocene medio che subentra una deposizione costiera e continentale (Formazione di Ravenna o Sabbie Gialle e Supersintema Emiliano-Romagnolo) che testimonia il rapido colmamento dell'avanfossa. In alcuni casi la sedimentazione è avvenuta in bacini satellite (piggy-back basins), formati sopra alle falde tettoniche in movimento verso NE (e.g., Cortemaggiore e Castell'Arquato). Un aspetto importante è l'enorme spessore della successione Plio-Quaternaria, che localmente eccede i 6 km (Fig. 2.2-5). Ghielmi et alii (2010) affermano che l'avanfossa padano-adriatica era principalmente alimentata dai materiali erosi dalla catena alpina, trasportati dai paleo-fiumi lombardi e veneti come l'Adda, il Mincio e l'Adige. Dal Miocene superiore al Pleistocene inferiore l'Appennino settentrionale, invece, fu una sottile fascia di terra emersa, con rilievo poco accentuato (Bartolini, 1999, 2003). Nonostante ciò, il volume dei sedimenti accumulati nella Pianura Padana suggerisce che negli ultimi 5 milioni di anni sarebbero stati erosi in media quasi 1500 m di copertura dalla parte emersa dell'Appennino, di cui forse 1 km nel solo Quaternario (Bartolini et alii, 1996; Bartolini, 1999). Localmente, tale smantellamento può essere stato molto più accentuato. Nell'Appennino romagnolo, le paleo-temperature raggiunte dalle torbiditi mioceniche (Marnoso Arenacea), dedotte dalla riflettanza della vitrinite e dalle tracce di fissione dell'apatite, rivelano che tali unità, ora affioranti, avrebbero perso sino a 4500 metri di copertura dal Messiniano superiore (Zattin et alii, 2000; Cerrina Feroni et alii, 2001). Tale forte erosione contrasta con l'attuale accentuato rilievo appenninico, e con il fatto che i maggiori rilievi della catena (tra cui il M. Cimone, il M. Cusna ed il M. Falterona) sono impostati sulle litologie arenacee delle Unità toscane, assai poco resistenti all'erosione. L'apparente contraddizione può essere risolta invocando un cospicuo sollevamento recente della catena, particolarmente accentuato dal Pleistocene medio, in grado di compensare lo smantellamento del rilievo. Le conseguenze di tale fenomeno sono peraltro messe in evidenza da molteplici indicatori geomorfologici (e.g., Argnani et alii, 1997, 2003; Cerrina Feroni et alii, 1997, 2001; Bartolini, 1999, 2003; Balestrieri et alii, 2003)."

Supporti grafici:

- Figura 2.2-1. Sezione geologica del sottosuolo tra il margine appenninico e la Pianura Padana
- Figura 2.2-2. Stralcio Carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna
- Figura 2.2-3. Stralcio della tavola Q.C.O. – Litologia di superficie – P.T.C.P. della Provincia di Ferrara
- Figura 2.2-4. Stralcio Carta Litologia di Superficie – P.S.C. Comune di Ferrara (2003)
- Figura 2.2-5. Carta della profondità della base della successione Plio-Quaternaria nell'avanfossa

Padano-Adriatica

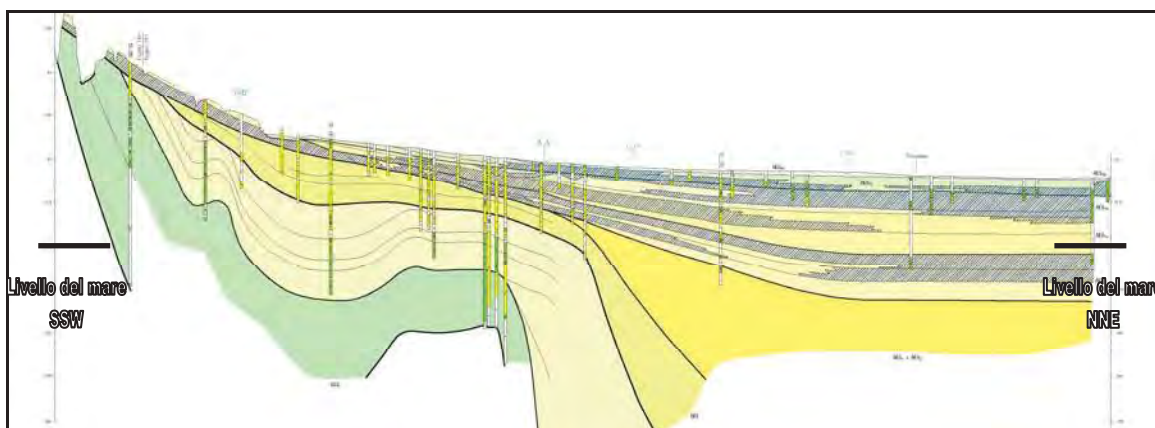


Figura 2.2-1

Sezione geologica del sottosuolo tra il margine appenninico e la Pianura Padana

(da Regione Emilia Romagna – Servizio geologico, sismico e dei suoli)

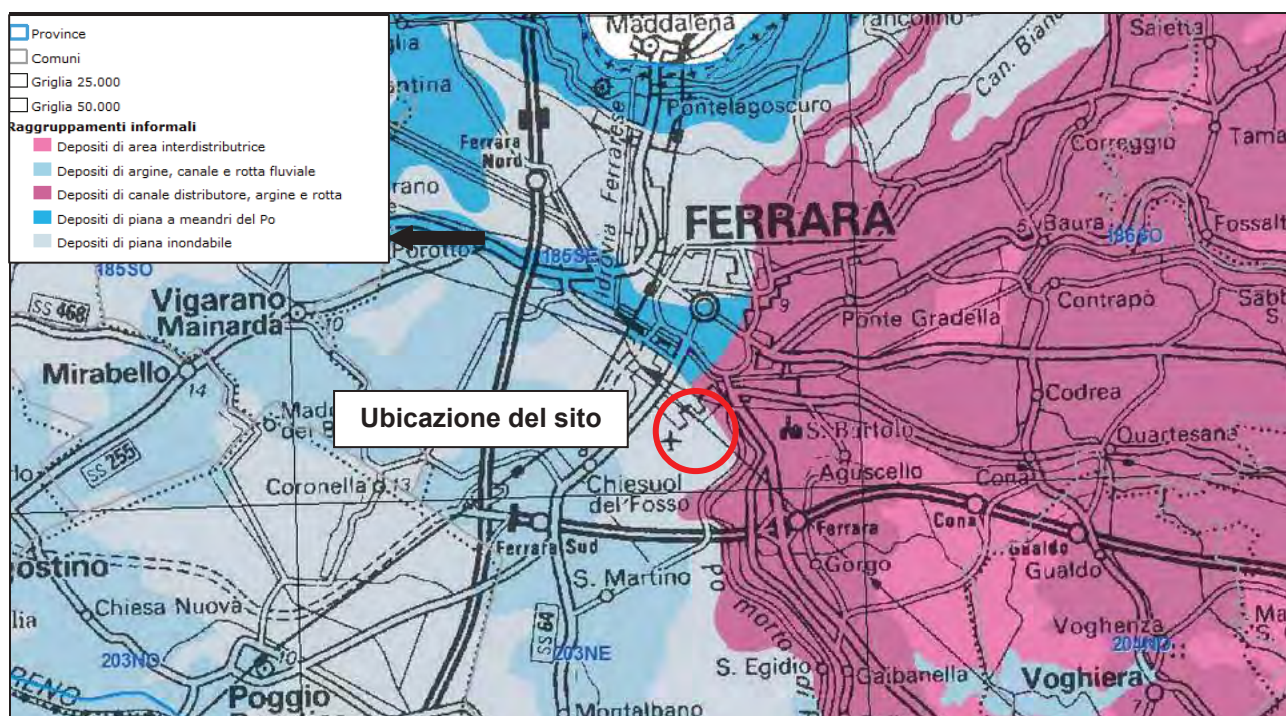


Figura 2.2-2

Stralcio Carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna – scala grafica

(da Cartografia Geologica della Regione Emilia Romagna – Servizio geologico sismico e dei suoli)

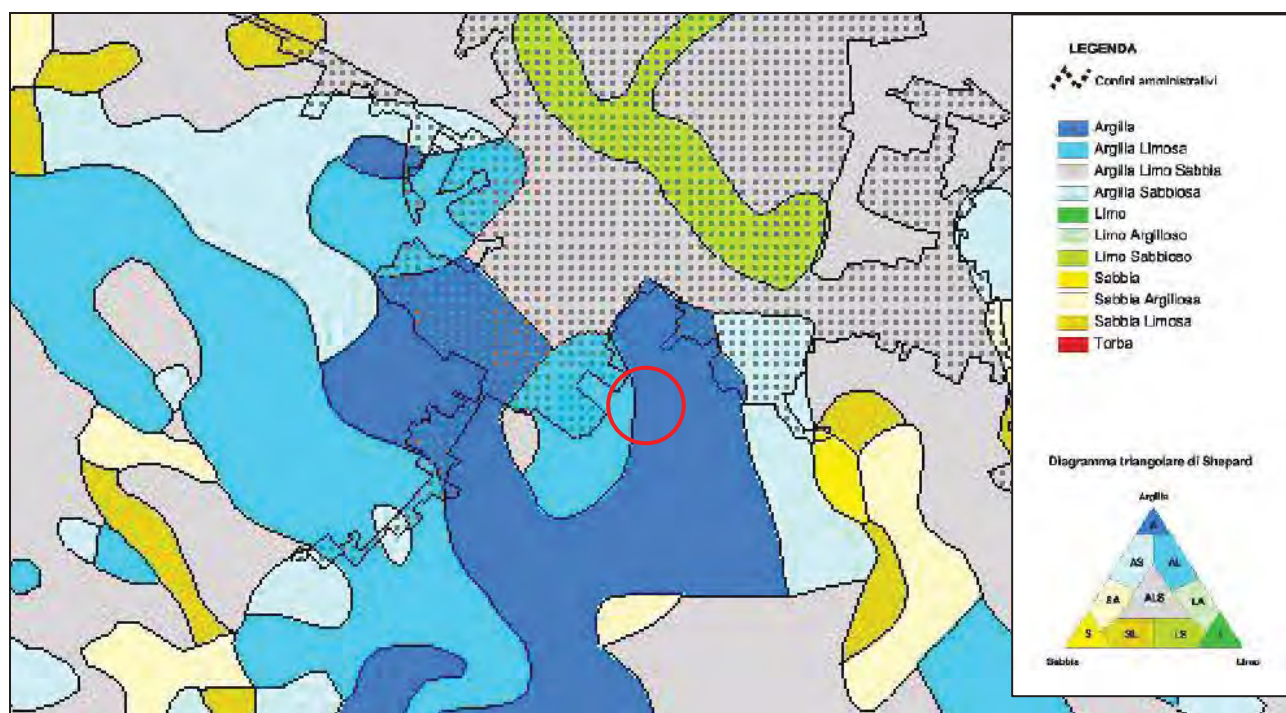


Figura 2.2-3

Stralcio della tavola Q.C.O. – Litologia di superficie – P.T.C.P. della Provincia di Ferrara

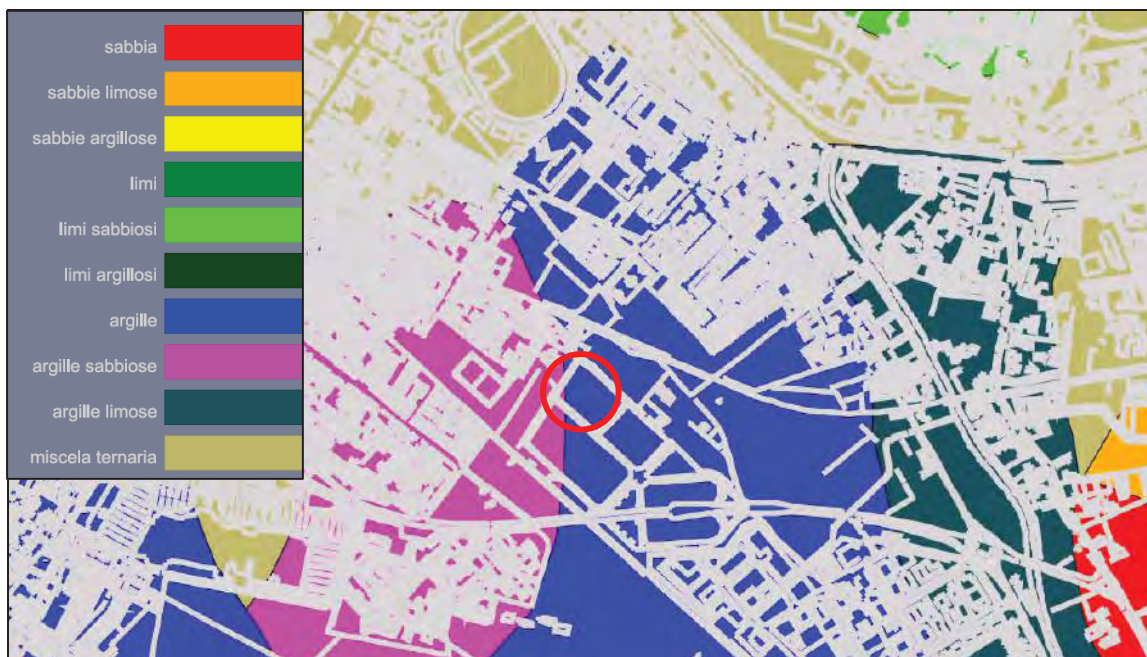


Figura 2.2-4

Stralcio della tavola 1/02.15 –Litologia di superficie – Quadro Conoscitivo – Analisi geologiche - P.S.C. Ferrara

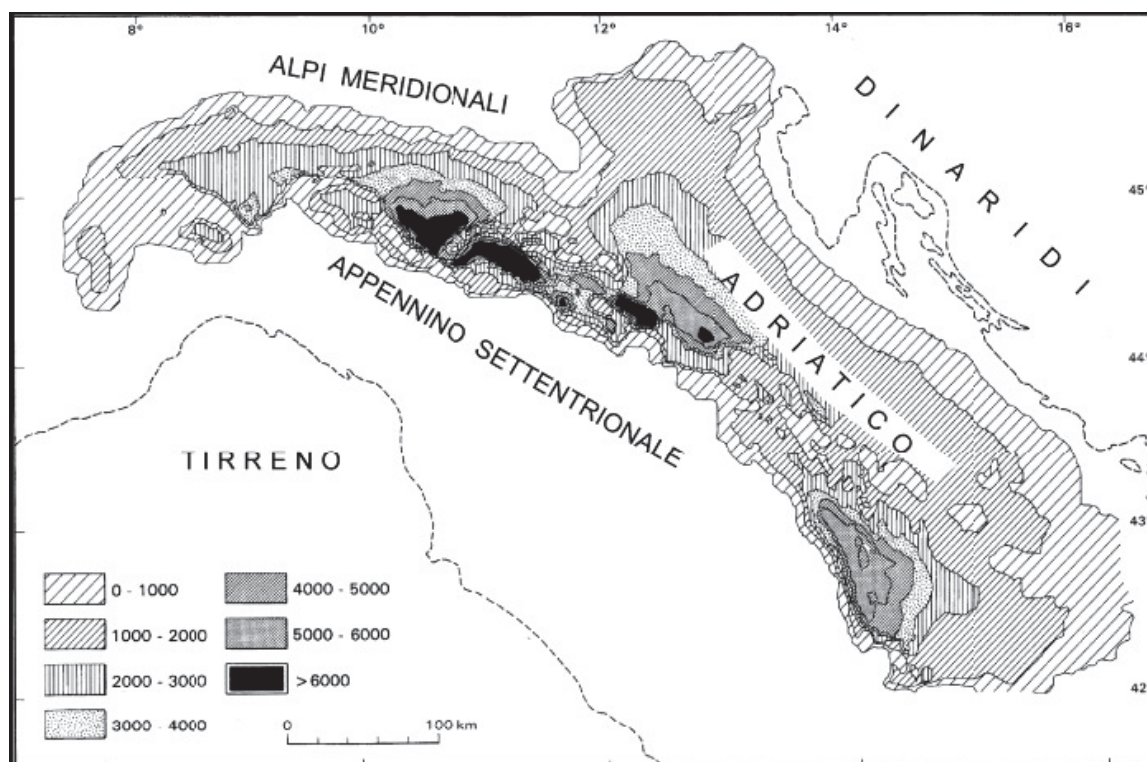


Figura 2.2-5

Carta della profondità della base della successione Plio-Quaternaria nell'avanfossa padano-adriatica. Gli intervalli tra le isobate, identificati dai simboli in legenda, sono espressi in metri (modificato da Bartolini et alii, 1996).

2.3. Forme del terreno e caratteri geomorfologici

L'area oggetto di studio è localizzata nella bassa Pianura Padana e, quindi, la lettura dei caratteri geomorfologici può essere effettuata utilizzando i supporti cartacei a disposizione, integrati dalla conoscenza della zona derivante dall'esecuzione delle indagini riportate e descritte nella presente e di altre effettuate nei pressi.

Dall'analisi delle cartografie disponibili risulta che il sito di studio è localizzato all'interno di un'area suborizzontale, con quote prossime a + 7.20 mt rispetto al l.m.m. Come si vedrà in seguito, l'analisi delle indagini geognostiche fornite, eseguite esternamente all'area di studio, evidenzia una prevalenza di sedimenti originatisi in seguito ad eventi a bassa o nulla energia idrodinamica (depositi alluvionali), caratterizzati da depositi coesivi e, in corrispondenza di alcune indagini, anche coesivo-organici, localmente interrotti da lenti di sedimenti originatisi in seguito ad eventi a medio-alta energia idrodinamica di deposizione fluviale, caratterizzate da depositi coesivo-granulari e granulari.

In figura 2.3-5 si riportano i grafici con gli andamenti della resistenza alla punta delle prove analizzate, utili per evidenziare i cambiamenti litologici in profondità.

Le caratteristiche sopra descritte si possono leggere in parte anche sulla Carta Geomorfologica della Pianura Padana nella quale, nella zona in cui è inserita l'area oggetto della presente, si rilevano tratti di pianura alluvionale limosi ed argillosi, tratti di aree depresse in pianura alluvionale e tracce di un dosso fluviale particolarmente pronunciato (altezza > 2 mt, pendenza longitudinale < 1‰).

Dallo stralcio della Carta Geomorfologica di dettaglio della Provincia di Ferrara si osserva come, nello specifico, il sito in oggetto risulti localizzato in un'area priva di particolari elementi geomorfologici.

Il tutto è confermato anche dalla Tavola Geomorfologia del P.T.C.P. della Provincia di Ferrara e dalla Carta Geomorfologica del P.S.C. di Ferrara, delle quali si riportano stralci in figura 2.3-3 e 2.3-4 e dalle quali si evidenzia l'assenza di elementi particolari.

Supporti cartografici

- Figura 2.3-1. Carta Geomorfologica della Pianura Padana – scala 1:250.000
- Figura 2.3-2. Carta Geomorfologica della Provincia di Ferrara - scala 1:10.000
- Figura 2.3-3. Stralcio della Tavola Q.C.0.1 - Geomorfologia – P.T.C.P. della Provincia di Ferrara
- Figura 2.3-4. Stralcio della Tavola 1/02.16 – Carta Geomorf. – Quadro Conoscitivo - P.S.C. Ferrara
- Figura 2.3-5. Grafici andamento resistenza alla punta delle prove analizzate

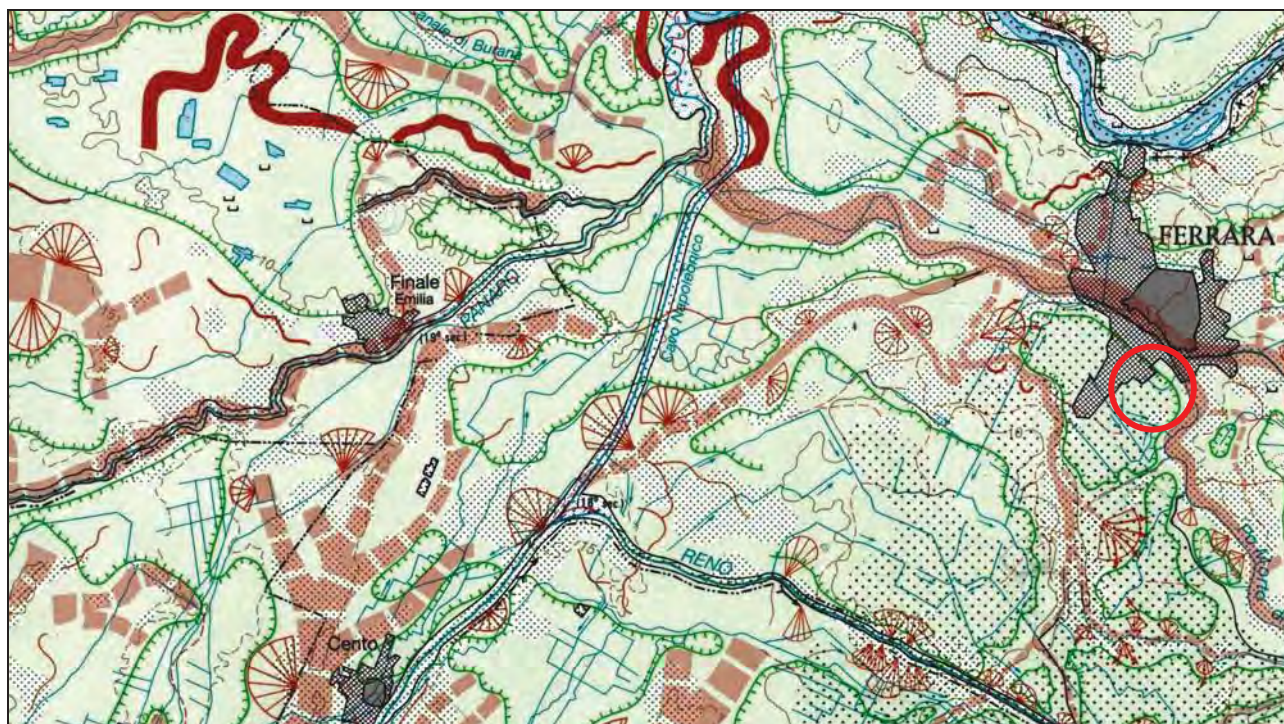


Figura 2.3-1
Stralcio della Carta Geomorfologica della Pianura Padana
Scala 1:250.000



Figura 2.3-2
Stralcio della Carta Geomorfologica della Provincia di Ferrara
Scala 1:10.000

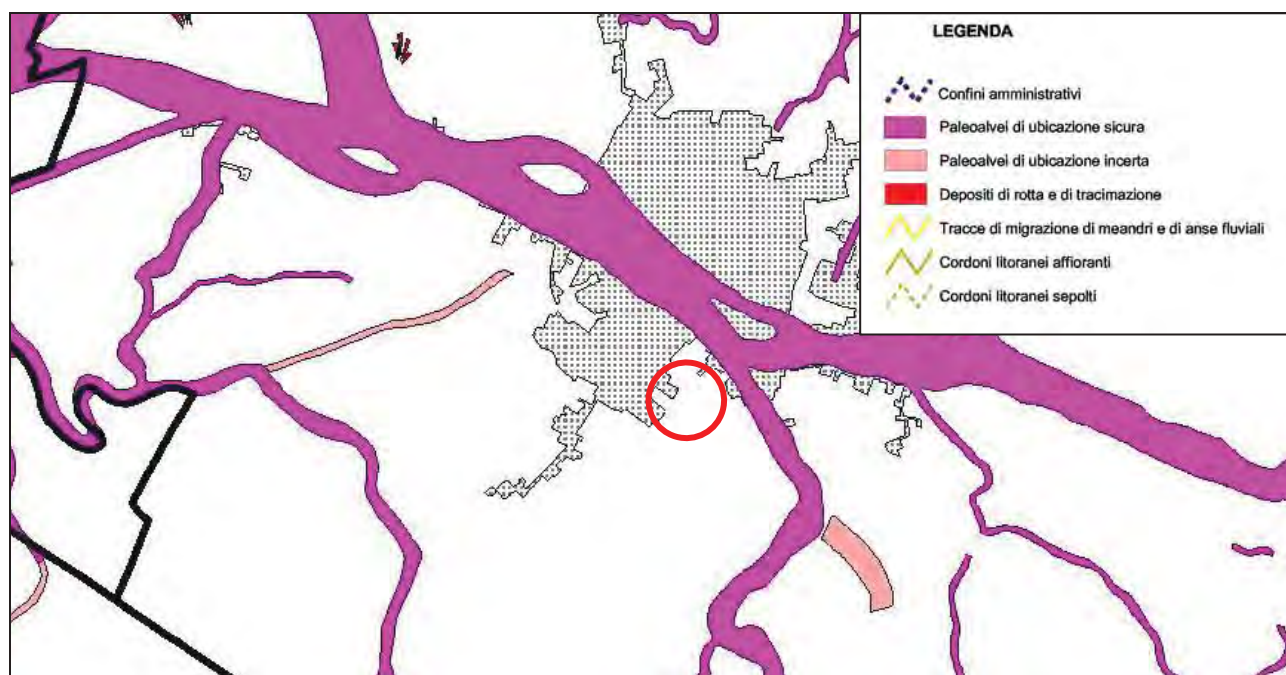


Figura 2.3-3

Stralcio della Tavola Q.C.0.1 - Geomorfologia – P.T.C.P. della Provincia di Ferrara

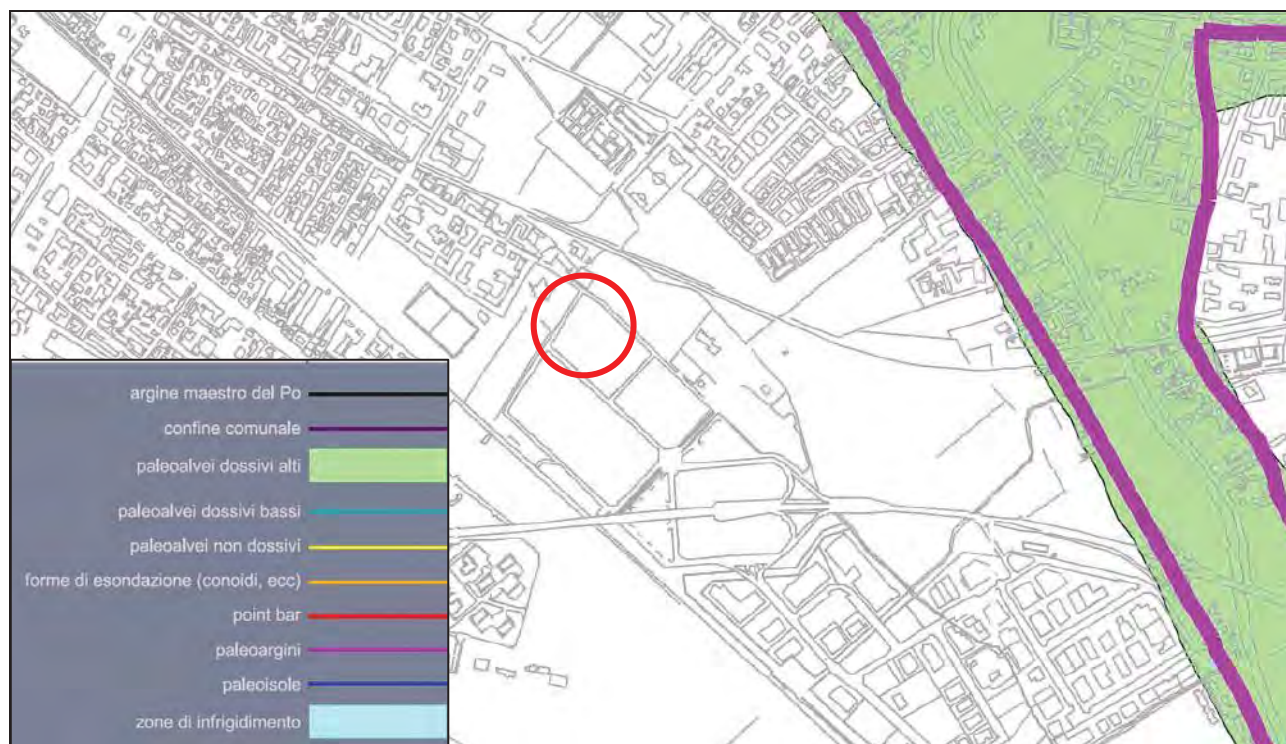


Figura 2.3-4

Stralcio della Tavola 1/02.16 - Carta Geomorfologica – Quadro Conoscitivo – Analisi geologiche - P.S.C. Ferrara

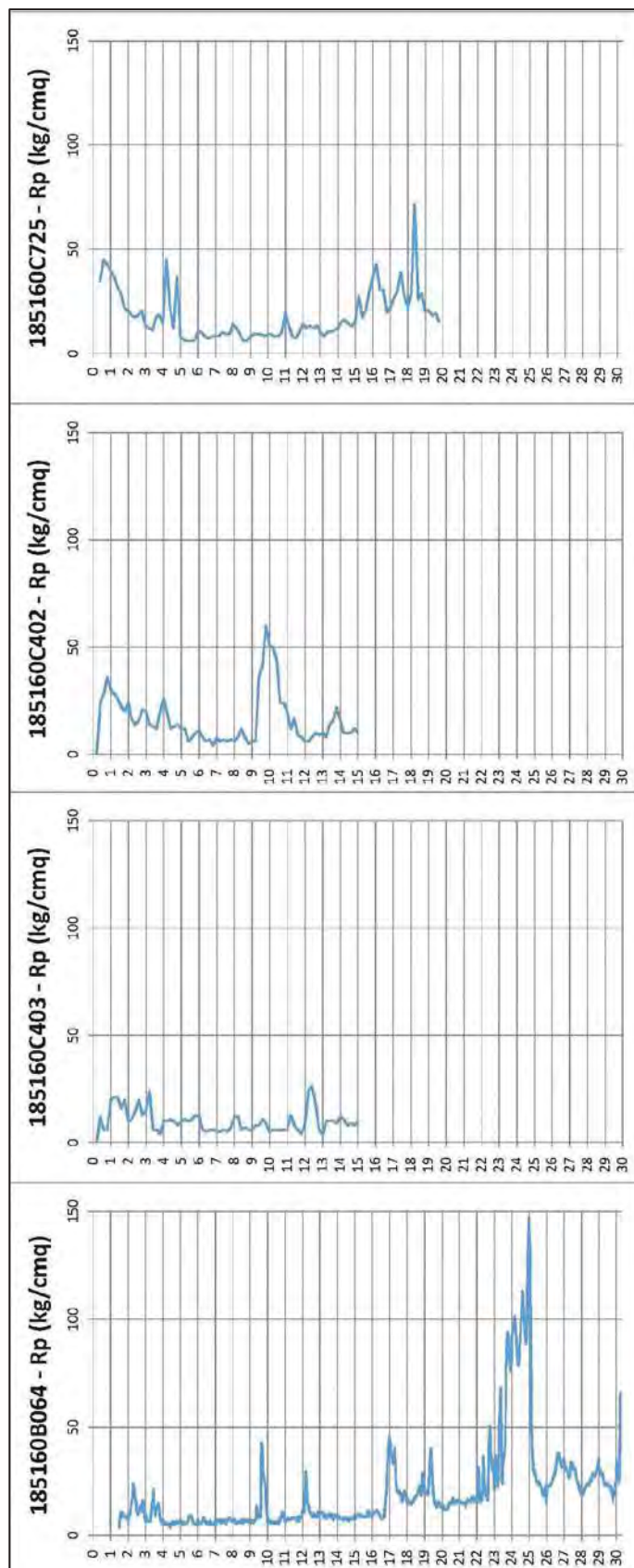


Figura 2.3-5
Grafici andamenti resistenze alla punta
delle prove analizzate

2.4. Subsidenza

In base agli studi messi a disposizione da Arpa, si evidenzia come l'area di studio ricada in corrispondenza di una zona con velocità a movimento verticale del suolo variabile da mm -2.5 a mm 0 all'anno, considerando le isocinetiche relative al periodo di tempo 2006/2011, come si evince dalla cartografia in figura 2.4-1.

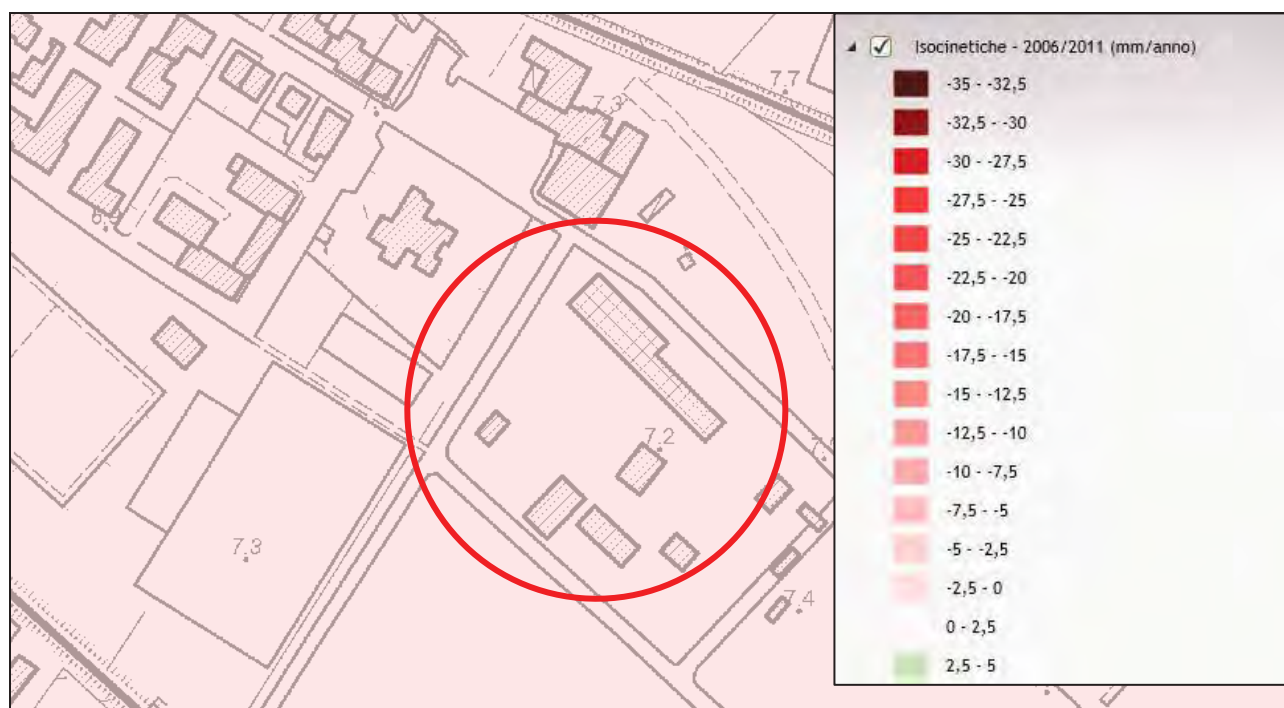


Figura 2.4-1

Stralcio della cartografia delle velocità di movimento verticale del suolo; elaborata dall'ARPA Emilia-Romagna
(<http://serviziis.arpa.emr.it/Geovistaweb/default.aspx>)

2.5. Rischio geologico

L'area oggetto di studio ricade all'interno di un vasto territorio di pianura, nel quale non sussistono quindi rischi legati a movimenti di versante, erosioni o sismicità connessa a fenomeni vulcanici. Per quanto riguarda i rischi legati a problematiche di tipo idrogeologico e sismico, si rimanda ai paragrafi specifici di seguito riportati.

2.6. Caratteri idrogeologici e idrologici

Ad interpretazione della situazione idrogeologica locale va innanzitutto segnalato come, dal punto di vista idrogeologico, si intenda acquifero *“una formazione idrogeologica permeabile che permette il deflusso significativo di una falda idrica sotterranea e la captazione di quantità apprezzabili d'acqua con mezzi economici”*.

In base alla definizione sopra riportata, la falda deve quindi avere un deflusso, il quale dovrà essere caratterizzato da spostamenti a prevalente componente orizzontale. Tale definizione è assunta dalla Delibera del 4 Febbraio 1977 che definisce *“falda superficiale”* un serbatoio d'acqua sotterranea che ha contatti diretti con le acque di superficie, presumendone quindi un flusso.

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	--	---	--

In base alla conoscenza della zona da parte dello scrivente e, con il supporto di informazioni bibliografiche, il livello massimo della falda è stata ipotizzata a mt 1.70 da piano campagna.

Non vi sono comunque dati specifici e, anche nelle schede delle prove fornite, i livelli non sono stati indicati. Informazioni più precise e comunque veritiere, potranno essere assunte mediante indagini o monitoraggi in sito. Viste le caratteristiche litologiche, trattasi probabilmente principalmente di acqua di saturazione e non di falda in senso stretto.

Per quanto riguarda le acque di superficie, va evidenziata la presenza dello Scolo Mambro, in parte tubato, ubicato in direzione est ad una distanza di circa mt 690, del Po Morto di Primaro, ubicato in direzione nord-est, ad una distanza di circa mt 670 e del Po di Volano, ubicato in direzione nord-est ad una distanza di circa mt 740. I corsi d'acqua sopra elencati sono evidenziati e visibili nello stralcio della Carta Idrografica del bacino Burana-Volano-Canal Bianco di Figura 2.6-3. Viste le loro distanze dal sito in esame non possano concorrere direttamente nella regimazione della falda o acqua di saturazione nel breve e medio periodo.

Dall'osservazione della Carta delle Aree storicamente allagate, ottenuta dall'elaborazione dei dati bibliografici a disposizione, si evince come l'area in esame non sia stata soggetta ad allagamenti nel tempo.

Supporti Grafici e Cartografici:

- Figura 2.6-1. Schema di identificazione del sistema acquifero
- Figura 2.6-2. Schema movimento dell'acqua nel sottosuolo
- Figura 2.6-3. Stralcio Carta Idrografica del bacino Burana-Volano-Canal Bianco
- Figura 2.6-4. Stralcio Carta Tecnica Regionale con canali in evidenza – scala 1:10.000
- Figura 2.6-5. Stralcio Carta aree storicamente allagate – scala 1:10.000

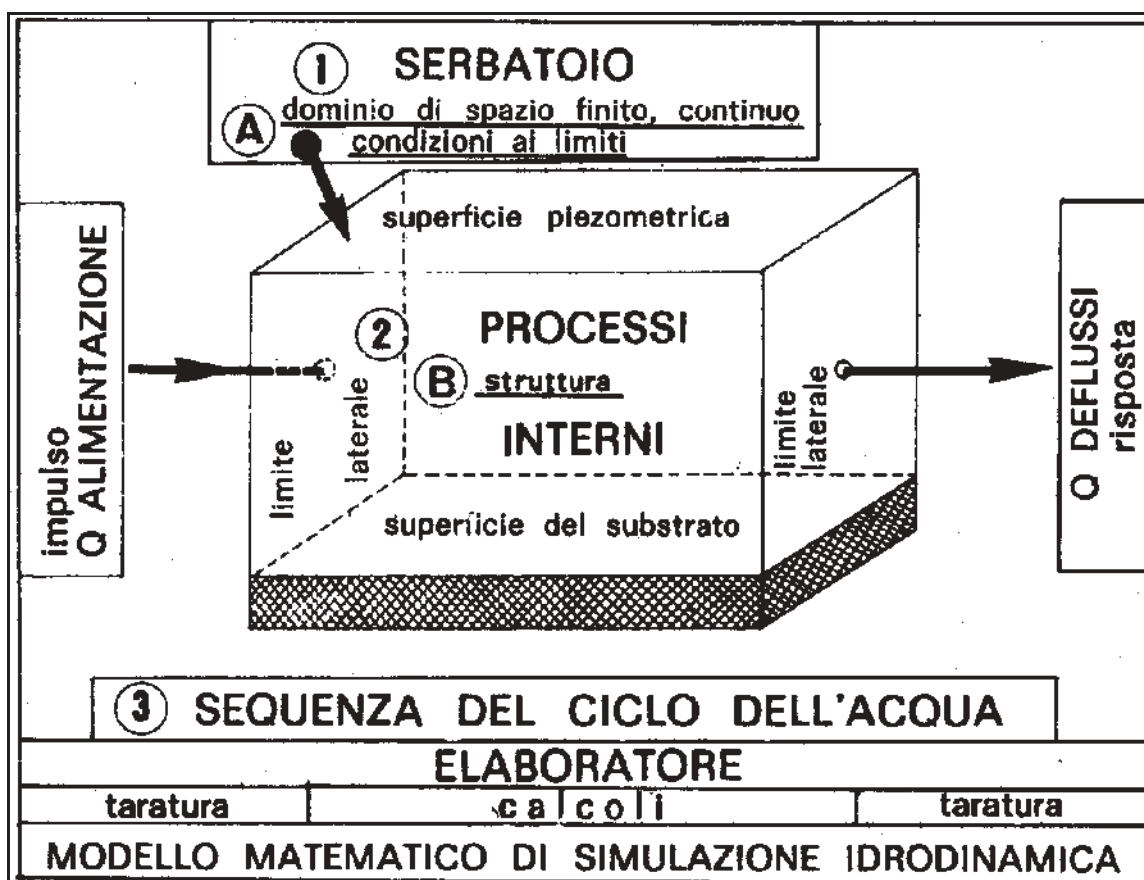


Figura 2.6-1

Schema di identificazione del sistema acquifero

direzione	verso	fenomenologia	zone di umidità interessate
prevalentemente verticale	discendente	percolazione verso la falda	zona di aerazione
	ascendente	ascensione capillare	
	alternato	oscillazioni del livello piezometrico	fascia di oscillazione
prevalentemente orizzontale	—	deflusso della falda	zona di saturazione

Figura 2.6-2

Movimento dell'acqua nel sottosuolo

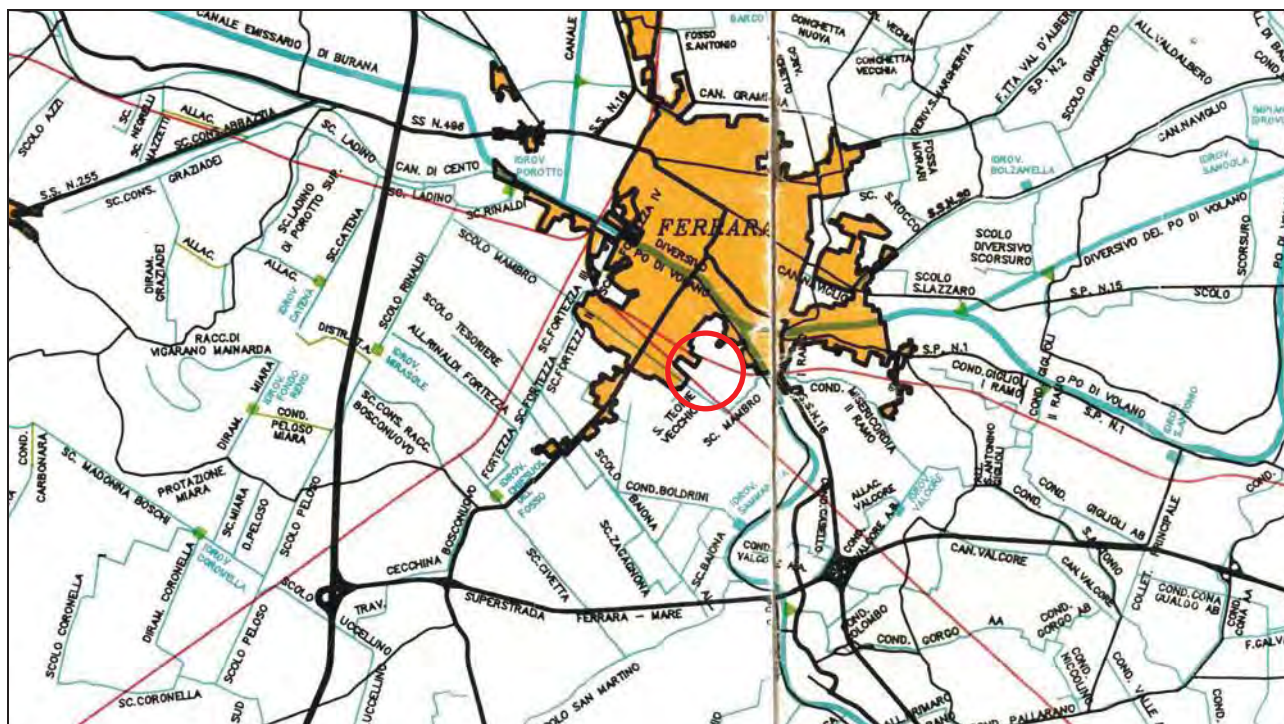


Figura 2.6-3
Stralcio Carta Idrografica del bacino Burana-Volano-Canal Bianco
 Scala 1:100.000

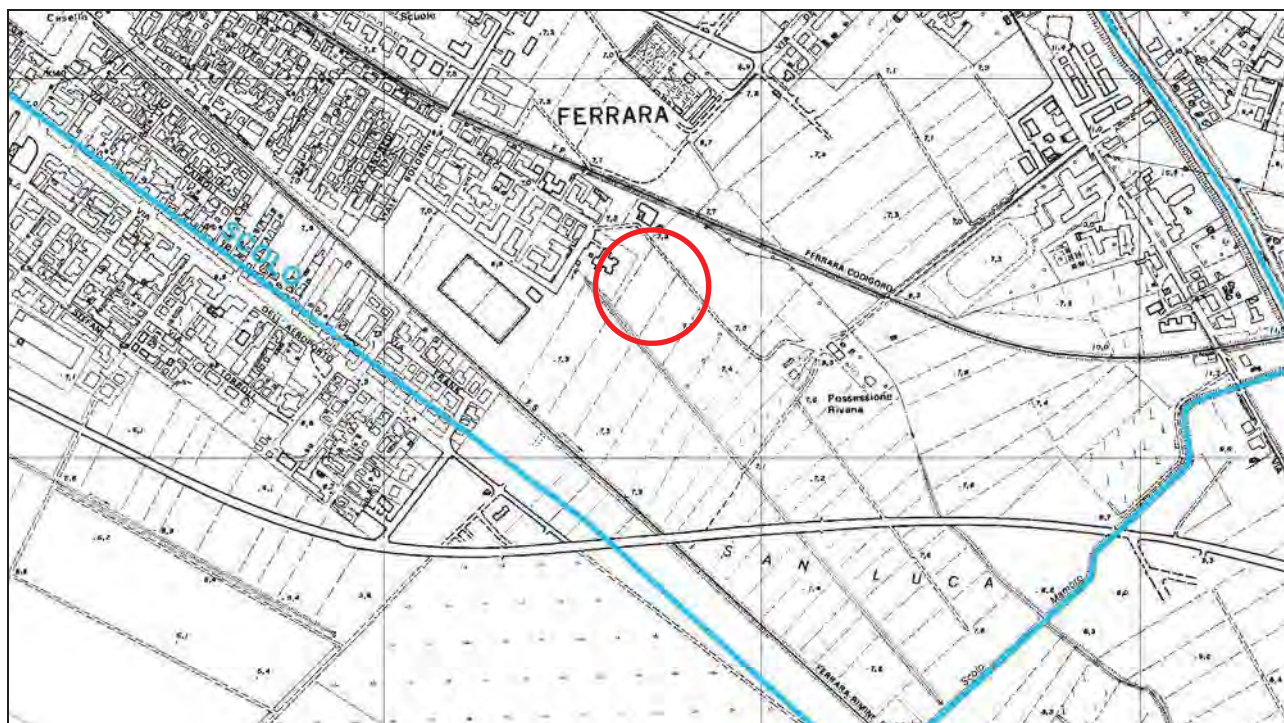


Figura 2.6-4
Stralcio Carta Tecnica Regionale con evidenziati i canali
 Scala 1:10.000

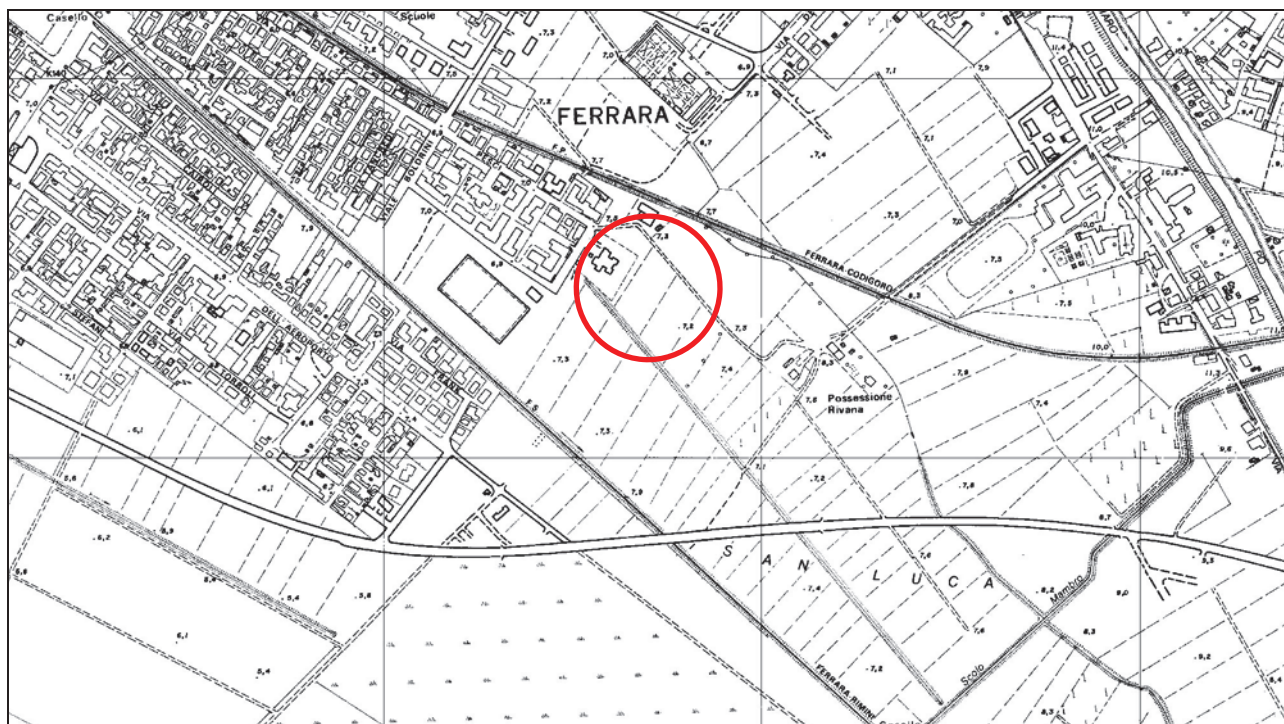


Figura 2.6-5
Stralcio Carta Aree Storicamente allagate
Scala 1:10.000

2.7. Campagna di indagini

In relazione agli scopi del presente lavoro e ai contenuti dell'incarico, vengono nella presente analizzate le risultanze di nr. 4 indagini geognostiche fornite dall'Amministrazione Comunale, ed eseguite nelle vicinanze dell'area di studio, oltre ad un'indagine geofisica eseguita in corrispondenza dell'area.

2.7.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE FORNITE ED ANALIZZATE

In relazione all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, allegato 4, cap. 2.3, le profondità delle prove risultano sufficienti per verificare l'eventuale presenza di strati spessi e continui di sabbia potenzialmente liquefacibili nell'intorno dell'area. Nello specifico, per manufatti con fondazioni superficiali, se fosse presente terreno sabbioso saturo a profondità superiori a mt 15.00/20.00 dal piano campagna, si potrebbe omettere la verifica della suscettibilità a liquefazione, in quanto il carico litostatico costituisce un fattore contrastante rispetto all'innesco di tale fenomeno. *La liquefazione è un fenomeno che si verifica in formazioni sabbiose sature d'acqua, con superfici di falda entro pochissimi metri dalla superficie. Molto difficilmente essa arriva ad interessare strati che si trovino a profondità maggiori di mt 15-20 ("La liquefazione del terreno in condizioni sismiche", da Crespellani, Nardi, Simoncini, 1988). Questa profondità corrisponde, in campo libero, a una pressione litostatica totale intorno a 0.3 – 0.4 Mpa. È molto difficile che un evento sismico riesca a produrre variazioni di pressione interstiziale Δu superiori a questo valore ("La liquefazione dei terreni" – Teoria, normativa e procedura di calcolo, Di Bernardo, 2011).*

Le profondità raggiunte sono inoltre sufficienti a fornire informazioni a supporto dell'indagine geofisica, per la determinazione della categoria di suolo.

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisr.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	---	---	--

2.7.1.1. Prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU)

Numero di indagini fornite ed analizzate: 1.

Profondità d'indagine: SCPTU-185160B064, mt 30.26 da piano campagna.

2.7.1.2. Prove penetrometriche statiche meccaniche (CPT)

Numero di indagini fornite ed analizzate: 3.

Profondità d'indagine: CPT-185160C402, mt 15.00 da piano campagna; CPT-185160C403, mt 15.00 da piano campagna; CPT-185160C725, mt 19.80 da piano campagna.

2.7.2. INDAGINE GEOFISICA

Al fine di definire la categoria di suolo del sito in esame, è stata effettuata un'indagine geofisica, mediante prova in array con tecnica MASW attiva (Multichannel Analysis of Surface Waves) e passiva (Re.Mi. – Refractor Microtremor).

Strumentazione utilizzata: la campagna di acquisizione sismica è stata effettuata utilizzando un acquisitore sismico della Sara Electronics Instruments, denominato DoReMi, composto da:

- due serie di cavi da 12 canali ciascuno, per un totale di 24 canali (frequenze variabili di acquisizione di ciascun canale da 200 a 20000 Hz);
- registratore sismico, posizionato in corrispondenza di ogni geofono, per la memorizzazione del dato ricevuto dal sensore e l'invio in modalità digitale al PC;
- convertitore analogico digitale di tipo SAR a 16 bit con una dinamica di 88dB a 10000Hz;
- interfaccia RS232 sismografo – PC.

Ditta incaricata per l'esecuzione dell'indagine geofisica: Studio Bozzolan - Via Matteotti civ. 8 – 45012 Ariano nel Polesine (RO)

Supporti cartografici e grafici:

- Immagine 2.7-1. Foto da satellite - ubicazioni indagini fornite
- Immagine 2.7-2. Foto da satellite - ubicazione profilo sismico



Immagine 2.7-1

Foto da satellite

Ubicazione indagini fornite



Immagine 2.7-2
Foto da satellite
Ubicazione profilo sismico

2.8. Campagna geognostica - Risultati

Come accennato, al fine di acquisire dati specifici del sito, è stata effettuata un'indagine geofisica e sono state analizzate una prova penetrometrica statica con piezocono sismico spinta a mt 30.26 dal piano campagna e tre prove penetrometriche statiche meccaniche spinte a mt 15.00 e a mt 19.80 dal piano campagna, tutte fornite dal Comune di Ferrara.

2.8.1. ELABORAZIONE SCPTU: CARATTERI LITOLGICI

2.8.1.1 Elaborazione SCPTU: modalità di valutazione

Per il riconoscimento della successione litostratigrafica, è stato utilizzato il metodo di Robertson 1986, tramite applicazione di un pacchetto software Geostru. Tale metodo è uno dei consigliati per le elaborazioni delle CPTU nelle zone in cui ci si è trovati ad operare.

Si riporta di seguito il grafico del tipo di comportamento di terreno (SBT) utilizzato dal metodo di Robertson 1986. Esso utilizza 12 classi di tipo di suolo, a differenza del metodo Robertson 1990 che ne utilizza 9. Inoltre il metodo è basato sulla resistenza alla punta q_c ed il rapporto di attrito R_f , mentre i grafici più recenti sono sviluppati sulla base di parametri normalizzati.

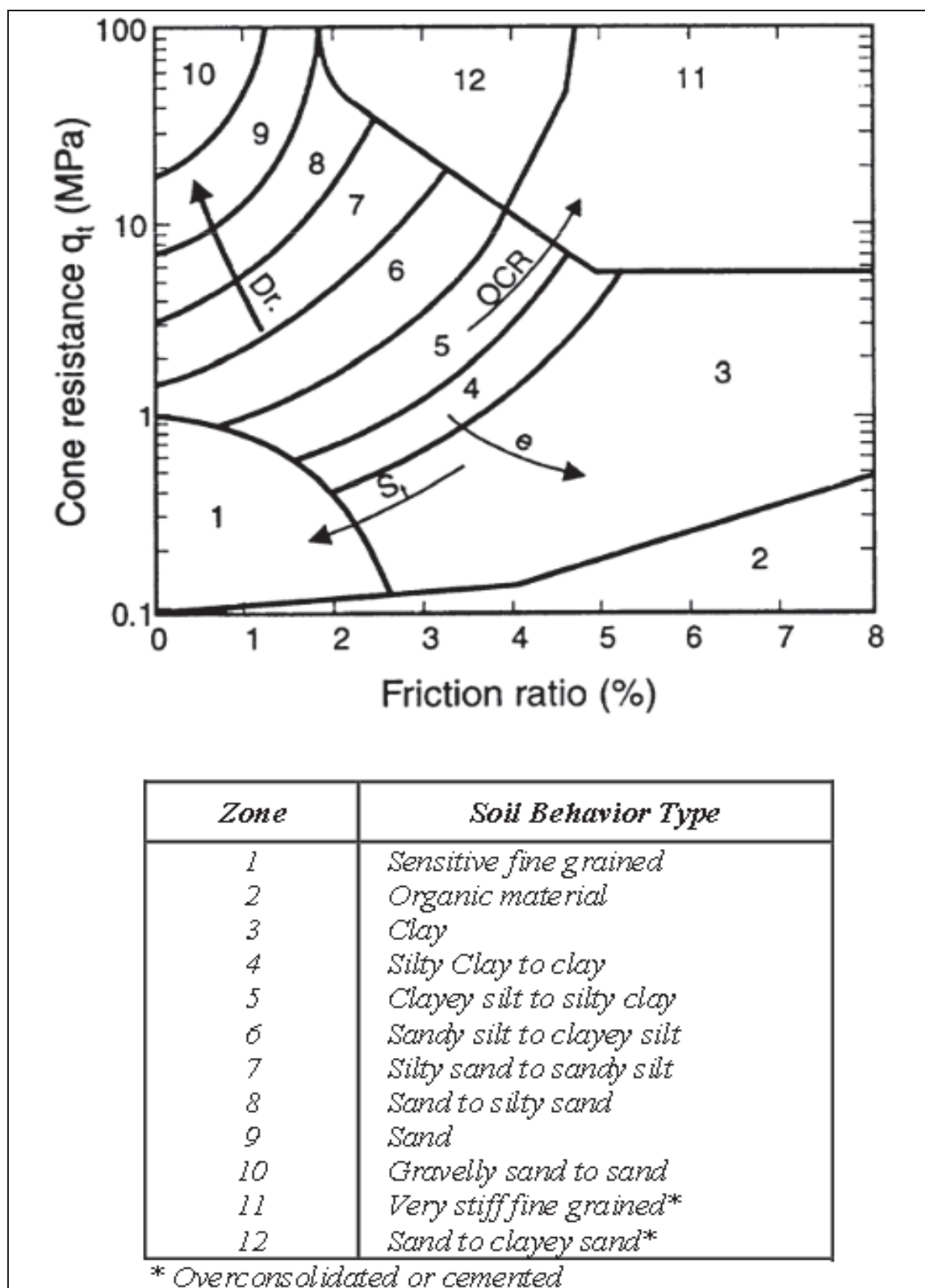


Figura 2.8.1.1-1

Grafico SBT di Robertson et al (1986) in base alla resistenza del cono CPT, q_t , e il rapporto di attrito, R_f (dove $R_f = (f_s / q_t) \text{ il } 100\%$)

2.8.1.2 Elaborazione SCPTU: definizione delle unità litotecniche

Come accennato, la zona in esame è situata all'interno della piana alluvionale originatasi in seguito alla deposizione dei materiali in sospensione nelle acque dei fiumi che attraversavano l'attuale Pianura Padana. I depositi fluviali che ne sono derivati, sono invariabilmente costituiti dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria prevalentemente fine, con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana. Per mezzo dell'elaborazione della prova, è stato possibile definire le litologie e gli strati elencati nella seguente tabella, descritti con riferimento alla prevalenza dei terreni in essi contenuti.

TABELLA 2.8.1.2-1

SCPTU -185160B064 – DESCRIZIONI LITOLOGICHE

N. strato	Profondità strato		Descrizione	Spessore	
	tetto (mt)	letto (mt)		(mt)	
1	0.00	1.50	Preforo	1.50	
2	1.50	3.37	Argille	1.87	
3	3.37	8.98	Argille	5.61	
4	8.98	9.67	Limi sabbiosi e limi argillosi	0.69	
5	9.67	11.40	Argille	1.73	
6	11.40	12.87	Limi argillosi e argille limose	1.47	
7	12.87	16.51	Argille limose – argille	3.64	
8	16.51	17.18	Sabbie limose – limi argillosi	0.67	
9	17.18	22.14	Argille limose – argille	4.96	
10	22.14	25.06	Sabbie – sabbie limose	2.92	
11	25.06	30.26	Argille limose - argille	5.20	

Le caratterizzazioni specifiche delle singole unità sono riportate nella scheda di elaborazione al paragrafo 3.4.1 della presente relazione.

Di seguito si riporta il grafico della prova elaborata per mezzo del software Static Probing.

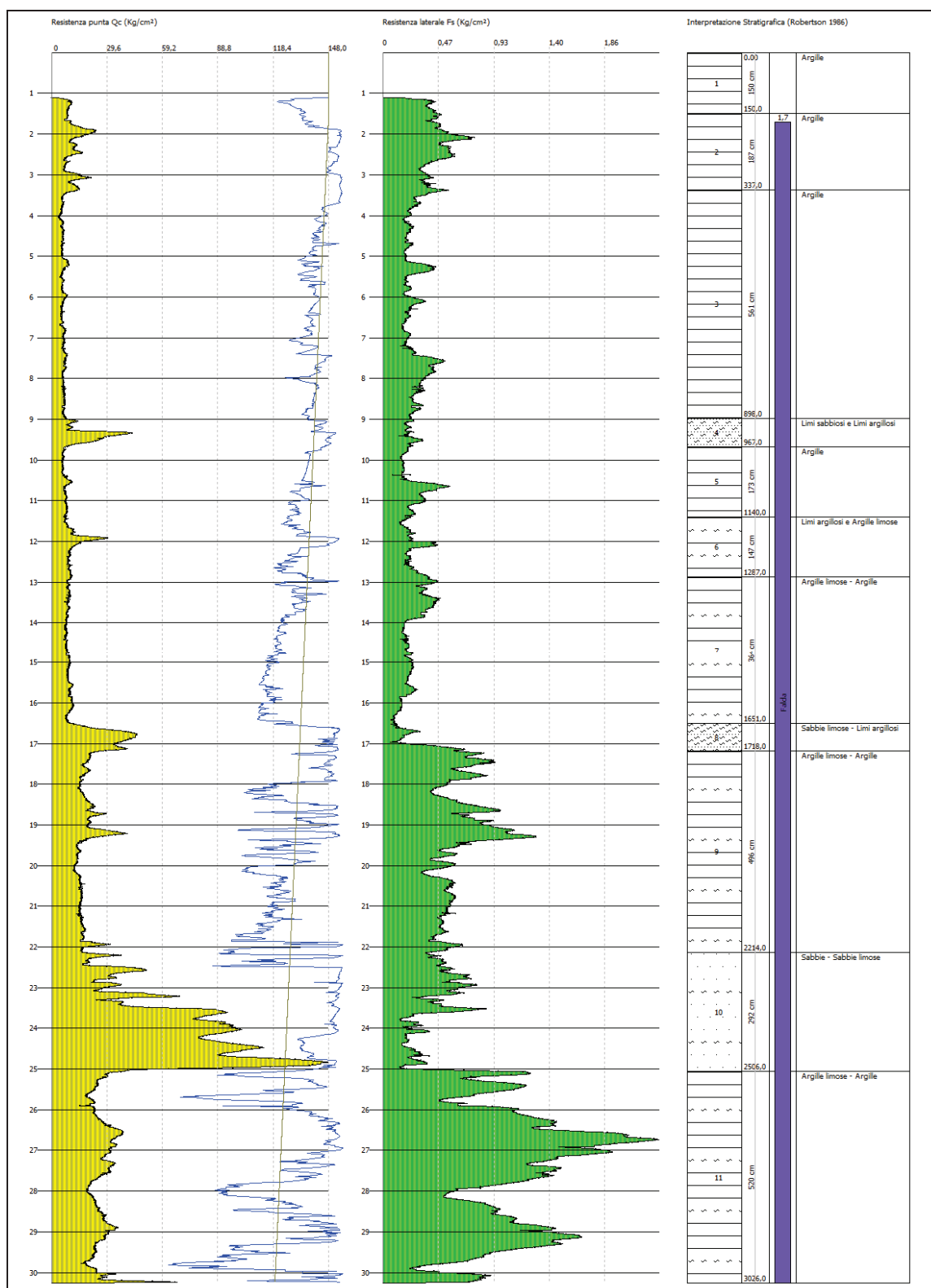


Figura 2.8.1.2-1
Grafico prova SPTU-185160B064

Supporti Grafici:

- Allegato 1. Scheda di elaborazione prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono

2.8.2. ELABORAZIONE CPT: CARATTERI LITOLOGICI

2.8.2.1 Elaborazione CPT: modalità di valutazione

Per il riconoscimento di massima delle successioni litostratigrafiche, effettuato mediante le risultanze delle prove penetrometriche statiche analizzate, sono state utilizzate le metodologie di seguito descritte.

Rapporto di Begemann 1965 – A.G.I. 1977

F = resistenza alla punta/resistenza di attrito laterale

A fini orientativi si possono indicare i seguenti valori di F , caratterizzanti terreni con diversa granulometria (valido per terreni saturi):

TERRENO	F
Torbe ed argille organiche	$F \leq 15$
Limi ed argille	$15 < F \leq 30$
Limi sabbiosi e sabbie limose	$30 < F \leq 60$
Sabbie e sabbie con ghiaia	$F > 60$

Schmertmann 1978

$R_p - R_L/R_p$

Legenda simbologie utilizzate nella colonna stratigrafica, ricavata in base alla teoria di Schmertmann:

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

Casi dubbi nell'applicazione del rapporto R_p/R_L

Si è proceduto a scelte litologiche con validità orientativa, che prevedono la possibilità di casi dubbi nell'applicazione delle teorie di Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977; tali scelte litologiche possono essere così sintetizzate:

$7 < R_p < 20 \text{ Kg/cm}^2$: possibili terreni coesivi in genere anche se $R_p/R_I < 15$

$R_p \leq 20 \text{ Kg/cm}^2$: possibili terreni coesivi anche se $R_p/R_I > 30$

$R_p \geq 20 \text{ Kg/cm}^2$: possibili terreni granulari anche se $R_p/R_I < 30$

2.8.2.2 Elaborazione CPT: definizione delle unità litotecniche

Come accennato, la zona in esame è situata all'interno della piana alluvionale originatasi in seguito alla deposizione dei materiali in sospensione nelle acque dei fiumi che attraversavano l'attuale Pianura Padana. I depositi fluviali che ne sono derivati, sono invariabilmente costituiti dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria prevalentemente fine, con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana.

Le caratteristiche litostratigrafiche esaminate per mezzo del **rapporto di Begemann (1965) – norme A.G.I. (1977)** permettono di evidenziare le sequenze litologiche di seguito descritte.

- Prova CPT-185160C402 (CPT8): da piano campagna a mt 9.20, alternanza di limi ed argille con torbe ed argille organiche e con limi sabbiosi e sabbie limose, interrotte da sottili livelli di sabbie, rilevati in corrispondenza di locali aumenti del rapporto di Begemann, nello specifico a mt 0.60 e da mt 2.80 a mt 3.20 da piano campagna; da mt 9.20 a mt 10.60, il rapporto di Begemann indica la presenza di sabbie prevalenti su limi sabbiosi e sabbie limose; da mt 10.60 a mt 15.00, massima profondità d'indagine raggiunta, sono stati individuati limi ed argille puntualmente interrotti da torbe ed argille organiche e da limi sabbiosi e sabbie limose;

- Prova CPT-185160C403 (CPT9): da piano campagna a mt 6.00, prevalenza di limi ed argille su torbe ed argille organiche e su limi sabbiosi e sabbie limose, interrotte da sottili livelli di sabbie, rilevati in corrispondenza di locali aumenti del rapporto di Begemann, nello specifico a mt 0.20 e da mt 0.80 a mt 1.20 da piano campagna; da mt 6.00 a mt 15.00, massima profondità d'indagine raggiunta, il rapporto di Begemann indica la presenza di torbe ed argille organiche prevalenti su limi ed argille, interrotte da un puntuale livello di limi sabbiosi e sabbie limose individuato a mt 12.20 da piano campagna;

- Prova CPT-185160C725 (CPT3): da piano campagna a mt 19.80, massima profondità d'indagine raggiunta, la prevalenza di limi ed argille interrotte da uno spessore di torbe ed argille organiche, rilevato da mt 1.20 a mt 2.40 e a mt 3.00 da piano campagna e da sottili livelli di limi sabbiosi e sabbie limose, rilevati in corrispondenza di locali aumenti del rapporto di Begemann.

Le caratteristiche litologiche, desunte per mezzo dell'interpretazione di **Schmertmann**, per tutte le prove meccaniche permettono di confermare in linea di massima le valutazioni effettuate con la precedente metodica, ad eccezione di un leggero incremento della componente coesivo-organica a discapito della componente coesivo inorganica e di un aumento della componente coesivo-granulare a discapito della componente coesiva, in corrispondenza della prova CPT-185160C725.

Introducendo, infine, la possibilità di **casi dubbi** nella ricostruzione litostratigrafica effettuata per mezzo del rapporto di Begemann – norme A.G.I., pur ribadendo le caratteristiche generali della successione litostratigrafica, si registra, per le tre prove, la sostituzione di parte dei livelli coesivo-organici con livelli coesivi e coesivo-granulari, la totale sostituzione dei livelli limosi con livelli granulari e la sostituzione di alcuni livelli coesivi con livelli coesivo-granulari.

In base a queste ultime valutazioni, classificate come più attendibili, viene confermata la presenza di livelli coesivo-organici, alle seguenti profondità dal piano campagna:

CPT-185160C402 (CPT8)

- a mt 5.20;
- a mt 6.60;
- a mt 7.00;
- a mt 7.40;
- da mt 8.60 a mt 9.20;
- a mt 11.80.

CPT-185160C403 (CPT9)

- da mt 0.40 a mt 0.80;
- a mt 3.20;
- a mt 3.60;
- da mt 6.00 a mt 7.80;
- a mt 8.20;
- da mt 8.60 a mt 9.00;
- da mt 9.80 a mt 11.00;
- da mt 11.40 a mt 11.80;
- da mt 12.60 a mt 13.00.

Analogamente, viene confermata la presenza di strati granulari e coesivo-granulari alle seguenti profondità dal piano campagna:

CPT-185160C402 (CPT8)

- da mt 0.20 a mt 1.60 granulare, puntuale livelli coesivo-granulari al tetto e alla base;
- a mt 1.80 coesivo-granulare;
- da mt 2.60 a mt 3.20 coesivo-granulare;
- da mt 3.60 a mt 4.00 coesivo granulare e granulare;
- a mt 4.60 coesivo-granulare;
- da mt 5.60 a mt 6.00 coesivo-granulare;
- a mt 6.80 coesivo-granulare;
- da mt 9.20 a mt 10.80 granulare, puntuale livello coesivo-granulare;
- a mt 11.60 coesivo-granulare;
- a mt 12.40 coesivo-granulare;
- a mt 13.60 granulare.

CPT-185160C403 (CPT9)

- da mt 0.20 coesivo-granulare;
- da mt 0.80 a mt 1.40 coesivo-granulare, puntuale livello granulare;
- a mt 3.00 granulare;
- da mt 12.00 a mt 12.40 coesivo granulare e granulare.

CPT-185160C725 (CPT3)

- da mt 0.20 a mt 1.80 granulare poggianti su coesivo-granulare;
- da mt 3.40 a mt 4.80 coesivo-granulare e granulare;
- da mt 7.60 a mt 8.20 coesivo-granulare;
- a mt 11.20 coesivo granulare;
- a mt 15.00 granulare;
- da mt 15.60 a mt 16.60 coesivo-granulare e granulare;
- da mt 16.80 a mt 18.80 coesivo-granulare e granulare;
- da mt 19.00 a mt 19.80 coesivo-granulare.

In sintesi, i risultati delle prove eseguite nelle zone circostanti l'area di studio, evidenziano come queste siano prevalentemente caratterizzate da terreni coesivi, localmente interrotti, in direzione est, sud ed ovest, da lenti di terreni coesivo-granulari e granulari, mentre in direzione sud-ovest da spessori, talvolta metrici, di terreni coesivo-organici; così come in parte schematizzato nelle tabelle successive.

TABELLA 2.8.2.2-1

CPT-185160C402 (CPT8) – SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA SCHEMATICA

N. strato	Profondità		Descrizione
	tetto (mt)	letto (mt)	
1	0.20	2.00	Terreni granulari; puntuali livelli coesivo-granulari e singolo livello coesivo
2	2.00	5.20	Alternanza di livelli coesivi con livelli coesivo-granulari; puntuale livello granulare
3	5.20	9.20	Prevalenza di terreni coesivi su terreni coesivo-granulari e coesivo-organici
4	9.20	10.80	Terreni granulari; puntuale livello coesivo-granulare alla base
5	10.80	15.00	Terreni coesivi; puntuali livelli coesivo-granulare, coesivo-organico e granulare

TABELLA 2.8.2-2

CPT-185160C403 (CPT9) – SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA SCHEMATICA

N. strato	Profondità		Descrizione
	tetto (mt)	letto (mt)	
1	0.20	0.80	Terreni coesivo-organici; puntuale livello coesivo-granulare al tetto
2	0.80	3.20	Prevalenza di terreni coesivi su terreni coesivo-granulari e granulari
3	3.20	3.80	Terreni coesivo-organici; puntuale livello coesivo
4	3.80	6.00	Terreni coesivi
5	6.00	13.00	Prevalenza di terreni coesivo-organici su terreni coesivi; puntuale livello coesivo-granulare e granulare
6	13.00	15.00	Terreni coesivi

TABELLA 2.8.2-3

CPT-185160C725 (CPT3) – SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA SCHEMATICA

N. strato	Profondità		Descrizione	
	tetto (mt)	letto (mt)		
1	0.20	1.80	Prevalenza di terreni coesivo-granulari su terreni granulari	
2	1.80	3.40	Terreni coesivi	
3	3.40	4.80	Alternanza di terreni coesivo-granulari con terreni granulari	
4	4.80	15.00	Terreni coesivi; puntuali livelli coesivo-granulari	
5	15.00	19.80	Alternanza di terreni coesivo-granulari con terreni granulari; puntuali livelli coesivi	

Supporti Grafici:

- Allegati 9-11. Valutazioni litologiche
- Allegati 6-8. Diagrammi di resistenza ad istogrammi

2.8.3. RISULTATI INDAGINE GEOFISICA

2.8.3.1. Tecnica in array

Come si evince dall'elaborato tecnico fornito dal tecnico incarico per l'esecuzione dell'indagine, l'acquisizione dei dati sismici è stata effettuata, per il metodo MASW, con una stesa sismica con passo intergeofonico di 3 metri e 16 geofoni utilizzando la tecnica dell'interlaccio, ottenendo un profilo sismico equivalente ad una stesa di 32 geofoni e passo 1,5 metri. Si sono acquisiti vari shot in modo da avere un maggior set di dati e poter scegliere quelli più adatti alla successiva elaborazione. La frequenza propria dei sensori è la classica e raccomandata per tale tipologia di indagini (4,5 Hz).

Per il metodo Re.Mi., invece, sulla stessa stesa utilizzata per il metodo attivo si sono realizzate due acquisizioni di sismica passiva, di 1 minuto ciascuna, concatenate, in fase di pre-processing, in un unico file di 2 minuti, in modo da colmare il "vuoto" alle basse frequenze della sismica attiva (in fase di elaborazione si sono utilizzati solo 60 secondi perché più ricchi di informazioni).

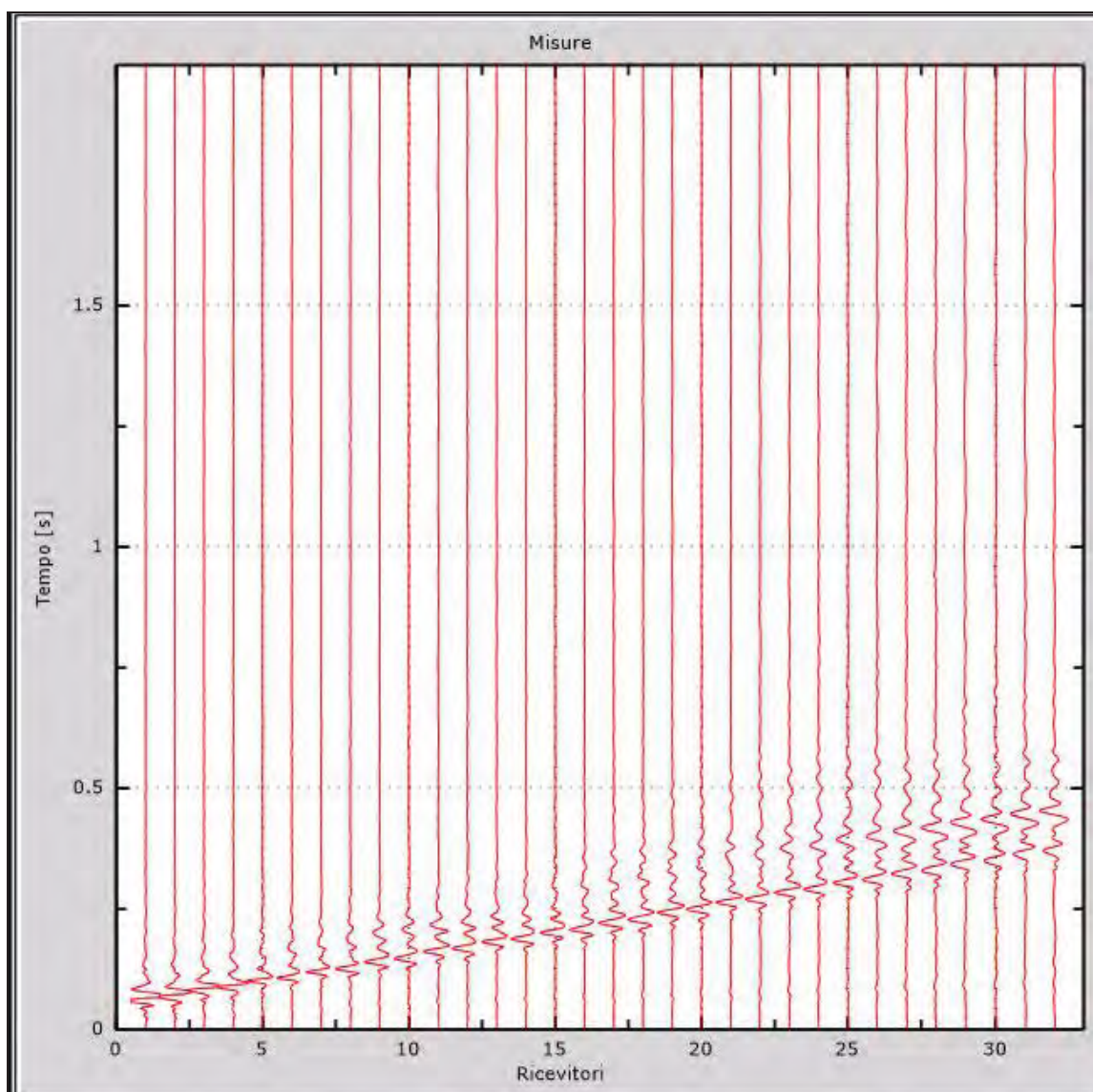


Figura 2.8.3.1-1

Tracce sperimentali indagine attiva

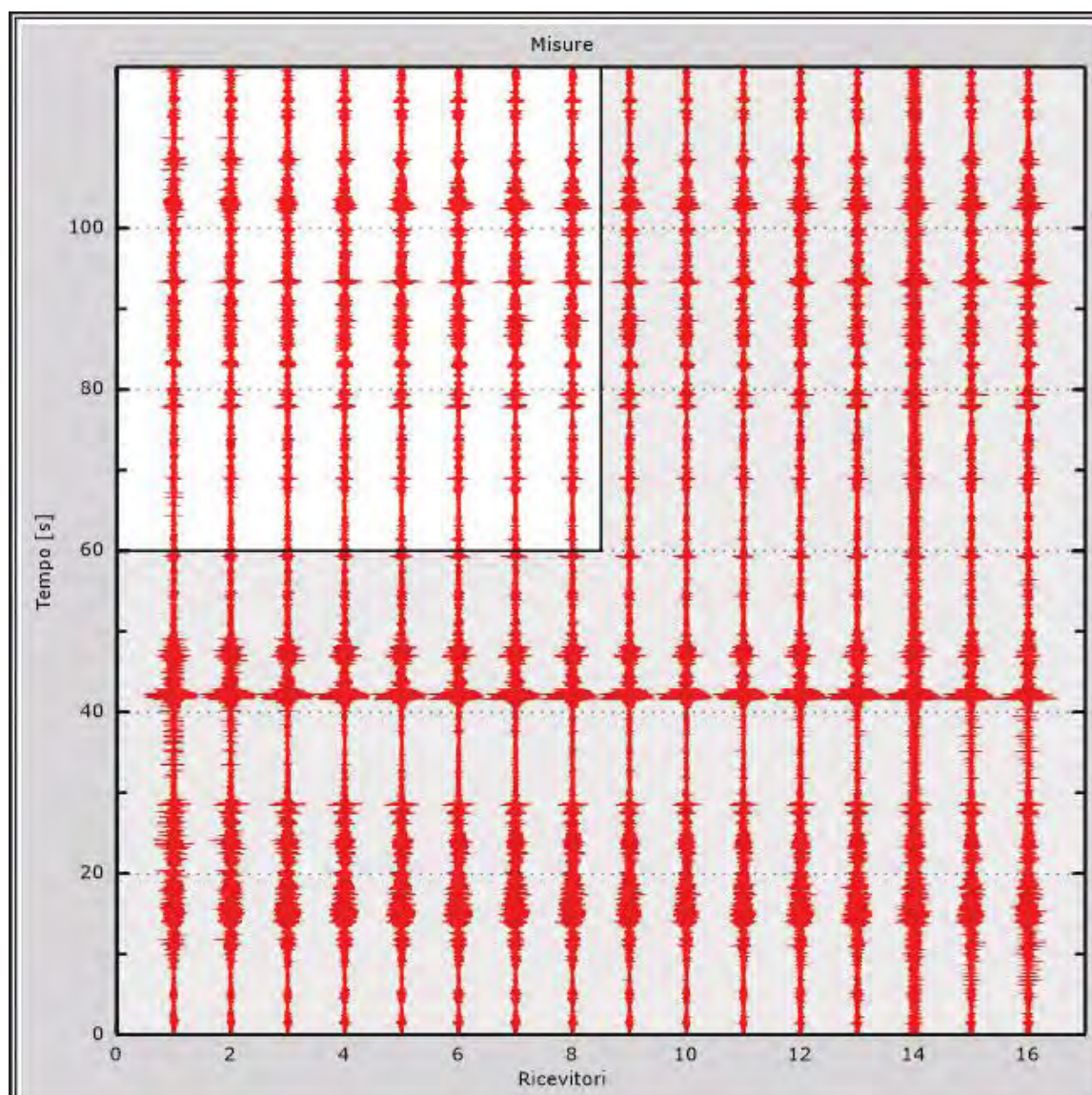


Figura 2.8.3.1-2

Tracce sperimentali indagine passiva

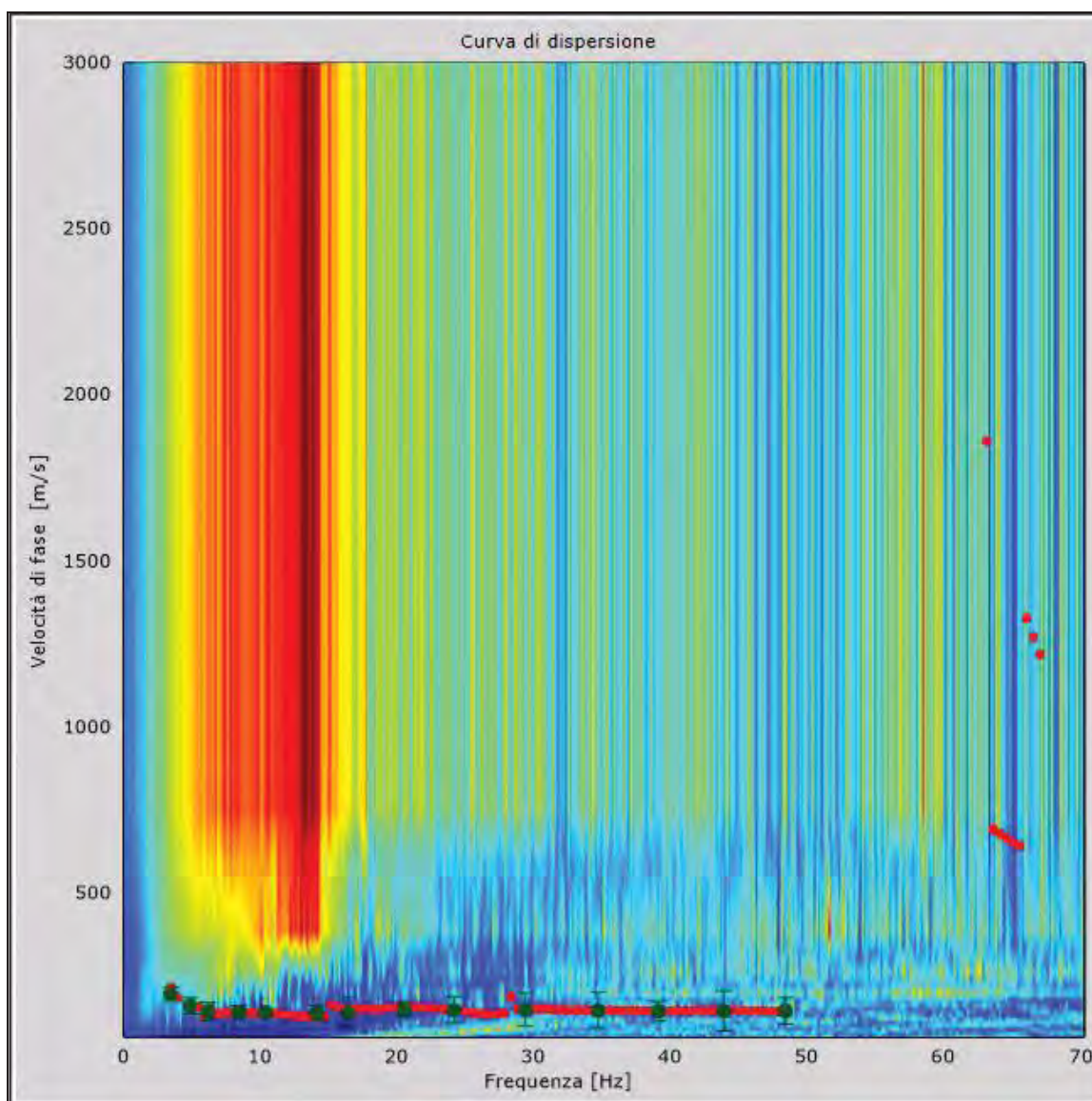


Figura 2.8.3.1-3
Curva di dispersione sperimentale

2.8.4. MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO IN BASE ALLE MISURE VS

Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti, il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di Vs, è il seguente:

TABELLA 2.8.4-1

MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO

STRATO	H (M)	z (M)	VS FIN. (M/S)	VP (M/S)	FALDA (S/N)
Strato 1	2.00	-2.00	164	341	N
Strato 2	3.00	-5.00	157	801	S
Strato 3	3.00	-8.00	140	714	S
Strato 4	4.00	-12.00	150	765	S
Strato 5	4.00	-16.00	175	892	S
Strato 6	5.00	-21.00	181	923	S
Strato 7	10.00	-31.00	231	1178	S
Strato 8	/	-∞	280	1428	S

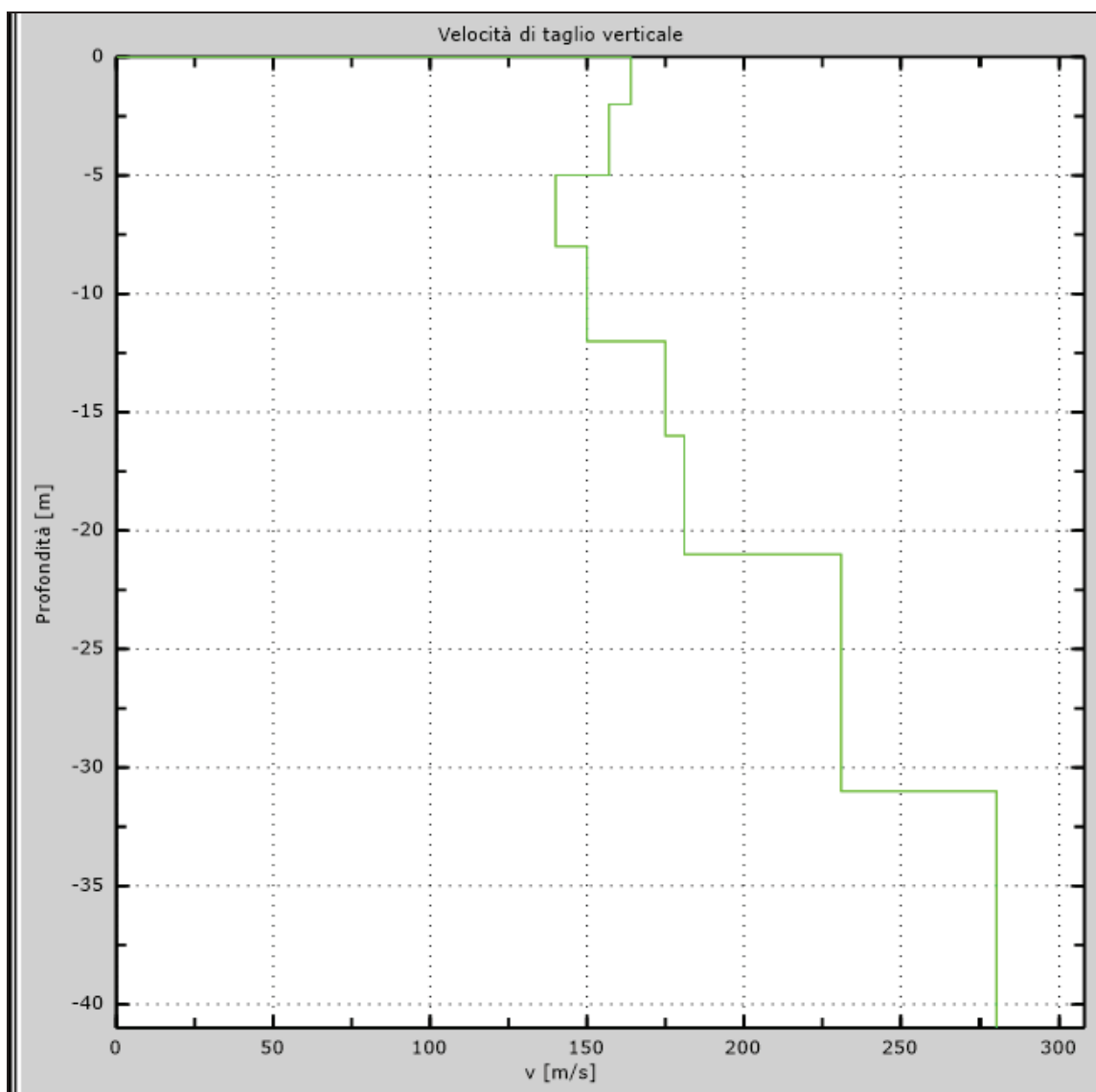


Figura 2.8.4-1

Profilo verticale di velocità di velocità delle Vs

Dall'analisi del profilo sopra riportato si rilevano alcune diminuzioni di velocità con l'aumento della profondità. A tale proposito si evidenzia che si definisce *inversione di velocità del profilo delle Vs in profondità*, una situazione litostratigrafica dove siano verificate contemporaneamente le seguenti 4 condizioni:

- un terreno rigido che in profondità sovrasta un terreno soffice con un rapporto $V_{s_{rig}}/V_{s_{sof}} > 1.5$;
- differenza fra le Vs dei due terreni > 200 m/s;
- spessore dello strato a minore velocità > 5 mt;
- Vs dello strato più rigido ≥ 500 m/s.

Se queste condizioni sono tutte verificate, allora si definisce la categoria di sottosuolo S2. Per il caso specifico tali condizioni non si verificano contemporaneamente.

Il profilo delle onde di taglio S può essere quindi definito come in graduale aumento con la profondità.

2.9. Analisi vincolistica

2.9.1. VINCOLO IDROGEOLOGICO

Il Comune di Ferrara non ricade in una zona soggetta a vincolo idrogeologico, come risulta dall'allegato 1 della Delibera di Giunta della Regione Emilia Romagna n. 1117/2000.

2.9.2. PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)

Come si desume dall'estratto cartografico proposto in figura 2.9.2-1, la zona oggetto di studio ricade all'interno di un'area classificata a rischio moderato R1, per la quale sono possibili danni sociali ed economici marginali, in seguito a dissesti di natura idraulica e idrogeologica.

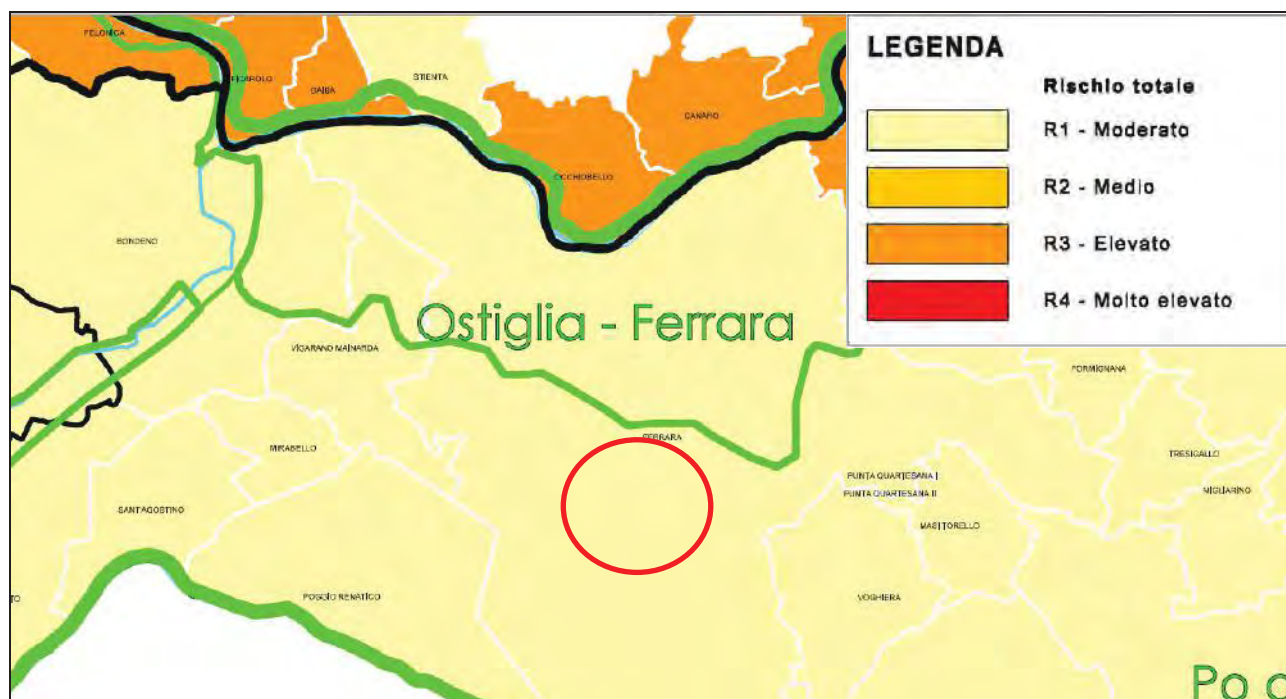


Figura 2.9.2-1

Estratto cartografia P.A.I. – scala grafica

(da Autorità di Bacino del Fiume Po – Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico P.A.I., - tav. 6 III, Rischio idraulico ed idrogeologico)



2.9.3. PIANO TERRITORIALE PER IL COORDINAMENTO PROVINCIALE (P.T.C.P.)

La zona oggetto di studio ricade in corrispondenza di una zona priva di particolari vincoli, nelle immediate vicinanze di una fascia di rispetto ferroviaria e di una fascia di rispetto da PTRQA vigente, nello specifico “grande rete stradale esistente” (PRIT '98), come si evince dagli estratti cartografici nelle figure sotto riportate.

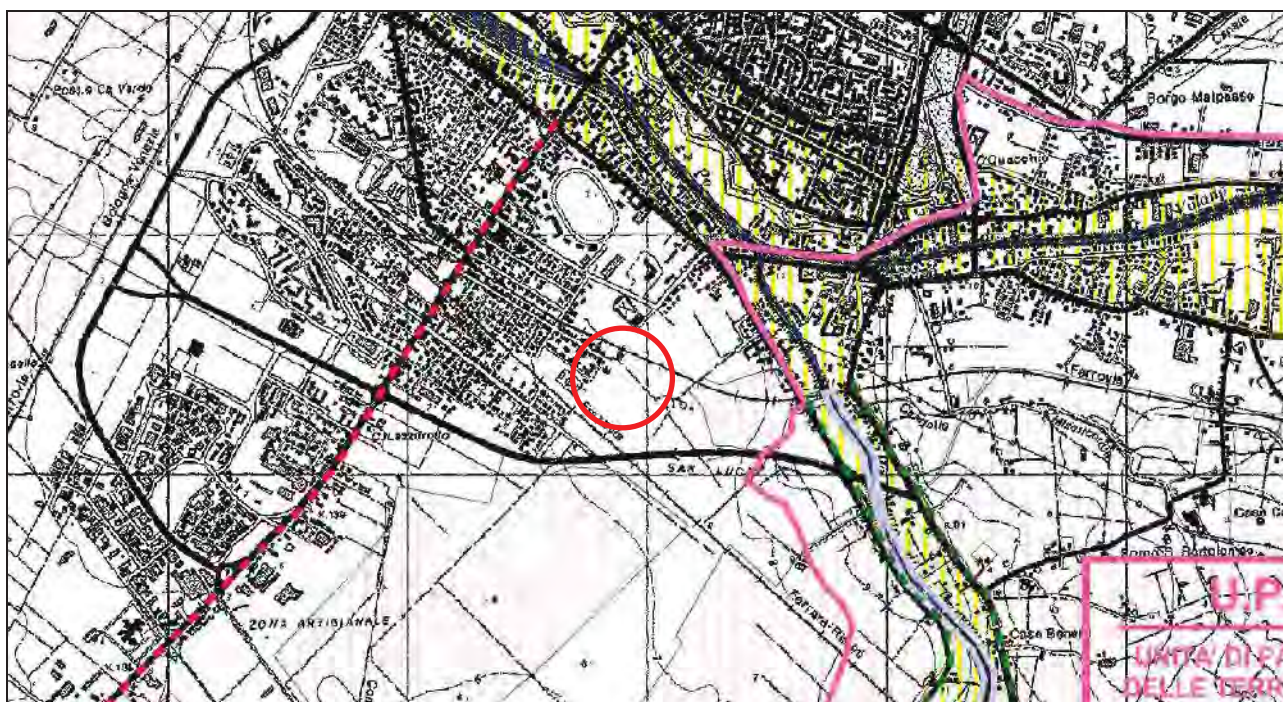


Figura 2.9.3-1

Estratto cartografia P.T.C.P. – scala grafica

(da Provincia di Ferrara – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – tav. 5.2 – Il sistema ambientale)

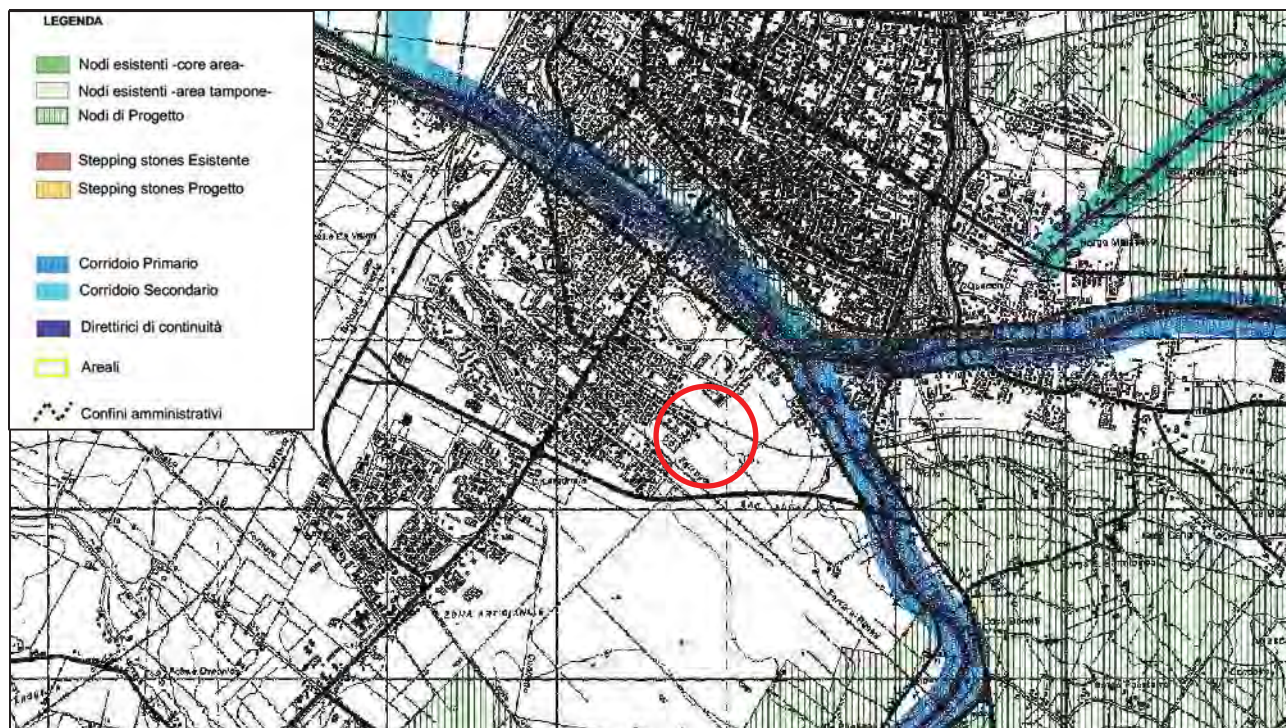


Figura 2.9.3-2

Estratto cartografia P.T.C.P. – scala grafica

(da Provincia di Ferrara – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – tav. 5.1.2 – Il sistema ambientale)

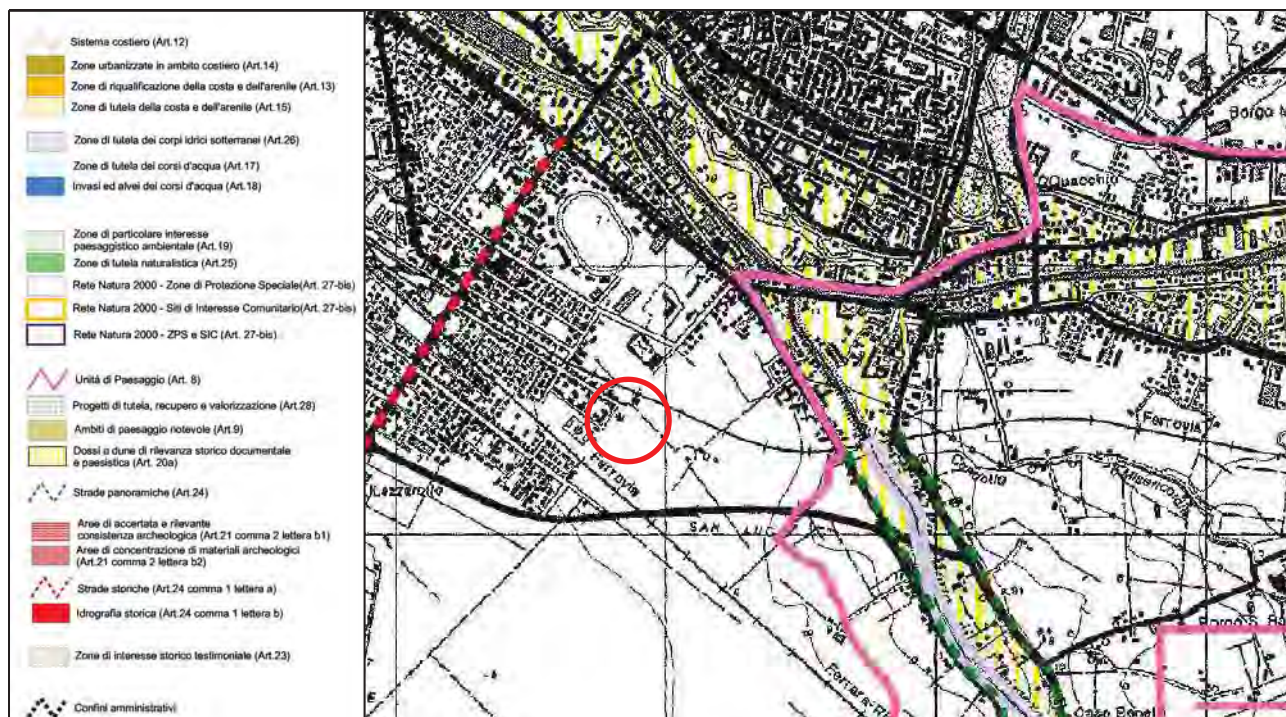


Figura 2.9.3-3

Estratto cartografia P.T.P.R.-P.T.C.P. – scala grafica

(da Provincia di Ferrara – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – tav. 5.2.2 – Altri ambiti di tutela)



Dr. Geol. Emanuele Stevanin
Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5
44034 – Copparo – Fe
Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035
e.stevanin@synthesissrl.com

PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO
DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI
AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA
Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico

RIF. 213/15-ES-REV01
DEL 19/02/2016
P224/15-ES-REV00
DEL 26/10/2015

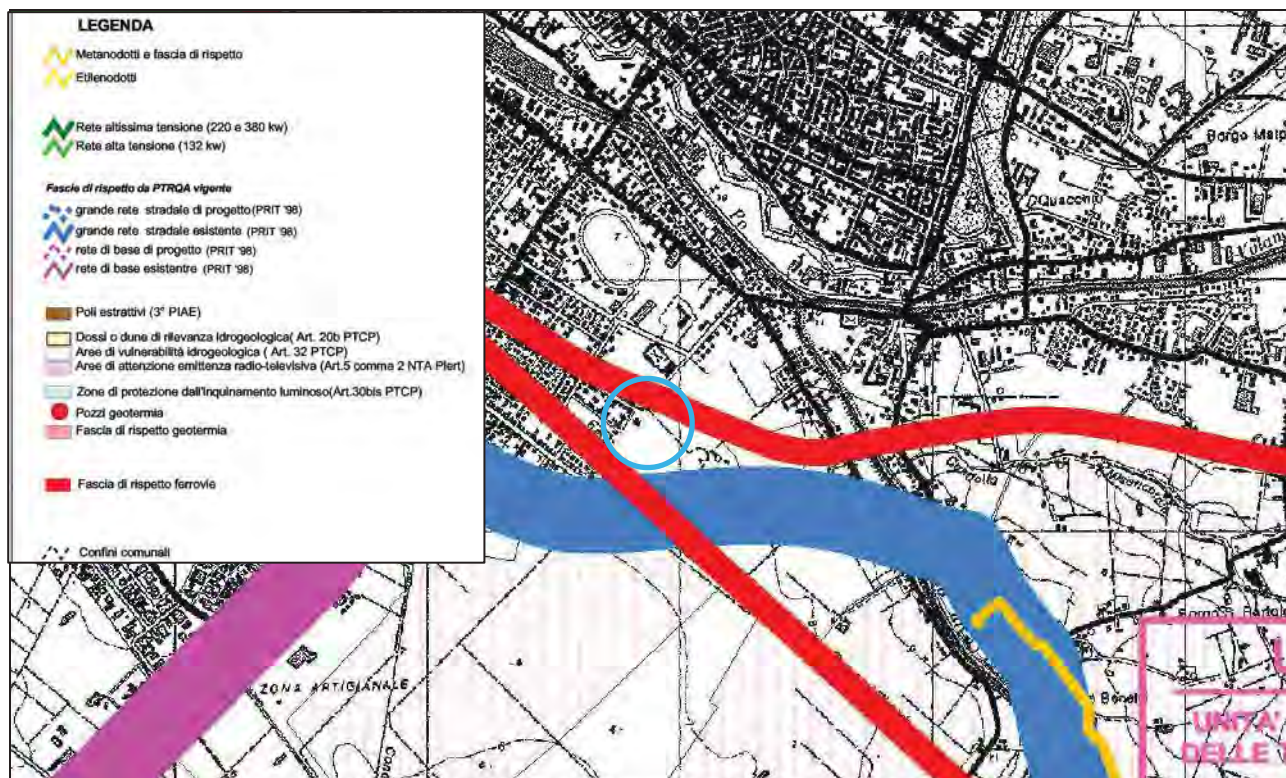


Figura 2.9.3-4

Estratto cartografia P.T.C.P. – scala grafica

(da Provincia di Ferrara – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – tav. 5.3.2 – Ambiti con limitazioni d'uso)



2.10. Pericolosità e Fattibilità del Piano Strutturale Comunale

Per quanto riguarda la pianificazione comunale, il sito oggetto di studio ricade in corrispondenza delle seguenti zonizzazioni:

- area a ridotta soggiacenza della falda freatica;
- all'interno del perimetro del centro abitato;
- nel sistema ambientale e delle dotazioni collettive art. 10 subsistema città verde art. 10.6;
- nelle vicinanze del bordo strada 22283 "Gennaio 1998";
- nell'ambito PRG – sottozona G3;
- in P.S.C. – parchi urbani;
- in P.S.C. – strutture insediative – via Bologna;
- nell'unità di paesaggio delle Masserie;
- UTO D.P.R. 477/95 – Classe I progetto;
- nel territorio urbanizzato;
- nell'ambito 4 AR ambiti da riqualificare – Via Bologna;
- nel centro urbano.



Figura 2.10-1

Estratto cartografia P.S.C. vigente dal giugno 2009

(http://ctwferrara.corenet.it/ferrara/clientweb/loginservlet?service_name=ApriViewer&org=01&ente=1&ente_str=01&denom_ente=Comune%20di%20ferrara&utente=psc_pubblico&pwd=*****)

2.11. Aspetti geodinamici e sismicità

In seguito all'Ordinanza del Presidente del Consiglio n. 3274/03, il Comune di Ferrara è stato inserito, in base alla classificazione sismica, nella zona 3, alla quale corrisponde una sismicità bassa con PGA compreso fra 0.05 e 0.15 g e nella quale però, in particolari contesti geologici, possono venire amplificati gli effetti. La classificazione è stata eseguita in base all'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

La pericolosità di un sito, oltre alla severità della sorgente sismica, dipende dalle caratteristiche geologiche, morfologiche e geotecniche.

In particolare i possibili effetti di sito, intesi come associazione di caratteristiche geologiche e morfologiche che rende un luogo più o meno soggetto a danni conseguenti ad una scossa sismica, sono i seguenti:

- fattori di amplificazione del moto sismico;
- liquefazione o addensamento dei terreni;
- instabilità dei pendii.

Con riferimento alle linee guida dell'A.G.I. pubblicate nell'anno 2005, i fattori di amplificazione delle onde sismiche, sono di seguito elencati:

- effetti stratigrafici: depositi costituiti da terreni stratificati di caratteristiche meccaniche diverse da quelle della roccia sottostante;
- effetti di bordo: depositi di valle con bordi e morfologia del substrato irregolari, dove le onde sismiche possono subire fenomeni di rifrazione e riflessione, con generazione all'interfaccia di onde superficiali e concentrazioni di energia;
- effetti topografici: la sommità di rilievi collinari, creste, promontori costituiti da formazioni rocciose, profili di versante, pendii, bordi di terrazzi.

Nel territorio comunale di Ferrara, possono essere attesi effetti stratigrafici dovuti in particolare a forti variazioni delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche. Non sono attesi effetti di bordo; vengono esclusi anche gli effetti topografici, salvo nelle aree ubicate nei pressi o in corrispondenza di rilevati.

Per quanto riguarda la liquefazione o addensamento, nel territorio in cui ricade il sito oggetto di studio, tali fenomeni possono essere attesi in corrispondenza di strati granulari saturi (liquefazione) o insaturi (addensamento), spessi e continui, eventualmente presenti a profondità non superiori a 15/20 metri dal piano campagna.

Relativamente all'instabilità dei pendii, si ribadisce come il territorio del Comune di Ferrara ricada all'interno di una zona di pianura, nella quale tali fenomeni non possono essere attesi, se non in corrispondenza di rilevati artificiali, o delle sponde dei corsi d'acqua.

In base alla pianificazione vigente, della quale si riportano stralci di cartografie inerenti, si evince che l'area di studio ricade in corrispondenza delle zonizzazioni/aree e nei pressi delle verifiche specifiche di seguito elencate:

- area caratterizzata da depositi di natura prevalentemente fine molto compressibili, al limite con depositi sabbiosi intercalati a livelli limosi, sabbiosi ed argillosi, con effetti attesi di amplificazione con conseguenti potenziali cedimenti per ri-consolidazione indotti dal sisma ed un livello di approfondimento richiesto di analisi semplificato (II livello di approfondimento) art. 36 – art. 37 comma 1 punto 2 (P.T.C.P.);
- area con F.A. = 1.5 (P.T.C.P.);
- area con rischio di cedimenti presente (P.T.C.P.);
- nelle vicinanze di indagini puntuali, che individuano un rischio di liquefazione basso ($0 < IL < 2$), con valori di IL prossimi a 1.11 – 1.14 (P.T.C.P.);
- area con fattore di amplificazione pari a 1.5 (P.S.C. - Valutazione locale dell'amplificazione stratigrafica);
- nelle vicinanze di punti di indagine che rilevano un potenziale di liquefazione basso $IL \leq 5$ (P.S.C. - Valutazione locale del potenziale di liquefazione);
- nelle vicinanze di indagini che rilevano una suscettibilità ai cedimenti presente (P.S.C. - Valutazione locale della suscettibilità a cedimenti post sismici);
- area con rischio di amplificazione stratigrafica elevato (P.S.C. - Carta di sintesi delle valutazioni locali degli effetti di sito);
- area dove è richiesto il II livello di approfondimento (P.S.C.);
- zona stabile suscettibile di amplificazioni locali 1, nello specifico argille inorganiche di media – bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille sabbiose, argille magre e nelle vicinanze di indagini di tipo SCPTU e CPT (Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica);
- zona stabile suscettibile di amplificazioni locali con F.A. P.G.A. = 1.5 – 1.6, F.A. Intensità spettrale $0.1s < T_0 < 0.5s = 1.8$, F.A. Intensità spettrale $0.5s < T_0 < 1.0s = 2.5$ (Carta di microzonazione sismica – Livello 2);
- zona stabile suscettibile di amplificazioni locali e tra indagini puntuali del potenziale di liquefazione IL da CPT basso ($IL \leq 2$) (Carta di microzonazione sismica – Livello 3).

Supporti grafici:

- Figura 2.11-1. Zonizzazione sismica Emilia Romagna
- Figura 2.11-2. Stralcio P.T.C.P. – Rischio Sismico - tav. 3.2 – Carta di zonizzazione sismica di primo livello
- Figura 2.11-3. Stralcio P.T.C.P. – Rischio Sismico - QC 0.5. – Carta provinciale delle aree suscettibili di effetti locali
- Figura 2.11-4. Stralcio P.T.C.P. – Rischio Sismico - QC 0.6. – Carta provinciale del fattore di amplificazione
- Figura 2.11-5. Stralcio P.T.C.P. – Rischio Sismico - QC 0.7. – Carta provinciale del rischio cedimenti
- Figura 2.11-6. Stralcio P.T.C.P. – Rischio Sismico - QC 0.8. – Carta provinciale delle indagini e dell'indice del potenziale di liquefazione
- Figura 2.11-7. Stralcio P.T.C.P. – Rischio Sismico - QC 0.9. – Carta provinciale delle aree suscettibili di effetti locali con indagini e indice del potenziale di liquefazione
- Figura 2.11-8. Stralcio P.T.C.P. – Rischio Sismico - QC 0.9.2. – Carta provinciale delle aree suscettibili di effetti locali con indagini e indice del potenziale di liquefazione
- Figura 2.11-9. Stralcio P.S.C. - Analisi sismica – Tav. 1.03b – 03 – Valutazione locale dell'amplificazione stratigrafica- 03/12/2008
- Figura 2.11-10. Stralcio P.S.C. - Analisi sismica – Tav. 1.03b – 04 - Valutazione locale del potenziale di liquefazione - 03/12/2008
- Figura 2.11-11. Stralcio P.S.C. - Analisi sismica – Tav. 1.03b – 05 - Valutazione locale della suscettibilità a cedimenti post sismici - 03/12/2008

- Figura 2.11-12. Stralcio P.S.C. - Analisi sismica – Tav. 1.03b – 06 - Carta di sintesi delle valutazioni locali degli effetti di sito - 03/12/2008
- Figura 2.11-13. Stralcio P.S.C. - Analisi sismica – Tav. 6.4a - Carta di sintesi prima fase analisi di pericolosità sismica - 03/12/2008
- Figura 2.11-14. Stralcio Microzonazione Sismica – Comune di Ferrara – Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica
- Figura 2.11-15. Stralcio Microzonazione Sismica – Comune di Ferrara – Carta di microzonazione sismica – Livello 2
- Figura 2.11-16. Stralcio Microzonazione Sismica – Comune di Ferrara – Carta di microzonazione sismica – Livello 3

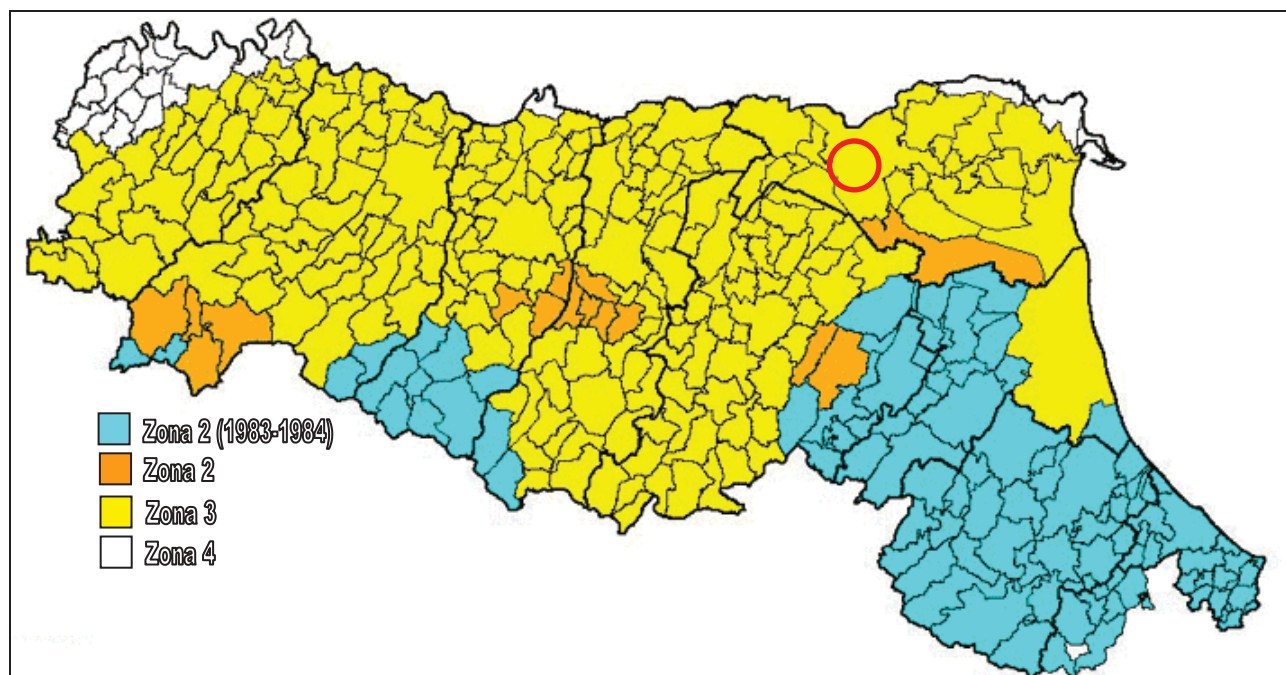


Figura 2.11-1
Zonizzazione sismica Emilia Romagna

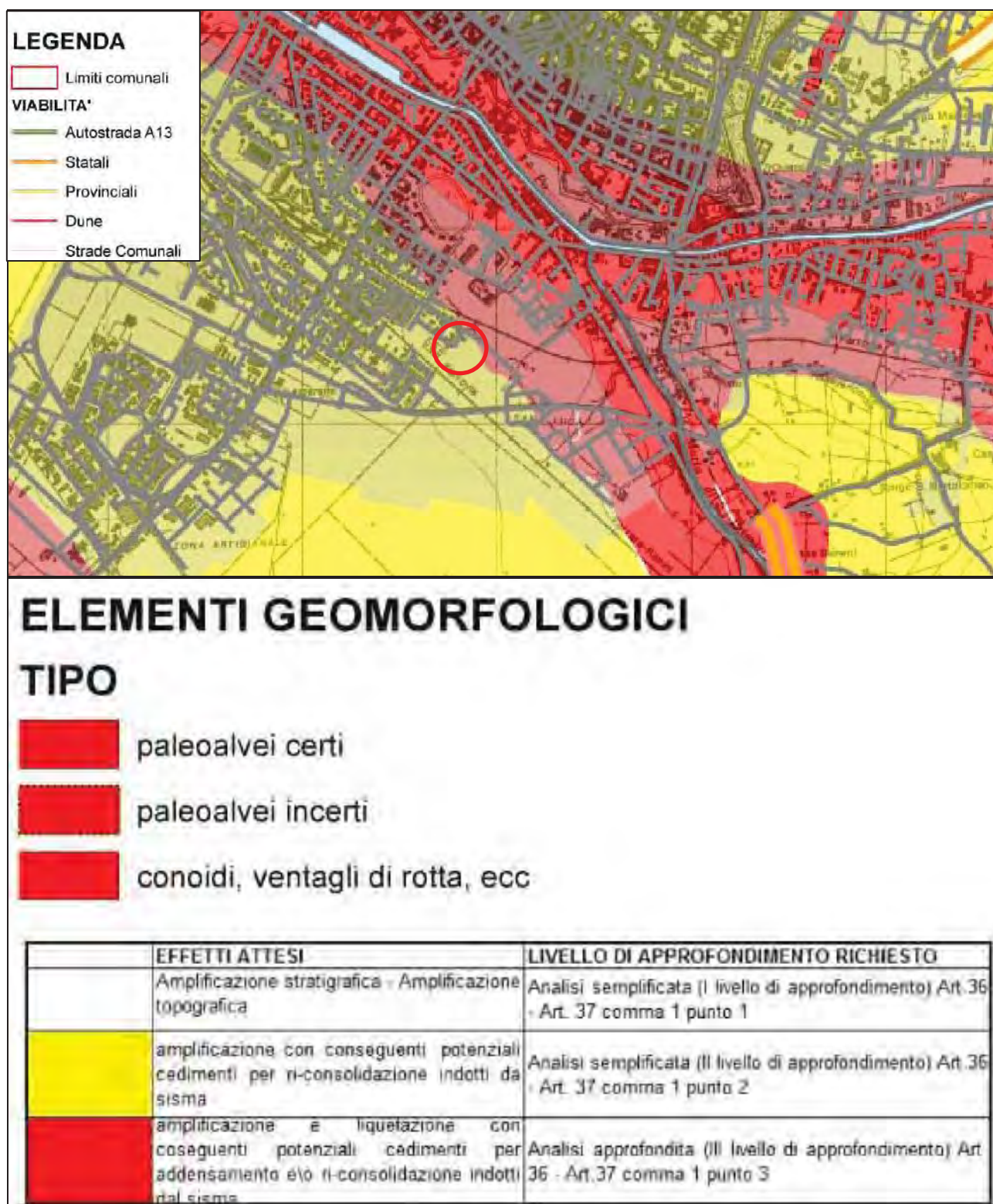


Figura 2.11-2

Estratto cartografia P.T.C.P. – scala grafica

(da Provincia di Ferrara – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Rischio Sismico - tav. 3.2 – Carta di zonizzazione sismica di primo livello)

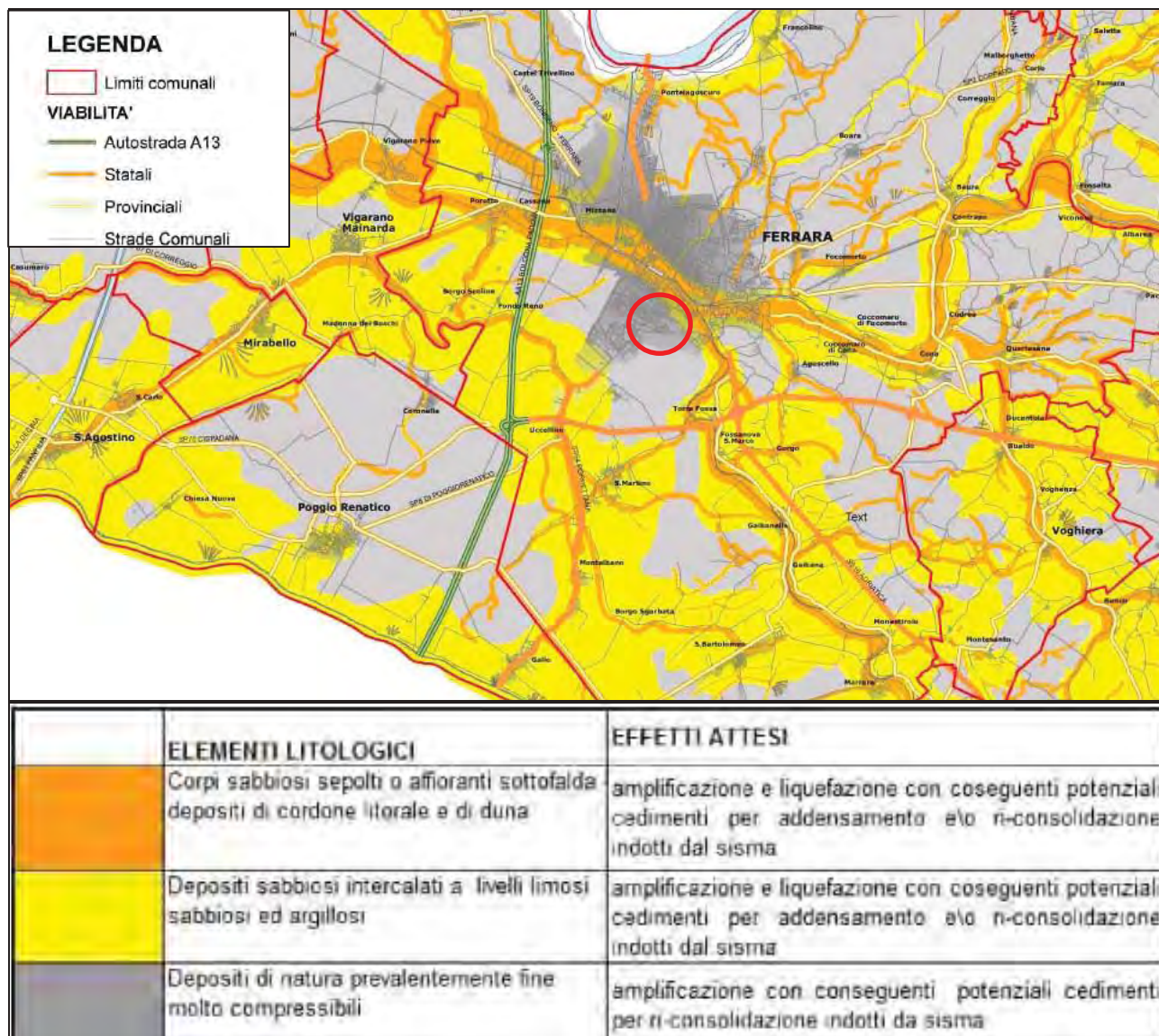


Figura 2.11-3

Estratto cartografia P.T.C.P. – scala grafica

(da Provincia di Ferrara – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Rischio Sismico - tav. Q.C.05 – Carta provinciale delle aree suscettibili di effetti locali)



Figura 2.11-4

Estratto cartografia P.T.C.P. – scala grafica

(da Provincia di Ferrara – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Rischio Sismico - tav. Q.C.06 – Carta provinciale del fattore di amplificazione)

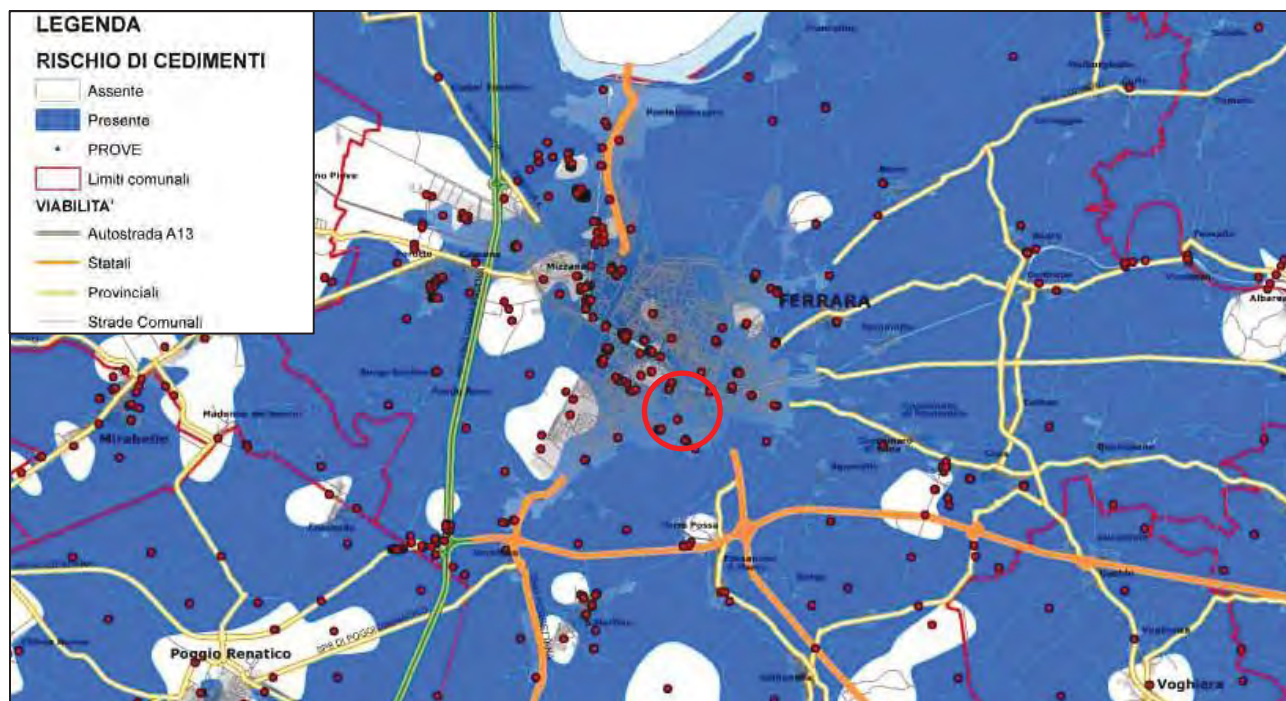


Figura 2.11-5

Estratto cartografia P.T.C.P. – scala grafica

(da Provincia di Ferrara – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Rischio Sismico - tav. Q.C.07 – Carta provinciale del rischio cedimenti)

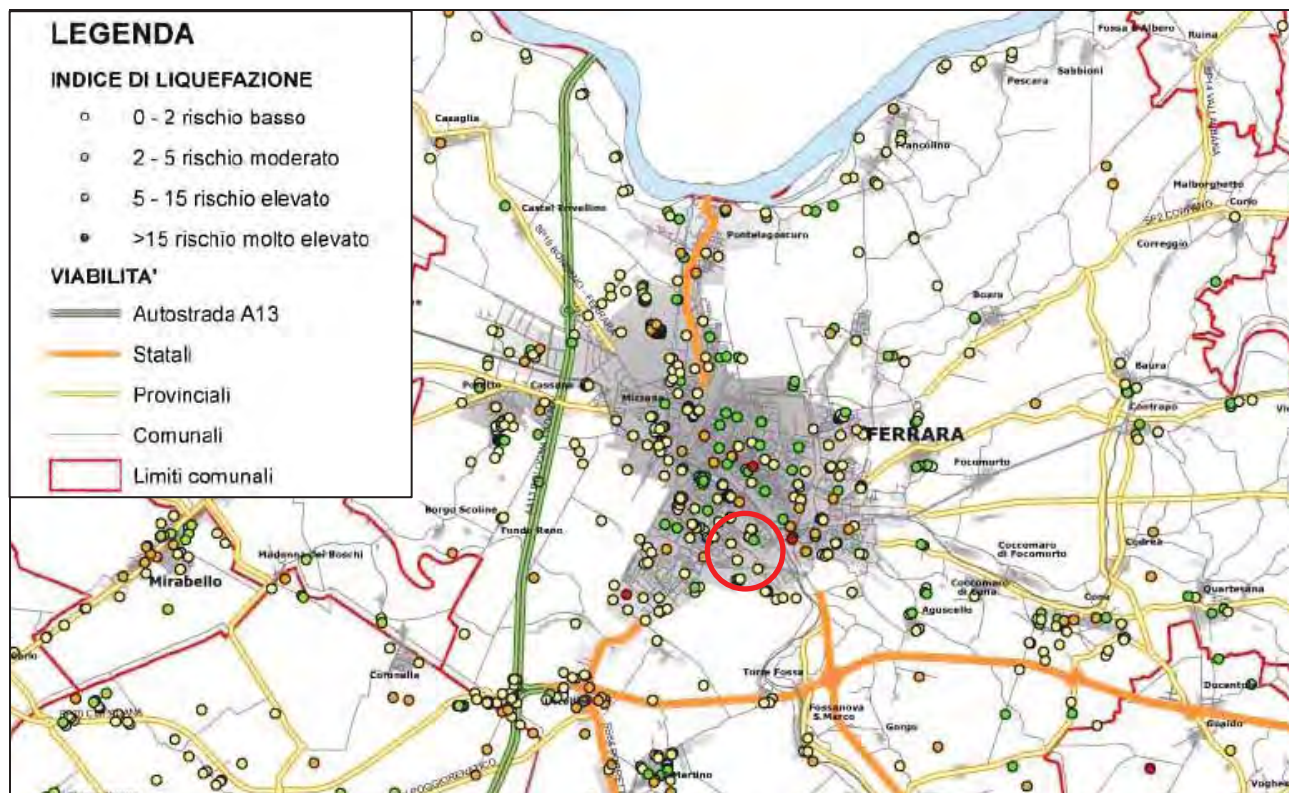


Figura 2.11-6

Estratto cartografia P.T.C.P. – scala grafica

(da Provincia di Ferrara – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Rischio Sismico - tav. Q.C.08 – Carta provinciale delle indagini e dell'indice del potenziale di liquefazione)

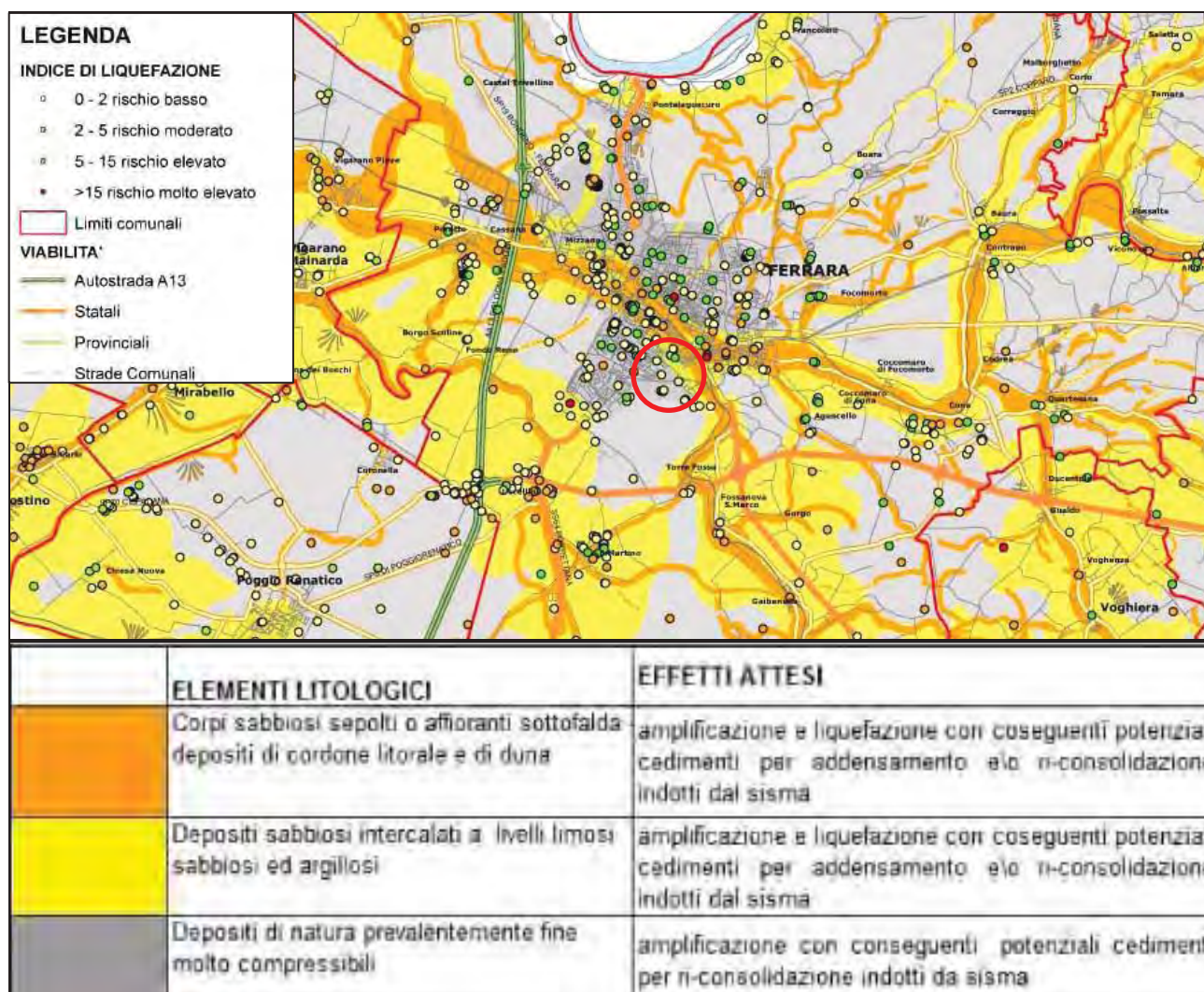


Figura 2.11-7

Estratto cartografia P.T.C.P. – scala grafica

(da Provincia di Ferrara – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Rischio Sismico - tav. Q.C.09 – Carta provinciale delle aree suscettibili di effetti locali con indagini e indice del potenziale di liquefazione)

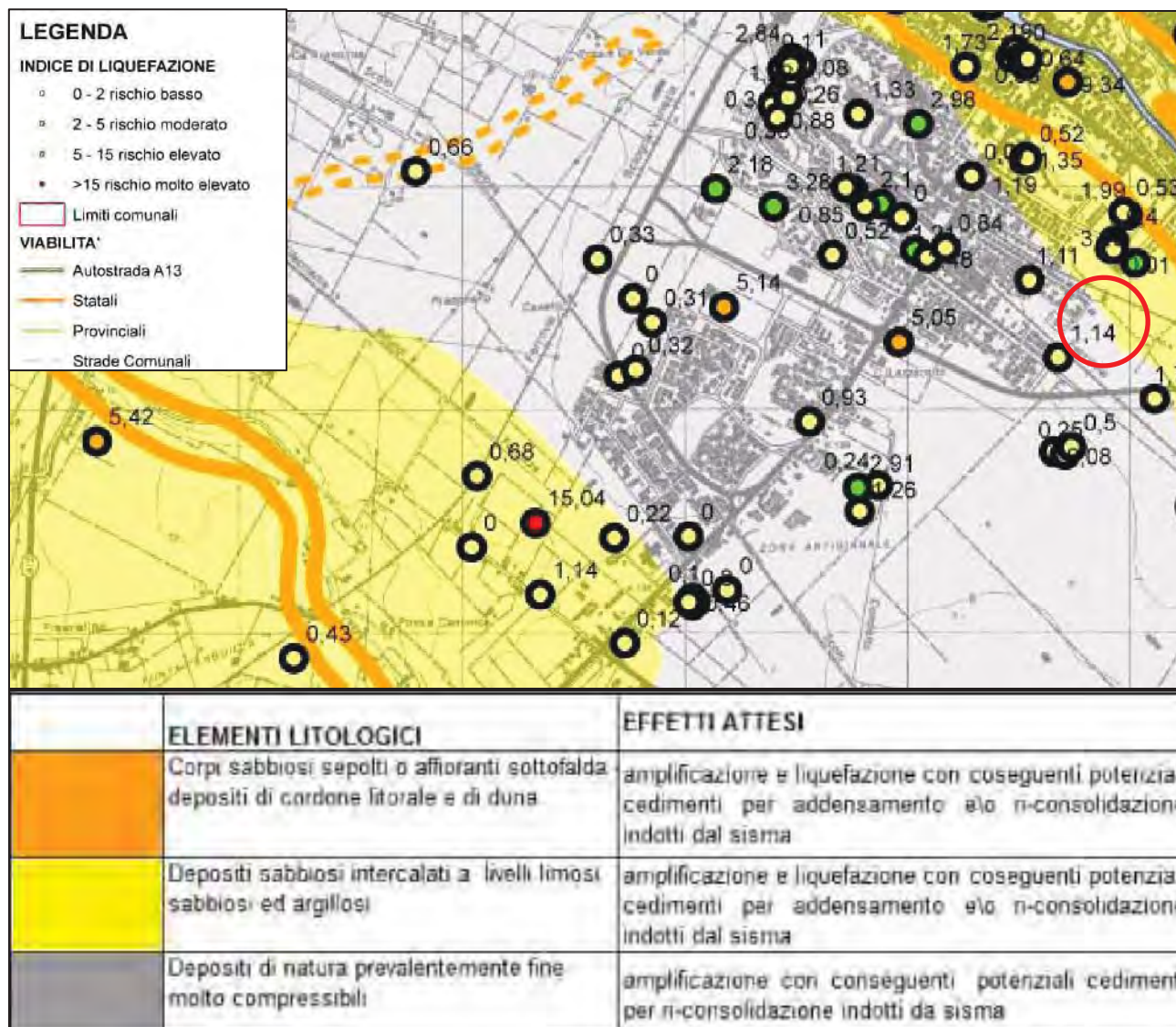


Figura 2.11-8

Estratto cartografia P.T.C.P. – scala grafica

(da Provincia di Ferrara – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Rischio Sismico - tav. Q.C.09.2 – Carta provinciale delle aree suscettibili di effetti locali con indagini e indice del potenziale di liquefazione)

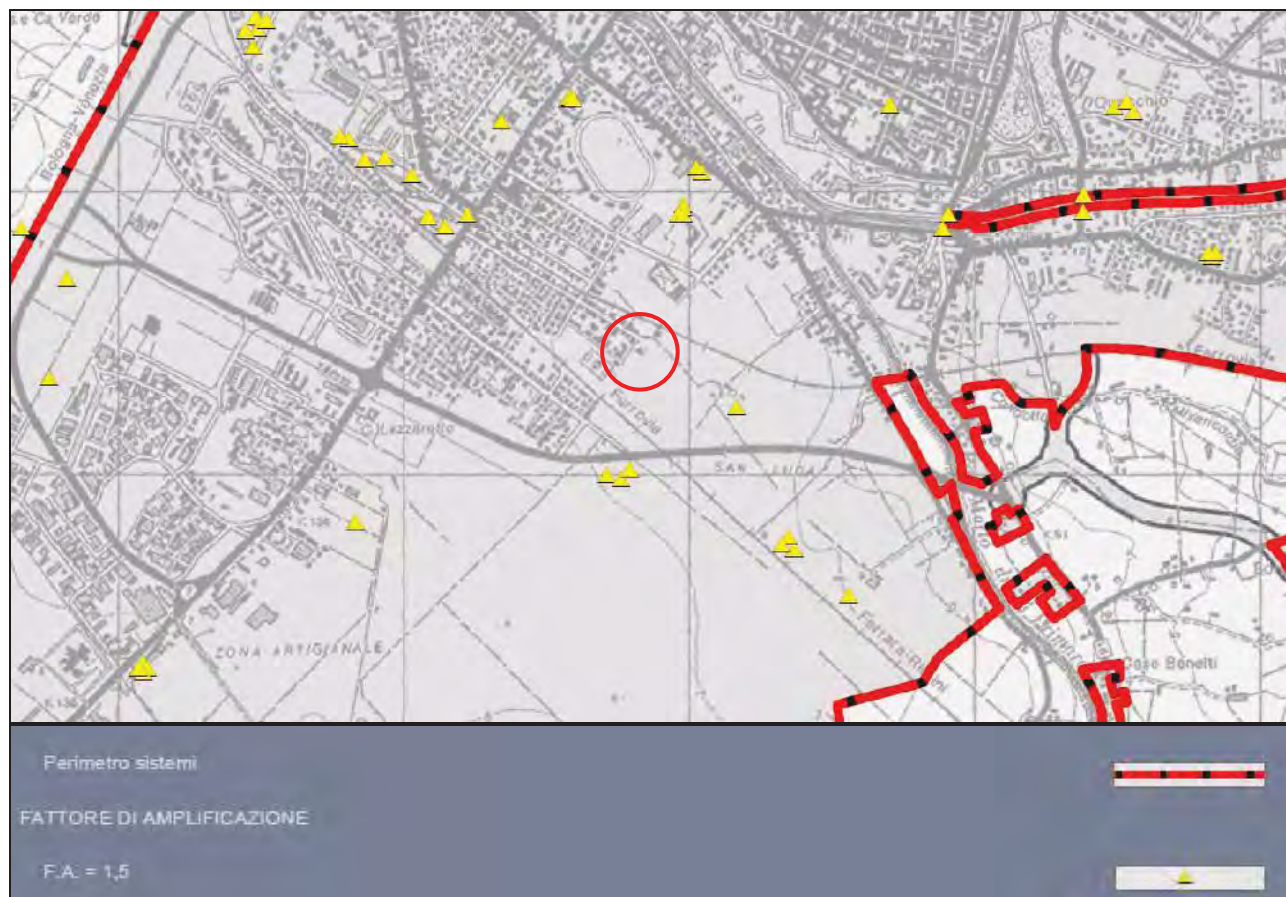


Figura 2.11-9

Estratto cartografia P.S.C. Ferrara – scala grafica

(Analisi sismica – Tav. 1.03b – 03 – Valutazione locale dell'amplificazione stratigrafica - 03/12/2008 – Quadro Conoscitivo)

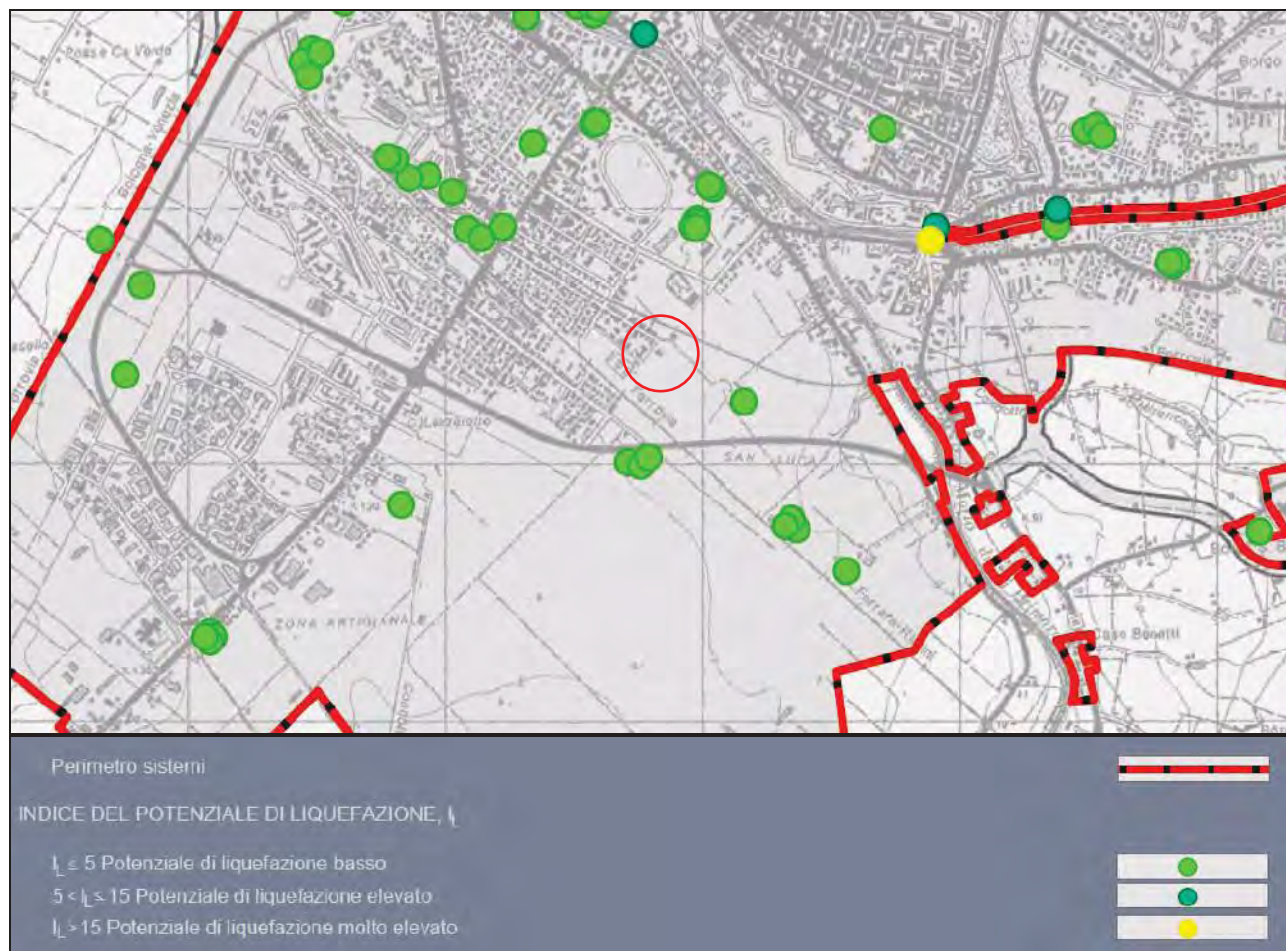


Figura 2.11-10

Estratto cartografia P.S.C. Ferrara – scala grafica

(Analisi sismica – Tav. 1.03b – 04 – Valutazione locale del potenziale di liquefazione - 03/12/2008 – Quadro Conoscitivo)

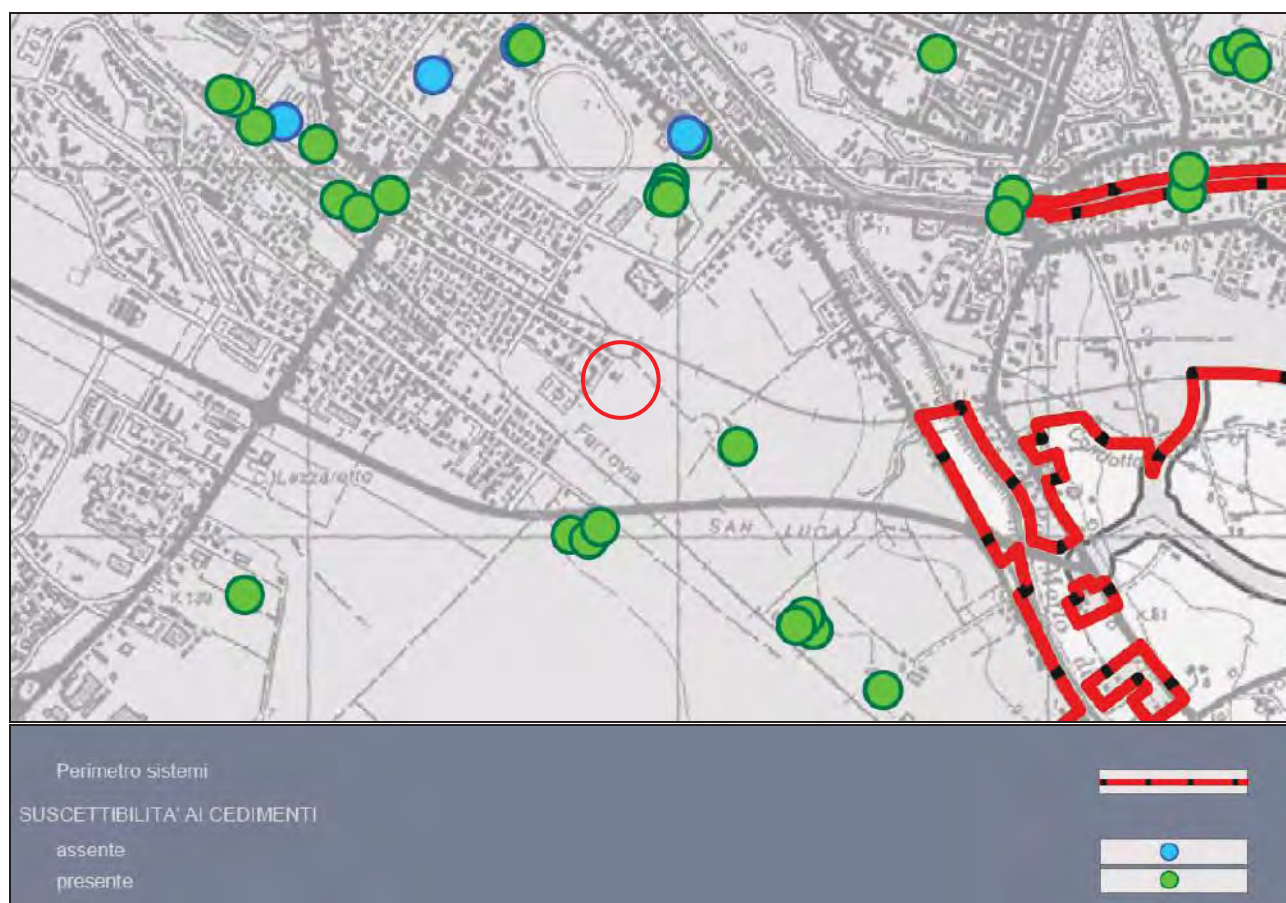


Figura 2.11-11

Estratto cartografia P.S.C. Ferrara – scala grafica

(Analisi sismica – Tav. 1.03b – 05 – Valutazione locale della suscettibilità a cedimenti post sismici - 03/12/2008 – Quadro Conoscitivo)

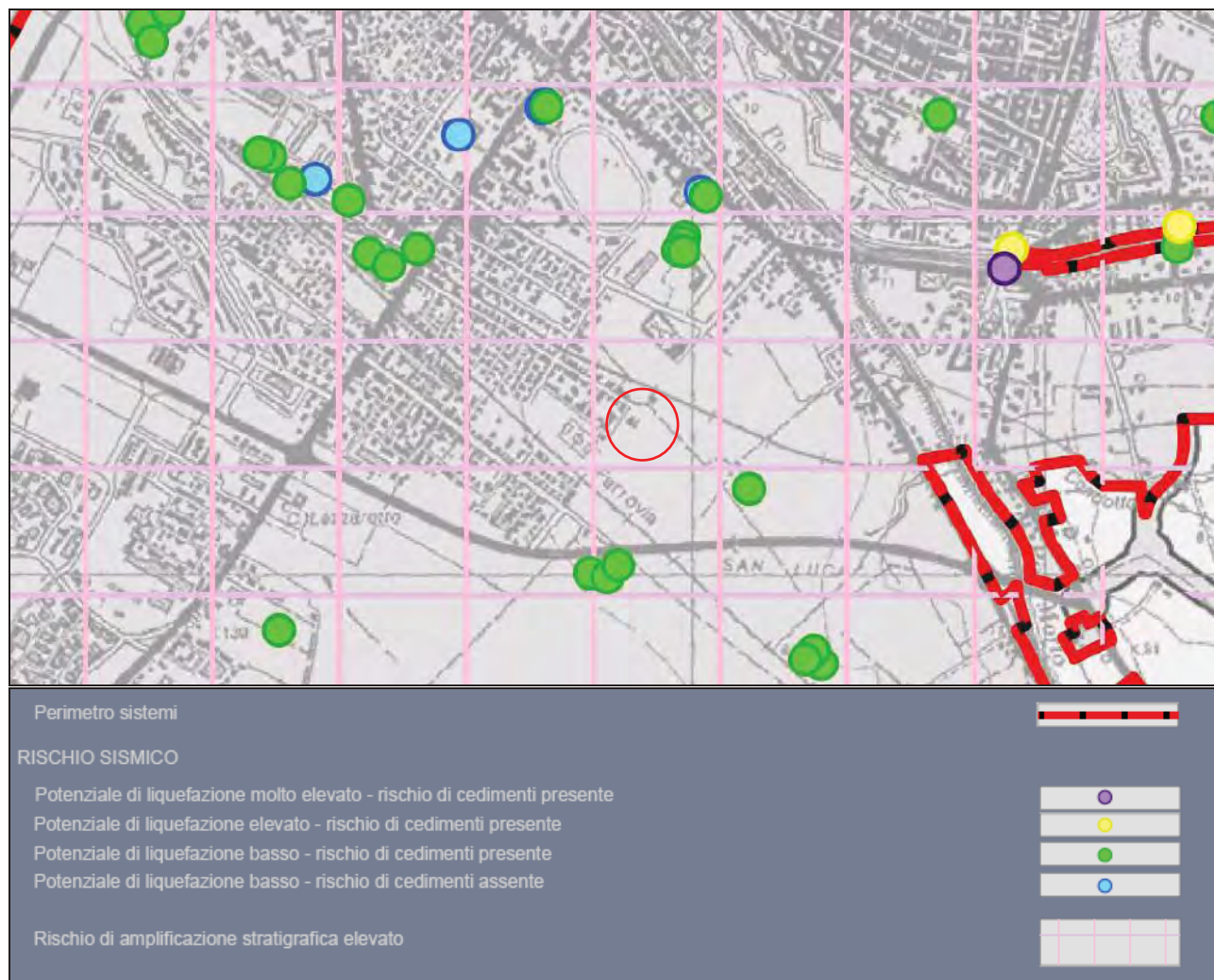


Figura 2.11-12

Estratto cartografia P.S.C. – scala grafica

(Analisi sismica – Tav. 1.03b – 06 - Carta di sintesi delle valutazioni locali degli effetti di sito - 03/12/2008 – Quadro Conoscitivo)

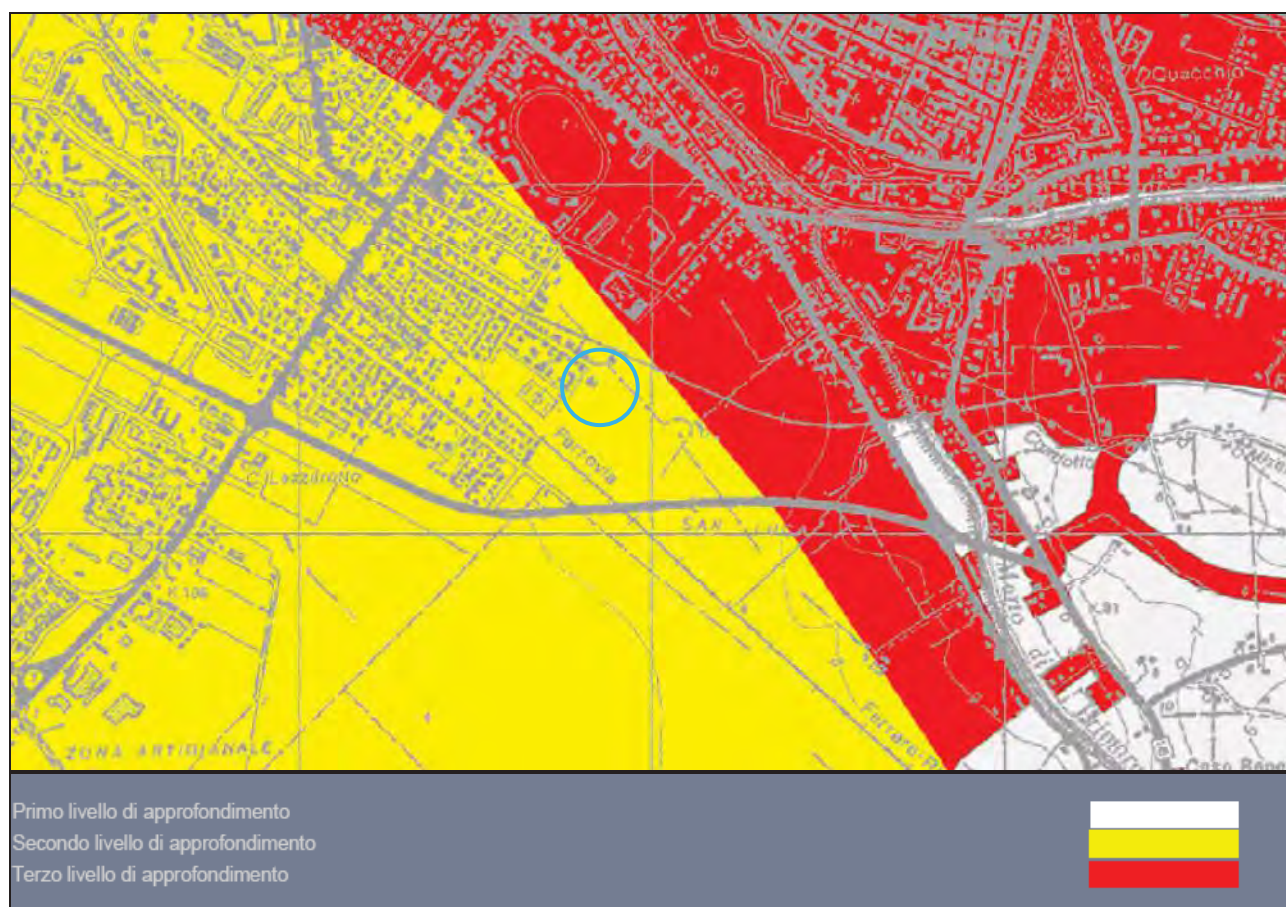


Figura 2.11-13

Estratto cartografia P.S.C. – scala grafica

(Analisi sismica – Tav. 6.4a - Carta di sintesi prima fase analisi di pericolosità sismica - 03/12/2008 – Quadro Conoscitivo)

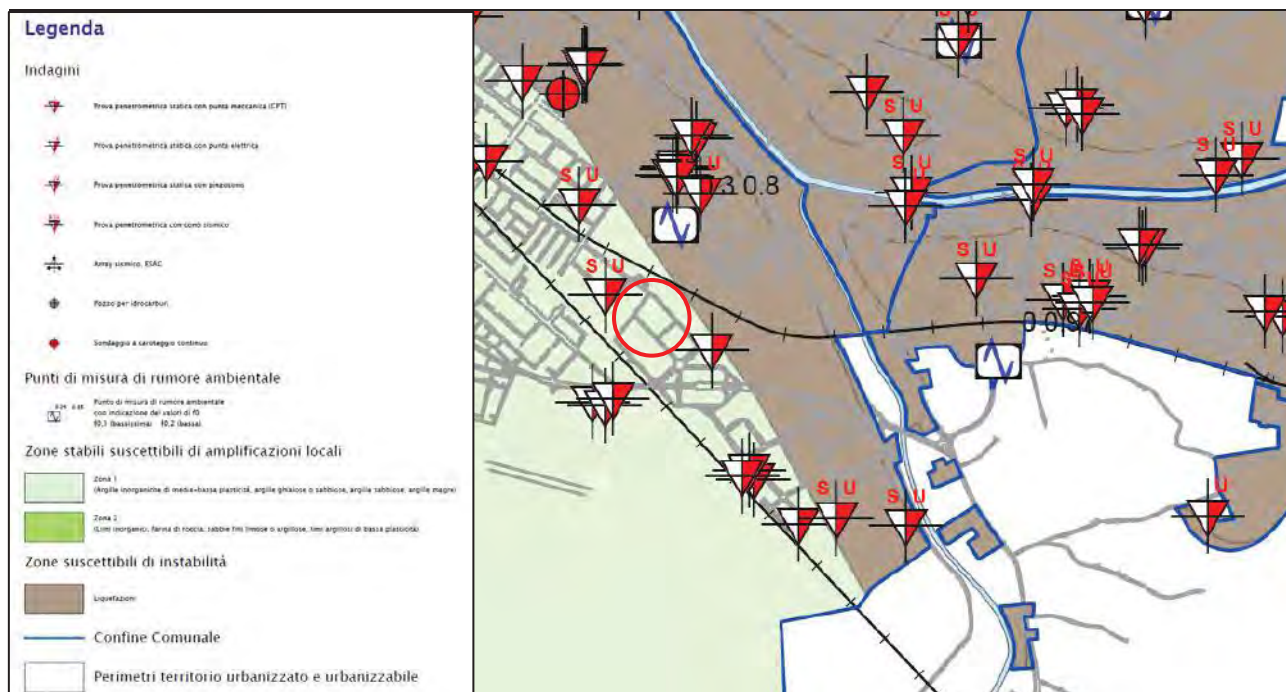


Figura 2.11-14

Estratto cartografia Microzonazione Sismica – scala grafica

(da Comune di Ferrara – Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica)

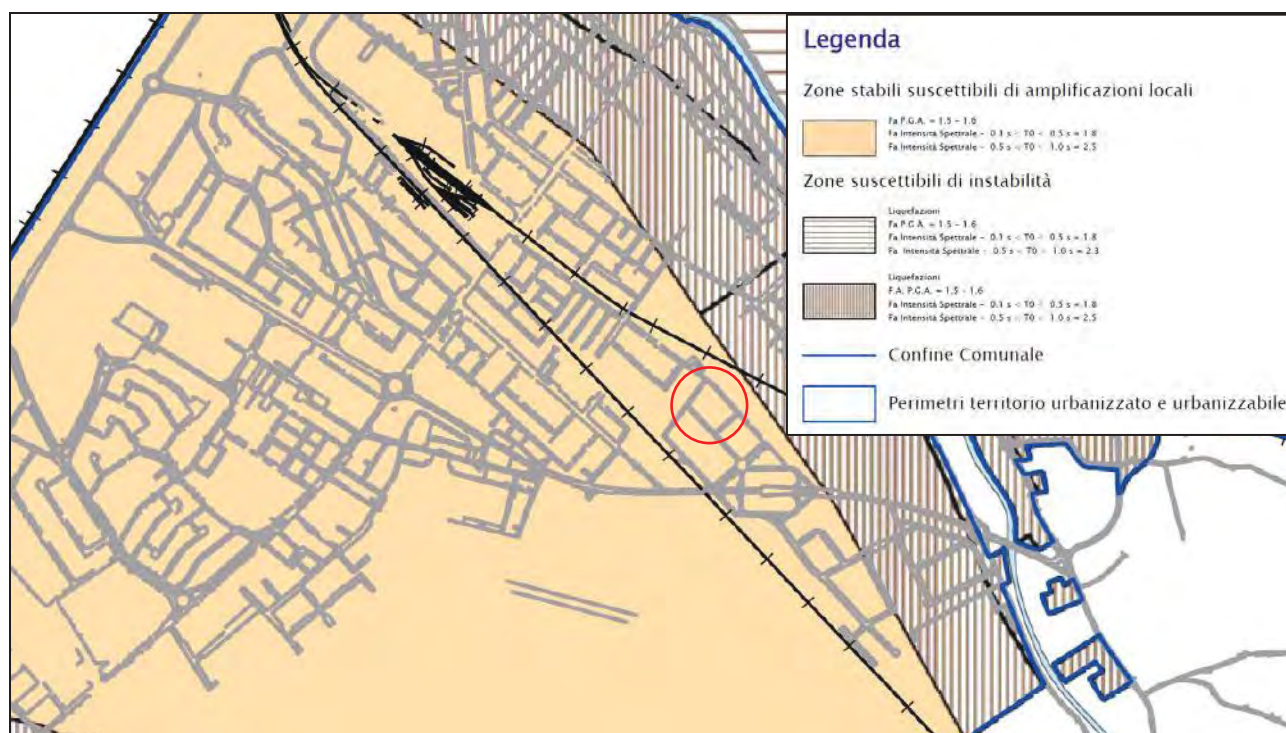
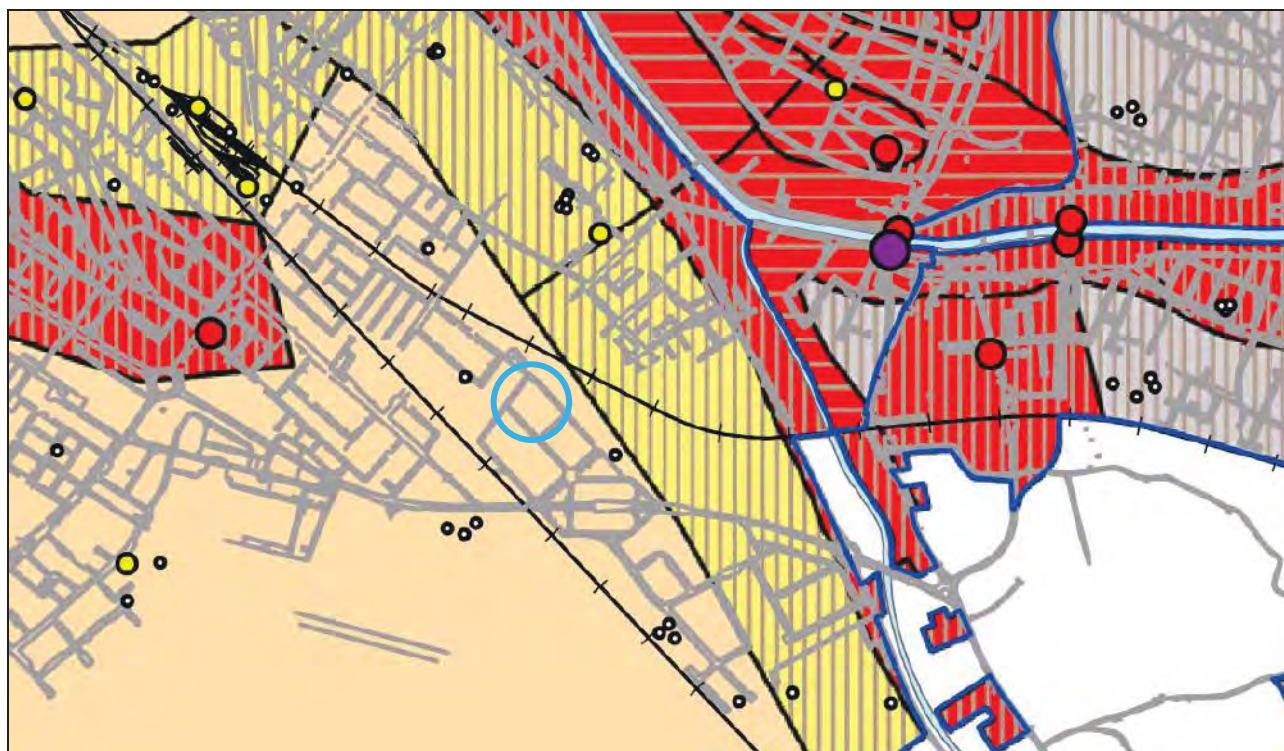


Figura 2.11-15

Estratto cartografia Microzonazione Sismica – scala grafica

(da Comune di Ferrara – Carta di microzonazione sismica – Livello 2)



Indice puntuale del potenziale di liquefazione IL da CPT

- Basso ($IL < 2$)
- Moderato ($2 < IL < 5$)
- Elevato ($5 < IL < 15$)
- Molto elevato ($IL > 15$)

Zone instabili suscettibili di liquefazione: Fa

Liquefazioni	
Fa P.G.A. = 1.5 - 1.6	
Fa Intensità Spettrale - $0.1 s < T_0 < 0.5 s = 1.8$	
Fa Intensità Spettrale - $0.5 s < T_0 < 1.0 s = 2.3$	
Liquefazioni	
Fa P.G.A. = 1.5 - 1.6	
Fa Intensità Spettrale - $0.1 s < T_0 < 0.5 s = 1.8$	
Fa Intensità Spettrale - $0.5 s < T_0 < 1.0 s = 2.5$	

Zone instabili suscettibili di liquefazione: IL

Rischio di liquefazione basso ($IL < 2$)	
Rischio di liquefazione moderato ($2 < IL < 5$)	
Rischio di liquefazione elevato e localmente molto elevato ($IL > 5$)	

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Fa P.G.A. = 1.5 - 1.6	
Fa Intensità Spettrale - $0.1 s < T_0 < 0.5 s = 1.8$	
Fa Intensità Spettrale - $0.5 s < T_0 < 1.0 s = 2.5$	

— Confine Comunale

□ Perimetri territorio urbanizzato e urbanizzabile

Figura 2.11-2

Estratto cartografia Microzonazione Sismica – scala grafica

(da Comune di Ferrara – Carta di microzonazione sismica – Livello 3)

2.12. Aspetti sismici di dettaglio

2.12.1. CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, è necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, così come definito nel testo della normativa NTC08, rif. 7.11.3. In assenza di tali dati, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, così come di seguito indicato (Tabella 2.12.1-1).

TABELLA 2.12.1-1

DESCRIZIONE CATEGORIE DI SOTTOSUOLO A-E

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> , caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 mt/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 mt
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 mt/sec e 800 mt/sec (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine)
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180mt/sec e 360 mt/sec (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 \text{ kPa} < c_{u,30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 mt/sec (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 mt</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ mt/sec)

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2, di seguito descritte, è necessario definire anche la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o argille ad elevata sensibilità al collasso (Tabella 2.12.1-2).

TABELLA 2.12.1-2

DESCRIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO S1-S2

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 mt/sec (ovvero $10 \text{ kPa} < c_{u,30} < 20 \text{ kPa}$), che includono uno strato di almeno 8 mt di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 mt di torba o di argille altamente organiche
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti



Per l'identificazione della categoria di sottosuolo, è raccomandata la misura della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s . In particolare, fatta salva la necessità di estendere le indagini geotecniche nel volume significativo del terreno interagente con l'opera, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,30}$, definita mediante l'equazione delle NTC:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}.$$

La velocità equivalente è ottenuta fissando l'equivalenza tra i tempi di arrivo delle onde di taglio che si propagano sia in un terreno omogeneo equivalente di spessore pari a 30 m, sia in un terreno stratificato come quello in esame, di spessore complessivo di 30 m. La definizione del valore della $V_{s,30}$ assume, in questo caso, valori diversi da quelli ottenuti dalla media delle velocità dei singoli strati pesata sui relativi spessori; è dunque necessario enfatizzare anche il contributo degli strati più deformabili.

In alternativa a misure di V_s , l'identificazione della categoria del sottosuolo può essere effettuata sulla base di altre grandezze geotecniche, come il numero dei colpi della prova penetrometrica dinamica ($N_{SPT,30}$) per depositi di terreni prevalentemente a grana grossa nei primi 30 m di profondità e la resistenza non drenata ($c_{u,30}$), per depositi prevalentemente a granulometria fine nei primi 30 m di profondità. Nel caso in oggetto sono state determinate le velocità delle onde di taglio per mezzo della prova eseguita.

2.12.1.1. Misura della velocità delle onde V_s

Nel caso specifico, come descritto nel capitolo dedicato alla descrizione delle indagini eseguite, è stata effettuata in sito un'indagine geofisica con l'esecuzione di:

- n. 1 prova MASW – Re.Mi.

In allegato si riportano i dettagli dei risultati di tali misurazioni, dalle quali si evince che nell'area in esame è stato misurato un valore di V_{s30} pari a **177 m/s**.

Tale risultato è in linea con quanto riportato nella cartografia allegata alla pianificazione.

Con riferimento al criterio dell'analisi del parametro V_{s30} , in base all'approccio semplificato la categoria di suolo viene definita come **D**, ovvero: *“Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 mt/sec (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)”*.

Tale categoria dovrà essere confermata dall'analisi sulla liquefazione per confermare ai sensi dell'NTC08 la possibilità dell'utilizzo dell'approccio semplificato.

Supporti Grafici:

- Allegato 16. Rapporto tecnico indagine sismica

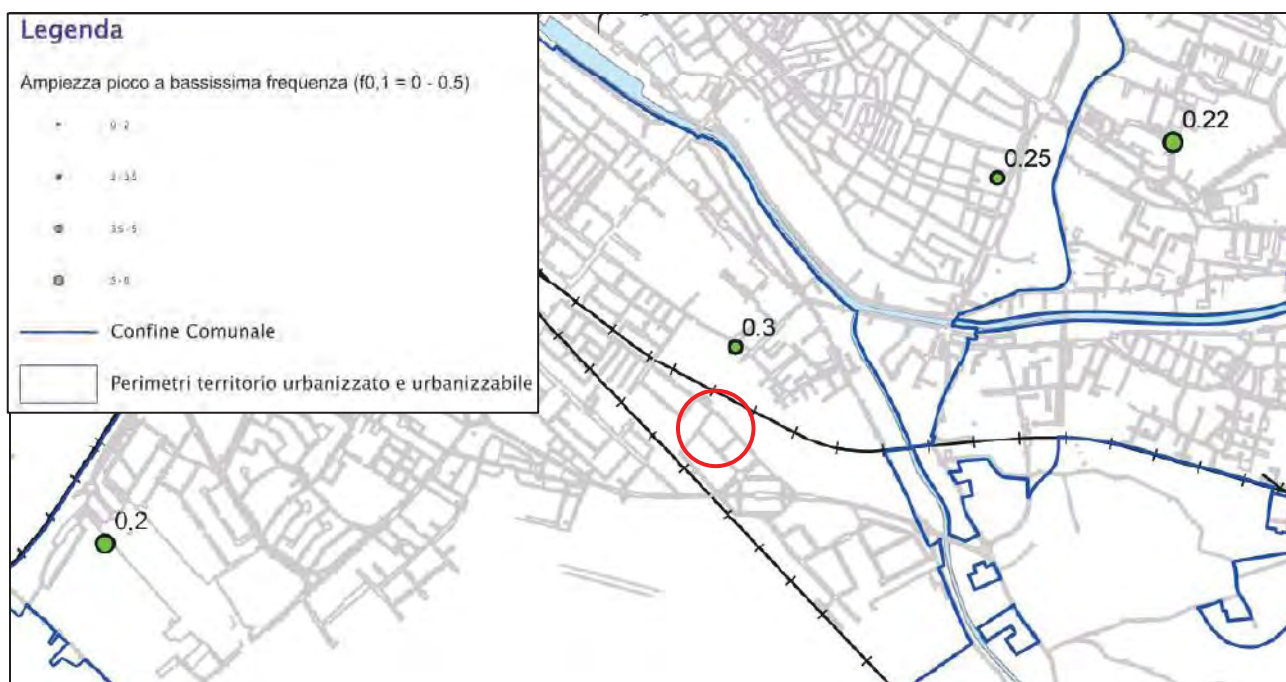


Figura 2.12.1-1

Estratto cartografia Microzonazione Sismica – scala grafica

(da Comune di Ferrara – Carta delle frequenze naturali dei terreni)

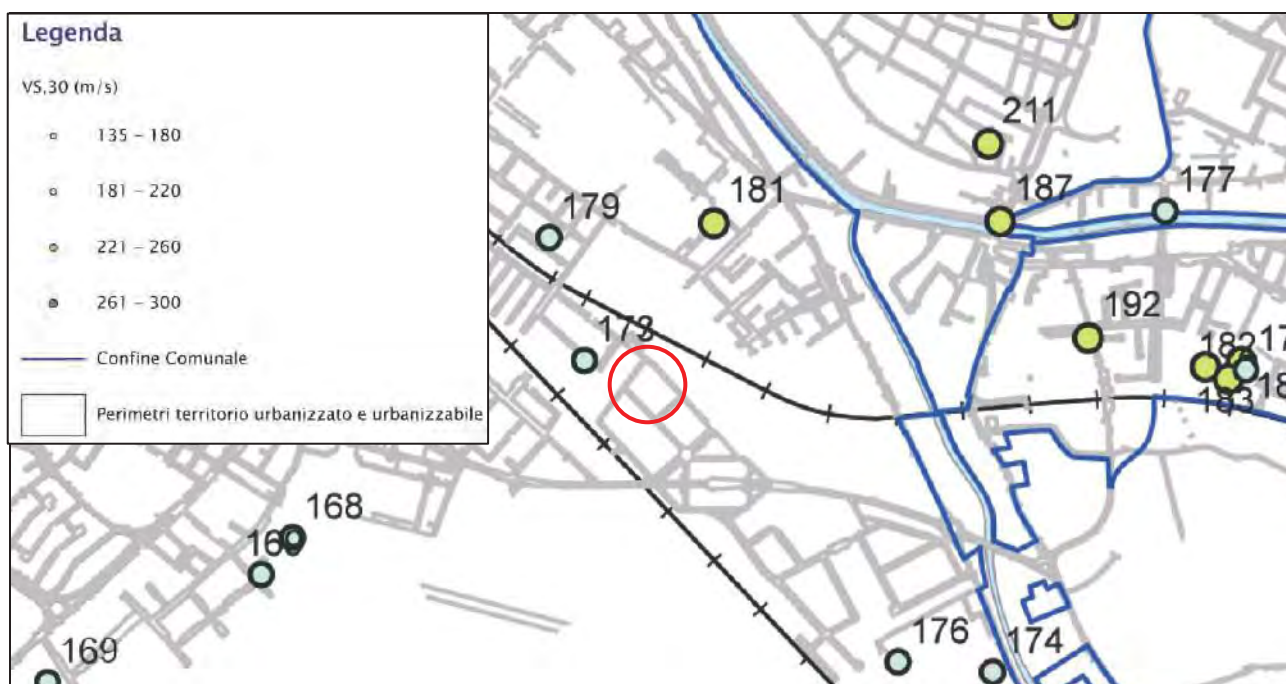


Figura 2.12.1-2

Estratto cartografia Microzonazione Sismica – scala grafica

(da Comune di Ferrara – Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s))

2.12.2. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per configurazioni superficiali semplici si considera la seguente classificazione riportata in Tabella 2.12.2-1.

TABELLA 2.12.2-1

CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA

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

Nell'area di studio si è in presenza di categoria topografica **T1**.

2.12.3. PARAMETRI SISMICI DEFINITI IN BASE ALLE “NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2008 (DM 14/01/2008)”

In base alla normativa tecnica per le costruzioni, si devono definire i parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito e della classe d'uso della costruzione. Inoltre, le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, realizzate, collaudate e soggette a manutenzione, in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle presenti norme.

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

a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*_c : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

L'oggetto del presente studio prevede l'integrazione del quadro conoscitivo geologico del Comune di Ferrara; ai fini della presente si prevede che, sul sito oggetto di studio, saranno realizzati interventi che rientreranno in Classe d'uso III, corrispondenti quindi a *costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi*[...].

Le azioni sismiche sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

La vita nominale V_N viene definita pari a 50 anni.

Il valore del coefficiente d'uso C_U , varia al variare della classe d'uso, così come riportato in tabella 2.12.3-1.

TABELLA 2.12.3-1

CLASSI D'USO E COEFFICIENTI D'USO C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

L'area sulla quale insisterà l'opera, rientra nella categoria di sottosuolo D; i coefficienti S_s (amplificazione stratigrafica) e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori F_0 e T_c^* , mediante le espressioni riportate in tabella 2.12.3-2, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

TABELLA 2.12.3-2

COEFFICIENTI S_s E C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Le condizioni topografiche vengono valutate in funzione dei valori S_T (amplificazione topografica) riportati in Tabella 2.12.3-3.

TABELLA 2.12.3-3

VALUTAZIONE CONDIZIONI TOPOGRAFICHE SECONDO IL PARAMETRO S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Ai fini del calcolo è stata scelta una vita nominale V_n di 50 anni, ed una classe d'uso III, con coefficiente d'uso c_u di 1.5. Da questa elaborazione, si ottengono i valori dei parametri sismici a_g , F_0 e T_c^* ,

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisr.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	---	---	--

determinati in funzione del periodo di ritorno T_R ed associati ad uno stato limite SLV, categoria del sottosuolo D e categoria topografica T1.

2.12.4. VERIFICA DELLE SOLLECITAZIONI SISMICHE SUI TERRENI INCOERENTI

E' importante in questa fase distinguere fra terreni di fondazione incoerenti e terreni coesivi, i quali rispondono alle sollecitazioni di taglio in modo diverso.

Per prevedere il comportamento del terreno sottoposto ad azione sismica nei terreni incoerenti, è fondamentale conoscere il parametro densità relativa (D_r); un terreno molto addensato ($D_r \geq 70\%$) infatti, sottoposto a sollecitazioni di taglio, tende ad aumentare di volume (**fenomeno della dilatanza**) fino a raggiungere l'indice dei vuoti critico, oltre al quale cessa l'aumento di volume stesso. La densità relativa (D_r) in corrispondenza di un aumento di volume diminuisce, come diminuisce l'angolo di resistenza al taglio (ϕ) legato direttamente ad essa.

Nei terreni di fondazione coesivi, nei quali la resistenza al taglio è espressa in condizioni drenate da un angolo di resistenza al taglio e da una coesione drenata e in condizioni non drenate, da una coesione non drenata, è dimostrato (Carroll, 1963) che l'azione sismica non produce variazioni negative nelle caratteristiche meccaniche.

Nel caso in esame, in corrispondenza delle verticali d'indagine sono stati rilevati sedimenti coesivo-granulari e granulari saturi. Per tali terreni sono stati determinati valori di densità relativa media inferiori al 70%. Pertanto, in virtù delle caratteristiche dei terreni e delle densità individuate, in caso di sollecitazione sismica non è previsto l'insorgere del fenomeno della dilatanza. A tale proposito si sottolinea inoltre come, in generale, tale fenomeno sia funzione anche della profondità alla quale si trova lo strato indagato: maggiore è la profondità dello strato, minore sarà la possibilità dell'insorgere del fenomeno.

Per quanto riguarda il fenomeno della **liquefazione**, definito come la diminuzione della resistenza al taglio e/o di rigidità, causata dall'aumento della pressione interstiziale in un terreno saturo granulare durante una sollecitazione sismica, la probabilità che nei terreni sabbiosi saturi si verifichino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla, se si riscontra almeno una delle condizioni riportate di seguito. È sufficiente che solo uno di questi criteri sia soddisfatto per poter omettere ogni ulteriore tipo di verifica (Regione Emilia Romagna - atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica").

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field (cioè in assenza di carichi superficiali, edifici o altro) minore di $0.1g$;
3. accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di $0.15g$ e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - frazione di fine FC, superiore al 20%, con indice di plasticità $IP > 10\%$;
 - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;
 - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$

dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT, definito dalla relazione:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N$$

in cui il coefficiente C_N è ricavabile dall'espressione

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.5}$$

essendo p_a la pressione atmosferica e σ'_v la pressione efficace verticale.

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 2.12.4.5-1 (a), nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 2.12.4.5-1 (b) per coefficienti di uniformità $U_c > 3.5$;

5. profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna, in presenza di topografia orizzontale e di strutture con fondazioni superficiali. Qualora si fosse in presenza di fondazioni profonde e/o su pendio inclinato, questo criterio non sarebbe più applicabile e la verifica alla liquefazione dovrebbe essere eseguita anche per profondità della falda superiori a mt 15.00 da p.c. Tuttavia è da tener presente che oltre i mt 20 di profondità, la probabilità che un livello sciolto possa subire liquefazione, diventa estremamente bassa.

Da evidenziare come, per il punto 4, sia chiaramente necessario prelevare un campione di sabbia da sottoporre ad analisi di laboratorio.

Quando nessuna delle condizioni prima descritte risulta soddisfatta, è necessario procedere alla valutazione di un coefficiente di sicurezza alla liquefazione, alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

I punti sopra elencati vengono esplicitati nei paragrafi successivi; in termini di fattori scatenanti il sisma quali magnitudo, accelerazione, a_g e fattori predisponenti quali profondità della falda, granulometria, ecc., ecc.

2.12.4.1. Fattori scatenanti: Definizione della Magnitudo attesa del sisma

La definizione della magnitudo attesa, utilizzata di seguito per le valutazioni sulla liquefazione, farà riferimento, alla massima magnitudo attesa relativa alla zona sismogenetica di riferimento (912) che risulta pari a $M = 6.14$. Tale assunzione viene anche suggerita dalla determinazione della Regione Emilia Romagna n. 1105 del 03/02/2014.

2.12.4.2. Fattori scatenanti: Definizione dell'accelerazione sismica orizzontale

(da “La liquefazione dei terreni” di Aldo di Bernardo)

Il parametro dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie (a_{gmax}) è riferito alla condizione *free-field*, cioè in assenza di carichi superficiali, edifici o altro. Il valore di soglia, indicato dalla normativa, è di 0.10 g. Questo significa che se l'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie indotta dal sisma si colloca sotto questo limite è possibile omettere la verifica alla liquefazione.

Il parametro a_{gmax} si ricava direttamente dalla caratterizzazione sismica del sito, secondo le indicazioni del DM 14/01/2008, attraverso la relazione:

$$a_{gmax} = a_g S_s S_t$$

La grandezza a_g è l'accelerazione sismica orizzontale riferita al sito rigido, ricavabile dall'appendice B del DM 14/01/2008 in funzione delle coordinate geografiche del sito, e S_s e S_t sono i coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica.

Il valore di soglia introdotto nel DM 14/01/2008 non coincide con quello suggerito nell'Eurocodice 8, dove il limite viene posto a 0.15 g. Questa differenza nasce da un adattamento dell'Eurocodice 8 al contesto italiano. Anche se a livello mondiale sono noti casi di liquefazione avvenuti in corrispondenza di valori di a_{gmax} minori di 0.10, si ritiene che in Italia ciò sia molto improbabile. Per poter produrre fenomeni di liquefazione, eventi sismici che generano in superficie valori di accelerazione così bassi, devono essere caratterizzati da una durata insolitamente lunga. Cioè devono essere in grado di produrre un numero sufficientemente alto di cicli di carico per consentire, ai relativamente ridotti valori di Δu , di poter uguagliare, sommandosi, la pressione litostatica efficace agente.

Nel caso specifico, si valuta l'accelerazione massima orizzontale in base agli abachi dell'Atto di Indirizzo 112/2007 della Regione Emilia Romagna, considerando il valore di accelerazione massima previsto per il Comune di Ferrara amplificato con il fattore di amplificazione PGA previsto per la PIANURA 2 con $v_s < 250$ m/s. ($a_{gmax} = a_{refg} \times F.A. \text{ P.G.A.} = 0,132 \times 1,5 = \mathbf{0,198g}$).

Una seconda valutazione che si rende necessaria, è la determinazione dell'accelerazione massima orizzontale riferita al sito rigido e dei parametri sismici, in base alle indicazioni fornite dalle NTC08. In questo caso, per il calcolo dei parametri sismici, è stato utilizzato il programma di calcolo, Spettri-NTC, ver.1.0.3, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

In figura 2.12.4.2-1 è rappresentata l'individuazione del sito di riferimento, in basso a sinistra la visualizzazione dei quattro nodi del reticolo che circoscrivono il sito stesso. La modalità di interpolazione scelta dei dati forniti per ciascuno di tali nodi, è la superficie rigata.

Il territorio italiano, come già accennato precedentemente, è suddiviso in un reticolo sovrapposto alla mappa probabilistica del rischio sismico sviluppata dal progetto S1 dell'INGV, e ad ogni nodo del reticolo corrisponde un set di parametri fondamentali o indipendenti, tabulati nella normativa: a_g , F_o , T_c^* ; per i punti con coordinate intermedie tra i nodi del reticolo si utilizzano metodi di interpolazione.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

☐ Ricerca per comune

REGIONE

Emilia-Romagna

PROVINCIA

Ferrara

COMUNE

Ferrara

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

☒ Sito esterno al reticolo
☐ Interpolazione su 3 nodi
☐ Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Figura 2.12.4.2-1

Finestra di lavoro relativa alla FASE 1.

In allegato 21si riportano i grafici degli spettri di risposta ottenuti in corrispondenza di ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1 (zona sismica di Categoria S1 – OPCM2003); in allegato 18 i grafici che rappresentano la variabilità dei parametri a_g , F_o e T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_r , ed in allegato 17 è inserita una tabella riassuntiva dei valori degli stessi parametri a_g , F_o e T_c^* per ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1; la scelta del tempo di ritorno dipende da quella che, nella fase 2, viene definita strategia di progettazione.

In figura 2.12.4.2-2 si descrive la considerazione dei dati specifici relativi alla costruzione in oggetto.

In questo caso, come sopra riportato, si prevede di realizzare una palestra, con vita nominale V_n pari a 50 anni ed appartenente alla classe d'uso III, a cui corrisponde un coefficiente $C_u = 1.5$. In base a tali valori viene determinato il periodo di riferimento per la costruzione V_r , che risulta in questo caso pari a 75 anni. Sono quindi calcolati i valori dei periodi di ritorno corrispondenti alle probabilità di superamento per i quattro stati limiti previsti dalle NTC08. I dati in uscita in questa fase rappresentano una selezione effettuata sui dati ottenuti nella fase precedente in corrispondenza dei valori previsti per il periodo di ritorno dei quattro stati limite considerati (Allegati 22, 20 e 19).

Si pone in evidenza il fatto che i dati riportati nella tabella dell'allegato 19 sono relativi ai parametri per la costruzione di spettri di risposta per i diversi stati limite e riguardano la pericolosità sismica di base

del sito, ossia l'azione sismica attesa su suolo rigido e orizzontale; questi dati, nell'ottica di uno studio di RSL mediante modellazione numerica, sono da intendere come la definizione delle forme spettrali dei terremoti di input.

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_u info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	45
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	75
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	712
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	1462

Elaborazioni

Grafici parametri azione ☐

Grafici spettri di risposta ☐

Tabella parametri azione ☐

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Figura 2.12.4.2-2

Finestra di lavoro relativa alla FASE 2

In figura 2.12.4.2-3 è raffigurata la determinazione dell'azione di progetto corrispondente a ciascuno Stato Limite.

Nello specifico si suppone di voler determinare l'azione di progetto per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e di avere: un sottosuolo di categoria D, una zona topografica di categoria T1 e infine una quota del sito della costruzione pari all'altezza del rilievo topografico (e pertanto $h/H = 0$).

Inseriti questi dati vengono forniti i valori dei coefficienti SS, CC e ST necessari per la determinazione dello spettro.

In questo caso, trattandosi dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), si seleziona l'opzione relativa allo spettro di progetto inelastico. Non avendo ricevuto informazioni dal tecnico strutturista si ipotizzano i parametri di q e q_0 e cautelativamente si assegna la non regolarità della struttura in altezza.

Si riportano infine negli allegati 23, 24 e 25, il grafico relativo agli spettri per lo stato limite considerato e le tabelle con i parametri corrispondenti.

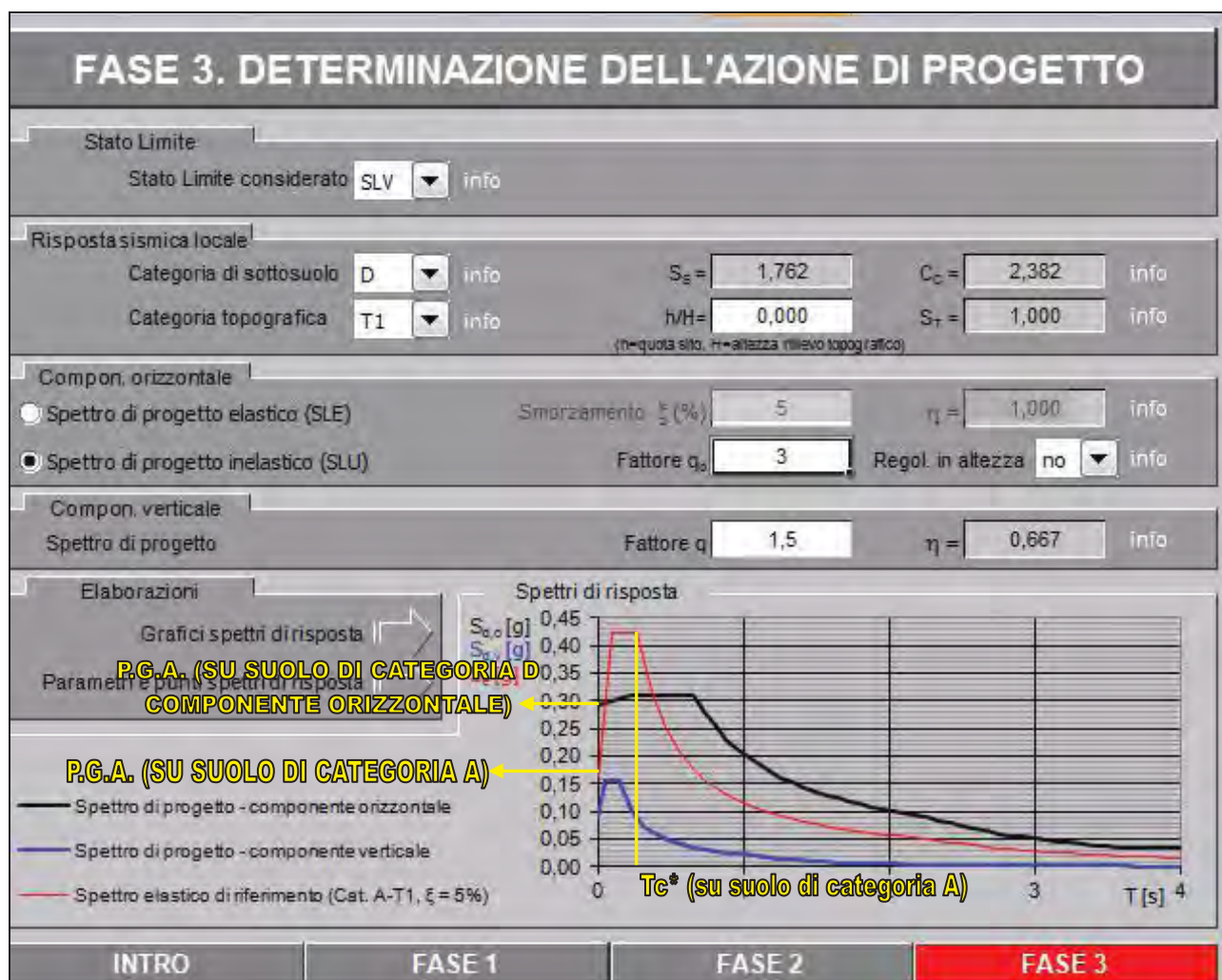


Figura 2.12.4.2-3

Spettri-NTC

In virtù di quanto sopra riportato e della definizione della accelerazione massima attesa in superficie (a_{gmax}), nonché del calcolo dei fattori di amplificazione S_s e S_t , nel caso specifico $S_s = 1.762$, per lo stato limite SLU-SLV ($a_g = 0.166g$) e $S_t = 1$, si definisce l'accelerazione massima orizzontale attesa al sito (a_{gmax}) per SLU-SLV pari a **0.29g**.

Applicando questo criterio si conclude che l'accelerazione massima attesa è nettamente superiore a quanto determinabile con l'Atto di Indirizzo nr. 112 del 2007. Inoltre la verifica non è comunque soddisfatta, in quanto in entrambi i casi i valori sono superiori a 0.10 g, quindi è necessario procedere ad ulteriori verifiche ed elaborazioni relativamente al rischio di liquefazione.

Per le valutazioni di seguito riportate, si considera cautelativamente il valore dell'accelerazione massima attesa più elevato.

A commento di quanto precedentemente determinato per mezzo del software distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, va segnalato come lo spettro di risposta che risulta sia uno spettro di ampiezza corrispondente allo spettro teorico del terremoto a cui riferirsi. È la forma standardizzata dello

spettro dei terremoti. La forma di questo spettro dipende dallo smorzamento ξ (5%), ma così creato è la convoluzione di tutte le incertezze e quindi come tale si riferisce ad un sisma teorico.

Supporti Grafici:

- Allegati 17-20. Valori dei parametri a_g , F_o , T^*_c
- Allegati 21-25. Spettri di risposta e parametri SLV

2.12.4.3. Fattori predisponenti: Profondità della falda

(da “La liquefazione dei terreni” di Aldo di Bernardo)

Quando le sopraccitate condizioni non risultano soddisfatte, diventa necessario eseguire una prima valutazione geotecnica di tipo qualitativo e semi quantitativo sui terreni presenti nel sito indagato.

Il primo parametro da individuare è la posizione della falda rispetto al piano campagna. Se la profondità media stagionale del livello di falda è superiore a mt 15, in presenza di topografia orizzontale e di strutture con fondazioni superficiali, la verifica alla liquefazione può essere omessa. Questo limite coincide con quello indicato nell'Eurocodice 8. Si ammette quindi l'improbabilità che strutture con fondazioni superficiali in presenza di topografia suborizzontale, possano risentire degli effetti della liquefazione in livelli posti oltre i mt 15 di profondità.

Il DM 14/01/2008 parla di misura riferita al valore medio stagionale. Nell'Eurocodice 8 invece si fa riferimento alle condizioni prevalenti durante il periodo di vita dell'opera. Nel primo caso si tratta di eseguire una valutazione sulla base di dati storici, nel secondo di fare una previsione a lungo termine, con i problemi che ciò comporta. Qualora non fossero disponibili misure precise del livello di falda, è possibile effettuare una valutazione approssimativa attraverso una stima di massima dell'oscillazione del livello.

Nel caso specifico la falda risulta comunque a profondità inferiori a mt 15.00 da p.c., nettamente più prossima al piano campagna, come definito nel capitolo dedicato.

2.12.4.4. Fattori predisponenti: Resistenza mobilitabile dal terreno

(da “La liquefazione dei terreni” di Aldo di Bernardo)

Vengono prese come riferimento le prove penetrometriche dinamiche e statiche. Nel caso di terreni costituiti da sabbie pulite, cioè con frazione fine trascurabile, la verifica alla liquefazione si può omettere quando la resistenza penetrometrica normalizzata è superiore a uno dei seguenti limiti:

- $(N_1)_{60} > 30$ nel caso di prove penetrometriche dinamiche;
- $q_{c1N} > 180$ nel caso di prove penetrometriche statiche.

Il parametro $(N_1)_{60}$ rappresenta il valore di N_{SPT} riferito a un'efficienza di infissione del 60%, efficienza considerata standard per le prove eseguite in foro di sondaggio, e normalizzata per una pressione verticale efficace di 100 KPa. Si ottiene quindi dalla relazione:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} (100/\sigma'_v)^{0.5}$$

in cui σ'_v è la pressione litostatica efficace, espressa in KPa, alla profondità di misura.

Utilizzando i dati di una prova dinamica continua questi, ovviamente, dovranno prima essere convertiti in valori di N_{SPT} equivalenti.

La grandezza q_{c1N} , in modo analogo, indica il valore di resistenza alla punta q_c del penetrometro statico normalizzata alla pressione di riferimento di 100 KPa:

$$q_{c1N} = (q_c / 0.1) (100 / \sigma'_v)^{0.5}$$

dove q_c è espresso in MPa e σ'_v in KPa.

Per quanto riguarda gli orizzonti coesivo-granulari, il DM 14/01/2008 non fornisce indicazioni relativamente al caso di sabbie con una frazione fine, limo-argillosa, significativa. È possibile in questi casi fare riferimento alle indicazioni dell'Eurocodice 8.

L'Eurocodice 8 al criterio di esclusione per le sabbie pulite ne aggiunge altri 2. La verifica alla liquefazione potrà quindi essere omessa quando:

- la sabbia abbia un contenuto di argilla superiore al 20%, con un indice plastico $IP > 10\%$;
- la sabbia abbia un contenuto in limo superiore al 35% e, contemporaneamente, possieda una resistenza penetrometrica normalizzata superiore a 20, cioè $(N_1)_{60} > 20$; non si fa riferimento alle prove statiche ma è ragionevole utilizzare un valore di q_{c1N} ridotto a 2/3 rispetto a quello indicato per le sabbie pulite, e quindi $q_{c1N} > 120$.

Ne consegue che per l'Eurocodice 8 sono da considerare sabbie pulite quelle in cui il contenuto in argilla sia inferiore al 20% e quello in limo al 35%. Si possono avere situazioni intermedie, con miscele di limo e argilla in varie proporzioni; inoltre la verifica delle condizioni dell'Eurocodice 8 comporta la necessità di eseguire analisi granulometriche su tutti i livelli sabbiosi saturi.

Quando la componente fine risulta abbondante, si opera come segue:

- se l'indice plastico è superiore a 10 (Eurocodice 8) o a 12 (Bray e Sancio) la verifica alla liquefazione può essere omessa;
- in caso contrario la decisione andrà presa sulla base di $(N_1)_{60}$ o di q_{c1N} .

Il vantaggio di operare con i dati acquisiti da una prova penetrometrica statica, in questo caso, deriva dal fatto che è possibile con essi stimare in maniera diretta, anche se approssimativa, la frazione di fine, intesa come componente limosa-argillosa.

Di seguito si riportano i fogli di calcolo della resistenza penetrometrica normalizzata relativa sia ai livelli identificati come francamente granulari (in giallo) che ai livelli coesivo-granulari (in arancio); da tali fogli si evince che per la totalità dei livelli granulari la resistenza è inferiore a 180, così come per tutti i livelli coesivo-granulari, la resistenza è inferiore a 120.



Resistenza penetrometrica normalizzata CPT-185160C402 (CPT8)

da mt	a mt	qc (kg/cm2)	qc (MPa)	Y'	ton/mq	kg/cmq	kPa	$\sigma'v$ (kPa)	qc/0,1	$(100/\sigma'v)^{0,5}$	$(qc / 0.1) (100/\sigma'v)^{0.5}$
0,000	0,200	0,000	0,000	1,850	0,370	0,037	3,628	3,628	0,000	5,250	0,000
0,200	0,400	24,000	2,354	1,850	0,370	0,037	3,628	7,257	23,536	3,712	87,369
0,400	0,600	28,000	2,746	1,850	0,370	0,037	3,628	10,885	27,459	3,031	83,226
0,600	0,800	36,000	3,530	1,850	0,370	0,037	3,628	14,514	35,304	2,625	92,668
0,800	1,000	30,000	2,942	1,850	0,370	0,037	3,628	18,142	29,420	2,348	69,071
1,000	1,200	28,000	2,746	1,850	0,370	0,037	3,628	21,771	27,459	2,143	58,849
1,200	1,400	26,000	2,550	1,850	0,370	0,037	3,628	25,399	25,497	1,984	50,592
1,400	1,600	22,000	2,157	1,850	0,370	0,037	3,628	29,028	21,575	1,856	40,044
1,600	1,800										
1,800	2,000	24,000	2,354	0,940	0,188	0,019	1,844	32,686	23,536	1,749	41,167
2,000	2,600										
2,600	2,800	21,000	2,059	0,929	0,186	0,019	1,822	40,117	20,594	1,579	32,515
2,800	3,000	20,000	1,961	0,925	0,185	0,019	1,814	41,931	19,613	1,544	30,289
3,000	3,200	14,000	1,373	0,888	0,178	0,018	1,741	43,672	13,729	1,513	20,775
3,200	3,600										
3,600	3,800	20,000	1,961	0,925	0,185	0,019	1,814	49,026	19,613	1,428	28,012
3,800	4,000	26,000	2,550	0,865	0,173	0,017	1,697	50,723	25,497	1,404	35,801
4,000	4,600										
4,600	4,800	14,000	1,373	0,888	0,178	0,018	1,741	57,945	13,729	1,314	18,036
4,800	5,600										
5,600	5,800	10,000	0,981	0,863	0,173	0,017	1,692	65,658	9,807	1,234	12,103
5,800	6,000	11,000	1,079	0,869	0,174	0,017	1,704	67,362	10,787	1,218	13,143
5,800	6,800										
6,800	7,000	8,000	0,785	0,840	0,168	0,017	1,648	74,854	7,845	1,156	9,068
7,000	9,200										
9,200	9,400	36,000	3,530	0,890	0,178	0,018	1,746	91,104	35,304	1,048	36,987
9,400	9,600	42,000	4,119	0,903	0,181	0,018	1,772	92,876	41,188	1,038	42,738
9,600	9,800	60,000	5,884	0,933	0,187	0,019	1,831	94,706	58,840	1,028	60,462
9,800	10,000	50,000	4,903	0,917	0,183	0,018	1,798	96,504	49,033	1,018	49,913
10,000	10,200	50,000	4,903	0,917	0,183	0,018	1,798	98,302	49,033	1,009	49,455
10,200	10,400	44,000	4,315	0,907	0,181	0,018	1,778	100,080	43,149	1,000	43,132
10,400	10,600	24,000	2,354	0,860	0,172	0,017	1,687	101,767	23,536	0,991	23,331
10,600	10,800	24,000	2,354	0,940	0,188	0,019	1,844	103,611	23,536	0,982	23,122
10,800	11,600										
11,600	11,800	8,000	0,785	0,840	0,168	0,017	1,648	112,505	7,845	0,943	7,396
11,800	12,400										
12,400	12,600	10,000	0,981	0,863	0,173	0,017	1,692	118,394	9,807	0,919	9,013
12,600	13,600										
13,600	13,800	22,000	2,157	0,855	0,171	0,017	1,677	128,976	21,575	0,881	18,997
13,800	15,000										



Resistenza penetrometrica normalizzata CPT-185160C403 (CPT9)

da mt	a mt	qc (kg/cm2)	qc (MPa)	Y'	ton/mq	kg/cmq	kPa	σ'v (kPa)	qc/0,1	(100/σ'v)^0,5	(qc / 0.1) (100/σ'v)^0.5
0,000	0,200										
0,200	0,400	12,000	1,177	1,850	0,370	0,037	3,628	7,257	11,768	3,712	43,684
0,400	0,800										
0,800	1,000	20,000	1,961	1,850	0,370	0,037	3,628	18,142	19,613	2,348	46,047
1,000	1,200	21,000	2,059	1,850	0,370	0,037	3,628	21,771	20,594	2,143	44,137
1,200	1,400	21,000	2,059	1,850	0,370	0,037	3,628	25,399	20,594	1,984	40,863
1,400	3,000										
3,000	3,200	24,000	2,354	0,860	0,172	0,017	1,687	43,443	23,536	1,517	35,708
3,200	12,000										
12,000	12,200	24,000	2,354	0,940	0,188	0,019	1,844	103,544	23,536	0,983	23,130
12,200	12,400	26,000	2,550	0,865	0,173	0,017	1,697	105,240	25,497	0,975	24,854
12,400	15,000										

Resistenza penetrometrica normalizzata CPT-185160C725 (CPT3)

da mt	a mt	qc (kg/cm2)	qc (MPa)	Y'	ton/mq	kg/cmq	kPa	σ'v (kPa)	qc/0,1	(100/σ'v)^0,5	(qc / 0.1) (100/σ'v)^0.5
0,000	0,200	0,000	0,000	1,850	0,370	0,037	3,628	3,628	0,000	5,250	0,000
0,200	0,400	34,600	3,393	1,850	0,370	0,037	3,628	7,257	33,931	3,712	125,956
0,400	0,600	44,800	4,393	1,850	0,370	0,037	3,628	10,885	43,934	3,031	133,161
0,600	0,800	42,800	4,197	1,850	0,370	0,037	3,628	14,514	41,972	2,625	110,173
0,800	1,000	39,800	3,903	1,850	0,370	0,037	3,628	18,142	39,030	2,348	91,634
1,000	1,200	36,700	3,599	1,850	0,370	0,037	3,628	21,771	35,990	2,143	77,135
1,200	1,400	31,600	3,099	1,850	0,370	0,037	3,628	25,399	30,989	1,984	61,489
1,400	1,600	28,500	2,795	1,850	0,370	0,037	3,628	29,028	27,949	1,856	51,875
1,600	1,800	21,400	2,099	0,930	0,186	0,019	1,824	30,852	20,986	1,800	37,783
1,800	3,400										
3,400	3,600	17,300	1,697	0,908	0,182	0,018	1,781	47,461	16,966	1,452	24,626
3,600	3,800	18,400	1,804	0,915	0,183	0,018	1,795	49,255	18,044	1,425	25,711
3,800	4,000	14,300	1,402	0,889	0,178	0,018	1,744	51,000	14,024	1,400	19,637
4,000	4,200	44,900	4,403	0,908	0,182	0,018	1,781	52,781	44,032	1,376	60,608
4,200	4,400	22,400	2,197	0,856	0,171	0,017	1,679	54,460	21,967	1,355	29,767
4,400	4,600	12,200	1,196	0,876	0,175	0,018	1,719	56,179	11,964	1,334	15,962
4,600	4,800	36,700	3,599	0,892	0,178	0,018	1,749	57,927	35,990	1,314	47,287
4,800	7,600										
7,600	7,800	9,200	0,902	0,854	0,171	0,017	1,674	83,212	9,022	1,096	9,890
7,800	8,000	14,300	1,402	0,889	0,178	0,018	1,744	84,956	14,024	1,085	15,215
8,000	8,200	12,200	1,196	0,876	0,175	0,018	1,719	86,675	11,964	1,074	12,851
8,200	11,200										
11,200	11,400	8,200	0,804	0,842	0,168	0,017	1,652	114,281	8,041	0,935	7,522
11,400	15,000										
15,000	15,200	27,500	2,697	0,869	0,174	0,017	1,704	148,425	26,968	0,821	22,136
15,200	15,600										
15,600	15,800	29,600	2,903	0,961	0,192	0,019	1,885	154,036	29,028	0,806	23,388
15,800	16,000	36,700	3,599	0,892	0,178	0,018	1,749	155,785	35,990	0,801	28,835
16,000	16,200	42,800	4,197	1,002	0,200	0,020	1,966	157,751	41,972	0,796	33,418
16,200	16,400	30,600	3,001	0,877	0,175	0,018	1,719	159,470	30,008	0,792	23,763
16,400	16,600	30,600	3,001	0,877	0,175	0,018	1,719	161,189	30,008	0,788	23,636
16,600	16,800										
16,800	17,000	21,400	2,099	0,854	0,171	0,017	1,674	164,813	20,986	0,779	16,347
17,000	17,200	26,500	2,599	0,866	0,173	0,017	1,699	166,512	25,988	0,775	20,139
17,200	17,400	29,600	2,903	0,874	0,175	0,017	1,714	168,226	29,028	0,771	22,380

17,400	17,600	38,800	3,805	0,996	0,199	0,020	1,953	170,178	38,050	0,767	29,168
17,600	17,800	27,500	2,697	0,953	0,191	0,019	1,870	172,048	26,968	0,762	20,560
17,800	18,000	22,400	2,197	0,934	0,187	0,019	1,832	173,880	21,967	0,758	16,659
18,000	18,200	28,600	2,805	0,957	0,191	0,019	1,877	175,757	28,047	0,754	21,156
18,200	18,400	71,400	7,002	0,952	0,190	0,019	1,868	177,625	70,019	0,750	52,537
18,400	18,600	25,500	2,501	0,946	0,189	0,019	1,855	179,480	25,007	0,746	18,666
18,600	18,800	28,600	2,805	0,957	0,191	0,019	1,877	181,357	28,047	0,743	20,827
18,800	19,000										
19,000	19,200	20,400	2,001	0,851	0,170	0,017	1,669	184,843	20,006	0,736	14,715
19,200	19,400	18,400	1,804	0,915	0,183	0,018	1,795	186,638	18,044	0,732	13,208
19,400	19,600	19,400	1,902	0,921	0,184	0,018	1,807	188,445	19,025	0,728	13,859
19,600	19,800	15,300	1,500	0,950	0,190	0,019	1,863	190,308	15,004	0,725	10,876

Nel caso specifico, con la sola analisi del parametro q_{c1N} , sia per la frazione granulare che per quella coesivo-granulare, risulta necessario procedere alla verifica alla liquefazione.

2.12.4.5. Fattori predisponenti: Composizione granulometrica

(da “La liquefazione dei terreni” di Aldo di Bernardo)

Facendo riferimento ai classici schemi di Tsuchida (1970), incorporati in numerose normative nazionali e procedure di valutazione del rischio, vengono definiti due fusi granulometrici corrispondenti a depositi con diverso valore del coefficiente di uniformità.

Si ricorda che per coefficiente di uniformità si intende il rapporto:

$$U = d_{60} / d_{10}$$

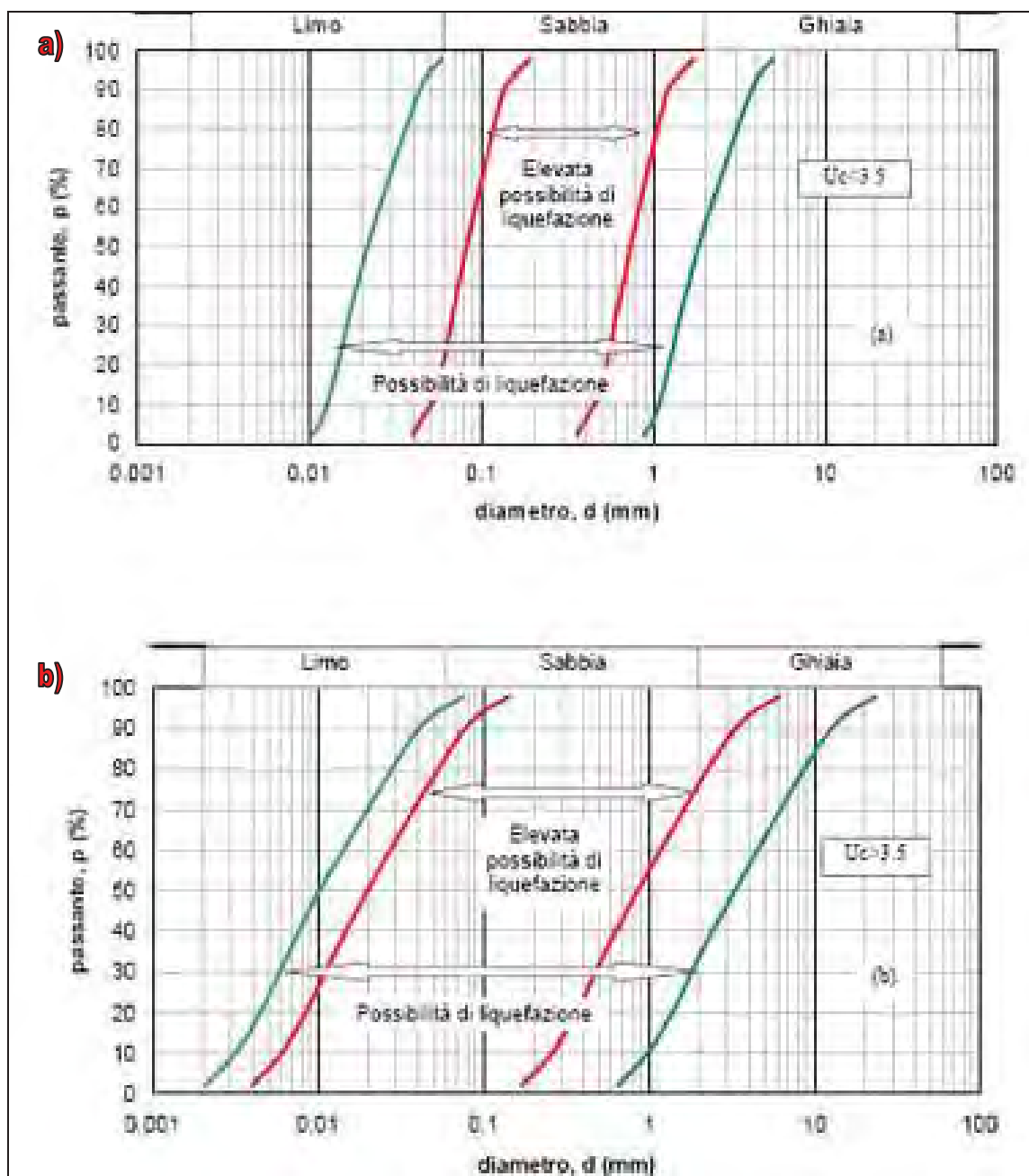
in cui d_{60} e d_{10} sono, rispettivamente, i diametri corrispondenti al 10% e al 60% del peso del campione letti sulla curva granulometrica.

Secondo il DM 14/01/2008, che riprende le indicazioni dell'Eurocodice 8, si può omettere la verifica alla liquefazione, quando la curva granulometrica del terreno risulta esterna alle zone indicate.

A livello operativo l'applicazione di questo criterio implica l'esecuzione di un sondaggio con prelievo di campioni di sabbia satura a diverse profondità, con le difficoltà che questo comporta.

Interpretativamente è necessario che un profilo ricada completamente nei limiti indicati per poter essere indicato liquefacibile.

Nel caso specifico, non è stata in questa fase prevista l'esecuzione di sondaggi geognostici e il prelievo di campioni di terreno sui quali effettuare le relative analisi granulometriche.



Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione

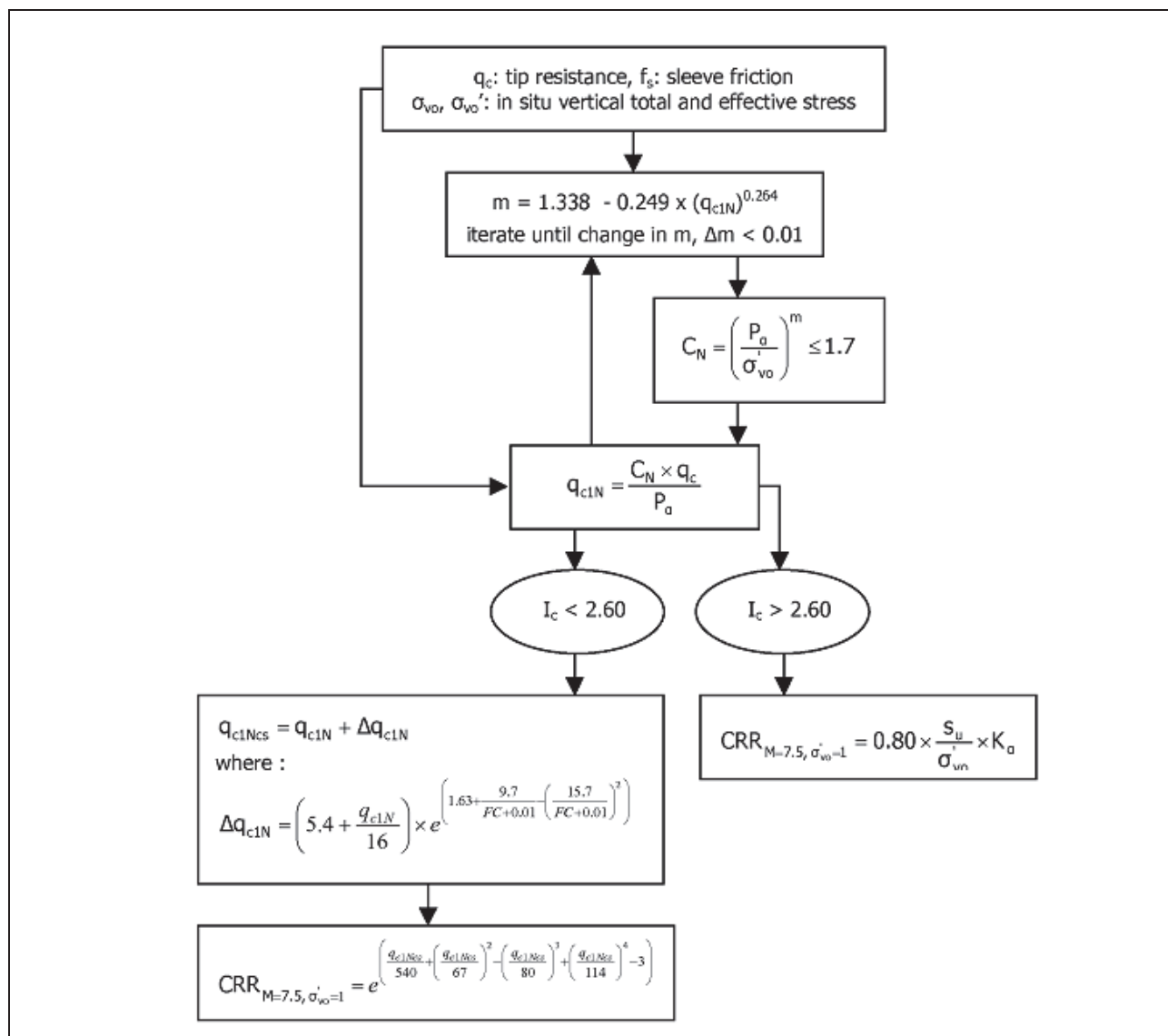


2.12.5. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE PER IL CASO SPECIFICO

Nel caso in esame, in corrispondenza delle verticali di indagine, sono stati individuati livelli coesivo-granulari e granulari saturi, considerando un livello della falda ipotizzato pari a mt. 1.70 da piano campagna. Visti gli spessori, le caratteristiche e le profondità a cui si trovano, nella presente sono state effettuate le seguenti verifiche riferite al caso evento sismico.

Nello specifico, è stata valutata la **suscettibilità alla liquefazione** applicando un criterio indiretto corrispondente al metodo di Idriss & Boulanger (2008) come suggerito dalla determinazione n° 1105 del 03/02/2014 della Regione Emilia Romagna.

Questo metodo utilizza le seguenti correlazioni:



In base alla deliberazione dell'assemblea legislativa della Regione Emilia Romagna n. 112 del 2 maggio 2007, è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione quando $FL < 1$. La circolare del C.S.LL.PP. n. 617 del 2 febbraio 2009, demanda invece al progettista la decisione in merito alla scelta del margine di sicurezza



nei confronti della liquefazione. Per quanto riguarda infine l'OPCM 3274 del 20 marzo 2003, un terreno deve essere considerato suscettibile a liquefazione, allorché lo sforzo di taglio generato dal terremoto a una data profondità, supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato la liquefazione durante terremoti passati alla medesima profondità; il livello di sforzo di taglio implica un fattore di sicurezza pari a 1.25.

Vista la tipologia di indagini analizzate e le peculiarità delle valutazioni introdotte dall'OPCM 3274, si ritiene corretto nella presente definire che un deposito non è suscettibile a liquefazione quando $FL > 1$ in linea con quanto riportato nel DAL 112/2007 della Regione Emilia Romagna.

Il calcolo dell'Indice del potenziale di Liquefazione (LPI) viene utilizzato per interpretare le singole valutazioni in termini di gravità del fenomeno liquefazione sulla profondità.

La procedura di calcolo si basa sul metodo elaborato da Iwasaki (1982).

Per valutare la gravità di liquefazione misurata in un dato sito, LPI è calcolato sulla base della seguente equazione:

$$LPI = \int_0^{20} (10 - 0,5z) \times F_L \times d_z$$

Dove:

$FL = 1 - F.S.$ quando F.S. è minore di 1

$FL = 0$ quando F.S. è maggiore di 1

z è la profondità misurata in metri

Iwasaki propose 4 categorie basate sul valore numerico di LPI:

- $LPI = 0$: il rischio di liquefazione è molto basso
- $0 < LPI \leq 5$: il rischio di liquefazione è basso
- $5 < LPI \leq 15$: il rischio di liquefazione è alto
- $LPI > 15$: il rischio di liquefazione è molto alto

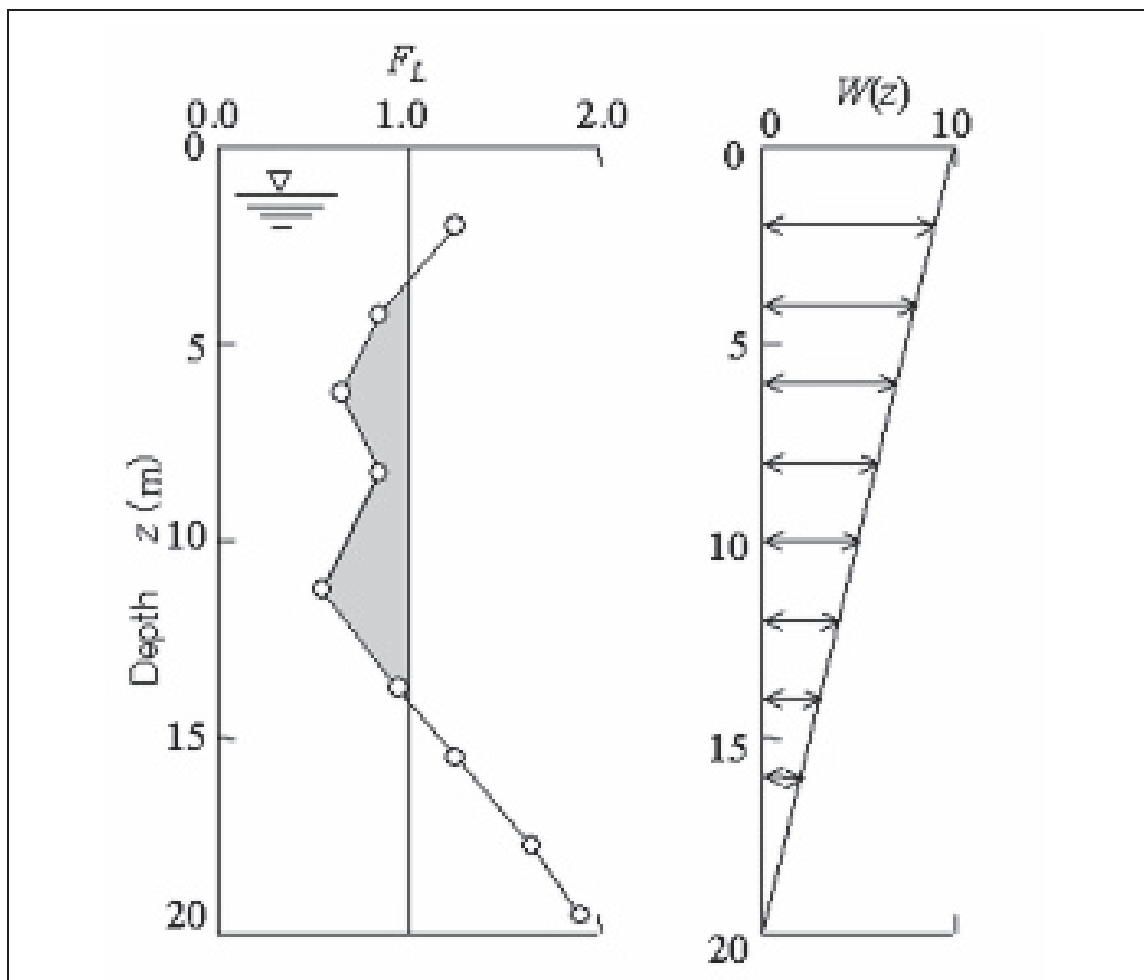


Figura 2.12.5-1

Rappresentazione grafica della procedura di calcolo di LPI

Come precedentemente indicato, in linea con il DAL 112/2007 della Regione Emilia Romagna, ai fini della presente si definisce che un deposito sabbioso risulta suscettibile a liquefazione quando $F_s < 1$.

Utilizzando il pacchetto software CLiq v.1.7.6.49 è stato determinato il fattore F_s applicando il metodo di Idriss & Boulanger (2008) individuando gli spessori caratterizzati da $F_s < 1$, di seguito elencati nelle tabelle, nelle quali, oltre agli spessori e alle profondità dei singoli strati liquefacibili, sono indicate anche le profondità dei macrostrati e gli spessori cumulativi degli strati liquefacibili.

I macrostrati distinguono gli spessori prevalentemente coesivi e prevalentemente granulari. Si sottolinea come siano stati analizzati solo i primi mt 20.00 anche della prova SCPTU.

TABELLA 2.12.5-1

SCPTU – 185160B064 – STRATI CON FS<1

SCPTU – 185160B064	MACROSTRATI		STRATI LIQUEFACIBILI		
	PROF. TETTO (MT)	PROF. LETTO (MT)	PROFONDITÀ (MT)	SPESSORI (MT)	SPESSORI CUMULATIVI (MT)
	1.50	8.98	2.24 – 2.39	0.15	0.21
			3.43 – 3.49	0.06	
	8.98	9.67	9.61 – 9.67	0.06	0.06
	9.67	16.51	9.67 – 9.91	0.24	0.35
			12.15 – 12.26	0.11	
	16.51	17.18	16.80 – 17.18	0.38	0.38
	17.18	20.00	17.18 – 17.33	0.15	0.15

TABELLA 2.12.5-2

CPT8 – 185160C402 – STRATI CON FS<1

CPT – 185160C402	MACROSTRATI		STRATI LIQUEFACIBILI		
	PROF. TETTO (MT)	PROF. LETTO (MT)	PROFONDITÀ (MT)	SPESSORI (MT)	SPESSORI CUMULATIVI (MT)
	0.20	5.20	2.80 – 3.20	0.40	0.80
			3.60 – 4.00	0.40	
	5.20	9.20	-	-	-
	9.20	10.80	9.20 – 10.40	1.20	1.20
	10.80	15.00	-	-	-

TABELLA 2.12.5-3

CPT9 – 185160C403 – STRATI CON FS<1

CPT 185160C403	MACROSTRATI		STRATI LIQUEFACIBILI		
	PROF. TETTO (MT)	PROF. LETTO (MT)	PROFONDITÀ (MT)	SPESSORI (MT)	SPESSORI CUMULATIVI (MT)
	0.20	15.00	3.00 – 3.20	0.20	0.20

TABELLA 2.12.5-4

CPT3 – 185160C725 – STRATI CON FS<1

CPT – 185160C725	MACROSTRATI		STRATI LIQUEFACIBILI		
	PROF. TETTO (MT)	PROF. LETTO (MT)	PROFONDITÀ (MT)	SPESSORI (MT)	SPESSORI CUMULATIVI (MT)
	0.20	1.80	-	-	-
	1.80	3.40	-	-	-
	3.40	4.80	4.00 – 4.80	0.80	0.80
	4.80	15.00	-	-	-
	15.00	19.80	18.20 – 18.40	0.20	0.20

Per l'interpretazione di quanto sopra, si riporta uno stralcio della premessa dello studio "Confronto tra metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione da prove CPT e CPTU" di J. Facciorusso, C. Madiati, G. Vannucchi dal quale si evince che: *"L'indice LPI è calcolato con riferimento ad una verticale di prova. Gli effetti bi- e tri- dimensionali sono trascurati. Tale semplificazione può condurre talora a stime errate. In particolare se la liquefazione in un sito è limitata a lenti isolate, la liquefazione in superficie può non manifestarsi anche per valori significativi di LPI. Viceversa uno strato liquefatto sottile, profondo, molto*

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	--	---	--

diffuso ed esteso, può determinare rottura del terreno e “lateral spreading” anche per bassi valori di LPI. La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la non sempre buona correlazione tra i valori dell’indice LPI e le evidenze di liquefazione”.

Al fine di completare l’esposizione, si riportano di seguito le interpretazioni stratigrafiche ricavate per mezzo del software tramite il quale vengono effettuate le valutazioni sulla liquefazione. Le colonne stratigrafiche sono ricostruite inizialmente con il metodo di Robertson 1986 e successivamente con il metodo di Robertson 1990 sui parametri normalizzati. Il grafico di Robertson 1990 è presentato in termini di resistenza alla punta corretta q_t ; esso può essere utilizzato ugualmente con la resistenza alla punta non corretta, q_c , finchè la differenza fra q_t e q_c è piccola, tranne nei terreni soffici a grana fine. Come si può vedere nelle pagine successive, i risultati sono simili, ad eccezione di un aumento della componente coesivo-organica con Robertson 1990.

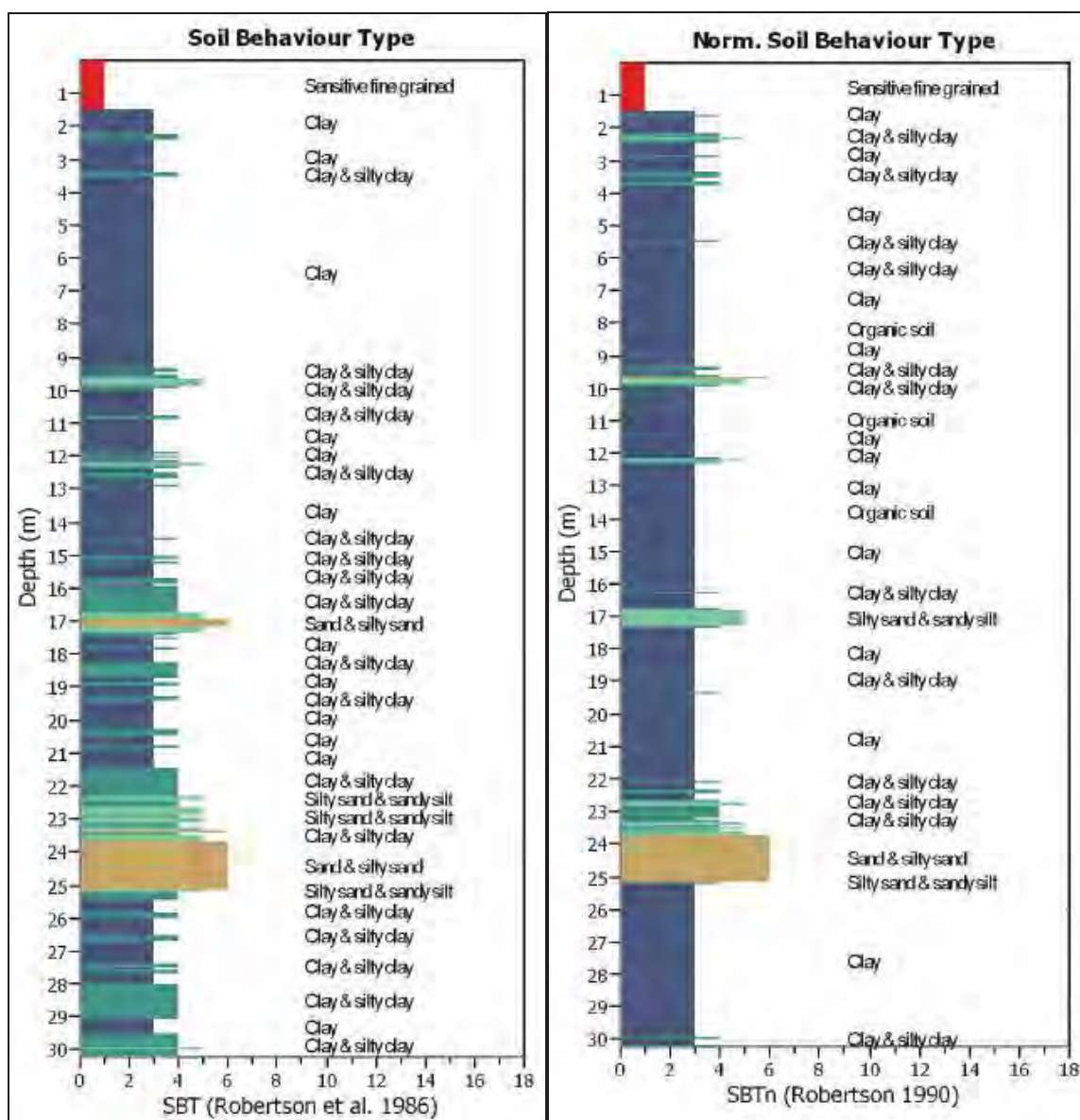


Figura 2.12.5-2

SCPTU – 185160B064 – Tipo di comportamento del terreno in base a Robertson 1986 e normalizzato in base a Robertson 1990

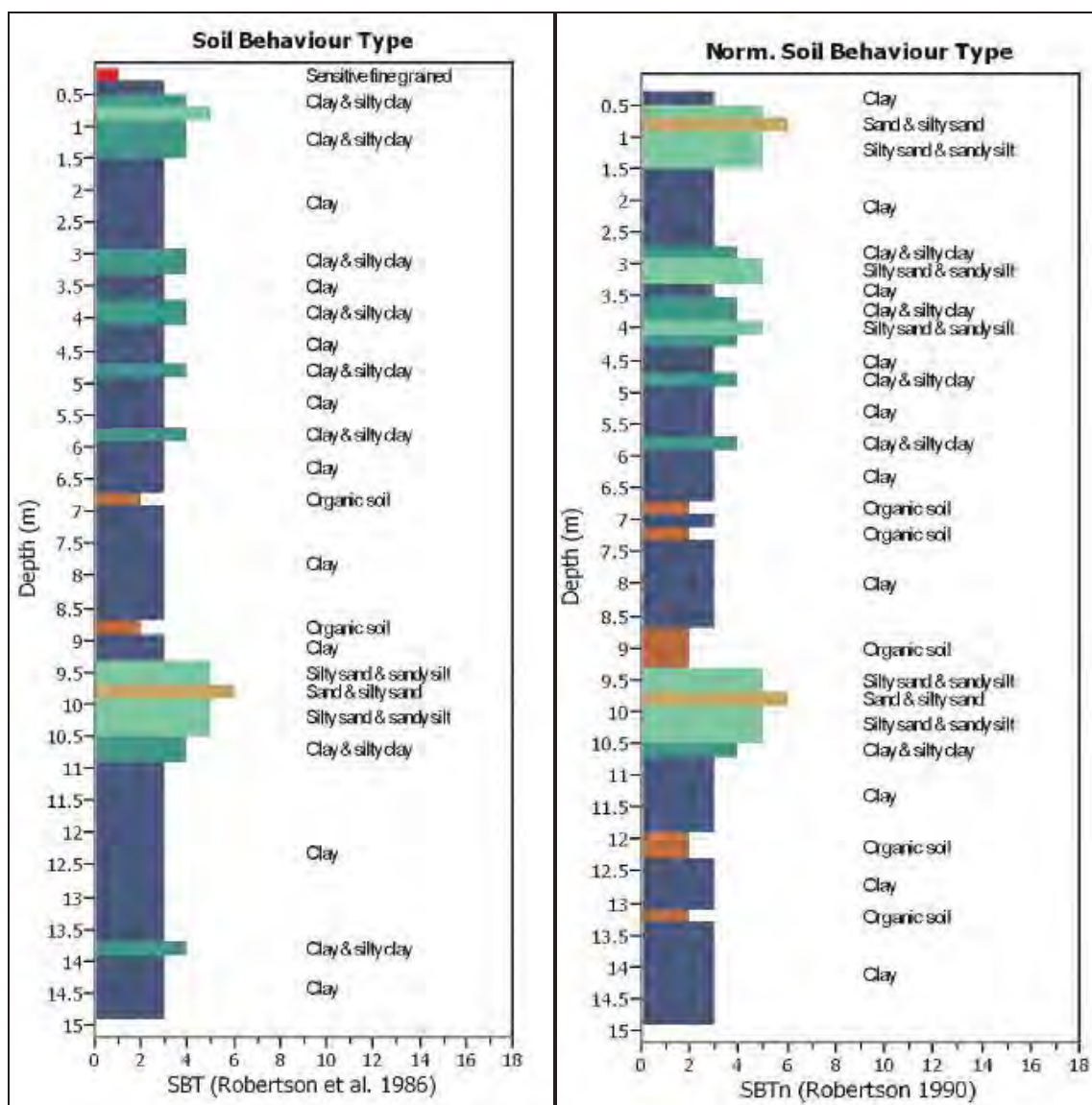
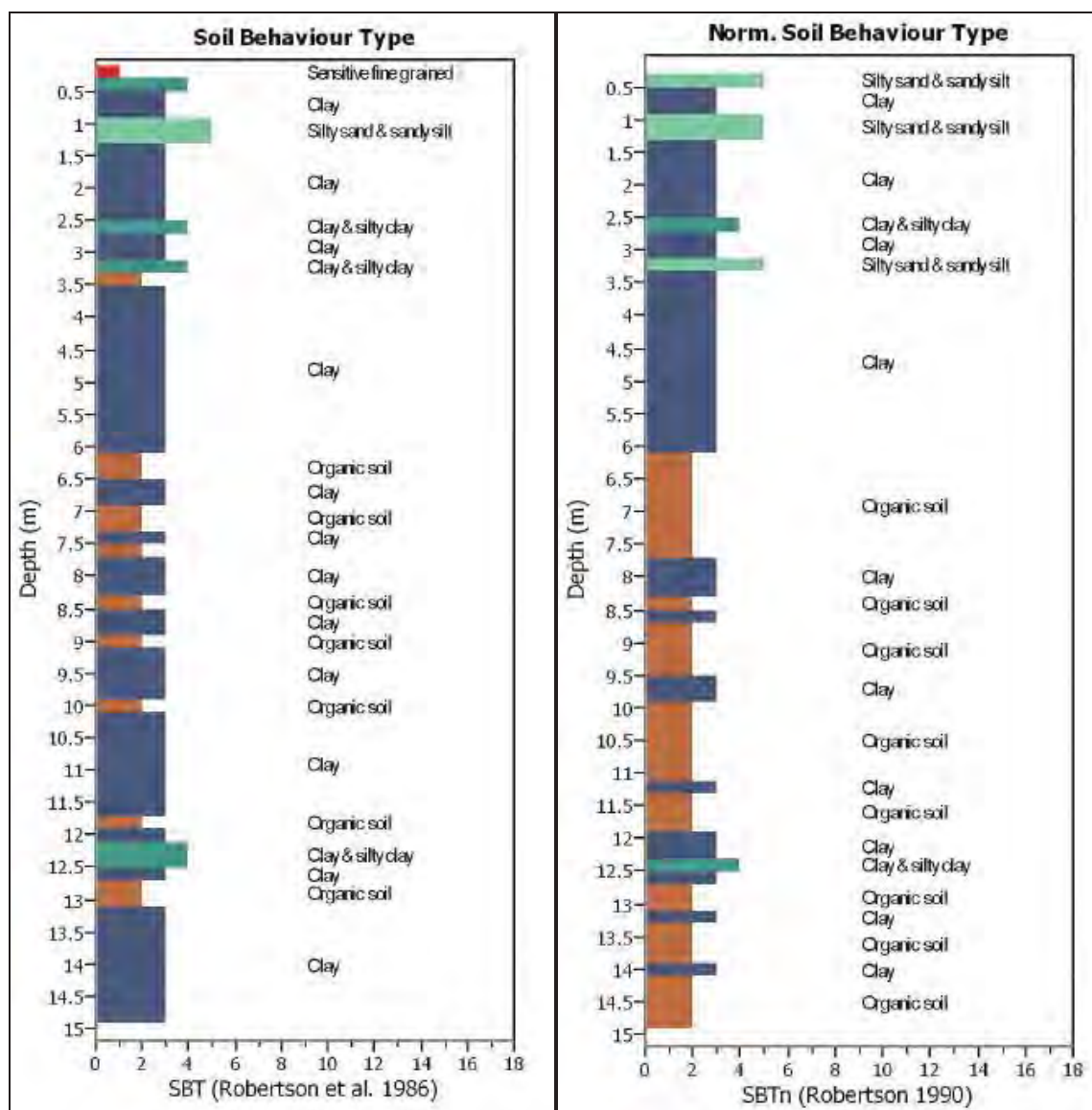


Figura 2.12.5-3

CPT – 185160C402 – Tipo di comportamento del terreno in base a Robertson 1986 e normalizzato in base a Robertson 1990



CPT – 185160C403 – Tipo di comportamento del terreno in base a Robertson 1986 e normalizzato in base a Robertson 1990

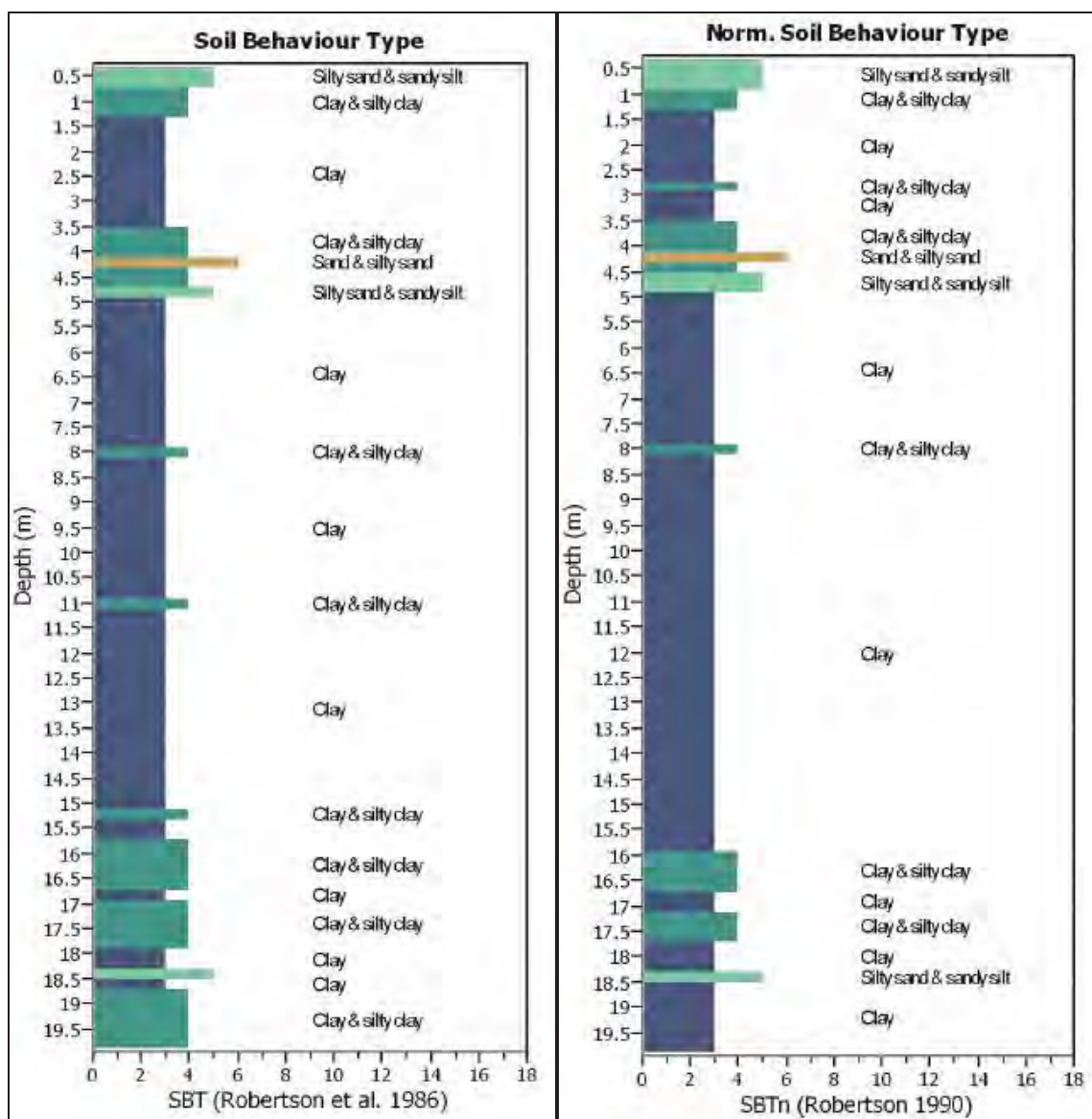
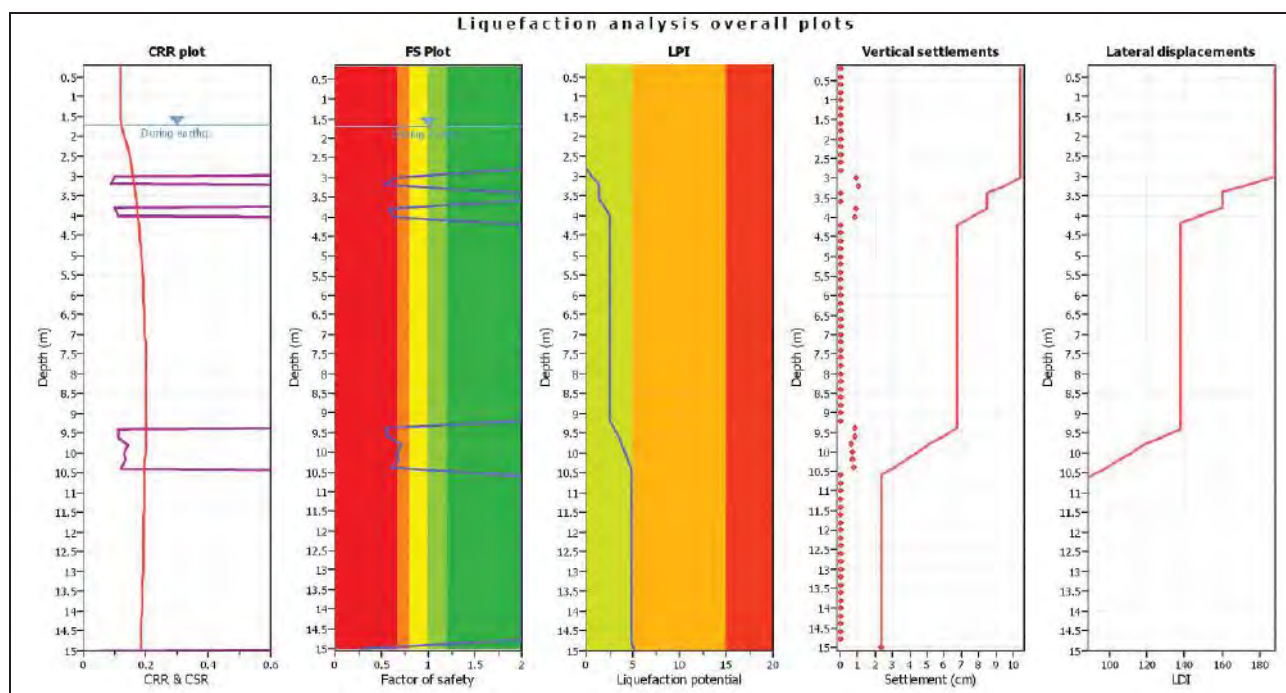
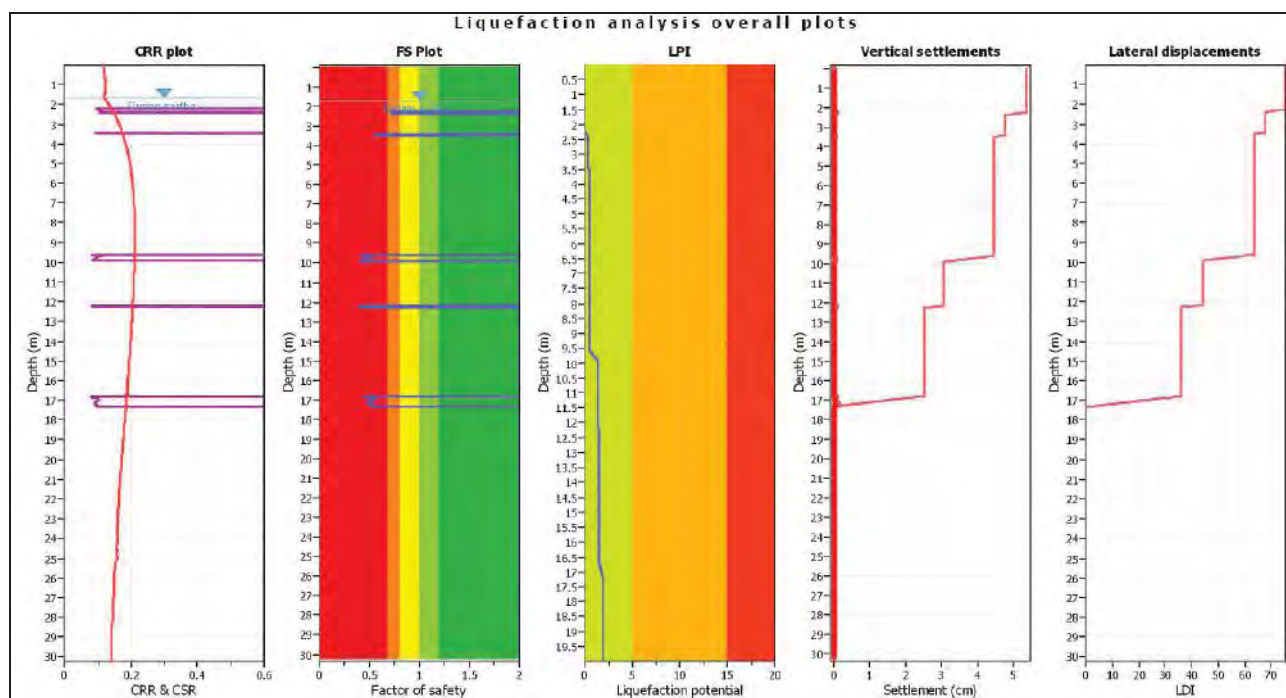


Figura 2.12.5-5

CPT – 185160C725 – Tipo di comportamento del terreno in base a Robertson 1986 e normalizzato in base a Robertson 1990

A seguire si riportano i grafici esplicativi delle valutazioni relative alle verifiche alla liquefazione.

Dalla correlazione degli elaborati relativi ai fattori di sicurezza FS (figura 2.12.5-10), si evince che solamente il livello liquefacibile, presente da circa mt 2.80/4.00 fino a circa mt 3.20/4.80, risulta correlabile tra le quattro prove e quindi possa essere considerato continuo orizzontalmente, anche tenendo conto della differenza di quota del piano campagna; di conseguenza, viste anche le caratteristiche litologiche, i valori di IPL più avanti indicati devono essere valutati tenendo conto della effettiva continuità orizzontale e degli spessori dei singoli strati. Come più avanti commentato si dovrà inoltre tenere conto anche dei metodi di prova e dei relativi limiti, oltre che dei possibili limiti e imprecisioni derivanti dalle rielaborazioni effettuate dallo scrivente, in quanto le informazioni riportate sulle schede delle prove messe a disposizione sono parziali ed è stato necessario fare delle ipotesi, basate solo sull'esperienza.



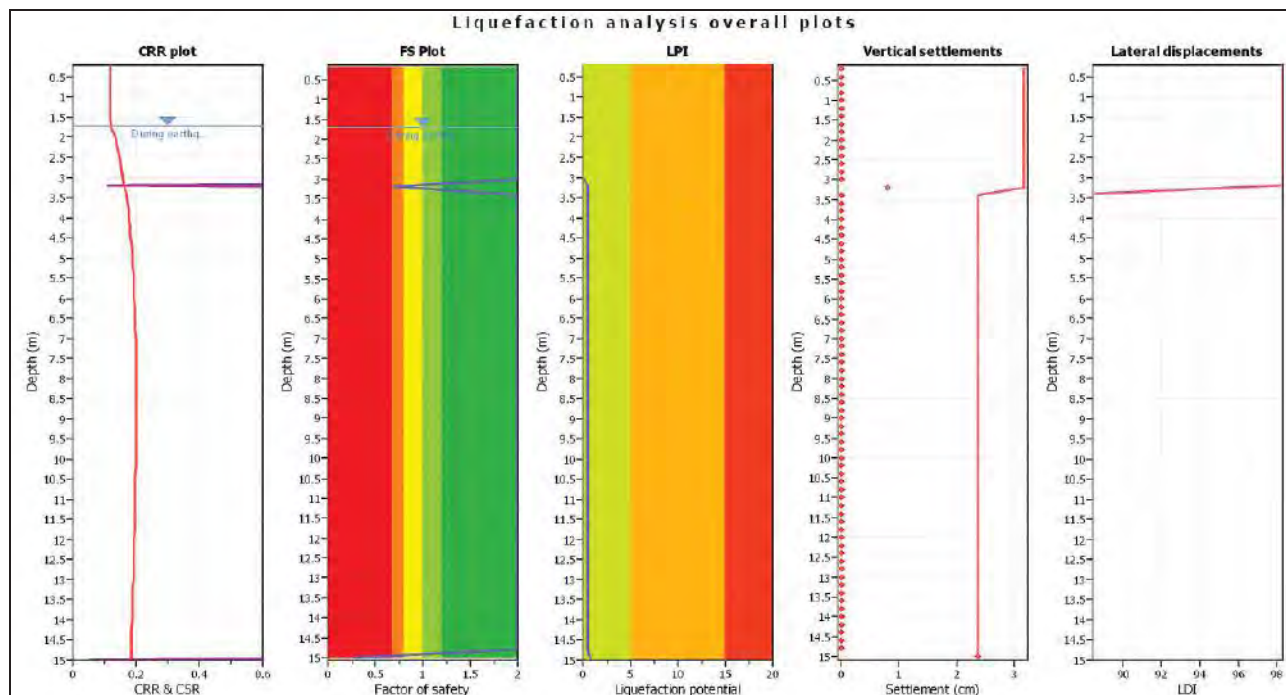


Figura 2.12.5-8
CPT9 – 185160C403 - Grafici riepilogativi analisi liquefazione

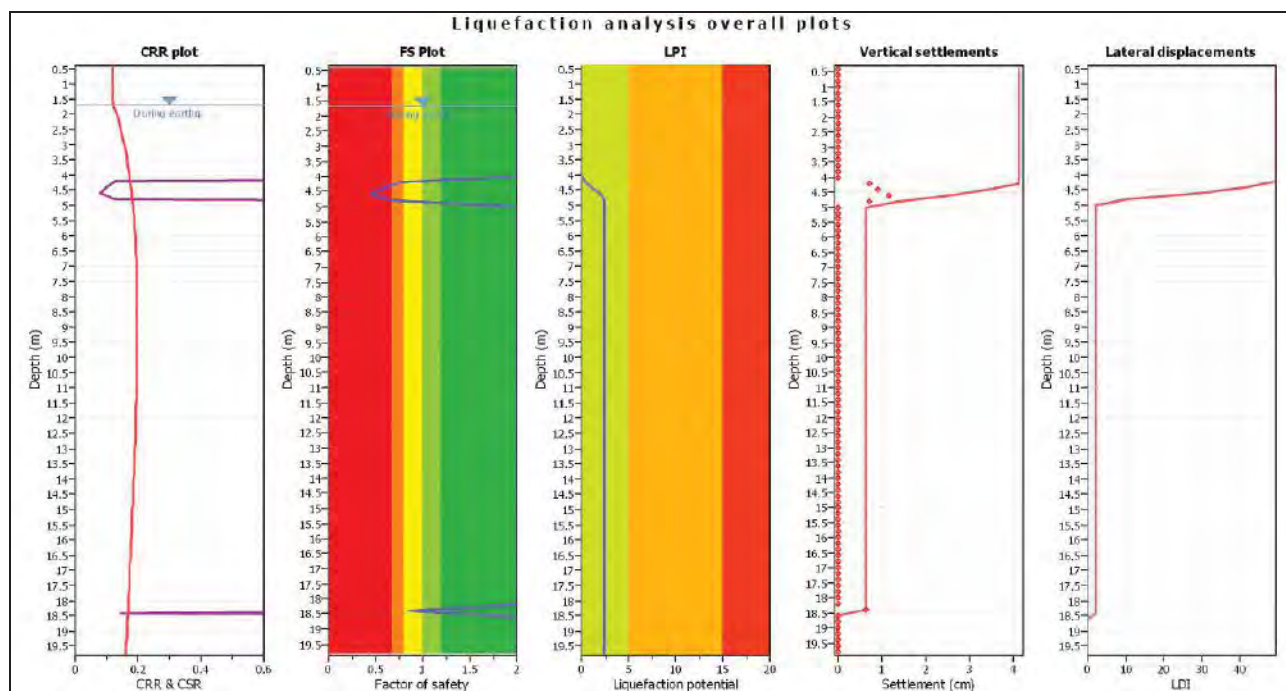


Figura 2.12.5-9
CPT3 – 185160C725 - Grafici riepilogativi analisi liquefazione

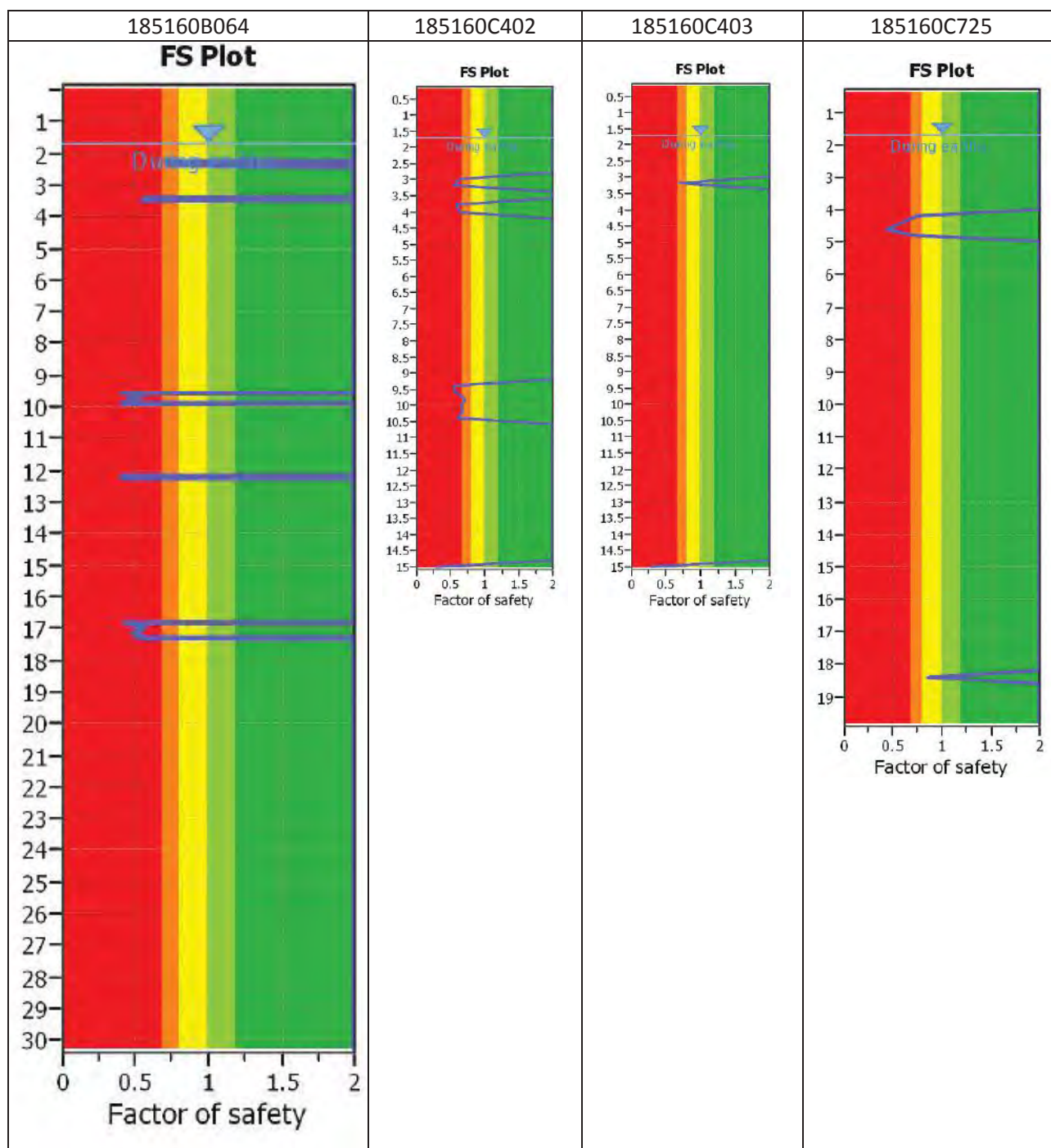


Figura 2.12.5-10
Correlazione grafici FS

Per stimare il grado di severità globale dovuta alla liquefazione del deposito, utilizzando lo stesso software CLiq v. 1.7.6.49 è stato determinato l'Indice del Potenziale di Liquefazione in base a diversi approcci, considerando una magnitudo pari a 6.14 ed una P.G.A. = 0.29g. Il livello della falda è stato mantenuto a 1.70 mt nell'ipotesi dell'avvenimento del sisma. Nella verifica alla liquefazione sono stati considerati solamente i terreni sabbiosi.



Nella figura seguente sono riportati i grafici di elaborazione dai quali emerge che, in corrispondenza delle prove analizzate, utilizzando diversi approcci l'Indice del Potenziale di Liquefazione, assume indicativamente i seguenti valori:

- SCPTU-185160B064, IPL compreso fra 1.50 e 2.50;
- CPT8-185160C402, IPL compreso fra 3.50 e 6.50;
- CPT9-185160C403, IPL compreso fra 0.00 e 2.20;
- CPT3-185160C725, IPL compreso fra 1.50 e 3.20.

In base a tutte le verifiche effettuate, risulta, quindi, un rischio di liquefazione basso, ad eccezione di quanto determinabile con i metodi di Idriss & Boulanger (2008), Moss et. al (2006) e Boulanger & Idriss (2014), i quali rilevano un rischio di liquefazione elevato in corrispondenza della CPT8-185160C402.

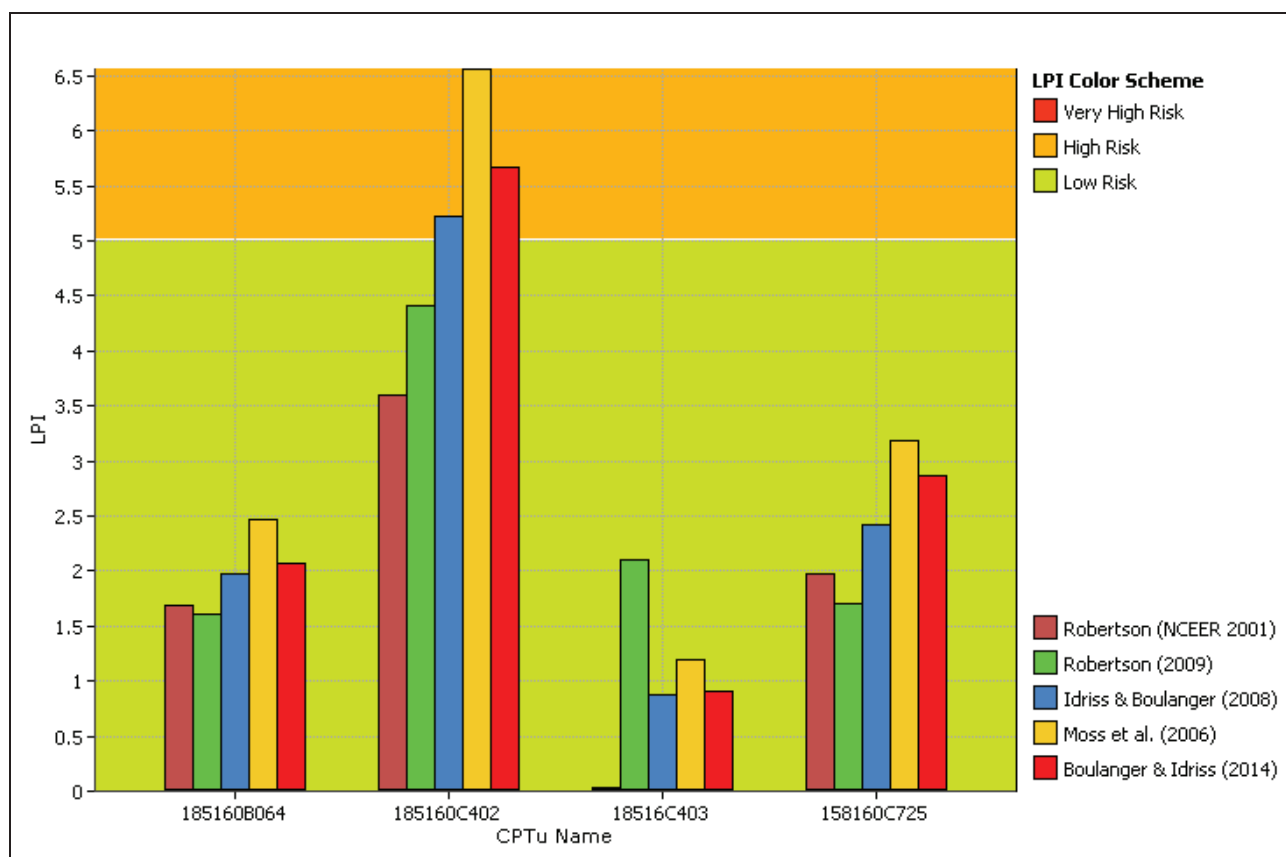


Figura 2.12.5-11

Istogrammi con valori LPI

In base al metodo di Idriss e Boulanger (2008), suggerito dalla determinazione n° 1105 del 03/02/2014 della Regione Emilia Romagna, in corrispondenza delle prove analizzate gli Indici del Potenziale di Liquefazione assumono i seguenti valori:

IPL in corrispondenza di SCPTU-185160B064 = 1.975

IPL in corrispondenza di CPT-185160C402 = 5.222

IPL in corrispondenza di CPT-185160C403 = 0.872

IPL in corrispondenza di CPT-185160C725 = 2.413

In relazione agli indici di potenziale liquefazione sopra indicati, la zona si definisce a rischio basso in corrispondenza di tutte le prove analizzate, ad eccezione della CPT-185160C402, la quale rileva un rischio di liquefazione elevato.

Si sottolinea come alcuni dati rilevati siano discordanti rispetto a quanto emerso dalla pianificazione della microzonazione.

Dal grafico riportato in figura 2.12.5-17 si evince che i valori degli Indici di Potenziale liquefazione determinati in corrispondenza delle prova SCPTU-185160B064, CPT9-185160C403 e CPT3-185160C725, rimangono al di sotto della soglia pari a 5 (rischio basso/alto), anche per valori di PGA prossimi a circa 0.50g, mentre in corrispondenza della prova CPT8-185160C402, l'indice di liquefazione rimane al di sotto di 5 per valori di PGA pari a circa 0.28g.

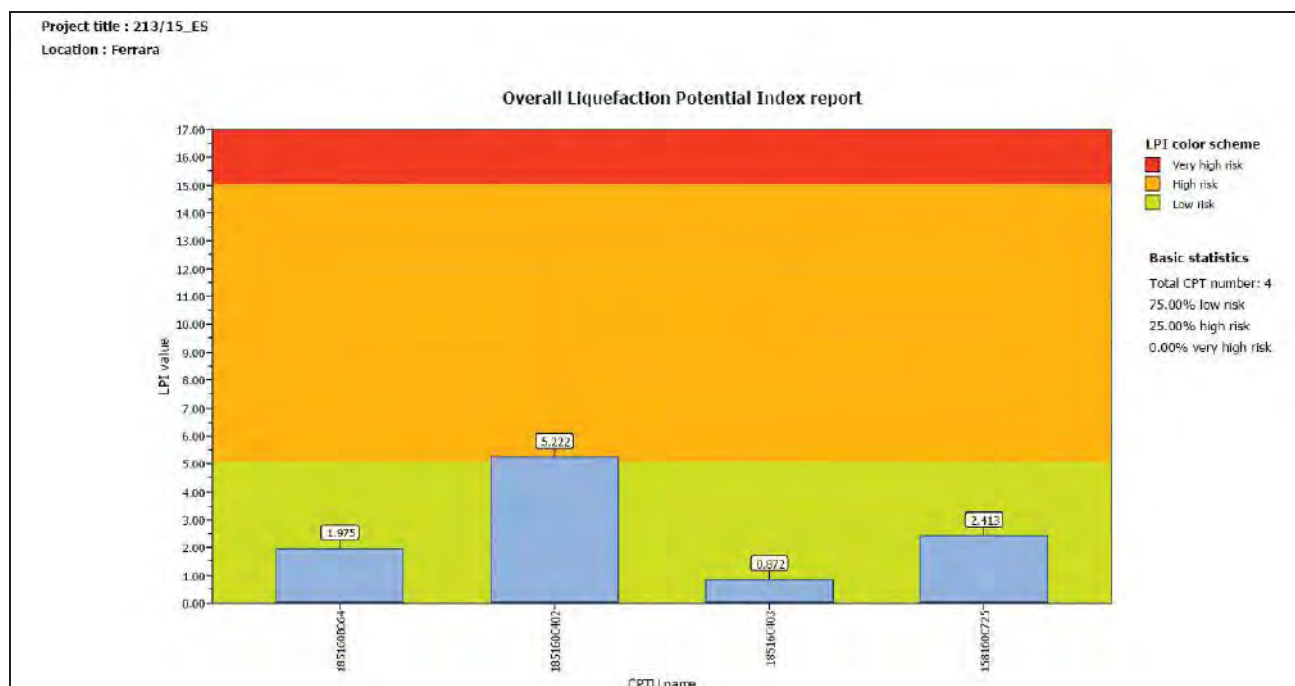


Figura 2.12.5-12

Isogrammi LPI – Idriss & Boulanger 2008

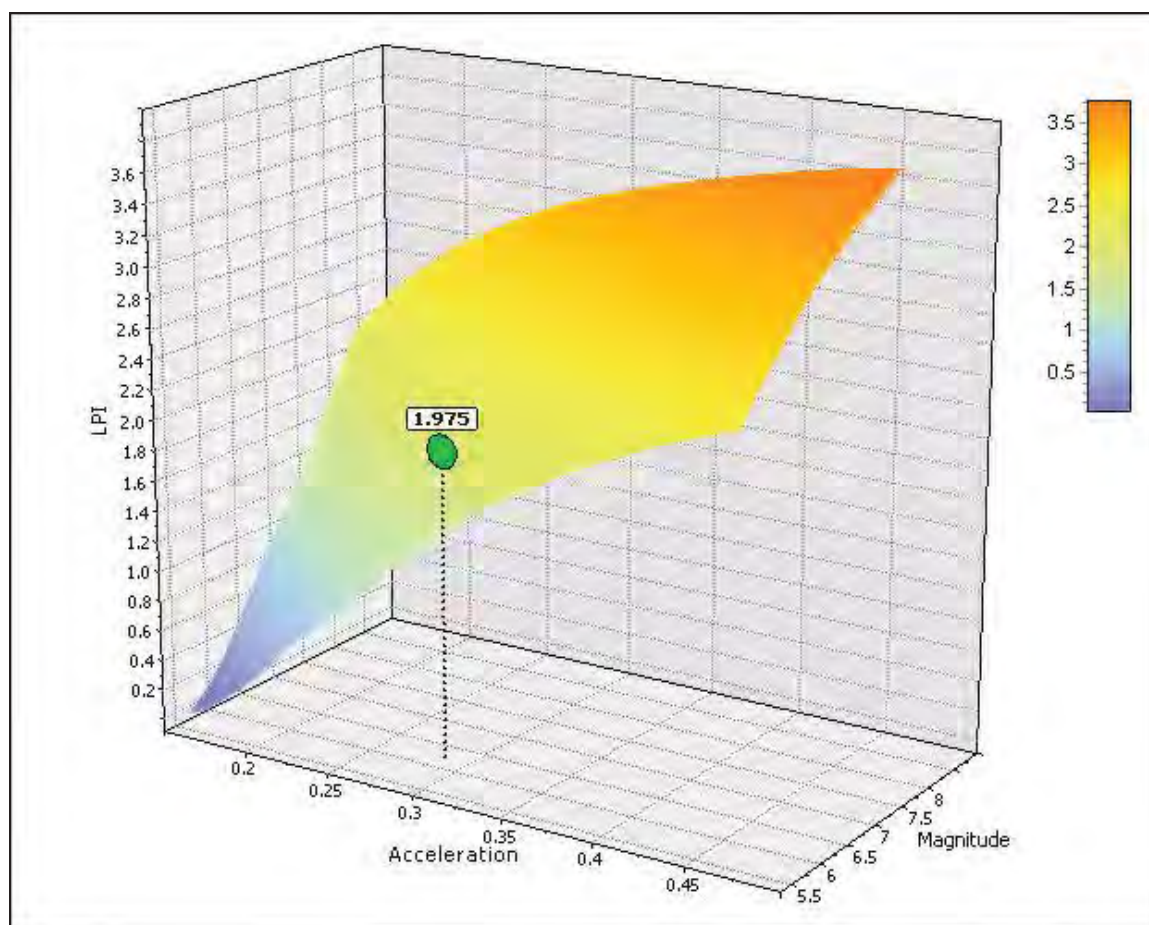


Figura 2.12.5-13

185160B064: Grafico LPI – Accelerazione – Magnitudo

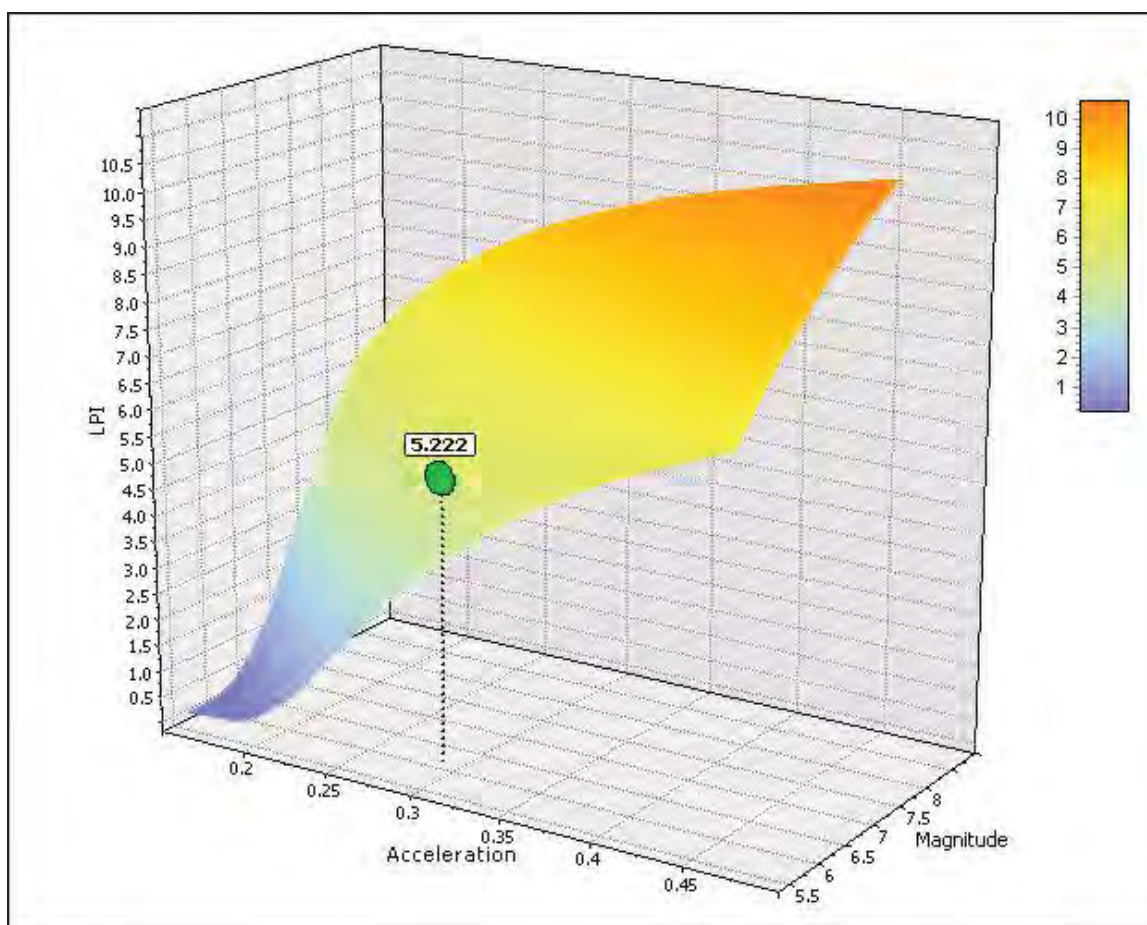


Figura 2.12.5-14

185160C402: Grafico LPI – Accelerazione – Magnitudo

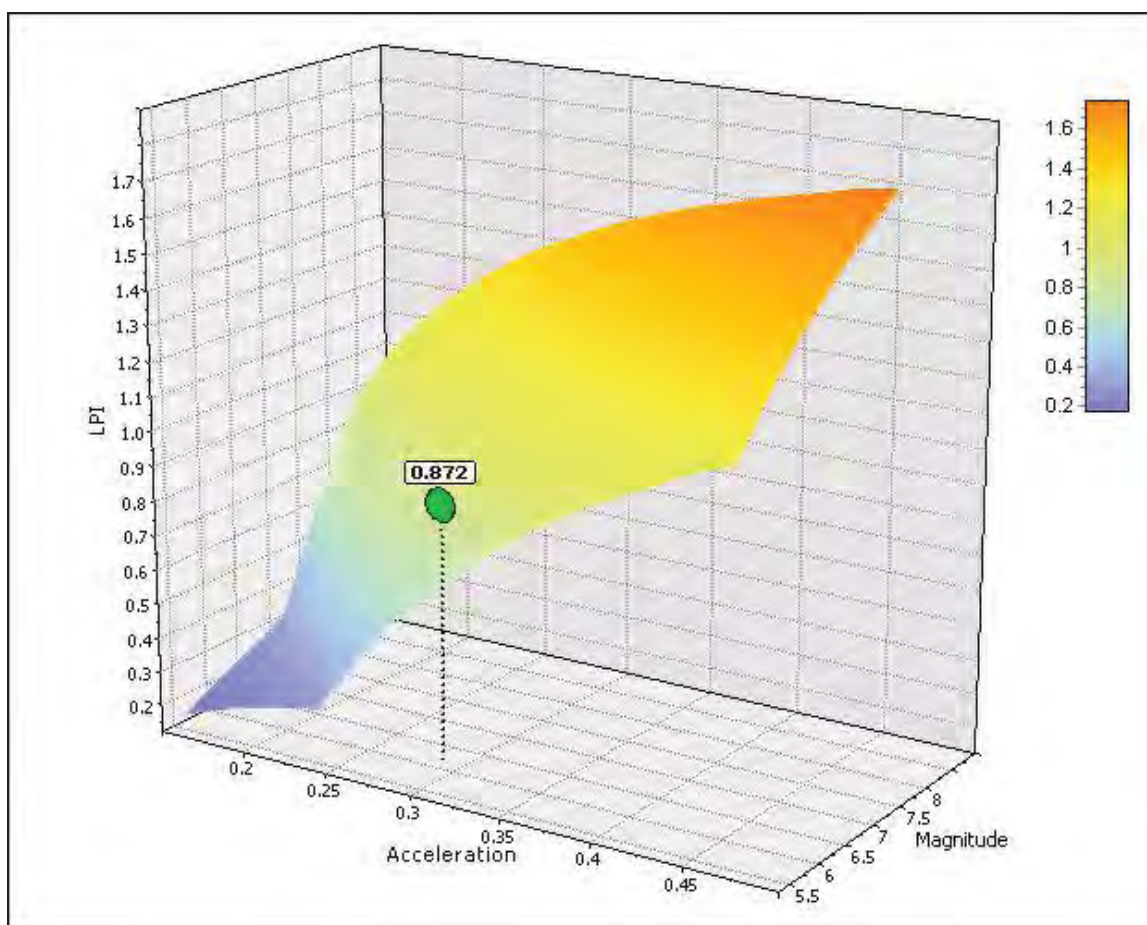


Figura 2.12.5-15

185160C403: Grafico LPI – Accelerazione – Magnitudo

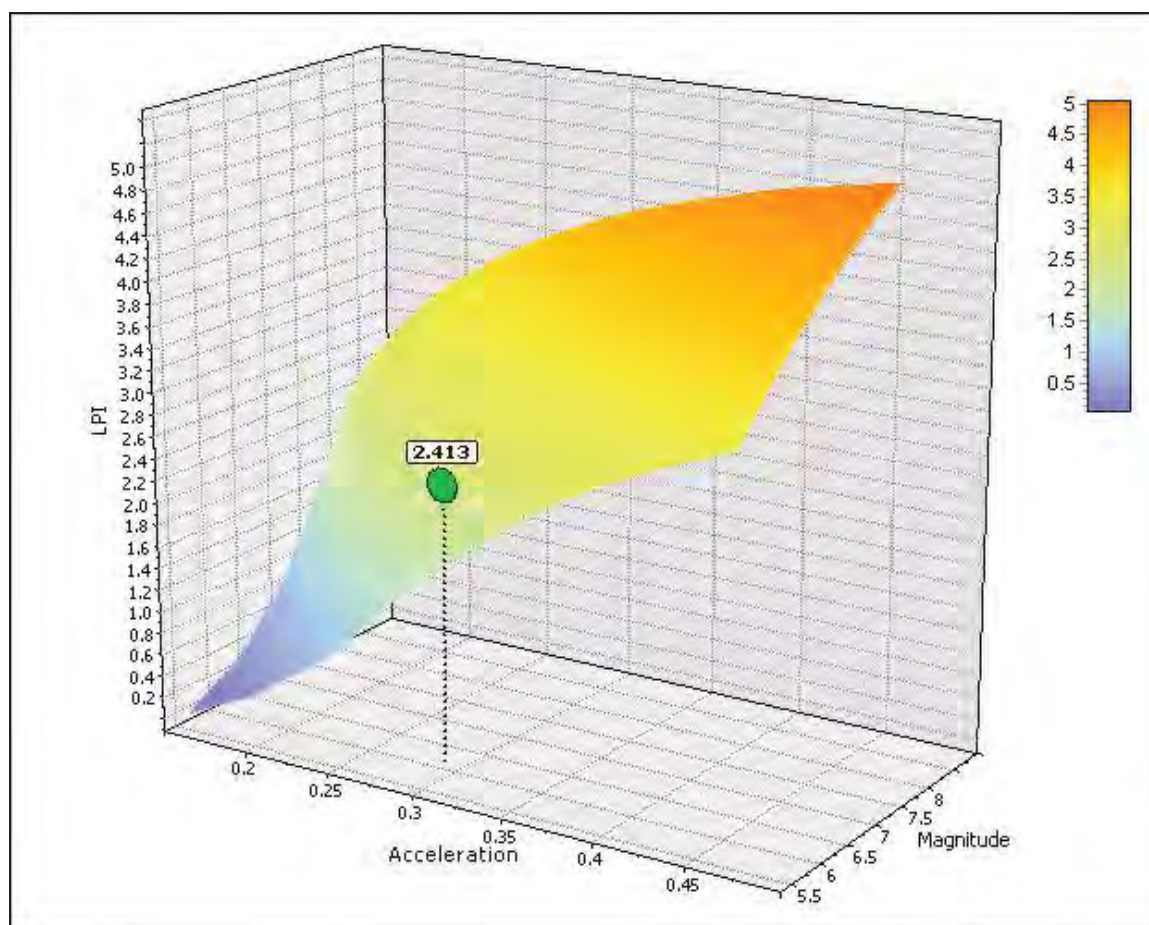


Figura 2.12.5-16

185160C725: Grafico LPI – Accelerazione – Magnitudo

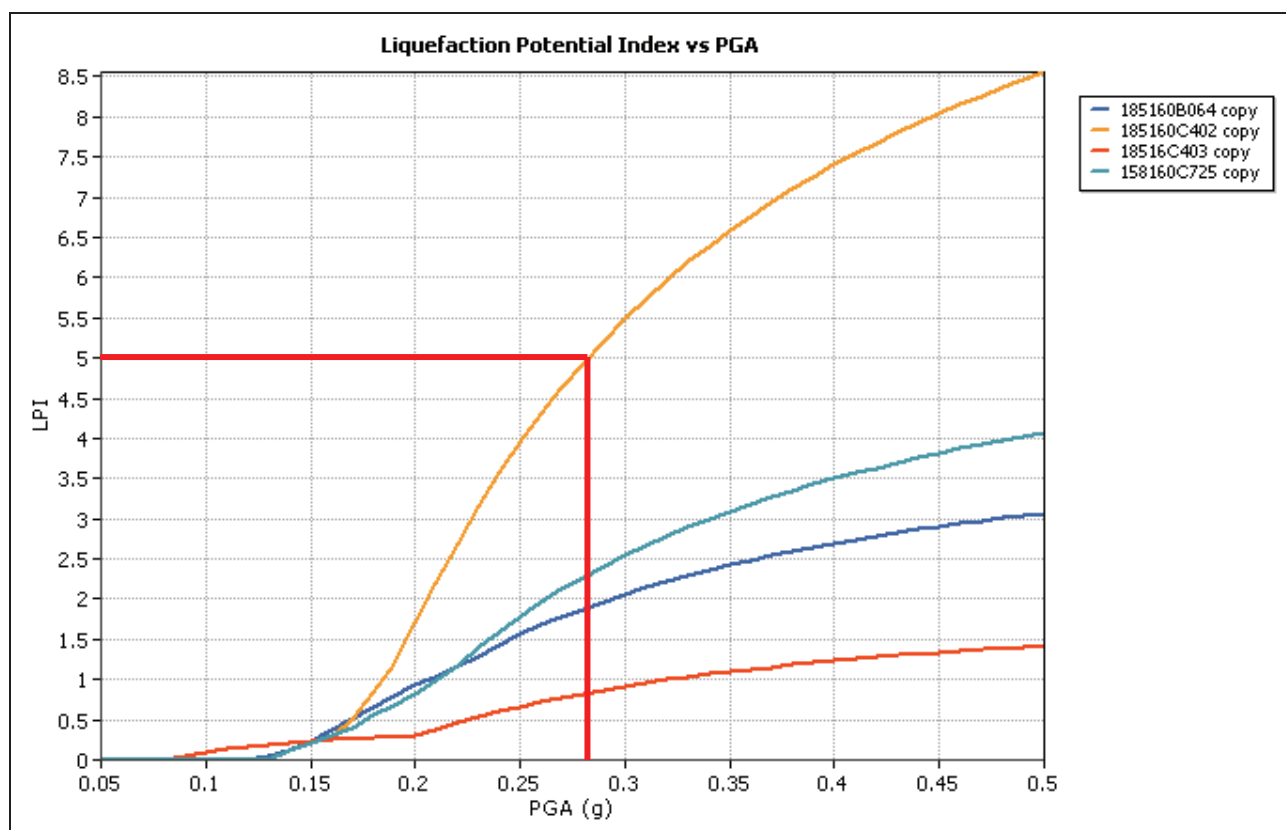


Figura 2.12.5-17

Indice di potenziale liquefazione a confronto con aumento della PGA



Per mezzo del programma di calcolo, è stata anche determinata la probabilità di liquefazione in base a diversi approcci. Nella figura seguente sono riportati gli istogrammi dai quali emerge che, la probabilità di innesco del fenomeno, a seconda dell'approccio utilizzato, è compresa fra i seguenti limiti:

- tra circa il 6.00% e circa il 7.20%, in corrispondenza della prova SCPTU-185160B064;
- tra circa il 9.00% e circa il 16.00%, in corrispondenza della prova CPT8-185160C402;
- tra circa il 4.00% e circa il 6.80%, in corrispondenza della prova CPT9-185160C403;
- tra circa il 6.00% e circa l'8.20%, in corrispondenza della prova CPT3-185160C725.

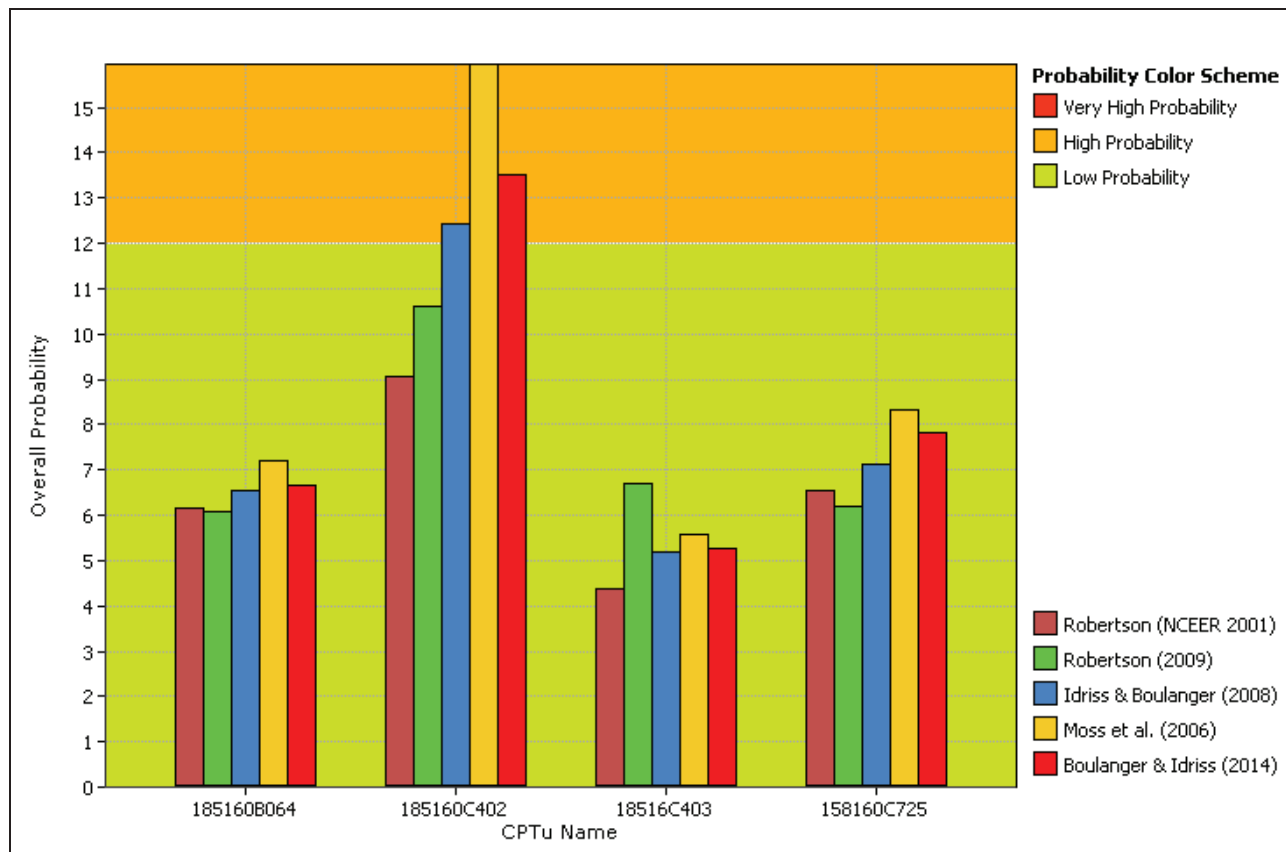


Figura 2.12.5-18

Grafico probabilità innesco



Per quanto riguarda i cedimenti verticali post-sismici, le valutazioni effettuate hanno anche in questo caso permesso di determinare la variabilità dei valori, a seconda dell'approccio utilizzato. Tali valori variano come di seguito elencato:

- da circa cm 4.00 a circa cm 6.00, in corrispondenza della prova SCPTU-185160B064;
- da circa cm 4.70 a circa cm 11.00, in corrispondenza della prova CPT8-185160C402;
- da circa cm 0.00 a circa cm 3.00, in corrispondenza della prova CPT9-185160C403;
- da circa cm 2.50 a circa cm 4.00, in corrispondenza della prova CPT3-185160C725.

In base al metodo di Idriss & Boulanger, i cedimenti post-sismici, assumono i seguenti valori:

- SCPTU-185160B064 = cm 5.369;
- CPT-185160C402 = cm 10.422;
- CPT-185160C403 = cm 3.174;
- CPT-185160C403 = cm 4.133.

Tali quantificazioni sono del tutto teoriche, probabilmente sovrastimate, ed hanno valenza areale, con variazioni in funzione dell'andamento degli spessori degli strati liquefacibili. Valutazioni meno approssimative potrebbero essere effettuate con approfondimenti di indagini e prove di laboratorio all'uopo eseguite. Si tenga anche conto di un ulteriore motivo di approssimazione dovuto alla reinterpretazione di prove delle quali non si conoscono tutti i parametri di indagine e strumentali.

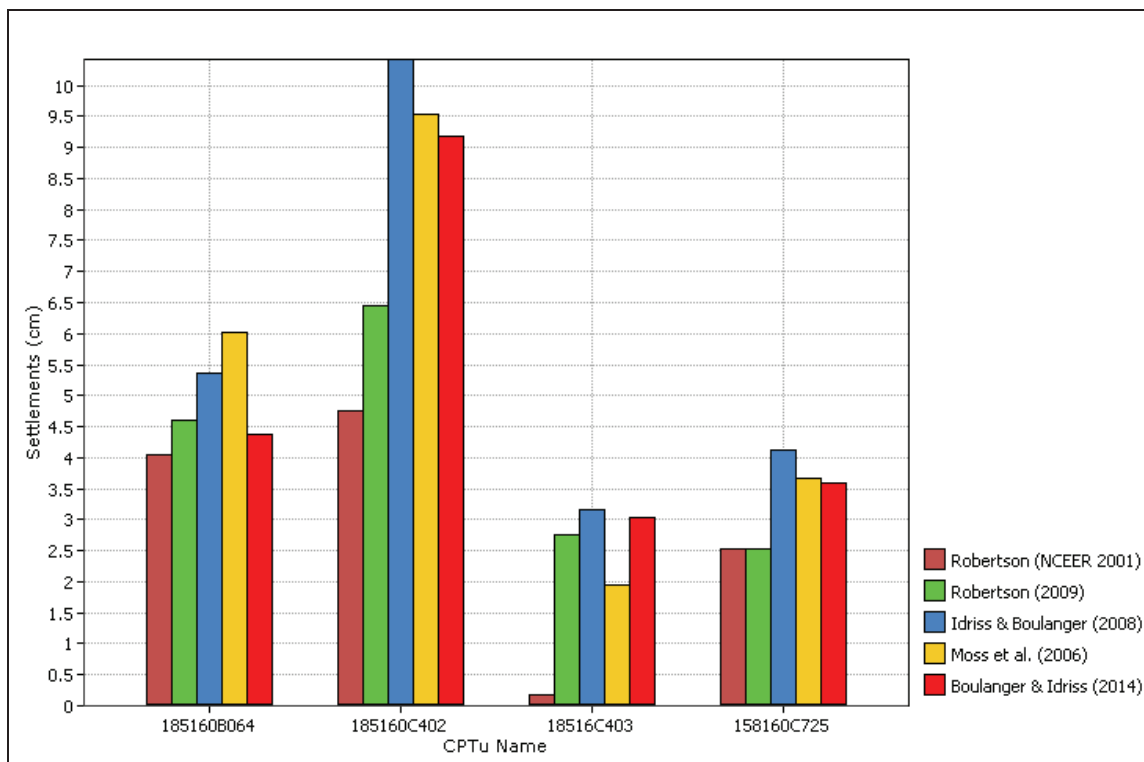


Figura 2.12.5-19

Istogramma con valori cedimenti in funzione della correlazione utilizzata

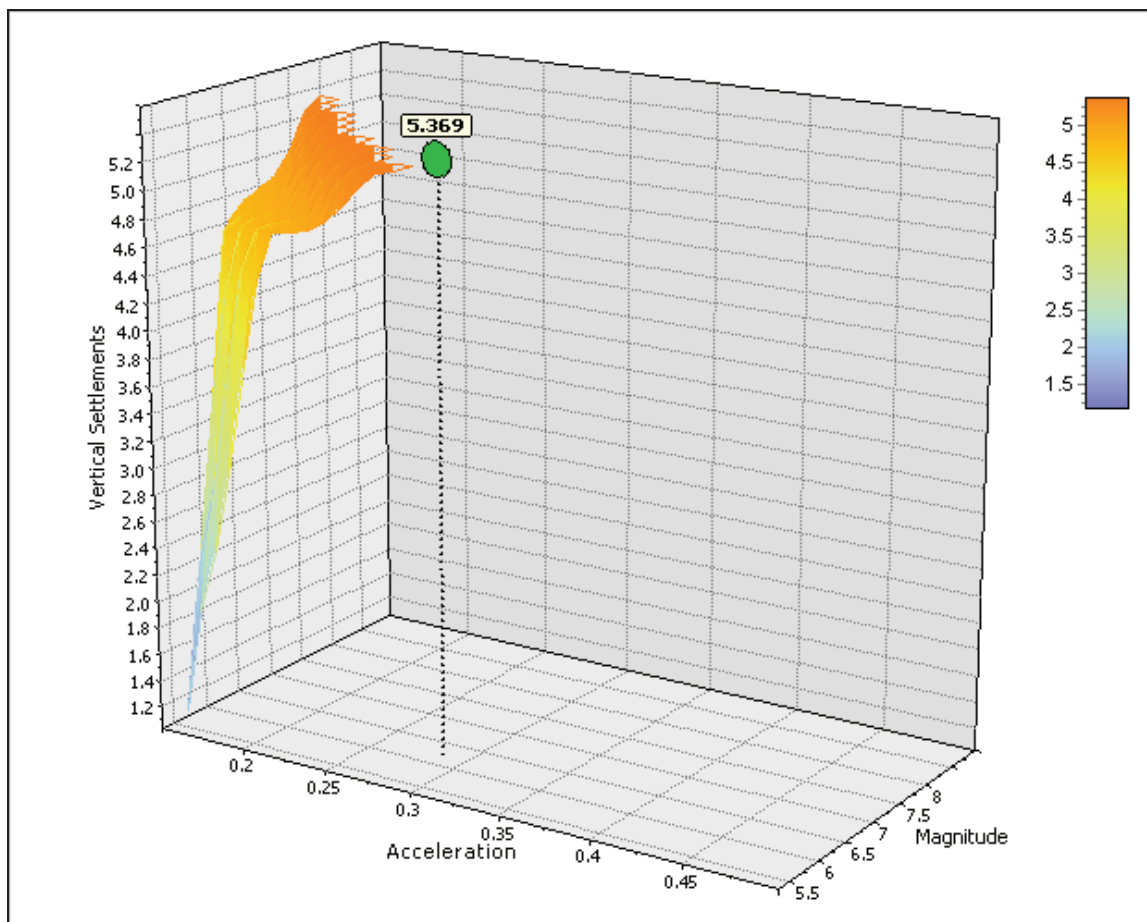


Figura 2.12.5-20

185160B064: Grafico Cedimento verticale – Accelerazione – Magnitudo

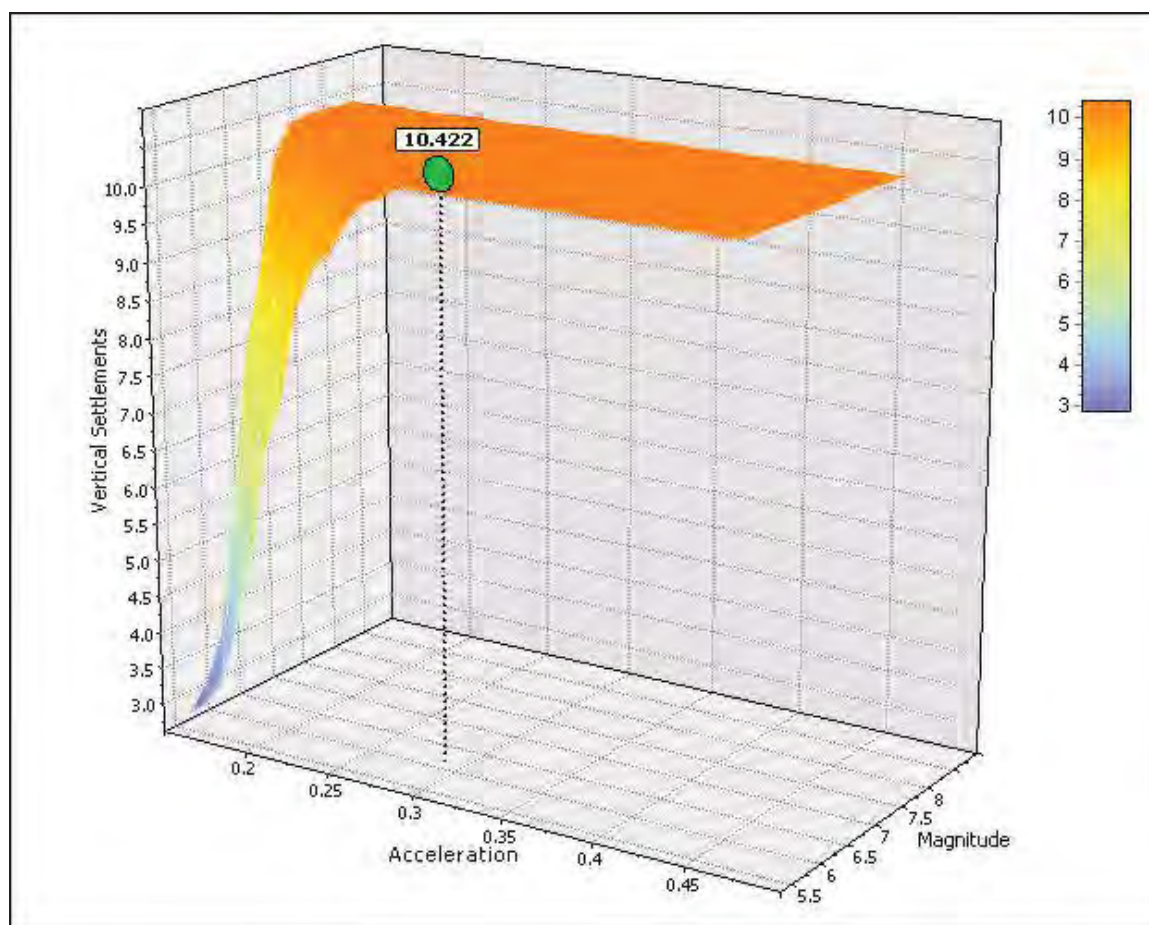


Figura 2.12.5-21

185160C402: Grafico Cedimento verticale – Accelerazione – Magnitudo

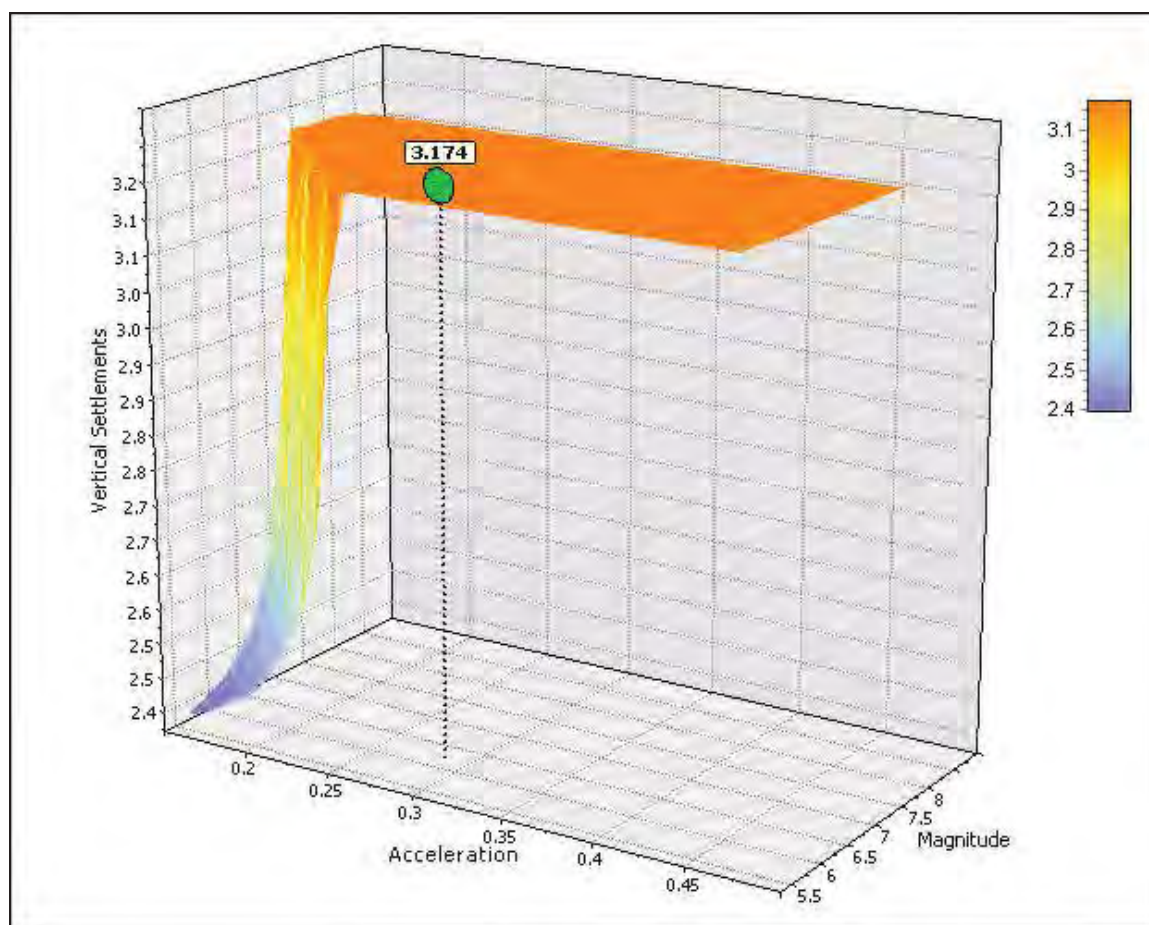


Figura 2.12.5-22

185160C403: Grafico Cedimento verticale – Accelerazione – Magnitudo

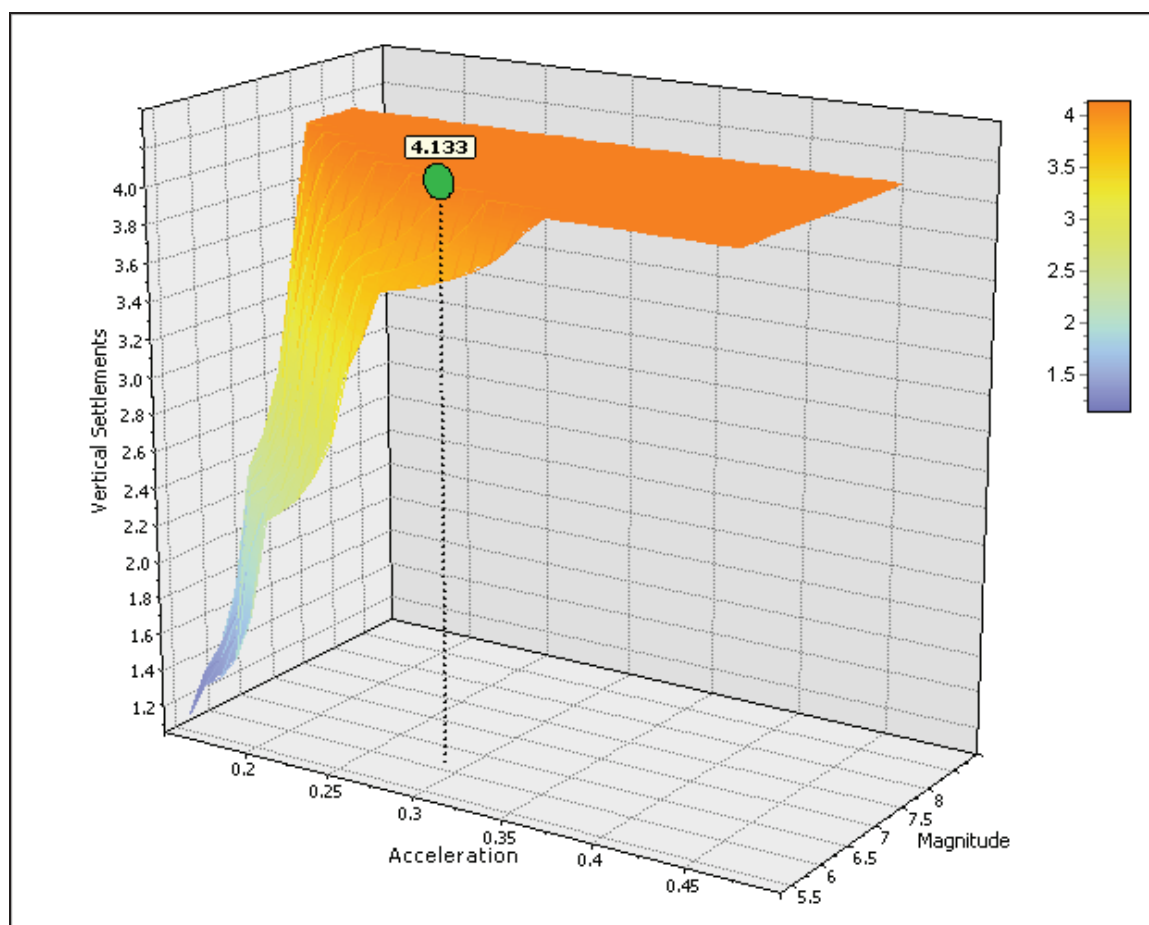


Figura 2.12.5-23

185160C725: Grafico Cedimento verticale – Accelerazione – Magnitudo

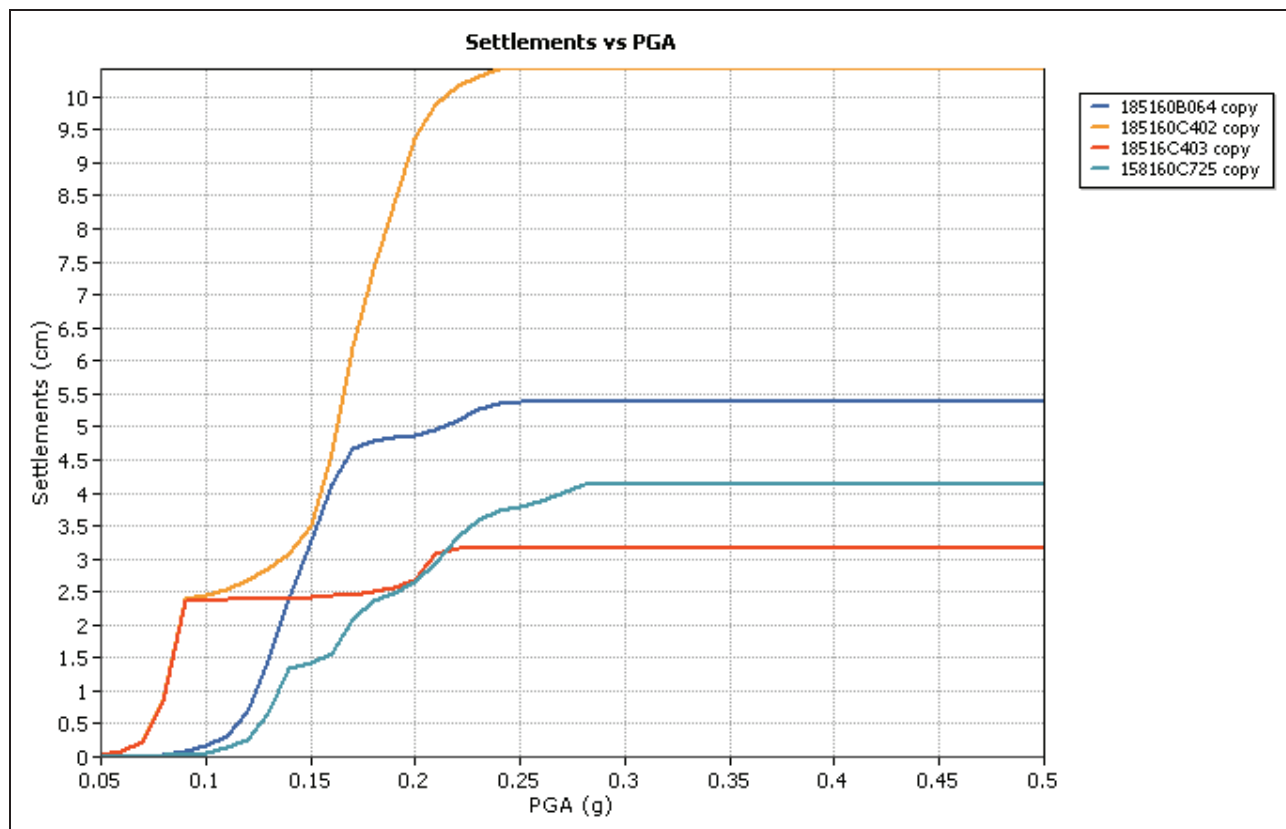


Figura 2.12.5-24

Cedimenti verticali a confronto con aumento della PGA



2.13. Note e prescrizioni

In corrispondenza della zona oggetto del presente studio, si rilevano, complessivamente, depositi di piana inondabile. L'intorno è caratterizzato prevalentemente da terreni coesivi, come argille, argille limose e limi argillosi, localmente interrotti, in direzione est, sud ed ovest, da lenti di terreni coesivo-granulari e granulari, come limi sabbiosi, limi argillosi, sabbie limose e sabbie. In corrispondenza della prova CPT8-185160C402, ma soprattutto della prova CPT9-185160C403, posta in direzione sud-ovest dell'area di studio, risultano essere presenti terreni coesivo-organici.

In assenza di dati puntuali, in corrispondenza della zona di studio è stata ipotizzata la quota della superficie di saturazione, a mt. 1.70 dal piano campagna.

In seguito all'Ordinanza del Presidente del Consiglio n. 3274/03 il Comune di Ferrara è stato inserito, in base alla classificazione sismica, nella zona 3.

Nell'intorno dell'area di studio l'insorgere del fenomeno della dilatanza risulta improbabile. Per quanto riguarda la liquefazione, ipotizzando una classe d'uso 3, in base all'indice di potenziale liquefazione rilevato, la zona è definibile a rischio basso, ad eccezione dell'area posta in corrispondenza della prova CPT8-185160C402, l'elaborazione della quale indica un rischio di liquefazione alto. Si rileva comunque come parte delle valutazioni siano state effettuate per mezzo delle risultanze di prove penetrometriche statiche meccaniche le quali, se in generale possono tendere a sottostimare il fenomeno, dall'altro, per il caso specifico, sono state reinterpretate dallo scrivente ipotizzando alcuni dati strumentali non disponibili, con il risultato di ottenere informazioni ancora più approssimative.

Le prove penetrometriche statiche meccaniche possono tendere a sottostimare il fenomeno della liquefazione, in quanto la valutazione della resistenza alla liquefazione si basa sul calcolo del "soil behaviour type index" I_c , che è funzione della resistenza alla punta e dell'attrito laterale. La prova meccanica tende a sovrastimare in maniera significativa la resistenza laterale e quindi, di conseguenza, la valutazione del fattore CRR non risulta corretta. Visti i risultati della presente, valutazioni più attendibili dovranno necessariamente essere effettuate a supporto delle progettazioni delle opere che si prevedono di realizzare nell'area di studio, utilizzando metodologie più attendibili e comunque da programmare in base alle caratteristiche dei singoli interventi, tenuto conto dei contenuti della presente. Si tenga anche conto che, ad eccezione dell'indagine geofisica, le prove utilizzate nella presente sono state tutte eseguite ad una distanza maggiore di 100 metri rispetto al limite dell'area di studio.

Se sarà confermato che l'area è soggetta a liquefazione, in conformità con la Delibera dell'Assemblea Legislativa Prog. N. 112, a parere dello scrivente l'approccio da utilizzare è quello relativo al terzo livello di approfondimento.

La **categoria di suolo di fondazione** caratteristica del sito in esame, ottenuta elaborando le indagini sismiche effettuate, in base all'approccio semplificato risulta essere la "D".

Dai dati bibliografici disponibili risulta come l'area di studio non sia stata soggetta ad allagamenti nel tempo.

In allegato 26 è riportata una Scheda Tecnica riassuntiva dei principali parametri geologici e sismici relativi al sito in esame.

Copparo, 19 febbraio 2016

Dr. Geol. Emanuele Stevanin

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesissrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	---	---	--

- Allegato 1 -

SCHEDA DI ELABORAZIONE
PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA E PIEZOCONO SISMICO

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

Procedura di riferimento: ASTM D 3441-94

Certificato di prova n°:

rev.	data emiss.	Sperimentatore	Responsabile
0	04/05/2010	Ranzini	Saccenti

Committente:

Cantiere:

Prova:

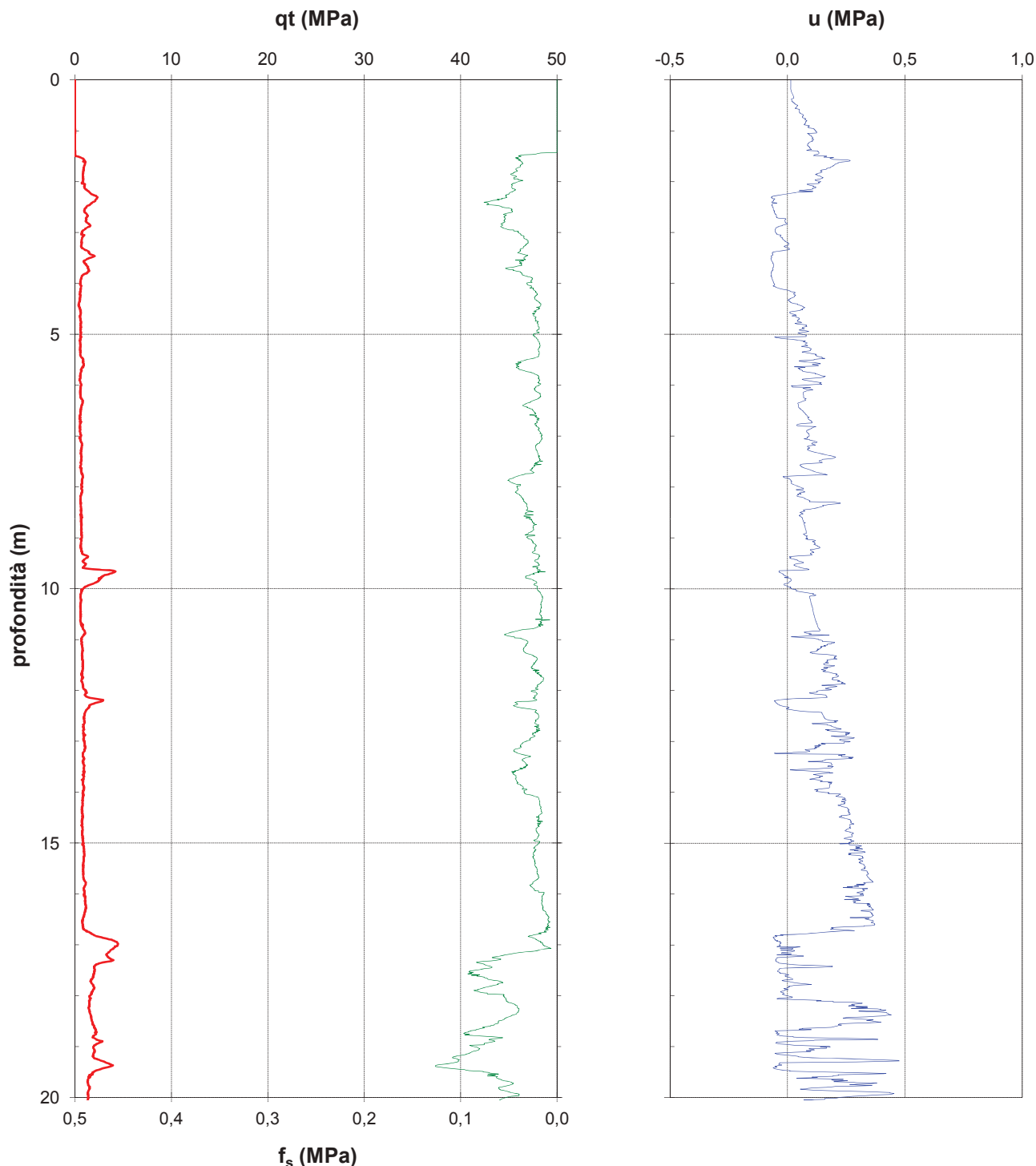
Data prova:

CFR

"I Girasoli"

SCPTU 48

26 marzo 2010



Coordinate:

X =

Y =

Z =

Quote (m):

inizio prova = piano campagna

fine prova = 30.26 (30.22)

Note:

Prova eseguita con piezocono n. 543

Eseguito preforo superficiale mediante puntazza da m 0.00 a m 1.50

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

Procedura di riferimento: ASTM D 3441-94

Certificato di prova n°:

rev.	data emiss.	Sperimentatore	Responsabile
0	04/05/2010	Ranzini	Saccenti

Committente:

Cantiere:

Prova:

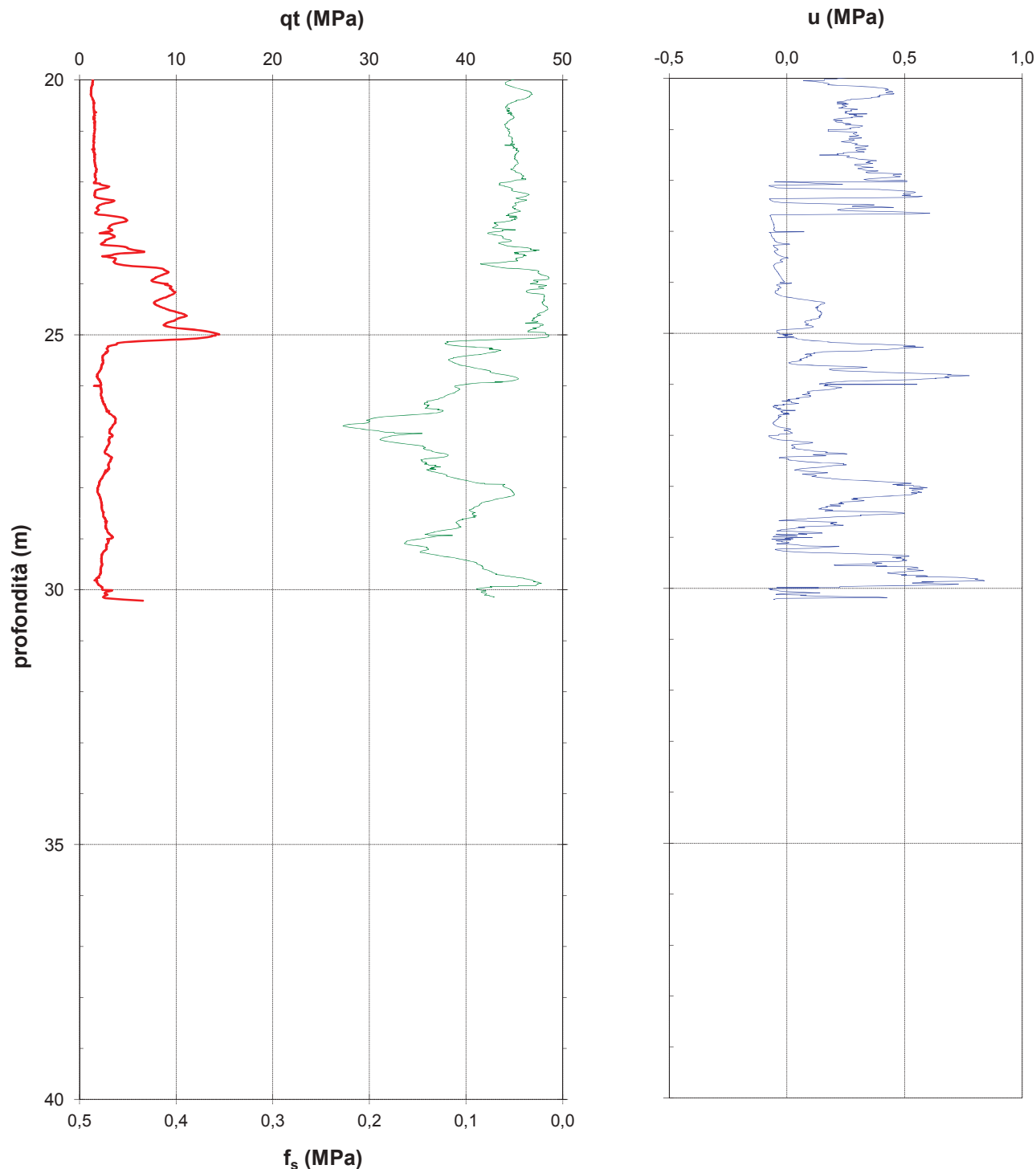
Data prova:

CFR

"I Girasoli"

SCPTU 48

26 marzo 2010



Coordinate:

X =

Y =

Z =

Quote (m):

inizio prova = piano campagna

fine prova = 30.26 (30.22)

Note:

Prova eseguita con piezocono n. 543

Eseguito preforo superficiale mediante puntazza da m 0.00 a m 1.50

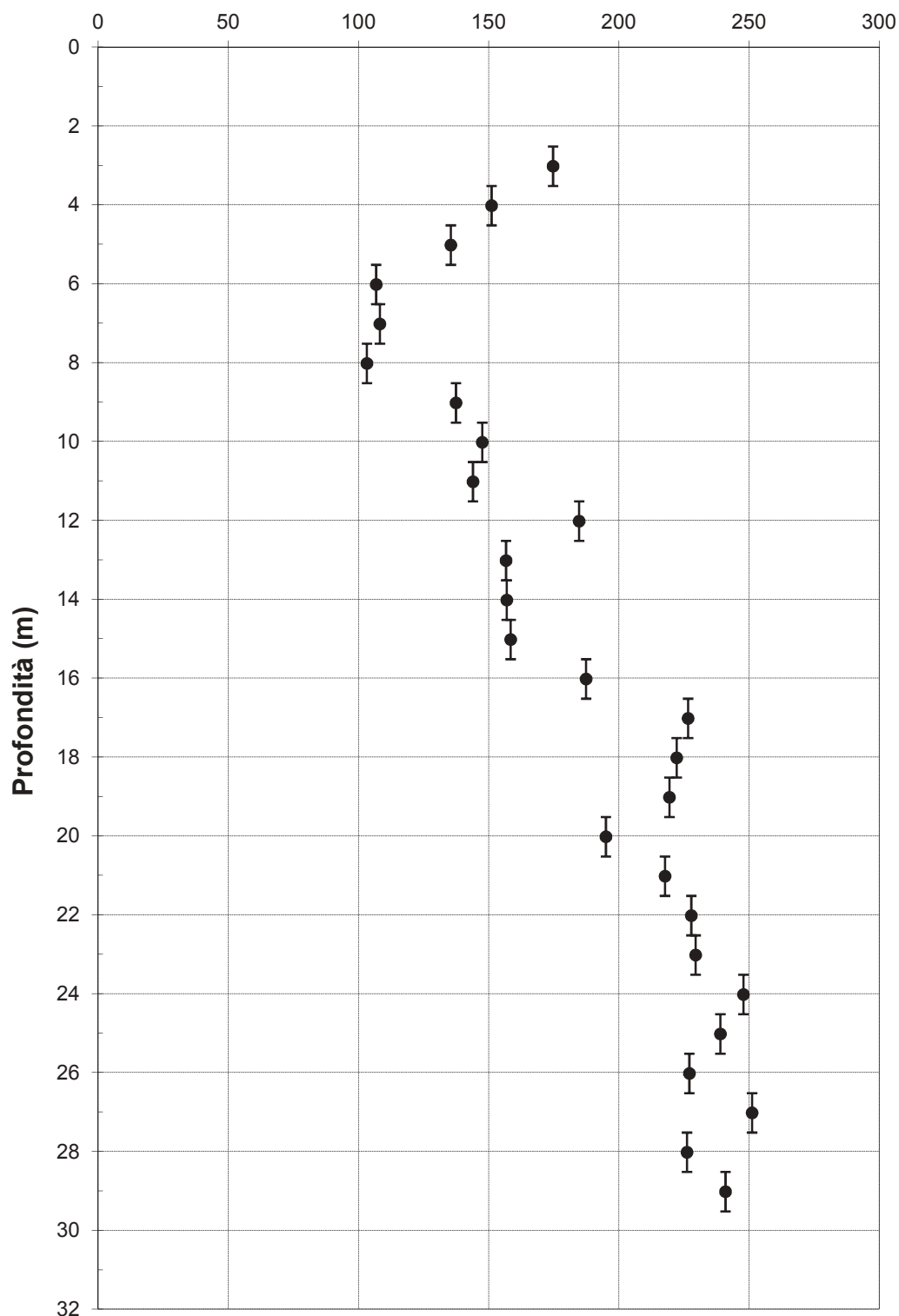
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

rev.	data emiss.	Sperimentatore	Responsabile
0	04/05/2010	Ranzini	Saccenti

Procedura di riferimento: PT 162

Committente:	CFR
Cantiere:	"I Girasoli"
Prova:	DH 48
Data prova:	26/03/2010

Velocità onde di taglio V_{SVH} (m/s)



	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesissrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	---	---	--

- Allegato 2 -

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI – SOFTWARE GEOSTRU

SCPTU – 185160B064 - STIMA PARAMETRI GEOTECNICI - TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 2	3,37	12,11	0,47	0,26	0,19	Terzaghi	0,61
Strato 3	8,98	6,34	0,26	1,00	0,55	Terzaghi	0,32
Strato 4	9,67	18,75	0,23	1,62	0,86	Terzaghi	0,94
Strato 5	11,40	7,22	0,26	1,86	0,97	Terzaghi	0,36
Strato 6	12,87	11,26	0,25	2,16	1,12	Terzaghi	0,56
Strato 7	16,51	8,97	0,25	2,64	1,34	Terzaghi	0,45
Strato 8	17,18	34,53	0,26	3,05	1,53	Terzaghi	1,73
Strato 9	22,14	17,73	0,63	3,60	1,81	Terzaghi	0,89
Strato 11	30,26	26,66	1,13	5,23	2,63	Terzaghi	1,33

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 2	3,37	12,11	0,47	0,26	0,19	Metodo generale del modulo Edometrico	46,97
Strato 3	8,98	6,34	0,26	1,00	0,55	Metodo generale del modulo Edometrico	32,84
Strato 4	9,67	18,75	0,23	1,62	0,86	Metodo generale del modulo Edometrico	44,64
Strato 5	11,40	7,22	0,26	1,86	0,97	Metodo generale del modulo Edometrico	35,97
Strato 6	12,87	11,26	0,25	2,16	1,12	Metodo generale del modulo Edometrico	45,83
Strato 7	16,51	8,97	0,25	2,64	1,34	Metodo generale del modulo Edometrico	41,14
Strato 8	17,18	34,53	0,26	3,05	1,53	Metodo generale del modulo Edometrico	69,06
Strato 9	22,14	17,73	0,63	3,60	1,81	Metodo generale del modulo Edometrico	46,29
Strato 11	30,26	26,66	1,13	5,23	2,63	Metodo generale del modulo Edometrico	53,32

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eu (Kg/cm ²)
Strato 2	3,37	12,11	0,47	0,26	0,19	Cancelli 1980	447,05
Strato 3	8,98	6,34	0,26	1,00	0,55	Cancelli 1980	216,96
Strato 4	9,67	18,75	0,23	1,62	0,86	Cancelli 1980	670,83
Strato 5	11,40	7,22	0,26	1,86	0,97	Cancelli 1980	234,20
Strato 6	12,87	11,26	0,25	2,16	1,12	Cancelli 1980	380,28
Strato 7	16,51	8,97	0,25	2,64	1,34	Cancelli 1980	286,10
Strato 8	17,18	34,53	0,26	3,05	1,53	Cancelli 1980	1237,34
Strato 9	22,14	17,73	0,63	3,60	1,81	Cancelli 1980	597,19
Strato 11	30,26	26,66	1,13	5,23	2,63	Cancelli 1980	900,99

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 2	3,37	12,11	0,47	0,26	0,19	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 3	8,98	6,34	0,26	1,00	0,55	Piacentini Righi 1978	3,33
Strato 4	9,67	18,75	0,23	1,62	0,86	Piacentini Righi 1978	1,85
Strato 5	11,40	7,22	0,26	1,86	0,97	Piacentini Righi 1978	1,84
Strato 6	12,87	11,26	0,25	2,16	1,12	Piacentini Righi 1978	1,52
Strato 7	16,51	8,97	0,25	2,64	1,34	Piacentini Righi 1978	1,25
Strato 8	17,18	34,53	0,26	3,05	1,53	Piacentini Righi 1978	1,13
Strato 9	22,14	17,73	0,63	3,60	1,81	Piacentini Righi 1978	2,41
Strato 11	30,26	26,66	1,13	5,23	2,63	Piacentini Righi 1978	2,94

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 2	3,37	12,11	0,47	0,26	0,19	Meyerhof	1,89
Strato 3	8,98	6,34	0,26	1,00	0,55	Meyerhof	1,76
Strato 4	9,67	18,75	0,23	1,62	0,86	Meyerhof	1,95
Strato 5	11,40	7,22	0,26	1,86	0,97	Meyerhof	1,78
Strato 6	12,87	11,26	0,25	2,16	1,12	Meyerhof	1,86
Strato 7	16,51	8,97	0,25	2,64	1,34	Meyerhof	1,81
Strato 8	17,18	34,53	0,26	3,05	1,53	Meyerhof	2,06
Strato 9	22,14	17,73	0,63	3,60	1,81	Meyerhof	1,93
Strato 11	30,26	26,66	1,13	5,23	2,63	Meyerhof	2,00

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 2	3,37	12,11	0,47	0,26	0,19	Meyerhof	1,97
Strato 3	8,98	6,34	0,26	1,00	0,55	Meyerhof	1,84
Strato 4	9,67	18,75	0,23	1,62	0,86	Meyerhof	2,03
Strato 5	11,40	7,22	0,26	1,86	0,97	Meyerhof	1,86
Strato 6	12,87	11,26	0,25	2,16	1,12	Meyerhof	1,94
Strato 7	16,51	8,97	0,25	2,64	1,34	Meyerhof	1,89
Strato 8	17,18	34,53	0,26	3,05	1,53	Meyerhof	2,14
Strato 9	22,14	17,73	0,63	3,60	1,81	Meyerhof	2,01
Strato 11	30,26	26,66	1,13	5,23	2,63	Meyerhof	2,08

SCPTU – 185160B064 - STIMA PARAMETRI GEOTECNICI - TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 4	9,67	18,75	0,23	1,62	0,86	Jamiolkowski 1985	5,40
Strato 8	17,18	34,53	0,26	3,05	1,53	Jamiolkowski 1985	5,00
Strato 10	25,06	67,31	0,41	4,40	2,21	Jamiolkowski 1985	13,48

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 4	9,67	18,75	0,23	1,62	0,86	Schmertmann	29,89
Strato 8	17,18	34,53	0,26	3,05	1,53	Schmertmann	30,84
Strato 10	25,06	67,31	0,41	4,40	2,21	Schmertmann	32,90

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 4	9,67	18,75	0,23	1,62	0,86	Robertson & Campanella da Schmertmann	21,30
Strato 8	17,18	34,53	0,26	3,05	1,53	Robertson & Campanella da Schmertmann	35,04
Strato 10	25,06	67,31	0,41	4,40	2,21	Robertson & Campanella da Schmertmann	55,47

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 4	9,67	18,75	0,23	1,62	0,86	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5
Strato 8	17,18	34,53	0,26	3,05	1,53	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5
Strato 10	25,06	67,31	0,41	4,40	2,21	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 4	9,67	18,75	0,23	1,62	0,86	Meyerhof	1,90
Strato 8	17,18	34,53	0,26	3,05	1,53	Meyerhof	1,90
Strato 10	25,06	67,31	0,41	4,40	2,21	Meyerhof	1,90

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 4	9,67	18,75	0,23	1,62	0,86	Meyerhof	2,20
Strato 8	17,18	34,53	0,26	3,05	1,53	Meyerhof	2,20
Strato 10	25,06	67,31	0,41	4,40	2,21	Meyerhof	2,20

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesissrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	---	---	--

- Allegati 3/14 -

SCHEDA DI ELABORAZIONE
PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

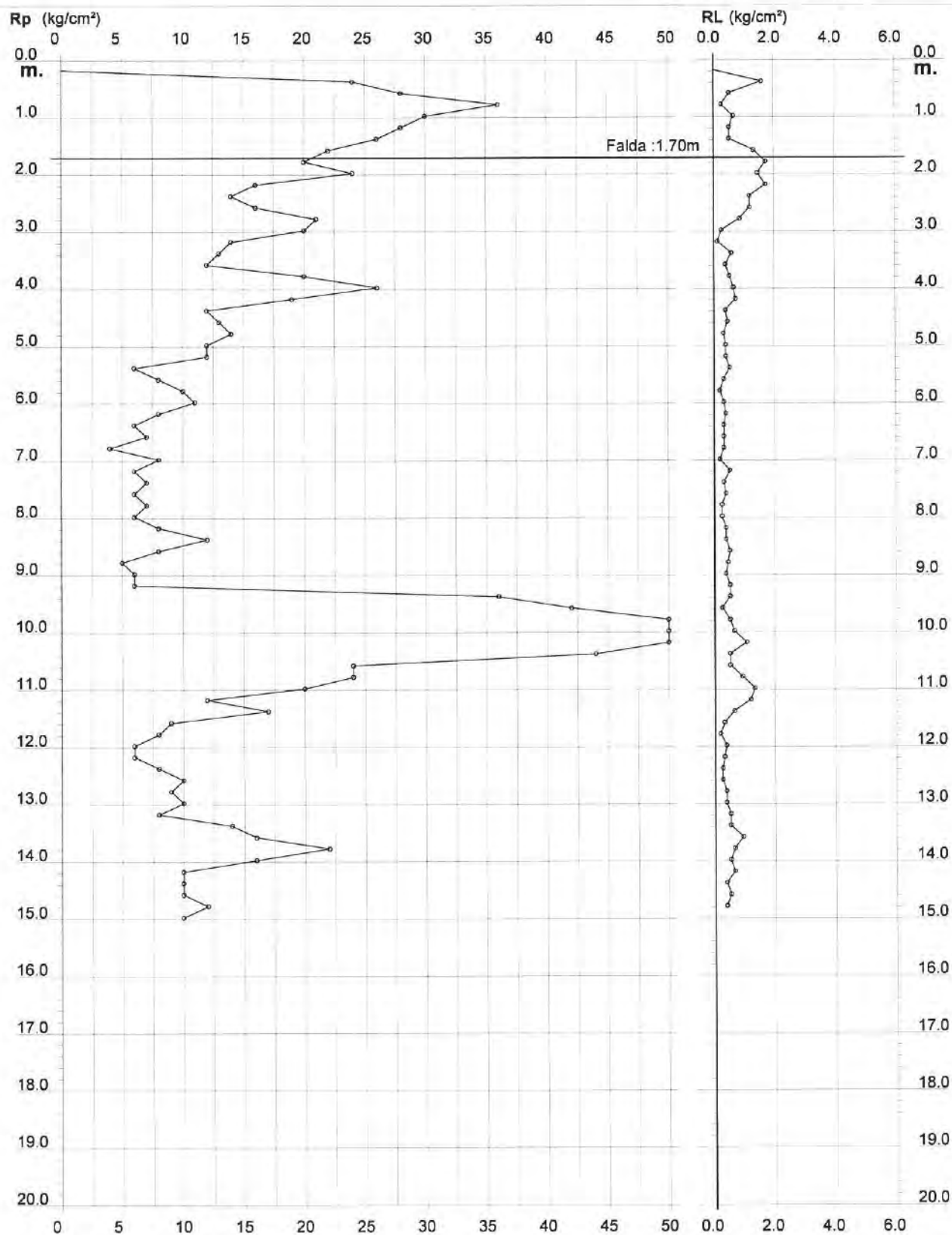
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 8

2.010496-001

- committente : Comune di Ferrara
- lavoro :
- località : Ferrara

- data : 30/12/1899
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1.70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



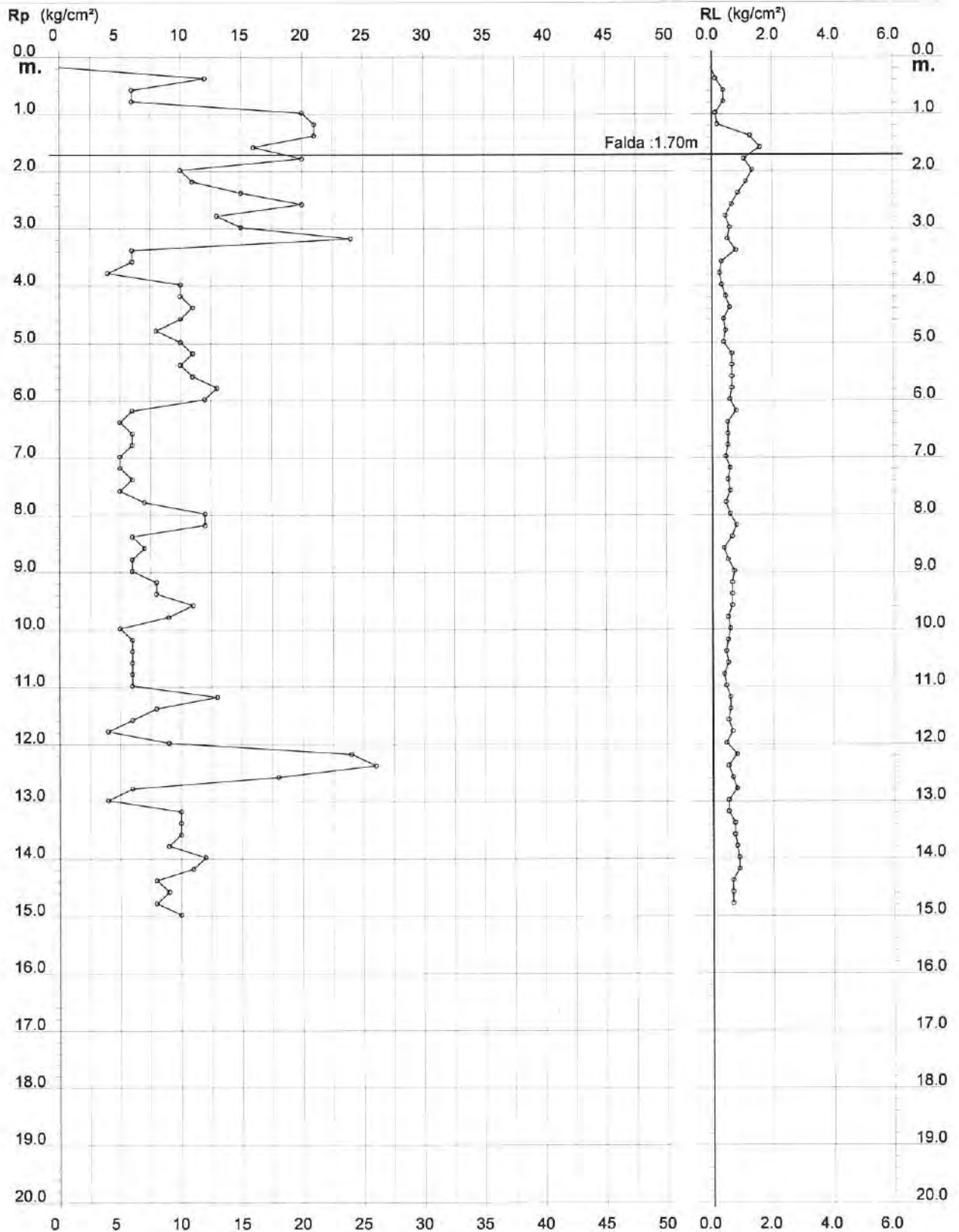
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 9

2.010496-001

- committente : Comune di Ferrara
- lavoro :
- località : Ferrara

- data : 30/12/1899
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1.70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



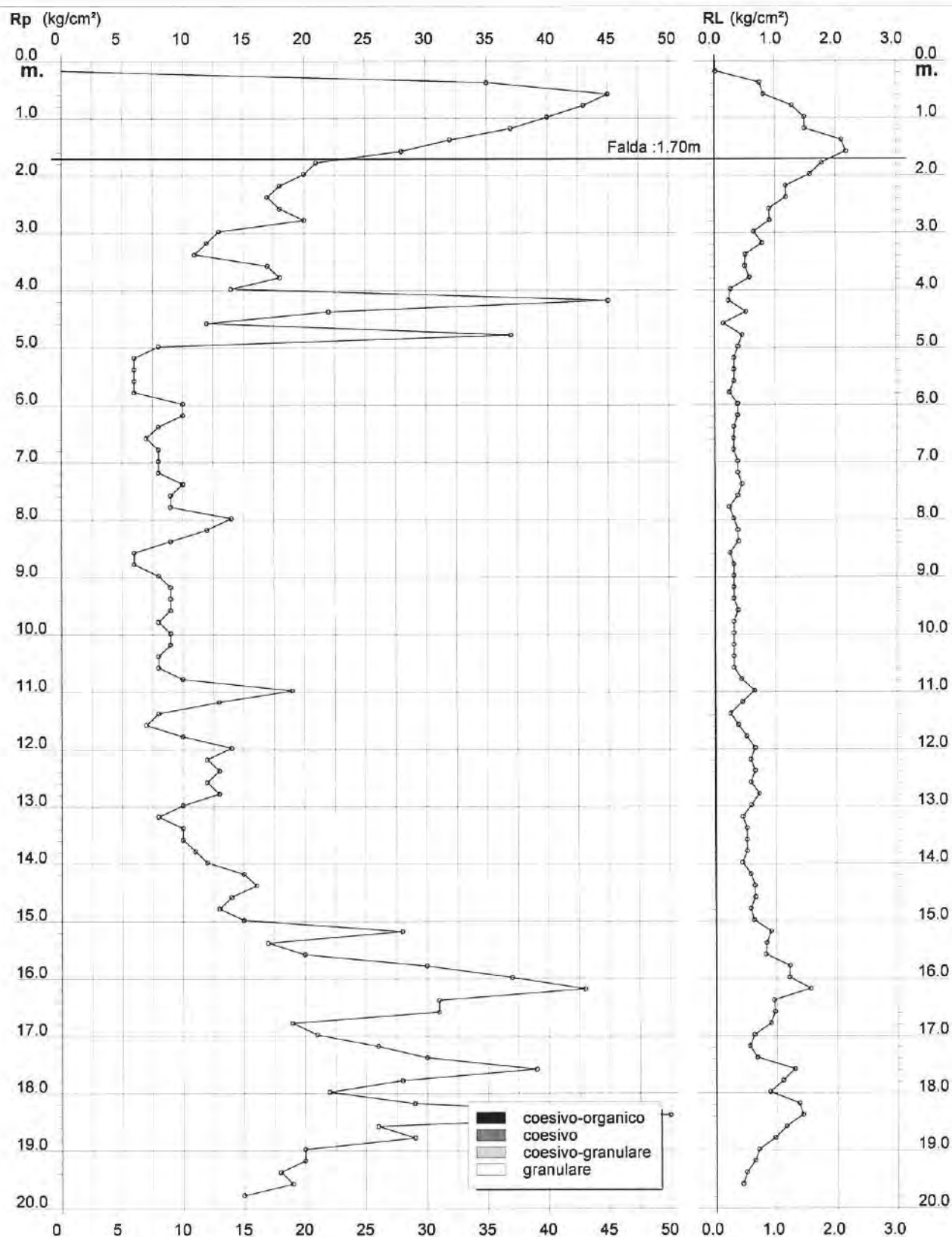
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 3

2.010496-001

- committente :
- lavoro :
- località :

- data : 12/10/2007
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1.70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



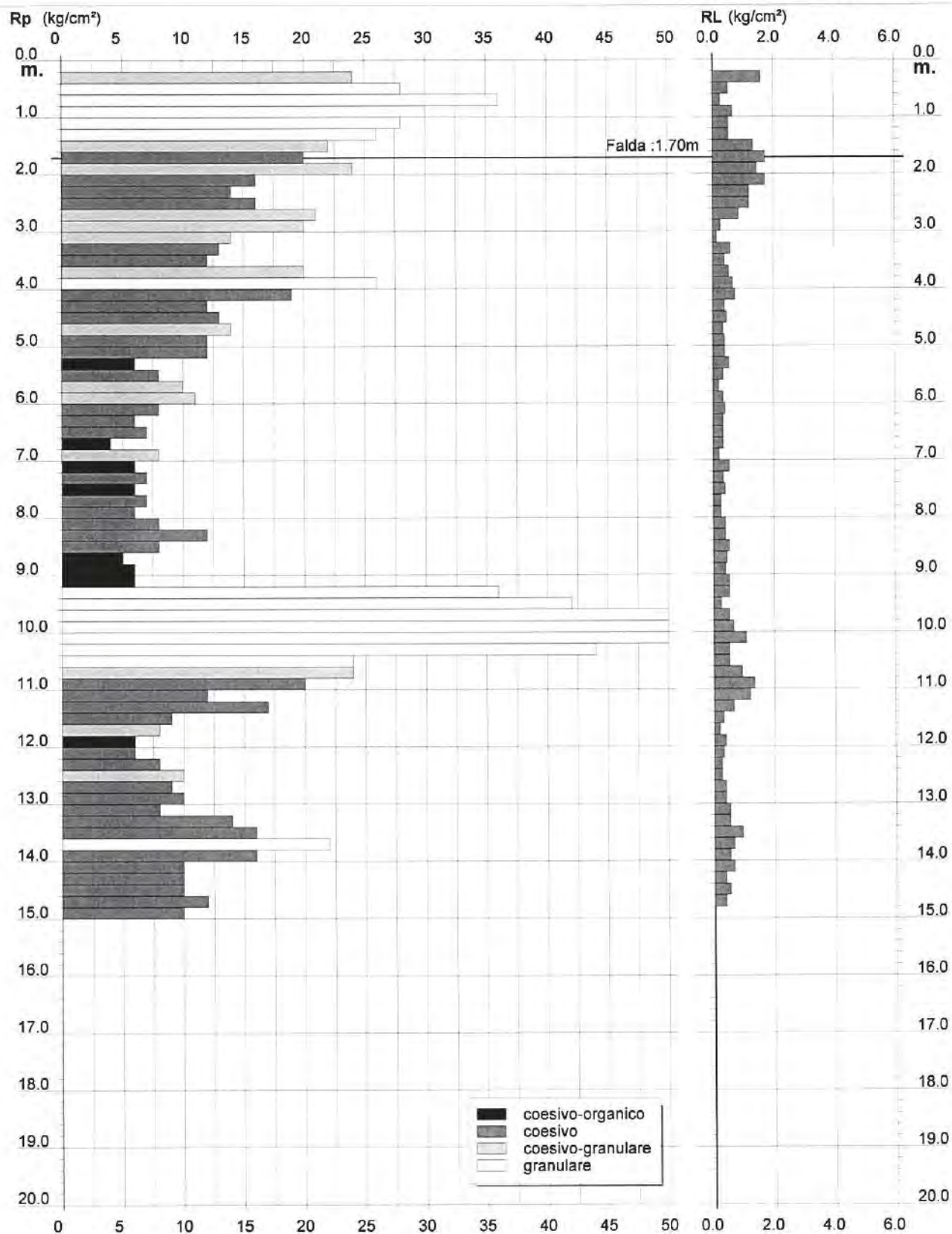
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 8

2.010496-001

- committente : Comune di Ferrara
- lavoro :
- località : Ferrara

- data : 30/12/1899
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1.70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



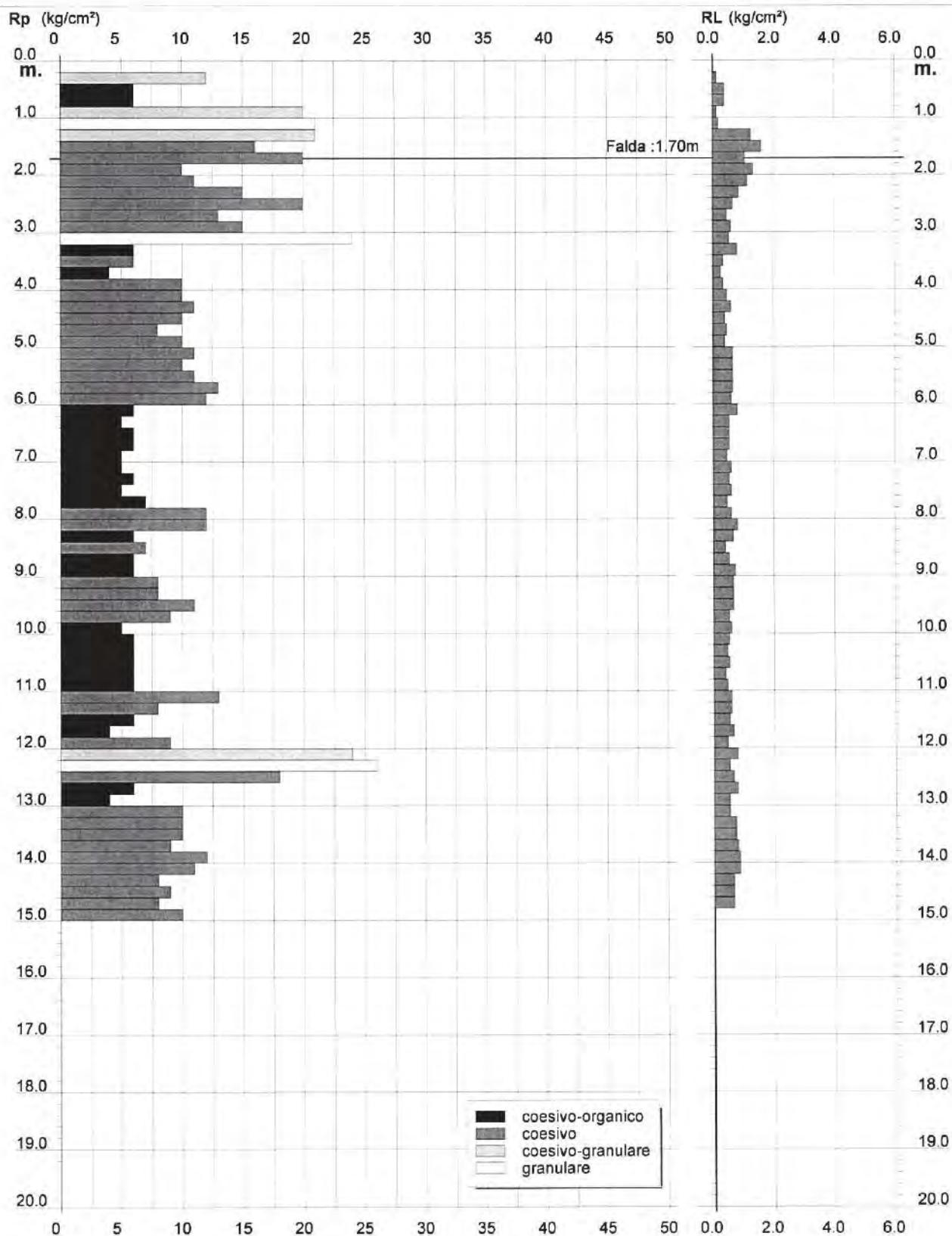
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 9

2.010496-001

- committente : Comune di Ferrara
- lavoro :
- località : Ferrara

- data : 30/12/1899
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1.70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



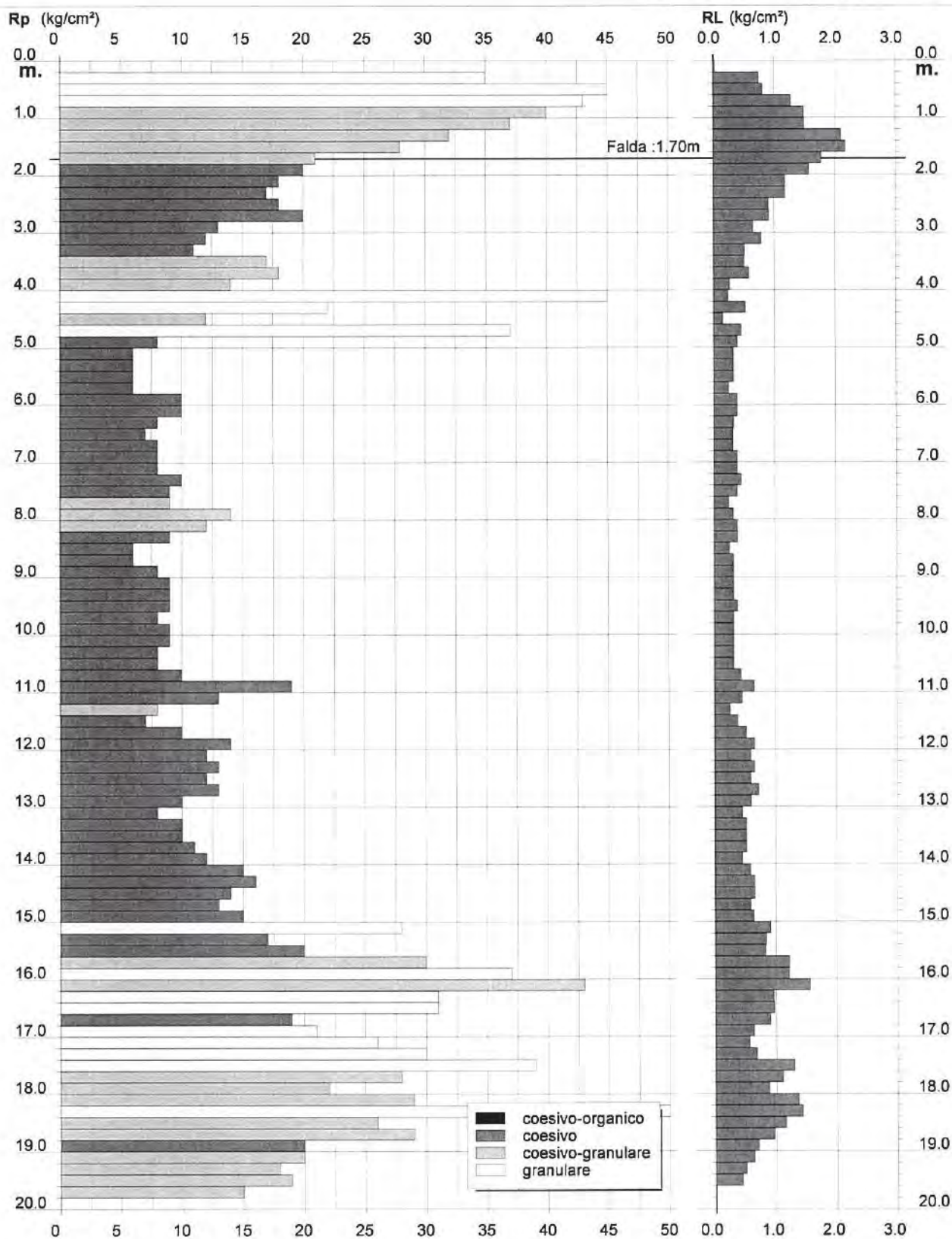
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 3

2.010496-001

- committente :
- lavoro :
- località :

- data : 12/10/2007
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1.70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



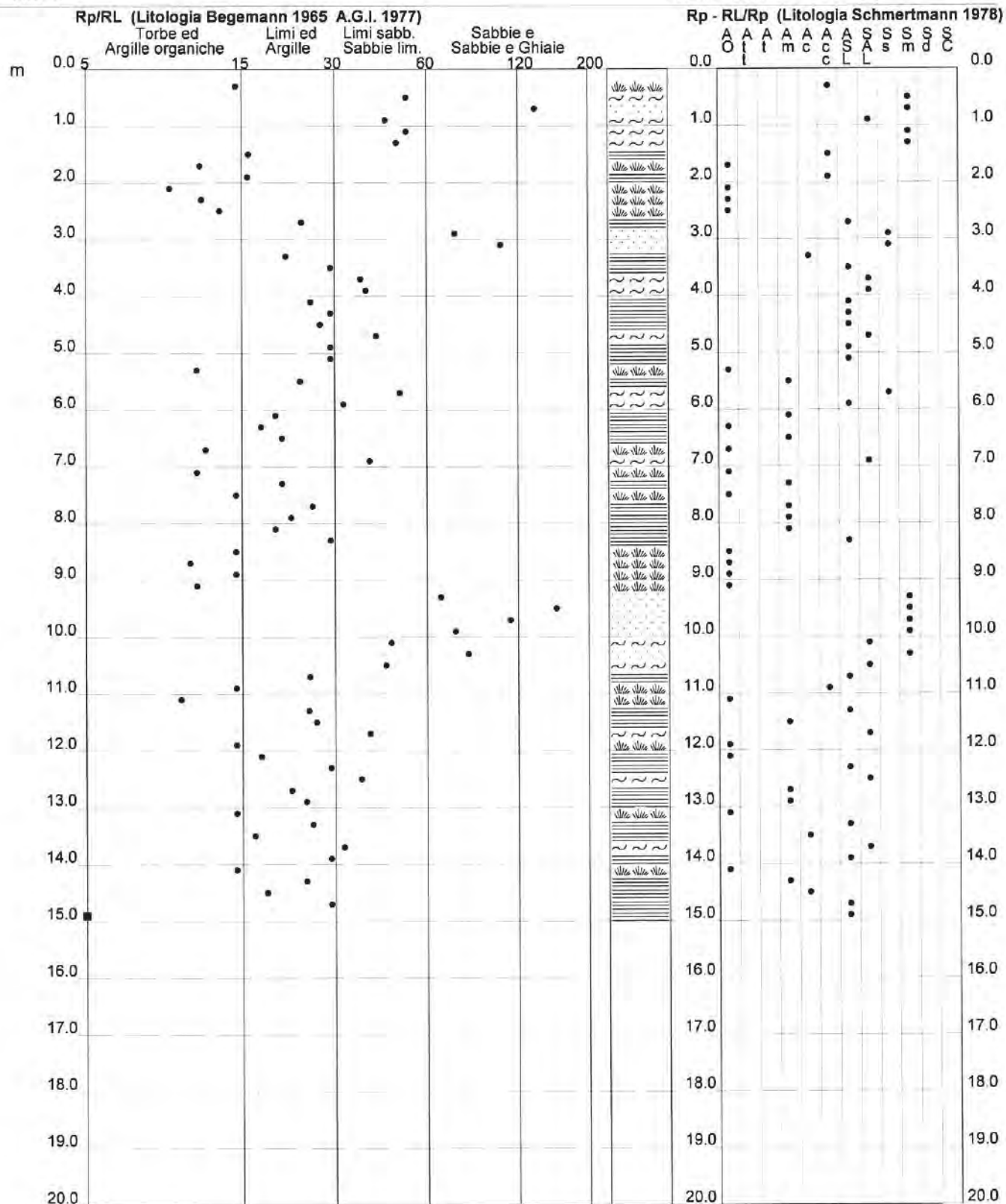
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 8

2.010496-001

- committente : Comune di Ferrara
- lavoro :
- località : Ferrara
- note :

- data : 30/12/1899
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1.70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



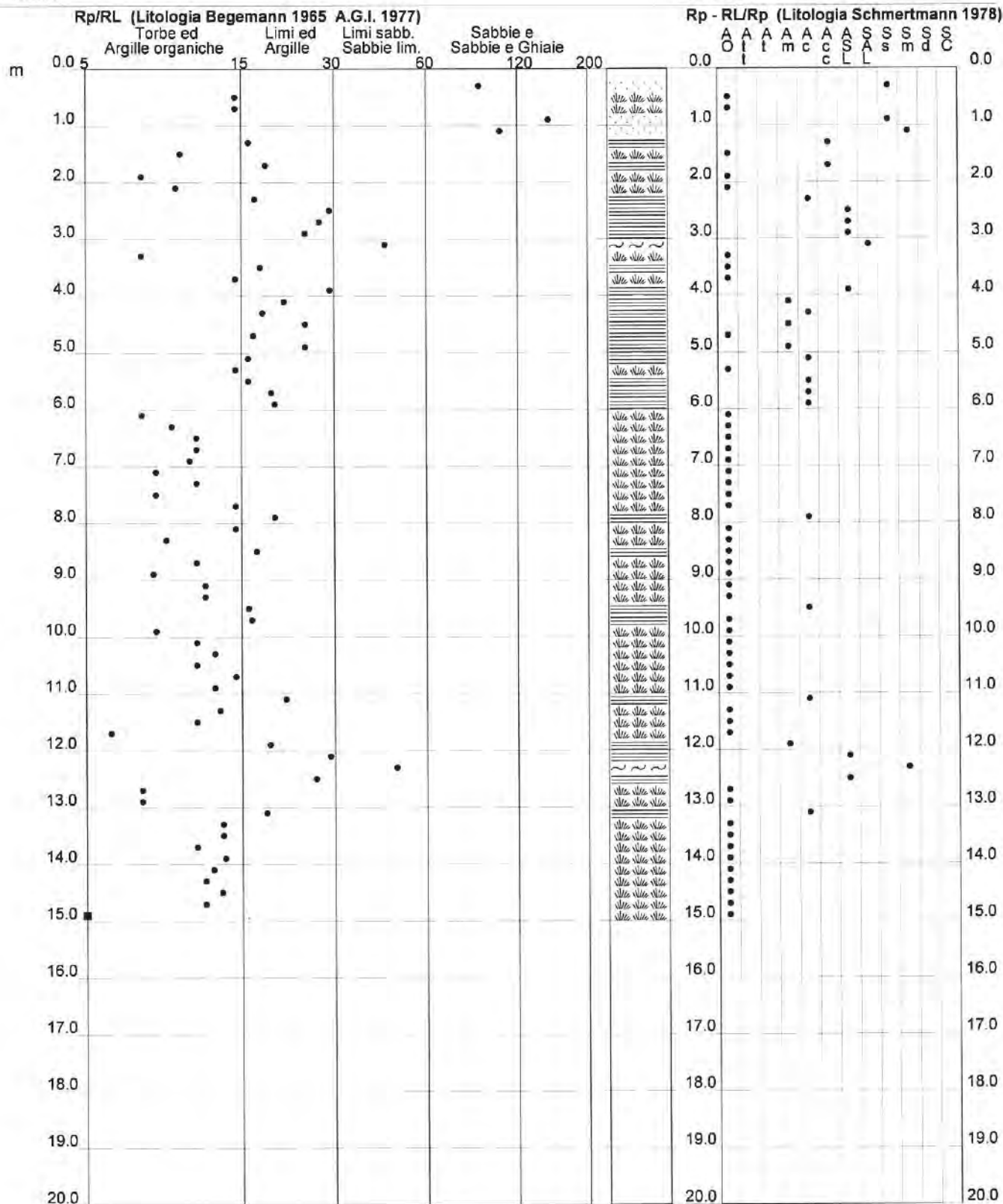
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 9

2.010496-001

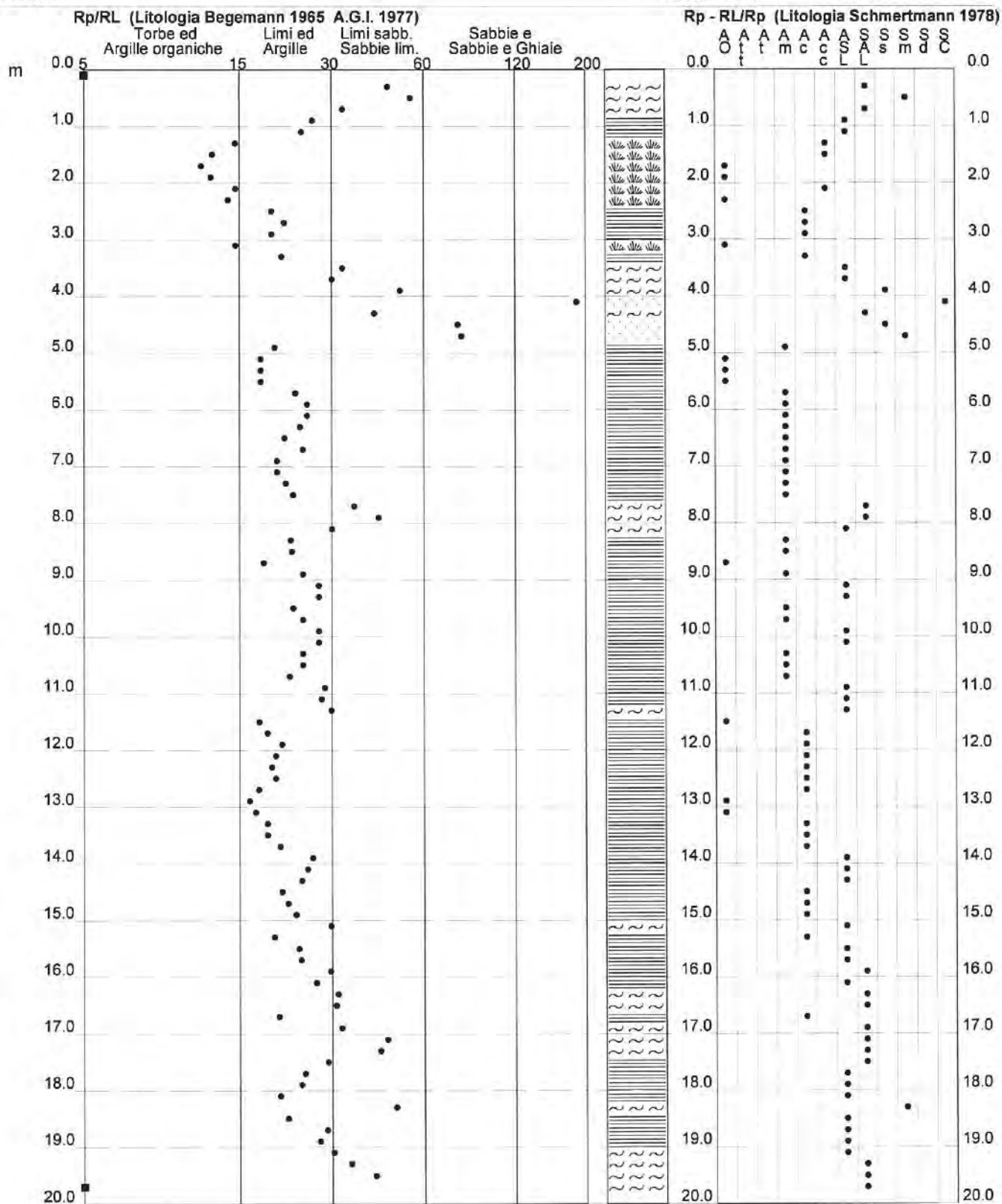
- committente : Comune di Ferrara
- lavoro :
- località : Ferrara
- note :

- data : 30/12/1899
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1.70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



- committente :
- lavoro :
- località :
- note :

- data : 12/10/2007
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1.70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 8

2.010496-001

- committente : Comune di Ferrara
- lavoro :
- località : Ferrara
- note :

- data : 30/12/1899
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1.70 m da quota inizio
- pagina : 1

NATURA COESIVA										NATURA GRANULARE												
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Ri (-)	Natura Litol.	Y t/m³	p/vs kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	σ1s (°)	σ2s (°)	σ3s (°)	σ4s (°)	σdm (°)	σmy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²	
0.20	--	--	???	1.85	0.04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	24	15	4/f	1.85	0.07	0.89	99.9	151	227	72	86	40	42	43	45	42	28	0.211	40	60	72	
0.60	28	52	3/...	1.85	0.11	--	--	--	--	--	82	39	41	43	45	41	28	0.196	47	70	84	
0.80	36	135	3/...	1.85	0.15	--	--	--	--	--	83	40	41	43	45	41	30	0.201	60	90	108	
1.00	30	45	3/...	1.85	0.19	--	--	--	--	--	72	38	40	42	44	39	29	0.164	50	75	90	
1.20	28	52	3/...	1.85	0.22	--	--	--	--	--	65	37	39	41	43	38	28	0.144	47	70	84	
1.40	26	49	3/...	1.85	0.26	--	--	--	--	--	59	36	38	40	43	37	28	0.127	43	65	78	
1.60	22	16	4/f	1.85	0.30	0.85	23.3	144	216	66	50	35	37	40	42	35	28	0.103	37	55	66	
1.80	20	12	4/f	0.93	0.31	0.80	20.2	136	204	50	45	34	37	39	42	34	27	0.091	33	50	60	
2.00	24	16	4/f	0.94	0.33	0.89	21.4	151	227	72	50	35	37	40	42	35	28	0.103	40	60	72	
2.20	16	9	2/III	0.96	0.35	0.70	14.7	118	177	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.40	14	12	2/III	0.94	0.37	0.64	12.3	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.60	16	13	2/III	0.96	0.39	0.70	12.9	118	177	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.80	21	24	4/f	0.93	0.41	0.82	15.1	140	210	63	40	34	36	39	41	33	27	0.080	35	53	63	
3.00	20	75	4/f	0.93	0.43	0.80	13.7	136	204	60	37	33	36	38	41	33	27	0.074	33	50	60	
3.20	14	105	4/f	0.89	0.45	0.64	9.8	109	163	48	24	31	34	37	40	31	26	0.046	23	35	42	
3.40	13	22	2/III	0.93	0.46	0.80	8.7	110	165	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.60	12	30	4/f	0.88	0.48	0.57	7.8	115	175	45	17	30	33	36	39	29	26	0.032	20	30	36	
3.80	20	37	4/f	0.93	0.50	0.80	11.3	136	204	60	34	33	35	38	41	32	27	0.065	33	50	60	
4.00	26	39	3/...	0.87	0.52	--	--	--	--	--	42	34	36	39	41	33	28	0.084	43	65	78	
4.20	19	26	2/III	0.99	0.54	0.78	9.9	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.40	12	30	4/f	0.88	0.55	0.57	6.5	143	214	45	14	30	33	36	39	28	26	0.026	20	30	36	
4.60	13	28	2/III	0.93	0.57	0.60	6.7	146	219	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.80	14	42	4/f	0.89	0.59	0.64	6.9	149	224	48	17	30	33	36	39	29	26	0.033	23	35	42	
5.00	12	30	4/f	0.88	0.61	0.57	5.8	163	244	45	11	30	33	36	39	28	26	0.023	20	30	36	
5.20	12	30	4/f	0.88	0.63	0.57	5.6	169	253	45	11	29	33	36	39	28	26	0.021	20	30	36	
5.40	6	11	1/...	0.46	0.64	0.30	2.5	34	50	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.60	8	24	2/III	0.86	0.65	0.40	3.4	183	275	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.80	10	50	4/f	0.86	0.67	0.50	4.4	187	280	40	3	28	32	35	38	26	26	0.007	17	25	30	
6.00	11	33	4/f	0.87	0.69	0.54	4.6	191	287	42	5	29	32	35	38	27	26	0.013	18	28	33	
6.20	8	20	2/III	0.86	0.70	0.40	3.1	194	291	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.40	6	18	2/III	0.82	0.72	0.30	2.1	166	250	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.60	7	21	2/III	0.84	0.74	0.35	2.5	186	279	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.80	4	12	1/...	0.46	0.75	0.20	1.2	26	39	12	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.00	8	40	4/f	0.84	0.76	0.40	2.8	204	305	35	--	28	31	35	38	25	26	--	13	20	24	
7.20	6	11	1/...	0.46	0.77	0.30	1.9	36	54	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.40	7	21	2/III	0.84	0.79	0.35	2.3	191	286	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.60	6	15	1/...	0.46	0.80	0.30	1.8	37	55	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.80	7	26	2/III	0.84	0.82	0.35	2.2	192	289	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.00	6	22	2/III	0.82	0.83	0.30	1.8	172	258	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.20	8	20	2/III	0.86	0.85	0.40	2.5	213	320	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.40	12	30	4/f	0.88	0.87	0.57	3.7	244	367	45	3	28	32	35	38	26	26	0.007	20	30	36	
8.60	8	15	2/III	0.86	0.88	0.40	2.3	216	325	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.80	5	11	1/...	0.46	0.89	0.25	1.3	32	48	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.00	6	15	1/...	0.46	0.90	0.30	1.6	36	56	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.20	6	11	1/...	0.46	0.91	0.30	1.6	38	57	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.40	36	67	3/...	0.89	0.93	--	--	--	--	--	39	33	36	38	41	32	30	0.077	60	90	108	
9.60	42	157	3/...	0.90	0.95	--	--	--	--	--	44	34	36	39	41	32	30	0.088	70	105	126	
9.80	60	112	3/...	0.93	0.97	--	--	--	--	--	55	36	38	40	42	34	32	0.118	100	150	180	
10.00	50	75	3/...	0.92	0.98	--	--	--	--	--	49	35	37	39	42	33	31	0.100	83	125	150	
10.20	50	47	3/...	0.92	1.00	--	--	--	--	--	48	35	37	39	42	33	31	0.099	83	125	150	
10.40	44	82	3/...	0.91	1.02	--	--	--	--	--	43	34	36	39	41	32	31	0.087	73	110	132	
10.60	24	45	3/...	0.86	1.04	--	--	--	--	--	22	31	34	37	40	29	28	0.042	40	60	72	
10.80	24	26	4/f	0.94	1.06	0.89	5.1	291	437	72	22	31	34	37	40	29	28	0.041	40	60	72	
11.00	20	15	4/f	0.93	1.08	0.80	4.3	300	450	60	15	30	33	36	39	28	27	0.029	33	50	60	
11.20	12	10	2/III	0.92	1.09	0.57	2.8	291	437	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.40	17	25	2/III	0.97	1.11	0.72	3.7	314	471	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.60	9	27	2/III	0.88	1.13	0.45	2.0	252	379	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.80	8	40	4/f	0.84	1.15	0.40	1.7	230	345	35	--	28	31	35	38	25	26	--	13	20	24	
12.00	6	15	1/...	0.46	1.16	0.30	1.2	39	58	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
12.20	6	18	2/III	0.82	1.17	0.30	1.1	179	268	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
12.40	8	30	4/f	0.84	1.19	0.40	1.6	232	347	35	--	28	31	35	38	25	26	--	13	20	24	
12.60	10	37	4/f	0.86	1.21	0.50	2.1	276	416	40	--	28	31	35	38	25	26	--	17	25	30	
12.80	9	22	2/III	0.88	1.22	0.45	1.8	257	385	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
13.00	10	25	2/III	0.90	1.24	0.50	2.0	280	420	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
13.20	8	15	2/III	0.86	1.26	0.40	1.5	233	350	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
13.40	14	26	2/III	0.94	1.28	0.64	2.6	332	498	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
13.60	16	17	2/III	0.96	1.30	0.70	2.9	350	525	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
13.80	22	33	3/...	0.86	1.31	--	--	--	--	--	13	30	33	36</								

PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 9

2.010496-001

- committente : Comune di Ferrara
- lavoro :
- località : Ferrara
- note :

- data : 30/12/1899
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,70 m da quota inizio
- pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE											
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²	
0.20	--	--	???	1.85	0.04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	12	90	4/f.	1.85	0.07	0.57	80.8	97	146	45	63	37	39	41	43	39	26	0.138	20	30	36	
0.60	6	15	1***	1.85	0.11	0.30	21.8	12	18	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
0.80	6	15	1***	1.85	0.15	0.30	15.2	12	18	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
1.00	20	150	4/f.	1.85	0.19	0.80	39.2	136	204	60	58	36	38	40	43	37	27	0.125	33	50	60	
1.20	21	105	3***	1.85	0.22	--	--	--	--	--	55	36	38	40	42	37	27	0.117	35	53	63	
1.40	21	17	4/f.	1.85	0.26	0.82	26.7	140	210	63	51	35	37	40	42	36	27	0.107	35	53	63	
1.60	16	10	2/III	1.85	0.30	0.70	18.3	118	177	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
1.80	20	19	4/f.	0.93	0.31	0.80	20.2	136	204	60	45	34	37	39	42	34	27	0.091	33	50	60	
2.00	10	7	2/III	0.90	0.33	0.50	10.5	85	128	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.20	11	10	2/III	0.91	0.35	0.54	10.7	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.40	15	17	2/III	0.95	0.37	0.67	13.1	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.60	20	30	4/f.	0.93	0.39	0.80	15.5	136	204	60	40	34	36	39	41	33	27	0.079	33	50	60	
2.80	13	28	2/III	0.93	0.41	0.60	10.3	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.00	15	25	2/III	0.95	0.43	0.67	11.0	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.20	24	45	3***	0.86	0.44	--	--	--	--	--	43	34	36	39	41	34	28	0.085	40	60	72	
3.40	6	7	1***	0.46	0.45	0.30	3.8	23	35	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.60	6	18	2/III	0.82	0.47	0.30	3.6	132	198	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.80	4	15	1***	0.46	0.48	0.20	2.1	24	35	12	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.00	10	30	4/f.	0.88	0.50	0.50	6.4	129	193	40	10	29	32	36	39	28	26	0.020	17	25	30	
4.20	10	21	2/III	0.90	0.51	0.50	6.1	135	203	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.40	11	18	2/III	0.91	0.53	0.54	6.4	138	207	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.60	10	25	2/III	0.90	0.55	0.50	5.6	148	222	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.80	8	17	2/III	0.88	0.57	0.40	4.1	158	237	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.00	10	25	2/III	0.90	0.58	0.50	5.2	160	241	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.20	11	16	2/III	0.91	0.60	0.54	5.4	164	246	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.40	10	15	2/III	0.90	0.62	0.50	4.8	172	258	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.60	11	16	2/III	0.91	0.64	0.54	5.0	176	264	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.80	13	19	2/III	0.93	0.66	0.60	5.7	177	265	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.00	12	20	2/III	0.92	0.68	0.57	5.1	186	279	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.20	6	7	1***	0.46	0.69	0.30	2.2	35	52	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.40	5	9	1***	0.46	0.69	0.25	1.8	31	46	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.60	8	11	1***	0.48	0.70	0.30	2.2	35	53	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.80	6	11	1***	0.46	0.71	0.30	2.1	35	53	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.00	5	11	1***	0.46	0.72	0.25	1.7	31	47	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.20	5	8	1***	0.46	0.73	0.25	1.6	31	47	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.40	6	11	1***	0.46	0.74	0.30	2.0	36	54	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.60	5	8	1***	0.46	0.75	0.25	1.6	31	47	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.80	7	15	1***	0.48	0.76	0.35	2.4	40	60	21	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.00	12	20	2/III	0.92	0.78	0.57	4.3	217	326	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.20	12	15	2/III	0.92	0.80	0.57	4.2	222	333	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.40	6	9	1***	0.46	0.80	0.30	1.8	37	55	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.60	7	17	2/III	0.84	0.82	0.35	2.2	193	289	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.80	6	11	1***	0.46	0.83	0.30	1.8	37	56	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.00	6	8	1***	0.46	0.84	0.30	1.7	37	56	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.20	8	12	2/III	0.88	0.86	0.40	2.4	214	321	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.40	8	12	2/III	0.88	0.87	0.40	2.4	216	323	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.60	11	16	2/III	0.91	0.89	0.54	3.3	250	375	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.80	9	17	2/III	0.88	0.91	0.45	2.6	235	353	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10.00	5	8	1***	0.46	0.92	0.25	1.2	32	48	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10.20	6	11	1***	0.46	0.93	0.30	1.5	38	57	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10.40	6	13	1***	0.46	0.94	0.30	1.5	38	57	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10.60	6	11	1***	0.46	0.95	0.30	1.5	38	57	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10.80	6	15	1***	0.46	0.96	0.30	1.5	38	57	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.00	6	13	1***	0.46	0.97	0.30	1.5	38	57	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.20	13	22	2/III	0.93	0.98	0.60	3.4	277	415	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.40	8	13	2/III	0.88	1.00	0.40	2.0	224	336	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.60	6	11	1***	0.46	1.01	0.30	1.4	38	57	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.80	4	6	1***	0.46	1.02	0.20	0.8	26	39	12	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
12.00	9	19	2/III	0.88	1.04	0.45	2.2	247	370	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
12.20	24	30	4/f.	0.94	1.06	0.89	5.1	291	436	72	22	31	34	37	40	29	28	0.041	40	60	72	
12.40	26	49	3***	0.87	1.07	--	--	--	--	--	24	31	34	37	40	29	28	0.045	43	65	78	
12.60	18	27	2/III	0.98	1.09	0.75	3.9	306	459	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
12.80	6	7	1***	0.46	1.10	0.30	1.2	39	58	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
13.00	4	7	1***	0.46	1.11	0.20	0.7	26	39	12	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
13.20	10	19	2/III	0.90	1.13	0.50	2.3	272	409	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
13.40	10	14	2/III	0.90	1.15	0.50	2.2	274	411	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
13.60	10	14	2/III	0.90	1.17	0.50	2.2	275	412	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
13.80	9	11	2/III	0.88	1.18	0.45	1.9	255	382	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
14.00	12	14	2/III	0.92	1.20	0.57	2.5	304	455	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
14.20	11	13	2/III	0.91	1.22	0.54	2.3	293	439	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
14.40	8	12	2/III	0.86	1.24	0.40	1.5	233	349	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
14.60	9	13	2/III	0.88	1.25	0.45	1.7	258	387	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
14.80	6	12	2/III	0.86	1.27	0.40	1.5	234	350	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
15.00	10	--	2/III	0.90	1.29	0.50	1.9	282	423</													

PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 3

2.010496-001

- committente :
- lavoro :
- località :
- note :

- data : 12/10/2007
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1.70 m da quota inizio
- pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE											
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p/vs kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	α1s (°)	α2s (°)	α3s (°)	α4s (°)	αdm (°)	αmy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²	
0.20	--	--	???	1.85	0.04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	35	47	3	1.85	0.07	--	--	--	--	--	99	42	43	45	46	44	29	0.256	58	88	105	
0.60	45	55	3	1.85	0.11	--	--	--	--	--	98	42	43	44	45	43	31	0.252	75	113	135	
0.80	43	34	3	1.85	0.15	--	--	--	--	--	90	41	42	44	45	42	30	0.222	72	108	129	
1.00	40	27	4	1.85	0.19	1.33	74.1	227	340	120	82	39	41	43	45	40	30	0.195	67	100	120	
1.20	37	25	4	1.85	0.22	1.23	53.5	210	315	111	75	38	40	42	44	40	30	0.173	62	93	111	
1.40	32	15	4	1.85	0.26	1.07	36.8	181	272	96	66	37	39	41	43	38	29	0.147	53	80	96	
1.60	28	13	4	1.85	0.30	0.97	27.5	154	246	84	58	36	38	40	43	37	28	0.125	47	70	84	
1.80	21	12	4	0.93	0.31	0.82	20.9	140	210	63	47	35	37	39	42	35	27	0.095	35	53	63	
2.00	20	13	4	0.93	0.33	0.80	18.8	136	204	60	44	34	36	39	41	34	27	0.088	33	50	60	
2.20	18	15	2	0.98	0.35	0.75	16.1	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.40	17	14	2	0.97	0.37	0.72	14.4	123	184	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.60	18	20	2	0.98	0.39	0.75	14.1	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.80	20	22	4	0.93	0.41	0.80	14.5	136	204	60	38	33	36	38	41	33	27	0.076	33	50	80	
3.00	13	20	2	0.93	0.43	0.60	9.6	104	155	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.20	12	15	2	0.92	0.45	0.57	8.5	106	159	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.40	11	21	2	0.91	0.47	0.54	7.5	114	171	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.60	17	34	4	0.91	0.48	0.72	10.4	123	184	54	29	32	35	37	40	31	27	0.055	28	43	51	
3.80	18	31	4	0.91	0.50	0.75	10.4	128	191	56	30	32	35	38	40	31	27	0.058	30	45	54	
4.00	14	51	4	0.89	0.52	0.64	8.1	124	187	48	20	31	34	37	40	30	26	0.039	23	35	42	
4.20	45	187	3	0.91	0.54	--	--	--	--	--	60	36	38	41	43	36	31	0.130	75	113	135	
4.40	22	42	3	0.86	0.55	--	--	--	--	--	34	33	35	38	41	32	28	0.067	37	55	66	
4.60	12	78	4	0.88	0.57	0.57	6.3	149	224	45	13	30	33	36	39	28	25	0.025	20	30	36	
4.80	37	80	3	0.89	0.59	--	--	--	--	--	51	35	37	40	42	34	30	0.106	62	93	111	
5.00	8	20	2	0.86	0.61	0.40	3.7	171	257	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.20	6	18	2	0.82	0.62	0.30	2.5	159	238	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.40	6	18	2	0.82	0.64	0.30	2.4	160	240	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.60	6	18	2	0.82	0.66	0.30	2.4	162	243	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.80	6	24	2	0.82	0.67	0.30	2.3	163	245	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.00	10	26	2	0.80	0.69	0.50	4.2	193	289	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.20	10	26	2	0.80	0.71	0.50	4.1	198	297	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.40	8	24	2	0.86	0.73	0.40	3.0	198	297	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.60	7	22	2	0.84	0.74	0.35	2.5	187	280	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.80	8	25	2	0.86	0.76	0.40	2.8	203	305	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.00	8	21	2	0.86	0.78	0.40	2.7	205	308	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.20	8	21	2	0.86	0.79	0.40	2.7	208	311	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.40	10	22	2	0.80	0.81	0.50	3.4	229	343	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.60	9	23	2	0.88	0.83	0.45	2.9	225	337	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.80	9	36	4	0.85	0.85	0.45	2.8	227	341	38	--	28	31	35	38	25	28	--	15	23	27	
8.00	14	44	4	0.89	0.86	0.64	4.3	242	362	48	8	29	32	35	39	27	26	0.017	23	35	42	
8.20	12	31	4	0.88	0.88	0.57	3.6	249	374	45	2	26	32	35	38	26	26	0.005	20	30	36	
8.40	9	23	2	0.88	0.90	0.45	2.6	234	351	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.60	6	23	2	0.82	0.92	0.30	1.6	174	261	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.80	6	19	2	0.82	0.93	0.30	1.5	175	262	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.00	8	25	2	0.86	0.95	0.40	2.1	221	332	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.20	9	28	2	0.88	0.97	0.45	2.4	241	362	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.40	9	28	2	0.88	0.99	0.45	2.4	243	364	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.60	9	23	2	0.88	1.00	0.45	2.3	244	366	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.80	8	25	2	0.86	1.02	0.40	1.9	225	338	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10.00	9	28	2	0.88	1.04	0.45	2.2	247	370	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10.20	9	28	2	0.88	1.06	0.45	2.2	248	372	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10.40	8	25	2	0.86	1.07	0.40	1.8	227	341	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10.60	8	25	2	0.86	1.09	0.40	1.8	228	342	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10.80	10	23	2	0.90	1.11	0.50	2.3	271	406	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.00	19	29	2	0.99	1.13	0.78	3.9	316	474	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.20	13	29	2	0.93	1.15	0.60	2.8	307	460	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.40	8	31	4	0.84	1.16	0.40	1.7	231	346	35	--	28	31	35	38	25	26	--	13	20	24	
11.60	7	18	2	0.84	1.18	0.35	1.4	206	309	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.80	10	19	2	0.90	1.20	0.50	2.1	277	416	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
12.00	14	21	2	0.94	1.22	0.64	2.8	324	486	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
12.20	12	20	2	0.92	1.23	0.57	2.4	307	460	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
12.40	13	20	2	0.93	1.25	0.60	2.5	319	479	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
12.60	12	20	2	0.92	1.27	0.57	2.3	310	465	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
12.80	13	18	2	0.93	1.29	0.60	2.4	323	485	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
13.00	10	17	2	0.90	1.31	0.50	1.9	283	424	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
13.20	8	18	2	0.88	1.33	0.40	1.4	235	352	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
13.40	10	19	2	0.90	1.34	0.50	1.8	284	427	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
13.60	10	19	2	0.90	1.36	0.50	1.8	285	428	40	--											

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesissrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	---	---	--

- Allegato 15 -

TABELLA RIASSUNTIVA EVENTI SISMICI - ISIDE

Valori ricercati dal 01/01/2005 al 25/01/2016 per il comune di Ferrara ed un'area con distanza di 50 km.

I valori della magnitudo ricercata sono compresi da 3.00 a 10.00. Il numero totale dei terremoti registrati è 214.

Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo	Fonte
20/10/2015 10.35	44,897	11,108	6,70	3,5 - ML	BULLETIN
12/12/14 7.01	44,866	11,14	7,40	3,2--ML	BULLETIN
6/9/13 1.45	44,886	11,277	11,40	3,4--ML	BULLETIN
4/9/13 7.03	44,900	11,259	10,20	3,3--ML	BULLETIN
4/5/13 5.11	44,869	11,521	11,10	3,8--ML	BULLETIN
24/3/13 3.08	44,906	11,268	10,00	3,0--ML	BULLETIN
5/1/13 21.26	45,114	11,660	5,60	3,0--ML	BULLETIN
13/11/12 15.09	44,902	11,353	7,60	3,0--ML	BULLETIN
14/9/12 2.47	44,828	11,439	8,70	3,0--ML	BULLETIN
6/8/12 18.26	44,870	11,259	9,80	3,0--ML	BULLETIN
16/7/12 10.06	44,851	11,230	9,20	3,0--ML	BULLETIN
1/7/12 21.02	44,857	11,225	9,20	3,2--ML	BULLETIN
25/6/12 6.18	44,856	11,417	7,40	3,0--ML	BULLETIN
23/6/12 20.18	44,863	11,272	9,20	3,1--ML	BULLETIN
19/6/12 21.48	44,881	11,024	2,70	3,5--ML	REMO
15/6/12 22.13	44,852	11,278	8,30	3,7--ML	REMO
15/6/12 8.59	44,849	11,237	8,00	3,6--ML	REMO
14/6/12 6.48	44,878	10,986	8,60	3,6--ML	REMO
12/6/12 19.09	44,838	11,226	9,80	3,1--ML	REMO
11/6/12 23.26	44,888	11,016	9,50	3,0--ML	REMO
9/6/12 13.25	44,871	11,084	8,00	3,4--ML	REMO
9/6/12 5.47	44,852	11,280	8,60	3,0--ML	REMO
7/6/12 18.00	44,859	11,128	6,90	3,3--ML	REMO
4/6/12 21.59	44,876	11,080	3,30	3,0--ML	REMO
4/6/12 4.47	44,881	11,053	7,90	3,2--ML	REMO
3/6/12 23.39	44,852	11,131	7,20	3,3--ML	REMO
2/6/12 10.15	44,883	11,016	6,80	3,2--ML	REMO
2/6/12 6.09	44,881	10,996	8,70	3,0--ML	REMO
1/6/12 22.50	44,885	11,236	4,80	3,2--ML	REMO
31/5/12 19.43	44,876	11,023	9,60	3,2--ML	REMO
31/5/12 11.18	44,792	11,452	9,40	3,2--ML	REMO
31/5/12 4.21	44,842	11,227	8,60	3,6--ML	REMO
30/5/12 14.15	44,861	11,082	7,80	3,0--ML	REMO
30/5/12 12.01	44,872	11,072	3,50	3,2--ML	REMO
30/5/12 8.48	44,831	11,160	9,80	3,2--ML	REMO
30/5/12 7.25	44,871	11,083	7,90	3,0--ML	REMO
30/5/12 3.15	44,897	11,038	7,50	3,1--ML	REMO
30/5/12 2.46	44,888	11,045	5,90	3,2--ML	REMO
29/5/12 21.17	44,861	11,081	8,60	3,0--ML	REMO
29/5/12 19.25	44,872	11,026	4,00	3,0--ML	REMO
29/5/12 18.59	44,853	11,178	7,70	3,0--ML	REMO
29/5/12 18.52	44,881	11,001	7,80	3,1--ML	REMO
29/5/12 18.44	44,855	11,106	3,30	3,1--ML	REMO
29/5/12 18.14	44,860	11,210	9,30	3,0--ML	REMO
29/5/12 16.22	44,887	11,045	6,40	3,0--ML	REMO
29/5/12 15.31	44,861	11,146	6,00	3,1--ML	REMO
29/5/12 15.11	44,917	10,986	7,90	3,2--ML	BULLETIN
29/5/12 14.57	44,862	11,117	3,70	3,0--ML	REMO
29/5/12 14.39	44,891	11,028	8,00	3,9--ML	REMO
29/5/12 14.31	44,896	11,008	7,90	3,5--ML	REMO
29/5/12 14.30	44,860	11,080	8,00	3,0--ML	REMO

29/5/12 11.44	44,889	10,988	7,80	3,1--ML	REMO
29/5/12 11.19	44,889	11,031	6,10	3,1--ML	REMO
29/5/12 11.18	44,875	11,028	7,50	3,1--ML	BULLETIN
29/5/12 11.13	44,871	11,047	21,60	3,3--ML	BULLETIN
29/5/12 11.10	44,880	11,040	2,90	3,2--ML	REMO
29/5/12 11.07	44,893	11,033	8,00	4,0--ML	REMO
29/5/12 10.27	44,870	11,102	9,90	3,6--ML	REMO
29/5/12 10.26	44,881	11,122	9,20	3,0--ML	REMO
29/5/12 10.03	44,857	11,101	2,50	4,0--ML	REMO
29/5/12 9.30	44,860	11,093	5,90	3,7--Mw	REMO
29/5/12 9.29	44,884	11,002	6,40	4,1--ML	REMO
29/5/12 9.24	44,861	11,007	9,50	3,4--ML	BULLETIN
29/5/12 9.14	44,890	11,028	7,50	3,5--ML	REMO
29/5/12 9.03	44,847	11,133	4,40	3,0--ML	REMO
29/5/12 9.01	44,896	11,010	6,20	3,5--ML	REMO
29/5/12 8.35	44,881	11,024	7,80	3,8--ML	BULLETIN
29/5/12 8.31	44,860	11,114	7,90	3,1--ML	BULLETIN
29/5/12 8.27	44,883	11,042	6,00	4,6--ML	REMO
29/5/12 8.18	44,855	11,025	8,60	3,0--ML	BULLETIN
29/5/12 8.15	44,860	11,084	6,80	3,8--ML	REMO
29/5/12 8.14	44,848	11,152	6,40	3,9--ML	REMO
29/5/12 8.12	44,890	11,028	7,40	3,5--ML	REMO
29/5/12 8.04	44,856	11,067	9,30	3,0--ML	REMO
29/5/12 8.00	44,886	11,116	18,80	3,0--ML	REMO
29/5/12 7.59	44,876	11,056	7,40	3,3--ML	REMO
29/5/12 7.55	44,878	11,073	8,10	3,1--ML	REMO
29/5/12 7.54	44,872	11,051	10,50	3,2--ML	REMO
29/5/12 7.49	44,861	11,130	4,20	3,7--ML	REMO
29/5/12 7.44	44,874	11,023	9,80	3,0--ML	REMO
29/5/12 7.42	44,875	11,036	7,20	3,0--ML	REMO
29/5/12 7.35	44,882	11,068	10,60	3,2--ML	REMO
29/5/12 7.34	44,906	11,006	8,40	3,8--ML	REMO
29/5/12 7.32	44,851	11,141	7,60	3,2--ML	REMO
29/5/12 7.30	44,860	11,054	5,40	3,2--ML	REMO
29/5/12 7.27	44,868	11,095	8,60	3,2--ML	REMO
29/5/12 7.20	44,861	11,104	8,20	3,2--ML	BULLETIN
29/5/12 7.18	44,853	11,072	11,00	3,6--ML	REMO
29/5/12 7.17	44,865	11,071	8,50	3,2--ML	REMO
29/5/12 7.14	44,884	11,128	10,10	3,5--ML	REMO
29/5/12 7.13	44,850	11,149	7,80	3,2--ML	BULLETIN
29/5/12 7.12	44,858	11,159	6,50	3,8--ML	REMO
29/5/12 7.11	44,853	11,112	7,70	3,6--ML	REMO
29/5/12 7.09	44,864	11,102	7,70	3,6--ML	BULLETIN
29/5/12 7.08	44,811	11,189	9,30	3,6--ML	BULLETIN
29/5/12 7.07	44,846	10,990	3,50	4,0--ML	REMO
29/5/12 7.00	44,842	11,066	8,10	5,6--Mw	REMO
28/5/12 21.27	44,838	11,225	9,00	3,2--ML	REMO
27/5/12 20.25	44,857	11,168	4,50	3,8--ML	REMO
27/5/12 18.18	44,871	11,164	6,00	3,8--Mw	REMO
27/5/12 6.39	44,832	11,349	7,30	3,1--ML	REMO
27/5/12 2.55	44,841	11,357	5,00	3,2--ML	REMO
26/5/12 21.07	44,826	11,163	10,20	3,8--ML	REMO
26/5/12 16.46	44,842	11,230	8,90	3,2--ML	REMO
26/5/12 16.23	44,790	11,422	9,60	3,2--ML	REMO
26/5/12 5.51	44,841	11,226	8,90	3,4--ML	REMO
25/5/12 13.54	44,867	11,086	3,10	3,4--ML	REMO
25/5/12 13.14	44,869	11,090	4,00	3,7--Mw	REMO

25/5/12 12.45	44,865	11,087	3,80	3,8--ML	REMO
25/5/12 10.31	44,841	11,222	8,90	3,9--ML	REMO
25/5/12 5.27	44,858	11,315	7,50	3,2--ML	REMO
24/5/12 14.34	44,846	11,245	7,80	3,3--ML	REMO
24/5/12 6.26	44,837	11,160	8,50	3,4--ML	REMO
24/5/12 4.29	44,881	11,300	3,10	3,1--ML	REMO
23/5/12 23.27	44,873	11,133	3,80	3,0--ML	REMO
23/5/12 21.41	44,846	11,244	8,70	3,8--Mw	REMO
23/5/12 16.41	44,858	11,087	7,00	3,2--ML	REMO
23/5/12 14.17	44,864	11,084	6,70	3,0--ML	REMO
23/5/12 8.48	44,801	11,433	6,00	3,2--ML	REMO
23/5/12 6.51	44,853	11,189	6,20	3,7--ML	REMO
22/5/12 12.46	44,880	11,202	7,00	3,4--ML	BULLETIN
22/5/12 9.53	44,855	11,219	7,70	3,0--ML	REMO
22/5/12 9.31	44,859	11,234	7,50	3,8--ML	REMO
22/5/12 8.21	44,849	11,088	12,20	3,2--ML	REMO
22/5/12 6.11	44,858	11,070	9,00	3,7--ML	REMO
22/5/12 1.55	44,842	11,218	8,00	3,2--ML	REMO
21/5/12 18.36	44,862	11,293	4,20	3,3--ML	REMO
21/5/12 18.35	44,861	11,234	8,10	3,5--ML	REMO
21/5/12 18.30	44,852	11,396	4,00	3,0--ML	REMO
21/5/12 18.02	44,857	11,233	7,90	3,6--ML	REMO
21/5/12 18.00	44,856	11,238	4,00	3,4--ML	REMO
21/5/12 17.25	44,858	11,133	3,80	3,1--ML	REMO
21/5/12 16.37	44,866	11,306	3,60	4,1--ML	REMO
21/5/12 16.32	44,839	11,232	8,50	3,4--ML	REMO
21/5/12 13.06	44,885	11,259	4,00	3,3--ML	REMO
21/5/12 9.20	44,830	11,091	8,70	3,1--ML	REMO
21/5/12 8.04	44,872	11,222	6,30	3,0--ML	REMO
21/5/12 8.01	44,872	11,222	6,60	3,3--ML	REMO
21/5/12 2.35	44,854	11,173	5,80	3,1--ML	REMO
21/5/12 1.03	44,850	11,112	5,50	3,8--ML	REMO
20/5/12 23.04	44,841	11,323	6,90	3,7--ML	REMO
20/5/12 22.22	44,805	11,416	5,80	3,6--ML	REMO
20/5/12 19.26	44,862	11,160	4,10	3,1--ML	REMO
20/5/12 18.11	44,862	11,235	7,60	3,3--ML	REMO
20/5/12 17.52	44,856	11,226	8,30	3,1--ML	REMO
20/5/12 17.40	44,885	11,244	3,70	3,6--ML	REMO
20/5/12 17.38	44,880	11,253	3,70	4,6--ML	REMO
20/5/12 17.37	44,865	11,305	5,40	4,2--Mw	REMO
20/5/12 17.20	44,868	11,266	4,30	3,1--ML	REMO
20/5/12 16.50	44,865	11,209	4,00	3,0--ML	REMO
20/5/12 14.51	44,864	11,294	6,20	3,8--ML	REMO
20/5/12 13.21	44,833	11,351	8,30	4,1--ML	REMO
20/5/12 13.18	44,814	11,441	3,40	4,9--Mw	REMO
20/5/12 13.01	44,879	11,288	4,60	3,3--ML	REMO
20/5/12 12.50	44,852	11,298	8,50	3,9--ML	REMO
20/5/12 11.22	44,883	11,218	7,50	3,0--ML	BULLETIN
20/5/12 10.59	44,875	11,332	8,40	3,5--ML	BULLETIN
20/5/12 10.51	44,879	11,223	7,60	3,3--ML	BULLETIN
20/5/12 10.12	44,893	11,137	6,80	3,8--ML	BULLETIN
20/5/12 9.13	44,868	11,236	7,20	4,2--ML	BULLETIN
20/5/12 8.47	44,898	11,185	10,00	3,4--ML	BULLETIN
20/5/12 8.15	44,887	11,092	5,40	3,6--ML	BULLETIN
20/5/12 7.42	44,847	11,153	8,80	3,4--ML	BULLETIN
20/5/12 7.33	44,834	11,549	10,00	3,1--ML	BULLETIN
20/5/12 7.23	44,873	11,409	5,00	3,6--ML	BULLETIN

20/5/12 6.32	44,888	11,101	6,80	3,2--ML	BULLETIN
20/5/12 6.13	44,884	11,173	6,10	3,2--ML	BULLETIN
20/5/12 4.57	44,890	11,130	26,30	3,1--ML	BULLETIN
20/5/12 4.50	44,919	11,258	10,00	3,0--ML	BULLETIN
20/5/12 4.33	44,886	11,188	7,00	3,3--ML	BULLETIN
20/5/12 3.34	44,873	11,228	7,00	3,3--ML	BULLETIN
20/5/12 3.32	44,861	11,386	6,30	3,3--ML	BULLETIN
20/5/12 3.24	44,823	11,090	10,00	3,0--ML	BULLETIN
20/5/12 3.09	44,901	11,214	5,50	3,7--ML	BULLETIN
20/5/12 3.09	44,738	11,447	10,00	3,2--ML	BULLETIN
20/5/12 3.07	44,896	11,123	5,70	3,7--ML	BULLETIN
20/5/12 3.02	44,860	11,152	9,10	5,0--ML	BULLETIN
20/5/12 3.00	44,786	11,414	5,00	3,1--ML	BULLETIN
20/5/12 2.57	44,850	11,260	6,40	3,2--ML	BULLETIN
20/5/12 2.57	44,904	11,174	5,00	3,0--ML	BULLETIN
20/5/12 2.54	44,897	11,103	3,50	3,0--ML	BULLETIN
20/5/12 2.52	44,898	11,106	4,60	3,2--ML	BULLETIN
20/5/12 2.46	44,847	11,366	5,00	3,4--ML	BULLETIN
20/5/12 2.42	44,841	11,176	9,80	3,7--ML	BULLETIN
20/5/12 2.41	44,894	11,201	5,00	3,3--ML	BULLETIN
20/5/12 2.40	44,834	11,361	10,30	3,6--ML	BULLETIN
20/5/12 2.39	44,881	11,227	6,60	4,0--ML	BULLETIN
20/5/12 2.37	44,888	11,140	5,50	3,7--ML	BULLETIN
20/5/12 2.35	44,825	11,479	25,90	4,0--ML	BULLETIN
20/5/12 2.34	44,841	11,382	6,60	3,3--ML	BULLETIN
20/5/12 2.32	44,913	11,242	8,40	3,8--ML	BULLETIN
20/5/12 2.29	44,836	11,431	5,00	3,5--ML	BULLETIN
20/5/12 2.26	44,876	11,375	7,30	3,6--ML	BULLETIN
20/5/12 2.25	44,851	11,306	6,40	3,9--ML	BULLETIN
20/5/12 2.21	44,890	11,115	4,90	4,1--ML	BULLETIN
20/5/12 2.20	44,867	11,398	5,00	3,7--ML	BULLETIN
20/5/12 2.19	44,828	11,513	5,00	3,4--ML	BULLETIN
20/5/12 2.16	44,885	11,093	6,00	3,2--ML	BULLETIN
20/5/12 2.12	44,870	11,219	6,70	4,3--ML	BULLETIN
20/5/12 2.11	44,860	11,341	10,90	4,3--ML	BULLETIN
20/5/12 2.09	44,834	11,340	4,90	4,3--ML	BULLETIN
20/5/12 2.07	44,874	11,270	6,10	5,0--ML	BULLETIN
20/5/12 2.06	44,905	11,165	4,30	4,8--ML	BULLETIN
20/5/12 2.06	44,879	11,120	5,00	4,8--ML	BULLETIN
20/5/12 2.03	44,896	11,264	9,50	5,8--Mw	BULLETIN
19/5/12 23.13	44,911	11,247	9,30	4,0--Mw	BULLETIN
4/11/11 11.05	44,733	11,495	31,60	3,0--ML	BULLETIN
27/7/11 1.13	44,993	11,315	2,00	3,0--ML	BULLETIN
17/7/11 18.30	45,010	11,367	2,40	4,5--Mw	BULLETIN
17/7/11 18.22	45,023	11,300	4,40	3,1--ML	BULLETIN
16/9/10 6.20	44,417	10,987	25,20	3,3--ML	BULLETIN
16/11/09 22.21	44,878	11,415	1,00	3,0--ML	BULLETIN
23/7/08 3.22	44,893	11,193	2,00	3,2--ML	BULLETIN
7/6/08 4.25	44,890	11,271	1,30	3,0--ML	BULLETIN

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	--	---	--

- Allegato 16 -

RAPPORTO TECNICO INDAGINE SISMICA

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

Committente:	Infomap Srl
Località:	Via Gaetano Pesci – Ferrara
Indagine:	indagine geofisica con la metodologia MASW e REMI

RAPPORTO TECNICO

Codice Documento: 249_2016			Numero Pagine: 13		
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
A	01_02_16	Emissione	SB	MA	SB

STUDIO BOZZOLAN
Via Matteotti, 8 – 45012 Ariano nel Polesine (RO)
Mobile: +39 333 58 63 494
email: geosimone75@hotmail.com

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

INDICE GENERALE

1.PREMESSA.....	3
2.DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW.....	4
2.1ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI.....	4
2.2STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE.....	6
3.RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA.....	8
3.1RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI INDAGINE ATTIVA.....	8
3.2RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI INDAGINE PASSIVA.....	9
3.3RAPPRESENTAZIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE.....	10
.....	10
3.4ANALISI DEL PROFILO DELLE VELOCITA'.....	10
3.5DETERMINAZIONE DELLE VS30 E DELLA CATEGORIA DI SUOLO.....	12
4.CONCLUSIONI.....	13

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

1. PREMESSA

Lo scrivente, su incarico della ditta Infomap Srl ha eseguito in data 21 Gennaio 2016 un'indagine sismica mediante il metodo MASW attivo e passivo presso area di futuro intervento urbanistico sita in Via Gaetano Pesci – Ferrara.

L'indagine è consistita nell'esecuzione di n°1 stendimenti sismici con metodologia MASW per la determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore V_{s30} , necessario per la classificazione dei terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 "D.M. 14/01/2008" e dall'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per pianificazione territoriale e urbanistica" (Proposta della Giunta Regionale in data 10 gennaio 2007, n.1) della Regione Emilia Romagna.



Figura 1 – Dettaglio profilo sismico

2. DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW

2.1 ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

Le onde di Rayleigh sono generate dall'interazione tra le onde di pressione e le onde di taglio verticali ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Alla superficie libera hanno un moto ellittico retrogrado (antiorario) che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$. In un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, le onde di Rayleigh non presentano dispersione e la velocità di propagazione è indipendente dalla frequenza e il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente, sino ad estinguersi ad una profondità pari circa ad una lunghezza d'onda. Da questo deriva che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda, e che, a diverse lunghezze d'onda corrisponde la stessa velocità di fase. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è stata descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

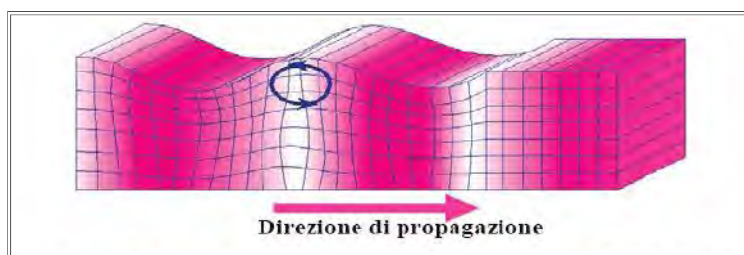


Figura 2 – Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto alla direzione di propagazione dell'onda

In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, le onde superficiali mostrano un carattere fortemente dispersivo,

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

cioè onde con diverse lunghezze viaggiano con diverse velocità di fase e di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980). Ciò significa che lunghezze d'onda diverse interessano strati differenti ai quali sono associate proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione; onde ad alta frequenza (con lunghezza d'onda corta) si propagano negli strati più superficiali mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.

Per ottenere un profilo delle Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. I dati acquisiti vengono sottoposti successivamente ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione (curva apparente derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione) caratteristica del sito in oggetto, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza.

Esistono diverse tecniche per estrarre dai sismogrammi acquisiti le caratteristiche dispersive del sito.

La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale nel dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti ad una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio-tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggior contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh e che le caratteristiche del sito siano tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. La velocità delle onde di Rayleigh è infatti associata ai massimi dello spettro f-k; si può così ottenere una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza un picco spettrale al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_r determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_r(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori V_r -f in un grafico si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione. La fase di inversione deve essere preceduta da una

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Il processo di inversione si basa su algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati che consentono di automatizzare la procedura.

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte) hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

2.2 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE

Il metodo di indagine MASW adottato si distingue in:

- Attivo (MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves): i geofoni rilevano le onde superficiali, prodotte da una sorgente impulsiva (massa battente) disposta a piano campagna, che vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza; le frequenze che interessano l'analisi sono generalmente comprese tra 5 e 70 Hz;
- Passivo (REMI - Refractor Microtremor): i geofoni rilevano il rumore naturale (o di fondo); analizza generalmente le frequenze tra 0 e 10 Hz.

La campagna di acquisizione sismica è stata svolta utilizzando un acquisitore sismico della Sara Electronics Instruments, denominato DoReMi, composto da:

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

- due serie di cavi da 12 canali ciascuno, per un totale di 24 canali (frequenze variabili di acquisizione di ciascun canale da 200 a 20000 Hz);
- registratore sismico, posizionato in corrispondenza di ogni geofono, per la memorizzazione del dato ricevuto dal sensore e l'invio in modalità digitale al PC;
- convertitore analogico digitale di tipo SAR a 16 bit con una dinamica di 88dB a 10000Hz,;
- interfaccia RS232 sismografo – PC

L'acquisizione dei dati sismici è così avvenuta:

- metodo attivo: è stata effettuata 1 stesa sismica con passo intergeofonico di 3 metri e 16 geofoni utilizzando la tecnica dell'interlaccio, ottenendo un profilo sismico equivalente ad una stesa di 32 geofoni e passo 1,5 metri ubicata come dalla planimetria riportata di seguito.. Si sono acquisiti vari shot in modo da avere un maggior set di dati e poter scegliere quelli più adatti alla successiva elaborazione. La frequenza propria dei sensori è la classica e raccomandata per tale tipologia di indagini (4,5 Hz).
- metodo passivo: sulla stessa stesa utilizzata per il metodo attivo si sono realizzate 2 acquisizioni di sismica passiva, di 1 minuto ciascuna, concatenate, in fase di pre - processing, in un unico file di 2 minuti, in modo da colmare il “vuoto” alle basse frequenze della sismica attiva (**in fase di elaborazione si sono utilizzati solo 60 secondi perché più ricchi di informazioni**).



Figura 3 – Ubicazione profilo sismico (linea rossa)

3. RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA

3.1 RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI INDAGINE ATTIVA

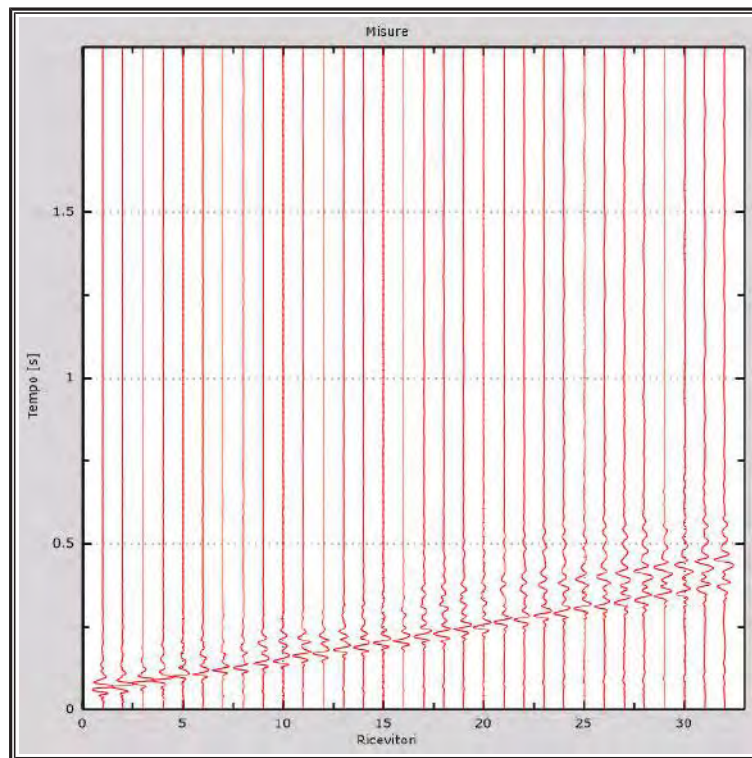


Figura 4 – Tracce sperimentali indagine attiva

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

3.2 RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI INDAGINE PASSIVA

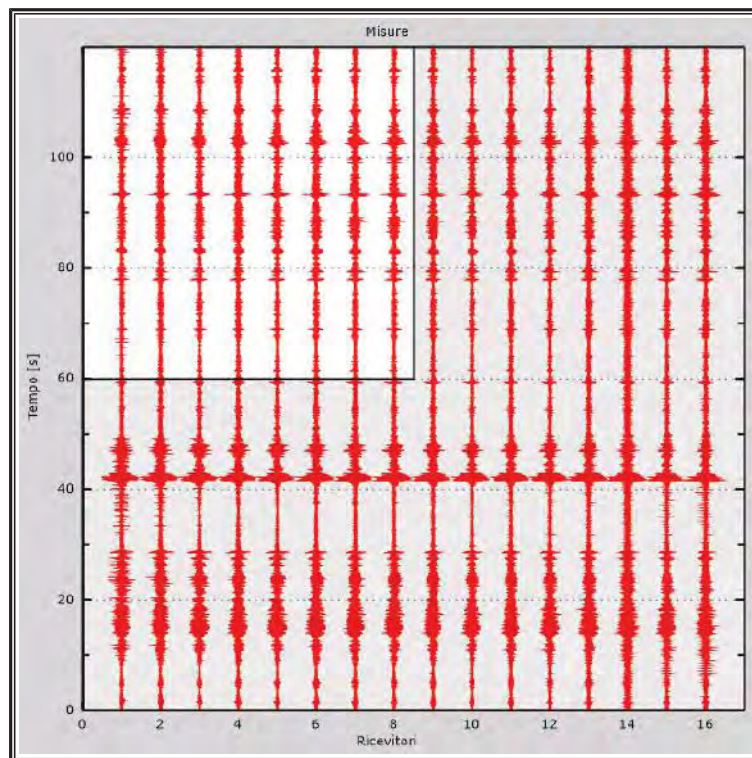


Figura 5 - tracce sperimentali indagine passiva

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

3.3 RAPPRESENTAZIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE

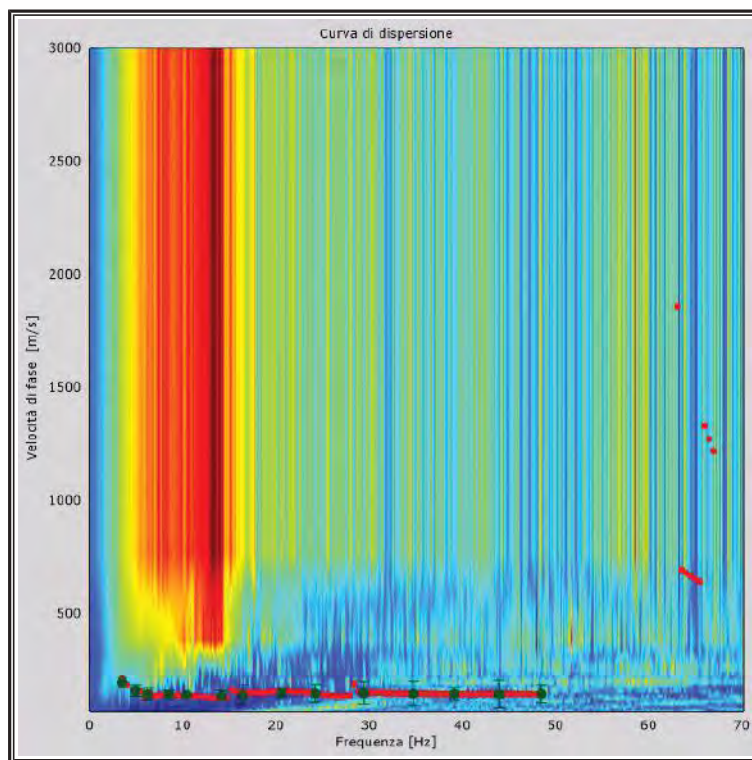


Figura 6 - Curva di dispersione sperimentale

3.4 ANALISI DEL PROFILO DELLE VELOCITA'

Dall'esecuzione dell'indagine sismica è emersa la seguente successione della velocità delle onde sismiche.

Strato	h [m]	z [m]	Vs fin. [m/s]	Vp [m/s]	Falda (S/N)
Strato 1	2,0	-2,0	164	341	N
Strato 2	3,0	-5,0	157	801	S
Strato 3	3,0	-8,0	140	714	S
Strato 4	4,0	-12,0	150	765	S
Strato 5	4,0	-16,0	175	892	S
Strato 6	5,0	-21,0	181	923	S
Strato 7	10,0	-31,0	231	1178	S
Strato 8	/	-∞	280	1428	S

Di seguito si riportano le immagini relative alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh e del modello che ne deriva previa inversione dei dati.

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

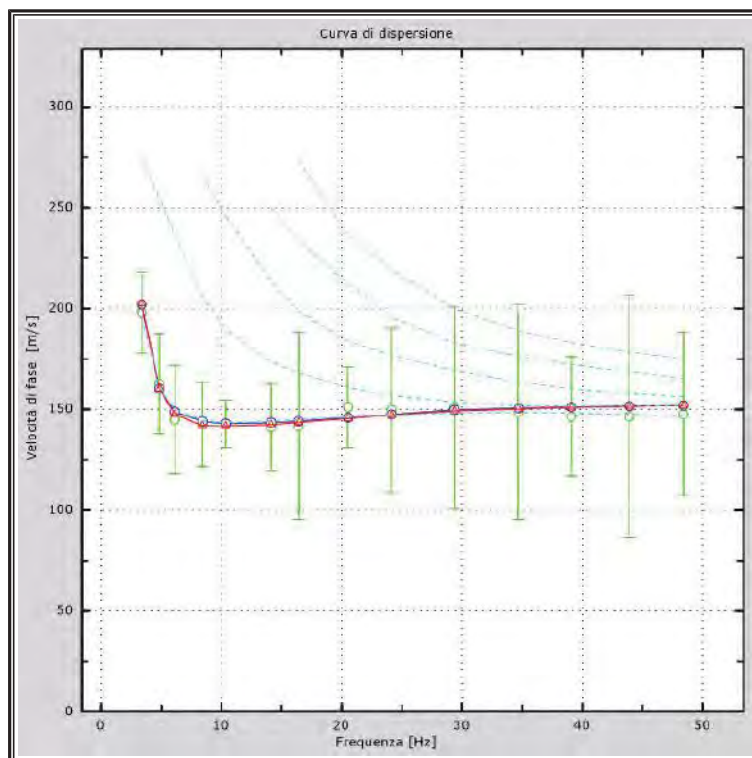


Figura 7 - Velocità numeriche
(Punti sperimentali - verde, modi di Rayleigh - ciano, curva apparente - blu, curva numerica – rosso)

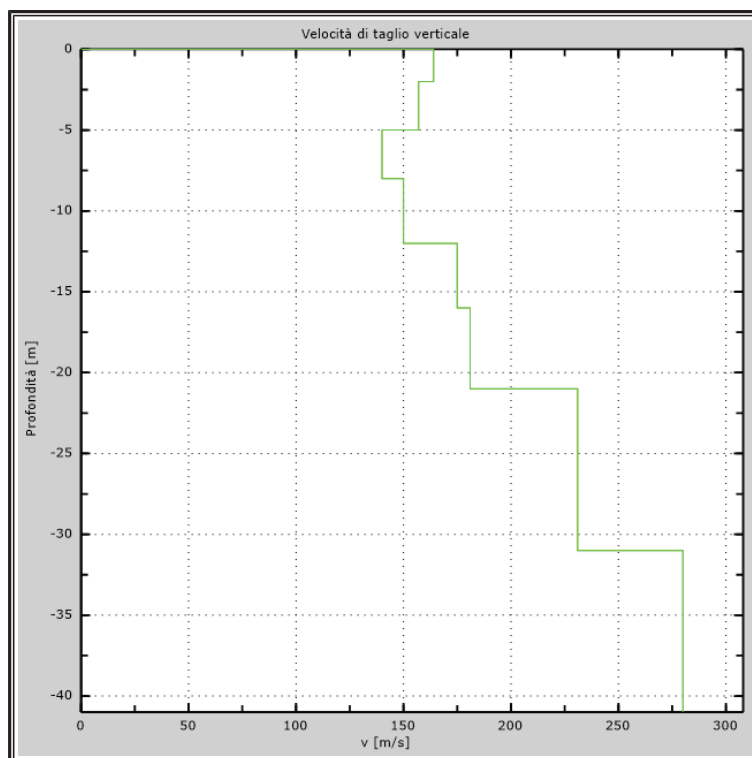


Figura 8 – Profilo verticale di velocità delle Vs

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

3.5 DETERMINAZIONE DELLE VS30 E DELLA CATEGORIA DI SUOLO

L'indagine sismica, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di -30,00 metri da p.c., ha permesso la determinazione della velocità delle V_{s30} , ricavata dalla formula riportata nel D.M. del 14 Gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni":

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}.$$

dove h_i e $V_{s,i}$ rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio attraverso lo strato i-esimo entro 30 metri di profondità.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore:

$$\underline{V_{s30} = 177 \text{ m/s}}$$

I terreni di fondazione interessati dalla progettazione sismica, come prescritto al paragrafo 3.2.2 dal D.M. 14 Gennaio 2008, appartengono a:

suolo di fondazione di tipo D

ovvero, come definito in Tabella 3.2.II (Categorie di sottosuolo): Tipo D: Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

STUDIO BOZZOLAN

INDAGINI GEOFISICHE - CONSULENZA AMBIENTALE

4. CONCLUSIONI

L'investigazione sismica ha permesso di individuare la velocità delle onde S nei primi 30 metri di profondità nel sito indagato. Dall'analisi ed elaborazione dei dati è emerso che la Vs 30 in corrispondenza del profilo sismico analizzato è tipica di suoli di tipo D.

Si sottolinea che il suolo, se alla verifica alla liquefazione o per notizie storiche, dovesse risultare liquefacibile, passerebbe dalla categoria D alla categoria S2. L'indicazione della categoria di suolo si riferisce al solo valore di Vs 30 misurata e la classificazione è valida una volta che si sia esclusa l'appartenenza a suoli di tipo S2.

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesissrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	---	---	--

- Allegati 17/20 -

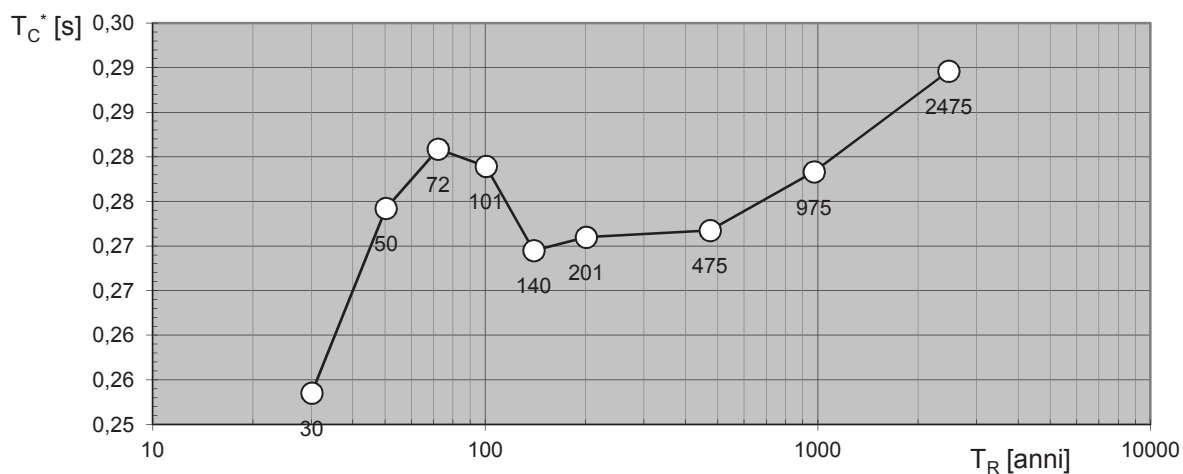
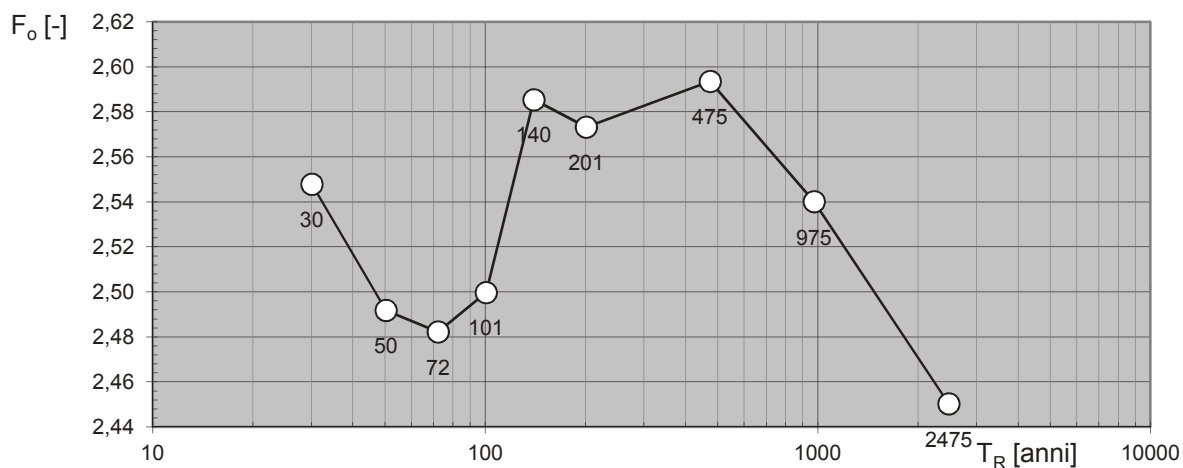
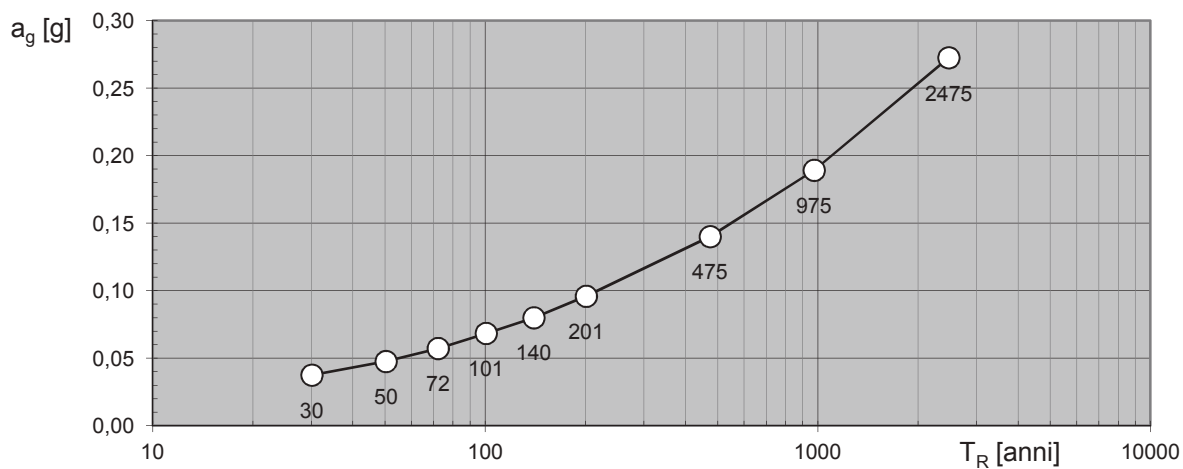
VALORI DEI PARAMETRI A_G , F_Q , T^*_C

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,038	2,548	0,254
50	0,048	2,492	0,274
72	0,057	2,482	0,281
101	0,068	2,500	0,279
140	0,080	2,585	0,269
201	0,096	2,573	0,271
475	0,140	2,594	0,272
975	0,189	2,540	0,278
2475	0,272	2,450	0,290

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

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R



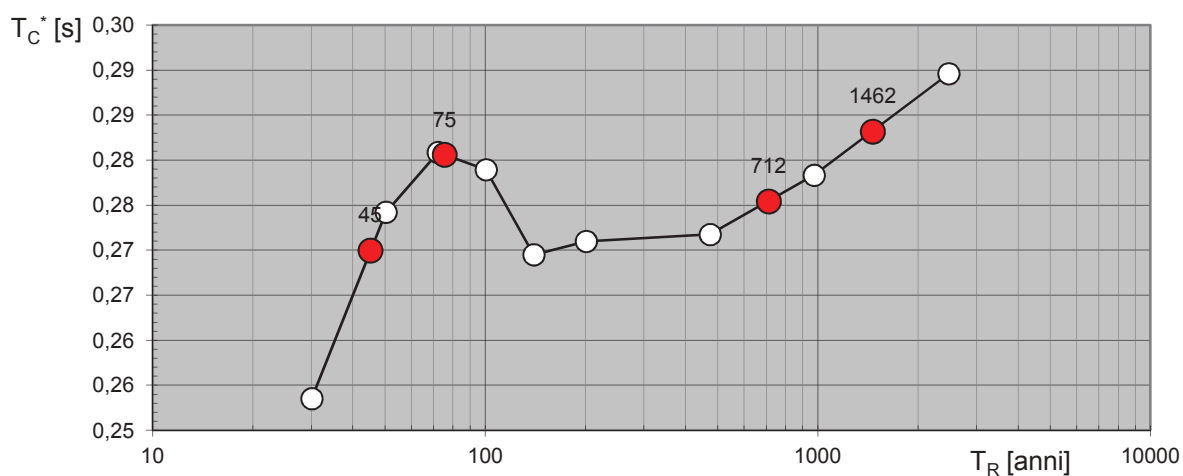
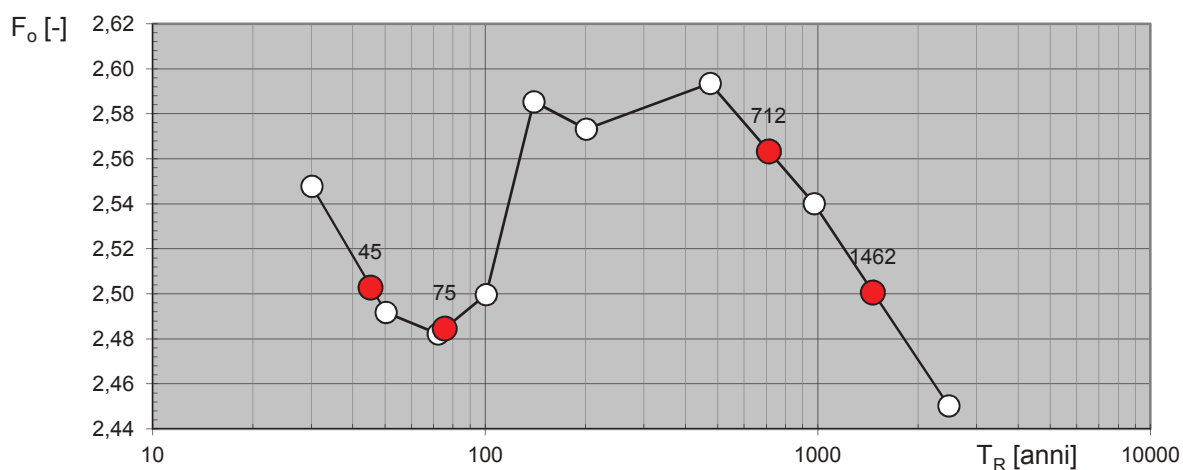
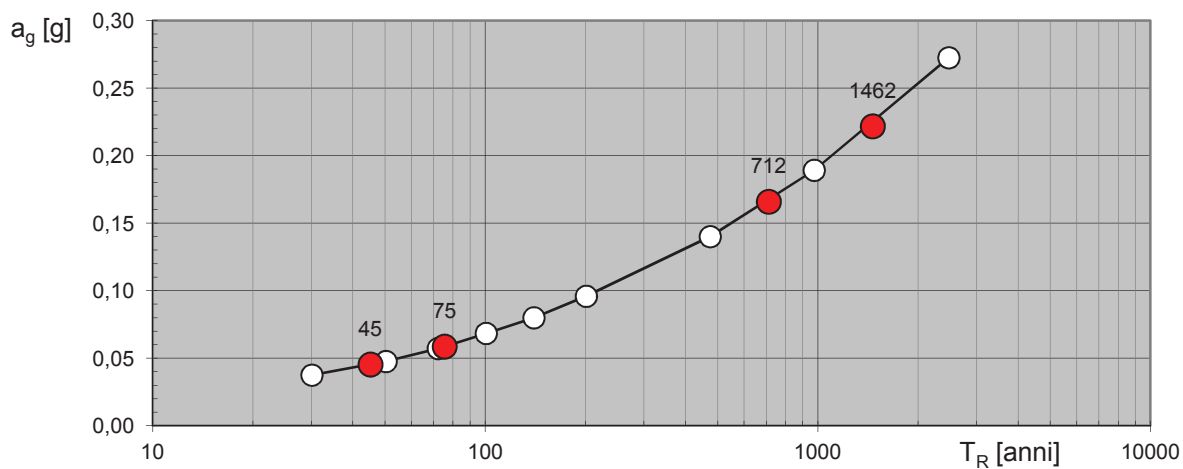
La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	45	0,045	2,503	0,270
SLD	75	0,059	2,485	0,281
SLV	712	0,166	2,563	0,275
SLC	1462	0,222	2,501	0,283

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

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



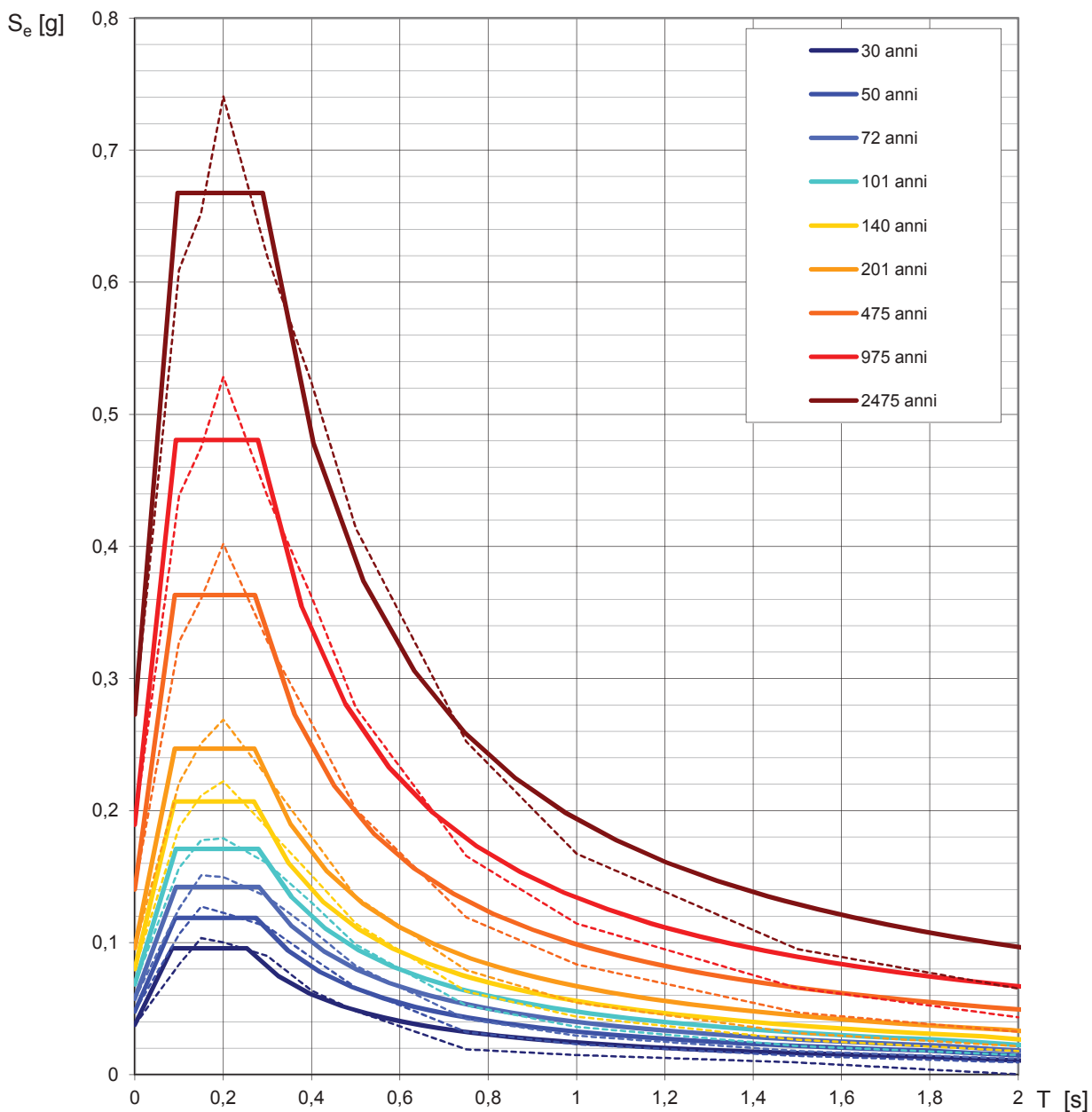
La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesissrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	---	---	--

- Allegati 21/25 -

SPETTRI DI RISPOSTA E PARAMETRI SLV

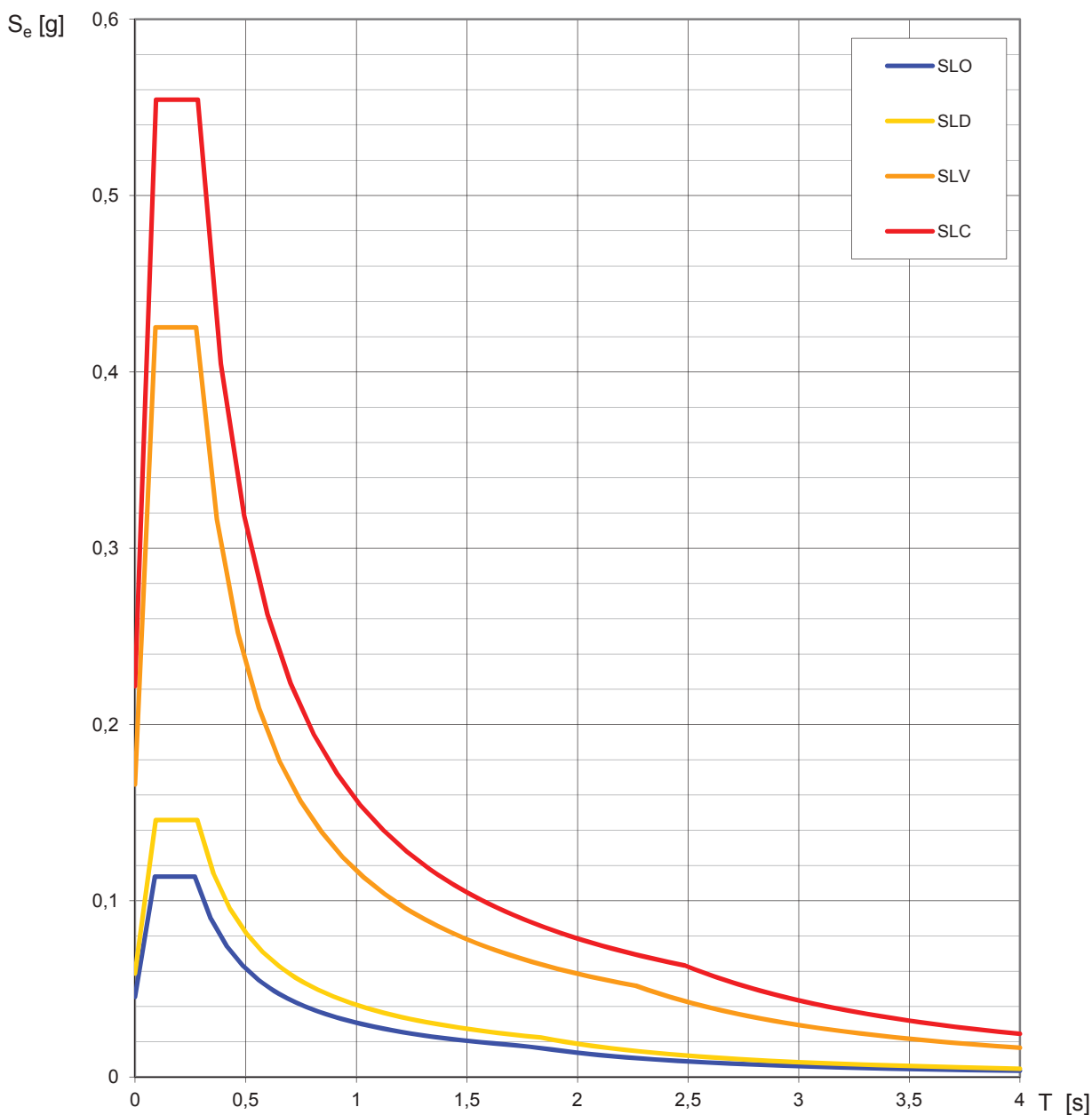
Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



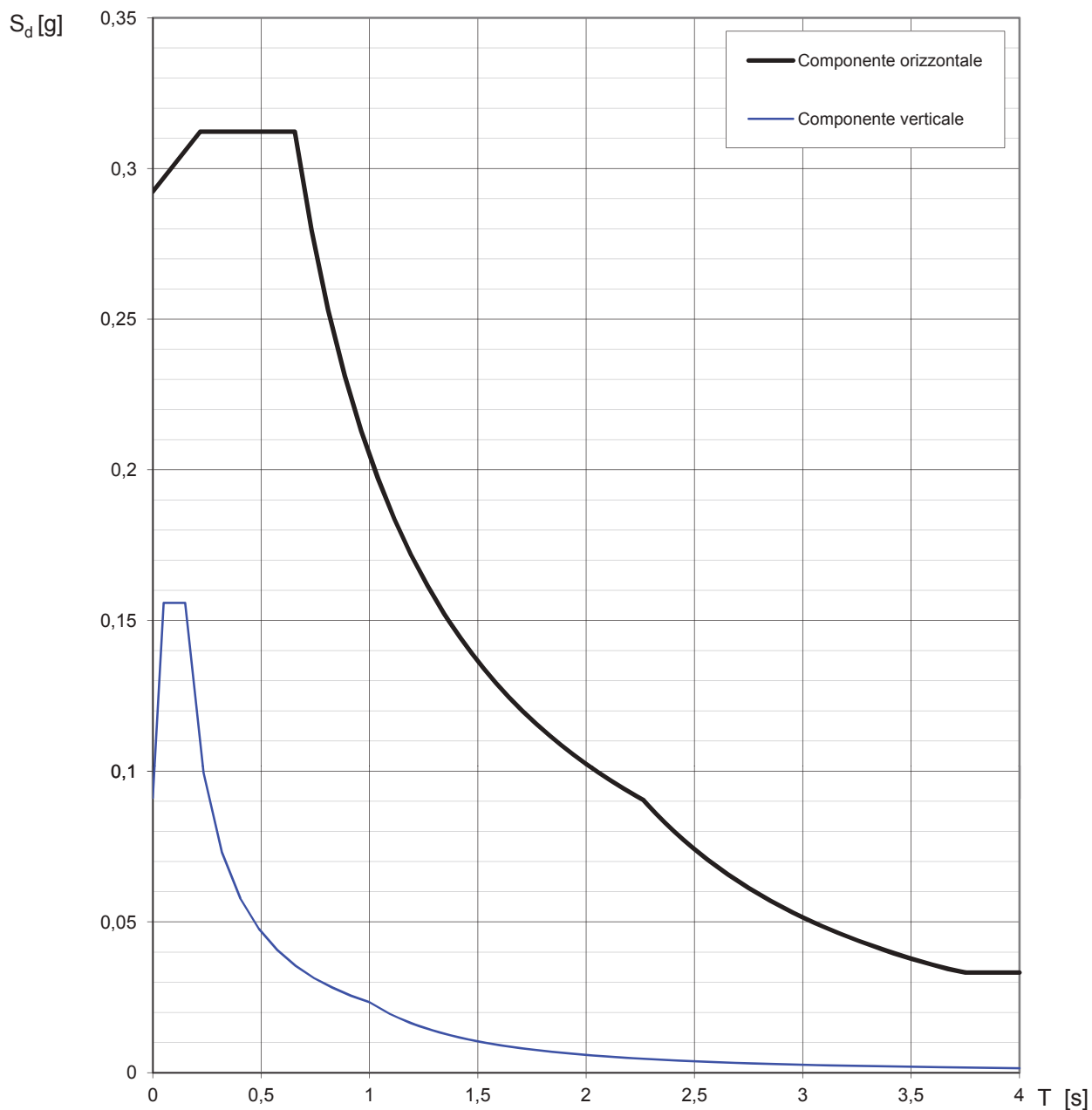
NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

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

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

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

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

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

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,166 g
F_o	2,563
T_c^*	0,275 s
S_S	1,762
C_C	2,382
S_T	1,000
q	2,400

Parametri dipendenti

S	1,762
η	0,417
T_B	0,219 s
T_C	0,656 s
T_D	2,263 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,292
$T_B \leftarrow$	0,219	0,312
$T_C \leftarrow$	0,656	0,312
	0,733	0,280
	0,809	0,253
	0,886	0,231
	0,962	0,213
	1,039	0,197
	1,115	0,184
	1,192	0,172
	1,268	0,161
	1,345	0,152
	1,421	0,144
	1,498	0,137
	1,575	0,130
	1,651	0,124
	1,728	0,119
	1,804	0,114
	1,881	0,109
	1,957	0,105
	2,034	0,101
	2,110	0,097
	2,187	0,094
$T_D \leftarrow$	2,263	0,090
	2,346	0,084
	2,429	0,079
	2,512	0,073
	2,594	0,069
	2,677	0,065
	2,760	0,061
	2,842	0,057
	2,925	0,054
	3,008	0,051
	3,090	0,049
	3,173	0,046
	3,256	0,044
	3,338	0,042
	3,421	0,040
	3,504	0,038
	3,587	0,036
	3,669	0,034
	3,752	0,033
	3,835	0,033
	3,917	0,033
	4,000	0,033

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

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
a_{qv}	0,091 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,409
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,091
$T_B \leftarrow$	0,050	0,156
$T_C \leftarrow$	0,150	0,156
	0,235	0,099
	0,320	0,073
	0,405	0,058
	0,490	0,048
	0,575	0,041
	0,660	0,035
	0,745	0,031
	0,830	0,028
	0,915	0,026
$T_D \leftarrow$	1,000	0,023
	1,094	0,020
	1,188	0,017
	1,281	0,014
	1,375	0,012
	1,469	0,011
	1,563	0,010
	1,656	0,009
	1,750	0,008
	1,844	0,007
	1,938	0,006
	2,031	0,006
	2,125	0,005
	2,219	0,005
	2,313	0,004
	2,406	0,004
	2,500	0,004
	2,594	0,003
	2,688	0,003
	2,781	0,003
	2,875	0,003
	2,969	0,003
	3,063	0,002
	3,156	0,002
	3,250	0,002
	3,344	0,002
	3,438	0,002
	3,531	0,002
	3,625	0,002
	3,719	0,002
	3,813	0,002
	3,906	0,002
	4,000	0,001

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

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesissrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	---	---	--

- Allegato 26 -

SCHEDA TECNICA RIASSUNTIVA

 Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesissrl.com	PROGETTO PER L'INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO DEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI AI FINI DELL'ADOZIONE DI VARIANTE AL POC - COMUNE DI FERRARA – VIA PESCI - RIVANA Comparto POC 4AR-01 - Modello Geologico e Modello Sismico	RIF. 213/15-ES-REV01 DEL 19/02/2016 P224/15-ES-REV00 DEL 26/10/2015
--	---	--

SCHEDA TECNICA RIASSUNTIVA

Ubicazione sito	Ferrara – Via Pesci - Rivana
Coordinate WGS84	Latitudine 44.818844° Longitudine 11.615837°
Intervento previsto	Integrazione del quadro conoscitivo geologico degli strumenti urbanistici comunali ai fini dell'adozione di variante al Piano Operativo Comunale vigente, in relazione all'area di proprietà comunale sita in Via Pesci – Rivana
Profondità presunta della falda	mt. 1.70 da p.c.
Tipologia indagini analizzate	SCPTU – CPT - MASW/Re.Mi.
Profondità raggiunta con prova SCPTU	30.26 mt
Profondità raggiunte con prove CPT	15.00/19.80 mt
Zona sismica	3 (PGA 0.05 – 0.15 g)
PGA locale	0.29g
Categoria di sottosuolo	D (metodo semplificato)
Categoria topografica	T1
Dilatanza	Non attesa
Liquefazione	Si veda capitolo dedicato
Classe d'uso	III
Coefficiente c_u	1.50
a_g	0.166g
F_0	2.563
T_c^*	0.275 sec
Coefficiente S_s	1.762
Coefficiente C_c	2.382
Vita nominale	50 anni
Stato limite	SLV

Spett.le
Comune di Ferrara
Servizio Ufficio di Piano
Piazza del Municipio civ. 21
Ferrara

Copparo, 9 settembre 2016

Oggetto: Integrazione del Quadro Conoscitivo geologico degli strumenti urbanistici comunali ai fini dell'adozione di variante al POC – Via Gaetano Pesci - Rivana

Scheda POC 4AR-01

Modello Geologico e Modello Sismico – I Integrazioni

Rif: 098/16-ES-Rev00 PI109/16-ES-Rev00

File: rel_Comune_Ferrara_Via_Pesci_098_16_ES_Rev00

Con riferimento a quanto in oggetto, sono a trasmettere le valutazioni di seguito riportate, ad integrazione di quanto riportato nel seguente elaborato a firma dello scrivente:

Integrazione del Quadro Conoscitivo geologico degli strumenti urbanistici comunali ai fini dell'adozione di variante al POC – Via Gaetano Pesci - Rivana – Scheda di POC 4AR-01 – Modello geologico e Modello sismico - Riferimento interno 213/15-ES-Rev00 del 19/02/2016.

La presente viene predisposta al fine di aggiornare le verifiche alla liquefazione già effettuate nel corso della precedente fase di studio. In particolare, di seguito vengono riportate le verifiche con le modalità previste nella Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna n. 2193 del 21 dicembre 2015.

Nello specifico, nell'allegato 3 di tale atto, per la stima del rischio di liquefazione, viene indicato il metodo di Idriss e Boulanger del 2014. Per mezzo di tale metodo, vengono applicate le procedure descritte nella pagina successiva.

Per quanto riguarda l'Indice del Potenziale di Liquefazione (I_L), la Deliberazione indica il metodo di Sonmez 2003, in base al quale e ai valori di I_L , si definiscono le seguenti classi di pericolosità:

$I_L = 0$	non liquefacibile ($FL \geq 2$)
$0 < I_L \leq 2$	potenziale basso
$2 < I_L \leq 5$	potenziale moderato
$5 < I_L \leq 15$	potenziale alto
$15 < I_L$	potenziale molto alto



$$1. \quad q_{clN} = C_N \cdot \frac{q_c}{p_a}$$

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m \leq 1.7$$

$$m = 1.338 - 0.249 \cdot (q_{clNcs})^{0.264} \quad \text{con } 21 \leq q_{clNcs} \leq 254$$

(q_{clNcs} è definito al punto 2 e m è determinato per via iterativa; p_a è la pressione atmosferica)

$$2. \quad q_{clNcs} = q_{clN} + \Delta q_{clN}$$

$$\Delta q_{clN} = \left(11.9 + \frac{q_{clN}}{14.6} \right) \cdot \exp \left[1.63 - \frac{9.7}{FC + 2} - \left(\frac{15.7}{FC + 2} \right)^2 \right]$$

FC è il contenuto di fine espresso in %. In assenza di determinazione sperimentale di laboratorio FC può essere stimato con l'espressione empirica:

$$FC = 80 I_c - 137$$

in cui I_c è l'indice di classificazione del terreno da prova CPT proposto da Robertson (1990):

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q_n - 3.47)^2}$$

con

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma'_{v0}} \cdot 100$$

$$Q_n = \left(\frac{q_c - \sigma'_{v0}}{p_a} \right) \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m$$

$$3. \quad CRR = \exp \left[\frac{q_{clNcs}}{113} + \left(\frac{q_{clNcs}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{q_{clNcs}}{140} \right)^3 + \left(\frac{q_{clNcs}}{137} \right)^4 - 2.80 \right]$$

$$4. \quad MSF = 1 + (MSF_{max} - 1) \left[8.64 \exp \left(\frac{-M}{4} \right) - 1.325 \right]$$

$$MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{q_{clNcs}}{180} \right)^3 \leq 2.2$$

$$5. \quad K_\sigma = 1 - C_\sigma \cdot \ln \left(\frac{\sigma'_v}{p_a} \right) \leq 1.1$$

$$C_\sigma = \frac{1}{37.3 - 8.27(q_{clNcs})^{0.264}} \leq 0.3$$

$$5. \quad CSR_{M, \sigma'_v} = 0.65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

$$r_d = \exp [\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \operatorname{sen} \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \operatorname{sen} \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right)$$

$$6. \quad F_L = \frac{CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1atm}}{CSR_{M, \sigma'_v}} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

Utilizzando il software CLiq v.1.7.6.49, applicando il metodo di Boulanger & Idriss (2014) sono stati determinati i fattori F_s per i singoli strati di 0.02 mt delle prove già analizzate, individuando quindi gli spessori caratterizzati da $F_s < 1.2$, di seguito elencati nelle tabelle nelle quali, oltre agli spessori e alle profondità dei singoli strati liquefacibili, sono indicate anche le profondità dei macrostrati e gli spessori cumulativi degli strati liquefacibili.

SCPTU – 185160B064 – STRATI CON $F_s < 1.2$

SCPTU – 185160B064	MACROSTRATI		STRATI LIQUEFACIBILI		
	PROF. TETTO (MT)	PROF. LETTO (MT)	PROFONDITÀ (MT)	SPESSORI (MT)	SPESSORI CUMULATIVI (MT)
	1.50	8.98	2.242 – 2.391	0.149	0.213
			3.427 – 3.491	0.064	
	8.98	9.67	9.607 – 9.67	0.063	0.063
	9.67	16.51	9.67 – 9.907	0.237	0.346
			12.152 – 12.261	0.109	
	16.51	17.18	16.799 – 17.33	0.531	0.531
	17.18	20.00	-	-	-

CPT8 – 185160C402 – STRATI CON $F_s < 1.2$

CPT – 185160C402	MACROSTRATI		STRATI LIQUEFACIBILI		
	PROF. TETTO (MT)	PROF. LETTO (MT)	PROFONDITÀ (MT)	SPESSORI (MT)	SPESSORI CUMULATIVI (MT)
	0.20	5.20	2.80 – 3.20	0.40	0.80
			3.60 – 4.00	0.40	
	5.20	9.20	-	-	-
	9.20	10.80	9.20 – 10.40	1.20	1.20
	10.80	15.00	14.80 – 15.00	0.20	0.20

CPT9 – 185160C403 – STRATI CON $F_s < 1.2$

CPT 185160C403	MACROSTRATI		STRATI LIQUEFACIBILI		
	PROF. TETTO (MT)	PROF. LETTO (MT)	PROFONDITÀ (MT)	SPESSORI (MT)	SPESSORI CUMULATIVI (MT)
	0.20	15.00	3.00 – 3.20	0.20	0.40
			14.80 – 15.00	0.20	

CPT3 – 185160C725 – STRATI CON $F_s < 1.2$

CPT – 185160C725	MACROSTRATI		STRATI LIQUEFACIBILI		
	PROF. TETTO (MT)	PROF. LETTO (MT)	PROFONDITÀ (MT)	SPESSORI (MT)	SPESSORI CUMULATIVI (MT)
	0.20	1.80	-	-	-
	1.80	3.40	-	-	-
	3.40	4.80	4.00 – 4.80	0.80	0.80
	4.80	15.00	-	-	-
	15.00	19.80	18.20 – 18.40	0.20	0.20

	Prevalenza di argille
	Prevalenza di sabbie

Conformemente a quanto già indicato nella precedente relazione, dalle letture delle tabelle si evidenzia come siano presenti spessori liquefacibili a profondità variabili a seconda della prova considerata, la cui eventuale continuità o meno dovrà essere accertata nel corso degli studi per i singoli interventi.

Per stimare il grado di severità globale dovuta alla liquefazione del deposito, è stato determinato l'Indice del Potenziale di Liquefazione, considerando una magnitudo pari a 6.14 ed una P.G.A = 0.29g, calcolata nel corso del precedente lavoro per mezzo del programma di calcolo, Spettri NTC, ver. 1.0.3, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Il livello della falda è stato mantenuto invariato nell'ipotesi dell'avvenimento del sisma; a conoscenza dello scrivente non sono infatti disponibili studi specifici relativi alla variazione del livello della falda, nel corso degli eventi sismici. Nella verifica alla liquefazione sono stati considerati solamente i terreni sabbiosi per le caratteristiche specifiche dei siti.

In base al metodo di Boulanger e Idriss (2014), suggerito dall'allegato A3, punto A2.2, della D.G.R. del 21/12/2015, n. 2193 e all'approccio di Sonmez (2003), l'Indice del Potenziale di Liquefazione assume i seguenti valori:

IPL in corrispondenza di SCPTU-185160B064 = 2.07

IPL in corrispondenza di CPT-185160C402 (CPT8) = 5.67

IPL in corrispondenza di CPT-185160C403 (CPT9) = 0.91

IPL in corrispondenza di CPT-185160C725 (CPT3) = 2.86

In base agli Indici di Potenziale Liquefazione, la zona si definisce a potenziale di liquefazione basso in corrispondenza della CPT-185160C403 (CPT9), a potenziale di liquefazione moderato in corrispondenza della SCPTU-185160B064 e della CPT-185160C725 (CPT3) e a potenziale di liquefazione alto in corrispondenza della CPT-185160C402 (CPT8). Si evidenzia come con le precedenti valutazioni, effettuate sulla base delle indicazioni della D.A.L. 112/2007, prima della pubblicazione della D.G.R. 2193/2015, fossero stati calcolati valori di IPL pari a 1.975, 5.222, 0.872 e 2.413, definendo un rischio basso in corrispondenza di tutte le prove analizzate, ad eccezione della CPT-185160C402, la quale rileva un rischio di liquefazione elevato.

In base al metodo di Idriss & Boulanger (2008), indicato nell'Allegato A3, punto B1, della DGR 2193/2015, i cedimenti verticali post-sismici nei terreni granulari saturi, assumono i seguenti valori:

cedimenti in corrispondenza di SCPTU-185160B064 = 5.369

cedimenti in corrispondenza di CPT-185160C402 (CPT8) = 10.422

cedimenti in corrispondenza di CPT-185160C403 (CPT9) = 3.174

cedimenti in corrispondenza di CPT-185160C725 (CPT3) = 4.133

Si evidenzia come con le precedenti valutazioni, effettuate sulla base delle indicazioni della D.A.L. 112/2007, prima della pubblicazione della D.G.R. 2193/2015, fossero stati calcolati i medesimi valori.

Distinti saluti

Dr. Geol. Emanuele Stevanin



6/20/13



PREMESSA

Su incarico della società La Valle Trasporti S.r.l. di Ferrara, è stata eseguita un'indagine geologico-tecnica con verifica delle caratteristiche fisico meccaniche dei terreni di fondazione finalizzata all'adeguamento sismico di un capannone sito a Ferrara, in Via Marconi 47-49. A tal fine è stata eseguita una campagna di prove in situ, consistente inn. 2 prove penetrometriche statiche, spinte sino a – 20 metri da piano piazzale, nonché una prova MASW.

Fig. 1: ubicazione area



Le normative e deliberazioni di riferimento risultano le seguenti:

- D.M. LL. PP. 11/3/88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce"
- D.M. 16/01/96 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"
- Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", n. 3274 del 20/3/03
- Delibera della giunta della Regione Emilia Romagna del 21 luglio 2003 con oggetto: Prime disposizioni di attuazione dell'ordinanza del PCM n. 3274/2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" con particolare riferimento all'allegato A, "Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia Romagna"

- Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3316 "Modifiche ed integrazioni all'ordinanza n. 3274 del 20/3/03"
- Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Servizio Sismico Nazionale. Nota esplicativa dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/3/03. Data: 4 giugno 2003
- Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 3/5/05
- D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto di studio rientra nel settore meridionale del grande bacino subsidente padano. Esso è costituito superficialmente da sedimenti Olocenici di piana alluvionale, a cui segue, in profondità, una coltre di sedimenti incoerenti di età Pliocenica e Quaternaria con depositi riferibili a vari ambienti deposizionali, in particolare: marini, deltizi, lagunari e fluvio-plaustri. La parte superiore di tali sedimenti è rappresentata da depositi Quaternari continentali in continuità con i sedimenti superficiali, con spessori variabili che raggiungono i valori massimi a SE di Ferrara (circa 200 m.).

L'assetto attuale del territorio ferrarese, è conseguenza dell'evoluzione della rete idrografica superficiale ed a fenomeni di subsidenza naturale ed antropica. A proposito del primo dei suddetti fattori, va tenuto presente che la condizione dei fiumi di bassa pianura è generalmente quella di sedimentazione: il corso d'acqua durante i fenomeni di esondazione tende a distribuire il proprio carico solido nelle aree circostanti in modo che le granulometrie maggiori (sabbie) vanno a costituire barre e le sponde naturali degli alvei, mentre i materiali più fini (limi ed argille) vengono depositati in zone più distali, in ragione della diminuzione dell'energia idrodinamica e quindi coerentemente al diminuire della competenza fluviale. Questi ultimi sedimenti, si costipano maggiormente di quelli costituenti l'alveo, determinando così, già per cause naturali, dislivelli tra gli alvei dei fiumi ed i territori circostanti. Su questi meccanismi di esondazione, preponderante è stato l'intervento antropico, che per preservarsi da tali fenomeni ha, per così dire, irrigidito la rete idrografica alzando via via gli argini e costringendo le aste fluviali a scorrere sempre dentro gli stessi alvei. La conseguenza diretta di tale operato è stata quella di bloccare i nuovi apporti detritici nella campagna circostante ed esaltare i dislivelli tra letti fluviali e territori limitrofi.

Per quanto concerne i fenomeni di abbassamento, essi sono imputabili a:

- subsidenza geologica (naturale)
- abbassamento della falda freatica per scopi di bonifica, determinando fenomeni di subsidenza dovuti a semplici cause meccaniche per effetto del costipamento
- estrazioni eccessive di acqua e talora acqua mista a gas dalle formazioni quaternarie profonde.

Dall'esame dei dati raccolti sui fenomeni di abbassamento del territorio ferrarese relativi al periodo 1878-1970 (Salvioni 1957 e Caputo 1970) confrontati con la "1° e 2° rete altimetrica nazionale di alta precisione" realizzata dall'I.G.M. sono state cartografate linee di particolare instabilità del territorio, dove sono stati riscontrati abbassamenti di valore superiore a 15 cm. per l'abitato di Ferrara.

L'area oggetto di studio è ubicata all'interno del tessuto urbano che ha obliterato i segni morfologici. Facendo riferimento all'immagine telerilevata di Google Earth ed alle carte geomorfologiche del comune di Ferrara, il terreno è inserito all'interno di una piana interalveo.

SILGEO Studio geologico di M. Sileo
Via Torun 3/c – 44123 Ferrara

Tel 0532/472702 – 0532/707028 – fax 0532/473579 – mobili 335/314457 – 335/6559327
Email info@silgeo.it – www.silgeo.it

Fig.2 : Stralcio della carta geomorfologica



IDROGEOLOGIA

L'intera Provincia di Ferrara presenta condizioni di drenaggio fortemente connesse con l'assetto altimetrico; il territorio possiede una generale pendenza da Ovest verso Est, condizionando la situazione della rete scolante.

A livello macroscopico il modello idrogeologico risulta complesso, costituito da diverse unità idrogeologiche separate da materiale impermeabile.

Gli acquiferi più profondi, sono ospitati nelle formazioni consolidate pre-Plioceniche che, unitamente a quelli rinvenibili nei depositi sabbiosi Pliocenici e Pleistocenici sovrastanti, sono di ambiente lagunare e marino, con acque salmastre o salate, di scarso interesse pratico.

Nelle successioni Oloceniche, l'ambiente deposizionale è di tipo continentale e si registra una successione di livelli a sabbia fine e grossolana, intercalati a livelli argillosi con frequenti tracce di torba.

SILGEO Studio geologico di M. Sileo
Via Torun 3/c – 44123 Ferrara

Tel 0532/472702 – 0532/707028 – fax 0532/473579 – mobili 335/314457 – 335/6559327
Email – www.silgeo.it

La falda freatica, considerata per convenzione come un unico elemento, in realtà risulta costituita da un complesso sistema multifalda, a livelli anche non interconnessi.

LIVELLO STATICO DELLA FALDA

E' stato misurato il livello statico della falda nei fori di prova il giorno 5 dicembre 2013. La falda si attesta tra -1.80 e - 2.00 metri dal p.c.

CARATTERISTICHE FISICO MECCANICHE DEI TERRENI

Sono state eseguite n. 2 CPT spinte a profondità di - 20 metri dal p.c. Si evidenzia una buona omogeneità dei terreni di fondazione risultando costituiti da materiale fine argilloso limoso per i primi 13 metri (a meno di un livello a matrice maggiormente sabbiosa nella CPT 1 di spessore di circa 1 metro intorno ai 3 metri dal p.c.). Da oltre 13 metri sino a fondo foro (20 metri) si rileva la presenza di sabbia e sabbia limosa presumibilmente di origine glaciale.

In particolare, di seguito vengono riportate per l'indagine la descrizione delle caratteristiche litologiche ed il valore medio di alcuni parametri geotecnici, di validità orientativa, individuati attraverso correlazioni e bibliografia.

PROVA PENETROMETRICA N. 1

Da -0.00 a -2.80 metri dal p.c.	
Litologia	Argilla limosa e limo argilloso
Natura del terreno	Coesiva
Resistenza alla punta R_p (kg/cm ²)	13.0
R_p/R_I	37.0
Peso di Volume γ' (t/m ³)	1.4
Coesione non drenata C_u (Kg/cmq)	0.38
Modulo di deformazione edometrico M_o (Kg/cmq)	32.0
Da -2.80 a - 4.00 metri dal p.c.	
Litologia	Limo sabbioso e Sabbia limosa
Natura del terreno	Essenzialmente granulare
Resistenza alla punta R_p (kg/cm ²)	22.0
R_p/R_I	54.0
Peso di Volume γ' (t/m ³)	0.90
Angolo d'attrito interno ϕ (°)	26.0
Densità relativa %	35.0
Da -4.00 a -13.40 metri dal p.c.	
Litologia	Argilla limosa e limo argilloso

SILGEO Studio geologico di M. Sileo

Via Torun 3/c - 44123 Ferrara

Tel 0532/472702 - 0532/707028 - fax 0532/473579 - mobili 335/314457 - 335/6559327

Email info@silgeo.it - www.silgeo.it

Natura del terreno	Coesiva
Resistenza alla punta R_p (kg/cm ²)	12.0
R_p/R_I	22.0
Peso di Volume γ' (t/m ³)	0.9
Coesione non drenata C_u (Kg/cmq)	0.50
Modulo di deformazione edometrico M_o (Kg/cmq)	39.0
Da -13.40 a - 20.0 metri dal p.c.	
Litologia	Sabbia limosa e sabbia
Natura del terreno	Granulare
Resistenza alla punta R_p (kg/cm ²)	131.0
R_p/R_I	105.0
Peso di Volume γ' (t/m ³)	1.00
Angolo d'attrito interno ϕ (°)	27.0
Densità relativa %	66.0

PROVA PENETROMETRICA N. 2

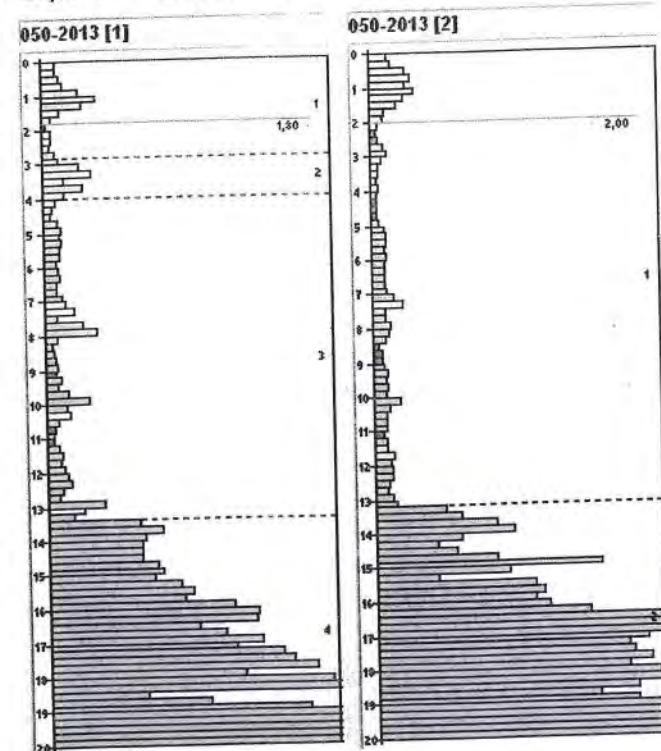
Da -0.00 a -13.20 metri dal p.c.	
Litologia	Argilla limosa e limo argilloso
Natura del terreno	Coesiva
Resistenza alla punta R_p (kg/cm ²)	10.0
R_p/R_I	21.0
Peso di Volume γ' (t/m ³)	0.9
Coesione non drenata C_u (Kg/cmq)	0.44
Modulo di deformazione edometrico M_o (Kg/cmq)	34.0
Da -13.20 a - 20.00 metri dal p.c.	
Litologia	Sabbia limosa e sabbia
Natura del terreno	Granulare
Resistenza alla punta R_p (kg/cm ²)	145.0
R_p/R_I	124.0
Peso di Volume γ' (t/m ³)	1.1
Angolo d'attrito interno ϕ (°)	27.0
Densità relativa %	69.0

SILGEO Studio geologico di M. Sileo

Via Torun 3/c - 44123 Ferrara

Tel 0532/472702 - 0532/707028 - fax 0532/473579 - mobili 335/314457 - 335/6559327

Email info@silgeo.it - www.silgeo.it



INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW

E' stata effettuata una prova sismica tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves) per la classificazione sismica di un tipo di suolo nel Comune di Ferrara, in via Marconi (fig.1 e 2).



Fig.1 Ubicazione area di indagine

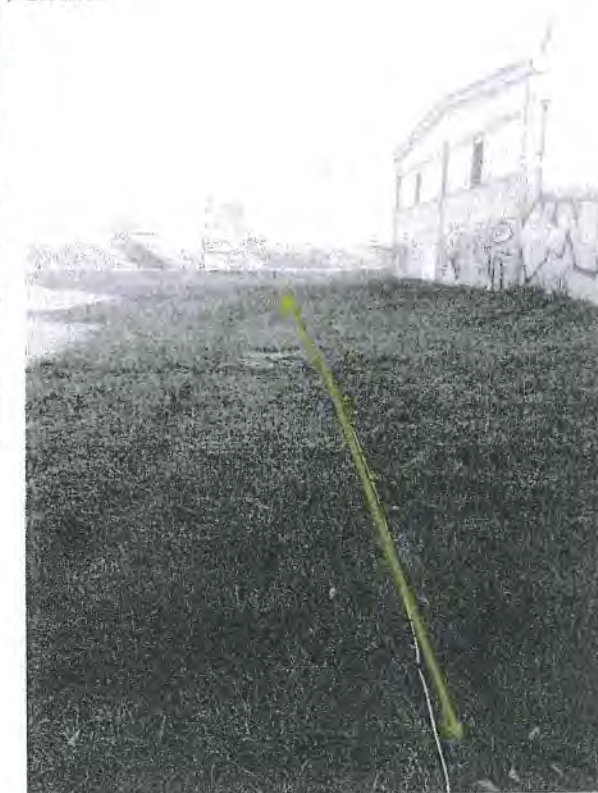


Fig.2 Ubicazione prova Masw

Nell'area è stata condotta un indagine di sismica attiva al fine di poter ricavare i valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s) e la valutazione della V_{s30} come prescritto da:

- Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003
- D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni".

Si ricorda che la normativa richiede l'azione sismica di progetto sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. All'interno del territorio nazionale sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (v. Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche). La classificazione del suolo (tabella 1) è invece convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità.

Nel sito è stata eseguita un'indagine basata sullo studio della propagazione di onde superficiali di Rayleigh.

Caratteristiche Attrezzatura

La prova MASW in sito è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, AMBROGEO mod.ECHO 12-24 a 24 canali,
Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-Trattamento dati:
-Ambiente operativo:

Floating Point 32-Bit,
Windows 98,

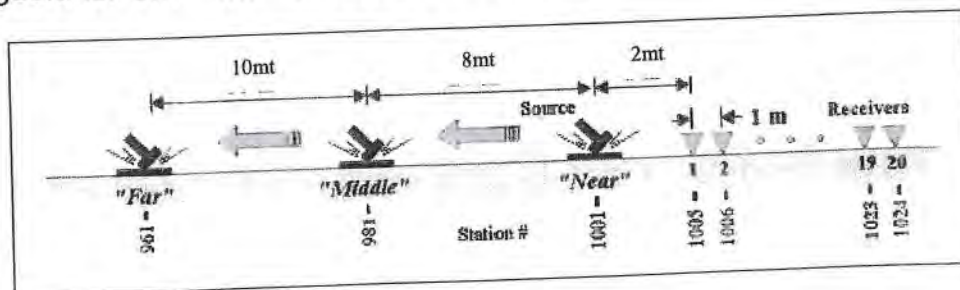
Relazione geologica e geotecnica con caratterizzazione fisico meccanica dei terreni – Valutazione sismica di un terreno posto a Ferrara, Via Marconi 47-49
Committente: La Valle Trasporti – Via Marconi 47-49 - Ferrara

- Canali: 24
- Display: VGA colori LCD_TFT 15"
- Supporto memorizz.: Hard Disk 60Gb
- Risoluzione acquisizione: 6/24 bit
- Formato dati: Ambrogeo (.app) e SEG-2 (.SG2),
- Durata acquisizioni: Rifrazione, 32÷2048 ms Riflessione, 32÷16384 ms,
- Tempi campionamento: da 16 µs a 2 ms
- Filtri digitali: Passa alto (25÷400 Hz) Passa Basso (100÷250 Hz) Notch (50÷180 Hz)
- Attivazione filtri: in acquisizione o manualmente
- Trigger: inibizione impulsi dovuti a imbalzi

- Ricevitori – 24 geofoni da 4,5 Hz collegati in serie da due cavi con lunghezza 33 m l'uno.
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm su cui battere, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori

Metodologia

La prova consiste nel produrre una sollecitazione sulla superficie del terreno e nel registrare le vibrazioni prodotte a distanze note e prefissate. Nel sito si sono disposti 24 geofoni a 4.5 Hz con spaziatura regolare di 1 m, si eseguono diversi "scoppi" in linea (come riportato in figura) con lo stendimento alle seguenti distanze dal primo geofono: 2m – 4m – 6m – 8m – 10m – 12m.



Le acquisizioni avvengono a 7642 Hz per 1 sec.

Su questa acquisizione è eseguita un'analisi ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh (R). Si riporta il grafico ad isolinee sul quale è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh (Figura 3).

Su di essa si esegue il picking del modo fondamentale (Figura3). Al fine di ottenere l'andamento delle Vs con la profondità, la curva ottenuta dal picking è invertita mediante una procedura automatica ai minimi quadrati (metodo Levenberg Marquardt). Successivamente viene creato il profilo delle onde S associato alla curva teorica ottenuta.

Nella tabella sono riportati il miglior modello individuato dall'inversione ai minimi quadrati e quindi viene calcolato il valore di Vs30 viene calcolato con la seguente formulazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{1}{V_{s_i}}}$$

SILGEO Studio geologico di M. Sileo
Via Torun 3/c – 44123 Ferrara

Tel 0532/472702 – 0532/707028 – fax 0532/473579 – mobili 335/314457 – 335/6559327
Email – www.silgeo.it

Relazione geologica e geotecnica con caratterizzazione fisico meccanica dei terreni – Valutazione sismica di un terreno posto a Ferrara, Via Marconi 47-49
Committente: La Valle Trasporti – Via Marconi 47-49 - Ferrara
Sito "Ferrara- via Marconi"

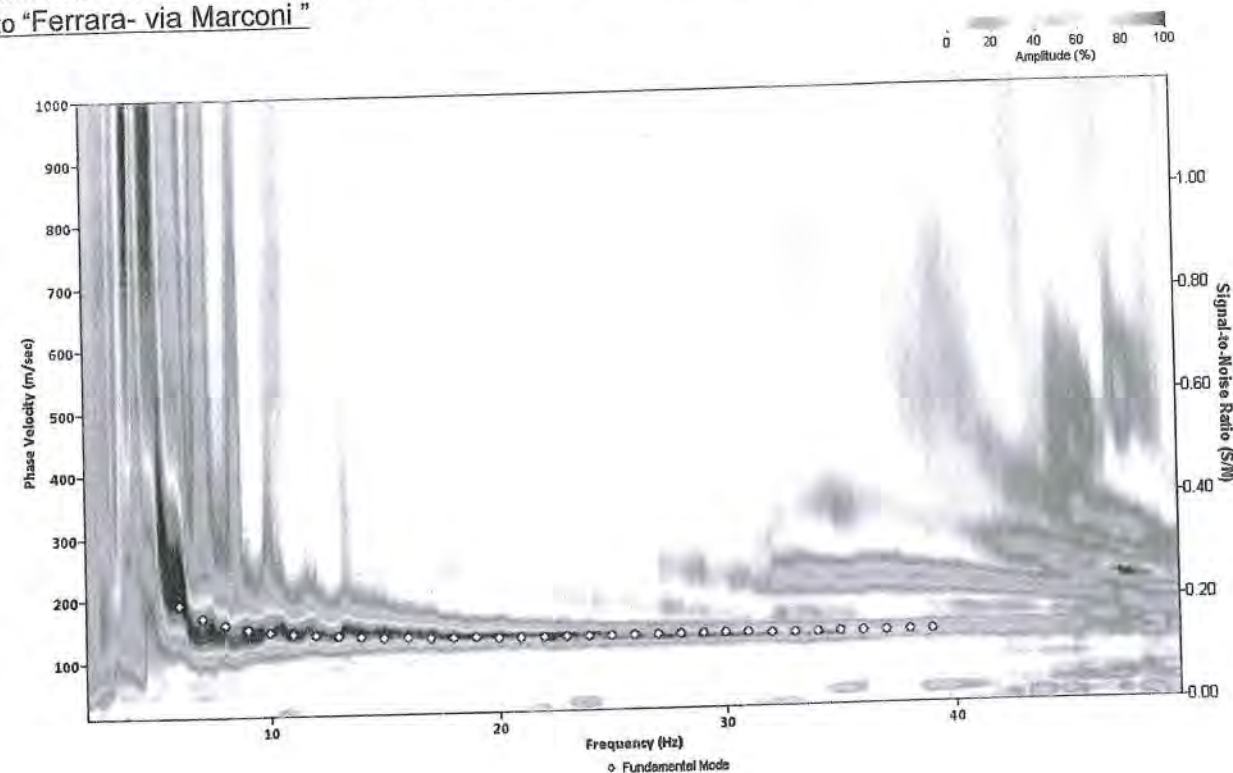


Figura 3. MASW –picking del modo fondamentale

Nel grafico di Figura 3, la fascia energetica associabile alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh è presente da circa 5 Hz fino a circa 40 Hz . Su di essa si esegue il picking del modo fondamentale (Figura3). La modellazione numerica della curva di dispersione prevede che alla base del modello sia posto un semispazio a spessore infinito. Si riporta in Figura 4: il profilo di velocità delle onde S associato alla curva teorica.

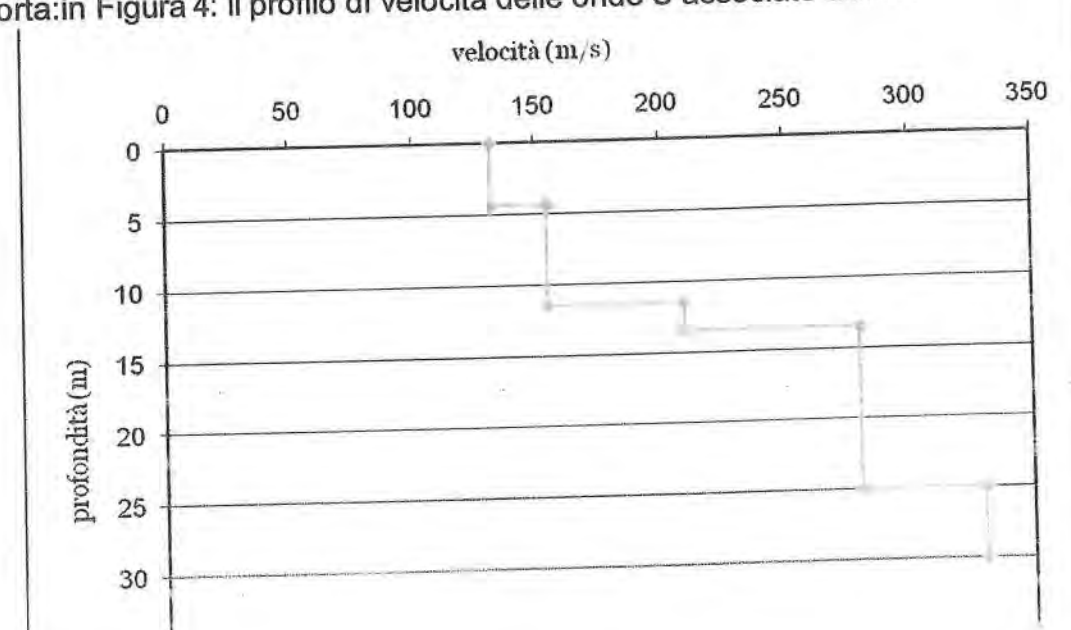


Figura 4 Profilo di velocità delle onde S stimato nel sito in esame

SILGEO Studio geologico di M. Sileo
Via Torun 3/c – 44123 Ferrara

Tel 0532/472702 – 0532/707028 – fax 0532/473579 – mobili 335/314457 – 335/6559327
Email – www.silgeo.it

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
4.4	4.4	132
11.5	6.1	155
13.5	2	210
25	11.5	280
inf.	inf.	330

In base a quanto sopra, la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 203-2003 e art. 3.2.2 DM 14-1-08), ai vari strati sismo stratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità Vs direttamente misurate, consentendo di ottenere la Vs30, cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove

hi = spessore dello strato i-esimo
Vsi = velocità onde S nello stato i-esimo
N = numero strati considerati

Ottenendo in base ai dati sopra esposti, ed in base a quanto previsto da art. 3.2.2 NTC08, "Per le fondazioni superficiali tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse...",

$$V_{s30} = 207 \text{ m/sec (da p.c. a -30 m)}$$

Da cui si evince che il valore ottenuto, corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo C (Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs 30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s).

VALUTAZIONI DELLA RISPOSTA SISMICA DEI TERRENI

PRINCIPI FONDAMENTALI

Nel 2003, l'Ordinanza 3274 del 20/3/03 emanata dal Presidente del Consiglio di Ministri, ripresa e modificata dall'OPCM 3431 del 3/5/05 nell'Allegato 4 indica le Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni iniziando a delineare specifiche caratteristiche di approccio e di analisi alla sismicità del territorio nazionale.

SILGEO Studio geologico di M. Sileo
Via Torun 3/c – 44123 Ferrara

Tel 0532/472702 – 0532/707028 – fax 0532/473579 – mobili 335/314457 – 335/6559327
Email – www.silgeo.it

Relazione geologica e geotecnica con caratterizzazione fisico meccanica dei terreni – Valutazione
sismica di un terreno posto a Ferrara, Via Marconi 47-49
Committente: La Valle Trasporti – Via Marconi 47-49 - Ferrara
Ai fini dell'applicazione delle norme contenute nell' Ordinanza P.C.M. n.3274 del 20/03/2003 e successive modificazioni, il territorio nazionale viene suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g = accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A. I valori di a_g , espressi come valore dell'accelerazione di gravità g, da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

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

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione:

Categoria A: Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, caratterizzati da valori V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 metri

Categoria B: Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s ovvero resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa

Categoria C: Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa)

Categoria D: Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{spt} < 15$, $c_u < 70$ kPa)

Categoria E: Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 metri, giacenti su un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s

In aggiunta a queste categorie, se ne definiscono altre due:

Categoria S1: Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 metri di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 20$ kPa)

Categoria S2: Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Il D.M. 14/01/08, individua l'obbligo dell'utilizzo di metodo di calcolo degli "stati limite". Per "stato limite" si intende la condizione, superata la quale, l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. In base a quanto riportato dalle norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/1/08, la definizione dei parametri sismici deve essere

SILGEO Studio geologico di M. Sileo
Via Torun 3/c – 44123 Ferrara

Tel 0532/472702 – 0532/707028 – fax 0532/473579 – mobili 335/314457 – 335/6559327
Email info@silgeo.it – www.silgeo.it

Relazione geologica e geotecnica con caratterizzazione fisico meccanica dei terreni – Valutazione sismica di un terreno posto a Ferrara, Via Marconi 47-49
 Committente: La Valle Trasporti – Via Marconi 47-49 - Ferrara
 effettuata in funzione delle cordone geografiche del sito e della classe d'uso della costruzione. Inoltre la sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale dell'opera.
 Poiché non si evidenziano fattori significativi predisponenti rischi di liquefazione, si procede con un approfondimento di II livello.

VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

CAPOVERSI E TABELLE DI CUI A "PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI" (da D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni")

Capoverso 2.4.1- Vita nominale: La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

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

Capoverso 2.4.2 - Classi d'uso: In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

- Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o

Relazione geologica e geotecnica con caratterizzazione fisico meccanica dei terreni – Valutazione sismica di un terreno posto a Ferrara, Via Marconi 47-49
 Committente: La Valle Trasporti – Via Marconi 47-49 - Ferrara

B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Capoverso 2.4.3- Periodo di riferimento per l'azione sismica: Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U \quad (2.4.1)$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

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

Per quanto riguarda l'opera in oggetto, si possono definire i seguenti parametri, ampiamente cautelativi:

VITA NOMINALE	V_N	50 anni
CLASSE D'USO		II
COEFFICIENTE D'USO	C_U	1.0
PERIODO DI RIFERIMENTO	V_R	50 anni

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Paragrafo 3.2.2 - Categorie di sottosuolo: Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Relazione geologica e geotecnica con caratterizzazione fisico meccanica dei terreni – Valutazione sismica di un terreno posto a Ferrara, Via Marconi 47-49
Committente: La Valle Trasporti – Via Marconi 47-49 - Ferrara

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.IV):

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

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

Relazione geologica e geotecnica con caratterizzazione fisico meccanica dei terreni – Valutazione sismica di un terreno posto a Ferrara, Via Marconi 47-49
Committente: La Valle Trasporti – Via Marconi 47-49 - Ferrara
Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Per il calcolo delle V_{s30} ci si è avvalsi della prova MASW.. La V_{s30} è risultata pari a 207 m/sec.

Per quanto riguarda l'opera in oggetto, dunque si possono definire i seguenti parametri:

V_s 30 m/sec	$c_{u,20}$ kPa
207	44.0
CATEGORIA C	

Categoria C: Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa)

Caratteristiche superficie topografica: inclinazione media inferiore a 15° **CATEGORIA T1**

ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Come riportato al Capoverso 7.1.1.3 del DM 14/01/2008 :

"il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.".....
"L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata in prima approssimazione con riferimento alle categorie di sottosuolo. Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie e da una forma spettrale ancorata ad essa."

Per la determinazione delle azioni sismiche, risulta necessario definire la pericolosità sismica specifica per il caso in esame; tale elemento viene determinato utilizzando i seguenti parametri caratteristici:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito

F_0 = valore massimo del valore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

I parametri sono stati tutti calcolati, in funzione del periodo di ritorno T_R , mediante l'utilizzo del foglio di calcolo "Spettri di risposta" vers. 1.0.3 fornito dal C.S.LL.PP.

Coordinate sito (gradi decimali): LAT: 44.853566 LONG: 11.599618

In particolare, i valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* (s) per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno stato limite sono riassunti nella seguente tabella:

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0,036	2,548	0,251
SLD	50	0,045	2,511	0,275
SLV	475	0,130	2,596	0,274
SLC	975	0,174	2,556	0,280

L'accelerazione massima attesa al sito a_{max} può essere ricavato dalla relazione :

$$a_{max} = S \ a_g \text{ dove}$$

a_g = accelerazione massima su sito di riferimento rigido (categ. di sottosuolo A)
 S = il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica S_s e dell'amplificazione topografica S_T di cui al Capoverso 3.2.3.2.
Tale parametro risulta utile al fine di caratterizzare i coefficienti sismici orizzontale K_h e verticale K_v , definiti dalle espressioni :

$$K_h = \beta_s \ a_{max} / g$$

$$K_v = \pm 0,5 \ K_h$$

dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione max attesa al sito (ved. tab. 7.11.I)

Tabella 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

g = accelerazione di gravità

Alla luce di quanto sopra indicato, si riporta di seguito una tabella riassuntiva dei parametri K_h e K_v calcolati per i diversi stati limite definiti dalla normativa.

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
S_s	1,5	1,5	1,498	1,433
C_c	1.657	1.607	1.610	1.598
S_t	1,00	1,00	1,00	1,00
β_s	0,20	0,20	0,24	0,24
a_{max}	0,054	0,067	0,194	0,249
K_h	0,010	0,013	0,046	0,060
K_v	0,005	0,007	0,023	0,030

Facendo riferimento all' Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1 della Legge regionale 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio" in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica" – Assemblea legislativa della Regione Emilia Romagna (2 maggio 2007 – prog. 112), Tabella 2, il valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T=0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g , è, in comune di Ferrara, pari a **0.132**.

VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

Le verifiche di sicurezza nel caso di opere geotecniche, in base a quanto indicato al capoverso 6.2.3 del D.M. 14/01/2008, si basano sul metodo degli stati limite utilizzando coefficienti parziali di sicurezza; nello specifico tali verifiche devono essere effettuate relativamente agli Stati Limite Ultimi (SLU) e agli Stati Limite di Esercizio (SLE).

Nel caso delle **verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)**, la condizione che deve essere rispettata risulta essere la seguente:

$$E_d \leq R_d \text{ dove:}$$

E_d : valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

R_d : valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

La verifica della condizione descritta può essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti di sicurezza parziali; tali gruppi sono rispettivamente definiti per le azioni (**A1** e **A2**), per i parametri geotecnici (**M1** e **M2**) e per le resistenze (**R1**, **R2** e **R3**) e sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi (**Approccio 1** e **Approccio 2**).

Nel caso relativo a **opere di materiali sciolti e fronti di scavo** (parag. 6.8), le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite ultimi (cfr. par. 6.4.2.1):

1. **SLU di tipo geotecnico (GEO):**
 - 1.1. collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
 - 1.2. collasso per scorrimento sul piano di posa;

1.3. stabilità globale

2. SLU di tipo strutturale (STR):

2.1. raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali,

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo l' **Approccio 1**:

- Combinazione 2 : (A2+M2+R2)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II del D.M. 14/01/2008 per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tabella 6.8.I sempre relativa al suddetto decreto per le resistenze globali (tabelle riportate di seguito).

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti di fronti di scavo

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I (iportata di seguito), seguendo almeno uno dei due approcci:

Approccio 1 :

- Combinazione 1 : (A1+M1+R1)
- Combinazione 2 : (A2+M2+R2)

Approccio 2 : (A1+M1+R3)

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

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Per quanto riguarda invece le **verifiche nei confronti degli Stati Limite di Esercizio (SLE)**, si devono calcolare i valori degli spostamenti e delle distorsioni per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione e nel rispetto della seguente condizione:

$$E_d \leq C_d \quad \text{dove:}$$

E_d : valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

C_d : valore limite prescritto relativo all'effetto delle azioni.

Per effetto delle azioni trasmesse in fondazione, infatti, i terreni subiscono deformazioni che provocano spostamenti del piano di posa; sulla base della previsione dei cedimenti il Progettista deve esprimere un giudizio sulla loro ammissibilità con riferimento ai limiti imposti dal comportamento statico e dalla funzionalità del manufatto.

VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

Il sito presso il quale è ubicato un manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate (cfr. par 7.11.3.4.1 D.M. 14/1/08)

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo inferiore a 5;

Relazione geologica e geotecnica con caratterizzazione fisico meccanica dei terreni – Valutazione sismica di un terreno posto a Ferrara, Via Marconi 47-49
Committente: La Valle Trasporti – Via Marconi 47-49 - Ferrara

2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni campo libero) minori di 0.1 g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal p.c., per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N)_{60} > 30$, oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa.

Il programma *Fondazio* utilizzato dalla scrivente, permette di calcolare V_s ovvero la velocità media di propagazione entro 20 metri di profondità delle onde di taglio secondo quattro Autori:

- Yoshida Motonori (1988)
- Burrow Stokoe (1983)
- Sycora Stokoe (1983)
- Lyisan (1996)

Si ritiene che per i terreni oggetto di verifica i metodi di calcolo proposti da Lyisan siano quelli che offrono maggiore attendibilità di risultato; pertanto per il calcolo della V_s (dati riportati nella settima colonna della quarta tabella di elaborazione dei risultati delle CPT eseguite, denominata "Parametri geotecnici") si è utilizzata la seguente espressione:

$$V_s = 55,3 qc^{0,377} \quad (\text{Lyisan 1996})$$

il dato viene fornito relativamente ad ogni singola lettura della prova CPT ($h = 0.20$ m)

Secondo la definizione data nell'Eurocodice 8, la *liquefazione* denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Nel contesto considerato, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

In altre parole è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove deve essere realizzata la costruzione.

Le ricerche che hanno portato all'evoluzione delle conoscenze dei parametri più significativi ed alla formulazione di metodi empirici e di analisi dinamica, hanno preso avvio a partire dai terremoti di Niigata dell'Alaska (1964).

Sono emersi così i primi criteri empirici di previsione, basati sulle caratteristiche granulometriche e sullo stato di addensamento; a tali criteri hanno fatto seguito metodi più raffinati e complessi capaci di tenere conto di un numero di parametri sempre più elevato.

Il quadro dei metodi oggi disponibili è quanto mai vario e va da criteri basati su soli dati geologici qualitativi (età del deposito, origine, stratigrafia, profondità della falda, ecc.) a metodi di analisi dinamica molto sofisticati, basati sulla valutazione della pressione

SILGEO Studio geologico di M. Sileo

Via Torun 3/c – 44123 Ferrara

Tel 0532/472702 – 0532/707028 – fax 0532/473579 – mobili 335/314457 – 335/6559327

Email info@silgeo.it – www.silgeo.it

Relazione geologica e geotecnica con caratterizzazione fisico meccanica dei terreni – Valutazione sismica di un terreno posto a Ferrara, Via Marconi 47-49

Committente: La Valle Trasporti – Via Marconi 47-49 - Ferrara

effettiva della risposta sismica locale e su prove di laboratorio molto sofisticate e complesse. Questi metodi si basano sul confronto fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto, ovvero fra gli strati tensionali che producono liquefazione o livelli di deformazione critici e quelli indotti dalle onde sismiche nella loro propagazione.

A tal fine richiedono la precisazione di parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, valutati questi ultimi o con prove dinamiche di laboratorio o con prove in situ.

La loro applicazione richiede quindi:

- la valutazione della resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclici in condizioni non drenate, mediante correlazioni basate su prove in situ ed in laboratorio;
- calcolo delle sollecitazioni di taglio indotte.

Essi sono basati su concetti di rapporto tensionale ciclico (CSR), che esprime il carico sismico, e di rapporto di resistenza ciclica (CRR), che esprime la capacità del terreno di resistere alla liquefazione.

Ove si usi il metodo delle correlazioni di campagna, un terreno deve essere considerato suscettibile alla liquefazione allorché lo sforzo di taglio generato dal terremoto ad una data profondità, supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato la liquefazione alla medesima profondità durante terremoti passati; il livello di sforzo di taglio pari all'80% implica un fattore di sicurezza pari a 1,25.

I terreni sono pertanto da considerarsi liquefacibili nel caso il rapporto tra CSR e CRR sia $< 1,25$.

Va comunque rimarcato che, facendo riferimento all'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1 della Legge regionale 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio" in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica" – Assemblea legislativa della Regione Emilia Romagna (2 maggio 2007 – prog. 112), il fattore di sicurezza F_L viene portato ad 1. Ossia se il fattore $F_L > 1$, la liquefazione è da escludere, mentre se è minore di 1, è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione.

Metodo di Seed-Idriss

Tra i metodi semplificati il più noto è quello di Seed e Idriss (1982), basato su una procedura semi-empirica: esso è di facile applicazione e richiede solo la conoscenza di pochi parametri geotecnici: granulometria, numero dei colpi della prova standard SPT, densità relativa, peso di volume.

Esso prevede un confronto tra le caratteristiche meccaniche dei terreni (valutata prevalentemente sui risultati di prove in situ, quali la prova penetrometrica dinamica SPT, la prova penetrometrica statica CPT, la misura della velocità delle onde di taglio V_s) con l'eventuale occorrenza nel medesimo sito del fenomeno della liquefazione, a seguito di una sollecitazione sismica (stimata attraverso la massima accelerazione attesa in superficie).

Per la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR il metodo prevede l'utilizzo di un abaco nel quale in ordinata è riportato il rapporto tensionale ciclico CSR (carico sismico) ed in ascissa la resistenza del terreno, stimata mediante una delle prove in situ, tipicamente la prova SPT.

SILGEO Studio geologico di M. Sileo

Via Torun 3/c – 44123 Ferrara

Tel 0532/472702 – 0532/707028 – fax 0532/473579 – mobili 335/314457 – 335/6559327

Email info@silgeo.it – www.silgeo.it

Il rapporto tensionale ciclico è definito dalla relazione:

$$CSR = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot rd$$

nella quale:

a_{max} = accelerazione di picco al piano di campagna

g = accelerazione di gravità

σ_v = tensione totale verticale nel sottosuolo

σ'_v = tensione efficace verticale nel sottosuolo

rd = coefficiente riduttivo dell'azione sismica alla profondità di interesse per tenere in conto la deformabilità del sottosuolo.

Nell'ipotesi di propagazione verticale di onde sismiche di taglio la colonna di terreno di altezza z si muove rigidamente in direzione orizzontale. Poiché in realtà la colonna di terreno è deformabile, lo sforzo di taglio è minore che nell'ipotesi di corpo rigido. Seed ed Idriss hanno fornito a tal proposito i valori del coefficiente "rd" in funzione della profondità, in forma grafica.

Le curve limite, per diversi valori della magnitudo M , separano i punti rappresentativi di eventi studiati per i quali si è osservato il fenomeno della liquefazione (sopra le curve limite) da quelli dove la liquefazione non è avvenuta (sotto le curve limite).

Le curve limite rappresentano allora il luogo dei minimi rapporti tensionali ciclici CSR necessari affinché uno strato di terreno vada soggetto a liquefazione: esse rappresentano quindi il luogo dei valori corrispondenti alla resistenza ciclica CRR

Benchè utili per valutazioni di massima, i metodi semplificati offrono indicazioni molto approssimate sulla resistenza dei terreni alla liquefazione. La scoperta dell'incidenza sulla resistenza alla liquefazione dei metodi di ricostituzione dei provini, della loro dimensione e di altri effetti secondari, sta portando però sempre più a privilegiare metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. Tali metodi fanno riferimento agli stati limite ultimi prescindendo dalle deformazioni e sono impiegati generalmente per la progettazione di opere di media importanza.

Il loro impiego si giustifica quindi per la loro facilità di applicazione, ovvero negli ambiti nei quali non sia richiesta una previsione particolarmente accurata.

Per quanto riguarda l'area oggetto di studio non si evidenziano strati significativi a rischio liquefazione.

CALCOLO CAPACITA' PORTANTE

Per il calcolo della capacità portante, è stata utilizzata la formula di Brinch Hansen valida per le fondazioni superficiali. Essa deriva dalla formula di Meyerhof, dalla quale differisce per i valori dei fattori correttivi di forma, di approfondimento, di inclinazione dei carichi e per il fattore di portanza N_y e per l'introduzione di fattori correttivi relativi al caso di fondazione su pendio e di fondazione con base ruotata.

A differenza della formula di Terzaghi, la relazione di Brinch Hansen può essere utilizzata per qualunque tipo di terreno e per profondità di posa sino a $D = 4 \times B$

$$Q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_y \cdot s_y \cdot i_y \cdot b_y \cdot g_y \quad (\text{per } \varphi > 0)$$

$$Q_{lim} = 5,14 \cdot C_u \cdot (1 + s + d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c) + \gamma_1 \cdot D \quad (\text{per } \varphi = 0)$$

In cui:

- Q_{lim} : capacità portante limite del terreno di fondazione (kPa)
- γ_1 : peso di volume medio del terreno sopra il piano di posa (t/mc)
- γ_2 : peso di volume medio del terreno sotto il piano di posa (t/mc)
- D : profondità di posa della fondazione (m)
- B : Larghezza base della fondazione lato corto (m)
- c' : coesione in condizione drenate del terreno (kPa)
- C_u : coesione in condizione non drenate del terreno (kPa)
- N_y, N_c, N_q : fattori di capacità portante funzione dell'angolo di attrito φ' (Vesic, 1975)
- s_y, s_c, s_q : fattori di forma della fondazione
- i_y, i_c, i_q : fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico
- b_y, b_c, b_q : fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base della fondazione
- g_y, g_c, g_q : fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna
- d_c, d_q : fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa

Nel caso delle fondazioni superficiali, le Norme Tecniche per le Costruzioni richiedono di verificare la capacità portante del sistema terreno-fondazione utilizzando gli approcci 1 e 2 (od almeno una di essi).

Nell'approccio 1 devono essere verificate due condizioni di carico, la prima ($A1+M1+R1$) in cui si applicano coefficienti di amplificazione alle sole azioni (permanenti o variabili, strutturali o geotecniche) e la seconda ($A2+M2+M2+R2$) in cui si applicano coefficienti di amplificazione alle azioni strutturali variabili e coefficienti di riduzione ai parametri che esprimono le proprietà meccaniche del terreno.

L'approccio 2 prevede una sola combinazione di carico ($a1+M1+R3$), in cui sono amplificate le azioni e imposto un coefficiente di sicurezza globale γ_R maggiore.

Nell'ambito di ciascun approccio si calcolano in questo modo l'azione di progetto E_d e la resistenza di progetto R_d , che sono già affette dai coefficienti di sicurezza parziali, per cui la verifica impone semplicemente che sia soddisfatta la disuguaglianza $R_d \geq E_d$.

Nel nostro caso, non essendo a conoscenza dei carichi permanenti (strutturali), e dei carichi variabili, definiti favorevoli e sfavorevoli ai fini della verifica di stabilità da eseguire, il calcolo del valore di progetto delle azioni E_d , nei due approcci, è lasciata al progettista/calcolatore dell'opera.

STIMA DEI CEDIMENTI INDOTTI E PRESSIONE AMMISSIBILE

Prefissato lo spessore H_c del banco comprimibile (entro il quale condurre le valutazioni della capacità portante e dei cedimenti), viene condotta la verifica allo schiacciamento dei diversi strati di sottosuolo (spessore 20 cm) nei confronti delle tensioni verticali indotte dal carico agente in superficie e valutate secondo la teoria dell'elasticità (Boussinesq).

Il calcolo dei cedimenti, viene condotto per strati successivi, valutando per ciascuno la tensione verticale ΔP (al centro della superficie del carico), nonché il relativo valore del modulo edometrico M_o , in base all'espressione:

$$\text{cedimento } S = n \sum (h \cdot \sigma_v / M_o)$$

dove:

n = eventuale coeff. Di riduzione ($n \leq 1$) che tiene conto della rigidità strutturale)

h = spessore del generico strato

σ_v = tensione verticale al centro della superficie di carico

Gli spostamenti verticali che le fondazioni subiscono in seguito all'applicazione dei carichi possono non essere compatibili con le deformazioni consentite dalla struttura. Al fine di ovviare a tale inconveniente, si consiglia di adottare un valore di pressione ammissibile (Q_{amm}) tale da provocare abbassamenti accettabili.
 Tale valore può coincidere con il valore di resistenza del progetto R_d , oppure risultare diverso. La pressione ammissibile Q_{amm} è quindi quel valore del carico unitario (inteso come incremento netto di pressione in corrispondenza del piano di posa della fondazione) che determina nel sottosuolo tensioni verticali massime (al centro della superficie di carico) compatibili sia con la resistenza allo schiacciamento ammissibile R_{amm} dei vari strati del banco comprimibile, sia con il cedimento della struttura. Nella scelta della q_{amm} di progetto va opportunamente tenuto conto dei cedimenti totali, considerando l'eventualità dei cedimenti differenziali che possono pregiudicare la statica del fabbricato.
 Lo schema seguente indica i parametri presi in considerazione per il calcolo:

Categoria del terreno	C
Classe d'uso	II
Vita nominale V_n	50 anni
Stato limite considerato	SLV
A_g (g)	0.194
F_0	2.596
T_c	0.274
S_s	1.498
C_{uk}	44 kPa medi sotto la fondazione
Tipo di verifica	Non drenata

Sono state considerate due fondazioni tipo:

Plinto isolato di dimensioni $B = L = 3.00$ metri, impostato a -1.50 metri dal p.c.

Plinto isolato di dimensioni $B = L = 2.50$ metri, impostato a -1.50 metri dal p.c.

Va inoltre considerato che il calcolo risulta teorico, ossia su terreno vergine. In realtà la struttura è presente sul terreno da tempo, dunque è altamente probabile che il cedimento primario si sia ampiamente già attivato.

La tabella seguente indica i valori di R_d trovati per le diverse combinazioni, con i cedimenti relativi:

SINTESI VALORI DI R_d

Ipotesi di fondazione Plinto			APPROCCIO 1		APPROCCIO 2
			Combinazione 1 A1+M1+R1	Combinazione 2 A2+M2+R2	A1+M1+R3
B (m)	L (m)	D (m)	Coeff. $R_1 = 1.00$	Coeff. $R = 1.80$	Coeff. $R_3 = 2.30$
3.00	3.00	-1.50	1.0	0.8	0.9

N.B. la capacità portante è espressa in kg/cmq

SINTESI VALORI DI CEDIMENTO PER I CARICHI R_d

Ipotesi di fondazione Plinto			APPROCCIO 1		APPROCCIO 2
			Combinazione 1 A1+M1+R1	Combinazione 2 A2+M2+R2	A1+M1+R3
B (m)	L (m)	D (m)	Coeff. $R_1 = 1.00$	Coeff. $R = 1.80$	Coeff. $R_3 = 2.30$
3.00	3.00	-1.50	Cpt 1 → 10.69 Cpt 2 → 16.06	Cpt 1 → 8.55 Cpt 2 → 12.85	Cpt 1 → 9.62 Cpt 2 → 14.46

N.B.: il cedimento è espresso in cm.

SINTESI VALORI DI R_d

Ipotesi di fondazione Plinto			APPROCCIO 1		APPROCCIO 2
			Combinazione 1 A1+M1+R1	Combinazione 2 A2+M2+R2	A1+M1+R3
B (m)	L (m)	D (m)	Coeff. $R_1 = 1.00$	Coeff. $R = 1.80$	Coeff. $R_3 = 2.30$
2.50	2.50	-1.50	1.0	0.8	0.9

N.B. la capacità portante è espressa in kg/cmq

SINTESI VALORI DI CEDIMENTO PER I CARICHI R_d

Ipotesi di fondazione Plinto			APPROCCIO 1		APPROCCIO 2
			Combinazione 1 A1+M1+R1	Combinazione 2 A2+M2+R2	A1+M1+R3
B (m)	L (m)	D (m)	Coeff. $R_1 = 1.00$	Coeff. $R = 1.80$	Coeff. $R_3 = 2.30$
2.50	2.50	-1.50	Cpt 1 → 9.64 Cpt 2 → 13.68	Cpt 1 → 7.71 Cpt 2 → 10.94	Cpt 1 → 8.67 Cpt 2 → 12.31

N.B.: il cedimento è espresso in cm.

Nel caso in esame, dunque si considera come carico ammissibile:

$$Q_{amm} = 0.60 \text{ kg/cmq}$$

Per il quale si evidenziano cedimenti puntuali variabili da un minimo di 5.78 a un massimo di 9.64 centimetri. Considerando che il cedimento primario possa essersi già effettuato, tali dati possono essere considerati accettabili secondo la più accreditata letteratura.

NOTE CONCLUSIVE

- Sono state eseguite n. 2 CPT spinte a profondità di – 20 metri dal p.c., nonché una prova MASW. Si evidenzia una buona omogeneità dei terreni di fondazione risultando costituiti da materiale fine argilloso limoso per i primi 13 metri (a meno di un livello a matrice maggiormente sabbiosa nella CPT 1 di spessore di circa 1 metro intorno ai 3 metri dal p.c.). Da oltre 13 metri sino a fondo foro (20 metri) si rileva la presenza di sabbia e sabbia limosa presumibilmente di origine glaciale.
- E' stato misurato il livello statico della falda nei fori di prova il giorno 5 dicembre 2013. La falda si attesta tra –1.80 e – 2.00 metri dal p.c.
- Il Comune di Ferrara risulta attualmente classificato come zona a rischio sismico di terza categoria
- Per quanto riguarda l'opera in oggetto, si possono definire i seguenti parametri:

VITA NOMINALE	V_N	50 anni
CLASSE D'USO		II
COEFFICIENTE D'USO	C_U	1.0
PERIODO DI RIFERIMENTO	V_R	50 anni

V_s 30 m/sec	C_u 20 kPa
207	44.0
CATEGORIA C	

Categoria C: Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < C_u < 250$ kPa)

- Caratteristiche superficie topografica: inclinazione media inferiore a 15°
 - **CATEGORIA T1**
 - Si specifica che per il calcolo del rischio di liquefazione si e' preso in considerazione l'ipotesi di terremoti di magnitudo media pari a 6.14
- Facendo riferimento al D.M. 11/01/08, la tabella seguente riassume i valori relativi ai coefficienti β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione max attesa al sito, a_{max} = accelerazione massima attesa al sito, K_h e K_v = coefficienti sismici orizzontale e verticale:

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
S_s	1,5	1,5	1,498	1,433
C_c	1.657	1.607	1.610	1.598
S_t	1,00	1,00	1,00	1,00
β_s	0,20	0,20	0,24	0,24
a_{max}	0,054	0,067	0.194	0.249
K_h	0,010	0,013	0,046	0,060
K_v	0,005	0,007	0,023	0,030

- Facendo riferimento all' Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1 della Legge regionale 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio" in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica" – Assemblea legislativa della Regione Emilia Romagna (2 maggio 2007 – prog. 112), Tabella 2, il valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T=0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g , è, in comune di Ferrara, pari a **0.132**.
- Per quanto riguarda l'area oggetto di studio, non si evidenziano strati significativi a rischio liquefazione
- Sono state considerate due fondazioni tipo:
Plinto isolato di dimensioni $B = L = 3.00$ metri, impostato a – 1.50 metri dal p.c.
Plinto isolato di dimensioni $B = L = 2.50$ metri, impostato a – 1.50 metri dal p.c.

Va inoltre considerato che il calcolo risulta teorico, ossia su terreno vergine. In realtà la struttura è presente sul terreno da tempo, dunque è altamente probabile che il cedimento primario si sia ampiamente già attivato.

La tabella seguente indica i valori di R_d trovati per le diverse combinazioni, con i cedimenti relativi:

SINTESI VALORI DI R_d

Ipotesi di fondazione Plinto			APPROCCIO 1		APPROCCIO 2
			Combinazione 1 A1+M1+R1	Combinazione 2 A2+M2+R2	A1+M1+R3
B (m)	L (m)	D (m)	Coeff. $R_1 = 1.00$	Coeff. $R = 1.80$	Coeff. $R_3 = 2.30$
3.00	3.00	-1.50	1.0	0.8	0.9

N.B. la capacità portante è espressa in kg/cmq

SINTESI VALORI DI CEDIMENTO PER I CARICHI R_d

Ipotesi di fondazione Plinto			APPROCCIO 1		APPROCCIO 2
			Combinazione 1 A1+M1+R1	Combinazione 2 A2+M2+R2	A1+M1+R3
B (m)	L (m)	D (m)	Coeff. $R_1 = 1.00$	Coeff. $R = 1.80$	Coeff. $R_3 = 2.30$
3.00	3.00	-1.50	Cpt 1 → 10.69 Cpt 2 → 16.06	Cpt 1 → 8.55 Cpt 2 → 12.85	Cpt 1 → 9.62 Cpt 2 → 14.46

N.B.: il cedimento è espresso in cm.

SINTESI VALORI DI R_d

Ipotesi di fondazione Plinto			APPROCCIO 1		APPROCCIO 2
			Combinazione 1 A1+M1+R1	Combinazione 2 A2+M2+R2	A1+M1+R3
B (m)	L (m)	D (m)	Coeff. $R_1 = 1.00$	Coeff. $R = 1.80$	Coeff. $R_3 = 2.30$
2.50	2.50	-1.50	1.0	0.8	0.9

N.B. la capacità portante è espressa in kg/cmq

SINTESI VALORI DI CEDIMENTO PER I CARICHI R_d

Ipotesi di fondazione Plinto			APPROCCIO 1		APPROCCIO 2
			Combinazione 1 A1+M1+R1	Combinazione 2 A2+M2+R2	A1+M1+R3
B (m)	L (m)	D (m)	Coeff. $R_1 = 1.00$	Coeff. $R = 1.80$	Coeff. $R_3 = 2.30$
2.50	2.50	-1.50	Cpt 1 → 8.64 Cpt 2 → 13.68	Cpt 1 → 7.71 Cpt 2 → 10.94	Cpt 1 → 8.67 Cpt 2 → 12.31

N.B.: il cedimento è espresso in cm.

Relazione geologica e geotecnica con caratterizzazione fisico meccanica dei terreni – Valutazione sismica di un terreno posto a Ferrara, Via Marconi 47-49
Committente: La Valle Trasporti – Via Marconi 47-49 - Ferrara

Nel caso in esame, dunque si considera come carico ammissibile:

$$Q. \text{ amm.} = 0.60 \text{ kg/cm}^2$$

Per il quale si evidenziano cedimenti puntuali variabili da un minimo di 5.78 a un massimo di 9,64 centimetri. Considerando che il cedimento primario possa essersi già effettuato, tali dati possono essere considerati accettabili secondo la più accreditata letteratura.

Ferrara, Dicembre 2013

Dr. Geol. Marianonietta Sileo

Allegati:

1. Carta ubicazione CPT
2. Tabulati prove CPT



SILGEO Studio geologico di M. Sileo
Via Torun 3/c – 44123 Ferrara

Tel 0532/472702 – 0532/707028 – fax 0532/473579 – mobili 335/314457 – 335/6559327
Email – www.silgeo.it

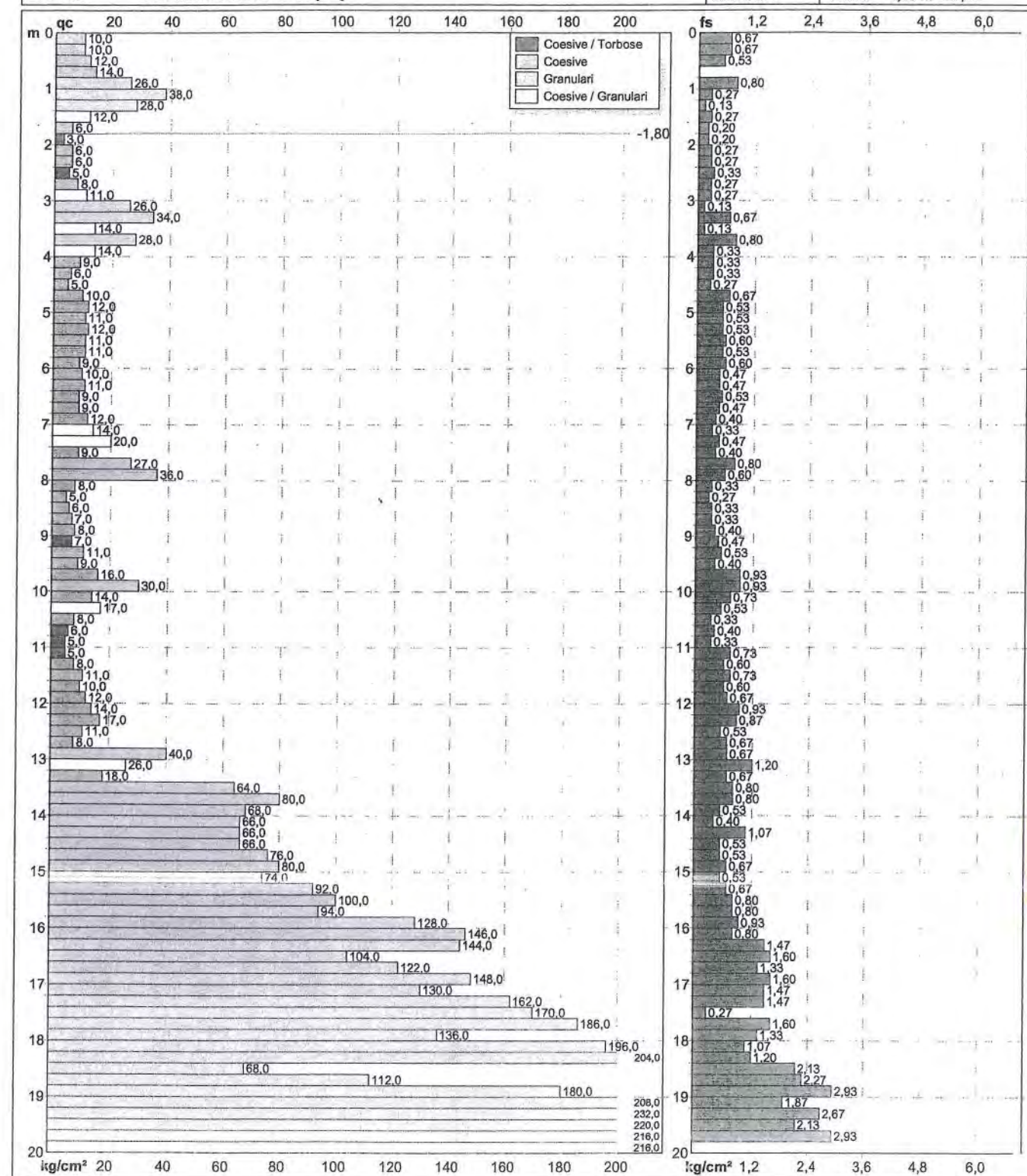
SILGEO Studio Geologico - Via Torun 3/c - 44123 Ferrara
Tel 0532/472702 - 0532/707028 - fax 0532/473579 - mobili 335/314457 - 335/6559327
e mail info@silgeo.it - www.silgeo.it

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT 1
riferimento 050-2013

Committente: La Valle Trasporti S.r.l. - Ferrara
Cantiere: Via Marconi 47-49
Località: FERRARA FERRARA (FE)

U.M.: kg/cm² Data esec.: 05/12/2013
Scala: 1:100
Pagina: 1 Quota inizio: Piano Campagna
Elaborato: Falda: -1,80 m da p.c.



Penetrometro: SP200
Responsabile: Dr. Z. Rezaeyan
Assistente:

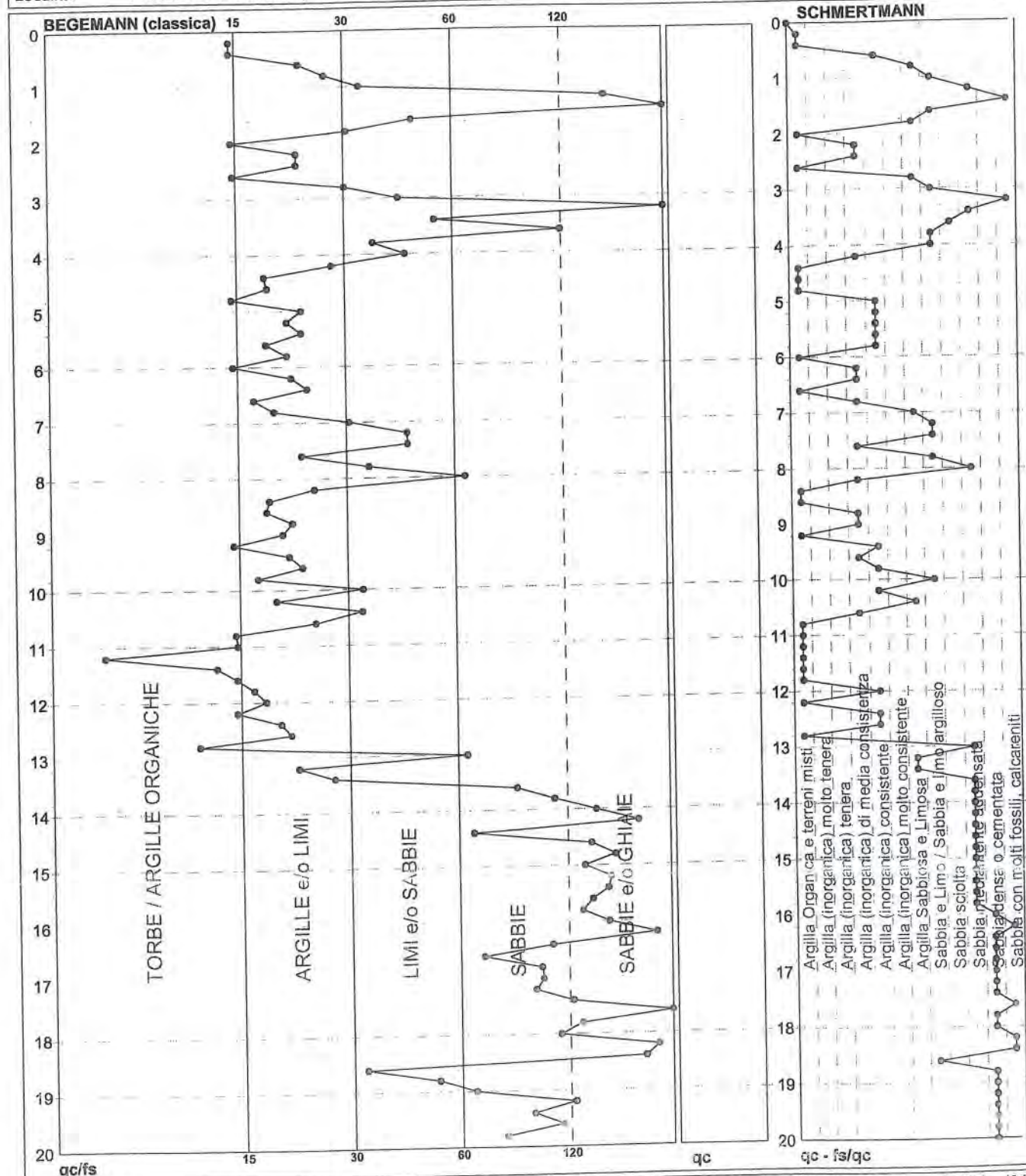
Preforo: m
Corr.astine: kg/ml
Cod.ISTAT: 038008
Cod. punta:

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT
riferimento
1
050-2013

Committente: La Valle Trasporti S.r.l. - Ferrara
Cantiere: Via Marconi 47-49
Località: FERRARA FERRARA (FE)

U.M.: kg/cm² Data esec.: 05/12/2013
Scala: 1:100
Pagina: 1
Elaborato: Falda: -1,80 m da p.c.



Torbe / Argille org.:	11 punti, 11,11%	Argilla Organica e terreni misti:	20 punti, 20,20%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	10 punti, 10,10%
Argille e/o Limi:	40 punti, 40,40%	Argilla (inorganica) media consist.:	12 punti, 12,12%	Sabbia sciolti:	1 punto, 1,01%
Limi e/o Sabbie:	15 punti, 15,15%	Argilla (inorganica) consistente:	12 punti, 12,12%	Sabbia mediamente addensata:	16 punti, 16,16%
Sabbie:	19 punti, 19,19%			Sabbia densa o cementata:	15 punti, 15,15%
Sabbie e/o Ghiaie:	15 punti, 15,15%			Sabbia con molti fossili, calcareniti:	6 punti, 6,06%

FON013

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT
riferimento
1
050-2013

Committente: La Valle Trasporti S.r.l. - Ferrara
Cantiere: Via Marconi 47-49
Località: FERRARA FERRARA (FE)

U.M.: kg/cm² Data esec.: 05/12/2013
Pagina: 1
Elaborato: Falda: -1,80 m da p.c.

NATURA COESIVA												NATURA GRANULARE												
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m ³	σ'_{vo} U.M.	Vs m/s	Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FL1	FL2	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	
0,20	10,0	14,9		1,85	0,04	132	0,50		85,0	127,5	40,0													
0,40	10,0	14,9		1,85	0,07	132	0,50		85,0	127,5	40,0													
0,60	12,0	22,6		1,85	0,11	141	0,57		97,1	145,7	44,6													
0,80	14,0			1,85	0,15	150						51	37	32	29	28	37	26				23,3	35,0	42,0
1,00	26,0	32,5		1,85	0,19	189						67	39	34	32	29	39	28				43,3	65,0	78,0
1,20	38,0	140,7		1,85	0,22	218						75	40	35	33	30	39	30				63,3	95,0	114,0
1,40	28,0	215,4		1,85	0,26	194						61	39	33	30	28	37	28				46,7	70,0	84,0
1,60	12,0	44,4		1,85	0,30	141	0,57		97,1	145,7	44,6	29	35	28	25	24	32	26				20,0	30,0	36,0
1,80	6,0	30,0		0,82	0,31	109	0,30		82,8	124,2	28,8	4	32	24	21	20	28	26				10,0	15,0	18,0
2,00	3,0	15,0		0,46	0,32	84	0,15		16,9	25,4	4,5													
2,20	6,0	22,2		0,82	0,34	109	0,30		91,9	137,9	28,8													
2,40	6,0	22,2		0,82	0,35	109	0,30		97,5	146,2	28,8													
2,60	5,0	15,2		0,80	0,37	101	0,25		104,1	156,2	25,0													
2,80	8,0	29,6		0,86	0,39	121	0,40		99,7	149,6	35,2													
3,00	11,0	40,7		0,87	0,40	137	0,54		96,0	143,9	42,5	18	33	26	23	22	30	26	0,94	1,41	18,3	27,5	33,0	
3,20	26,0	200,0		0,87	0,42	189						47	37	30	27	26	34	28	1,18	1,82	43,3	65,0	78,0	
3,40	34,0	50,7		0,89	0,44	209						55	38	31	28	27	36	29	1,29	1,98	56,7	85,0	102,0	
3,60	14,0	107,7		0,89	0,46	150	0,64		109,8	164,7	48,2	23	34	27	24	22	30	26	0,91	1,37	23,3	35,0	42,0	
3,80	28,0	35,0		0,87	0,48	194						46	37	30	27	25	34	28	1,10	1,71	46,7	70,0	84,0	
4,00	14,0	42,4		0,89	0,49	150	0,64		116,8	175,1	48,2	22	34	26	23	22	30	26	0,87	1,31	23,3	35,0	42,0	
4,20	9,0	27,3		0,88	0,51	127	0,45		139,1	208,6	37,8													
4,40	6,0	18,2		0,82	0,53	109	0,30		145,4	218,1	28,8													
4,60	5,0	18,5		0,80	0,54	101	0,25		134,4	201,6	25,0													
4,80	10,0	14,9		0,90	0,56	132	0,50		152,3	228,5	40,0													
5,00	12,0	22,6		0,92	0,58	141	0,57		151,9	227,8	44,6													
5,20	11,0	20,8		0,91	0,60	137	0,54		161,9	242,9	42,5													
5,40	12,0	22,6		0,92	0,62	141	0,57		165,2	247,8	44,6													
5,60	11,0	18,3		0,91	0,63	137	0,54		174,4	261,6	42,5													
5,80	11,0	20,8		0,91	0,65	137	0,54		180,4	270,6	42,5													
6,00	9,0	15,0		0,88	0,67	127	0,45		188,5	282,7	37,8													
6,20	10,0	21,3		0,90	0,69	132	0,50		192,1	288,1	40,0													
6,40	11,0	23,4		0,91	0,71	137	0,54		197,0	295,4	42,5													
6,60	9,0	17,0		0,88	0,72	127	0,45		203,8	305,8	37,8													
6,80	9,0	19,1		0,88	0,74	127	0,45		206,1	312,1	37,8													
7,00	12,0	30,0		0,88	0,76	141	0,57		211,8	317,6	44,6	6	32	23	20	19	27	26	0,69	1,05	20,0	30,0	36,0	
7,20	14,0	42,4		0,89	0,78	150	0,64		214,9	322,3	48,2	11	33	24	21	20	27	26	0,71	1,07	23,3	35,0	42,0	
7,40	20,0	42,6		0,93	0,79	171	0,80		206,8	310,1	60,0	22	34	26	23	21	29	27	0,77	1,16	33,3	50,0	60,0	
7,60	9,0	22,5		0,88	0,81	127	0,45		222,0	333,0	37,8													
7,80	27,0	33,8		0,87	0,83	192						32	35	27	24	22	31	28	0,83	1,25	45,0	67,5	81,0	
8,00	36,0	60,0		0,89	0,85	214						41	36	28	25	24	32	30	0,91	1,38	60,0	90,0	108,0	
8,20	8,0	24,2		0,86	0,86	121	0,40		214,7	322,1	35,2													
8,40	5,0	18,5		0,80	0,88	101	0,25		147,7	221,5	25,0													
8,60	6,0	18,2		0,82	0,90	109	0,30		173,8	260,7	28,8													
8,80	7,0	21,2		0,84	0,91	115	0,35		198,0	297,0	32,2													
9,00	8,0	20,0		0,86	0,93	121	0,40		219,9	329,9	35,2													
9,20	7,0	14,9		0,46	0,94	115	0,35		42,9	64,3	10,5													
9,40	11,0	20,8		0,91	0,96	137	0,54		263,0	394,5	42,5													
9,60	9,0	22,5		0,88	0,98	127	0,45		241,9	362,8	37,8													
9,80	16,0	17,2		0,96	1,00	157	0,70		277,6	416,4	51,8													
10,00	30,0	32,3		0,88	1,01	199			290,3	435,5	48,2	30	35	27	23	22	30	29	0,81	1,22	50,0	75,0	90,0	
10,20	14,0	19,2		0,94	1,03	150	0,64		293,8	440,7	54,1	10	32	24	20	19	27	27	0,69	1,05	28,3	42,5	51,0	
10,40	17,0	32,1		0,91	1,05	161	0,72		227,2	340,9	35,2													
10,60	8,0	24,2		0,86	1,07	121	0,40		38,5	57,7	9,0													
10,80	6,0	15,0		0,46	1,08	109	0,30		150,0	225,0	25,0													
11,00	5,0	15,2		0,80	1,09	101	0,25		32,5	48,8	7,5													
11,20	5,0	6,8		0,46	1,10	101	0,25		229,3	343,9	35,2													
11,40	8,0	13,3		0,86	1,12	121	0,40		285,9	428,9	42,5													
11,60	11,0	15,1		0,91	1,14	137	0,54		274,2	411,4	40,0													
11,80	10,0	16,7		0,90	1,15	132	0,50		300,7	451,1	44,6													
12,00	12,0	17,9		0,92	1,17	141	0,57		320,6	481,0	48,2													
12,20	14,0	15,1		0,94	1,19	150	0,64		338,9	508,3	54,1													
12,40	17,0	19,5		0,97	1,21	161	0,72		293,8	440,4	42,5													
12,60	11,0	20,8		0,91	1,23	137	0,54		233,1	349,6	35,2													
12,80	8,0	11,9		0,86	1,25	121	0,40					35	35	27	24	22	31	30	0,90	1,36	66,7	100,0	120,0	
13,00	40,0	59,7		0,90	1,26	222			358,5	537,8	78,0	20	34	25	21	20	28	28	0,78	1,18	43,3	65,0	78,0	
13,20	26,0	21,7		0,95	1,28	189	0,93				56,2													
13,40	19,0	26,9		0,98	1,30	164	0,75		361,0	541,5	56,2													
13,60	64,0	80,0		0,94	1,32	266						50	37	29	26	24	33	32	1,08	1,67	106,7	160,0	192,0	
13,80	80,0	100,0		0,97	1,34	289						57	38	30	27	25	34	33	1,28	1,89	133,3	200,0	240,0	
14,00	68,0	128,3		0,95	1,36	271						51	37	29	26	25	33	32	1,13	1,72	113,3	170,0	204,0	
14,20	66,0	165,0		0,94	1,38	268																		

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT

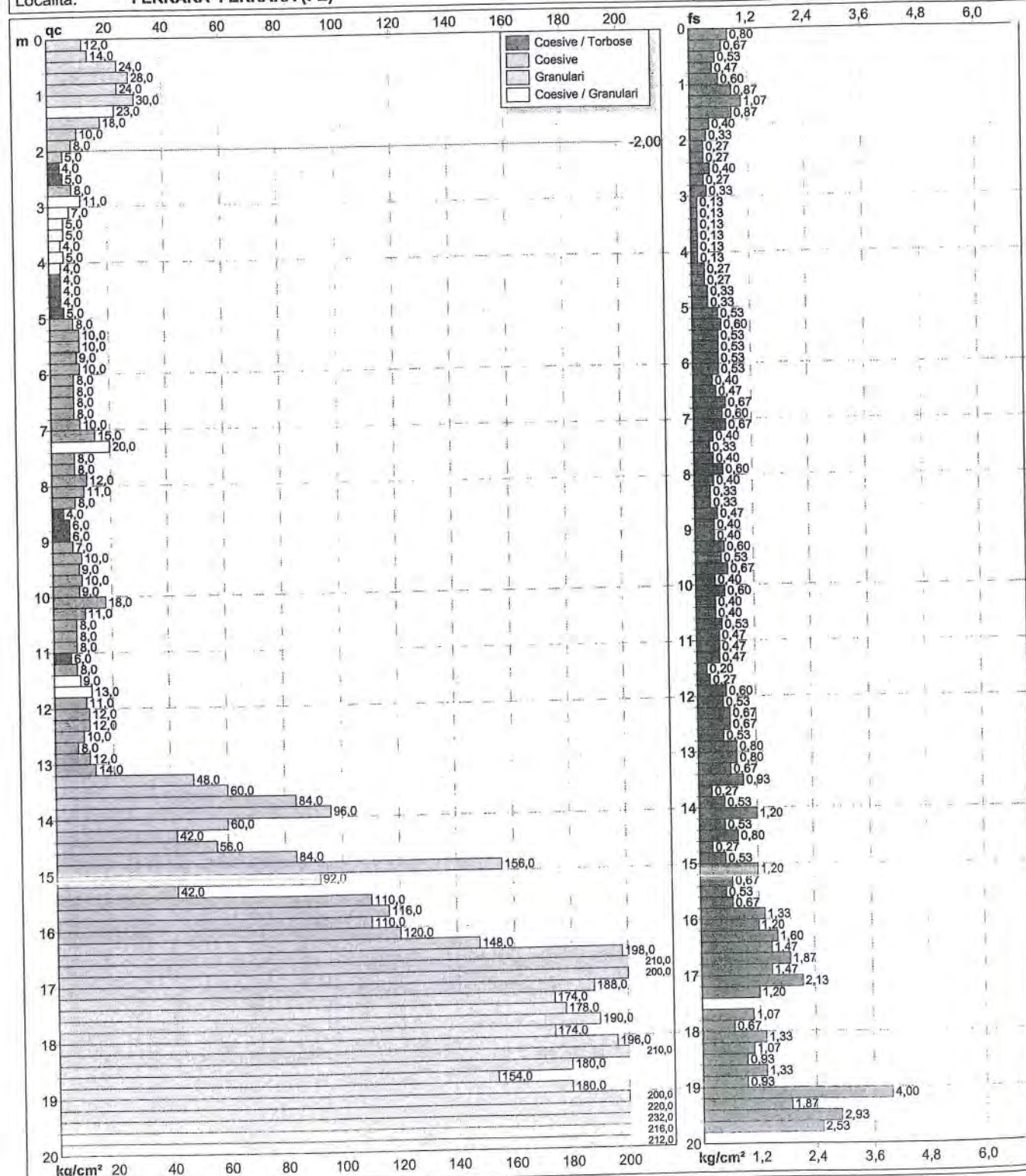
2

riferimento

050-2013

Committente: La Valle Trasporti S.r.l. - Ferrara
Cantiere: Via Marconi 47-49
Località: FERRARA FERRARA (FE)

U.M.: kg/cm² Data eseg.: 05/12/2013
Scala: 1:100
Pagina: 1 Quota inizio: Piano Campagna
Elaborato: Falda: -2,00 m da p.c.



Penetrometro: SP200
Responsabile: Dr. Z. Rezaeyan
Assistente:

Preforo: m
Corr.astine: kg/ml
Cod. ISTAT: 038008
Cod. punta:

FON013

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

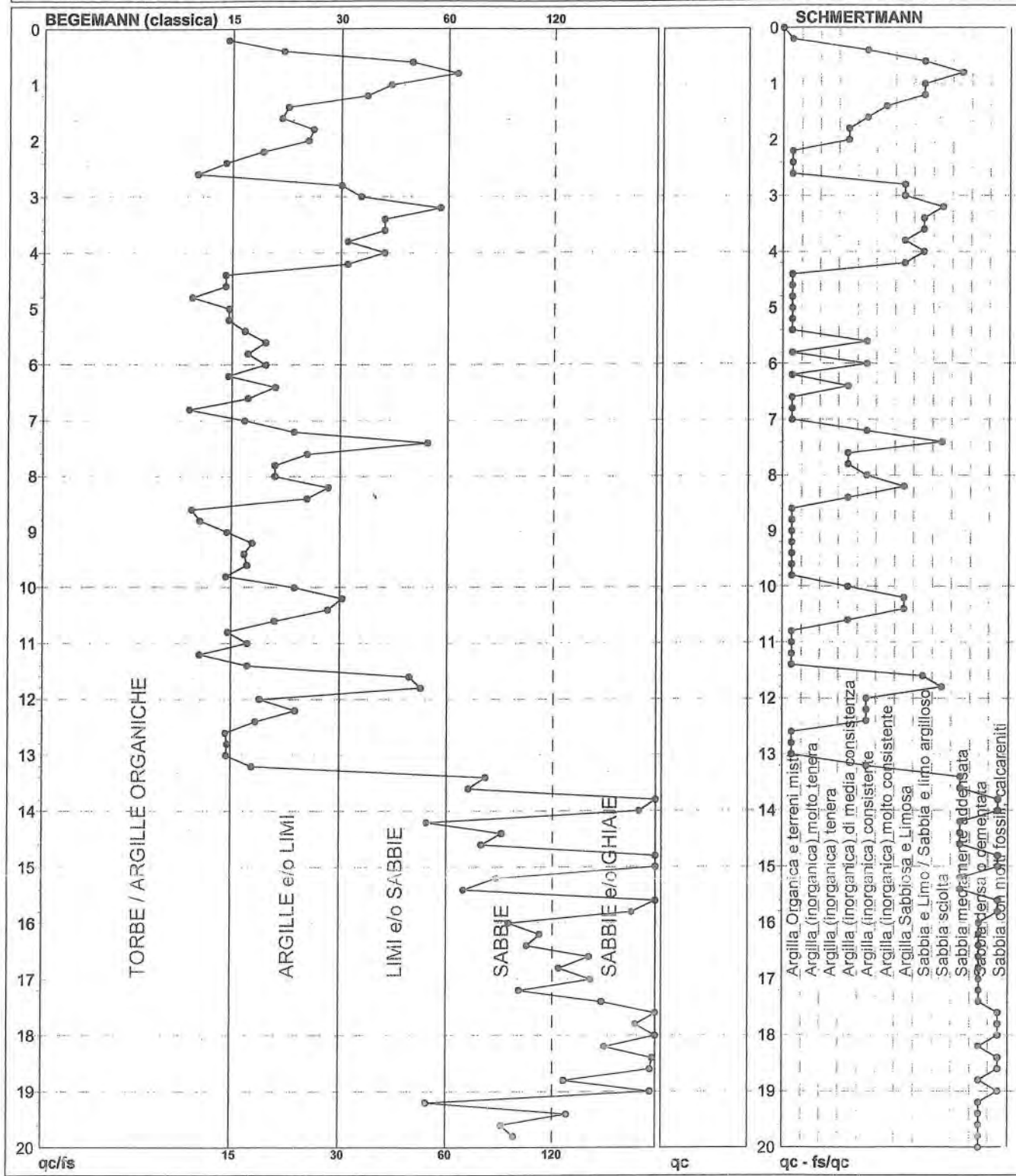
2

riferimento

050-2013

Committente: La Valle Trasporti S.r.l. - Ferrara
Cantiere: Via Marconi 47-49
Località: FERRARA FERRARA (FE)

U.M.: kg/cm² Data eseg.: 05/12/2013
Scala: 1:100
Pagina: 1 Falda: -2,00 m da p.c.



Torbe / Argille org.:	15 punti, 15,15%	Argilla Organica e terreni misti:	29 punti, 29,29%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	7 punti, 7,07%
Argille e/o Limi:	38 punti, 38,38%	Argilla (inorganica) media consist.:	8 punti, 8,08%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	7 punti, 7,07%
Limi e/o Sabbie:	16 punti, 16,16%	Argilla (inorganica) consistente:	10 punti, 10,10%	Sabbia sciolta:	3 punti, 3,03%
Sabbie:	15 punti, 15,15%	Argilla (inorganica) molto consist.:	1 punto, 1,01%	Sabbia mediamente addensata:	8 punti, 8,08%
Sabbie e/o Ghiaie:	16 punti, 16,16%			Sabbia densa o cementata:	14 punti, 14,14%
				Sabbia con molti fossili, calcareniti:	12 punti, 12,12%

FON013

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT

2

referimento

050-2013

Committente: La Valle Trasporti S.r.l. - Ferrara

Cantiere: Via Marconi 47-49

Località: FERRARA FERRARA (FE)

U.M.: kg/cm²

Data esec.: 05/12/2013

Pagina: 1

Elaborato:

Falda: -2,00 m da p.c.

NATURA COESIVA												NATURA GRANULARE												
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' U/M ³	σ'_{Vo} U.M.	Vs m/s	Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FL1	FL2	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.	
0,20	12,0	15,0		1,85	0,04	141	0,57		97,1	145,7	44,6													
0,40	14,0	20,9		1,85	0,07	150	0,64		108,2	162,3	48,2													
0,60	24,0	45,3		1,85	0,11	183						77	40	36	34	31	40	28			40,0	60,0	72,0	
0,80	28,0	59,6		1,85	0,15	194						75	40	36	33	31	40	28			46,7	70,0	84,0	
1,00	24,0	40,0		1,85	0,19	183						64	39	34	31	29	38	28			40,0	60,0	72,0	
1,20	30,0	34,5		1,85	0,22	199						67	39	34	31	29	38	29			50,0	75,0	90,0	
1,40	23,0	21,5		1,85	0,26	180	0,87		147,5	221,3	69,0	54	38	32	29	27	36	28			38,3	57,5	69,0	
1,60	18,0	20,7		1,85	0,30	164	0,75		127,5	191,3	56,2													
1,80	10,0	25,0		1,85	0,33	132	0,50		85,0	127,5	40,0													
2,00	8,0	24,2		0,86	0,35	121	0,40		86,1	129,1	35,2													
2,20	5,0	18,5		0,80	0,37	101	0,25		102,7	154,1	25,0													
2,40	4,0	14,8		0,46	0,38	93	0,20		20,7	31,0	6,0													
2,60	5,0	12,5		0,46	0,38	101	0,25		20,3	30,4	7,5													
2,80	8,0	29,6		0,86	0,40	121	0,40		105,0	157,5	35,2													
3,00	11,0	33,3		0,87	0,42	137	0,54		99,4	149,1	42,5	17	33	26	23	21	30	26	0,97	1,47	18,3	27,5	33,0	
3,20	7,0	53,8		0,83	0,44	115	0,35		121,0	181,5	32,2	1	31	24	20	19	27	28	0,86	1,31	11,7	17,5	21,0	
3,40	5,0	38,5		0,81	0,45	101	0,25		123,4	185,1	25,0		31	22	18	17	25	25	0,80	1,24	8,3	12,5	15,0	
3,60	5,0	38,5		0,81	0,47	101	0,25		125,9	188,9	25,0		31	22	18	17	25	25	0,78	1,21	8,3	12,5	15,0	
3,80	4,0	30,8		0,80	0,48	93	0,20		111,1	166,7	20,0		31	20	17	16	25	25	0,74	1,16	6,7	10,0	12,0	
4,00	5,0	38,5		0,81	0,50	101	0,25		130,1	195,2	25,0		31	21	18	17	25	25	0,74	1,15	8,3	12,5	15,0	
4,20	4,0	30,8		0,80	0,52	93	0,20		112,8	169,2	20,0		31	20	16	16	25	25	0,71	1,12	6,7	10,0	12,0	
4,40	4,0	14,8		0,46	0,53	93	0,20		24,3	36,5	6,0													
4,60	4,0	14,8		0,46	0,53	93	0,20		24,5	36,7	6,0													
4,80	4,0	12,1		0,46	0,54	93	0,20		24,6	36,8	6,0													
5,00	5,0	15,2		0,80	0,56	101	0,25		135,8	203,7	25,0													
5,20	8,0	15,1		0,86	0,58	121	0,40		161,1	241,7	35,2													
5,40	10,0	16,7		0,90	0,59	132	0,50		163,9	245,8	40,0													
5,60	10,0	18,9		0,90	0,61	132	0,50		169,7	254,6	40,0													
5,80	9,0	17,0		0,88	0,63	127	0,45		176,0	264,0	37,8													
6,00	10,0	18,9		0,90	0,65	132	0,50		180,7	271,1	40,0													
6,20	8,0	15,1		0,86	0,67	121	0,40		186,5	279,7	35,2													
6,40	8,0	20,0		0,86	0,68	121	0,40		190,1	285,1	35,2													
6,60	8,0	17,0		0,86	0,70	121	0,40		193,4	290,1	35,2													
6,80	8,0	11,9		0,86	0,72	121	0,40		196,5	294,7	35,2													
7,00	10,0	16,7		0,90	0,74	132	0,50		206,4	309,6	40,0													
7,20	15,0	22,4		0,95	0,75	154	0,67		205,3	308,0	49,5													
7,40	20,0	50,0		0,93	0,77	171	0,80		198,5	297,8	60,0	23	34	26	23	21	29	27	0,77	1,16	33,3	50,0	60,0	
7,60	8,0	24,2		0,86	0,79	121	0,40		207,0	310,4	35,2													
7,80	8,0	20,0		0,86	0,81	121	0,40		209,0	313,5	35,2													
8,00	12,0	20,0		0,92	0,83	141	0,57		230,7	346,1	44,6													
8,20	11,0	27,5		0,91	0,84	137	0,54		238,1	357,2	42,5													
8,40	8,0	24,2		0,86	0,86	121	0,40		214,4	321,6	35,2													
8,60	4,0	12,1		0,46	0,87	93	0,20		26,0	39,0	6,0													
8,80	6,0	12,8		0,46	0,88	109	0,30		37,4	56,2	9,0													
9,00	6,0	15,0		0,46	0,89	109	0,30		37,5	56,3	9,0													
9,20	7,0	17,5		0,84	0,91	115	0,35		197,6	296,3	32,2													
9,40	10,0	16,7		0,90	0,92	132	0,50		249,9	374,9	40,0													
9,60	9,0	17,0		0,88	0,94	127	0,45		238,6	357,9	37,8													
9,80	10,0	14,9		0,90	0,96	132	0,50		255,1	382,6	40,0													
10,00	9,0	22,5		0,88	0,98	127	0,45		241,9	362,8	37,8													
10,20	18,0	30,0		0,91	0,99	164	0,75		277,6	416,6	56,2	13	33	24	21	20	27	27	0,70	1,06	30,0	45,0	54,0	
10,40	11,0	27,5		0,91	1,01	137	0,54		271,5	407,3	42,5													
10,60	8,0	20,0		0,86	1,03	121	0,40		225,6	338,4	35,2													
10,80	8,0	15,1		0,86	1,05	121	0,40		226,4	339,6	35,2													
11,00	8,0	17,0		0,86	1,06	121	0,40		227,1	340,7	35,2													
11,20	6,0	12,8		0,46	1,07	109	0,30		38,5	57,7	9,0													
11,40	8,0	17,0		0,86	1,09	121	0,40		228,2	342,3	35,2													
11,60	9,0	45,0		0,85	1,11	127	0,45		251,1	376,7	37,8		31	20	17	16	25	26	0,83	0,97	15,0	22,5	27,0	
11,80	13,0	48,1		0,88	1,13	145	0,60		303,6	455,4	46,5		31	22	19	18	25	26	0,66	1,01	21,7	32,5	39,0	
12,00	11,0	18,3		0,91	1,14	137	0,54		286,6	429,9	42,5													
12,20	12,0	22,6		0,92	1,16	141	0,57		299,6	449,3	44,6													
12,40	12,0	17,9		0,92	1,18	141	0,57		301,5	452,3	44,6													
12,60	10,0	14,9		0,90	1,20	132	0,50		277,1	415,7	40,0													
12,80	8,0	15,1		0,86	1,22	121	0,40		232,3	348,4	35,2													
13,00	12,0	15,0		0,92	1,23	141	0,57		306,7	460,0	44,6					</								



Dr. Geol.
**Emanuele
Stevanin**

Piazza del Popolo, 13 int. 5
44034 Copparo (Ferrara)
tel. 0039 0532 860546
fax 0039 0532 385035
e.stevanin@synthesisrl.com
e.stevanin@epap.sicurezza postale.it

**REGIONE EMILIA ROMAGNA
PROVINCIA DI FERRARA**



**Comune di Ferrara
Piazza Municipale civ. 2
Ferrara**

**VARIANTE AL POC ADOTTATA CON DELIBERA CONSILIARE PG 37005/2015
INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DELLA DGR 2193/2015**

COMPARTO POC 9ASPCN01

Tecnico incaricato

Dr. Geol. Emanuele Stevanin

Collaboratrice

Dr.ssa Geol. Emma Biondani



Località

Ferrara – Via Marconi

Data

09 settembre 2016

Rif. 098/16-ES-Rev01

INDICE

1. PREMESSA	2
2. INTEGRAZIONI AI SENSI DELLA DGR 2193/2015	2
2.1. Note introduttive e campagna di indagini	2
2.1.1. PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA E PIEZOCONO	2
2.2. Campagna geognostica - Risultati	4
2.2.1. ELABORAZIONE CPTU: CARATTERI LITOLOGICI	4
2.2.1.1 Elaborazione CPTU: modalità di valutazione	4
2.2.1.2. Elaborazione SCPTU: definizione delle unità litotecniche	6
2.3. Aspetti sismici di dettaglio	8
2.3.1. CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO	8
2.3.1.1. Misura della velocità delle onde Vs	9
2.3.2. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	11
2.3.3. PARAMETRI SISMICI DEFINITI IN BASE ALLE “NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2008 (DM 14/01/2008)”	11
2.3.4. VERIFICA DELLE SOLLECITAZIONI SISMICHE SUI TERRENI INCOERENTI	13
2.3.4.1. Fattori scatenanti: Definizione della Magnitudo attesa del sisma	14
2.3.4.2. Fattori scatenanti: Definizione dell’accelerazione sismica orizzontale	14
2.3.4.3. Fattori predisponenti: Profondità della falda	19
2.3.4.4. Fattori predisponenti: Resistenza mobilitabile dal terreno	19
2.3.4.5. Fattori predisponenti: Composizione granulometrica	19
2.3.5. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE PER IL CASO SPECIFICO	22
2.3.6. STIMA DEI CEDIMENTI INDOTTI DALL’AZIONE SISMICA NEI TERRENI GRANULARI SATURI	28
2.3.7. STIMA DEI CEDIMENTI INDOTTI DALL’AZIONE SISMICA NEI TERRENI GRANULARI NON SATURI	28
2.3.8. STIMA DEI CEDIMENTI INDOTTI DALL’AZIONE SISMICA NEI TERRENI COESIVI SOFFICI	28
3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	30

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesissrl.com	COMUNE DI FERRARA VARIANTE AL POC ADOTTATA CON DELIBERA CONSILIARE PG 37005/2015 INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DELLA DGR 2193/2015 COMPARTO POC 9ASPCN01	RIF. 098/16-ES-REV01 DEL 09/09/2016 P109/16-ES-REV00 DEL 05/07/2016
--	---	---	--

1. PREMESSA

Su incarico del **Comune di Ferrara**, con sede in Ferrara Piazza Municipale civ. 2, è stato effettuato il presente studio integrativo, relativo ad un'area sita in Ferrara - via Marconi, compresa fra il canale Cittadino e la Via Michellini.

Rif. amministrativo: Adozione di Variante al 1° POC – artt. 20 e 34 comma 2 lett. b L.R. 20/2000 – Richiesta integrazioni.

Descrizione attività: integrazione della relazione geologica allegata alla delibera consiliare PG 37005/2016 e relativa all'area comunale di Via Marconi, al fine di adeguarla alla direttiva DGR 2193/2015, previa esecuzione di apposita e adeguata prova CPTU.

Comparto POC 9ASPCN01

2. INTEGRAZIONI AI SENSI DELLA DGR 2193/2015

2.1. Note introduttive e campagna di indagini

Le presenti integrazioni sono principalmente finalizzate a determinare la suscettibilità alla liquefazione dei terreni presenti in sito, applicando le procedure indicate nella direttiva DGR 2193/2015. Per acquisire le informazioni necessarie allo scopo, in data 25 luglio 2016 è stata effettuata una prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono, spinta a mt 20.00 dal piano campagna.

2.1.1. PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA E PIEZOCONO

Numero di indagini eseguite: 1.

In base alla circolare 2 Febbraio 2009, N. 617 – C.S.LL.PP., C6.2.2, le indagini geognostiche devono garantire una adeguata caratterizzazione geotecnica del volume significativo del terreno, definita come *“la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione dell’opera e che influenza l’opera stessa”*. A tal proposito, in funzione degli scopi del presente lavoro e delle informazioni disponibili, sono stati definiti il numero e le profondità d’indagine.

Profondità d’indagine: CPTU1 - mt 20.00 da piano campagna.

In base alla conoscenza della zona da parte dello scrivente e in relazione all’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, allegato 4, cap. 2.3, la profondità della prova è stata programmata al fine di verificare l’eventuale presenza di strati spessi di sabbia potenzialmente liquefacibile. Nello specifico, per manufatti con fondazioni superficiali, se fosse presente terreno sabbioso saturo a profondità superiori a mt 15.00/20.00 dal piano campagna, si potrebbe omettere la verifica della suscettibilità a liquefazione, in quanto il carico litostatico costituisce un fattore contrastante rispetto all’innescio di tale fenomeno. *La liquefazione è un fenomeno che si verifica in formazioni sabbiose sature d’acqua, con superfici di falda entro pochissimi metri dalla superficie. Molto difficilmente essa arriva ad interessare strati che si trovino a profondità maggiori di mt 15-20 (“La liquefazione del terreno in condizioni sismiche”, da Crespellani, Nardi, Simoncini, 1988). Questa profondità corrisponde, in campo libero, a una pressione litostatica totale intorno a 0.3 – 0.4 Mpa. È molto difficile che un evento sismico riesca a produrre variazioni di pressione interstiziale Δu superiori a questo valore (“La liquefazione dei terreni” – Teoria, normativa e procedura di calcolo, Di Bernardo, 2011).*

Ditta incaricata per l'esecuzione della prova penetrometrica: Elletipi s.r.l. - Via Annibale Zucchini civ. 69 – Ferrara.

Supporti cartografici e grafici:

- Immagine 2.1-1. Foto da satellite - ubicazione indagine
- Immagine 2.1-2. Foto fase di esecuzione CPTU



Immagine 2.1-1
Foto da satellite
Ubicazione indagine



Immagine 2.1-2

Foto fase di esecuzione CPTU

2.2. Campagna geognostica - Risultati

Come accennato, al fine di acquisire dati specifici del sito, è stata effettuata una prova penetrometrica statica con piezocono spinta a mt 20.00 dal piano campagna.

2.2.1. ELABORAZIONE CPTU: CARATTERI LITOLOGICI

2.2.1.1 Elaborazione CPTU: modalità di valutazione

Per il riconoscimento della successione litostratigrafica, è stato utilizzato il metodo di Robertson 1986, tramite applicazione di un pacchetto software Geostru. Tale metodo è uno dei consigliati per le elaborazioni delle CPTU nelle zone in cui ci si è trovati ad operare.

Si riporta di seguito il grafico del tipo di comportamento di terreno (SBT) utilizzato dal metodo di Robertson 1986. Esso utilizza 12 classi di tipo di suolo, a differenza del metodo Robertson 1990 che ne utilizza 9. Inoltre il metodo è basato sulla resistenza alla punta q_c ed il rapporto di attrito R_f , mentre i grafici più recenti sono sviluppati sulla base di parametri normalizzati.

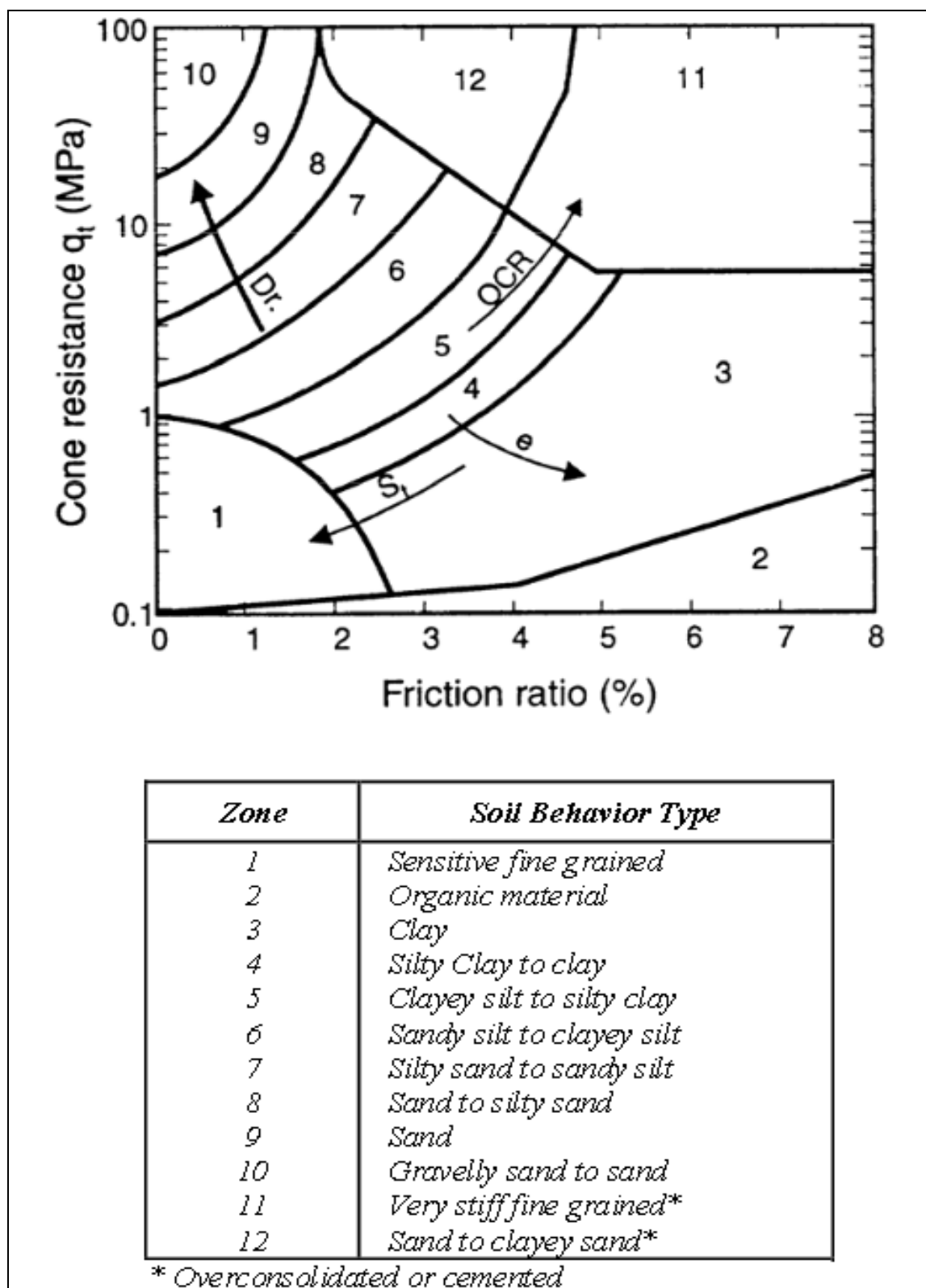


Figura 2.2.1.1-1

Grafico SBT di Robertson et al (1986) in base alla resistenza del cono CPT, q_t , e il rapporto di attrito, R_f (dove $R_f = (f_s / q_t) \text{ il } 100\%$)

2.2.1.2. Elaborazione SCPTU: definizione delle unità litotecniche

Come accennato, la zona in esame è situata all'interno della piana alluvionale originatasi in seguito alla deposizione dei materiali in sospensione nelle acque dei fiumi che attraversavano l'attuale Pianura Padana. I depositi fluviali che ne sono derivati, sono invariabilmente costituiti dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria prevalentemente fine, con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana. Per mezzo dell'elaborazione della prova, è stato possibile definire le litologie e gli strati elencati nella seguente tabella, descritti con riferimento alla prevalenza dei terreni in essi contenuti.

TABELLA 2.2.1.2-1

CPTU1 – DESCRIZIONI LITOLOGICHE

N. strato	Profondità strato		Descrizione	Spessore	
	tetto (mt)	letto (mt)		(mt)	
1	0.00	0.72	Terreni fini molto consistenti sovra consolidati o cementati	0.72	
2	0.72	2.60	Argille	1.88	
3	2.60	4.82	Argille limose – argille	2.22	
4	4.82	9.26	Argille	4.44	
5	9.26	12.80	Argille	3.54	
6	12.80	14.80	Argille	2.00	
7	14.80	18.00	Sabbie – sabbie limose	3.20	
8	18.00	18.42	Argille	0.42	
9	18.42	20.00	Terreni fini molto consistenti sovra consolidati o cementati	1.58	

Le caratterizzazioni specifiche delle singole unità sono riportate nella scheda di elaborazione al paragrafo 2.1 della presente relazione.

Di seguito si riporta il grafico della prova elaborata per mezzo del software Static Probing.

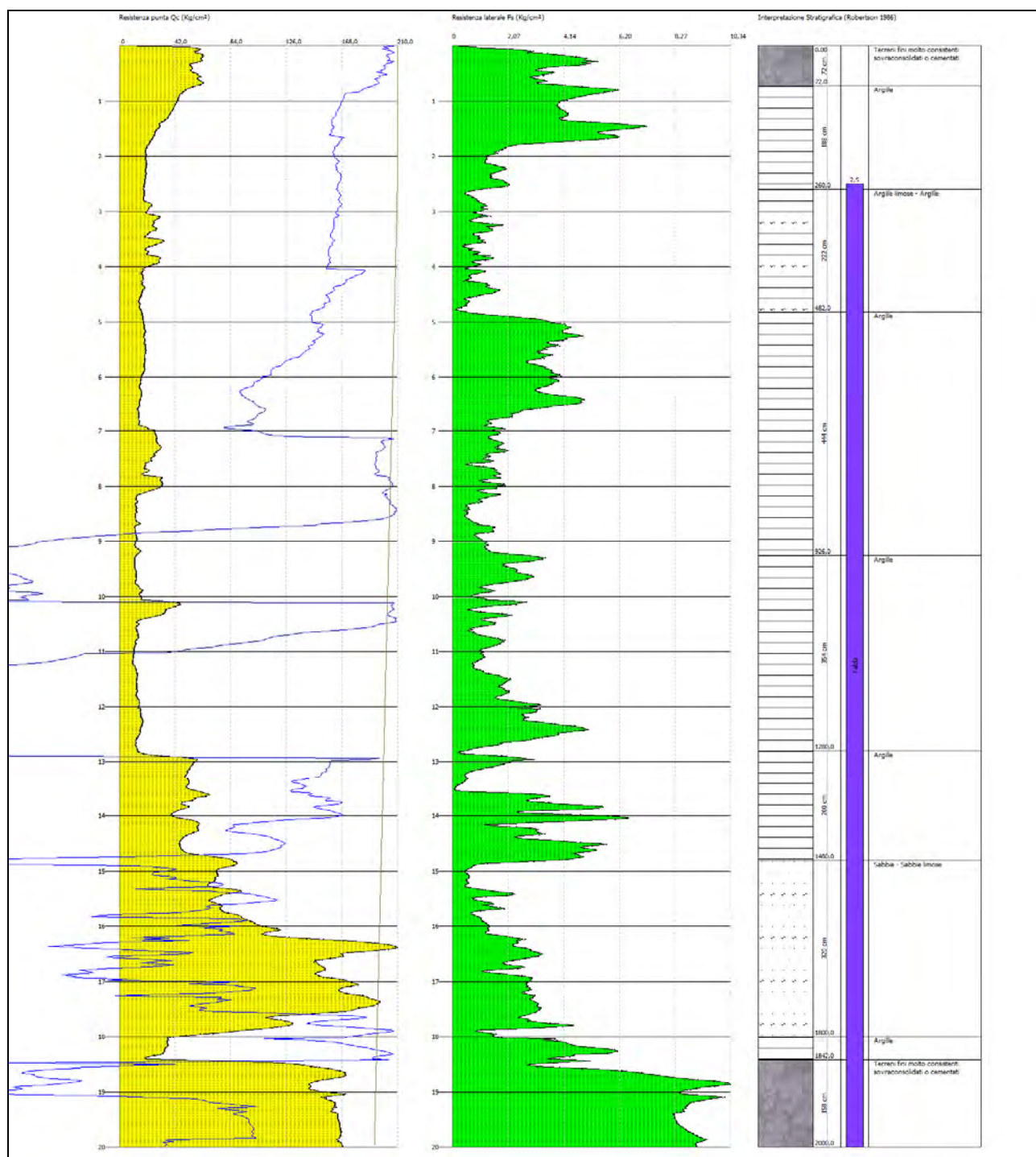


Figura 2.2.1.2-1
Grafico prova CPTU1

Supporti Grafici:

- Allegato 1. Scheda di elaborazione prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono

2.3. Aspetti sismici di dettaglio

2.3.1. CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, è necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, così come definito nel testo della normativa NTC08, rif. 7.11.3. In assenza di tali dati, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, così come di seguito indicato (Tabella 2.3.1-1).

TABELLA 2.3.1-1
DESCRIZIONE CATEGORIE DI SOTTOSUOLO A-E

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> , caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 mt/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 mt
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 mt/sec e 800 mt/sec (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180mt/sec e 360 mt/sec (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 \text{ kPa} < c_{u,30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 mt/sec (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 mt</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ mt/sec)

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2, di seguito descritte, è necessario definire anche la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o argille ad elevata sensibilità al collasso (Tabella 2.3.1-2).

TABELLA 2.3.1-2
DESCRIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO S1-S2

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 mt/sec (ovvero $10 \text{ kPa} < c_{u,30} < 20 \text{ kPa}$), che includono uno strato di almeno 8 mt di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 mt di torba o di argille altamente organiche
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti

 Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisrl.com	COMUNE DI FERRARA VARIANTE AL POC ADOTTATA CON DELIBERA CONSILIARE PG 37005/2015 INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DELLA DGR 2193/2015 COMPARTO POC 9ASPCN01	RIF. 098/16-ES-REV01 DEL 09/09/2016 P109/16-ES-REV00 DEL 05/07/2016
---	---	--

Per l'identificazione della categoria di sottosuolo, è raccomandata la misura della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s . In particolare, fatta salva la necessità di estendere le indagini geotecniche nel volume significativo del terreno interagente con l'opera, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,30}$, definita mediante l'equazione delle NTC:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}.$$

La velocità equivalente è ottenuta fissando l'equivalenza tra i tempi di arrivo delle onde di taglio che si propagano sia in un terreno omogeneo equivalente di spessore pari a 30 m, sia in un terreno stratificato come quello in esame, di spessore complessivo di 30 m. La definizione del valore della $V_{s,30}$ assume, in questo caso, valori diversi da quelli ottenuti dalla media delle velocità dei singoli strati pesata sui relativi spessori; è dunque necessario enfatizzare anche il contributo degli strati più deformabili.

In alternativa a misure di V_s , l'identificazione della categoria del sottosuolo può essere effettuata sulla base di altre grandezze geotecniche, come il numero dei colpi della prova penetrometrica dinamica ($N_{SPT,30}$) per depositi di terreni prevalentemente a grana grossa nei primi 30 m di profondità e la resistenza non drenata ($c_{u,30}$), per depositi prevalentemente a granulometria fine nei primi 30 m di profondità.

2.3.1.1. Misura della velocità delle onde V_s

Nel caso specifico, è stato considerato un valore di V_{s30} pari a **194 m/s**, così come indicato nella Carta delle velocità delle onde di taglio $S(V_s)$ della Microzonazione sismica del comune di Ferrara.

Con riferimento al criterio dell'analisi del parametro V_{s30} , in base all'approccio semplificato la categoria di suolo viene definita come **C**, ovvero: *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 mt, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180mt/sec e 360 mt/sec (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 \text{ kPa} < c_{u,30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)”*.

Tale categoria dovrà essere confermata dall'analisi sulla liquefazione per confermare ai sensi dell'NTC08 la possibilità dell'utilizzo dell'approccio semplificato.

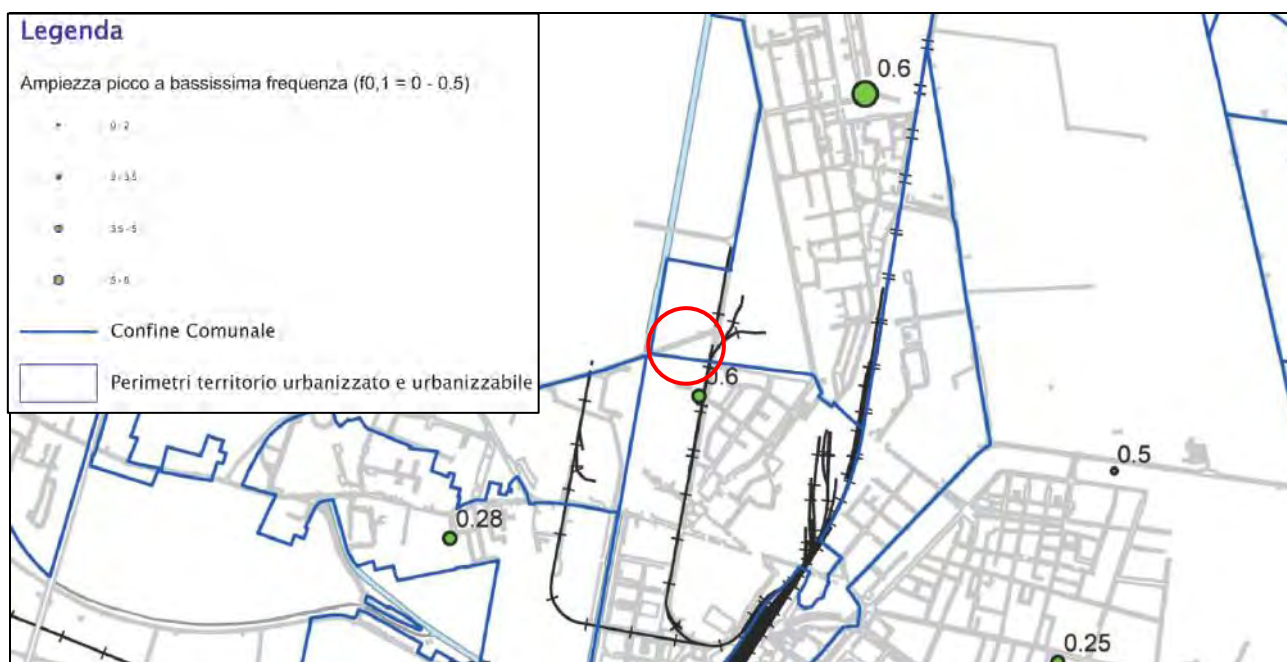


Figura 2.3.1-1

Estratto cartografia Microzonazione Sismica – scala grafica
(da Comune di Ferrara – Carta delle frequenze naturali dei terreni)

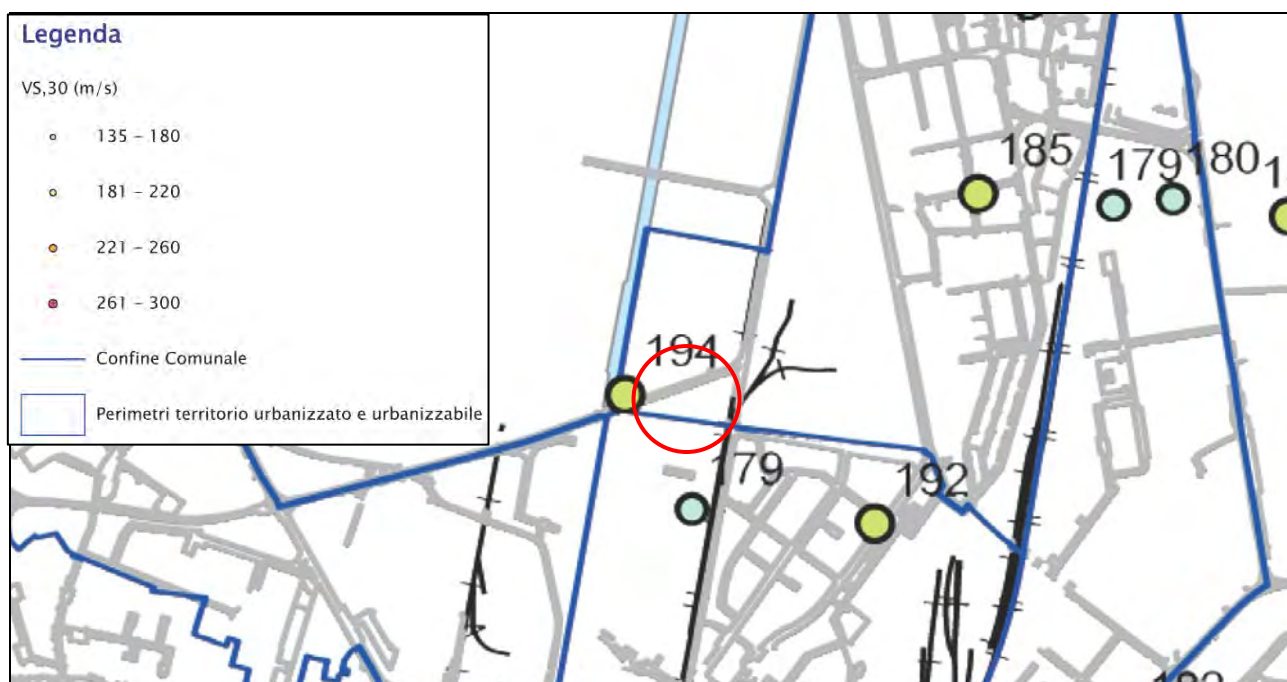


Figura 2.3.1-2

Estratto cartografia Microzonazione Sismica – scala grafica
(da Comune di Ferrara – Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs))

2.3.2. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per configurazioni superficiali semplici si considera la seguente classificazione riportata in Tabella 2.3.2-1.

TABELLA 2.3.2-1

CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA

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

Nell'area di studio si è in presenza di categoria topografica **T1**.

2.3.3. PARAMETRI SISMICI DEFINITI IN BASE ALLE “NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2008 (DM 14/01/2008)”

In base alla normativa tecnica per le costruzioni, si devono definire i parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito e della classe d'uso della costruzione. Inoltre, le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, realizzate, collaudate e soggette a manutenzione, in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle presenti norme.

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

a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*_c : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

L'oggetto del presente studio prevede l'integrazione ai sensi della DGR 2193/2015 delle valutazioni in merito alla compatibilità con le condizioni di pericolosità locale del territorio di un'area sita in Via Marconi - Ferrara; ai fini della presente si prevede che, sul sito oggetto di studio, saranno realizzati interventi che rientreranno in Classe d'uso II, corrispondenti quindi a *costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali* [...].

Le azioni sismiche sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

La vita nominale V_N viene definita pari a 50 anni.

Il valore del coefficiente d'uso C_U , varia al variare della classe d'uso, così come riportato in tabella 2.3.3-1.



TABELLA 2.3.3-1

CLASSI D'USO E COEFFICIENTI D'USO C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

L'area sulla quale insisteranno le opere, rientra nella categoria di sottosuolo C; i coefficienti S_s (amplificazione stratigrafica) e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori F_0 e T_c^* , mediante le espressioni riportate in tabella 2.3.3-2, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

TABELLA 2.3.3-2

COEFFICIENTI S_s E C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Le condizioni topografiche vengono valutate in funzione dei valori S_T (amplificazione topografica) riportati in Tabella 2.3.3-3.

TABELLA 2.3.3-3

VALUTAZIONE CONDIZIONI TOPOGRAFICHE SECONDO IL PARAMETRO S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Ai fini del calcolo è stata scelta una vita nominale V_n di 50 anni, ed una classe d'uso II, con coefficiente d'uso c_u di 1.0. Da questa elaborazione, si ottengono i valori dei parametri sismici a_g , F_0 e T_c^* ,

 Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisrsl.com	COMUNE DI FERRARA VARIANTE AL POC ADOTTATA CON DELIBERA CONSILIARE PG 37005/2015 INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DELLA DGR 2193/2015 COMPARTO POC 9ASPCN01	RIF. 098/16-ES-REV01 DEL 09/09/2016 P109/16-ES-REV00 DEL 05/07/2016
--	---	--

determinati in funzione del periodo di ritorno T_R ed associati ad uno stato limite SLV, categoria del sottosuolo C e categoria topografica T1.

2.3.4. VERIFICA DELLE SOLLECITAZIONI SISMICHE SUI TERRENI INCOERENTI

E' importante in questa fase distinguere fra terreni di fondazione incoerenti e terreni coesivi, i quali rispondono alle sollecitazioni di taglio in modo diverso.

Per prevedere il comportamento del terreno sottoposto ad azione sismica nei terreni incoerenti, è fondamentale conoscere il parametro densità relativa (D_r); un terreno molto addensato ($D_r \geq 70\%$) infatti, sottoposto a sollecitazioni di taglio, tende ad aumentare di volume (**fenomeno della dilatanza**) fino a raggiungere l'indice dei vuoti critico, oltre al quale cessa l'aumento di volume stesso. La densità relativa (D_r) in corrispondenza di un aumento di volume diminuisce, come diminuisce l'angolo di resistenza al taglio (ϕ) legato direttamente ad essa.

Nei terreni di fondazione coesivi, nei quali la resistenza al taglio è espressa in condizioni drenate da un angolo di resistenza al taglio e da una coesione drenata e in condizioni non drenate, da una coesione non drenata, è dimostrato (Carroll, 1963) che l'azione sismica non produce variazioni negative nelle caratteristiche meccaniche.

Nel caso in esame, in corrispondenza della verticale d'indagine sono stati rilevati sedimenti coesivo-granulari e granulari saturi. Per tali terreni sono stati determinati valori di densità relativa media inferiori al 70%. Pertanto, in virtù delle caratteristiche dei terreni e delle densità individuate, in caso di sollecitazione sismica non è previsto l'insorgere del fenomeno della dilatanza. A tale proposito si sottolinea inoltre come, in generale, tale fenomeno sia funzione anche della profondità alla quale si trova lo strato indagato: maggiore è la profondità dello strato, minore sarà la possibilità dell'insorgere del fenomeno.

Per quanto riguarda il fenomeno della **liquefazione**, definito come la diminuzione della resistenza al taglio e/o di rigidità, causata dall'aumento della pressione interstiziale in un terreno saturo granulare durante una sollecitazione sismica, la probabilità che nei terreni sabbiosi saturi si verifichino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla, se si riscontra almeno una delle condizioni riportate di seguito. È sufficiente che solo uno di questi criteri sia soddisfatto per poter omettere ogni ulteriore tipo di verifica (Regione Emilia Romagna - atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica").

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field (cioè in assenza di carichi superficiali, edifici o altro) minore di 0.1g;
3. accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field minore di 0.15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - frazione di fine FC, superiore al 20%, con indice di plasticità $IP > 10\%$;
 - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;
 - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$

dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT, definito dalla relazione:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N$$

in cui il coefficiente C_N è ricavabile dall'espressione

 Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisr.com	COMUNE DI FERRARA VARIANTE AL POC ADOTTATA CON DELIBERA CONSILIARE PG 37005/2015 INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DELLA DGR 2193/2015 COMPARTO POC 9ASPCN01	RIF. 098/16-ES-REV01 DEL 09/09/2016 P109/16-ES-REV00 DEL 05/07/2016
--	---	--

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.5}$$

essendo p_a la pressione atmosferica e σ'_v la pressione efficace verticale.

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 1.3.4.5-1 (a), nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 1.3.4.5-1 (b) per coefficienti di uniformità $U_c > 3.5$;

5. profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna, in presenza di topografia orizzontale e di strutture con fondazioni superficiali. Qualora si fosse in presenza di fondazioni profonde e/o su pendio inclinato, questo criterio non sarebbe più applicabile e la verifica alla liquefazione dovrebbe essere eseguita anche per profondità della falda superiori a mt 15.00 da p.c. Tuttavia è da tener presente che oltre i mt 20 di profondità, la probabilità che un livello sciolto possa subire liquefazione, diventa estremamente bassa.

Da evidenziare come, per il punto 4, sia chiaramente necessario prelevare un campione di sabbia da sottoporre ad analisi di laboratorio.

Quando nessuna delle condizioni prima descritte risulta soddisfatta, è necessario procedere alla valutazione di un coefficiente di sicurezza alla liquefazione, alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

I punti sopra elencati vengono esplicitati nei paragrafi successivi; in termini di fattori scatenanti il sisma quali magnitudo, accelerazione, a_g e fattori predisponenti quali profondità della falda, granulometria, ecc., ecc.

2.3.4.1. Fattori scatenanti: Definizione della Magnitudo attesa del sisma

La definizione della magnitudo attesa, utilizzata di seguito per le valutazioni sulla liquefazione, farà riferimento, alla massima magnitudo attesa relativa alla zona sismogenetica di riferimento (912) che risulta pari a $M = 6.14$. Tale assunzione viene anche suggerita dalla determinazione della Regione Emilia Romagna n. 1105 del 03/02/2014.

2.3.4.2. Fattori scatenanti: Definizione dell'accelerazione sismica orizzontale

(da “La liquefazione dei terreni” di Aldo di Bernardo)

Il parametro dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie (a_{gmax}) è riferito alla condizione *free-field*, cioè in assenza di carichi superficiali, edifici o altro. Il valore di soglia, indicato dalla normativa, è di 0.10 g. Questo significa che se l'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie indotta dal sisma si colloca sotto questo limite è possibile omettere la verifica alla liquefazione.

Il parametro a_{gmax} si ricava direttamente dalla caratterizzazione sismica del sito, secondo le indicazioni del DM 14/01/2008, attraverso la relazione:

$$a_{gmax} = a_g S_s S_t$$

La grandezza a_g è l'accelerazione sismica orizzontale riferita al sito rigido, ricavabile dall'appendice B del DM 14/01/2008 in funzione delle coordinate geografiche del sito, e S_s e S_t sono i coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica.



Il valore di soglia introdotto nel DM 14/01/2008 non coincide con quello suggerito nell'Eurocodice 8, dove il limite viene posto a 0.15 g. Questa differenza nasce da un adattamento dell'Eurocodice 8 al contesto italiano. Anche se a livello mondiale sono noti casi di liquefazione avvenuti in corrispondenza di valori di a_{gmax} minori di 0.10, si ritiene che in Italia ciò sia molto improbabile. Per poter produrre fenomeni di liquefazione, eventi sismici che generano in superficie valori di accelerazione così bassi, devono essere caratterizzati da una durata insolitamente lunga. Cioè devono essere in grado di produrre un numero sufficientemente alto di cicli di carico per consentire, ai relativamente ridotti valori di Δu , di poter uguagliare, sommandosi, la pressione litostatica efficace agente.

Nel caso specifico, si valuta l'accelerazione massima orizzontale in base agli abachi dell'Atto di Indirizzo 112/2007 della Regione Emilia Romagna e alle tabelle della Deliberazione della Giunta Regionale del 21 dicembre 2015, n. 2193 della Regione Emilia Romagna, considerando il valore di accelerazione massima previsto per il Comune di Ferrara amplificato con il fattore di amplificazione PGA previsto per la PIANURA 2 con $v_s < 200$ m/s. ($a_{gmax} = a_{refg} \times F.A. P.G.A. = 0,132 \times 1,7 = 0,22g$).

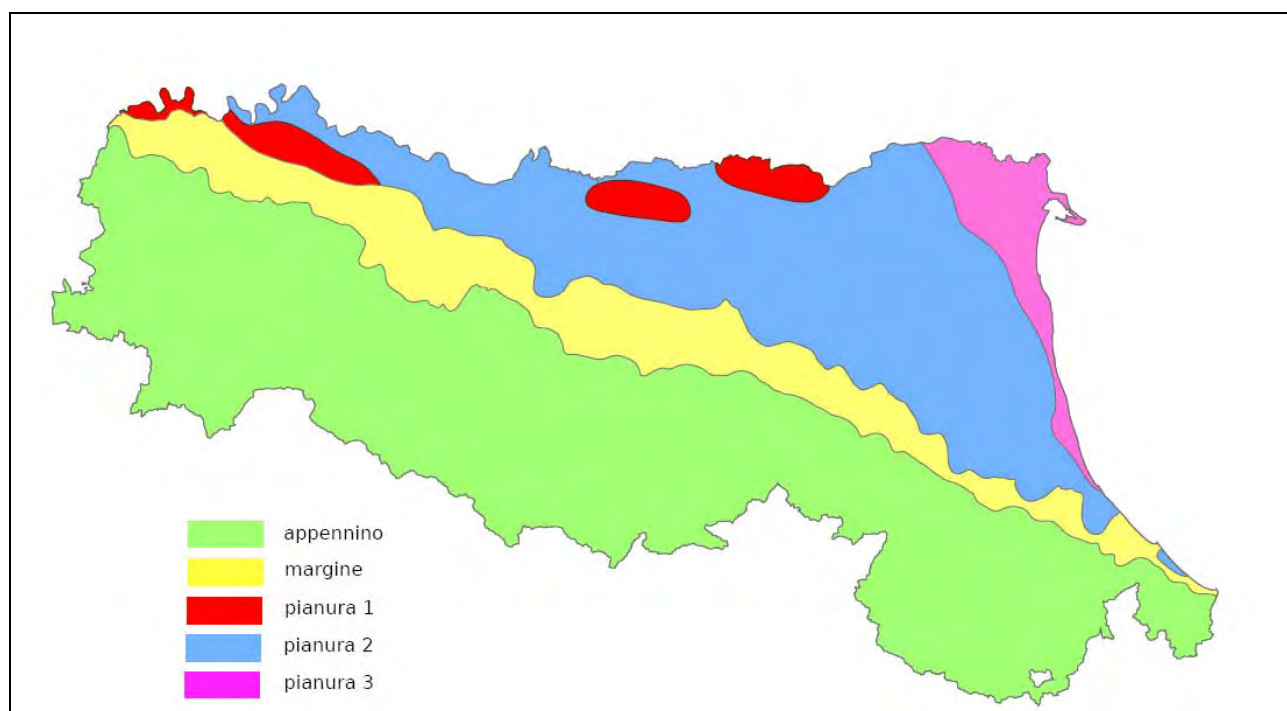


Figura 2.3.4.2-1

Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici in Emilia Romagna

Una seconda valutazione che si rende necessaria, è la determinazione dell'accelerazione massima orizzontale riferita al sito rigido e dei parametri sismici, in base alle indicazioni fornite dalle NTC08. In questo caso, per il calcolo dei parametri sismici, è stato utilizzato il programma di calcolo, Spettri-NTC, ver.1.0.3, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

In figura 2.3.4.2-2 è rappresentata l'individuazione del sito di riferimento, in basso a sinistra la visualizzazione dei quattro nodi del reticolo che circoscrivono il sito stesso. La modalità di interpolazione scelta dei dati forniti per ciascuno di tali nodi, è la superficie rigata.

Il territorio italiano, come già accennato precedentemente, è suddiviso in un reticolo sovrapposto alla mappa probabilistica del rischio sismico sviluppata dal progetto S1 dell'INGV, e ad ogni nodo del reticolo

corrisponde un set di parametri fondamentali o indipendenti, tabulati nella normativa: a_g , F_o , T_c^* ; per i punti con coordinate intermedie tra i nodi del reticolo si utilizzano metodi di interpolazione.



Figura 2.3.4.2-2
Finestra di lavoro relativa alla FASE 1.

In allegato 7 si riportano i grafici degli spettri di risposta ottenuti in corrispondenza di ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1 (zona sismica di Categoria S1 – OPCM2003); in allegato 4 i grafici che rappresentano la variabilità dei parametri a_g , F_o e T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_r ed in allegato 3 è inserita una tabella riassuntiva dei valori degli stessi parametri a_g , F_o e T_c^* per ciascuno dei nove periodi di ritorno considerati in S1; la scelta del tempo di ritorno dipende da quella che, nella fase 2, viene definita strategia di progettazione.

In figura 2.3.4.2-3 si descrive la considerazione dei dati specifici relativi alle costruzioni in oggetto.

In questo caso, come sopra riportato, si ipotizza di dover integrare il quadro conoscitivo geologico ipotizzando edifici con vita nominale V_n pari a 50 anni ed appartenenti alla classe d'uso II, a cui corrisponde un coefficiente $C_u = 1.0$. In base a tali valori viene determinato il periodo di riferimento per le costruzioni V_r , che risulta in questo caso pari a 50 anni. Sono quindi calcolati i valori dei periodi di ritorno corrispondenti alle probabilità di superamento per i quattro stati limiti previsti dalle NTC08. I dati in uscita in questa fase rappresentano una selezione effettuata sui dati ottenuti nella fase precedente in

corrispondenza dei valori previsti per il periodo di ritorno dei quattro stati limite considerati (Allegati 8, 6 e 5).

Si pone in evidenza il fatto che i dati riportati nella tabella dell'allegato 5 sono relativi ai parametri per la costruzione di spettri di risposta per i diversi stati limite e riguardano la pericolosità sismica di base del sito, ossia l'azione sismica attesa su suolo rigido e orizzontale; questi dati, nell'ottica di uno studio di RSL mediante modellazione numerica, sono da intendere come la definizione delle forme spettrali dei terremoti di input.

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N [info](#)

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U [info](#)

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R [info](#)

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R [info](#)

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	30
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	50
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	475
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	975

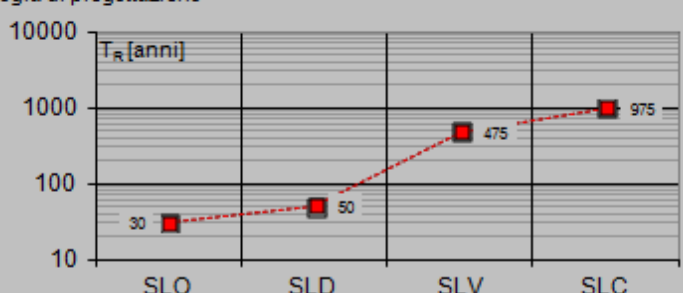
Elaborazioni

Grafici parametri azione ▶

Grafici spettri di risposta ▶

Tabella parametrizzazione ▶

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Figura 2.3.4.2-3

Finestra di lavoro relativa alla FASE 2

In figura 2.3.4.2-4 è raffigurata la determinazione dell'azione di progetto corrispondente a ciascuno Stato Limite.

Nello specifico si suppone di voler determinare l'azione di progetto per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e di avere: un sottosuolo di categoria C, una zona topografica di categoria T1 e infine una quota del sito della costruzione pari all'altezza del rilievo topografico (e pertanto $h/H = 0$).

Inseriti questi dati vengono forniti i valori dei coefficienti SS, CC e ST necessari per la determinazione dello spettro.

In questo caso, trattandosi dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), si seleziona l'opzione relativa allo spettro di progetto inelastico. Non avendo ricevuto informazioni dal tecnico strutturista si ipotizzano i parametri di q e q_0 e cautelativamente si assegna la non regolarità della struttura in altezza.

Si riportano infine negli allegati 9, 10 e 11, il grafico relativo agli spettri per lo stato limite considerato e le tabelle con i parametri corrispondenti.



Figura 2.3.4.2-4
Spettri-NTC

In base a quanto sopra riportato e alla definizione della accelerazione massima attesa in superficie (a_{gmax}), nonché al calcolo dei fattori di amplificazione S_s e S_t , nel caso specifico $S_s = 1.499$, per lo stato limite SLU-SLV ($a_g = 0.129g$) e $S_t = 1$, si definisce l'accelerazione massima orizzontale attesa al sito (a_{gmax}) per SLU-SLV pari a **0.19g**.

Applicando questo criterio si conclude che l'accelerazione massima attesa è inferiore rispetto a quella determinabile con la Deliberazione della Giunta Regionale del 21 dicembre 2015, n. 2193 della Regione Emilia Romagna. Inoltre, in entrambi i casi la verifica non è comunque soddisfatta, in quanto i valori sono superiori a 0.10 g, quindi è necessario procedere ad ulteriori verifiche ed elaborazioni relativamente al rischio di liquefazione.

 Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisr.com	COMUNE DI FERRARA VARIANTE AL POC ADOTTATA CON DELIBERA CONSILIARE PG 37005/2015 INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DELLA DGR 2193/2015 COMPARTO POC 9ASPCN01	RIF. 098/16-ES-REV01 DEL 09/09/2016 P109/16-ES-REV00 DEL 05/07/2016
--	---	--

Per le valutazioni di seguito riportate, si considera cautelativamente il valore dell'accelerazione massima attesa più elevato.

A commento di quanto precedentemente determinato per mezzo del software distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, va segnalato come lo spettro di risposta che risulta sia uno spettro di ampiezza corrispondente allo spettro teorico del terremoto a cui riferirsi. È la forma standardizzata dello spettro dei terremoti. La forma di questo spettro dipende dallo smorzamento ξ (5%), ma così creato è la convoluzione di tutte le incertezze e quindi come tale si riferisce ad un sisma teorico.

Supporti Grafici:

- Allegati 3-6. Valori dei parametri a_g , F_0 , T^*_c
- Allegati 7-11. Spettri di risposta e parametri SLV

2.3.4.3. Fattori predisponenti: Profondità della falda

(da “La liquefazione dei terreni” di Aldo di Bernardo)

Quando le sopraccitate condizioni non risultano soddisfatte, diventa necessario eseguire una prima valutazione geotecnica di tipo qualitativo e semi quantitativo sui terreni presenti nel sito indagato.

Il primo parametro da individuare è la posizione della falda rispetto al piano campagna. Se la profondità media stagionale del livello di falda è superiore a mt 15, in presenza di topografia orizzontale e di strutture con fondazioni superficiali, la verifica alla liquefazione può essere omessa. Questo limite coincide con quello indicato nell'Eurocodice 8. Si ammette quindi l'improbabilità che strutture con fondazioni superficiali in presenza di topografia suborizzontale, possano risentire degli effetti della liquefazione in livelli posti oltre i mt 15 di profondità.

Il DM 14/01/2008 parla di misura riferita al valore medio stagionale. Nell'Eurocodice 8 invece si fa riferimento alle condizioni prevalenti durante il periodo di vita dell'opera. Nel primo caso si tratta di eseguire una valutazione sulla base di dati storici, nel secondo di fare una previsione a lungo termine, con i problemi che ciò comporta. Qualora non fossero disponibili misure precise del livello di falda, è possibile effettuare una valutazione approssimativa attraverso una stima di massima dell'oscillazione del livello.

Nel caso specifico la falda risulta comunque a profondità inferiori a mt 15.00 da p.c., nettamente più prossima al piano campagna, come definito nel capitolo dedicato.

2.3.4.4. Fattori predisponenti: Resistenza mobilitabile dal terreno

Nel caso specifico non sono state effettuate le valutazioni speditive di cui sopra in quanto, come si vedrà più avanti, si è ritenuto necessario procedere comunque alla verifica alla liquefazione tramite analisi dell'intera colonna stratigrafica della CPTU analizzata, viste le litologie incontrate e visto quanto riportato nelle carte di pianificazione.

2.3.4.5. Fattori predisponenti: Composizione granulometrica

(da “La liquefazione dei terreni” di Aldo di Bernardo)

Facendo riferimento ai classici schemi di Tsuchida (1970), incorporati in numerose normative nazionali e procedure di valutazione del rischio, vengono definiti due fusi granulometrici corrispondenti a depositi con diverso valore del coefficiente di uniformità.

Si ricorda che per coefficiente di uniformità si intende il rapporto:

$$U = d_{60} / d_{10}$$

 Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisrl.com	COMUNE DI FERRARA VARIANTE AL POC ADOTTATA CON DELIBERA CONSILIARE PG 37005/2015 INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DELLA DGR 2193/2015 COMPARTO POC 9ASPCN01	RIF. 098/16-ES-REV01 DEL 09/09/2016 P109/16-ES-REV00 DEL 05/07/2016
---	---	--

in cui d_{60} e d_{10} sono, rispettivamente, i diametri corrispondenti al 10% e al 60% del peso del campione letti sulla curva granulometrica.

Secondo il DM 14/01/2008, che riprende le indicazioni dell'Eurocodice 8, si può omettere la verifica alla liquefazione, quando la curva granulometrica del terreno risulta esterna alle zone indicate.

A livello operativo l'applicazione di questo criterio implica l'esecuzione di un sondaggio con prelievo di campioni di sabbia satura a diverse profondità, con le difficoltà che questo comporta.

Interpretativamente è necessario che un profilo ricada completamente nei limiti indicati per poter essere indicato liquefacibile.

Nel caso specifico, non è stata in questa fase prevista l'esecuzione di sondaggi geognostici e il prelievo di campioni di terreno sui quali effettuare le relative analisi granulometriche.

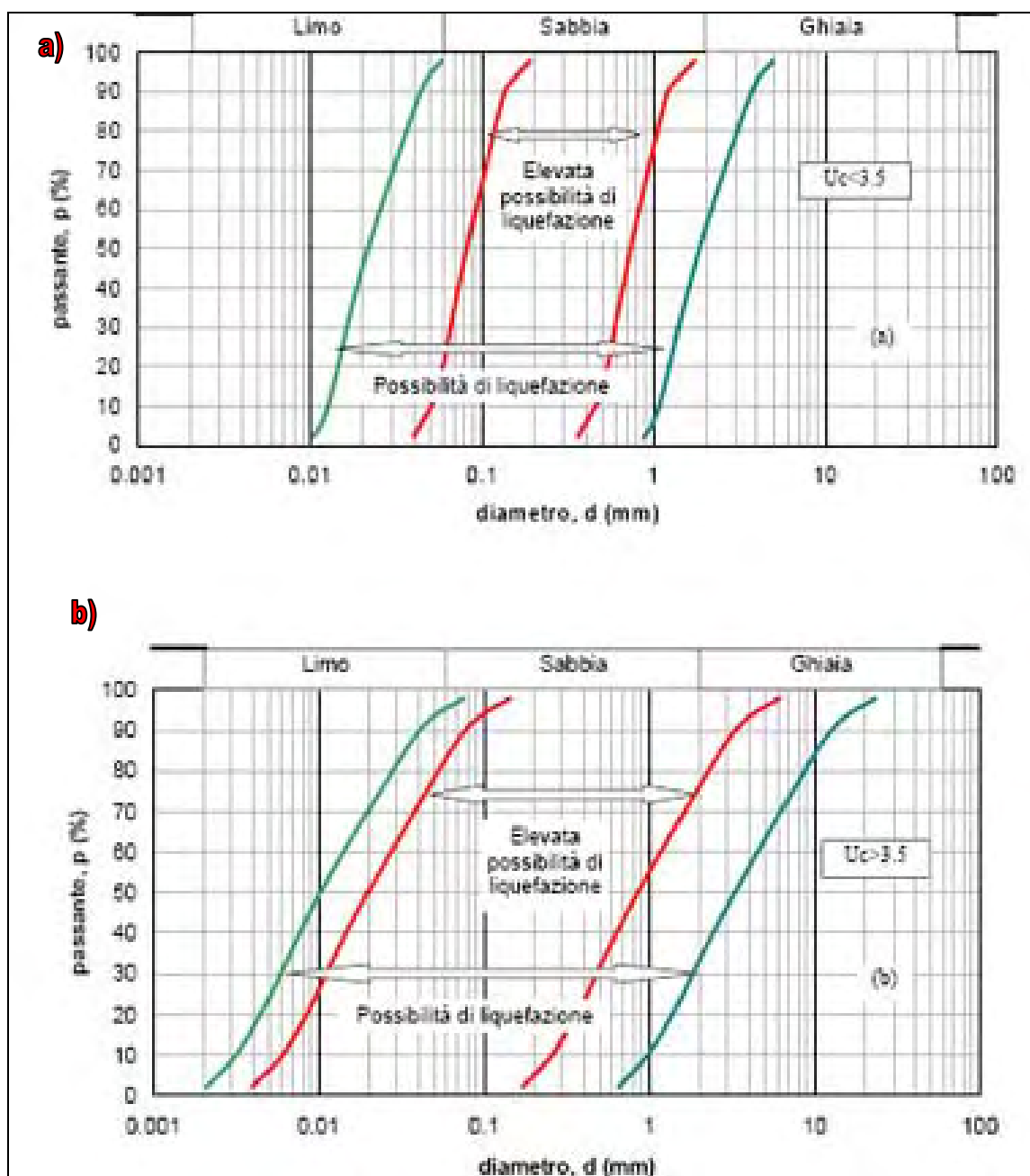


Figura 2.3.4.5-1

Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione

 Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisrl.com	COMUNE DI FERRARA VARIANTE AL POC ADOTTATA CON DELIBERA CONSILIARE PG 37005/2015 INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DELLA DGR 2193/2015 COMPARTO POC 9ASPCN01	RIF. 098/16-ES-REV01 DEL 09/09/2016 PI109/16-ES-REV00 DEL 05/07/2016
---	---	---

2.3.5. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE PER IL CASO SPECIFICO

Nel caso in esame, in corrispondenza della verticale di indagine effettuata, sono stati individuati livelli coesivo-granulari e granulari saturi, considerando un livello della falda pari a mt 2.50 da piano campagna. Visti gli spessori, le caratteristiche e le profondità a cui si trovano, nella presente sono state effettuate le verifiche di seguito riportate, riferite al caso evento sismico.

Nello specifico, è stata valutata la **suscettibilità alla liquefazione** applicando un criterio indiretto corrispondente al metodo di Boulanger & Idriss (2014), come suggerito dall'allegato A3, punto A2.2, della D.G.R. del 21/12/2015, n. 2193.

Questo metodo utilizza correlazioni schematizzate nella pagina successiva.



$$1. \quad q_{clN} = C_N \cdot \frac{q_c}{p_a}$$

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m \leq 1.7$$

$$m = 1.338 - 0.249 \cdot (q_{clNcs})^{0.264} \quad \text{con } 21 \leq q_{clNcs} \leq 254$$

(q_{clNcs} è definito al punto 2 e m è determinato per via iterativa; p_a è la pressione atmosferica)

$$2. \quad q_{clNcs} = q_{clN} + \Delta q_{clN}$$

$$\Delta q_{clN} = \left(11.9 + \frac{q_{clN}}{14.6} \right) \cdot \exp \left[1.63 - \frac{9.7}{FC + 2} - \left(\frac{15.7}{FC + 2} \right)^2 \right]$$

FC è il contenuto di fine espresso in %. In assenza di determinazione sperimentale di laboratorio FC può essere stimato con l'espressione empirica:

$$FC = 80 I_c - 137$$

in cui I_c è l'indice di classificazione del terreno da prova CPT proposto da Robertson (1990):

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q_n - 3.47)^2}$$

con

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma'_{v0}} \cdot 100$$

$$Q_n = \left(\frac{q_c - \sigma'_{v0}}{p_a} \right) \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m$$

$$3. \quad CRR = \exp \left[\frac{q_{clNcs}}{113} + \left(\frac{q_{clNcs}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{q_{clNcs}}{140} \right)^3 + \left(\frac{q_{clNcs}}{137} \right)^4 - 2.80 \right]$$

$$4. \quad MSF = 1 + (MSF_{max} - 1) \left[8.64 \exp \left(\frac{-M}{4} \right) - 1.325 \right]$$

$$MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{q_{clNcs}}{180} \right)^3 \leq 2.2$$

$$5. \quad K_\sigma = 1 - C_\sigma \cdot \ln \left(\frac{\sigma'_v}{p_a} \right) \leq 1.1$$

$$C_\sigma = \frac{1}{37.3 - 8.27(q_{clNcs})^{0.264}} \leq 0.3$$

$$5. \quad CSR_{M;\sigma'_v} = 0.65 \cdot \frac{a_{max,s}}{g} \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

$$r_d = \exp [\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot \sin \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot \sin \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right)$$

$$6. \quad F_L = \frac{CRR_{M=7.5;\sigma'_v=1atm}}{CSR_{M;\sigma'_v}} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$



In base alla deliberazione dell'assemblea legislativa della Regione Emilia Romagna n. 112 del 2 maggio 2007, è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione quando $FL < 1$. La circolare del C.S.LL.PP. n. 617 del 2 febbraio 2009, demanda invece al progettista la decisione in merito alla scelta del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione. Per quanto riguarda infine l'OPCM 3274 del 20 marzo 2003, un terreno deve essere considerato suscettibile a liquefazione, allorché lo sforzo di taglio generato dal terremoto ad una data profondità, supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato la liquefazione durante terremoti passati alla medesima profondità; il livello di sforzo di taglio implica un fattore di sicurezza pari a 1.25.

Vista la tipologia di indagine effettuata, le peculiarità delle valutazioni introdotte dall'OPCM 3274 e le modalità di valutazione dei dati relativi alla pianificazione locale, si ritiene corretto nella presente definire che un deposito non è suscettibile a liquefazione quando $FL \geq 1.2$ in linea con quanto riportato nella Deliberazione della Giunta Regionale n. 2193 del 21 dicembre 2015, della Regione Emilia Romagna.

Il calcolo dell'Indice del potenziale di Liquefazione (LPI), viene utilizzato per interpretare le valutazioni in termini di gravità del fenomeno liquefazione sulla profondità.

L'indice del potenziale di liquefazione, I_L , è definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}} \right)$$

z_{crit} è la profondità critica, ovvero la profondità massima entro la quale può verificarsi la liquefazione, che di norma si assume pari a 20 m.

La variabile $F(z)$ vale (Sonmez, 2003):

$$\begin{aligned} F(z) &= 0 && \text{per } F_L \geq 1.2 \\ F(z) &= 2 \times 10^6 \times \exp(-18.427 \times F_L) && \text{per } 1.2 > F_L \geq 0.95 \\ F(z) &= 1 - F_L && \text{per } F_L \leq 0.95 \end{aligned}$$

In base al valore stimato dell'indice del potenziale di liquefazione I_L si definiscono le seguenti classi di pericolosità (Sonmez, 2003):

- $I_L = 0$: non liquefacibile ($F_L \geq 1.2$)
- $0 < I_L \leq 2$: potenziale basso
- $2 < I_L \leq 5$: potenziale moderato
- $5 < I_L \leq 15$: potenziale alto
- $15 < I_L$: potenziale molto alto

Come accennato, in linea con la DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna, nella presente si definisce che un deposito sabbioso risulta suscettibile a liquefazione quando $F_L < 1.2$.

Utilizzando il software CLiq v.1.7.6.49 è stato determinato il fattore F_s applicando il metodo di Boulanger & Idriss (2014). Di seguito elencati nella tabella, oltre agli spessori e alle profondità dei singoli strati liquefacibili, sono indicate anche le profondità dei macrostrati e gli spessori cumulativi degli strati liquefacibili.

I macrostrati distinguono gli spessori prevalentemente coesivi e prevalentemente granulari.

TABELLA 2.3.5-1
CPTU1

	MACROSTRATI		STRATI LIQUEFACIBILI		
	PROF. TETTO (MT)	PROF. LETTO (MT)	PROFONDITÀ (MT)	SPESSORI (MT)	SPESSORI CUMULATIVI (MT)
CPU1	0.00	0.72	-	-	-
	0.72	14.80	2.50 – 5.22	2.72	8.10
			5.28 – 5.92	0.64	
			6.74 – 8.12	1.38	
			8.24 – 8.70	0.46	
			8.84 – 8.96	0.12	
			9.12 – 9.20	0.08	
			9.80 – 10.42	0.62	
			10.60 – 10.62	0.02	
			10.64 – 10.66	0.02	
			12.76 – 14.80	2.04	
	14.80	18.00	14.80 – 16.22	1.42	2.04
			16.60 – 16.70	0.10	
			16.82 – 16.90	0.08	
			17.56 – 18.00	0.44	
	18.00	18.42	18.00 – 18.20	0.20	0.20
	18.42	20.00	18.40 – 18.56	0.16	0.46
			18.76 – 19.00	0.24	
			19.08 – 19.14	0.06	

Per fornire un ulteriore dato interpretativo, si riporta uno stralcio della premessa dello studio “Confronto tra metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione da prove CPT e CPTU” di J. Facciorusso, C. Madiari, G. Vannucchi dal quale si evince che: *“L’indice LPI è calcolato con riferimento ad una verticale di prova. Gli effetti bi- e tri- dimensionali sono trascurati. Tale semplificazione può condurre talora a stime errate. In particolare se la liquefazione in un sito è limitata a lenti isolate, la liquefazione in superficie può non manifestarsi anche per valori significativi di LPI. Viceversa uno strato liquefatto sottile, profondo, molto diffuso ed esteso può determinare rottura del terreno e “lateral spreading” anche per bassi valori di LPI. La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la non sempre buona correlazione tra i valori dell’indice LPI e le evidenze di liquefazione”.*

Per completare l’esposizione, si riportano di seguito le elaborazioni stratigrafiche ricavate per mezzo del software che valuta la liquefazione in base alle stratigrafie elaborate inizialmente con il metodo di Robertson 1986 e successivamente con il metodo di Robertson 1990 sui parametri normalizzati. Il grafico di Robertson 1990 fa riferimento alla resistenza alla punta corretta q_t ; esso può essere utilizzato ugualmente con la resistenza alla punta non corretta, q_c , finché la differenza fra q_t e q_c è piccola, tranne nei terreni soffici a grana fine. Di fatto le due colonne risultano ben correlabili.

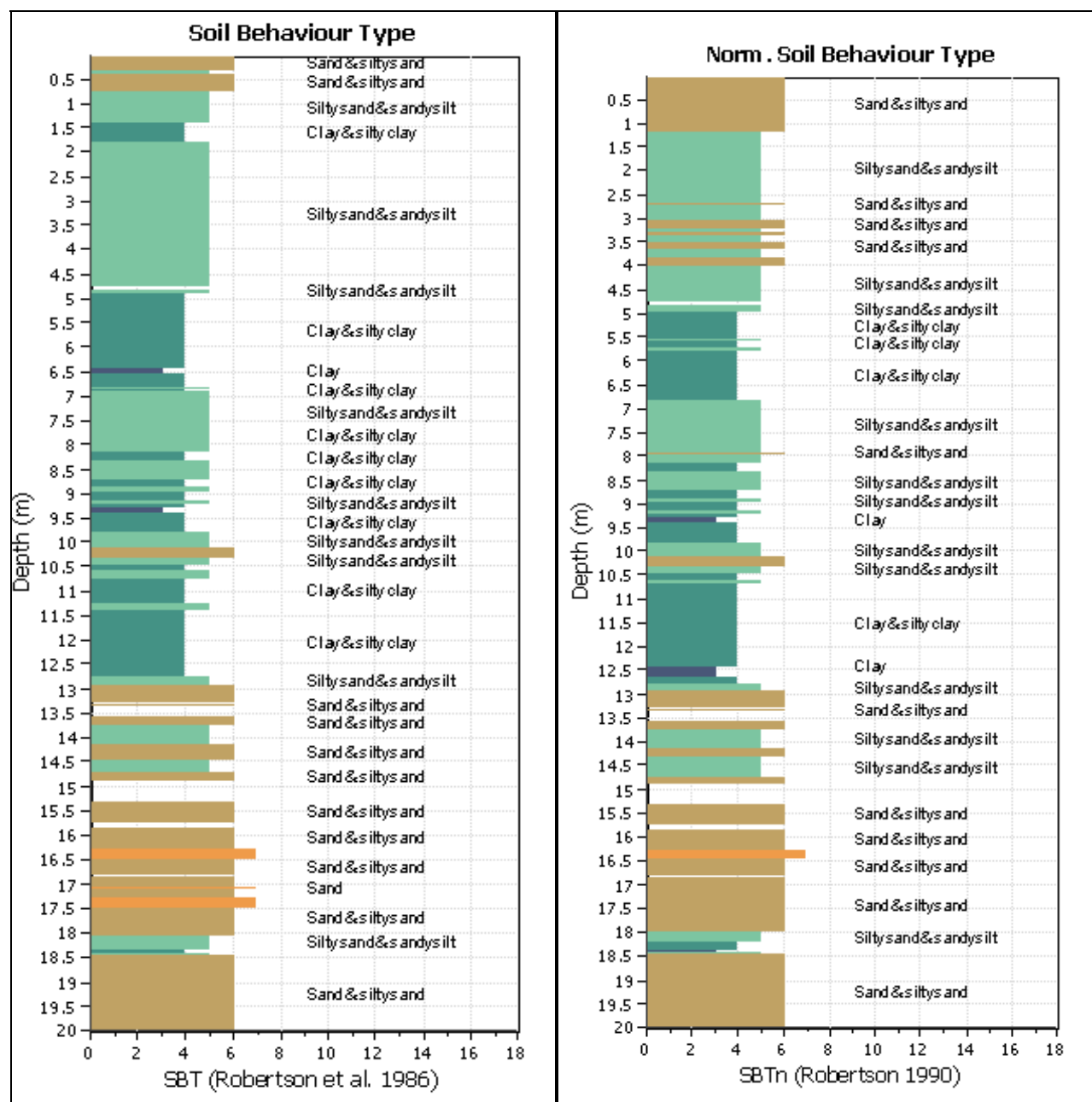


Figura 2.3.5-1

CPTU1 - Tipo di comportamento del terreno in base a Robertson 1986 e normalizzato in base a Robertson

1990

In base al metodo di Boulanger e Idriss (2014), suggerito dall'allegato A3, punto A2.2, della D.G.R. del 21/12/2015, n. 2193, l'Indice del Potenziale di Liquefazione assume il seguente valore:

IL in corrispondenza di CPTU1 = 16.24

In relazione all'Indice del Potenziale di Liquefazione stimato, la classe di pericolosità definita secondo Sonmez (2003), in corrispondenza della prova CPTU1, indica un **potenziale molto alto** ($I_L > 15$).

Di seguito sono tabulati i valori di IPL valutati con altri approcci e confrontati con i risultati sopra indicati.

Suscettibilità alla liquefazione	IPL	IPL - SCPTU1
Robertson (NCEER 2001)	Iwasaki	11.144
<u>Idriss e Boulanger (2008)</u>	Iwasaki	13.088
<u>Boulanger e Idriss (2014)</u>	Iwasaki	16.226

Iwasaki propone 4 categorie basate sul valore numerico di LPI:

- $LPI = 0$: il rischio di liquefazione è molto basso
- $0 < LPI \leq 5$: il rischio di liquefazione è basso
- $5 < LPI \leq 15$: il rischio di liquefazione è alto
- $LPI > 15$: il rischio di liquefazione è molto alto

Come evidenziato in tabella, con tutti i metodi sopra riportati risulta un rischio di liquefazione alto in corrispondenza della prova eseguita, ad eccezione del metodo di Boulanger e Idriss (2014), che rileva un rischio di liquefazione molto alto.

Per quanto riguarda la probabilità di liquefazione, valutata in base a diversi approcci, nella figura seguente sono riportati gli istogrammi con i relativi valori dai quali emerge che, in corrispondenza della prova CPTU1, le probabilità di innesco del fenomeno risultano variabili da circa il 33% a circa l'85%.

La probabilità di liquefazione risulta essere alta con tutte le metodiche analizzate, ad eccezione del metodo di Moss et al. (2006) e del metodo di Boulanger e Idriss (2014) che rilevano una probabilità molto alta.

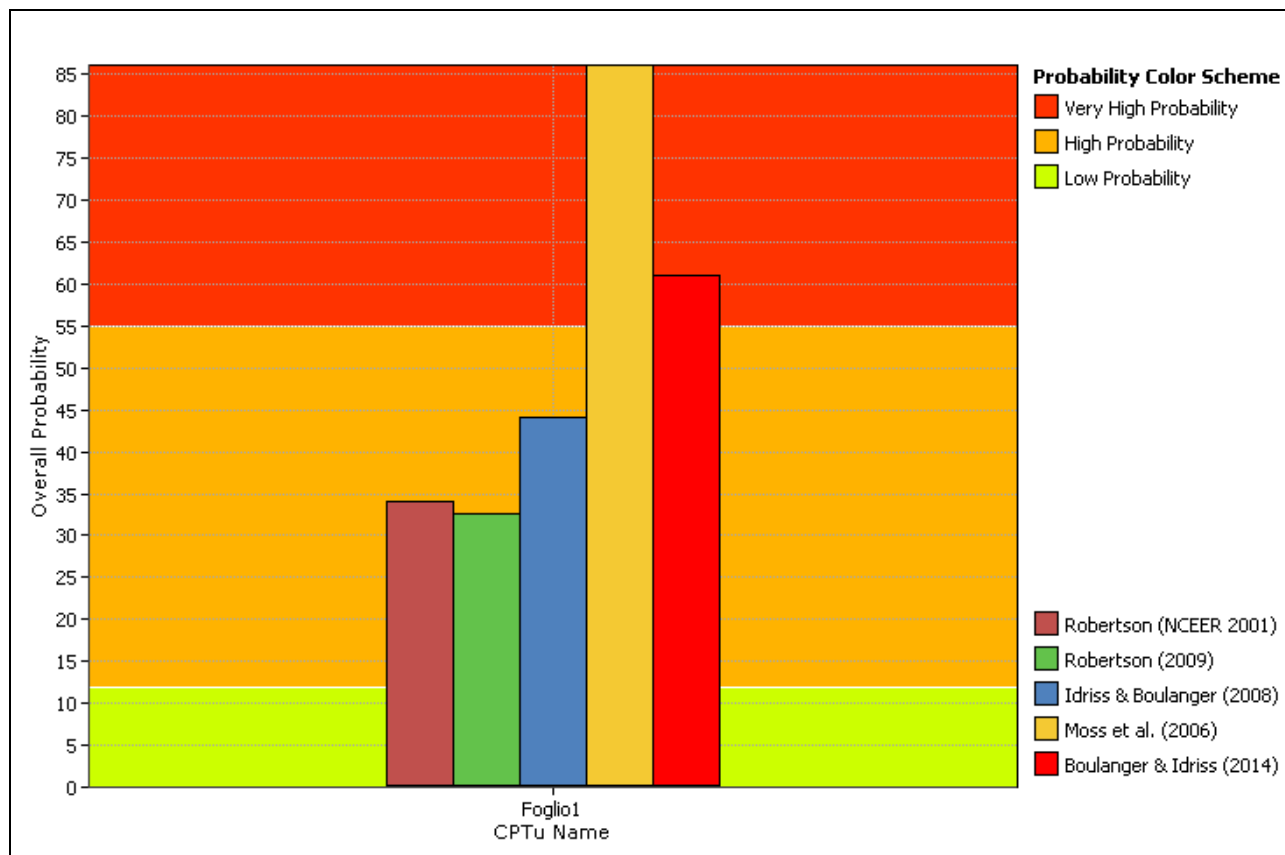


Figura 2.3.5-2

Grafico Probabilità innesco

2.3.6. STIMA DEI CEDIMENTI INDOTTI DALL'AZIONE SISMICA NEI TERRENI GRANULARI SATURI

Per quanto riguarda la stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni granulari saturi, valutata con Idriss & Boulanger (2008), come indicato nell'Allegato A3, punto B.1, della D.G.R. del 21/12/2015, n. 2193, tramite il software CLiq v.1.7, risulta un valore pari a 45.41 cm.

2.3.7. STIMA DEI CEDIMENTI INDOTTI DALL'AZIONE SISMICA NEI TERRENI GRANULARI NON SATURI

Non si dispone delle informazioni necessarie per stimare i cedimenti nei terreni granulari non saturi in condizioni sismiche. Ad ogni modo si evidenzia come la loro presenza sia probabilmente limitata ad un sottile strato superficiale, così come desumibile per mezzo delle valutazioni effettuate tramite la prova CPTU eseguita a supporto della presente.

2.3.8. STIMA DEI CEDIMENTI INDOTTI DALL'AZIONE SISMICA NEI TERRENI COESIVI SOFFICI

Come citato nella Deliberazione della Regione Emilia Romagna n. 2193/2015, nei depositi coesivi soffici ($c_u \leq 70$ kPa) e plastici ($I_p \geq 30\%$), in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali $\Delta u/\sigma'_0 \geq 0.3$ durante l'azione sismica di riferimento, deve essere valutata la deformazione volumetrica. Nel caso specifico, in base alla parametrizzazione geotecnica ricavabile dalla prova eseguita, come indicato nella tabella seguente non risultano presenti depositi coesivi soffici fino alla massima profondità indagata, e quindi non si prevedono cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni coesivi.

TABELLA 2.3.8-1

CPTU1 – PARAMETRI GEOTECNICI

N. strato	Profondità		Descrizione	Parametri geotecnici
	tetto (mt)	letto (mt)		
1	0.00	0.72	Terreni fini molto consistenti sovraconsolidati o cementati localmente interrotti da argille.	$C_u = 2.94 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 42^\circ$
2	0.72	2.60	Argille. <i>Terreni coesivi molto consistenti</i>	$C_u = 1.46 \text{ kg/cm}^2$
3	2.60	4.82	Argille localmente interrotte da argille limose – argille e da limi argillosi e argille limose. Secondaria presenza di limi sabbiosi e limi argillosi. <i>Terreni coesivi molto consistenti</i>	$C_u = 1.07 \text{ kg/cm}^2$
4	4.82	9.26	Argille. Puntuali livelli di argille limose – argille e di limi argillosi e argille limose. <i>Terreni coesivi consistenti</i>	$C_u = 0.93 \text{ kg/cm}^2$
5	9.26	12.80	Argille. Locali spessori di terreni organici e torbosi e di limi sabbiosi e limi argillosi. <i>Terreni coesivi consistenti</i>	$C_u = 0.78 \text{ kg/cm}^2$
6	12.80	14.80	Alternanza di limi argillosi e argille limose con limi sabbiosi e limi argillosi, sabbie limose - limi argillosi, sabbie - sabbie limose e terreni fini molto consistenti sovraconsolidati o cementati. Secondaria presenza di argille. <i>Terreni coesivi estremamente consistenti</i>	$C_u = 2.59 \text{ kg/cm}^2$
7	14.80	18.00	Prevalenza di sabbie - sabbie limose su sabbie e su sabbie limose - limi argillosi. Secondaria presenza di limi sabbiosi e limi argillosi. <i>Terreni granulari mediamente addensati</i>	$\phi = 36.57^\circ$
8	18.00	18.42	Argille. <i>Terreni coesivi molto consistenti</i>	$C_u = 1.65 \text{ kg/cm}^2$
9	18.42	20.00	Terreni fini molto consistenti sovraconsolidati o cementati. Al tetto sottili strati di sabbie limose - limi argillosi e di sabbie - sabbie argillose sovraconsolidate o cementate.	$C_u = 7.93 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 37.18^\circ$

Angolo di attrito (ϕ): Angolo di Attrito (Schmertmann 1977-1982) – per varie litologie (correlazione che generalmente sovrastima il valore)

Coesione non drenata (C_u): Coesione non drenata (Terzaghi - valore minimo)

 Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisr.com	COMUNE DI FERRARA VARIANTE AL POC ADOTTATA CON DELIBERA CONSILIARE PG 37005/2015 INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DELLA DGR 2193/2015 COMPARTO POC 9ASPCN01	RIF. 098/16-ES-REV01 DEL 09/09/2016 P109/16-ES-REV00 DEL 05/07/2016
--	---	--

3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Per mezzo dei metodi applicati, sono stati determinati valori di IPL indicativi di rischi di liquefazione alti o molto alti, variabili a seconda del metodo applicato.

Va tuttavia segnalato che, come rilevabile in tabella 2.3.5-1, in corrispondenza dello strato compreso fra mt 0.72 e mt 14.80, il metodo applicato abbia indicato alcuni strati liquefacibili di spessore notevole, i quali sono certamente in parte responsabili degli elevati valori di IPL. A parere dello scrivente, sarà necessario che nelle successive fasi di progettazione, si provveda a caratterizzare tali strati, al fine di verificare se effettivamente possano essere soggetti a liquefazione o la loro definizione sia stata condizionata dai limiti della tipologia di prova effettuata.

Va infine evidenziato come, in base alla presenza di orizzonti liquefacibili, non sia applicabile l'approccio semplificato e come la categoria di suolo debba essere riclassificata S2. A supporto delle successive fasi di progettazione, sarà quindi necessario effettuare uno studio di Risposta Sismica Locale, in base al quale riverificare quanto contenuto nella presente.

Copparo, 9 settembre 2016

Dr. Geol. Emanuele Stevanin



	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesissrl.com	COMUNE DI FERRARA VARIANTE AL POC ADOTTATA CON DELIBERA CONSILIARE PG 37005/2015 INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DELLA DGR 2193/2015 COMPARTO POC 9ASPCN01	RIF. 098/16-ES-REV01 DEL 09/09/2016 PI109/16-ES-REV00 DEL 05/07/2016
--	---	---	---

- Allegato 1 -

CERTIFICATO PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA E PIEZOCONO



elletipi s.r.l.

Sede operativa ed amm.va: Via Annibale Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: info@elletipi.it sito: www.elletipi.it

P IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001. Circolari Ministeriali 7618/STC



COMMITTENTE: **SYNTHESIS S.r.l. - p.zza del Popolo n. 13 int. 5 - Copparo (FE)**

CANTIERE: **Via Michelini, Ferrara.**

PROVA N°: **CPTU 2** PROF. FALDA (m da p.c.): **2.50**

PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

DATA: **25/07/16** PREFORO (m da p.c.):

LAT. (WGS 84): **44.853680°** LONG. (WGS 84): **11.599053°**

COMMESSA: **14589/15**

C. SITO N°: **S160366 del 26.08.2016** OPERATORE: **L.Zanirato**

prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi
0.02	5.16	8.00	9.93	0.15	2.02	1.95	12.41	46.24	0.44	4.02	1.87	4.88	52.75	0.94	6.02	1.61	35.76	100.28	1.37	8.02	3.00	16.14	4.73	1.67
0.04	5.72	10.44	6.67	0.62	2.04	1.94	12.53	45.43	0.43	4.04	1.74	4.77	52.75	0.95	6.04	1.58	37.76	101.09	1.37	8.04	2.78	15.91	5.54	1.67
0.06	5.98	20.78	10.74	0.07	2.06	1.95	12.31	44.61	0.43	4.06	1.83	10.01	24.58	0.96	6.06	1.58	38.65	101.91	1.35	8.06	2.51	10.36	7.98	1.68
0.08	5.91	26.67	5.86	0.11	2.08	1.97	11.99	43.79	0.44	4.08	1.73	11.90	23.77	0.97	6.08	1.56	38.65	104.35	1.37	8.08	2.25	9.25	8.79	1.67
0.10	5.58	29.44	3.41	0.29	2.10	2.01	11.99	42.98	0.44	4.10	1.68	11.68	25.39	0.99	6.10	1.56	36.76	105.98	1.36	8.10	2.01	10.47	10.42	1.68
0.12	5.62	27.44	2.60	0.30	2.12	1.97	11.78	43.79	0.44	4.12	1.63	9.79	25.39	0.98	6.12	1.58	36.54	105.98	1.36	8.12	1.81	12.47	11.23	1.70
0.14	5.97	34.67	5.05	0.23	2.14	2.03	13.61	45.43	0.48	4.14	1.68	7.01	27.83	0.99	6.14	1.53	36.10	106.79	1.36	8.14	1.51	17.25	7.98	1.72
0.16	6.14	36.89	7.49	0.19	2.16	2.00	15.62	45.43	0.47	4.16	1.75	6.24	31.09	0.99	6.16	1.48	34.87	106.79	1.36	8.16	1.31	16.69	9.61	1.70
0.18	6.28	42.33	8.30	0.22	2.18	1.98	16.84	45.43	0.48	4.18	1.76	6.01	31.91	1.00	6.18	1.49	33.32	109.23	1.36	8.18	1.28	14.36	8.79	1.72
0.20	6.16	44.89	6.67	0.14	2.20	1.97	18.63	45.43	0.51	4.20	1.75	6.90	32.72	1.00	6.20	1.49	31.65	111.68	1.37	8.20	1.26	12.58	7.98	1.71
0.22	6.05	48.89	5.86	0.10	2.22	1.95	19.63	44.61	0.51	4.22	1.78	6.68	35.97	0.98	6.22	1.56	30.76	114.12	1.37	8.22	1.25	11.91	7.98	1.72
0.24	6.06	48.23	5.86	0.06	2.24	1.94	19.19	45.43	0.51	4.24	1.76	5.46	38.42	0.99	6.24	1.61	30.21	115.75	1.37	8.24	1.24	9.58	7.17	1.70
0.26	6.13	48.34	7.49	0.07	2.26	1.95	17.63	44.61	0.51	4.26	1.63	3.91	37.61	0.98	6.26	1.65	30.76	116.56	1.37	8.26	1.31	9.91	5.54	1.72
0.28	5.98	52.94	3.09	0.06	2.28	1.95	16.41	43.79	0.52	4.28	1.72	9.24	38.42	0.98	6.28	1.67	31.65	116.56	1.37	8.28	1.36	10.69	4.73	1.73
0.30	5.76	47.28	3.91	0.05	2.30	1.97	15.31	42.98	0.52	4.30	1.67	12.35	39.23	0.97	6.30	1.66	33.77	115.75	1.39	8.30	1.28	9.36	4.73	1.73
0.32	5.28	50.28	7.98	0.05	2.32	1.99	13.98	42.17	0.53	4.32	1.69	12.69	40.05	0.97	6.32	1.64	35.54	115.75	1.38	8.32	1.19	6.36	5.54	1.74
0.34	5.19	48.18	8.79	0.05	2.34	1.95	13.87	42.17	0.53	4.34	1.73	13.47	42.49	0.98	6.34	1.66	36.88	115.75	1.37	8.34	1.20	5.14	3.91	1.74
0.36	5.27	41.07	10.42	0.04	2.36	1.95	14.09	41.35	0.55	4.36	1.82	12.14	45.75	0.98	6.36	1.64	40.21	114.12	1.38	8.36	1.24	5.03	3.09	1.75
0.38	5.35	36.74	9.61	0.03	2.38	1.95	13.87	41.35	0.53	4.38	1.87	13.14	47.37	0.98	6.38	1.61	45.10	113.31	1.37	8.38	1.25	5.91	2.28	1.75
0.40	5.41	33.52	9.61	0.06	2.40	1.94	14.43	42.17	0.55	4.40	1.84	15.47	47.37	0.98	6.40	1.56	46.77	111.68	1.36	8.40	1.30	5.80	0.65	1.76
0.42	5.39	31.41	9.61	0.05	2.42	1.91	16.21	42.17	0.55	4.42	1.76	17.03	46.56	0.98	6.42	1.53	47.87	110.05	1.38	8.42	1.24	6.25	0.65	1.76
0.44	5.30	30.52	12.05	0.04	2.44	1.89	18.33	42.17	0.56	4.44	1.69	16.59	47.37	0.97	6.44	1.52	46.88	109.23	1.37	8.44	1.25	4.25	0.16	1.75
0.46	5.32	32.30	12.05	0.04	2.46	1.89	18.89	42.98	0.57	4.46	1.67	15.25	49.00	0.99	6.46	1.49	46.77	106.79	1.38	8.46	1.28	5.25	1.79	1.76
0.48	5.43	36.97	15.31	0.04	2.48	1.87	19.45	42.98	0.56	4.48	1.64	14.37	49.81	0.99	6.48	1.49	47.43	105.98	1.37	8.48	1.26	5.81	1.79	1.76
0.50	5.76	35.97	9.61	0.04	2.50	1.84	20.45	43.79	0.57	4.50	1.62	12.81	51.44	1.00	6.50	1.47	45.10	105.17	1.38	8.50	1.20	5.25	2.60	1.77
0.52	5.81	32.87	7.98	0.04	2.52	1.82	20.67	43.79	0.59	4.52	1.62	10.04	53.07	1.01	6.52	1.49	41.66	104.35	1.38	8.52	1.19	4.58	3.41	1.78
0.54	5.87	33.12	13.68	0.04	2.54	1.80	20.01	43.79	0.59	4.54	1.57	8.59	51.44	1.02	6.54	1.52	36.99	103.54	1.39	8.54	1.20	4.47	5.05	1.78
0.56	6.04	28.13	12.87	0.06	2.56	1.82	17.68	44.61	0.61	4.56	1.53	6.26	51.44	1.03	6.56	1.44	34.54	101.91	1.41	8.56	1.19	4.92	6.67	1.78
0.58	5.80	29.47	14.49	0.06	2.58	1.77	13.76	43.79	0.49	4.58	1.47	4.15	49.81	1.04	6.58	1.37	31.99	99.47	1.40	8.58	1.21	5.47	9.11	1.78
0.60	5.78	30.48	16.93	0.04	2.60	1.79	10.35	45.43	0.61	4.60	1.47	4.82	50.63	1.05	6.60	1.35	28.54	97.84	1.40	8.60	1.21	5.92	13.19	1.78
0.62	5.91	33.37	15.31	0.08	2.62	1.82	7.69	43.79	0.62	4.62	1.42	6.04	49.81	1.05	6.62	1.38	25.43	97.84	1.40	8.62	1.25	6.81	18.88	1.80
0.64	6.05	34.26	14.49	0.07	2.64	1.83	5.91	43.79	0.61	4.64	1.44	6.04	50.63	1.08	6.64	1.41	24.65	98.65	1.43	8.64	1.30	7.14	29.47	1.79
0.66	6.21	30.93	13.68	0.09	2.66	1.82	4.80	42.98	0.61	4.66	1.50	5.60	53.07	1.06	6.66	1.42	24.10	100.28	1.42	8.66	1.44	8.36	43.30	1.79
0.68	6.20	31.16	13.68	0.06	2.68	1.84	4.59	42.98	0.62	4.68	1.52	5.05	54.70	1.06	6.68	1.44	21.54	102.73	1.42	8.68	1.54	9.48	55.51	1.81
0.70	6.00	36.61	16.12	0.08	2.70	1.84	5.59	42.17	0.62	4.70	1.51	5.05	53.89	1.06	6.70	1.43	21.66	103.54	1.43	8.70	1.43	8.81	60.39	1.79
0.72	5.73	42.61	17.75	0.07	2.72	1.84	6.81	42.17	0.64	4.72	1.48	4.16	53.89	1.06	6.72	1.43	21.77	103.54	1.45	8.72	1.20	12.93	61.21	1.81
0.74	5.44	47.28	21.01	0.08	2.74	1.80	7.26	42.98	0.64	4.74	1.48	3.27	54.70	1.06	6.74	1.44	21.66	104.35	1.45	8.74	1.15	15.37	96.21	1.81
0.76	5.21	52.28	23.45	0.10	2.76	1.77	8.38	42.98	0.65	4.76	1.53	1.50	57.14	1.06	6.76	1.42	18.43	105.17	1.44	8.76	1.16	14.48	114.12	1.81
0.78	5.04	57.84	25.07	0.11	2.78	1.77	8.83	43.79	0.64	4.78	1.58	1.27	59.58	1.07	6.78	1.41	15.44	105.98	1.45	8.78	1.16	14.48	130.40	1.81
0.80	4.88	60.29	26.70	0.11	2.80	1.81	9.05	42.98	0.65	4.80	1.63	3.05	62.03	1.09	6.80	1.48	12.77	109.23	1.44	8.80	1.19	14.81	146.68	1.81
0.82	4.79	58.29	27.51	0.12	2.82	1.95	9.72	42.98	0.65	4.82	1.65	4.94	63.65	1.08	6.82	1.49	13.11	110.87	1.43	8.82	1.19	14.93	165.40	1.82
0.84	4.68	55.29	29.15	0.14	2.84	2.20	9.84	42.17	0.65	4.84	1.68	7.39	63.65	1.07	6.84	1.50	13.77	110.87	1.44	8.84	1.20	12.82	185.75	1.82
0.86	4.66	54.94	38.10	0.18	2.86	2.36	11.29	41.35	0.67	4.86	1.70	10.95	64.47	1.09	6.86	1.43	14.22	106.79	1.43	8.86	1.21	8.37	200.41	1.81
0.88	4.47	49.72	38.91	0.18	2.88	2.39	12.07	41.35	0.67	4.88	1.71	14.28	64.47	1.08	6.88	1.43	12.44	107.61	1.44	8.88	1.25	8.04	210.99	1.81
0.9																								



elletipi s.r.l.

Sede operativa ed amm.va: Via Annibale Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: info@elletipi.it sito: www.elletipi.it

P IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001. Circolari Ministeriali 7618/STC



COMMITTENTE: **SYNTHESIS S.r.l. - p.zza del Popolo n. 13 int. 5 - Copparo (FE)**

CANTIERE: **Via Michelini, Ferrara.**

PROVA N°: **CPTU 2**

PROF. FALDA (m da p.c.): **2.50**

PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

DATA: **25/07/16**

PREFORO (m da p.c.):

LAT. (WGS 84): **44.853680°**

LONG. (WGS 84): **11.599053°**

COMMESSA: **14589/15**

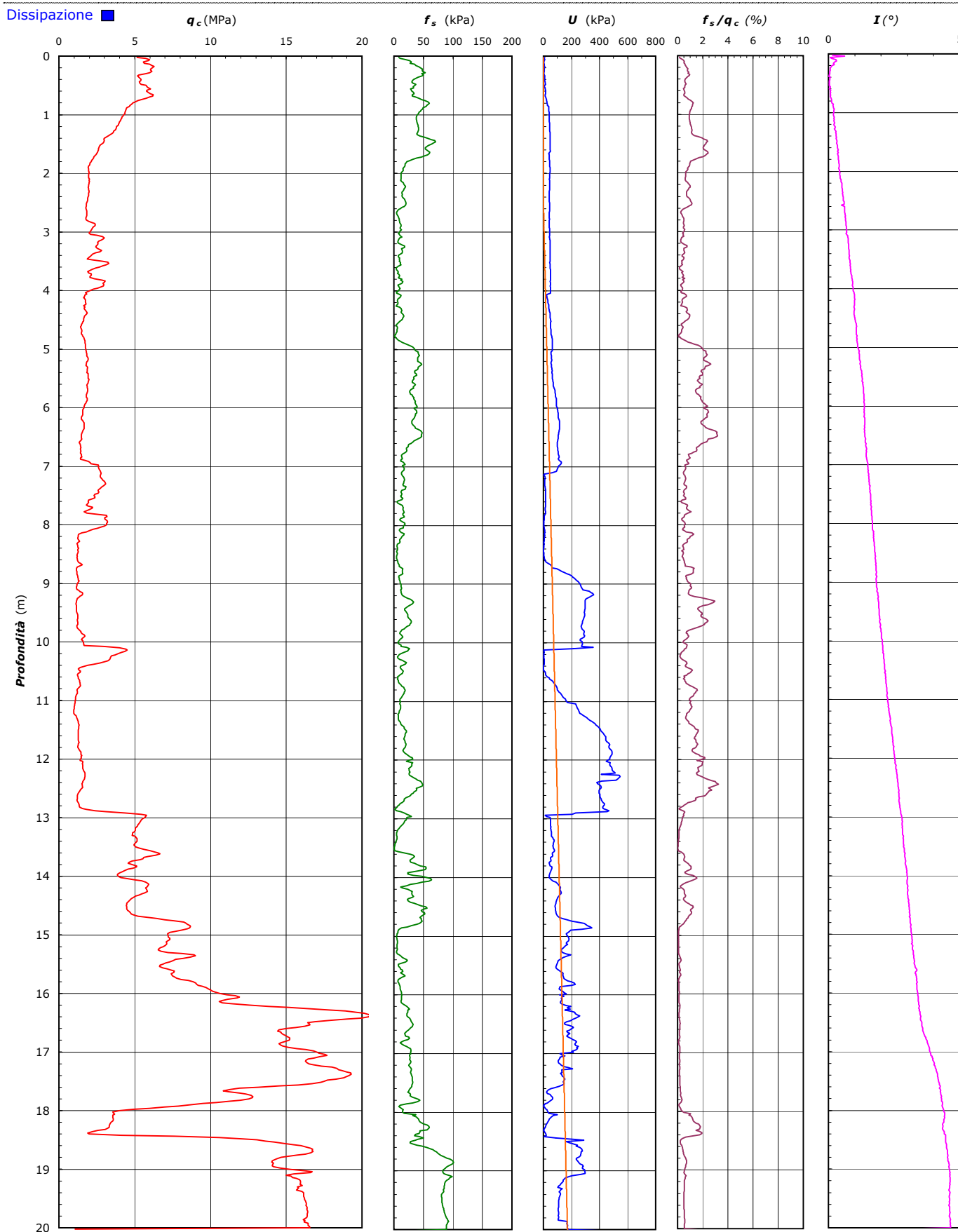
C. SITO N°: **S160366 del 26.08.2016 OPERATORE: L.Zanirato**

prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi
10.02	1.63	9.15	279.36	2.05	12.02	1.38	20.94	447.04	2.53	14.02	4.09	62.56	46.56	3.00	16.02	11.10	13.05	146.68	3.39	18.02	3.56	17.76	39.73	4.39
10.04	1.63	12.49	273.67	2.05	12.04	1.56	31.94	476.35	2.53	14.04	4.47	64.00	56.33	3.00	16.04	11.65	12.83	131.21	3.40	18.04	3.57	37.37	98.65	4.42
10.06	1.66	12.26	272.85	2.04	12.06	1.57	30.72	472.28	2.54	14.06	5.00	59.22	71.79	3.00	16.06	11.91	13.05	128.77	3.41	18.06	3.67	32.28	70.17	4.41
10.08	2.95	21.49	355.07	2.06	12.08	1.55	30.72	473.09	2.53	14.08	5.46	48.11	88.07	2.99	16.08	11.75	13.16	132.03	3.41	18.08	3.55	38.17	57.95	4.42
10.10	4.01	26.94	213.43	2.06	12.10	1.56	30.39	477.17	2.54	14.10	5.72	38.55	97.84	2.99	16.10	11.14	12.27	128.77	3.42	18.10	3.55	40.62	47.37	4.41
10.12	4.42	24.27	2.28	2.07	12.12	1.57	28.27	486.12	2.57	14.12	5.87	27.77	105.98	2.99	16.12	10.75	11.83	121.45	3.42	18.12	3.55	41.84	41.67	4.41
10.14	4.50	23.27	3.41	2.07	12.14	1.58	25.27	490.19	2.57	14.14	5.92	22.11	111.68	2.99	16.14	10.57	12.83	120.63	3.42	18.14	3.58	42.96	37.61	4.40
10.16	4.36	17.16	5.05	2.06	12.16	1.57	25.72	489.37	2.56	14.16	5.87	11.54	121.45	3.00	16.16	10.80	16.05	135.29	3.44	18.16	3.59	44.29	33.53	4.38
10.18	4.14	12.27	4.23	2.08	12.18	1.60	26.16	494.26	2.56	14.18	5.83	14.21	121.45	3.02	16.18	11.43	19.60	164.59	3.43	18.18	3.54	46.74	29.47	4.39
10.20	3.91	9.50	3.41	2.07	12.20	1.63	27.72	505.65	2.59	14.20	5.73	23.21	119.82	3.00	16.20	12.56	21.72	195.52	3.44	18.20	3.44	50.85	22.95	4.38
10.22	3.69	7.39	3.41	2.10	12.22	1.70	26.05	512.17	2.58	14.22	5.77	28.22	122.26	3.01	16.22	13.86	24.05	168.66	3.46	18.22	3.38	56.30	19.69	4.36
10.24	3.45	5.83	2.60	2.10	12.24	1.73	25.72	412.86	2.59	14.24	5.82	31.33	125.51	3.02	16.24	15.12	26.49	193.08	3.44	18.24	3.35	59.08	15.63	4.34
10.26	3.42	7.05	4.23	2.10	12.26	1.72	26.94	541.47	2.60	14.26	5.83	30.44	127.15	3.02	16.26	16.51	23.49	154.01	3.44	18.26	3.32	59.97	11.55	4.35
10.28	3.38	10.05	5.86	2.10	12.28	1.73	30.39	546.35	2.60	14.28	5.67	30.77	123.89	3.01	16.28	17.89	23.94	200.41	3.47	18.28	3.31	58.75	7.49	4.34
10.30	3.34	14.27	6.67	2.11	12.30	1.72	34.16	538.21	2.60	14.30	5.48	31.22	116.56	3.01	16.30	18.90	23.82	224.83	3.45	18.30	3.24	56.42	4.23	4.34
10.32	3.24	18.16	7.49	2.12	12.32	1.70	37.39	530.89	2.61	14.32	5.29	33.66	109.23	3.01	16.32	19.62	22.26	227.27	3.48	18.32	3.06	44.42	3.09	4.34
10.34	3.03	21.60	7.49	2.12	12.34	1.68	40.27	519.49	2.61	14.34	5.07	31.55	103.54	3.02	16.34	20.13	22.04	243.55	3.48	18.34	2.59	44.20	10.42	4.36
10.36	2.70	19.82	5.86	2.11	12.36	1.64	44.50	415.30	2.63	14.36	4.92	24.55	98.65	3.02	16.36	20.43	22.26	258.20	3.48	18.36	2.21	42.75	15.31	4.40
10.38	2.26	15.16	2.60	2.12	12.38	1.58	47.27	381.93	2.63	14.38	4.79	22.77	94.59	3.03	16.38	20.58	24.15	241.92	3.49	18.38	1.89	36.20	18.56	4.41
10.40	1.91	11.71	0.97	2.14	12.40	1.56	48.16	386.81	2.63	14.40	4.71	24.22	92.95	3.04	16.40	20.45	26.59	231.33	3.51	18.40	1.97	34.76	18.56	4.41
10.42	1.60	10.38	1.47	2.13	12.42	1.52	49.49	400.65	2.64	14.42	4.64	28.33	90.51	3.05	16.42	19.93	28.26	209.36	3.49	18.42	4.10	43.54	6.67	4.45
10.44	1.40	11.93	0.65	2.13	12.44	1.55	47.60	410.41	2.64	14.44	4.55	34.55	88.07	3.04	16.44	19.03	28.70	190.63	3.50	18.44	7.62	50.10	90.51	4.45
10.46	1.28	14.04	0.97	2.13	12.46	1.54	42.60	412.05	2.65	14.46	4.47	40.54	85.63	3.06	16.46	17.88	29.58	166.21	3.50	18.46	10.58	40.43	218.31	4.45
10.48	1.32	15.71	6.67	2.13	12.48	1.56	38.27	409.60	2.64	14.48	4.46	46.66	84.00	3.05	16.48	16.90	31.47	151.57	3.53	18.48	12.12	36.76	287.50	4.46
10.50	1.43	15.38	12.37	2.14	12.50	1.51	38.60	399.02	2.67	14.50	4.45	53.77	83.19	3.07	16.50	16.42	32.58	154.82	3.54	18.50	13.06	28.43	164.59	4.46
10.52	1.39	14.26	15.63	2.16	12.52	1.42	38.38	396.58	2.66	14.52	4.47	56.10	84.81	3.06	16.52	16.53	31.90	182.49	3.54	18.52	13.62	27.55	189.01	4.45
10.54	1.28	10.37	17.25	2.14	12.54	1.38	34.60	396.58	2.67	14.54	4.49	50.99	86.45	3.08	16.54	16.57	31.12	209.36	3.54	18.54	14.20	30.88	211.80	4.45
10.56	1.21	8.82	20.51	2.16	12.56	1.34	32.60	398.21	2.68	14.56	4.46	46.32	85.63	3.07	16.56	16.24	29.00	215.05	3.56	18.56	14.82	39.10	241.92	4.47
10.58	1.25	6.37	29.47	2.16	12.58	1.28	29.82	403.09	2.67	14.58	4.55	47.87	88.07	3.07	16.58	15.62	26.45	197.15	3.57	18.58	15.47	47.11	234.59	4.48
10.60	1.28	7.15	40.05	2.17	12.60	1.25	28.49	403.91	2.68	14.60	4.61	51.54	89.70	3.09	16.60	15.03	24.33	184.94	3.58	18.60	15.96	55.77	259.83	4.49
10.62	1.27	5.71	45.75	2.18	12.62	1.21	26.04	403.09	2.67	14.62	4.71	52.43	93.77	3.07	16.62	14.51	21.99	167.03	3.58	18.62	16.31	61.78	271.22	4.50
10.64	1.32	7.70	60.39	2.17	12.64	1.21	20.26	406.35	2.68	14.64	4.78	49.87	97.03	3.09	16.64	14.43	19.76	174.35	3.58	18.64	16.61	65.89	276.11	4.49
10.66	1.36	7.59	68.53	2.18	12.66	1.22	17.26	412.05	2.68	14.66	4.93	46.21	101.91	3.09	16.66	14.64	18.42	189.01	3.60	18.66	16.74	69.00	277.73	4.50
10.68	1.38	8.70	75.05	2.18	12.68	1.21	17.82	412.05	2.69	14.68	5.23	44.21	114.12	3.10	16.68	14.69	18.86	175.99	3.62	18.68	16.71	71.89	268.78	4.52
10.70	1.39	9.59	81.56	2.19	12.70	1.20	16.59	418.55	2.68	14.70	5.71	46.09	134.47	3.08	16.70	14.79	20.07	165.40	3.64	18.70	16.77	74.89	268.78	4.53
10.72	1.40	11.81	87.26	2.18	12.72	1.22	13.48	426.69	2.67	14.72	6.45	46.31	169.47	3.10	16.72	14.97	25.07	175.99	3.65	18.72	16.62	77.78	267.15	4.52
10.74	1.42	13.70	92.95	2.20	12.74	1.26	10.38	435.65	2.68	14.74	6.99	47.76	202.03	3.11	16.74	15.12	26.40	194.71	3.67	18.74	16.27	79.78	264.71	4.52
10.76	1.39	16.59	96.21	2.20	12.76	1.31	8.82	434.83	2.69	14.76	7.55	46.09	239.47	3.10	16.76	15.23	23.73	211.80	3.70	18.76	15.73	84.88	255.75	4.53
10.78	1.31	17.26	97.84	2.20	12.78	1.32	6.71	429.95	2.69	14.78	8.23	43.64	290.76	3.11	16.78	15.24	17.84	225.64	3.71	18.78	15.07	89.44	237.85	4.53
10.80	1.25	19.04	100.28	2.21	12.80	1.33	5.60	421.00	2.71	14.80	8.36	38.98	299.71	3.11	16.80	15.19	12.72	235.41	3.73	18.80	14.67	95.21	233.78	4.53
10.82	1.19	18.70	104.35	2.21	12.82	1.37	2.82	425.07	2.72	14.82	8.46	29.64	313.55	3.11	16.82	14.94	10.83	229.71	3.75	18.82	14.41	98.65	238.66	4.54
10.84	1.20	17.48	112.49	2.22	12.84	1.55	1.82	440.53	2.72	14.84	8.64	22.64	335.53	3.13	16.84	14.65	13.39	224.83	3.76	18.84	14.20	100.54	245.99	4.54
10.86	1.22	17.26																						

COMMITTENTE: **SYNTHESIS S.r.l. - p.zza del Popolo n. 13 int. 5 - Copparo (FE)**

CANTIERE: **Via Michelini, Ferrara.**

PROVA N°: CPTU 2 PROF. FALDA (m da p.c.): 2.50 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA: 25/07/16 PREFORO (m da p.c.): LAT. (WGS 84): 44.853680° LONG. (WGS 84): 11.599053°
COMMESSA: 14589/15 C. SITO N°: S160366 del 26.08.2016 OPERATORE: L.Zanirato



COMMITTENTE: **SYNTHESIS S.r.l. - p.zza del Popolo n. 13 int. 5 - Copparo (FE)**

CANTIERE: **Via Michelini, Ferrara.**

PROVA N°:	CPTU 2	PROF. FALDA (m da p.c.):	2.50	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA:	25/07/16	PREFORO (m da p.c.):		LAT. (WGS 84): 44.853680° LONG. (WGS 84): 11.599053°
COMMESSA:	14589/15	C. SITO N°:	S160366 del 26.08.2016 OPERATORE:	L.Zanirato

UBICAZIONE

Località: Via Michelini, Ferrara.



NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisrl.com	COMUNE DI FERRARA VARIANTE AL POC ADOTTATA CON DELIBERA CONSILIARE PG 37005/2015 INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DELLA DGR 2193/2015 COMPARTO POC 9ASPCN01	RIF. 098/16-ES-REV01 DEL 09/09/2016 PI109/16-ES-REV00 DEL 05/07/2016
--	--	---	---

- Allegato 2 -

REPORT PROVA CPTU

CPTU1 - STIMA PARAMETRI GEOTECNICI - TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 1	0,72	58,82	3,59	0,07	0,07	Terzaghi	2,94
Strato 2	2,60	29,23	3,51	0,33	0,33	Terzaghi	1,46
Strato 3	4,82	21,46	0,93	0,74	0,62	Terzaghi	1,07
Strato 4	9,26	18,57	2,27	1,41	0,95	Terzaghi	0,93
Strato 5	12,80	15,63	1,96	2,21	1,35	Terzaghi	0,78
Strato 6	14,80	51,83	2,79	2,76	1,63	Terzaghi	2,59
Strato 8	18,42	33,04	4,51	3,74	2,17	Terzaghi	1,65
Strato 9	20,00	158,63	8,23	3,94	2,27	Terzaghi	7,93

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	0,72	58,82	3,59	0,07	0,07	Meyerhof	2,15
Strato 2	2,60	29,23	3,51	0,33	0,33	Meyerhof	2,03
Strato 3	4,82	21,46	0,93	0,74	0,62	Meyerhof	1,98
Strato 4	9,26	18,57	2,27	1,41	0,95	Meyerhof	1,95
Strato 5	12,80	15,63	1,96	2,21	1,35	Meyerhof	1,92
Strato 6	14,80	51,83	2,79	2,76	1,63	Meyerhof	2,13
Strato 8	18,42	33,04	4,51	3,74	2,17	Meyerhof	2,05
Strato 9	20,00	158,63	8,23	3,94	2,27	Meyerhof	2,32

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0,72	58,82	3,59	0,07	0,07	Meyerhof	2,23
Strato 2	2,60	29,23	3,51	0,33	0,33	Meyerhof	2,11
Strato 3	4,82	21,46	0,93	0,74	0,62	Meyerhof	2,06
Strato 4	9,26	18,57	2,27	1,41	0,95	Meyerhof	2,03
Strato 5	12,80	15,63	1,96	2,21	1,35	Meyerhof	2,00
Strato 6	14,80	51,83	2,79	2,76	1,63	Meyerhof	2,21
Strato 8	18,42	33,04	4,51	3,74	2,17	Meyerhof	2,13
Strato 9	20,00	158,63	8,23	3,94	2,27	Meyerhof	2,40

CPTU1 - STIMA PARAMETRI GEOTECNICI - TERRENI INCOERENTI**Angolo di resistenza al taglio**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	0,72	58,82	3,59	0,07	0,07	Schmertmann	42,00
Strato 7	18,00	125,53	1,98	3,33	1,94	Schmertmann	36,57
Strato 9	20,00	158,63	8,23	3,94	2,27	Schmertmann	37,18

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	0,72	58,82	3,59	0,07	0,07	Meyerhof	1,80
Strato 7	18,00	125,53	1,98	3,33	1,94	Meyerhof	1,90
Strato 9	20,00	158,63	8,23	3,94	2,27	Meyerhof	1,80

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	0,72	58,82	3,59	0,07	0,07	Meyerhof	2,10
Strato 7	18,00	125,53	1,98	3,33	1,94	Meyerhof	2,20
Strato 9	20,00	158,63	8,23	3,94	2,27	Meyerhof	2,10

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesisr.com	COMUNE DI FERRARA VARIANTE AL POC ADOTTATA CON DELIBERA CONSILIARE PG 37005/2015 INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DELLA DGR 2193/2015 COMPARTO POC 9ASPCN01	RIF. 098/16-ES-REV01 DEL 09/09/2016 PI109/16-ES-REV00 DEL 05/07/2016
--	---	---	---

- Allegati 3/6 -

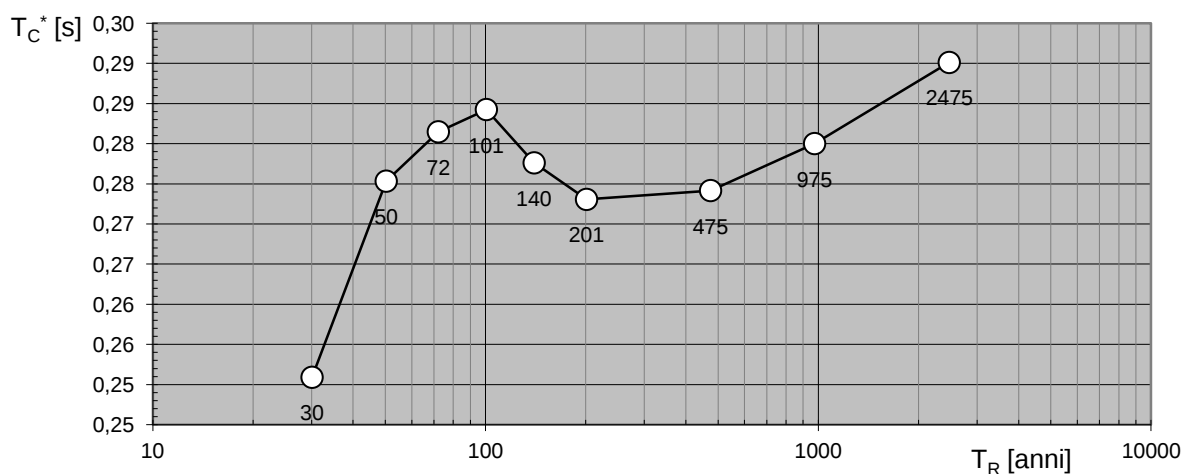
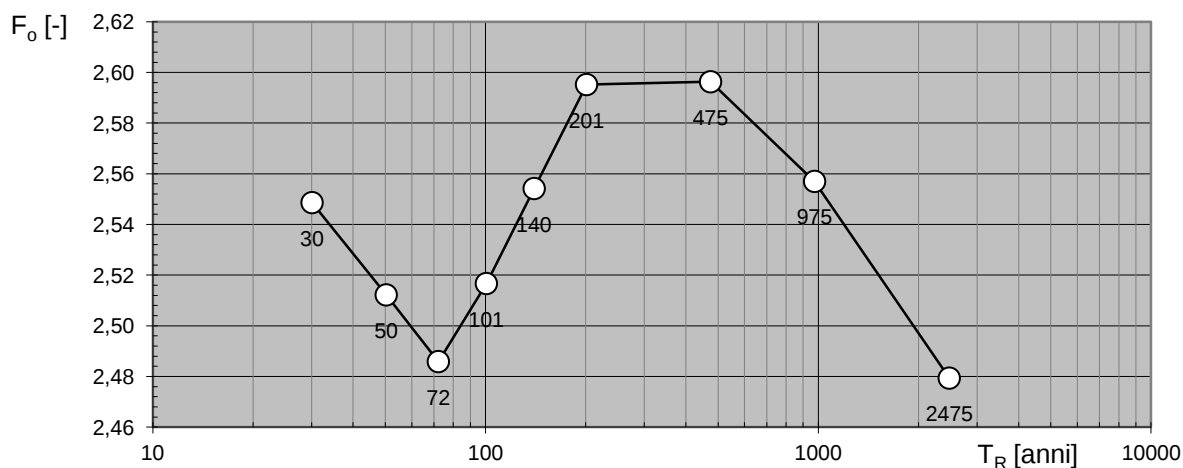
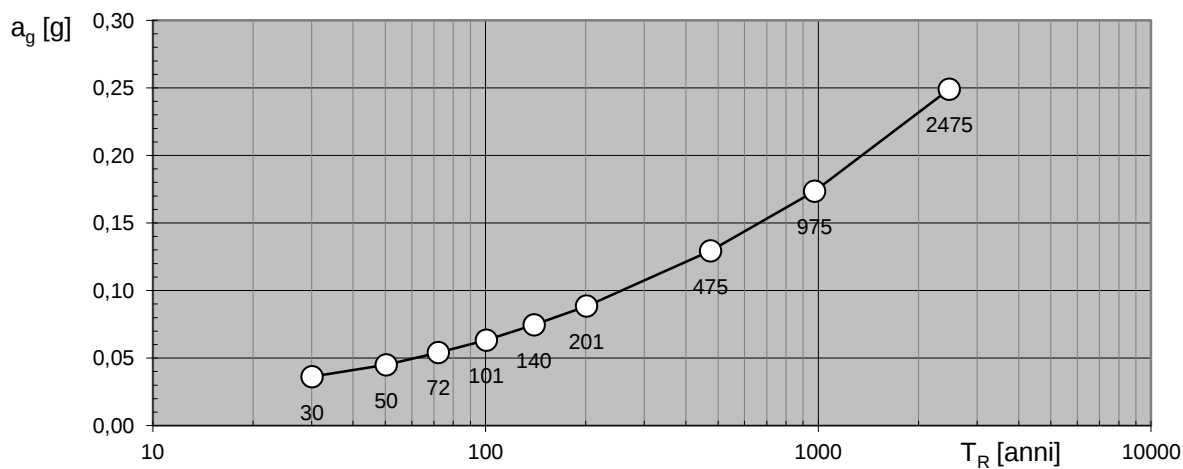
VALORI DEI PARAMETRI A_G , F_O , T^*_C

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,036	2,549	0,251
50	0,045	2,512	0,275
72	0,054	2,486	0,281
101	0,063	2,517	0,284
140	0,075	2,554	0,278
201	0,089	2,595	0,273
475	0,129	2,596	0,274
975	0,173	2,557	0,280
2475	0,249	2,479	0,290

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

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R



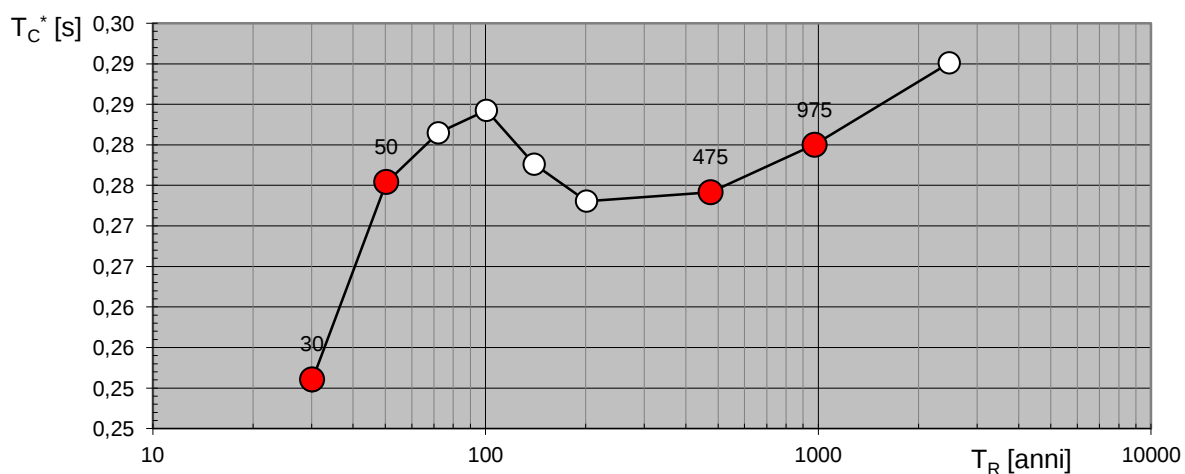
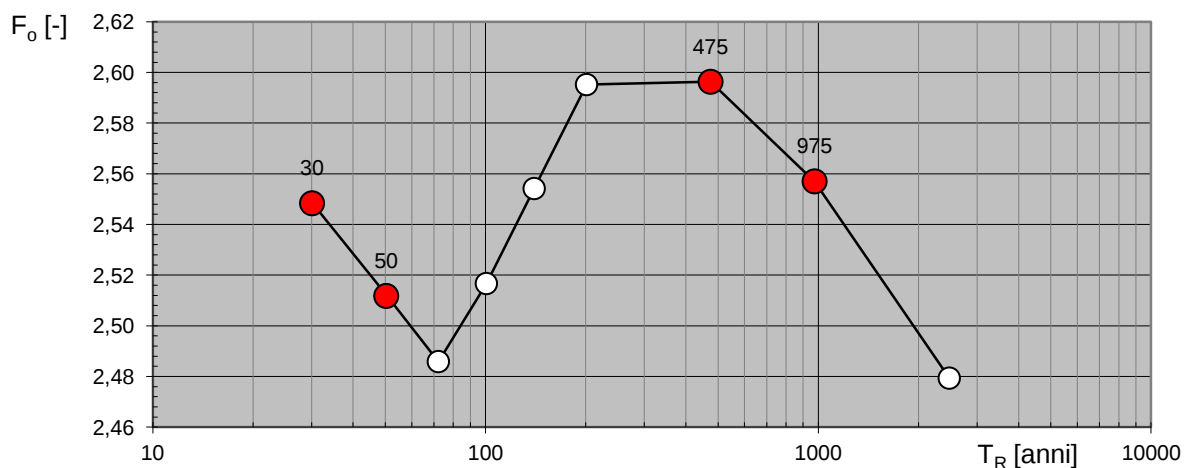
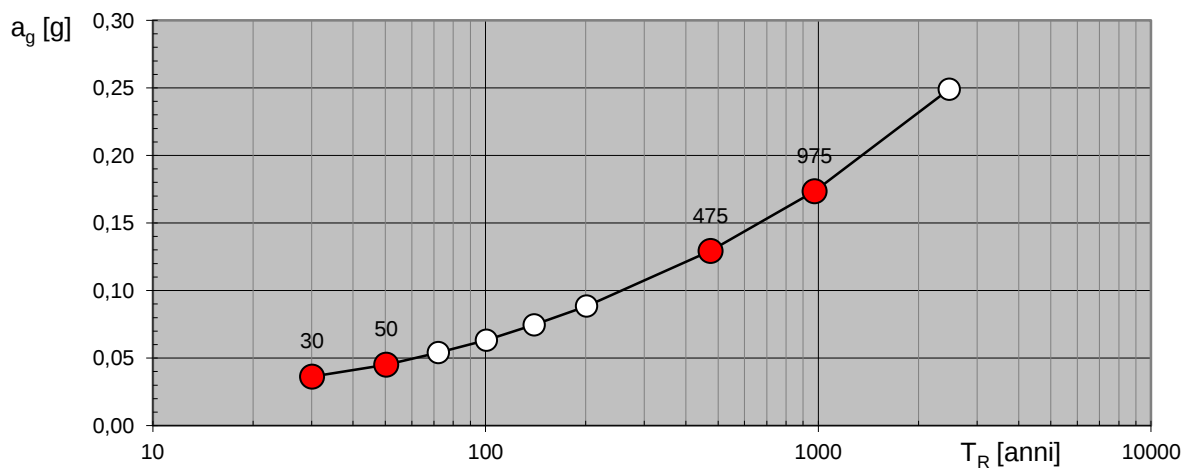
La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,036	2,548	0,251
SLD	50	0,045	2,512	0,275
SLV	475	0,129	2,596	0,274
SLC	975	0,173	2,557	0,280

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

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



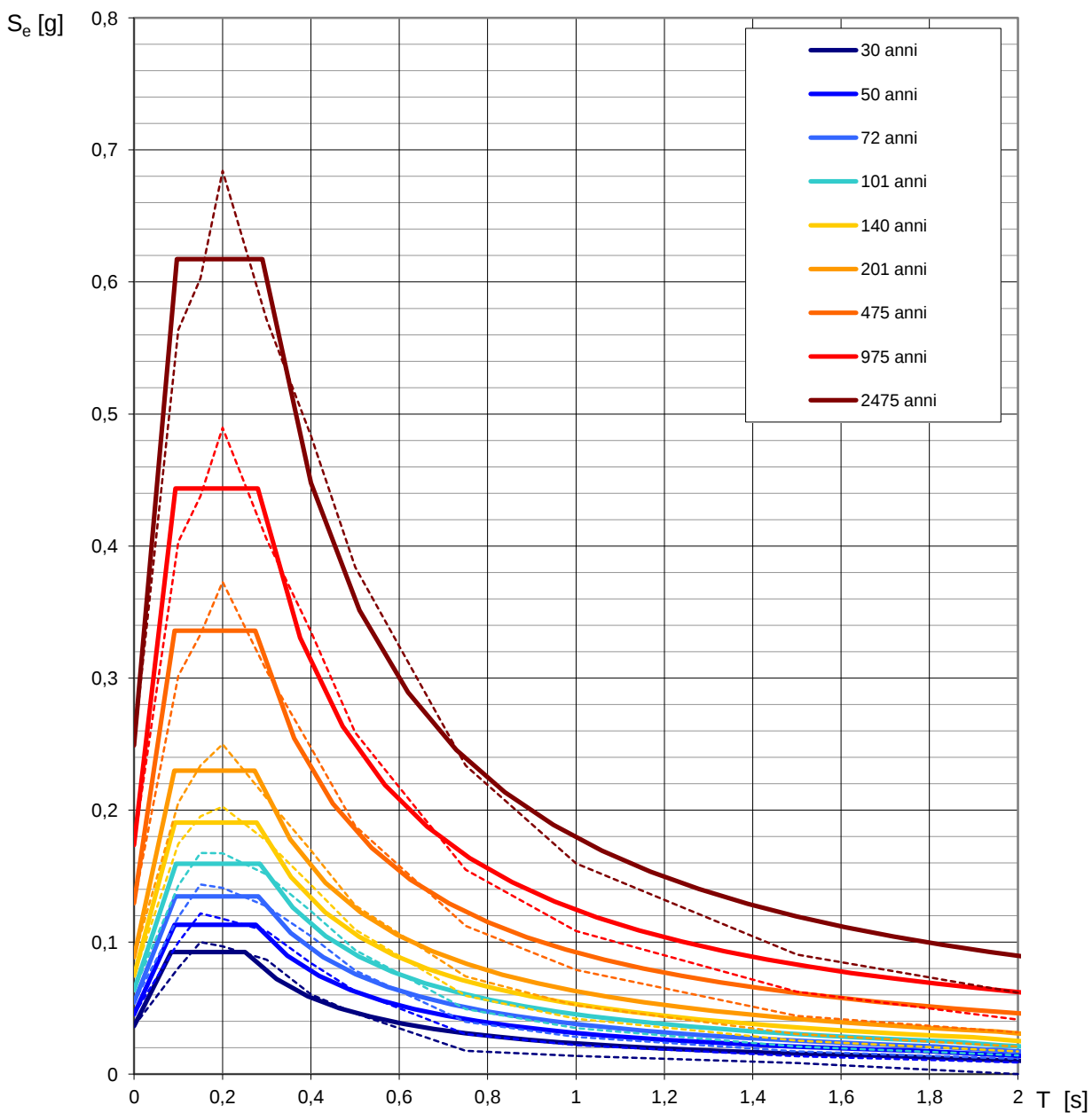
La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

	Dr. Geol. Emanuele Stevanin Piazza del Popolo civ. 13 – int. 5 44034 – Copparo – Fe Tel. 0532 860546 – Fax 0532 385035 e.stevanin@synthesissrl.com	COMUNE DI FERRARA VARIANTE AL POC ADOTTATA CON DELIBERA CONSILIARE PG 37005/2015 INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DELLA DGR 2193/2015 COMPARTO POC 9ASPCN01	RIF. 098/16-ES-REV01 DEL 09/09/2016 PI109/16-ES-REV00 DEL 05/07/2016
--	---	---	---

- Allegati 7/11 -

SPETTRI DI RISPOSTA E PARAMETRI SLV

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento

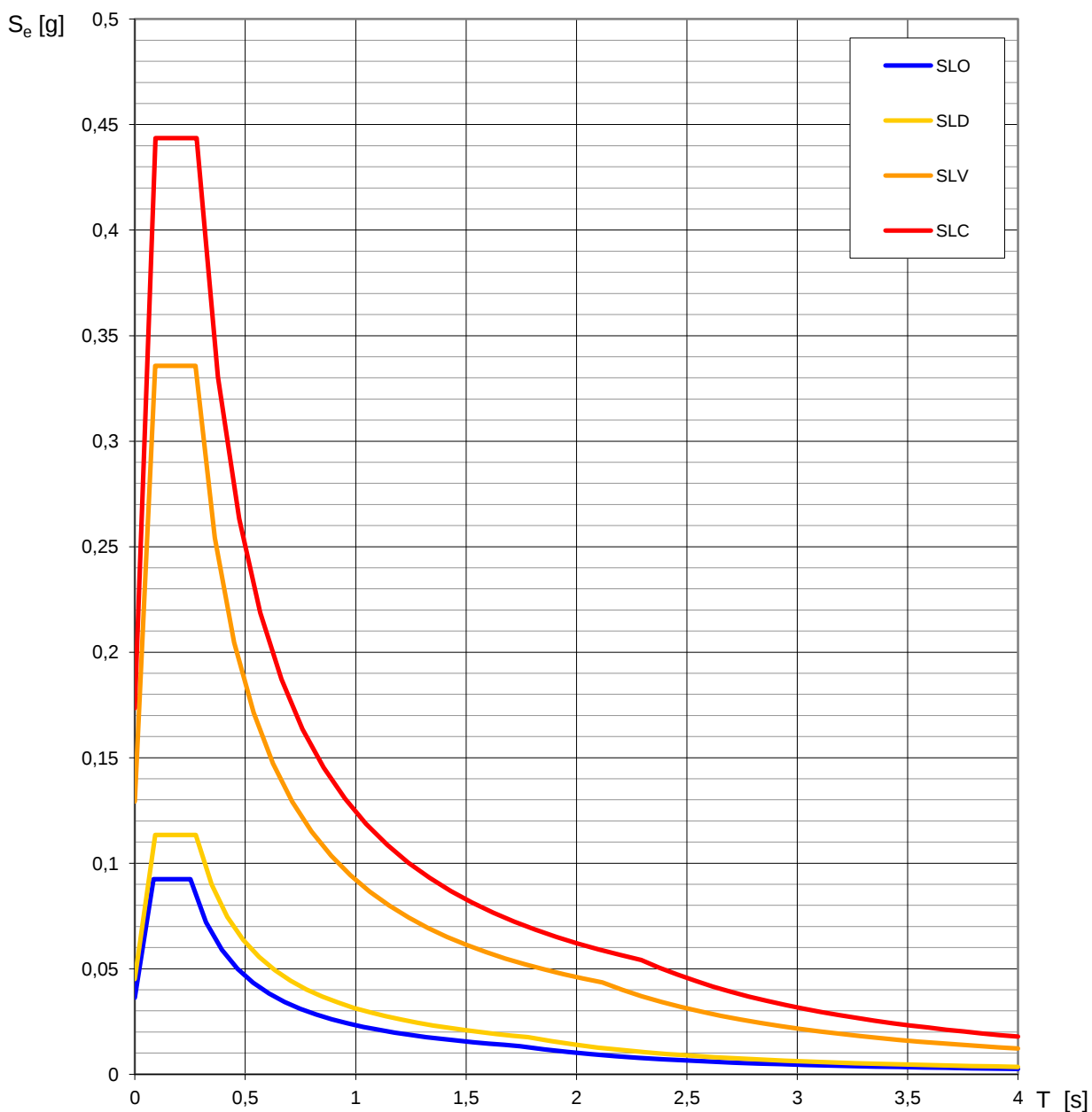


NOTA:

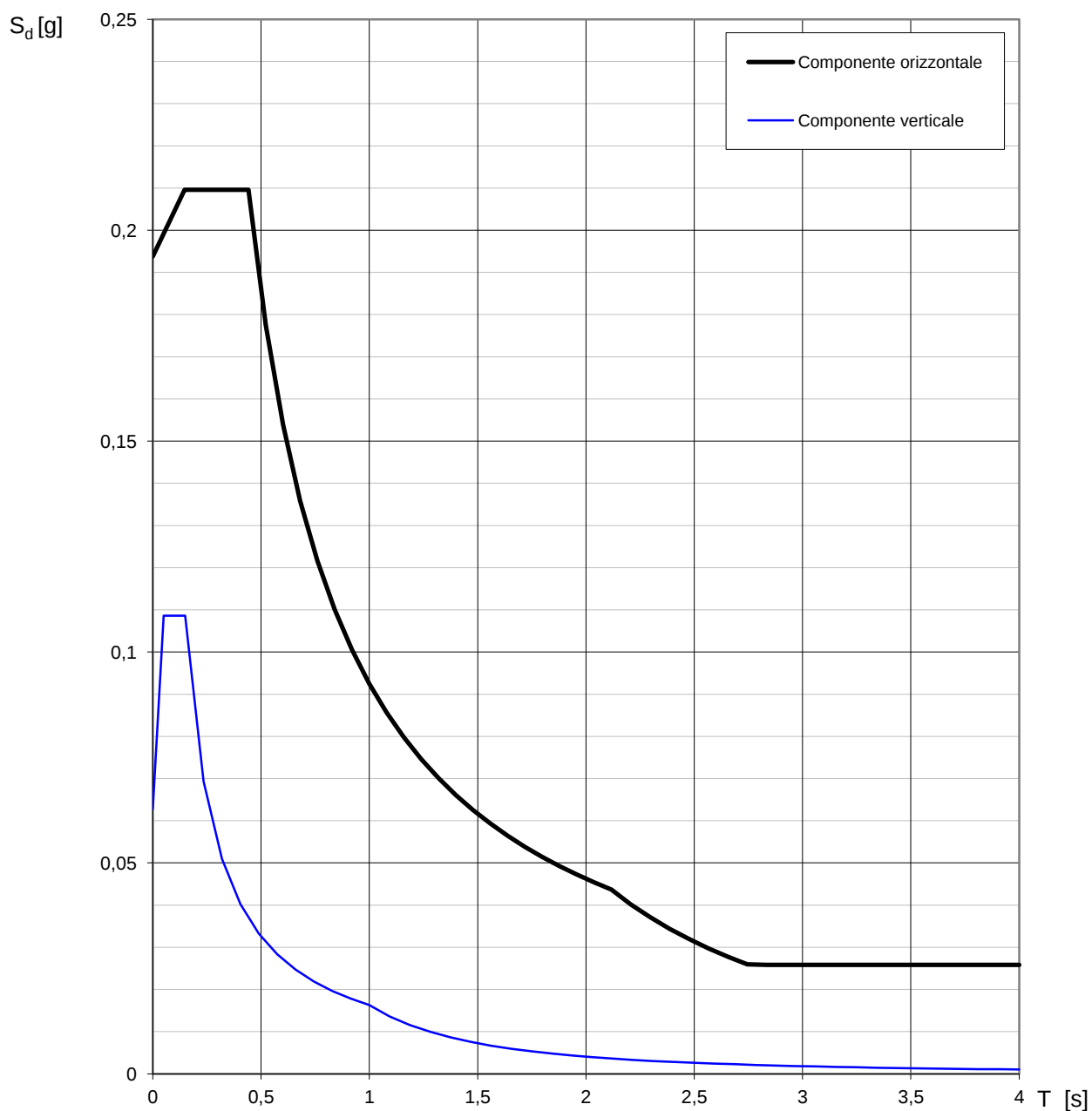
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

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

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



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

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

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

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,129 g
F_0	2,596
T_C^*	0,274 s
S_S	1,499
C_C	1,609
S_T	1,000
q	2,400

Parametri dipendenti

S	1,499
η	0,417
T_B	0,147 s
T_C	0,441 s
T_D	2,117 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,194
$T_B \leftarrow$	0,147	0,210
$T_C \leftarrow$	0,441	0,210
	0,521	0,178
	0,601	0,154
	0,681	0,136
	0,760	0,122
	0,840	0,110
	0,920	0,101
	1,000	0,092
	1,080	0,086
	1,160	0,080
	1,239	0,075
	1,319	0,070
	1,399	0,066
	1,479	0,063
	1,559	0,059
	1,638	0,056
	1,718	0,054
	1,798	0,051
	1,878	0,049
	1,958	0,047
	2,037	0,045
$T_D \leftarrow$	2,117	0,044
	2,207	0,040
	2,297	0,037
	2,386	0,034
	2,476	0,032
	2,565	0,030
	2,655	0,028
	2,745	0,026
	2,834	0,026
	2,924	0,026
	3,014	0,026
	3,103	0,026
	3,193	0,026
	3,283	0,026
	3,372	0,026
	3,462	0,026
	3,552	0,026
	3,641	0,026
	3,731	0,026
	3,821	0,026
	3,910	0,026
	4,000	0,026

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

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0,063 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,260
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,063
$T_B \leftarrow$	0,050	0,109
$T_C \leftarrow$	0,150	0,109
	0,235	0,069
	0,320	0,051
	0,405	0,040
	0,490	0,033
	0,575	0,028
	0,660	0,025
	0,745	0,022
	0,830	0,020
	0,915	0,018
$T_D \leftarrow$	1,000	0,016
	1,094	0,014
	1,188	0,012
	1,281	0,010
	1,375	0,009
	1,469	0,008
	1,563	0,007
	1,656	0,006
	1,750	0,005
	1,844	0,005
	1,938	0,004
	2,031	0,004
	2,125	0,004
	2,219	0,003
	2,313	0,003
	2,406	0,003
	2,500	0,003
	2,594	0,002
	2,688	0,002
	2,781	0,002
	2,875	0,002
	2,969	0,002
	3,063	0,002
	3,156	0,002
	3,250	0,002
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,001
	3,906	0,001
	4,000	0,001

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