



# GeoHydroData S.a.s.

**Sistemi e metodi per investigare il sottosuolo**

45100 ROVIGO – Via Porta a Mare, 9

Tel & fax : 0425 490494 - PEC : [geohydrodatasas@pec.it](mailto:geohydrodatasas@pec.it)

e.mail : [geohydrodata@alice.it](mailto:geohydrodata@alice.it)

C.F. e P.IVA : 00923960298 - C.C.I.A.A. ROVIGO n. 103689 - Trib. Reg. Soc. n. 6919

Spett.li

**RENO GAS di Manservisi I. e Balboni L. Sas**

Via Modena, 112/c

40017 S. Giovanni in Persiceto (Bologna)

**Manservisi Ivano**

Via Viviana Manservisi, 38

44042 Cento (Ferrara)

**Balboni Licia**

Via A. Gramsci, 15

40010 Sala Bolognese (Bologna)

**Balboni Livia**

Via A. Gramsci, 15

40010 Sala Bolognese (Bologna)

## **ANALISI DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICO TECNICHE DELL'AREA INTEGRATE DALLE VALUTAZIONI DELLA RISPOSTA SISMICA DEI TERRENI**

### **Lavoro:**

*Esecuzione di verifiche geotecniche e geofisiche con stesura di relazione geologico tecnica e sismica dei terreni su cui è ubicato un impianto per la produzione di conglomerato bituminoso in disuso.*

*Relazione da allegarsi alla richiesta di introduzione nella prossima variante di P.R.G. della specifica perimetrazione dell'area e della sua futura destinazione d'uso a distributore carburanti ed attività accessorie.*

### **Località:**

*Via Statale n.116 - Corporeno di Cento (Ferrara)*

### **Catastalmente:**

*C.T. F. 36 mapp. 216 et 384.*

Prot. n° 19 - Dicembre 2014

**GeoHydroData s.a.s.**  
45100 ROVIGO Via Porta a Mare 9  
tel. e fax /0425 490494  
e.mail: [geohydrodata@alice.it](mailto:geohydrodata@alice.it)  
c.f. e p. IVA: 00923960298



# INDICE

<i>Premessa</i>			pag.	1
<b>Parte Prima</b>			“	4
<b>Valutazioni geologiche ed idrogeologiche generali</b>				
<i>Inquadramento geologico e geomorfologico</i>			“	5
<i>Inquadramento litologico di superficie</i>			“	7
<i>Inquadramento idrogeologico</i>			“	8
- <i>Inquadramento idrogeologico permeab. dei suoli</i>			“	8
<i>Inquadramento altimetrico</i>			“	9
<i>Rischio potenziale</i>			“	10
<i>Qualità geotecniche</i>			“	11
<i>Tav. 1 Carta Geomorfologica (stralcio)</i>	<i>sc. 1:40.000</i>			
<i>Tav. 2 Carta delle litologie di superficie (stralcio)</i>	<i>sc. 1:40.000</i>			
<i>Tav. 3 Carta della superficie freatica (stralcio)</i>	<i>sc. 1:40.000</i>			
<i>Tav. 4 Carta altimetrica (stralcio)</i>	<i>sc. 1:40.000</i>			
<i>Tav. 5 Carta del rischio potenziale (stralcio)</i>	<i>sc. 1:40.000</i>			
<i>Tav. 6 Carta delle qualità geotecniche (stralcio)</i>	<i>sc. 1:40.000</i>			
<i>Relazione sismica del PSC - stralcio</i>			“	15
<i>Tav. 7 Carta semaforica 1° livello</i>	<i>sc. 1:35.000</i>			
<i>Microzonazione sismica</i>			“	18
<i>Tav. 8A Carta microzone omogenee (Vers. 1.2)</i>	<i>sc. 1:10.000</i>			
<i>Tav. 8B Carta microzone omogenee (Vers. 2)</i>	<i>sc. 1:10.000</i>			
<b>Caratterizzazione geotecnica del sito</b>				
<i>Tav.9 Carta ubicazione prove</i>	<i>sc. 1:1.500 ca.</i>			
<i>Valutazioni geotecniche</i>			“	23
- <i>Litostratigrafia semplificata</i>			“	23
- <i>Diagrammi di resistenza alla punta qc</i>			“	23
- <i>Profondità livello statico della falda</i>			“	26
- <i>Natura prevalente</i>			“	26
- <i>Caratteristiche geotecniche</i>			“	27

**Parte Seconda**

“ 28

**Analisi e caratterizzazione sismica del sito**

<b>A - Risposta sismica di base</b>	“	29
a) Ubicazione del sito e zonizzazione sismica	“	29
b) Parametri e coefficienti sismici di cui al DM 14.1.2008	“	30
<b>B - Risposta sismica locale</b>	“	32
c) Determinazione della $V_{s30}$ mediante manicotto sismico	“	32
d) Determinazione della categoria topografica	“	33
e) Determinazione dell'amplificazione stratigrafica	“	33
f) Determinazione dell'accelerazione massima	“	34
g) Magnitudo di riferimento	“	35
h) Verifica del potenziale di liquefazione	“	35
- calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione	“	38
- risultati della verifica del rischio di liquefazione	“	39

**Verifiche della sicurezza e delle prestazioni delle opere di fondazione e calcolo dei cedimenti teorici**

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)	“	45
- Verifica agli Stati Limite Ultimi	“	46
- Calcolo della resistenza del sistema geotecnico $R_d$ e ced. teorici	“	46
- Tabelle riassuntive dati ottenuti	“	50
<b>Conclusioni</b>	“	54

**Appendice**

“ 57

<b>Prove penetrometriche statiche - CPT</b>	“	58
Documentazione fotografica	“	59
Certificazione delle caratt. della strumentazione utilizzata	“	61
Certificato di verifica post taratura	“	62
Legende : valori di resistenza	“	63
valutazioni litologiche	“	64
parametri geotecnici	“	65
Risultanze SCPT eseguite	“	66
<b>Parametri e coefficienti sismici</b>	“	79
Valutazione della pericolosità sismica	“	80
Verifica del pot. di liquefazione e calcolo cedim. post sisma - CPT 1	“	84
Verifica del pot. di liquefazione e calcolo cedim. post sisma - CPT 2	“	89
Verifica del pot. di liquefazione e calcolo cedim. post sisma - CPT 3	“	94
Calcolo della capacità portante:metodi utilizzati	“	99

Spett.li

**RENO GAS di Manservisi I. e Balboni L. Sas**  
*Via Modena, 112/c*  
**40017 S. Giovanni in Persiceto (Bologna)**

**Manservisi Ivano**  
*Via Viviana Manservisi, 38*  
**44042 Cento (Ferrara)**

**Balboni Licia**  
*Via A. Gramsci, 15*  
**40010 Sala Bolognese (Bologna)**

**Balboni Livia**  
*Via A. Gramsci, 15*  
**40010 Sala Bolognese (Bologna)**

Lavoro:

*Esecuzione di verifiche geotecniche con stesura di relazione geologico tecnica e sismica dei terreni su cui è ubicato un vecchio impianto per la produzione di conglomerato bituminoso non più funzionante.*

*Richiesta di modifica della destinazione urbanistica onde far riconoscere per i terreni interessati una loro vocazione produttiva con il futuro insediamento di un nuovo impianto di distribuzione di carburante.*

Località:

*Via Statale n.116 - Corporeno - Comune di Cento (Ferrara)*

## **PREMESSA**

Nel mese di Dicembre 2014 i Sigg.ri Intestatari, tramite l'Ing. Valerio Balboni di Sala Bolognese (Bologna), hanno commissionato alla *GeoHydroData Sas* di Rovigo una relazione sulle caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geologico tecniche, integrata dalla valutazione della risposta sismica di un terreno su cui è ubicato un vecchio impianto per la produzione di conglomerato bituminoso non più funzionante.

Con tale elaborato la Committenza richiede una modifica della destinazione urbanistica esistente (attualmente "Zona Agricola") onde far riconoscere per i terreni interessati una loro vocazione produttiva per il futuro insediamento di un nuovo impianto di distribuzione di carburante; tale impianto è disciplinato, quale opera di "interesse comunale", dal capo II, art.42 delle NTA del PRG.

*La presente relazione non ha quindi un carattere esecutivo in relazione alla futura edificabilità dei terreni interessati alla variante richiesta; infatti non sono noti al momento né la tipologia né il numero delle strutture e dei fabbricati che verranno realizzati su tale area.*

Lo studio commissionato è stato redatto in due momenti :

- 1) - *Valutazioni geologiche ed idrogeologiche generali.*  
- *Analisi delle caratteristiche litostratigrafiche, idrogeologiche e geotecniche dei terreni dell'area di studio.*

La descrizione territoriale è stata eseguita mediante l'utilizzo degli elementi tematici posti a corredo del *P.S.C. Associato dell'Alto Ferrarese*, adottato dal Comune di Cento nel Giugno 2010 a scala 1:40.000; in riferimento a tale documentazione si è eseguita un'analisi geomorfologica, litologica di superficie, idrogeologica, altimetrica, del rischio potenziale e delle qualità geotecniche dell'area oggetto di studio.

Le verifiche puntuali delle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati all'intervento sono state compiute valutando i dati ottenuti dall'esecuzione di tre prove penetrometriche statiche tipo CPT spinte sino alla profondità massima di 23.00 metri dal piano campagna.

Per le misure dei livelli di falda si è infisso un solo piezometro temporaneo nei fori delle verifiche geotecniche eseguite (in corrispondenza alla prova CPT 2 in quanto nelle CPT 1 e 3 i fori si sono chiusi immediatamente dopo l'estrazione delle aste) e, dopo adeguato periodo di riequilibrio idrostatico, si è misurata la profondità della tavola d'acqua dal piano campagna prelavori.

- 2) - *Valutazione della risposta sismica dei terreni anche mediante un'indagine sismica di tipo MASW per la definizione del parametro  $V_{s30}$ ;*  
- *Valutazione dei carichi massimi ammissibili dai terreni e calcolo dei cedimenti teorici.*

Si è proceduto alla caratterizzazione sismica dell'area oggetto di studio mediante la definizione dei parametri di cui al D.M. 14/01/2008 nel rispetto della Delibera Assemblea Legislativa n.112/2007 Art.16 c.1 "*Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*".

L'area di studio rientra nel territorio del **Comune di Cento** che risulta identificato in **zona sismica 3** in base alla classificazione sismica di cui al O.P.C.M. n.3274/03 e ss.mm.ii.; inoltre la costruzione in oggetto rientra nella **Classe d'uso II** : "*Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali...*"

In base a quanto indicato al cap. 2.7 del D.M. 14/01/2008, relativamente ai metodi di calcolo, risulta d'obbligo il metodo degli "stati limite" di cui al cap. 2.6 del suddetto decreto.

*L'elaborato prodotto è diviso in tre parti:*

## **PARTE PRIMA**

***Valutazioni geologiche, idrogeologiche, geologico tecniche generali ed analisi preliminari della sismicità dell'area*** (con riferimento agli elementi tematici prodotti a corredo del PSC dell'Alto Ferrarese del 2010) ***ed analisi della Microzonazione Sismica Locale*** (ai sensi della Delibera Assemblea Legislativa 112/2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" ed ai sensi dell'Ordinanza n.70 del 13/11/2012 della Regione Emilia Romagna e successive modifiche ed integrazioni).

### ***Caratterizzazione geotecnica del sito***

(ai sensi del D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le costruzioni" e delle Norme e successive modifiche ed integrazioni operate dalla Regione Emilia Romagna )

## **PARTE SECONDA**

### ***Analisi e caratterizzazione sismica del sito***

(ai sensi del D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le costruzioni" e delle Norme e successive modifiche ed integrazioni operate dalla Regione Emilia Romagna )

### ***Verifiche della sicurezza e delle prestazioni delle opere di fondazione e calcolo dei cedimenti teorici***

(ai sensi del D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni")

## **APPENDICE**

### ***Risultati certificati delle verifiche geotecniche e geofisiche eseguite***

## **PARTE PRIMA**

### ***Valutazioni geologiche ed idrogeologiche generali ed analisi preliminari della sismicità dell'area***

*(con riferimento agli elementi tematici prodotti a corredo  
del P.S.C. dell'Alto Ferrarese del 2010)*

### ***Analisi della Microzonazione Sismica locale***

*(con l'ausilio delle tavole informative prodotte della Regione Emilia Romagna in  
riferimento all'Ordinanza n.70 del 13.11.2012 e successive modifiche ed integrazioni)*

### ***Caratterizzazione geotecnica del sito***

*(ai sensi del D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le costruzioni" e delle Norme e  
successive modifiche ed integrazioni operate dalla Regione Emilia Romagna )*

## ***Valutazioni geologiche ed idrogeologiche generali ed analisi preliminari della sismicità dell'area***

### **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 fluviopalustri. La parte superiore di tali sedimenti è rappresentata da depositi Quaternari continentali in continuità con i sedimenti superficiali presentanti spessori variabili.

L'assetto attuale del territorio ferrarese, è conseguenza dell'evoluzione della rete idrografica superficiale ed è legato a fenomeni di subsidenza naturale ed antropica. Relativamente al 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 i sedimenti più grossolani (sabbie) costituiscono le 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 con il 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 tali meccanismi di genesi del territorio si è innescato l'intervento antropico che ha, per così dire, irrigidito la rete idrografica naturale alzando via via gli argini e costringendo le aste fluviali a scorrere sempre dentro gli stessi. 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.

In collegamento tra le aree rilevate dei paleoalvei principali, l'analisi del territorio comunale evidenzia aree di "basso geomorfologico" (caratterizzate da deposizioni di sedimenti da medio fini a fini) ed interessate in genere dal corso di paleoalvei di modeste dimensioni, non rilevati sul piano campagna circostante e costituiti da materiali più grossolani a natura sabbiosa e/o sabbioso limosa.

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

- subsidenza geologica (naturale);
- abbassamento artificiale della falda freatica ai fini della bonifica, determinando così fenomeni di subsidenza legati al costipamento successivo dei sedimenti;
- 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 1900-1957 (Salvioni 1957) sono state cartografate linee isocinetiche di abbassamento del suolo dell'ordine di 3 mm/anno (pari a circa 15-20 cm) per il territorio comunale di S.Agostino.

*La zona oggetto di studio, in particolare, è posta all'interno del paleoalveo del Reno, una formazione dossiva di rilevanti dimensioni che costituisce la traccia della via Statale che collega l'abitato di Corporeno con l'abitato di Dosso, caratterizzata dalla presenza superficiale di sabbia con sottili intercalari argillosi e limosi.*

*L'analisi della litostratigrafia di massima risultante dalle CPT eseguite sino a 23.00 metri dal piano campagna, ottenuta da elaborazioni mediante software "Fondazio", evidenzia :*

**CPT 1** descrizione di dettaglio:

da 0.00 a -0.40 m	argille ed argille organiche
da -0.40 a -4.80 m	sabbie con sottili intercalari argillosi e limosi
da -4.80 a -10.00 m	argille, a tratti torbose
da -10.00 a -12.60 m	limi sabbiosi argillosi
da -12.60 a -14.60 m	sabbie
da -14.60 a -18.00 m	alternanze di limi sabbiosi ed argille; presenza di tracce organiche
da -18.00 a -20.00 m	argille limose

**CPT 2** descrizione di dettaglio:

da 0.00 a -4.20 m	prevalenza di sabbie con sottili intercalari argillosi e limosi
da -4.20 a -8.00 m	torbe, argille torbose ed intercalari argillosi
da -8.00 a -10.00 m	argille organiche
da -10.00 a -14.60 m	argille limose, sottili livelli sabbiosi ed intercalari argillosi
da -14.60 a -18.60 m	limi argillosi e sabbiosi; presenza di tracce organiche
da -18.60 a -21.00 m	argille, a tratti limose
da -21.00 a -23.00 m	limi sabbiosi ed argilloso organici

**CPT 3** descrizione di dettaglio:

da 0.00 a -3.60 m	alternanze di sabbie, a tratti organiche, ed argille
da -3.60 a -5.20 m	torbe ed argille torbose intercalate ad argille
da -5.20 a -9.20 m	argille organiche e torbe con intercalari argillosi
da -9.20 a -12.00 m	limi sabbioso argillosi con intercalari argillosi
da -12.00 a -14.60 m	sabbie
da -14.60 a -17.00 m	argille limose ed argille; presenza di tracce organiche
da -17.00 a -20.00 m	argille limose

Più avanti viene allegato come Tav.1 uno stralcio della Carta geomorfologica a scala 1:40.000 tratta dal P.S.C. dell'Alto Ferrarese del 2010.

## INQUADRAMENTO LITOLOGICO DI SUPERFICIE

Il documento proposto rappresenta l'elaborazione delle determinazioni effettuate sui campioni di terreno prelevati negli ultimi decenni da diversi Enti, Organizzazioni, Istituzioni Universitarie (fondamentale l'apporto dell' A.N.B. - Associazione Nazionale Bieticoltori).

I dati granulometrici sono stati ottenuti mediante la determinazione densimetrica di una sospensione acqua-particelle mediante il metodo di Bouyoucos.

La classificazione litologica, in base alle tre fondamentali classi granulometriche (sabbia, limo, argilla), è stata fatta per mezzo del diagramma triangolare di Shepard e mediante un programma di calcolo automatico.

La distribuzione dei vari tipi litologici è, ovviamente, così eterogenea per la complessità del fatto evolutivo del territorio in esame.

*La zona oggetto di studio è posta all'interno di un'area caratterizzata dalla presenza di miscele binarie di Sabbia Argillosa (SA).*

Più avanti viene allegato come Tav.2 uno stralcio della *Carta delle litologie di superficie* a scala 1:40.000 tratta dal P.S.C. dell'Alto Ferrarese del 2010.

## INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### *Inquadramento idrogeologico e permeabilità dei suoli*

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 osserva una successione di livelli a sabbia fine e grossolana, intercalati a livelli argillosi con frequenti tracce di torba.

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

*Essendo l'area in esame situata in una zona di bonifica, la morfologia della superficie freatica risulta condizionata dal reticolo idrografico superficiale e dal sistema idrovoro, dove quest'ultimo opera in modo tale da limitare forti escursioni del livello freatico.*

*Nell'area oggetto di studio il livello della falda, misurato rispetto al piano campagna il giorno 17 Dicembre 2014 nel piezometro temporaneo infisso nel foro della prova penetrometrica statica CPT 2, risultava essere posto a -3.30 metri dal piano campagna; tale piezometro risulta al margine dello Scolo Canalazzo, le cui acque risultano essere pressochè alla medesima quota, certificando così il diretto collegamento fra la falda locale e la funzione drenante esercitata su di essa dallo Scolo suddetto. Tale falda è da considerarsi di pressochè massima espansione, data l'elevata piovosità del periodo precedente alla lettura.*

*L'analisi dello stralcio dell'elemento tematico allegato evidenzia, per l'area in esame, una tavola d'acqua ubicata 10.20 metri s.l.m.; considerando che la quota dei terreni investigati risulta dalla CTR di 12.00 metri circa ed il dato rilevato puntualmente evidenzia un livello di falda di 8.70 metri slm, i dati rilevati risultano sufficientemente coerenti con le indicazioni bibliografiche.*

*Nell'elemento tematico citato sono state riportate le principali direzioni di deflusso della falda; essendo l'area di studio ubicata in una zona di "alto idrogeologico", le direzioni risultano essere verso Ovest Nord Ovest con un gradiente idraulico medio stimato dell'ordine dell' 1,0 ‰ circa.*

Più avanti viene allegato come Tav.3 uno stralcio della *Carta della superficie freatica* a scala 1:40.000 tratta dal P.S.C. dell'Alto Ferrarese del 2010.

## INQUADRAMENTO ALTIMETRICO

Riprendendo testualmente dagli elaborati del PCS, in relazione all'altimetria dell'Alto Ferrarese si osserva che la stessa *“è caratterizzata dalla totale collocazione in pianura; l'altitudine è compresa tra un massimo di 23.35 m. slm (nel Comune di Cento) ed un minimo di 4.40 m slm (nel Comune di Bondeno). Il dislivello per tutto il territorio dell'Alto Ferrarese è pari a 19.00 metri e, se si eccetua la porzione meridionale del Comune di Cento, è valutabile in non più di 10 metri.”*

*L'area oggetto di studio presenta una quota compresa tra 12 e 13 metri slm (12.00 metri slm - quota da CTR).*

Più avanti viene allegato come Tav.4 uno stralcio della *Carta Altimetrica* a scala 1:40.000 tratta dal P.S.C. dell'Alto Ferrarese del 2010.

## **RISCHIO POTENZIALE**

Dall'incrocio tra le Carte Tematiche con le Carte di Sintesi dei Sistemi Residenziale e Produttivo sono state individuate *aree di attenzione* interessate a diversi tipi di rischio potenziale.

Tali rischi risultano:

- *rischio idrogeologico*
- *rischio idraulico*
- *rischio geotecnico*

*L'area oggetto di studio non è interessata a nessuno dei rischi suindicati.*

Più avanti viene allegato come Tav.5 uno stralcio della *Carta del rischio potenziale* a scala 1:40.000 tratta dal P.S.C. dell'Alto Ferrarese del 2010.

## QUALITA' GEOTECNICHE

L'elaborato proposto deriva da un preliminare censimento delle verifiche geotecniche (CPT, CPTE, DPSH, DPL e sondaggi) eseguite nel tempo nel territorio comunale.

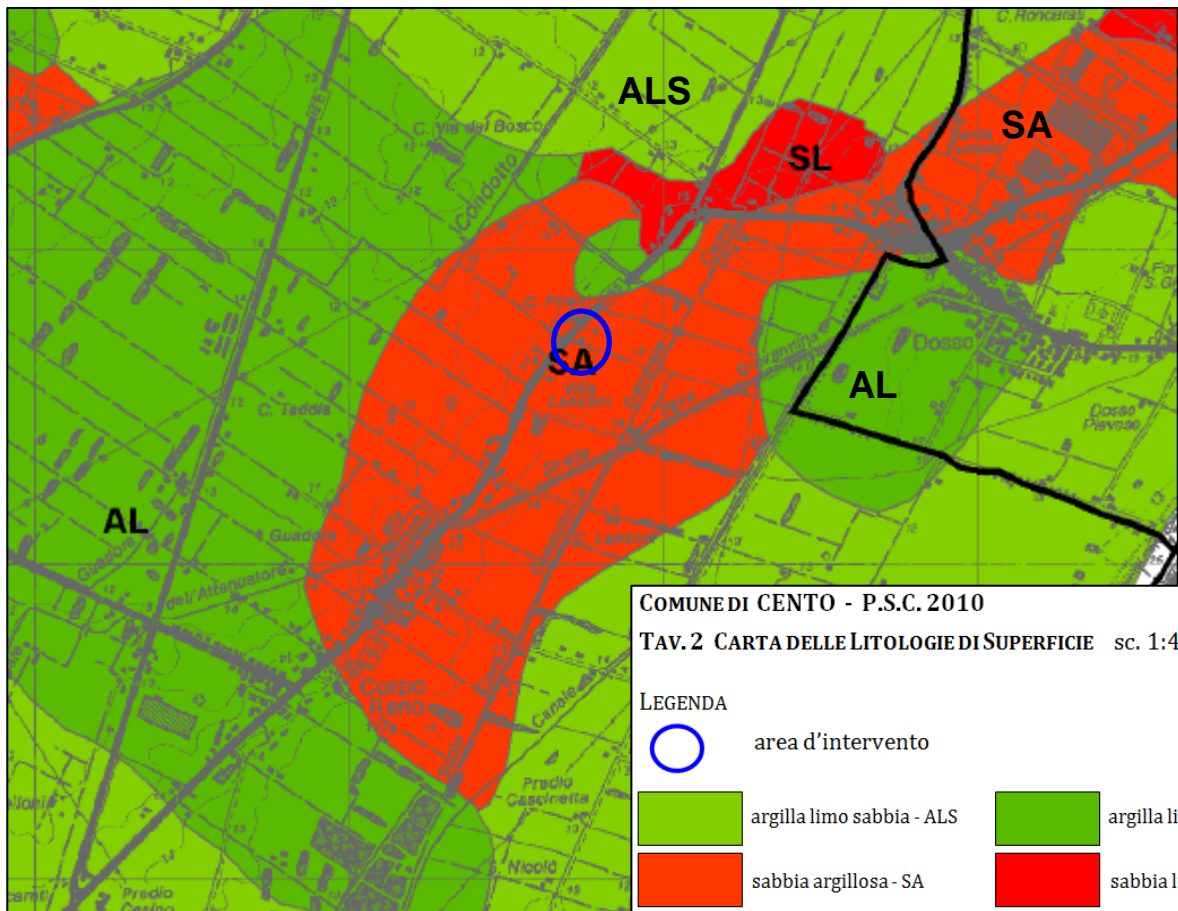
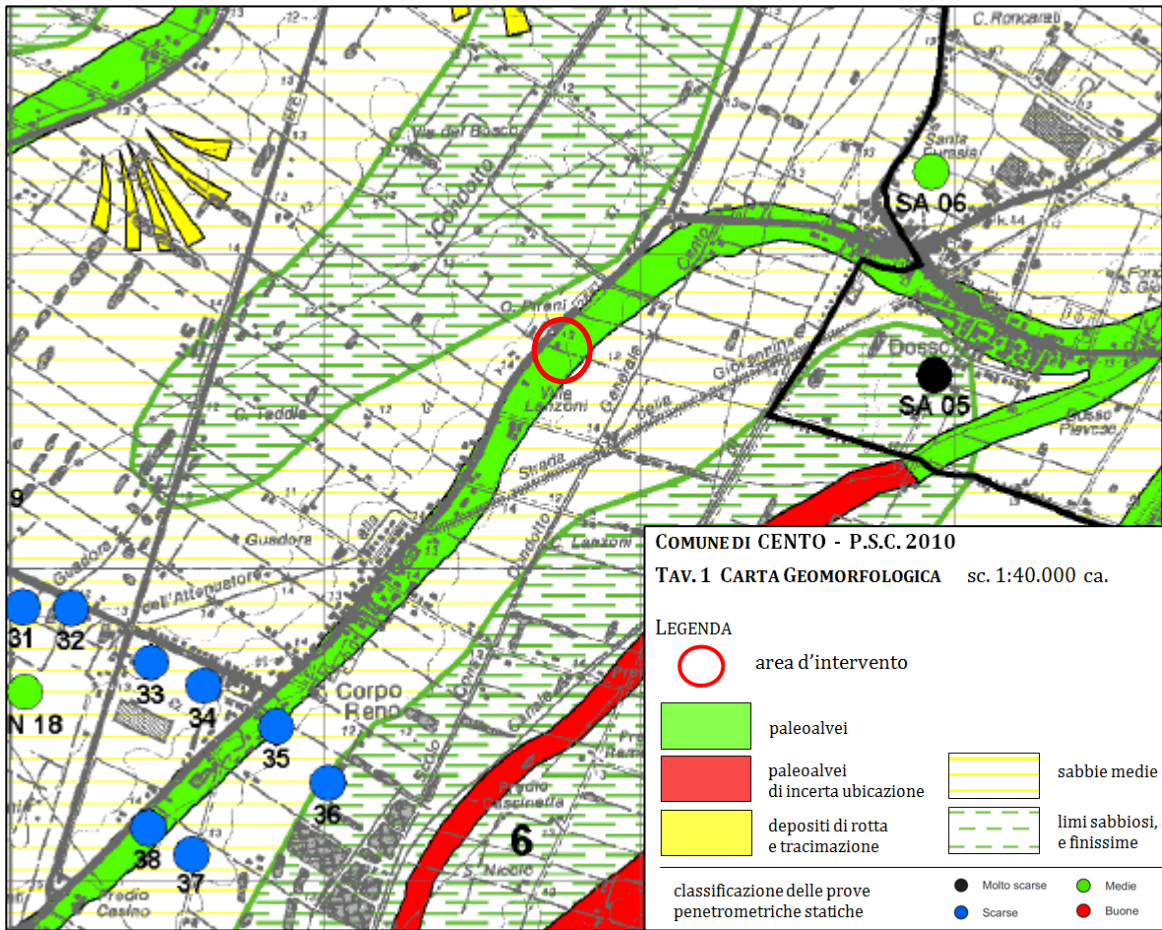
A partire dai dati disponibili, la caratterizzazione geomeccanica dei terreni è stata compiuta elaborando i valori di  $R_p$  a diverse profondità d'investigazione; i valori ottenuti sono poi stati ridistribuiti in 5 classi di terreno (da *molto scarsi* a *molto buoni*) realizzando successivamente le carte della qualità geotecnica dei terreni.

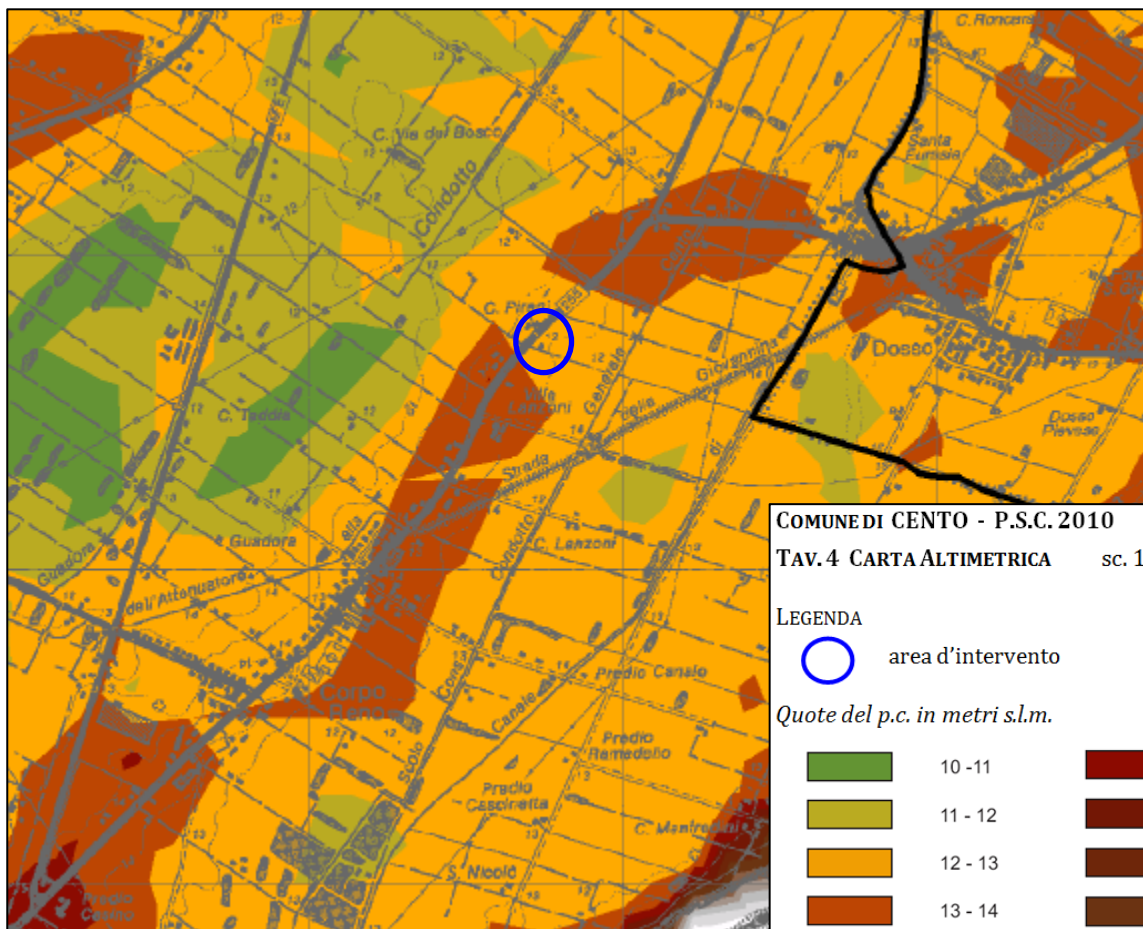
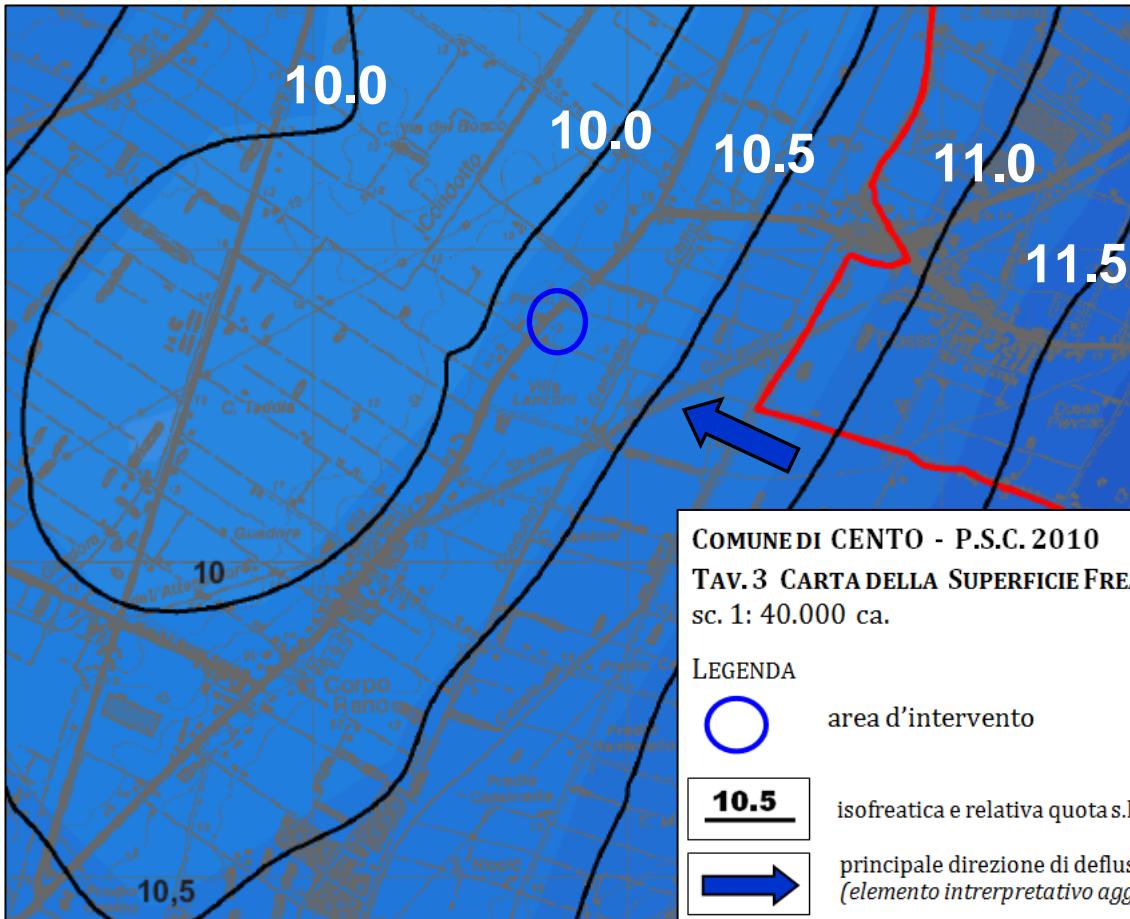
*L'area oggetto di studio è ubicata all'interno di una zona caratterizzata da quote medie, non soggetta ai rischi idrogeologico, idraulico o geotecnico; risulta altresì caratterizzata da una natura litologica superficiale prevalentemente di tipo LA-S-SA-SL.*

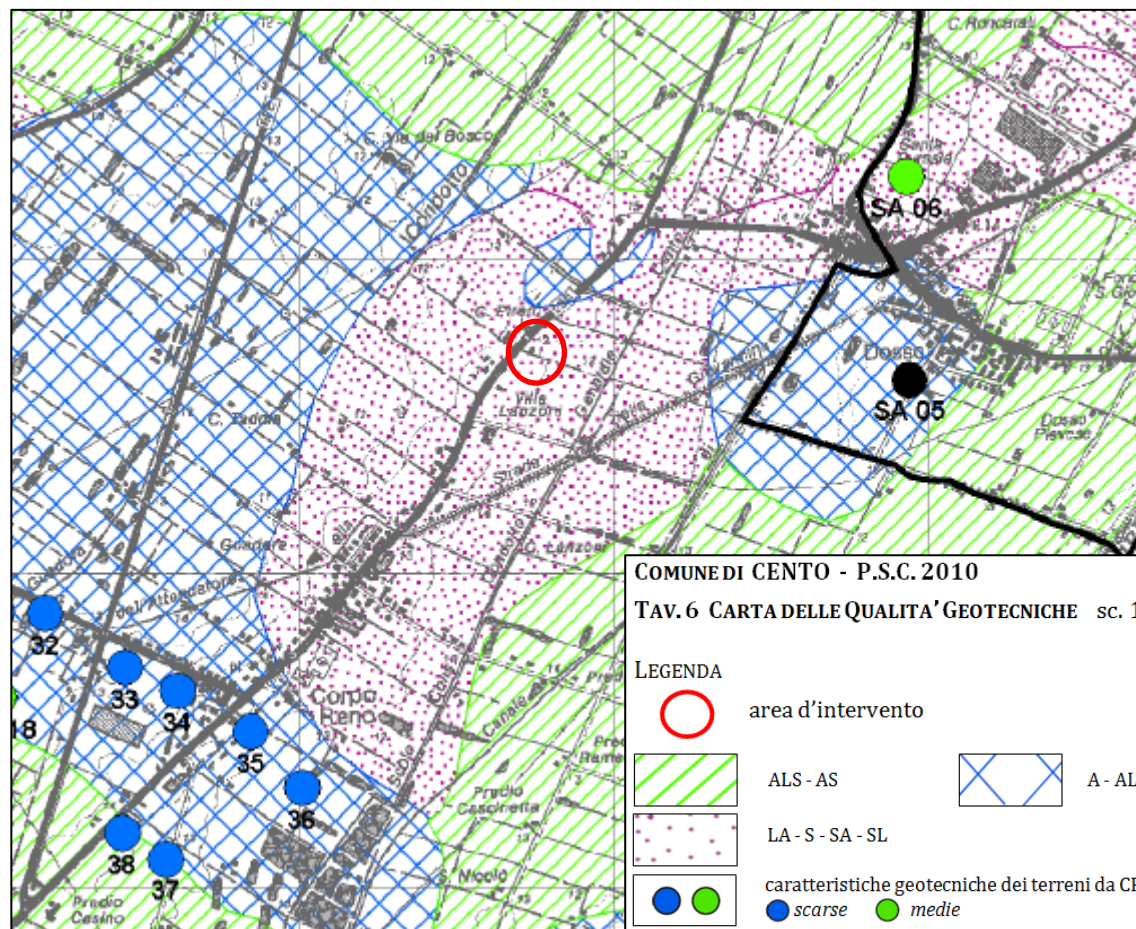
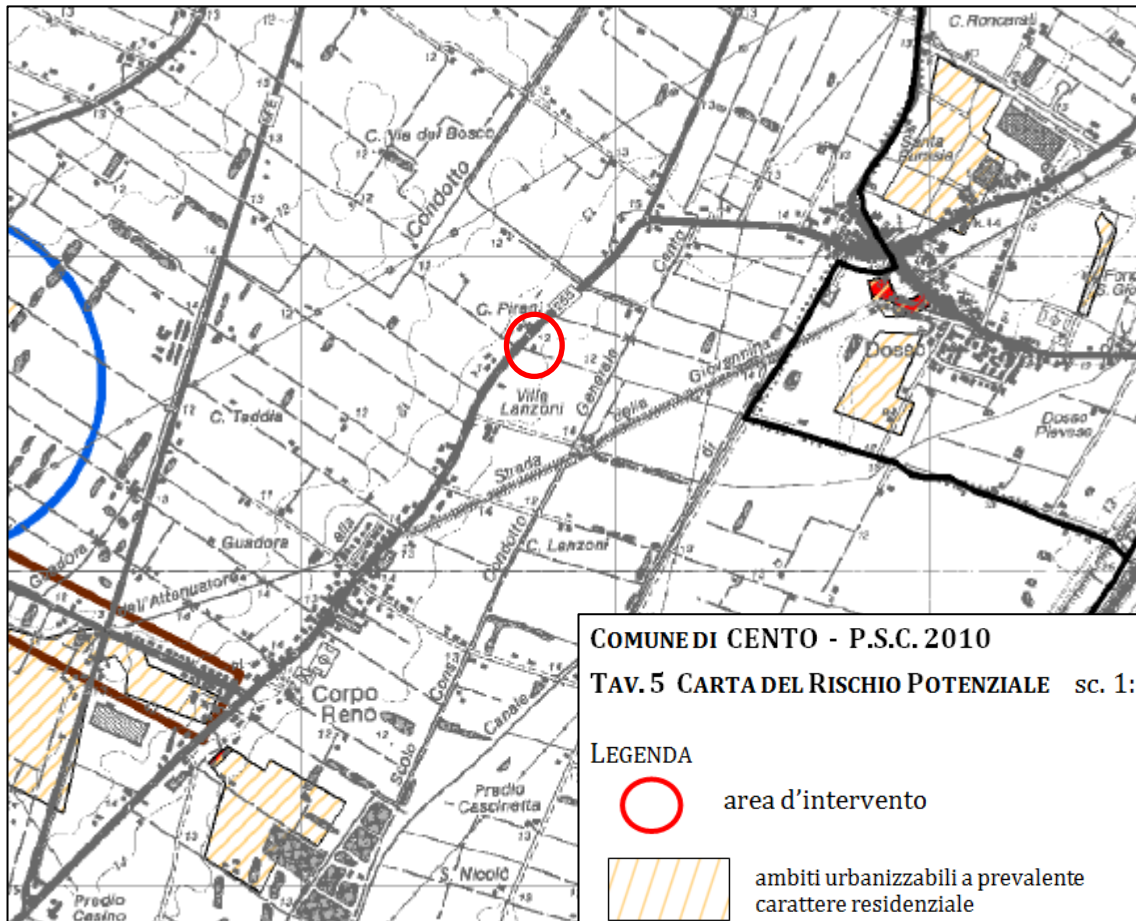
*La verifica geotecnica effettuata mediante le CPT eseguite evidenzia che:*

- l'area di studio è caratterizzata da sensibili variazioni litostratigrafiche in senso verticale e da una notevole continuità laterale; le descrizioni che seguono fanno riferimento alla CPT 2 che è quella che raggiunge la maggiore profondità e che risulta mediamente rappresentativa delle tre CPT eseguite;*
- i terreni possono essere definiti come dotati complessivamente di discrete caratteristiche geotecniche sino a 4.00 metri dal p.c.; più sotto sino a 9.00 metri i terreni sono caratterizzati da scadenti caratteristiche geotecniche; ancora più sotto, sino a 10.80 metri, si rilevano discrete caratteristiche geotecniche. Sino ai 15.00 metri da buone caratteristiche geotecniche; più sotto, sino a 15.80 metri da modeste caratteristiche geotecniche e da buone caratteristiche geotecniche sino alla massima profondità investigata.*

Più avanti viene allegato come Tav.6 uno stralcio della *Carta delle qualità geotecniche* a scala 1:40.000 tratta dal P.S.C. dell'Alto Ferrarese del 2010.



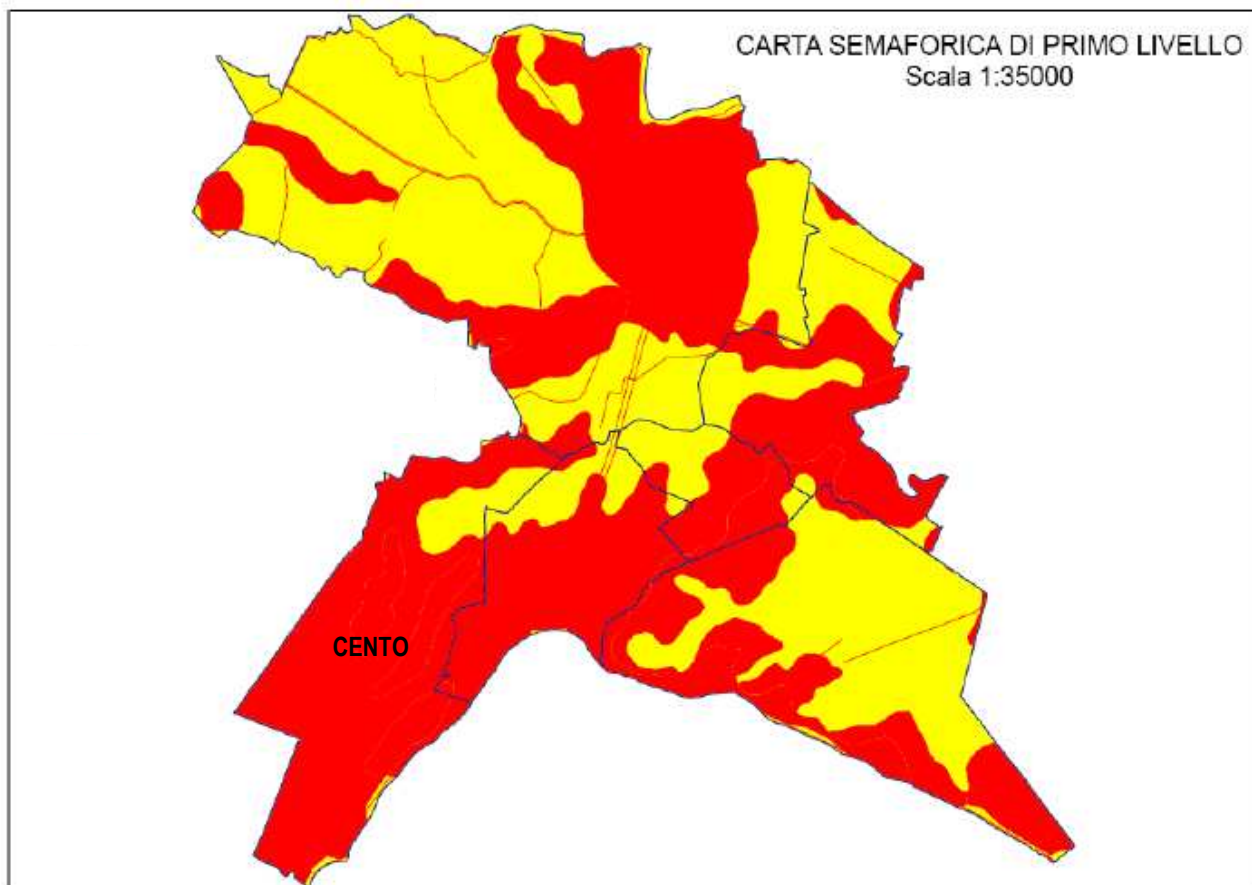




## RELAZIONE SISMICA DEL P.S.C. - stralcio

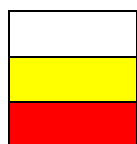
La *Relazione geotecnica sismica* redatta a corredo del PSC di ogni Comune non tiene conto in modo adeguato dell'effetto di sito, costruendo un modello sismico per punti, non interpolabili per stessa ammissione degli Estensori, con cartografia a scala 1:35.000 come gli altri elementi tematici.

*Carta della Pericolosità sismica del PSC in originale alla scala 1:35.000*



Tav.7 - Riproduzione non in scala della carta semaforica di 1° livello

### LEGENDA



Aree non suscettibili di effetti di sito
Aree che necessitano il Secondo Livello di approfondimento
Aree che necessitano il Terzo Livello di approfondimento

Nelle seguenti tabelle sono riassunti i risultati delle elaborazioni condotte, relativamente al territorio comunale di Cento.

<b>Prova</b>	<b>Categoria sismica sito</b>	<b>Fattore di amplificazione</b>	<b>Potenziale liquefazione</b>	<b>Suscettibilità liquefazione</b>	<b>Suscettibilità cedimenti</b>
CN01	D	1.5	0.91	Bassa	Potenziale
CN02	C	1.5	0	Nulla	Assente
CN03	C	1.5	0.26	Bassa	Assente
CN04	D	1.5	0.41	Bassa	Potenziale
CN05	C	1.5	0	Nulla	Assente
CN06	C	1.5	0.1	Bassa	Assente
CN07	D	1.5	0.16	Bassa	Potenziale
CN08	D	1.5	0.74	Bassa	Potenziale
CN09	C	1.5	0.4	Bassa	Assente
CN10	C	1.5	0.01	Bassa	Assente
CN11	C	1.5	0.23	Bassa	Assente
CN12	C	1.5	0.68	Bassa	Assente
CN13	D	1.5	0.67	Bassa	Potenziale
CN14	D	1.5	0.75	Bassa	Potenziale
CN15	C	1.5	0.27	Bassa	Assente
CN16	C	1.5	0.73	Bassa	Assente
CN17	C	1.5	0.36	Bassa	Assente
CN18	C	1.5	0.15	Bassa	Assente
CN19	C	1.5	0.27	Bassa	Assente
CN20	C	1.5	0.34	Bassa	Assente

*Tabella 6.6.1 del PSC - risultati delle elaborazioni condotte sulle nuove prove CPT*

Si riportano le conclusioni della Relazione sismica del PSC per il comune di Cento.

- *I terreni del comune sono classificabili sismicamente all'interno delle categorie C e D;*
- *Il fattore di amplificazione sismico di origine litostratigrafica è ovunque pari ad 1.5 (in base alla vigente legislazione regionale);*
- *I siti indagati mostrano generalmente una bassa o nulla suscettibilità a liquefare se soggetti al sisma di progetto;*
- *Una parte dei siti analizzati (in particolare quelli ricadenti nel database regionale e provinciale) mostra una potenziale suscettibilità a manifestare cedimenti indotti da sisma a causa della scarse proprietà geotecniche dei terreni presenti. La maggior parte dei siti indagati con la specifica campagna d'indagine condotta è risultata esente da problemi indotti da sisma.*

*Le valutazioni qui riportate sono strettamente legate alle verticali di prova disponibili.*

## MICROZONAZIONE SISMICA

Lo studio di Microzonazione Sismica, è stato redatto ai sensi della Delibera Assemblea Legislativa 112/07 “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica” ed ai sensi dell’Ordinanza n.70 del 13/11/2012 della Regione Emilia Romagna.

Premesso che :

- gli studi di Microzonazione Sismica (MS) consentono di caratterizzare il territorio in base alla risposta sismica locale, cioè al comportamento del terreno durante e dopo il terremoto, individuando e delimitando le aree a comportamento omogeneo, distinguendo tra le zone stabili, zone suscettibili di amplificazione del moto sismico e zone soggette ad instabilità, quali frane, fratturazioni superficiali e liquefazioni;
- la MS, suddividendo il territorio in zone a diversa pericolosità sismica, permette di indirizzare le scelte urbanistiche verso le aree a minore pericolosità e caratterizzare gli interventi di trasformazione del territorio sulla base della risposta sismica locale attesa;
- la MS è quindi uno strumento fondamentale per la prevenzione e la riduzione del rischio sismico che trova applicazione nella pianificazione urbanistica, nella progettazione e nella ricostruzione post-sisma;
- la MS è fondamentale anche per la pianificazione degli interventi di superamento dell’emergenza in quanto consente una migliore e consapevole individuazione degli elementi strategici di protezione civile.

Più sotto si riporta uno stralcio (Tav.8A) della *Carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica* a scala 1:10.000 ca. (Vers. 1.2 del 02.01.2013), riportante in legenda la zonizzazione del territorio del Comune di Cento ed in particolare la zonizzazione dell’area oggetto di studio.

Si osserva che tale area viene definita *potenzialmente suscettibile di liquefazione*; in tali aree si deve intervenire nei modi seguenti:

- a) *occorre valutare il fattore di amplificazione e verificare la presenza di condizioni predisponenti la liquefazione;*
- b) *nel caso sia confermata la presenza di tali condizioni, occorre stimare l’indice di liquefazione (III° livello di approfondimento);*
- c) *ai fini della progettazione (NTC 2008), nelle aree in cui è confermata la presenza di condizioni predisponenti la liquefazione (categoria di sottosuolo S2), non è ammessa la definizione dell’azione sismica tramite l’approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle NTC 2008.*

Si riporta inoltre un ulteriore stralcio (Tav.8B) della *Carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica* a scala 1:10.000 ca. (Vers. 2 del 14.11.2013), in cui le informazioni riportate nella Tav. 8A vengono integrate con maggiori dettagli

relativi alla presenza di terreni suscettibili di liquefazione; in legenda si riportano note relative alle caratteristiche degli orizzonti liquefacibili desunte da verifiche geotecniche disponibili in bibliografia.

In tale elaborato il sito investigato risulta ubicato a circa 250 metri verso Nord Est dalla limite dei terreni classificati come *LQ1 : substrato a profondità maggiore di 120 metri - presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 metri dal piano campagna* ; a rigore, quindi, nulla viene detto della tipologia dei terreni investigati.

Nel presente lavoro, la verifica della possibilità di liquefazione dei terreni investigati è stata comunque operata mediante il metodo di Robertson e Wride (1998), con l'utilizzo del software **CLiq v. 1.7.6.34** della Geologismiki Geotechnical Engineers - Serrai (Grecia) redatto con la collaborazione del Prof. Peter Robertson.



**COMUNE DI CENTO - ORD. R.E.R. N. 70 del 13.11.2012**

**TAV. 8A CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA**

**VERS. 1.2 DEL 02.01.13** sc. 1:10.000 ca.

**LEGENDA**



area d'intervento

**A**

*Zona suscettibile di amplificazione.*

Sufficiente la stima del fattore di amplificazione tramite procedure semplificate (II° liv. approf.)

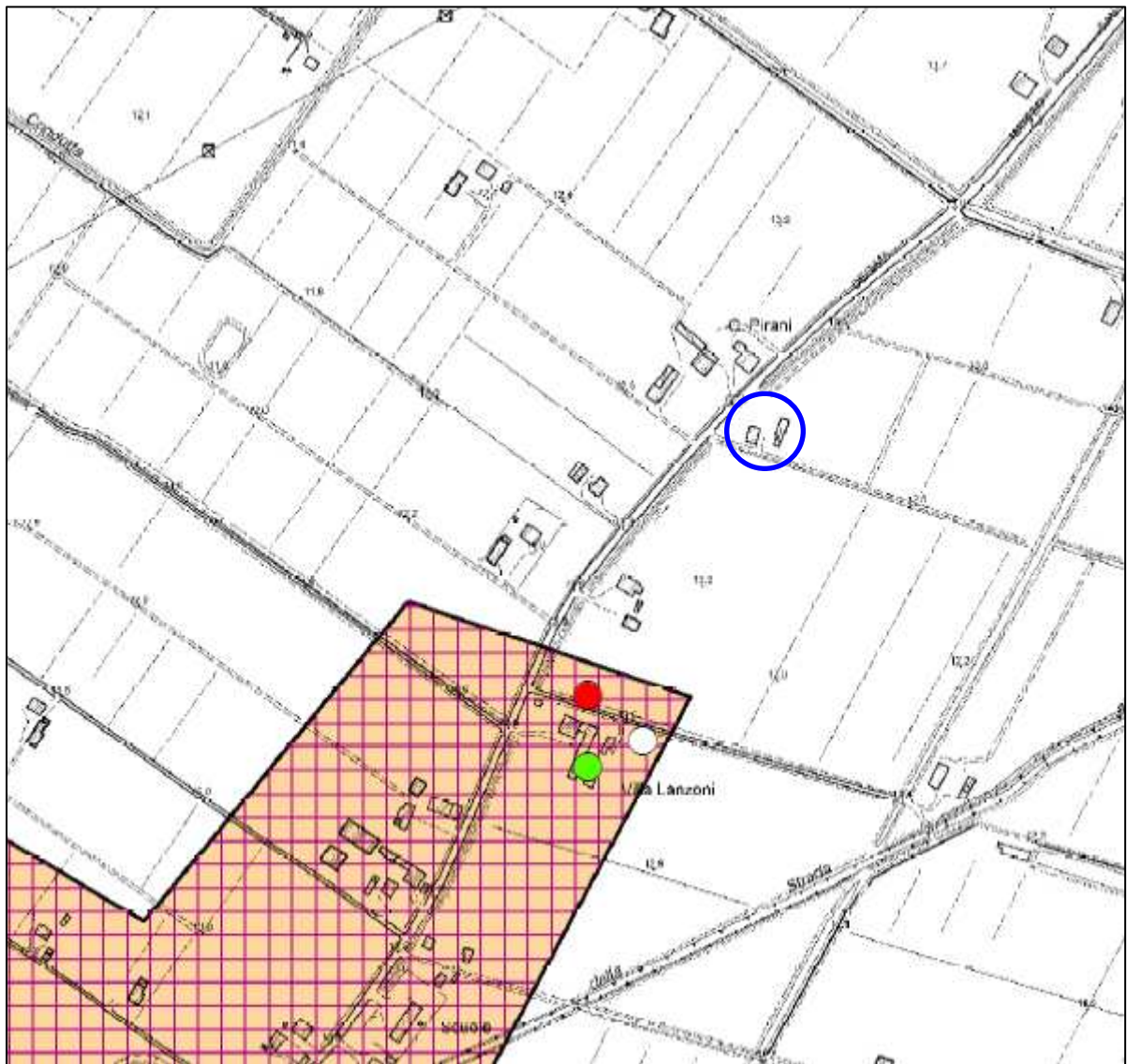
**L**

*Zona potenzialmente suscettibile di liquefazione.*

Valutare il fattore di amplificazione e verificare la presenza di condizioni predisponenti la liquefazione; nel caso sia confermata la presenza di tali condizioni, occorre stimare l'indice di liquefazione (III° liv. approf.). Nelle aree in cui è confermata la presenza di tali condizioni (cat. S2), non è ammesso l'approccio semplificato (punto 3.2.2 NTC 2008).



Ambito interessato dallo studio di microzonazione sismica



**COMUNE DI CENTO - ORD. R.E.R. N. 70 del 13.11.2012**

**TAV. 8B CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA**

**VERS. 2 DEL 14.11.13**

sc. 1:10.000 ca.

**LEGENDA**



area d'intervento

Zone suscettibile di amplificazione e liquefazione



Substrato a profondità  $\geq 120$  m.

Presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 metri dal piano campagna

Prove geotecniche utilizzate per la stima delle profondità degli orizzonti liquefacibili



L2 - orizzonti liquefacibili (minimo 1 m) presenti tra 5 e 10 m. dal p.c.



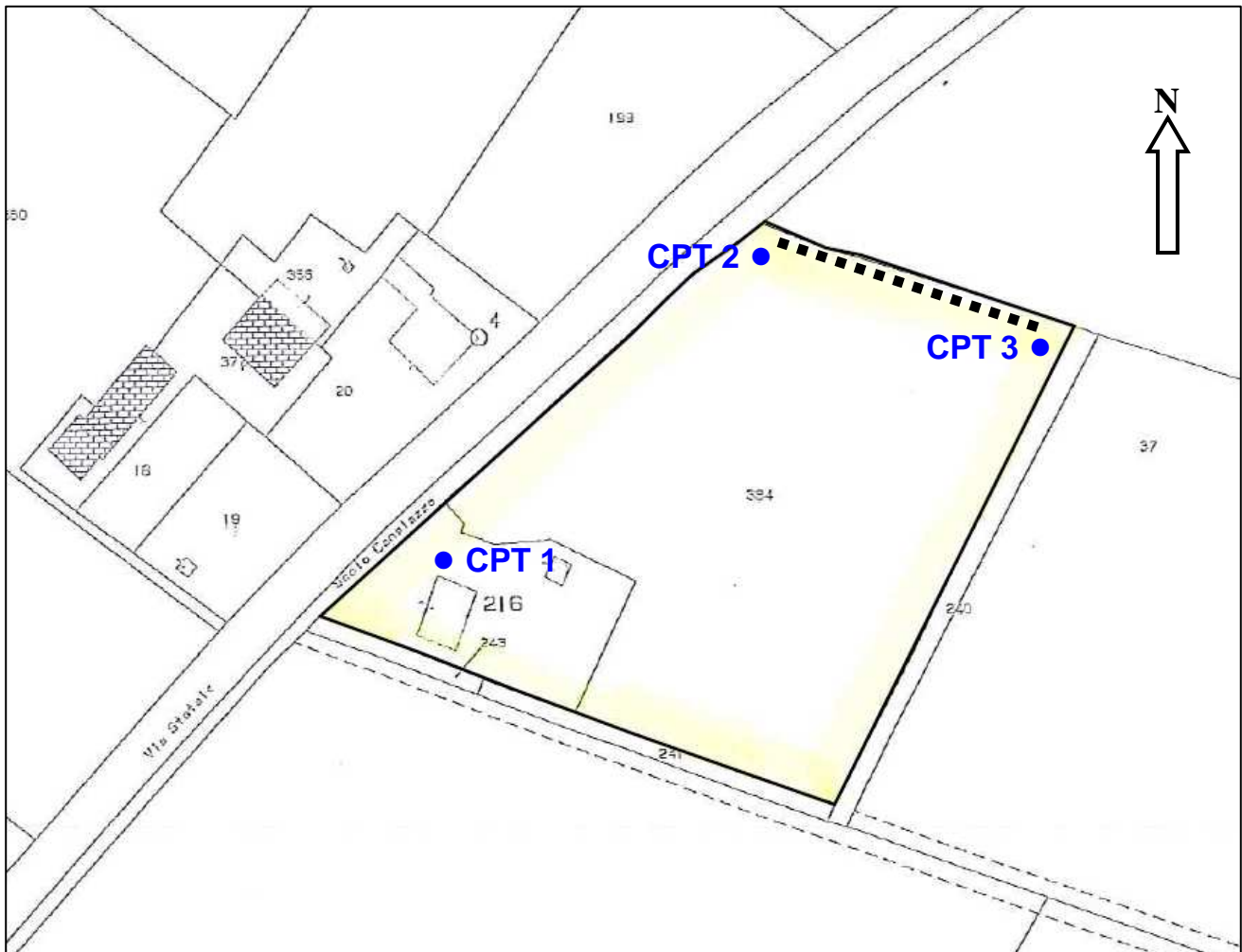
L4 - orizzonti liquefacibili (minimo 2 m) presenti tra 15 e 20 m. dal p.c.



N - assenza di orizzonti liquefacibili (valutazione nei primi 20 m)

# Caratterizzazione geotecnica del sito

## CARTA UBICAZIONE PROVE



Comune di Cento / Foglio 36 - Mapp. 216-384

Tav. 9

CARTA UBICAZIONE PROVE

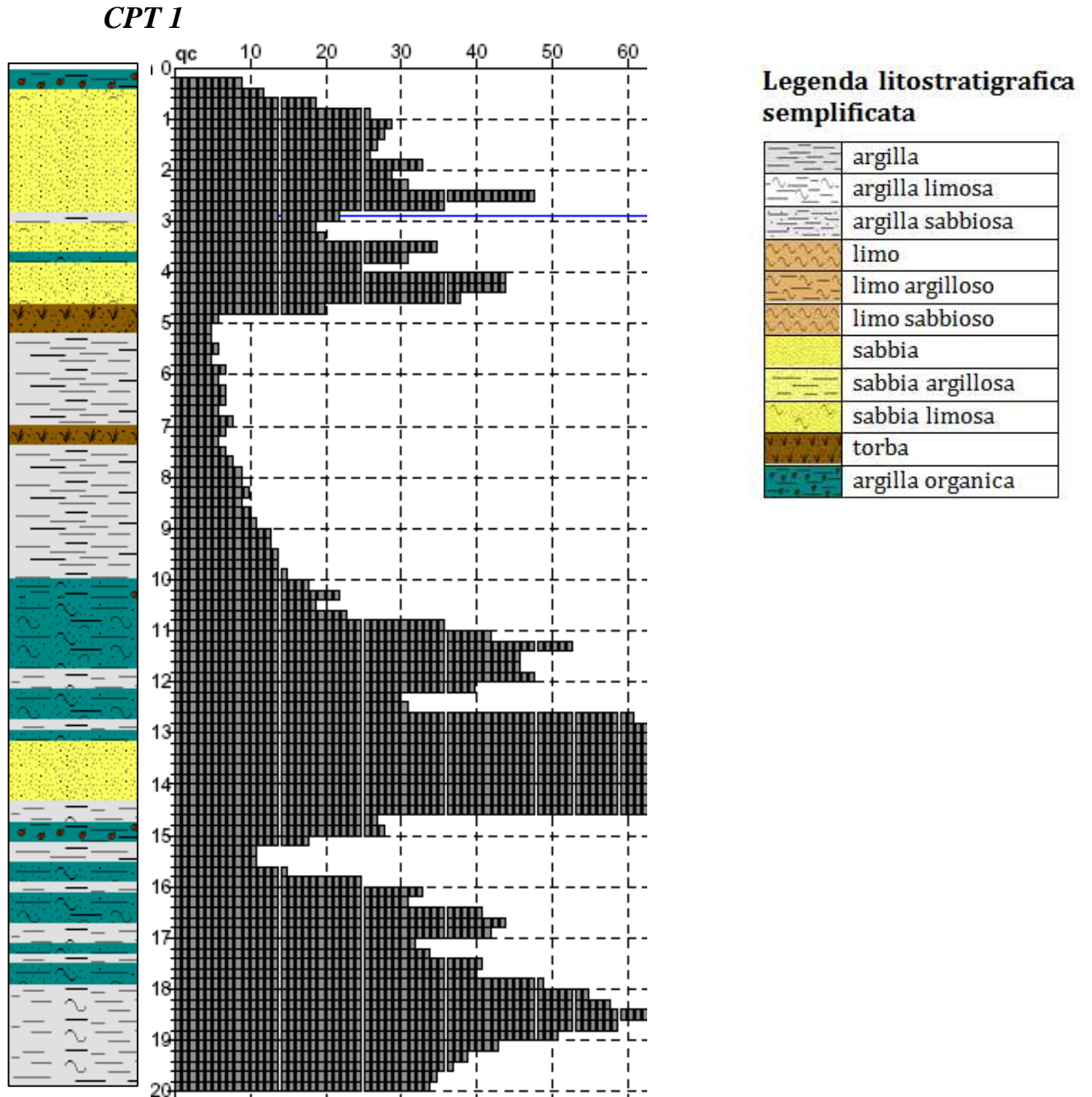
scala 1:1.500 ca.

- **CPT** prova penetrometrica statica con piezocono e manicotto sismico
- stendimento prova geofisica tipo MASW

## VALUTAZIONI GEOTECNICHE

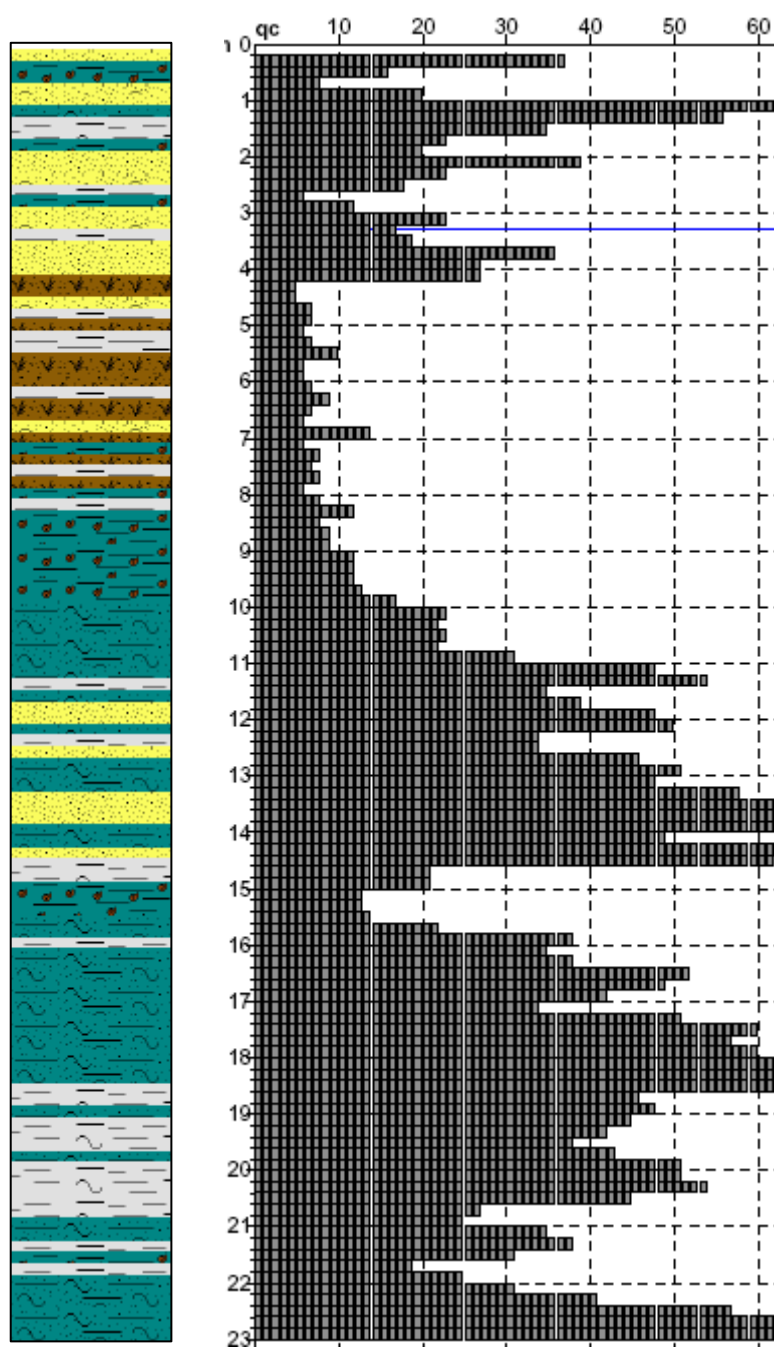
Con riferimento ai risultati delle indagini ed utilizzando i dati forniti dalle CPT eseguite, si rilevano le seguenti informazioni:

- **Litostratigrafia semplificata** (da "Fondazio") :
- **Diagramma di resistenza alla punta  $q_c$**  (Kg/cm $^2$  da "Fondazio")



da *Fondazio* (Merlin - vers. 6.65 - 2013)

## CPT 2

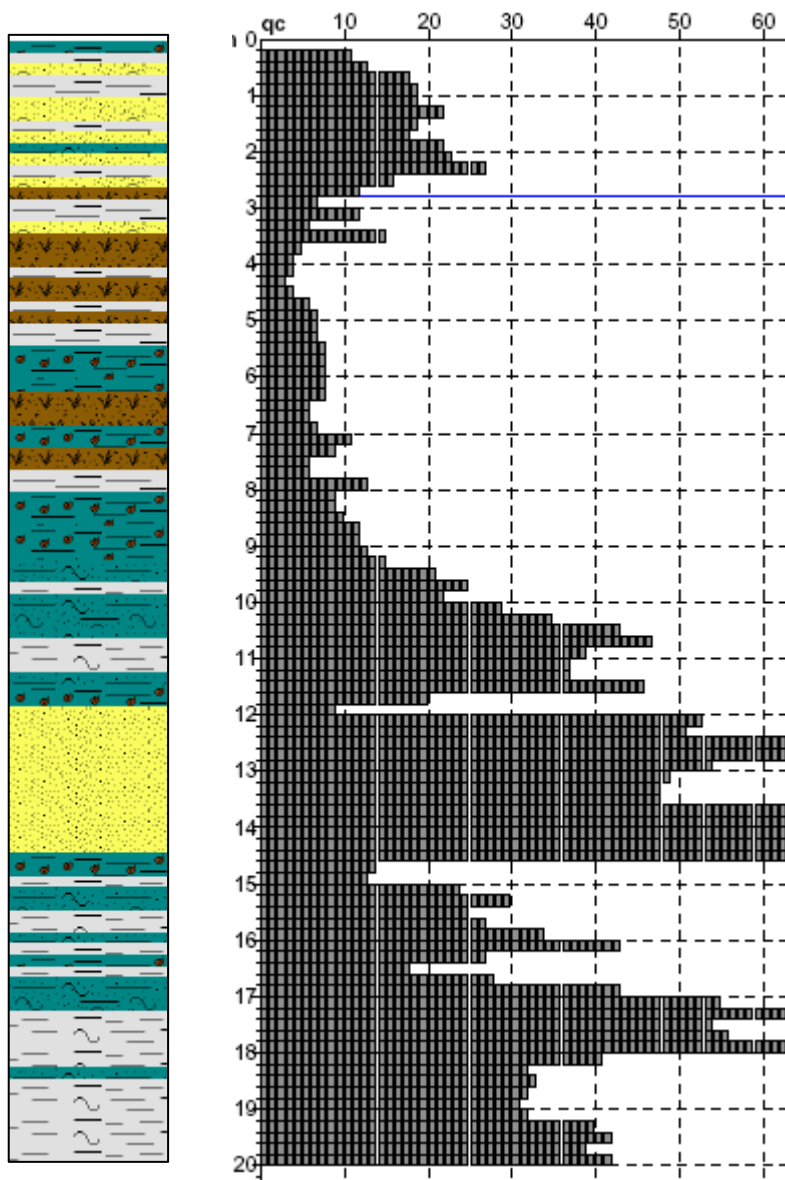


### Legenda litostratigrafica semplificata

	argilla
	argilla limosa
	argilla sabbiosa
	limo
	limo argilloso
	limo sabbioso
	sabbia
	sabbia argillosa
	sabbia limosa
	torba
	argilla organica

da *Fondazio* (Merlin - vers. 6.65 - 2013)

### CPT 3



### Legenda litostratigrafica semplificata

	argilla
	argilla limosa
	argilla sabbiosa
	limo
	limo argilloso
	limo sabbioso
	sabbia
	sabbia argillosa
	sabbia limosa
	torba
	argilla organica

da *Fondazio* (Merlin - vers. 6.65 - 2013)

**- Profondità livello statico della falda ed idrogeologia :**

Nell'area oggetto di studio il livello della falda, misurato rispetto al piano campagna il giorno 17 Dicembre 2014 nel piezometro temporaneo infisso nel foro della prova penetrometrica statica CPT 2, risultava essere posto a -3.30 metri dal piano campagna; tale piezometro risulta al margine dello Scolo Canalazzo, le cui acque risultano essere pressochè alla medesima quota, certificando così il diretto collegamento fra la falda locale e la funzione drenante esercitata su di essa dallo Scolo suddetto. Tale falda è da considerarsi di pressochè massima espansione, data l'elevata piovosità del periodo precedente alla lettura.

**- Natura prevalente :**

L'analisi della litostratigrafia di massima risultante dalle CPT spinte sino alla profondità massima di 23.00 metri dal piano campagna, è eseguita da elaborazioni mediante software "Fondazio"; tali elaborazioni evidenziano:

**CPT 1** descrizione di dettaglio:

da 0.00 a -0.40 m	argille ed argille organiche
da -0.40 a -4.80 m	sabbie con sottili intercalari argillosi e limosi
da -4.80 a -10.00 m	argille, a tratti torbose
da -10.00 a -12.60 m	limi sabbiosi argillosi
da -12.60 a -14.60 m	sabbie
da -14.60 a -18.00 m	alternanze di limi sabbiosi ed argille; presenza di tracce organiche
da -18.00 a -20.00 m	argille limose

**CPT 2** descrizione di dettaglio:

da 0.00 a -4.20 m	prevalenza di sabbie con sottili intercalari argillosi e limosi
da -4.20 a -8.00 m	torbe, argille torbose ed intercalari argillosi
da -8.00 a -10.00 m	argille organiche
da -10.00 a -14.60 m	argille limose, sottili livelli sabbiosi ed intercalari argillosi
da -14.60 a -18.60 m	limi argillosi e sabbiosi; presenza di tracce organiche
da -18.60 a -21.00 m	argille, a tratti limose
da -21.00 a -23.00 m	limi sabbiosi ed argilloso organici

**CPT 3** descrizione di dettaglio:

da 0.00 a -3.60 m	alternanze di sabbie, a tratti organiche, ed argille
da -3.60 a -5.20 m	torbe ed argille torbose intercalate ad argille
da -5.20 a -9.20 m	argille organiche e torbe con intercalari argillosi
da -9.20 a -12.00 m	limi sabbioso argillosi con intercalari argillosi
da -12.00 a -14.60 m	sabbie
da -14.60 a -17.00 m	argille limose ed argille; presenza di tracce organiche
da -17.00 a -20.00 m	argille limose

**- Caratteristiche geotecniche:**

- l'area di studio è caratterizzata da sensibili variazioni litostratigrafiche in senso verticale e da una notevole continuità laterale; le descrizioni che seguono e la relativa parametrizzazione fanno riferimento alla CPT 2 che è quella che raggiunge la maggiore profondità e che risulta mediamente rappresentativa delle tre CPT eseguite;
- i terreni possono essere definiti come dotati complessivamente di discrete caratteristiche geotecniche sino a 4.00 metri dal p.c.; più sotto sino a 9.00 metri i terreni sono caratterizzati da scadenti caratteristiche geotecniche; ancora più sotto, sino a 10.80 metri, si rilevano discrete caratteristiche geotecniche. Sino ai 15.00 metri da buone caratteristiche geotecniche; più sotto, sino a 15.80 metri da modeste caratteristiche geotecniche e da buone caratteristiche geotecniche sino alla massima profondità investigata.

Caratterizzazione geotecnica dei terreni da p.c. a -4.20 metri

<b>Terreni a comportamento prev. granulare</b>			
Resistenza alla punta	Qc	26.7	Kg/cmq
Angolo di attrito	Ø	28.7	(°)
Peso specifico terreno immerso	$\gamma'$	1.61	t/m <sup>3</sup>

Caratterizzazione geotecnica dei terreni da -4.20 a -10.00 metri

<b>Terreni a comportamento prev. coesivo</b>			
Resistenza alla punta	Qc	8.6	Kg/cmq
Coesione non drenata	Cu	0.42	Kg/cmq
Modulo edometrico	Mo	28.3	Kg/cmq
Peso specifico terreno immerso	$\gamma'$	0.72	t/m <sup>3</sup>

Caratterizzazione geotecnica dei terreni da -10.00 a -14.60 metri

<b>Terreni a comportamento granulare</b>			
Resistenza alla punta	Qc	47.5	Kg/cmq
Angolo di attrito	Ø	30.4	(°)
Peso specifico terreno immerso	$\gamma'$	0.97	t/m <sup>3</sup>

Caratterizzazione geotecnica dei terreni da -14.60 a -21.00 metri

<b>Terreni a comportamento prev. coesivo</b>			
Resistenza alla punta	Qc	41.9	Kg/cmq
Coesione non drenata	Cu	1.43	Kg/cmq
Modulo edometrico	Mo	126.4	Kg/cmq
Peso specifico terreno immerso	$\gamma'$	0.99	t/m <sup>3</sup>

Caratterizzazione geotecnica dei terreni da -21.00 a -23.00 metri

<b>Terreni a comportamento prev. granulare</b>			
Resistenza alla punta	Qc	41.7	Kg/cmq
Angolo di attrito	Ø	30.1	(°)
Peso specifico terreno immerso	$\gamma'$	0.98	t/m <sup>3</sup>

## **PARTE SECONDA**

### ***Analisi e caratterizzazione sismica del sito***

*(ai sensi del D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le costruzioni”  
e delle Norme e successive modifiche ed integrazioni  
operate dalla Regione Emilia Romagna )*

***Verifiche della sicurezza e delle prestazioni  
delle opere di fondazione e calcolo dei cedimenti teorici***  
*(ai sensi del D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le costruzioni”)*

## ***Analisi e caratterizzazione sismica del sito***

Di seguito si riportano le note teoriche e le determinazioni relative ai seguenti aspetti:

### **A- Risposta sismica di base**

- a) *Ubicazione del sito e zonizzazione sismica*
- b) *Parametri e coefficienti sismici di cui al D.M. 14/01/2008*

### **B- Risposta sismica locale**

- c) *Determinazione della  $V_{s30}$  mediante indagine geofisica tipo MASW*
- d) *Determinazione della Categoria topografica*
- e) *Determinazione della Amplificazione Stratigrafica*
- f) *Determinazione della Accelerazione massima*
- g) *Magnitudo di Riferimento*
- h) *Verifica del potenziale di liquefazione :*
  - *Calcolo dell'Indice del Potenziale di Liquefazione*
  - *Risultati della verifica del rischio di liquefazione*

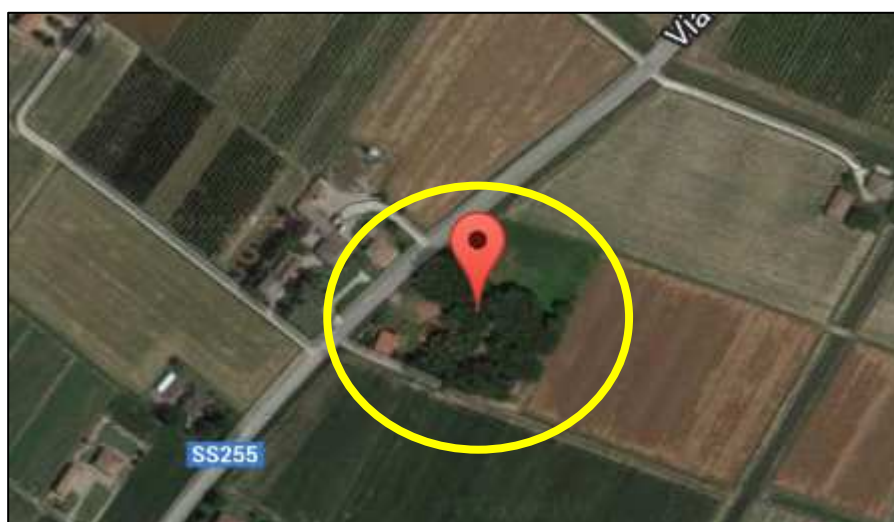
### **A- Risposta sismica di base**

- a) *Ubicazione del sito e zonizzazione sismica*

In base a quanto riportato nelle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/08, la definizione dei parametri sismici deve essere effettuata in funzione delle coordinate geografiche del sito e della classe d'uso della costruzione, i coefficienti sismici risultano infatti definiti in base alla posizione geografica del sito.

L'intervento in oggetto risulta caratterizzato dalle seguenti coord. geogr.:

<i>Coordinate</i>	<b>WGS84</b>	<i>Coordinate</i>	<b>ED50</b>
<i>Latitudine</i>	44.765655°	<i>Latitudine</i>	44.766588°
<i>Longitudine</i>	11.321700°	<i>Longitudine</i>	11.322697°



In base alla classificazione sismica contenuta nell'O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 il territorio nazionale è stato suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A); tale classificazione risulta ancora vigente ai fini amministrativi.

In base alla classificazione sismica il **Comune di Cento** risulta identificato in **zona sismica 3**.

### *b) Parametri e coefficienti sismici di cui al D.M. 14/01/2008*

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:

$a_g$ : *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 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. Gli esiti di tale verifica sono riportati di seguito; i metodi e le tavole di calcolo sono invece riportati in Appendice al paragrafo "Valutazione della pericolosità sismica". Così come riportato al cap. 7.11.3 del D.M. 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."*

Ai fini della caratterizzazione dell'azione sismica di progetto, il D.M. 14/01/2008 richiede la definizione di alcuni parametri specifici per l'opera in oggetto e relativi al sito in esame.

**Vita nominale:  $V_N \geq 50$  anni**

“La vita nominale ( $V_N$ ) di un’opera strutturale 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.” (cap. 2.4.1 – D.M. 14/01/08)

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 <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

**Classe d’uso: Classe d’uso II**

In base a quanto indicato al cap. 2.4.2 del DM 14/01/2008, le costruzioni sono suddivise in n. 4 classi d’uso definite con riferimento alle conseguenze di un’interruzione di operatività o di un eventuale collasso, in presenza di azioni sismiche; il caso in oggetto risulta rientrare nella seguente classe d’uso:

**Classe d’uso 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...”

**Coefficiente d’uso:  $C_U = 1,0$** 

Il valore del coefficiente d’uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d’uso, come mostrato in Tab. 2.4.II del D.M. 14/01/2008.

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

**Periodo di riferimento per l’azione sismica:  $V_R = 50$  anni**

“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  $C_U$  :

$$V_R = V_N \times C_U \quad (\text{cap. 2.4.3 – D.M. 14/01/08})$$

Valori dei parametri per i periodi di ritorno  $T_R$ , associati agli Stati Limite

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,042	2,529	0,257
SLD	50	0,055	2,469	0,268
SLV	475	0,155	2,590	0,271
SLC	975	0,208	2,538	0,278

Tratto da : “Spettri-NTC ver.1.0.3.” fase 2 – Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

## B- Risposta sismica locale

### c) Determinazione della $V_{s30}$ mediante indagine geofisica tipo MASW

Ai fini della misura diretta delle onde di taglio  $V_{s30}$  si è proceduto all’esecuzione di un’indagine geofisica mediante tecnica MASW.

Da quanto emerge nella “INDAGINE GEOFISICA PER LA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO” eseguita con tecnica MASW per la determinazione della  $V_{s30}$  e successiva classificazione della categoria del sottosuolo, riportata in Appendice alla presente relazione e redatta dal Dott. Geol. Andrea Garbellini di Canaro (Rovigo), si evince come la velocità delle onde di taglio calcolate con tale metodo risulti pari a:

$$V_{s30} = 183 \text{ m/s}$$

Dagli esiti di tale indagine, quindi, emerge come la categoria di sottosuolo di fondazione sia riconducibile alla categoria **C**.

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	Depositati 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	Depositati 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.

**d) Determinazione della Categoria topografica**

La categoria topografica è definita, in base alla classificazione riportata nella Tab. 3.2.VI del D.M. 14/01/2008.

Categoria Topografica	Caratteristiche della sup. Topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	Sup. pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	-	1,0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Nel nostro caso trovandoci in zona pianeggiante il valore di  $S_T$  corrisponde a :

$$S_T = 1$$

**e) Determinazione dell' Amplificazione Stratigrafica**

In base alle condizioni litologiche e morfologiche locali, le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) dopo aver individuato le “categorie di sottosuolo”, assegnano ad ognuna un valore del coefficiente  $S_s$  (coeff. di amplificazione stratigrafica)\* e di  $C_c$  (coeff. funzione della categoria di sottosuolo)\*, definiti secondo le formule presenti nella tabella allegata:

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	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per cui il coefficiente  $S$ , che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche è dato da :

$$S = S_S \times S_T = 1,459 \times 1 = 1,459$$

\* (Appendice - Parametri e coeff. sismici - Valutaz. pericolosità sismica - Spettri fase 3)

**f) Determinazione della Accelerazione massima**

L'accelerazione massima attesa al sito  $a_{max}$  è ricavata dalla seguente espressione generale:

$$a_{max} = S \cdot a_g = 1,459 \times 0,155^{**} = 0,23 [g]$$

\*\* (Appendice - Parametri e coeff. sismici - Valutaz. pericolosità sismica - Spettri fase 2)

dove:

$a_g$  : accelerazione massima su sito di riferimento rigido

$S$  : coefficiente che tiene conto sia dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica (categoria di sottosuolo tipo C)  $S_S$  sia dell'amplificazione topografica  $S_T$ .

Tale parametro risulta utile al fine di caratterizzare i coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$ , definiti dalle espressioni :

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

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

dove:

$\beta_s$  : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (vedi Tabella 7.11.I – D.M. 14/01/2008).

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

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	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

$a_g$  : accelerazione massima su sito di riferimento rigido

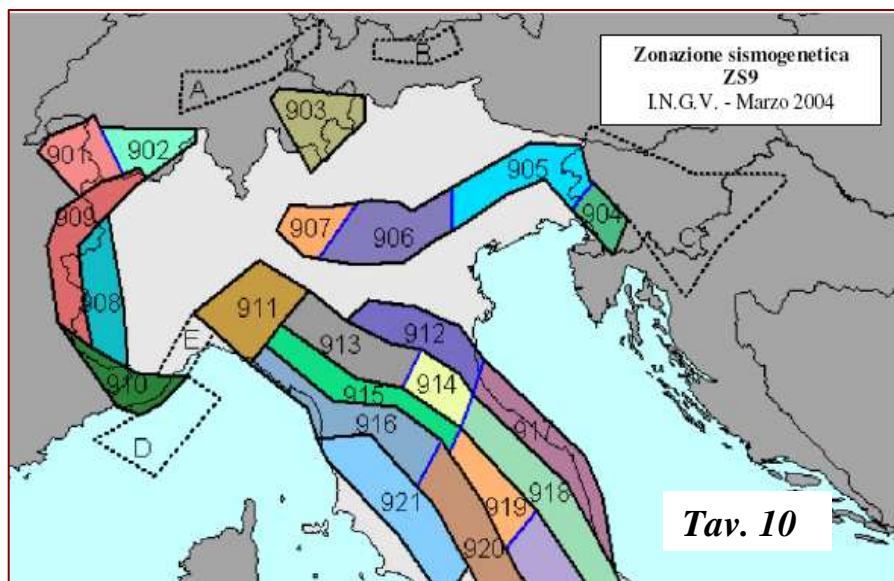
$g$  : accelerazione di gravità

### g) *Magnitudo di Riferimento*

Con riferimento al Rapporto Conclusivo dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (aprile 2004 – vedi Tav.10) il territorio in esame ricade all'interno della zona sismogenetica **ZS 912 (Dorsale Ferrarese)** per la quale viene previsto il seguente valore massimo della Magnitudo Momento:

$$M_w = 6,14$$

dello stesso ordine di grandezza rispetto al valore registrato durante il sisma del 20 maggio 2012 (magnitudo momento  $M_w = 6,0$  – magnitudo locale  $ML = 5,9$ ).



### h) *Verifica del potenziale di liquefazione*

Secondo la definizione data nell'Eurocodice 8, *la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità 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 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.

La verifica del coefficiente di sicurezza  $F_L$ , viene determinata ad ogni quota  $z$  del deposito compresa nei primi 20 m mediante l'applicazione della seguente formula:

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

dove:

- **CRR** = Cyclic Resistance Ratio, indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico, normalizzata rispetto alla pressione verticale efficace  $\sigma'_{v0}$  ;

$$CRR = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_{v0}}$$

- **CSR** = Cyclic Stress Ratio, indica la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

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

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

$g$  = accelerazione di gravità

$\sigma_v$  = tensione totale verticale nel sottosuolo

$\sigma'_v$  = tensione efficace verticale nel sottosuolo

$rd$  =  $1-0.0015z$  coefficiente riduttivo dell'azione sismica alla profondità di interesse per tenere in conto la deformabilità del sottosuolo (Iwasaki 1978)

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.

- **MSF** = fattore di correzione della magnitudo

Dal rapporto tra il numeratore con il denominatore, se il risultato è  $F_L > 1,00$  il deposito viene considerato **non liquefacibile**, se inferiore **liquefacibile**.

*La stima del rischio di liquefazione è stata elaborata mediante il metodo di Robertson e Wride impiegando il software Cliq ver.1.7.6.34 della GeoLogismiki Geotechnical Engineers realizzato in collaborazione con l'autore del metodo.*

I risultati ottenuti dall'applicazione del metodo di calcolo suddetto ai dati forniti dalle **CPT** eseguite e spinte sino alla profondità massima di 23.00 metri dal p.c. sono riportati di seguito.

## Calcolo dell'Indice del Potenziale di Liquefazione

L'indice del potenziale di liquefazione  $I_L$ , è stato introdotto da *Iwasaki et al. [1982]* allo scopo di fornire una misura integrale degli effetti della liquefazione per una singola verticale (per i quali sono disponibili al variare della profondità  $z$  i valori del fattore di sicurezza  $F_L$ ). Quando  $F_L < 1$  lo strato di terreno è liquefacibile, ma questa situazione non comporta necessariamente il collasso o una perdita di funzionalità delle strutture interagenti con il terreno, in quanto *le effettive conseguenze dell'innescò del fenomeno della liquefazione dipendono dall'estensione del fenomeno stesso, dalla profondità a cui si verifica e dalle condizioni del piano di campagna (inclinazione, presenza di incisioni che comportino la presenza di sforzi di taglio statici, ecc.)*.

L'indice del potenziale di liquefazione è il parametro indicativo dell'estensione che il fenomeno della liquefazione può avere nel deposito e può essere così calcolato:

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

dove  $20$  è la profondità critica entro la quale si ritengono significativi gli effetti della liquefazione e  $w(z)$  è una funzione di pesi, linearmente decrescente con la profondità, che tiene conto della profondità dello strato liquefacibile, attribuendo peso maggiore agli strati più superficiali ed è data da:

$$w(z) = 10 - 0.5z$$

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

$$\begin{aligned} F &= 1 - F_L & \text{se } F_L &\leq 1.0 \\ F &= 0 & \text{se } F_L &> 1.0 \end{aligned}$$

dove  $F_L$  è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

Una volta calcolato il valore dell'indice del potenziale di liquefazione per la verticale considerata, è possibile associare al sito corrispondente una classe di pericolosità, secondo la seguente classificazione :

*Classi di pericolosità di liquefazione secondo Sonmez (2003)*

<i>INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE <math>I_L</math></i>	<i>PERICOLOSITA' DI LIQUEFAZIONE</i>
$I_L = 0$	nulla
$0 < I_L \leq 2$	bassa
$2 < I_L \leq 5$	moderata
$5 < I_L \leq 15$	alta
$I_L > 15$	molto alta

## ***Risultati della verifica del rischio di liquefazione***

Le verifiche sono state effettuate mediante il software *CLiqIT v. 1.7.6.34* della Geologismiki Geotechnical Engineers, sviluppato in collaborazione col Prof. Peter Robertson.

Il valore assunto dall'indice di classificazione del terreno ***I<sub>c</sub>*** (*funzione della resistenza alla punta e dell'attrito laterale misurati da prove penetrometriche statiche*) rappresenta, nel metodo di Robertson e Wride, una soglia tra i terreni considerati potenzialmente liquefacibili ( $I_c < 2.6$  – sabbie in matrice fine, sabbie limose, sabbie pulite, sabbie ghiaiose) da quelli non liquefacibili ( $I_c > 2.6$  – limi argillosi, argille limose, argille), i quali vengono esclusi dalla verifica.

I parametri utilizzati per la verifica (eseguita sino a -20.00 metri dal p.c.) sono stati i seguenti:

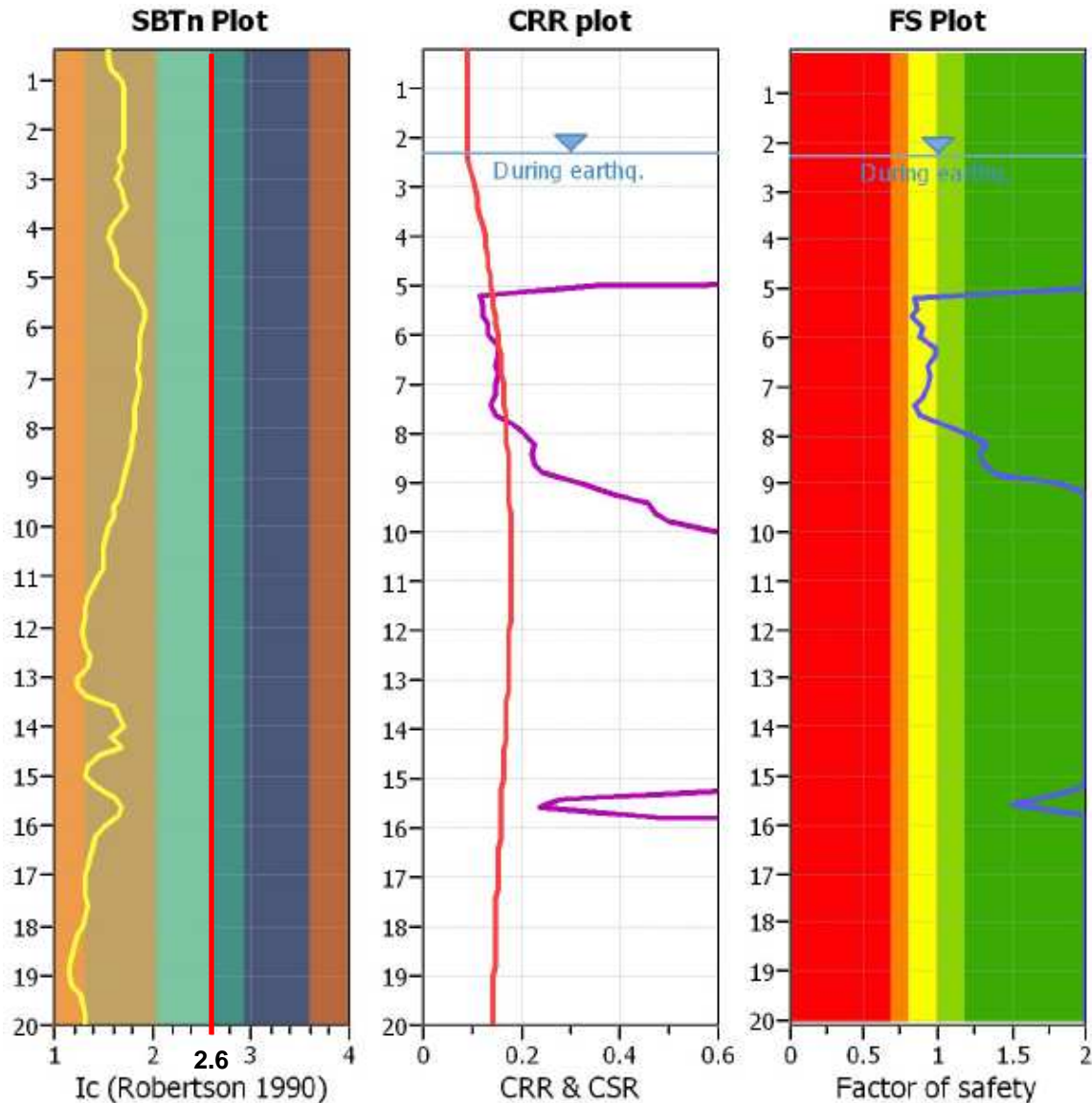
- *i dati ottenuti dalle CPT eseguite nel corso del presente studio;*
- *una magnitudo attesa pari a 6.14;*
- *una categoria di sottosuolo definita di tipo C;*
- *profondità falda rilevata: -3.30 m da p.c. riscontrata al momento dell'indagine e ritenuta di pressochè massima espansione.*
- *profondità falda da sisma: ipotizzata, per maggiore sicurezza, a -2.30 m da p.c.*
- *accelerazione orizzontale massima attesa al sito  $a_{max} = 0,23$  g*

### **Verifiche da CPT 1**

Dai risultati ottenuti si evidenzia che:

- tra p.c. e 5.00 metri di profondità non sono stati identificati livelli presentanti valori dell'indice di classificazione del terreno  $I_c < 2.6$ ;
- tra 5.20 e 7.60 metri di profondità è stato identificato un livello, dello spessore di 240 cm, che presenta valori dell'indice di classificazione del terreno  $I_c < 2.6$ ; *tale livello granulare è stato sottoposto alla verifica di liquefazione e la verifica ha evidenziato valori del fattore di sicurezza alla liquefazione  $F_L < 1$  (valori tra 0.85 ÷ 0.99); il livello, quindi, risulta potenzialmente liquefacibile;*
- tra 7.80 e 20.00 metri di profondità non sono stati identificati livelli presentanti valori dell'indice di classificazione del terreno  $I_c < 2.6$ ;
- il calcolo dell'*indice del potenziale di liquefazione* per la verticale esaminata, risulta pari a  $I_L = 1.79$  ; si evidenzia cioè un rischio “basso” (per le elaborazioni, vedere *Appendice - Verifica del potenziale di liquefazione*);
- il calcolo del cedimento post-sismico dei livelli granulari saturi, ha dato un valore pari a 5,36 cm (per le elaborazioni, vedere *Appendice - Calcolo dei cedimenti post sisma*).

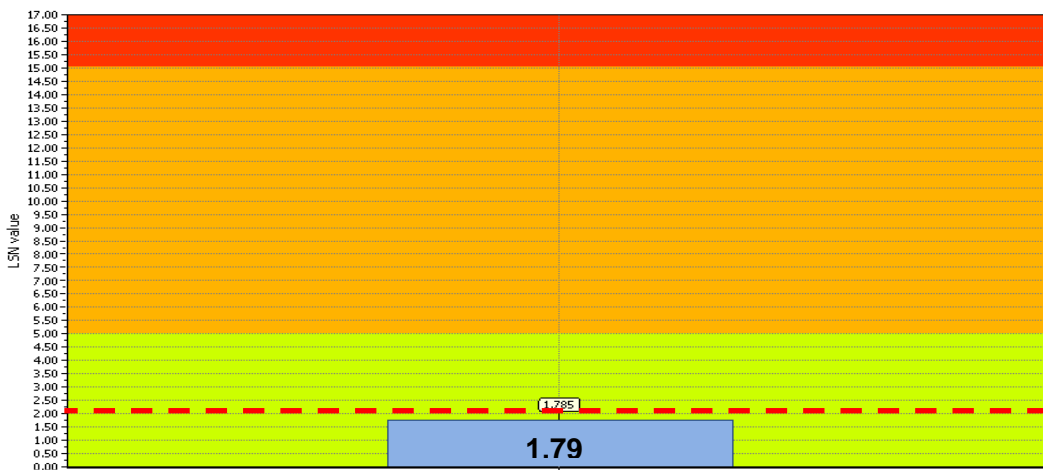
Di seguito vengono riportate le elaborazioni grafiche fornite dal programma.



**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	$K_{\sigma}$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

**Overall Liquefaction Potential Index report**



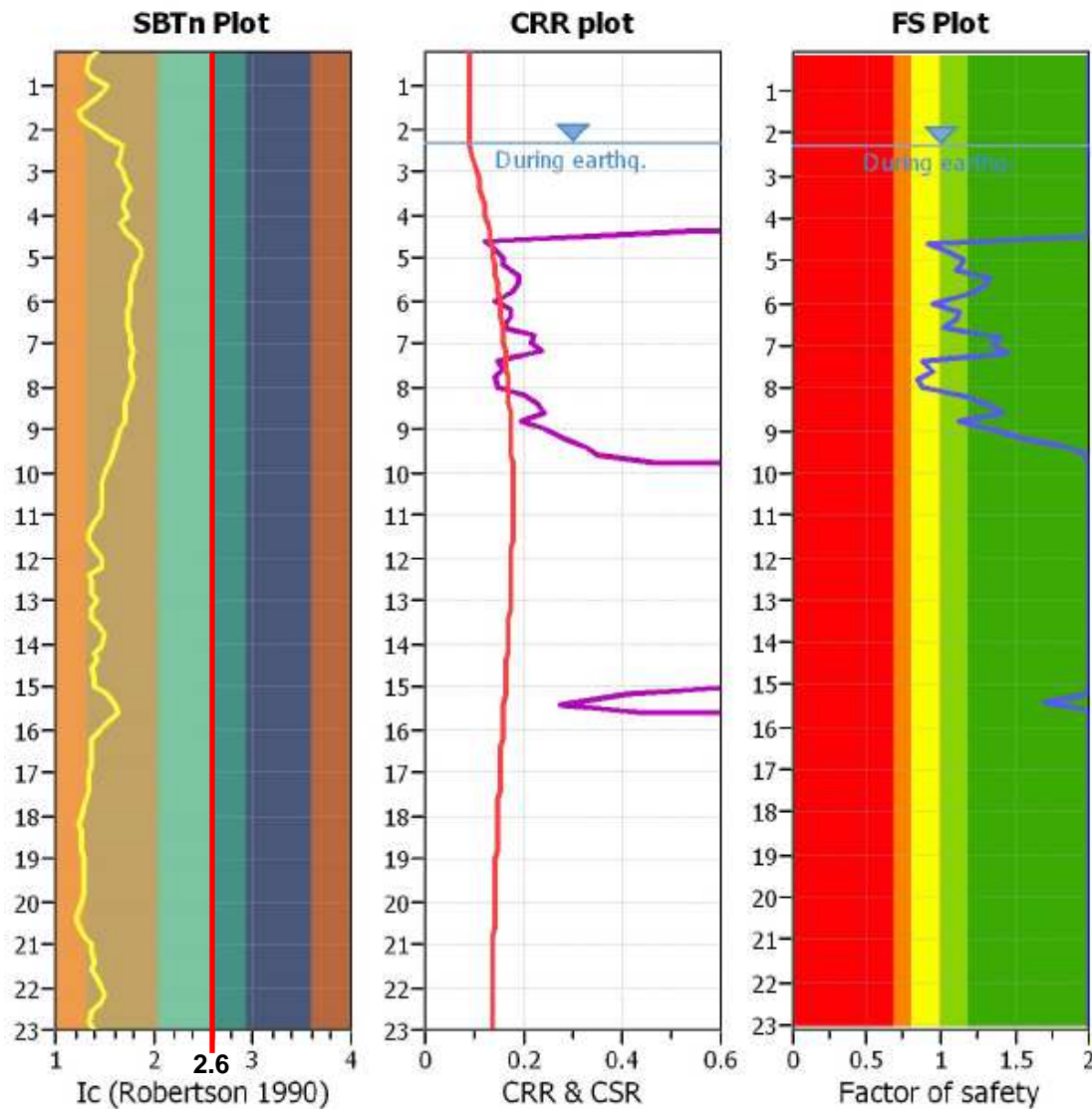
**LPI color scheme**

<span style="color: red;">■</span>	Very high risk
<span style="color: orange;">■</span>	High risk
<span style="color: yellow;">■</span>	Moderate risk (2-5)
<span style="color: lightgreen;">■</span>	Low risk (0-2)

## Verifiche da CPT 2

- tra p.c. e 7.20 metri di profondità non sono stati identificati livelli **significativi** presentanti valori dell'indice di classificazione del terreno  $I_c < 2.6$ ;
- tra 7.40 e 8.00 metri di profondità è stato identificato un livello, dello spessore di 60 cm, che presenta valori dell'indice di classificazione del terreno  $I_c < 2.6$ ; *tale livello granulare è stato sottoposto alla verifica di liquefazione* e la verifica ha evidenziato valori del fattore di sicurezza alla liquefazione  $F_L < 1$  (valori tra 0.85 ÷ 0.94); il livello, quindi, risulta potenzialmente liquefacibile;
- tra 8.00 e 20.00 metri di profondità non sono stati identificati livelli presentanti valori dell'indice di classificazione del terreno  $I_c < 2.6$ ;
- il calcolo dell'*indice del potenziale di liquefazione* per la verticale esaminata, risulta pari a  $I_L = 0.75$  ; si evidenzia cioè un rischio “basso” (per le elaborazioni, vedere *Appendice - Verifica del potenziale di liquefazione*);
- il calcolo del cedimento post-sismico dei livelli granulari saturi, ha dato un valore pari a 3,43 cm (per le elaborazioni, vedere *Appendice - Calcolo dei cedimenti post sisma*).

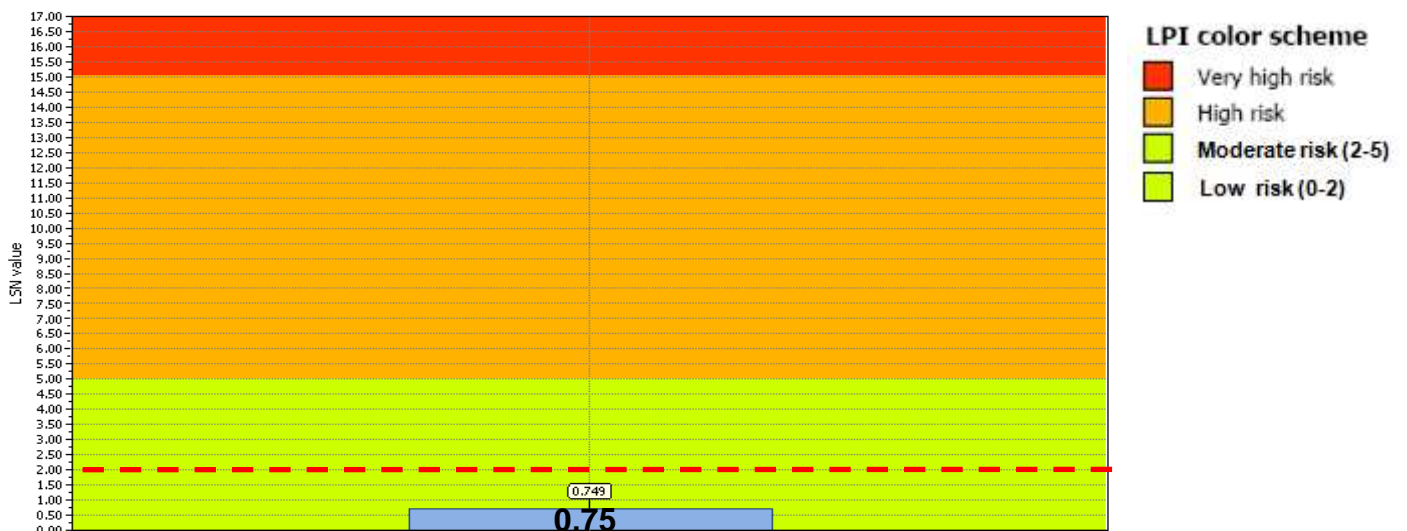
Di seguito vengono riportate le elaborazioni grafiche fornite dal programma.



**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	$K_v$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

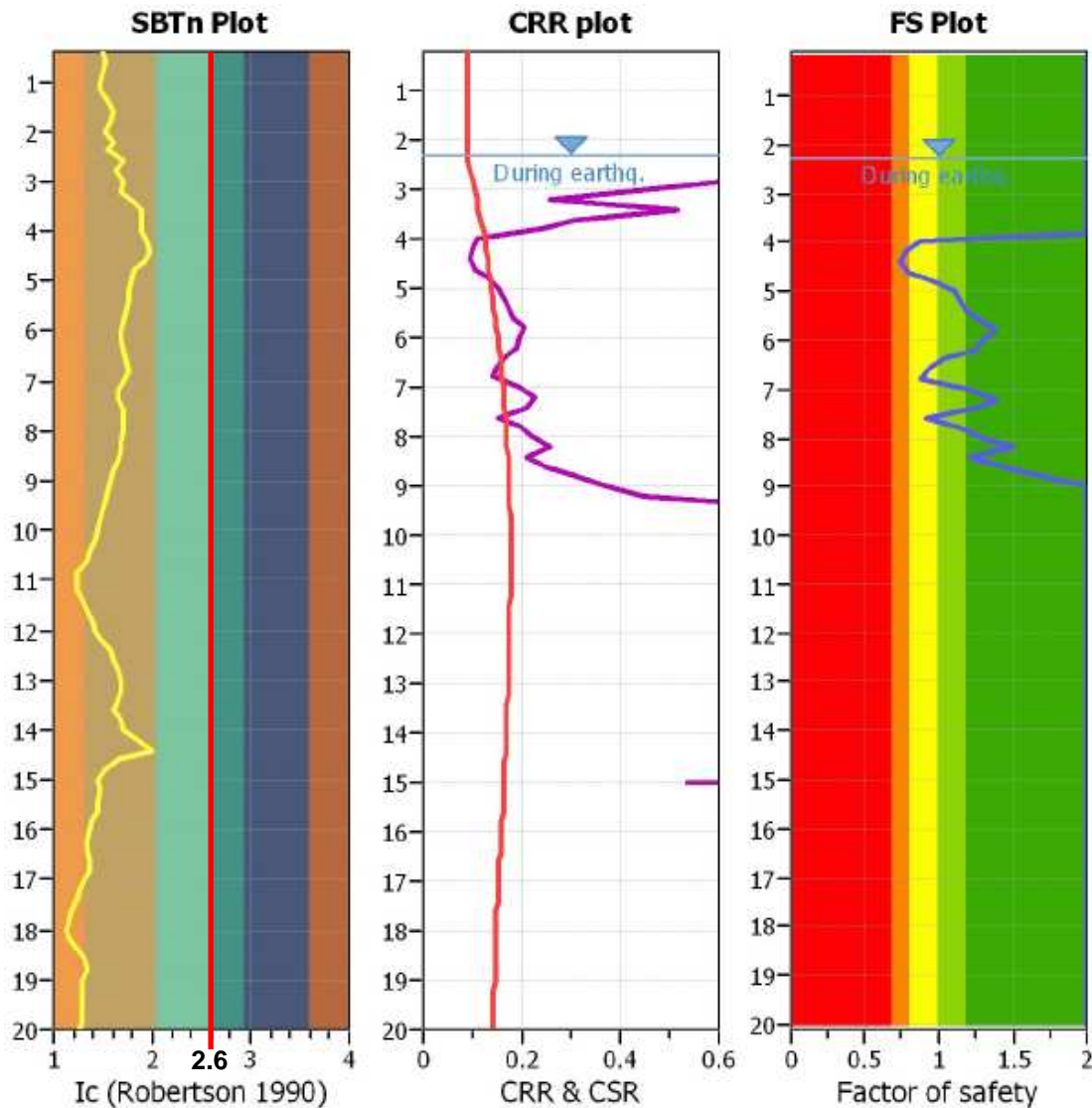
**Overall Liquefaction Potential Index report**



### Verifiche da CPT 3

- tra p.c. e 3.80 metri di profondità non sono stati identificati livelli presentanti valori dell'indice di classificazione del terreno  $I_c < 2.6$ ;
- tra 4.00 e 4.80 metri di profondità è stato identificato un livello, dello spessore di 80 cm, che presenta valori dell'indice di classificazione del terreno  $I_c < 2.6$ ; *tale livello granulare è stato sottoposto alla verifica di liquefazione* e la verifica ha evidenziato valori del fattore di sicurezza alla liquefazione  $F_L < 1$  (valori tra  $0.75 \div 0.95$ ); il livello, quindi, risulta potenzialmente liquefacibile;
- tra 5.00 e 6.40 metri di profondità non sono stati identificati livelli presentanti valori dell'indice di classificazione del terreno  $I_c < 2.6$ ;
- tra 6.60 e 7.60 metri di profondità è stato identificato un livello **discontinuo**, dello spessore di 40 cm più ulteriori 20 cm, che presentano valori dell'indice di classificazione del terreno  $I_c < 2.6$ ; *tale livello granulare è stato sottoposto alla verifica di liquefazione* e la verifica ha evidenziato valori del fattore di sicurezza alla liquefazione  $F_L < 1$  (valori tra  $0.88 \div 0.92$ ); il livello, quindi, risulta potenzialmente liquefacibile;
- tra 7.80 e 20.00 metri di profondità non sono stati identificati livelli presentanti valori dell'indice di classificazione del terreno  $I_c < 2.6$ ;
- il calcolo dell'*indice del potenziale di liquefazione* per la verticale esaminata, risulta pari a  $I_L = 1.75$  ; si evidenzia cioè un rischio “basso” (per le elaborazioni, vedere *Appendice - Verifica del potenziale di liquefazione*);
- il calcolo del cedimento post-sismico dei livelli granulari saturi, ha dato un valore pari a 5,30 cm (per le elaborazioni, vedere *Appendice - Calcolo dei cedimenti post sisma*).

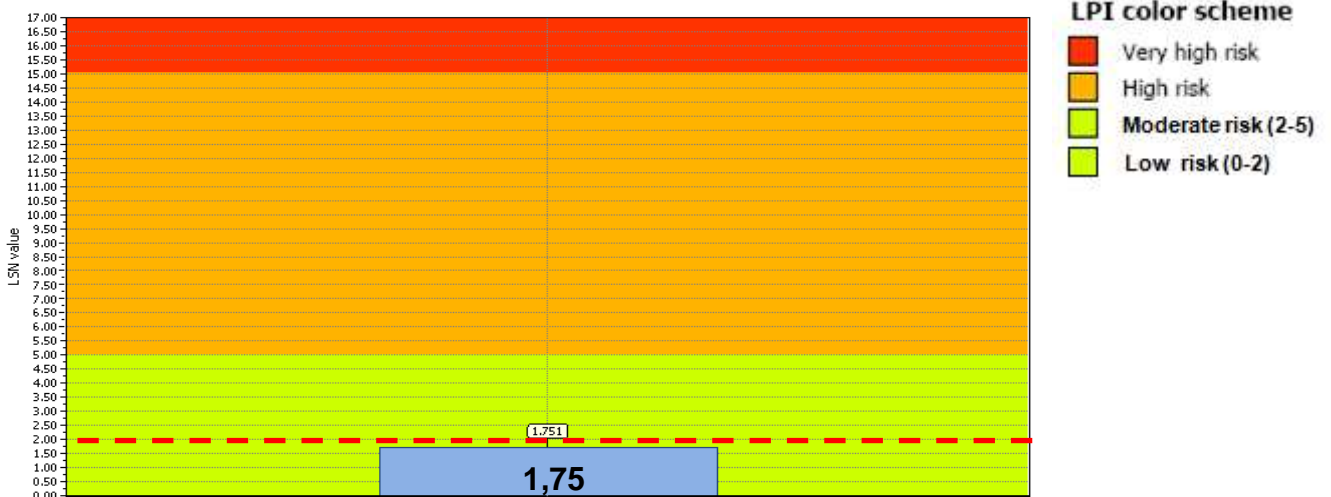
Di seguito vengono riportate le elaborazioni grafiche fornite dal programma.



**Input parameters and analysis data**

Analysis method:	Robertson (2009)	Depth to water table (erthq.):	2.30 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	Robertson (2009)	Average results interval:	3	Transition detect. applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	$K_f$ applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	All soils
Peak ground acceleration:	0.23	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	3.30 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

**Overall Liquefaction Potential Index report**



## *Verifiche della sicurezza e delle prestazioni delle opere di fondazione e calcolo dei cedimenti teorici*

Di seguito si riporta la valutazione della pericolosità sismica così come indicato dal D.M. 14/01/2008; i parametri sono stati calcolati per lo stato limite SLV come previsto dalla normativa.

### *Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) ( $P_{VR} = 10\%$ )*

*“a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.”*  
(cap. 3.2.1 – D.M. 14/01/08)

<i>Parametro</i>		<i>Valore</i>	<i>U.M.</i>	<i>Definizione</i>	<i>Rif. D.M. 14/01/2008</i>
$T_R$	=	475	anni	tempo di ritorno ( $T_R = - V_R / \ln(1-P_{VR})$ )	
$a_g$	=	0,155	g	accelerazione orizzontale massima attesa sul sito di riferimento rigido	cap. 3.2 e Allegato B
$F_o$	=	2,590		valore massimo del valore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale	cap. 3.2 e Allegato B
$T_c^*$	=	0,271	s	periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	cap. 3.2 e Allegato B
$S_S$	=	1,459		coefficiente di amplificazione stratigrafica	cap. 3.2.3.2 (Tab. 3.2.V)
$C_C$	=	1,615		coefficiente definito in funzione della categoria di sottosuolo	cap. 3.2.3.2 (Tab. 3.2.V)
$S_T$	=	1		coefficiente di accelerazione topografica	cap. 3.2.3.2 (Tab. 3.2.VI)
$S$	=	1,459		coefficiente che tiene conto sia dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica $S_S$ sia dell'amplificazione topografica $S_T$ .	
$a_{max}$	=	0,226	g	accelerazione orizzontale massima attesa sul sito	cap. 7.11.3
$\beta_S$	=	0,24		coeff. di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito	cap. 7.11.3.5.2 (Tab. 7.11.I)
$K_h$	=	0,054		coefficiente sismico orizzontale ( $K_h = \beta_S a_{max} / g$ )	cap. 7.11.3.5.2
$K_v$	=	0,027		coefficiente sismico verticale ( $K_v = \pm 0,5 K_h$ )	cap. 7.11.3.5.2

Di seguito vengono riportate le verifiche di sicurezza effettuate in base alle indicazioni di cui al D.M. 14/01/2008, con riferimento agli Stati Limite Ultimi (SLU).

## **Verifica agli Stati Limite Ultimi**

Per quanto riguarda le verifiche nei confronti degli *Stati Limite Ultimi (SLU)*, in base a quanto indicato al cap. 6.4.2.1 del sopraccitato decreto “*gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa*”.

In base a quanto indicato al D.M. sopraccitato, “*la sicurezza del complesso fondazione-terreno deve essere verificata nei confronti del collasso per carico limite e per scorrimento nel rispetto della condizione:*”

$$E_d \leq R_d$$

dove:

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

$R_d$ : valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Tali verifiche devono essere effettuate seguendo gli approcci indicati dalla normativa, ovvero:

### **Approccio 1:**

– *Combinazione 1:* (A1+M1+R1)

– *Combinazione 2:* (A2+M2+R2)

### **Approccio 2:**

(A1+M1+R3)

accertando la verifica della condizione sopra indicata.

## **Calcolo della resistenza del sistema geotecnico $R_d$ e relativi cedimenti teorici**

La resistenza del sistema geotecnico  $R_d$  è stata determinata con i metodi classici che permettono la definizione del carico limite o carico ultimo, tenendo conto delle disposizioni del D.M. 14/01/08.

Nel caso in esame la stima del valore del carico limite  $q_{LIM}$ , ovvero del carico che applicato all'opera di fondazione porta alla rottura del complesso terreno-opera di fondazione, è stata condotta utilizzando la *formula generale di Brinch-Hansen (1970)*:

$$q_{LIM} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q$$

nella quale:

$N_\gamma, N_c, N_q$  = fattori di capacità portante, dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$ ;

$s_\gamma, s_c, s_q$  = fattori di forma della fondazione;

$i_\gamma, i_c, i_q$  = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;

$b_\gamma, b_c, b_q$  = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base della fondazione;

$g_\gamma, g_c, g_q$  = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna;

$d_\gamma, d_c, d_q$  = fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa.

Per maggiori dettagli relativi alle espressioni di calcolo dei parametri che caratterizzano tale formula si rimanda in Appendice al capoverso "Calcolo della capacità portante: metodi utilizzati".

In base alle indicazioni fornite dal Progettista, le verifiche *preliminari* verranno effettuate ipotizzando la seguente tipologia di fondazione:

per **CPT 1-2-3**: fondazioni a trave continua con  $B=0.80 - 1.00 - 1.20 - 1.50$  metri, impostate a  $-1.00$  metri dal p.c.

per **CPT 1-2-3**: fondazioni a plinto isolato a base quadrata avente lato di  $2.50 - 3.00 - 3.50 - 4.00$  metri, impostate a  $-1.00$  metri dal p.c.

Come esposto precedentemente le verifiche in questione sono state effettuate, per l'ipotesi sopra indicata, seguendo gli approcci richiesti dal decreto e tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.II e 6.4.I del decreto in questione (vedi tabelle seguenti).

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

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

**Tabella 6.4.I** - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

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

Nelle verifiche si è inoltre fatto riferimento ai valori caratteristici delle principali grandezze geotecniche relative al terreno interessato dalle opere di fondazione.

Il programma utilizzato esegue in automatico la definizione dei parametri caratteristici (relativamente al solo livello litologico interessato dalle opere di fondazione) e procede all'elaborazione di tali dati.

Di seguito si riporta la procedura seguita per ogni tipologia di approccio.

### **Approccio 1: Combinazione 1**

#### **Parametri (M1)**

Il valore di progetto della resistenza è stato determinato a partire dai valori di progetto delle principali grandezze geotecniche, ottenute dividendo i valori caratteristici per i coefficienti parziali di cui alla Tab. 6.2.II del D.M. 14/01/2008, sopra riportata, ovvero:

$$C_{u_d} = C_{u_k} / \gamma_{Cu} \quad \text{con} \quad \gamma_{Cu} = 1,0$$

$$\gamma_d = \gamma_k / \gamma_\gamma \quad \text{con} \quad \gamma_\gamma = 1,0$$

#### **Resistenze (R1)**

Il valore di progetto della resistenza è stato calcolato considerando i coefficienti riduttivi riportati nella Tab. 6.4.I, del D.M. 14/01/2008, sopra riportata, ovvero:

$$\text{Capacità portante:} \quad \gamma_R = 1,0$$

### **Approccio 1: Combinazione 2**

#### **Parametri (M2)**

Il valore di progetto della resistenza è stato determinato a partire dai valori di progetto delle principali grandezze geotecniche, ottenute dividendo i valori caratteristici per i coefficienti parziali di cui alla Tab. 6.2.II del D.M. 14/01/2008, sopra riportata, ovvero:

$$C_{u_d} = C_{u_k} / \gamma_{Cu} \quad \text{con} \quad \gamma_{Cu} = 1,4$$

$$\gamma_d = \gamma_k / \gamma_\gamma \quad \text{con} \quad \gamma_\gamma = 1,0$$

#### **Resistenze (R2)**

Il valore di progetto della resistenza è stato calcolato considerando i coefficienti riduttivi riportati nella Tab. 6.4.I, del D.M. 14/01/2008, sopra riportata, ovvero:

$$\text{Capacità portante:} \quad \gamma_R = 1,8$$

## **Approccio 2**

### **Parametri (M1)**

Il valore di progetto della resistenza è stato determinato a partire dai valori di progetto delle principali grandezze geotecniche, ottenute dividendo i valori caratteristici per i coefficienti parziali di cui alla Tab. 6.2.II del D.M. 14/01/2008, sopra riportata, ovvero:

$$C_{u,d} = C_{u,k} / \gamma_{Cu} \quad \text{con} \quad \gamma_{Cu} = 1,0$$

$$\gamma_d = \gamma_k / \gamma_\gamma \quad \text{con} \quad \gamma_\gamma = 1,0$$

### **Resistenze (R3)**

Il valore di progetto della resistenza è stato calcolato considerando i coefficienti riduttivi riportati nella Tab. 6.4.I, del D.M. 14/01/2008, sopra riportata, ovvero:

*Capacità portante:*       $\gamma_R = 2,3$

Si osserva che i calcoli eseguiti vengono di seguito riportati nelle tavole riassuntive come :

- *SLU verifica dello Stato Limite Ultimo - Salvaguardia della Vita - SLV :*  
*calcolo della resistenza del sistema geotecnico - Rd*

*Vale la pena sottolineare come il raggiungimento dei valori di pressione Rd sopra indicati, comporti il raggiungimento di cedimenti tali da pregiudicare la stabilità della struttura, sino alla condizione limite di rottura del complesso terreno-opera di fondazione.*

**Tabella riassuntiva relativa al calcolo della resistenza del sistema geotecnico  $R_d$  e relativi cedimenti teorici**

**Verifiche effettuate per CPT 1**

**SLU - Verifica dello Stato Limite Ultimo - Salvaguardia della Vita (SLV) : calcolo di  $R_d$  (resistenza del sistema geotecnico) e cedimenti teorici assoluti e relativi**

**Tipi di approccio:**

Approccio 1 Combin. 1  
Approccio 1 Combin. 2  
Approccio 2

Trave con B = 0,80 m		Trave con B = 1,00 m		Trave con B = 1,20 m		Trave con B = 1,50 m	
<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>	
Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.
Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm
3,37	8,08	4,17	11,90	4,03	13,22	3,90	15,13
1,36	3,26	1,68	4,79	1,62	5,32	1,57	6,09
1,47	3,53	1,81	5,16	1,75	5,74	1,70	6,60

**Tipi di approccio:**

Approccio 1 Combin. 1  
Approccio 1 Combin. 2  
Approccio 2

Plinto con lato = 2,50 m		Plinto con lato = 3,00 m		Plinto con lato = 3,50 m		Plinto con lato = 4,00 m	
<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>	
Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.
Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm
3,89	12,94	3,80	15,70	3,74	18,50	3,70	21,32
1,57	5,22	1,53	6,32	1,51	7,47	1,49	8,58
1,69	5,62	1,65	6,82	1,63	8,06	1,61	9,28

**A solo titolo indicativo, di seguito si riporta il calcolo dei cedimenti teorici assoluti calcolati con il classico metodo edometrico**

*cedimenti teorici assoluti*  
coeff. rid. ced. fond. = 0,85

Trave con B = 0,80 m		Trave con B = 1,00 m		Trave con B = 1,20 m		Trave con B = 1,50 m	
<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>	
incr. carico	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.
Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm
1,00	2,40	1,00	2,85	1,00	3,28	1,00	3,88

*cedimenti teorici assoluti*  
coeff. rid. ced. fond. = 0,75

Plinto con lato = 2,50 m		Plinto con lato = 3,00 m		Plinto con lato = 3,50 m		Plinto con lato = 4,00 m	
<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>	
Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.
Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm
1,00	3,33	0,90	3,72	0,80	3,96	0,70	4,03

**Verifiche effettuate per CPT 2**

**SLU - Verifica dello Stato Limite Ultimo - Salvaguardia della Vita (SLV) : calcolo di Rd (resistenza del sistema geotecnico) e cedimenti teorici assoluti e relativi**

**Tipi di approccio:**

Approccio 1 Combin. 1  
Approccio 1 Combin. 2  
Approccio 2

Trave con B = 0,80 m		Trave con B = 1,00 m		Trave con B = 1,20 m		Trave con B = 1,50 m	
<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>	
Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.
Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm
3,57	12,53	4,41	18,88	4,25	21,32	4,10	24,87
1,45	5,09	1,78	7,62	1,71	8,58	1,66	10,07
1,55	5,44	1,92	8,22	1,85	9,28	1,78	10,80

**Tipi di approccio:**

Approccio 1 Combin. 1  
Approccio 1 Combin. 2  
Approccio 2

Plinto con lato = 2,50 m		Plinto con lato = 3,00 m		Plinto con lato = 3,50 m		Plinto con lato = 4,00 m	
<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>	
Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.
Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm
4,17	20,07	4,08	25,01	4,02	29,98	3,97	34,83
1,69	8,13	1,65	10,11	1,62	12,08	1,60	14,04
1,81	8,71	1,77	10,85	1,75	13,05	1,72	15,09

**A solo titolo indicativo, di seguito si riporta il calcolo dei cedimenti teorici assoluti calcolati con il classico metodo edometrico**

cedimenti teorici assoluti  
coeff. rid. ced. fond. = 0,85

Trave con B = 0,80 m		Trave con B = 1,00 m		Trave con B = 1,20 m		Trave con B = 1,50 m	
<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>	
incr. carico	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.
Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm
1,00	3,51	0,90	3,85	0,80	4,01	0,70	4,25

cedimenti teorici assoluti  
coeff. rid. ced. fond. = 0,75

Plinto con lato = 2,50 m		Plinto con lato = 3,00 m		Plinto con lato = 3,50 m		Plinto con lato = 4,00 m	
<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>	
Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.
Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm
0,80	3,85	0,65	3,98	0,50	3,73	0,45	3,95

**Verifiche effettuate per CPT 3**

**SLU - Verifica dello Stato Limite Ultimo - Salvaguardia della Vita (SLV) : calcolo di Rd (resistenza del sistema geotecnico) e cedimenti teorici assoluti e relativi**

**Tipi di approccio:**

Approccio 1 Combin. 1  
Approccio 1 Combin. 2  
Approccio 2

Trave con B = 0,80 m		Trave con B = 1,00 m		Trave con B = 1,20 m		Trave con B = 1,50 m	
<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>	
Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.
Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm
3,03	16,16	3,73	24,03	3,59	26,92	3,47	31,21
1,25	6,67	1,53	9,86	1,47	11,02	1,42	12,77
1,32	7,04	1,62	10,44	1,56	11,70	1,51	13,58

**Tipi di approccio:**

Approccio 1 Combin. 1  
Approccio 1 Combin. 2  
Approccio 2

Plinto con lato = 2,50 m		Plinto con lato = 3,00 m		Plinto con lato = 3,50 m		Plinto con lato = 4,00 m	
<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>	
Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.
Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm
3,53	25,94	3,46	31,84	3,40	37,44	3,36	42,81
1,45	10,65	1,42	13,07	1,40	15,42	1,38	17,58
1,54	11,31	1,50	13,80	1,48	16,30	1,46	18,60

**A solo titolo indicativo, di seguito si riporta il calcolo dei cedimenti teorici assoluti calcolati con il classico metodo edometrico**

cedimenti teorici assoluti  
coeff. rid. ced. fond. = 0,85

Trave con B = 0,80 m		Trave con B = 1,00 m		Trave con B = 1,20 m		Trave con B = 1,50 m	
<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>	
incr. carico	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.
Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm
0,75	4,00	0,60	3,87	0,50	3,75	0,40	3,60

cedimenti teorici assoluti  
coeff. rid. ced. fond. = 0,75

Plinto con lato = 2,50 m		Plinto con lato = 3,00 m		Plinto con lato = 3,50 m		Plinto con lato = 4,00 m	
<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>		<i>impostata a -1,00 m</i>	
Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.	Rd	ced.
Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm	Kg/cmq	cm
0,55	4,04	0,40	3,68	0,35	3,85	0,30	3,82

**Note a commento dei risultati ottenuti:**

- a) le verifiche sono state condotte in condizioni "non drenate";
- b) nelle verifiche sopra riportate il "banco comprimibile" è stato considerato sino a 7,00 metri dal piano campagna per le verifiche relative alle fondazioni a travi continue, e sino a 10,00 metri per le verifiche relative alle fondazioni a plinti isolati a base quadrata.;
- c) in relazione al coefficiente di riduzione dei cedimenti per la rigidità della struttura (0,50 ÷ 1,00), si osserva che il programma propone 4 ipotesi: *fondazione rigida (0,50), semirigida (0,75), semielastica (0,85), elastica (1,00)*.  
Per le verifiche relative a fondazioni a trave continua, si è scelta la semielastica ovvero quella corrispondente al coefficiente di riduzione dei cedimenti pari a 0,85.  
Per le verifiche relative a fondazioni a plinto isolato, si è scelta la semirigida ovvero quella corrispondente al coefficiente di riduzione dei cedimenti pari a 1,00.

**d) Risultati delle verifiche operate con fondazioni a travi continue ed a plinti isolati :**

*Fondazioni a travi continue* - le verifiche sopra riportate evidenziano incrementi di carico massimo ammissibile dai terreni variabile :  
per CPT 1 : **1,00** kg/cm<sup>2</sup> - *i cedimenti teorici assoluti* calcolati sono dell'ordine di 2,40 ÷ 3,88 cm;  
per CPT 2 : carichi variabili da **0,70** a **1,00** kg/cm<sup>2</sup> - *i cedimenti teorici assoluti* calcolati sono dell'ordine di 3,51 ÷ 4,25 cm  
per CPT 3 : carichi variabili da **0,40** a **0,75** kg/cm<sup>2</sup> - *i cedimenti teorici assoluti* calcolati sono dell'ordine di 3,60 ÷ 4,00 cm  
*I cedimenti teorici differenziali* calcolati per le tre CPT e per l'ipotesi di B = 1,00 m. sono dell'ordine di 1,0 cm

*Fondazioni a plinti isolati* - le verifiche sopra riportate evidenziano incrementi di carico massimo ammissibile dai terreni variabile :  
per CPT 1 : carichi variabili da **0,70** a **1,00** kg/cm<sup>2</sup> - *i cedimenti teorici assoluti* calcolati sono dell'ordine di 3,33 ÷ 4,03 cm;  
per CPT 2 : carichi variabili da **0,45** a **0,80** kg/cm<sup>2</sup> - *i cedimenti teorici assoluti* calcolati sono dell'ordine di 3,73 ÷ 3,98 cm;  
per CPT 3 : carichi variabili da **0,30** a **0,55** kg/cm<sup>2</sup> - *i cedimenti teorici assoluti* calcolati sono dell'ordine di 3,68 ÷ 4,04 cm;  
*I cedimenti teorici differenziali* calcolati per le tre CPT e per l'ipotesi di lato = 3,00 m. sono dell'ordine di 0,3 cm

## Conclusioni

Su incarico della Committenza, è stata redatta la presente relazione geologico-tecnica e sismica al fine di verificare le caratteristiche **geomorfologiche, idrogeologiche, geologico-tecniche** e di valutare la **risposta sismica** di un'area sulla quale è ubicato un vecchio impianto per la produzione di conglomerato bituminoso non più funzionante e per la quale viene richiesta la modifica della destinazione urbanistica.

A tal fine sono state eseguite in sito le seguenti indagini:

- n°3 prove penetrometriche statiche CPT spinte sino alla profondità massima di 23.00 metri dal p.c. per la caratterizzazione geotecnica dell'area e per la definizione della stratigrafia di massima del sottosuolo.
- Definizione del parametro  $V_{s30}$  mediante un'indagine sismica con tecnica MASW

pervenendo ai risultati che seguono :

- *Natura prevalente*

Le CPT eseguite evidenziano le seguenti stratigrafie (*software "Fondazio"*)

**CPT 1** *descrizione di dettaglio:*

da 0.00 a -0.40 m	argille ed argille organiche
da -0.40 a -4.80 m	sabbie con sottili intercalari argillosi e limosi
da -4.80 a -10.00 m	argille, a tratti torbose
da -10.00 a -12.60 m	limi sabbiosi argillosi
da -12.60 a -14.60 m	sabbie
da -14.60 a -18.00 m	alternanze di limi sabbiosi ed argille; presenza di tracce organiche
da -18.00 a -20.00 m	argille limose

**CPT 2** *descrizione di dettaglio:*

da 0.00 a -4.20 m	prevalenza di sabbie con sottili intercalari argillosi e limosi
da -4.20 a -8.00 m	torbe, argille torbose ed intercalari argillosi
da -8.00 a -10.00 m	argille organiche
da -10.00 a -14.60 m	argille limose, sottili livelli sabbiosi ed intercalari argillosi
da -14.60 a -18.60 m	limi argillosi e sabbiosi; presenza di tracce organiche
da -18.60 a -21.00 m	argille, a tratti limose
da -21.00 a -23.00 m	limi sabbiosi ed argilloso organici

**CPT 3** *descrizione di dettaglio:*

da 0.00 a -3.60 m	alternanze di sabbie, a tratti organiche, ed argille
da -3.60 a -5.20 m	torbe ed argille torbose intercalate ad argille
da -5.20 a -9.20 m	argille organiche e torbe con intercalari argillosi
da -9.20 a -12.00 m	limi sabbioso argillosi con intercalari argillosi
da -12.00 a -14.60 m	sabbie
da -14.60 a -17.00 m	argille limose ed argille; presenza di tracce organiche
da -17.00 a -20.00 m	argille limose

- *Caratteristiche geotecniche*

- l'area di studio è caratterizzata da sensibili variazioni litostratigrafiche in senso verticale e da una notevole continuità laterale; le descrizioni che seguono e la relativa parametrizzazione fanno riferimento alla CPT 2 che è quella che raggiunge la maggiore profondità e che risulta mediamente rappresentativa delle tre CPT eseguite;
- i terreni possono essere definiti come dotati complessivamente di discrete caratteristiche geotecniche sino a 4.00 metri dal p.c.; più sotto sino a 9.00 metri i terreni sono caratterizzati da scadenti caratteristiche geotecniche; ancora più sotto, sino a 10.80 metri, si rilevano discrete caratteristiche geotecniche. Sino ai 15.00 metri da buone caratteristiche geotecniche; più sotto, sino a 15.80 metri da modeste caratteristiche geotecniche e da buone caratteristiche geotecniche sino alla massima profondità investigata.

- *Modello Sismico*

I parametri utilizzati per la verifica sono stati i seguenti:

- ✓ *i dati ottenuti dalle CPT eseguite nel corso del presente studio;*
- ✓ *una magnitudo attesa pari a 6.14;*
- ✓ *una categoria di sottosuolo definita di tipo C;*
- ✓ *profondità falda rilevata: -3.30 m da p.c. riscontrata al momento dell'indagine e ritenuta di pressochè massima espansione.*
- ✓ *profondità falda da sisma: ipotizzata, per maggiore sicurezza, a -2.30 m da p.c.*
- ✓ *accelerazione orizzontale massima attesa al sito  $a_{max} = 0,23$  g*

- *Risultati della verifica del rischio di liquefazione e dei cedimenti post sisma*

Le verifiche sono state effettuate mediante il software *CLiqIT v. 1.7.6.34* della Geologismiki Geotechnical Engineers.

*per CPT 1*

- il calcolo dell'*indice del potenziale di liquefazione* per la verticale esaminata, risulta pari a  $I_L = 1.79$  ; si evidenzia cioè un rischio “basso” (per le elaborazioni, vedere *Appendice - Verifica del potenziale di liquefazione*);
- il calcolo del cedimento post-sismico dei livelli granulari saturi, ha dato un valore pari a 5,36 cm.

*per CPT 2*

- il calcolo dell'*indice del potenziale di liquefazione* per la verticale esaminata, risulta pari a  $I_L = 0.75$  ; si evidenzia cioè un rischio “basso” (per le elaborazioni, vedere *Appendice - Verifica del potenziale di liquefazione*);
- il calcolo del cedimento post-sismico dei livelli granulari saturi, ha dato un valore pari a 3,43 cm.

*per CPT 3*

- il calcolo dell'*indice del potenziale di liquefazione* per la verticale esaminata, risulta pari a  $I_L = 1.75$  ; si evidenzia cioè un rischio “basso” (per le elaborazioni, vedere *Appendice - Verifica del potenziale di liquefazione*);
- il calcolo del cedimento post-sismico dei livelli granulari saturi, ha dato un valore pari a 5,30 cm.

*Relativamente all'aspetto geotecnico, si ritiene che le informazioni contenute nel presente elaborato siano idonee a fornire un adeguato supporto al Progettista delle strutture al quale, viste le specifiche competenze, si rimanda la definizione delle azioni di progetto  $E_d$  e dei relativi confronti con le resistenze  $R_d$  calcolate nel corso del presente studio.*

Rovigo, Dicembre 2014

**per GEOHYDRODATA S.a.s.**

**dott. geol. Corrado Ballotta**



# ***APPENDICE***

***PROVE PENETROMETRICHE STATICHE – CPT***

***PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI***

***INDAGINE SISMICA TIPO MASW***

## ***PROVE PENETROMETRICHE STATICHE – CPT***

- *Documentazione fotografica*
- *Dichiarazioni relative alla certificazione delle caratteristiche e della qualità della strumentazione utilizzata per l'esecuzione delle CPT allegate*
- *Elaborazione dati prove penetrometriche statiche*
- *Legende* : *Valori di resistenza*  
*Valutazioni litologiche*  
*Parametri geotecnici*
- *Tavole CPT 1-2-3* : *Tabelle valori resistenza*  
*Diagrammi di resistenza*  
*Valutazioni litologiche*  
*Tabelle parametri geotecnici*

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLE CPT ESEGUITE**



*CPT 1*



*CPT 2*



*CPT 3*

**CERTIFICAZIONE DELLE CARATTERISTICHE E DELLO STATO D'USO DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA PER L'ESECUZIONE DELLE CPT ALLEGATE**

**Dott. Geol. Andrea Garbellini**

Via Gramsci n.74, 45034 Canaro (Rovigo), tel 0425.940066

A tal fine il Dott.Geol. Andrea Garbellini di Canaro (Rovigo) dichiara:

***Caratteristiche della strumentazione utilizzata***

Penetrometro statico tipo *Deep Drill SP100*, con capacità di spinta di 100 kN, a lettura idraulica dei valori di resistenza, munito di punta meccanica tipo *Begemann*, azionato da motore 4 tempi tipo *Briggs & Stratton* da 13 Hp di potenza, montato su autocarro 4x4 marca Isuzu.

***Ditta costruttrice***

*Deep Drill Srl* di S.Agostino (Ferrara),

***Velocità di penetrazione***

Le verifiche effettuate confermano che la velocità di penetrazione della punta nei terreni da investigarsi è pari a 20 mm/sec circa. Le modestissime variazioni riscontrate a tale velocità risultano comunque inferiori alla tolleranza massima di  $\pm 5$  mm/sec.

***Stato d'uso della punta Begemann utilizzata per le prove***

La punta *Begemann* utilizzata per le prove è perfetta; in particolare la tolleranza tra il manicotto d'attrito ed il corpo della punta sono tali da impedire l'inserimento di particelle di terreno.

Il cono che equipaggia la punta è nuovo, le sue misure sono quelle previste e la scabrosità della sua superficie è inferiore a quella ipotizzata.

***Taratura del sistema idraulico di misura***

La taratura del sistema idraulico di misura deve essere eseguita ogni anno; tale operazione è stata eseguita dalla Soc. Geo Deep Drill Srl di Bondeno (Ferrara) in data *19 Maggio 2014*; di seguito si riporta copia del certificato rilasciato dalla Geo Deep Drill Srl.

Canaro, 16 Giugno 2014

**A. GARBELLINI**  




**VERIFICA POST TARATURA** n° **0010**

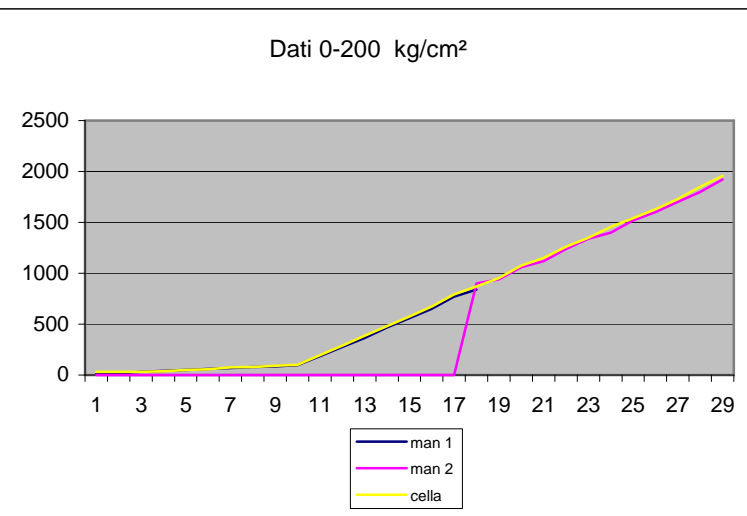
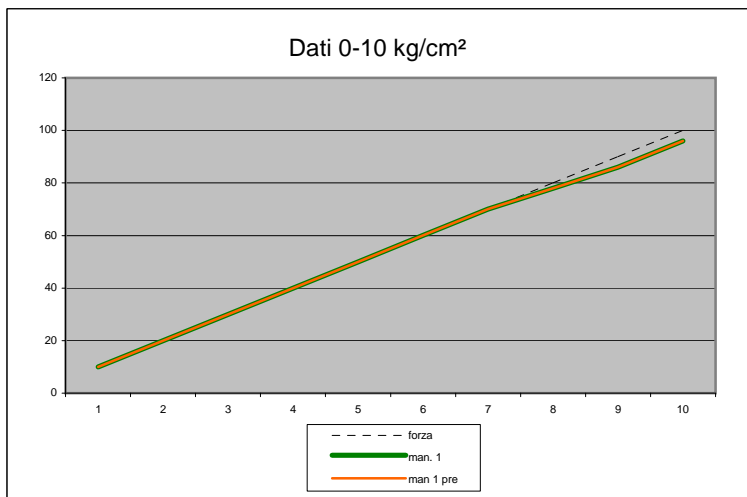
Cliente:	Garbellini dott. geol. Andrea		
Modello:	CELLA SP100		
S.N.:			0
Data:	19/05/2014		
Manometro 1	60	CT	
Manometro 2	600	20	

**GEO DEEP DRILL S.R.L.**  
Via Virgiliana, 130 - 44012 BONDENO (FE)  
Tel. 0532 893836 - Fax 0532 892983  
e-mail: info@ggeodeepdrill.it  
P.I.E.C. 0377970361

*[Handwritten signature]*

Elettronica:	<input checked="" type="checkbox"/>
Idraulica:	<input checked="" type="checkbox"/>
Alimentazione:	5,00 [Vcc]
Temperatura:	18,60 [°C]
Umidità:	64,00 [%]
Pressione atm.:	1015,00 [mbar]

forza kg	kN	man. 1 bar	man. 2 bar	cella kg
10	0,10	0,50		1,5
20	0,20	1,00		1,5
30	0,29	1,50		1,5
40	0,39	2,00		1,9
50	0,49	2,50		2,5
60	0,59	3,00		2,9
70	0,69	3,50		3,7
80	0,78	3,90		3,9
90	0,88	4,30		4,5
100	0,98	4,80		5
200	1,96	9,30		9,8
300	2,94	13,80		14,5
400	3,92	18,30		19,3
500	4,90	23,40		24
600	5,88	28,00		28,7
700	6,86	32,50		33,7
800	7,84	38,50		39,7
900	8,82	42,00	45	43,5
1000	9,80		47	47,7
1100	10,78		53	53,7
1200	11,76		56	57,5
1300	12,74		62	63
1400	13,72		67	67,5
1500	14,70		70	72,8
1600	15,68		76	77
1700	16,66		80	81,5
1800	17,64		85	86,5
1900	18,62		90	92,5
2000	19,60		96	97,8



Errore assoluto man.1	<b>6,667%</b> %	Sottostima
Errore assoluto man.2	<b>6,000%</b> %	Sottostima
Errore assoluto cella	<b>4,600%</b> %	Sottostima

Rabbocco olio:	<b>0,00</b> cc	Misura interna: <b>57 mm</b>
Corsa residua attuale:	<b>91,67%</b> (100% ottimale)	
Azzeramento indici:	<b>no</b>	
Protezione manometro 1:	<b>41</b> BAR	
Diametro pistoncino:	<b>5,05</b> mm	

Note: **verificata le rispondenza con letture: CORRETTA**  
Il sistema presenta un lieve scostamento dalle letture reali del 4-6% ma non presenta particolari problemi a causa della linearità della deriva.

## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

**Strumento utilizzato:**  
**DDSP150C -**

Caratteristiche:

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

fase 1 - resistenza alla punta:  $q_c \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = ( L_1 ) \times CT / 10$

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

fase 3 - resistenza totale :  $R_t \text{ ( kg/cm}^2 \text{ )} = ( L_t ) \times CT$

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

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

N.B. : nonostante la distanza intercorrente ( 20 cm circa ) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata alla stessa quota della punta.

### CONVERSIONI

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

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

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m<sup>2</sup> = 0,001 MN/m<sup>2</sup> = 0,001 MPa  $\approx$  0,1 t/m<sup>2</sup> = 0,01 kg/cm<sup>2</sup>

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1.000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t/m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>

1 kg/cm<sup>2</sup> = 10 t/m<sup>2</sup>  $\approx$  100 kN/m<sup>2</sup> = 100 kPa = 0,1 MN/m<sup>2</sup> = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg  $\approx$  10 kN

## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

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

**Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977**

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

F = $q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 15 \text{ kg/cm}^2$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 30 \text{ kg/cm}^2$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 60 \text{ kg/cm}^2$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60 \text{ kg/cm}^2$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

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

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

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

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



<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI</b>	<b>CPT</b>	<b>1</b>
	riferimento	<b>12-14</b>

Committente: <b>Reno Gas - Manservisi I. - Balboni L. e L.</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec.: <b>17/12/2014</b>
Cantiere: <b>Verifiche geotecniche</b>	Pagina: <b>1</b>	
Località: <b>Via Statale 116 - Corporendo di Cento (Ferrara)</b>	Elaborato:	Falda: <b>-2,90 m da quota inizio</b>

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %
0,20	0,0	0		0	0			15,20	8,9	20,6		18	1,56	12	8,7
0,40	4,4	9,1		9	0,627	14	7,0	15,40	5,7	13,9		11	1,093	10	9,9
0,60	6,1	12		12	0,787	15	6,6	15,60	5,3	9,1		11	0,507	22	4,6
0,80	9,5	13,6		19	0,547	35	2,9	15,80	7,6	13,7		15	0,813	18	5,4
<b>1,00</b>	<b>12,9</b>	<b>16,7</b>		<b>26</b>	<b>0,507</b>	<b>51</b>	<b>2,0</b>	<b>16,00</b>	<b>12,4</b>	<b>21,9</b>		<b>25</b>	<b>1,267</b>	<b>20</b>	<b>5,1</b>
1,20	14,6	18,3		29	0,493	59	1,7	16,20	16,4	29,7		33	1,773	19	5,4
1,40	13,8	17,8		28	0,533	53	1,9	16,40	15,6	31,6		31	2,133	15	6,9
1,60	13,3	17,4		27	0,547	49	2,0	16,60	20,7	34,8		41	1,88	22	4,6
1,80	13,0	16,4		26	0,453	57	1,7	16,80	22,2	41,4		44	2,56	17	5,8
<b>2,00</b>	<b>16,6</b>	<b>20,6</b>		<b>33</b>	<b>0,533</b>	<b>62</b>	<b>1,6</b>	<b>17,00</b>	<b>20,8</b>	<b>40,3</b>		<b>42</b>	<b>2,6</b>	<b>16</b>	<b>6,2</b>
2,20	14,5	19		29	0,6	48	2,1	17,20	15,9	36,6		32	2,76	12	8,6
2,40	15,7	19,6		31	0,52	60	1,7	17,40	16,9	35,2		34	2,44	14	7,2
2,60	23,9	28,7		48	0,64	75	1,3	17,60	20,3	37,8		41	2,333	18	5,7
2,80	17,9	24,6		36	0,893	40	2,5	17,80	19,9	39,7		40	2,64	15	6,6
<b>3,00</b>	<b>11,1</b>	<b>14,3</b>		<b>22</b>	<b>0,427</b>	<b>52</b>	<b>1,9</b>	<b>18,00</b>	<b>24,7</b>	<b>47,8</b>		<b>49</b>	<b>3,08</b>	<b>16</b>	<b>6,3</b>
3,20	9,4	14,3		19	0,653	29	3,4	18,20	27,5	51,5		55	3,2	17	5,8
3,40	9,9	13,5		20	0,48	42	2,4	18,40	28,8	57,7		58	3,853	15	6,6
3,60	17,7	21,3		35	0,48	73	1,4	18,60	31,6	64,6		63	4,4	14	7,0
3,80	15,7	20,1		31	0,587	53	1,9	18,80	29,5	61,1		59	4,213	14	7,1
<b>4,00</b>	<b>12,4</b>	<b>19,8</b>		<b>25</b>	<b>0,987</b>	<b>25</b>	<b>3,9</b>	<b>19,00</b>	<b>25,3</b>	<b>64,4</b>		<b>51</b>	<b>5,213</b>	<b>10</b>	<b>10,2</b>
4,20	21,9	29,8		44	1,053	42	2,4	19,20	21,7	47,9		43	3,493	12	8,1
4,40	22,0	28,7		44	0,893	49	2,0	19,40	19,3	44,2		39	3,32	12	8,5
4,60	19,0	25,1		38	0,813	47	2,1	19,60	18,4	41,2		37	3,04	12	8,2
4,80	10,2	14,5		20	0,573	35	2,9	19,80	17,6	37,5		35	2,653	13	7,6
<b>5,00</b>	<b>2,8</b>	<b>7</b>		<b>6</b>	<b>0,56</b>	<b>11</b>	<b>9,3</b>	<b>20,00</b>	<b>17,0</b>	<b>35</b>		<b>34</b>	<b>2,4</b>	<b>14</b>	<b>7,1</b>
5,20	2,6	5,9		5	0,44	11	8,8								
5,40	2,6	5,1		5	0,333	15	6,7								
5,60	3,1	4,8		6	0,227	26	3,8								
5,80	2,4	4,5		5	0,28	18	5,6								
<b>6,00</b>	<b>3,4</b>	<b>5,4</b>		<b>7</b>	<b>0,267</b>	<b>26</b>	<b>3,8</b>								
6,20	3,2	5,6		6	0,32	19	5,3								
6,40	3,5	6		7	0,333	21	4,8								
6,60	3,6	6,2		7	0,347	20	5,0								
6,80	3,0	5,5		6	0,333	18	5,6								
<b>7,00</b>	<b>3,8</b>	<b>6,4</b>		<b>8</b>	<b>0,347</b>	<b>23</b>	<b>4,3</b>								
7,20	3,5	5,5		7	0,267	26	3,8								
7,40	3,0	6		6	0,4	15	6,7								
7,60	3,5	7		7	0,467	15	6,7								
7,80	4,0	7		8	0,4	20	5,0								
<b>8,00</b>	<b>4,5</b>	<b>7,4</b>		<b>9</b>	<b>0,387</b>	<b>23</b>	<b>4,3</b>								
8,20	4,7	7,8		9	0,413	22	4,6								
8,40	4,8	8,7		10	0,52	19	5,2								
8,60	4,4	7,6		9	0,427	21	4,7								
8,80	5,0	8,5		10	0,467	21	4,7								
<b>9,00</b>	<b>5,5</b>	<b>10,3</b>		<b>11</b>	<b>0,64</b>	<b>17</b>	<b>5,8</b>								
9,20	6,4	10,5		13	0,547	24	4,2								
9,40	6,7	12,4		13	0,76	17	5,8								
9,60	7,1	13,2		14	0,813	17	5,8								
9,80	6,9	13,2		14	0,84	17	6,0								
<b>10,00</b>	<b>7,3</b>	<b>14</b>		<b>15</b>	<b>0,893</b>	<b>17</b>	<b>6,0</b>								
10,20	8,9	17,6		18	1,16	16	6,4								
10,40	11,1	19,4		22	1,107	20	5,0								
10,60	9,7	19		19	1,24	15	6,5								
10,80	11,6	20		23	1,12	21	4,9								
<b>11,00</b>	<b>17,8</b>	<b>27,9</b>		<b>36</b>	<b>1,347</b>	<b>27</b>	<b>3,7</b>								
11,20	20,9	35,1		42	1,893	22	4,5								
11,40	26,4	43,9		53	2,333	23	4,4								
11,60	23,0	42,2		46	2,56	18	5,6								
11,80	23,2	39		46	2,107	22	4,6								
<b>12,00</b>	<b>24,0</b>	<b>41</b>		<b>48</b>	<b>2,267</b>	<b>21</b>	<b>4,7</b>								
12,20	20,0	43		40	3,067	13	7,7								
12,40	15,2	31,5		30	2,173	14	7,2								
12,60	15,6	29,7		31	1,88	16	6,1								
12,80	30,7	47,3		61	2,213	28	3,6								
<b>13,00</b>	<b>35,0</b>	<b>58,8</b>		<b>70</b>	<b>3,173</b>	<b>22</b>	<b>4,5</b>								
13,20	31,4	69,3		63	5,053	12	8,0								
13,40	39,5	59,4		79	2,653	30	3,4								
13,60	52,5	66,6		105	1,88	56	1,8								
13,80	84,9	95,9		170	1,467	116	0,9								
<b>14,00</b>	<b>77,4</b>	<b>97,5</b>		<b>155</b>	<b>2,68</b>	<b>58</b>	<b>1,7</b>								
14,20	53,8	64		108	1,36	79	1,3								
14,40	54,0	71		108	2,267	48	2,1								
14,60	64,3	72,7		129	1,12	115	0,9								
14,80	13,6	40,5		27	3,587	8	13,3								
<b>15,00</b>	<b>13,9</b>	<b>38,4</b>		<b>28</b>	<b>3,267</b>	<b>9</b>	<b>11,7</b>								

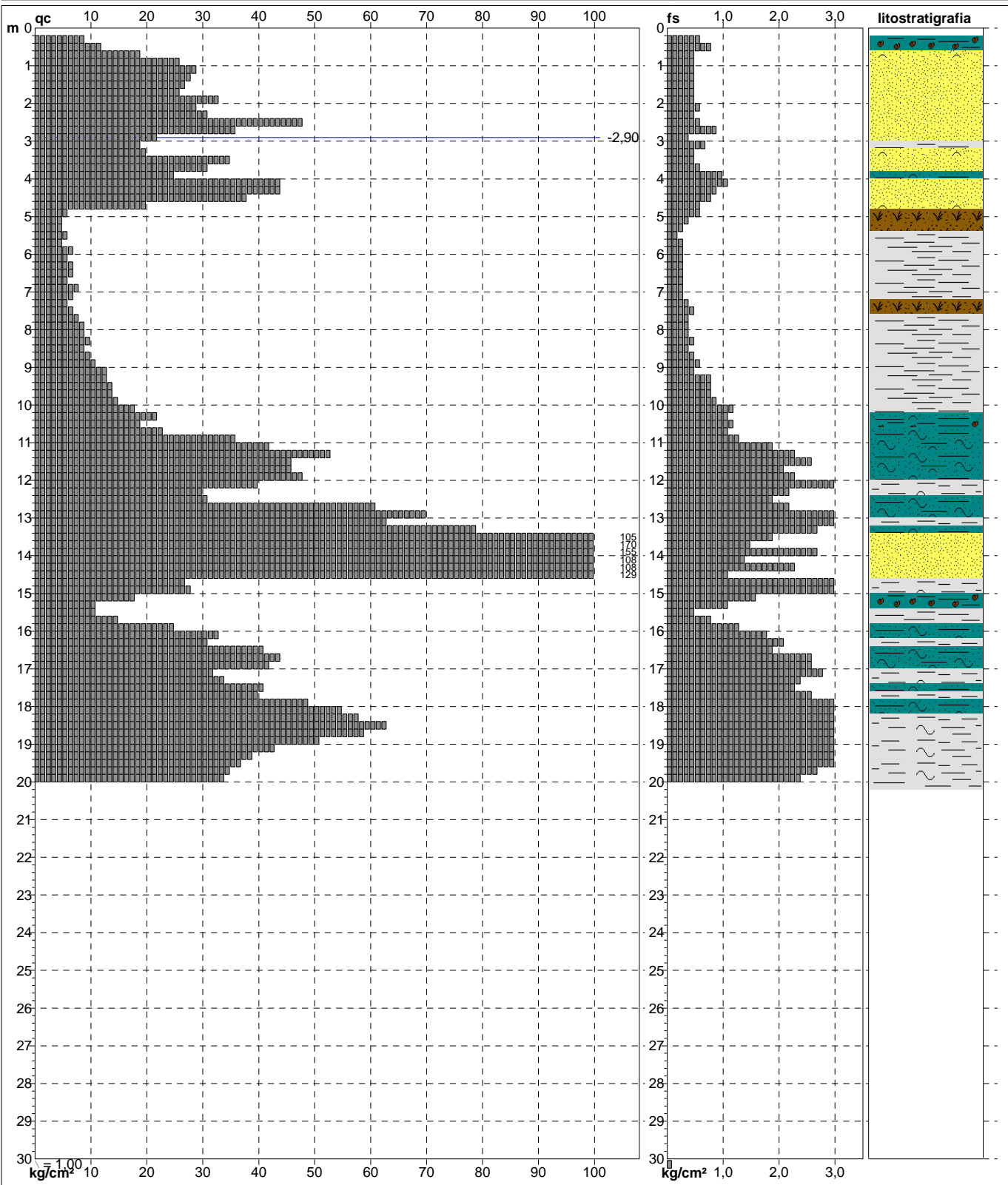
H = profondità  
L1 = prima lettura (punta)  
L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
Lt = terza lettura (totale)  
CT = 20,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta  
fs = resistenza laterale calcolata alla stessa quota di qc  
F = rapporto Begemann (qc / fs)  
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

Lo sperimentatore: **GHD Sas - Rovigo**Il direttore laboratorio: **1**

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA</b>	<b>CPT</b>	<b>1</b>
	riferimento	<b>12-14</b>

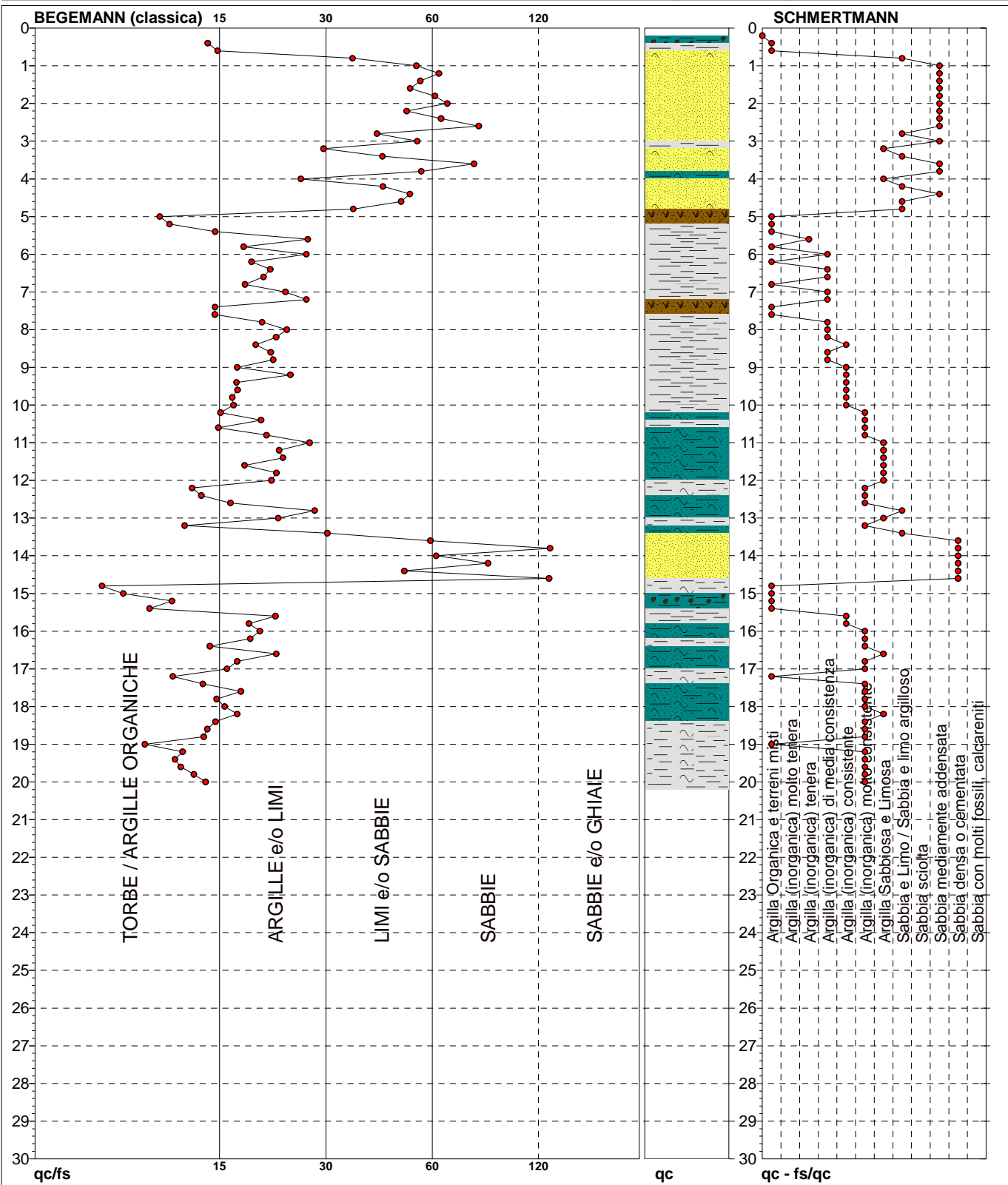
Committente: <b>Reno Gas - Manservisi I. - Balboni L. e L.</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec.: <b>17/12/2014</b>
Cantiere: <b>Verifiche geotecniche</b>	Scala: <b>1:150</b>	
Località: <b>Via Statale 116 - Corporendo di Cento (Ferrara)</b>	Pagina: <b>1</b>	Quota inizio: p.c.
	Elaborato:	Falda: <b>-2,90 m</b> da quota inizio



Litologia: <b>Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone</b>	Corr.astine: <b>kg/ml</b>	Preforo: <b>m</b>
Penetrometro: <b>DDSP100SM</b>	Cod.ISTAT: <b>038004</b>	<b>Lo sperimentatore: GHD Sas - Rovigo</b>
Responsabile: <b>GHD Sas - Rovigo</b>	Cod. punta:	<b>Il direttore laboratorio: 1</b>
Assistente: <b>Dott.Geol. A.Garbellini</b>		

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b>	<b>CPT</b>	<b>1</b>
	referimento	<b>12-14</b>
<b>DIAGRAMMI LITOLOGIA</b>		

Committente: <b>Reno Gas - Manservisi I. - Balboni L. e L.</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec.: <b>17/12/2014</b>
Cantiere: <b>Verifiche geotecniche</b>	Scala: <b>1:150</b>	
Località: <b>Via Statale 116 - Corporendo di Cento (Ferrara)</b>	Pagina: <b>1</b>	
	Elaborato:	Falda: <b>-2,90 m da quota inizio</b>



Torbe / Argille org. :	74 punti, 49,66%
Argille e/o Limi :	51 punti, 34,23%
Limi e/o Sabbie :	19 punti, 12,75%
Sabbie:	6 punti, 4,03%

**Lo sperimentatore: GHD Sas - Rovigo**

**Il direttore laboratorio: 1**



<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI</b>	<b>CPT</b>	<b>2</b>
	riferimento	<b>12-14</b>

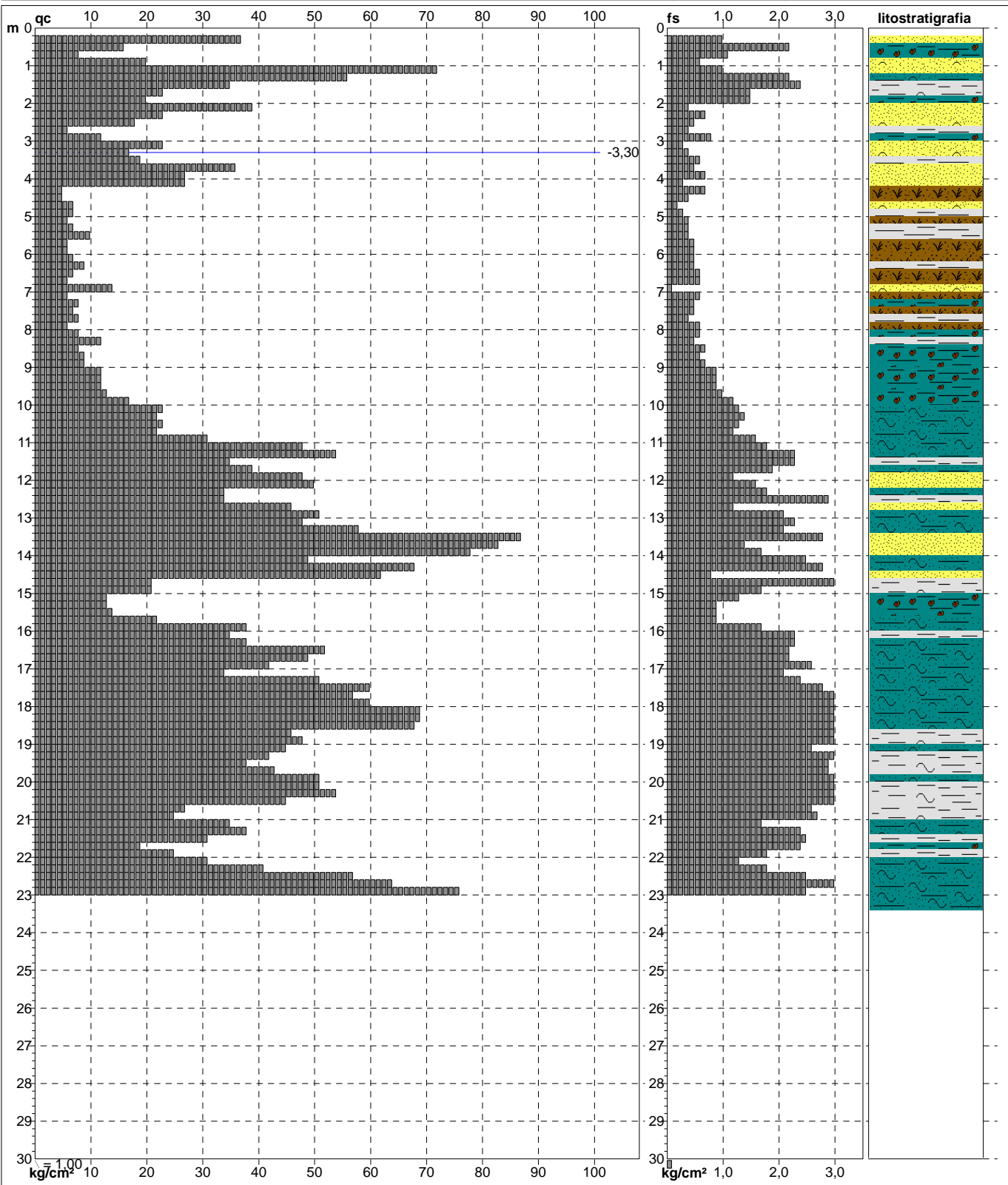
Committente: <b>Reno Gas - Manservizi I. - Balboni L. e L.</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec.: <b>17/12/2014</b>
Cantiere: <b>Verifiche geotecniche</b>	Pagina: <b>1</b>	Falda: <b>-3,30 m</b> da quota inizio
Località: <b>Via Statale 116 - Corporendo di Cento (Ferrara)</b>	Elaborato: <b></b>	

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%	m	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	%
0,20	0,0	0		0	0			15,20	6,6	16,7		13	1,347	10	10,4
0,40	18,6	26,2		37	1,013	37	2,7	15,40	6,3	13,2		13	0,92	14	7,1
0,60	7,9	24,7		16	2,24	7	14,0	15,60	6,8	13,9		14	0,947	15	6,8
0,80	3,8	11,8		8	1,067	7	13,3	15,80	11,1	18,1		22	0,933	24	4,2
<b>1,00</b>	<b>10,1</b>	<b>14,9</b>		<b>20</b>	<b>0,64</b>	<b>31</b>	<b>3,2</b>	<b>16,00</b>	<b>19,1</b>	<b>31,5</b>		<b>38</b>	<b>1,653</b>	<b>23</b>	<b>4,4</b>
1,20	35,8	43		72	0,96	75	1,3	16,20	17,3	34,4		35	2,28	15	6,5
1,40	27,8	44,4		56	2,213	25	4,0	16,40	18,8	35,8		38	2,267	17	6,0
1,60	17,5	35,4		35	2,387	15	6,8	16,60	26,0	42,4		52	2,187	24	4,2
1,80	11,7	23,3		23	1,547	15	6,7	16,80	24,3	41		49	2,227	22	4,5
<b>2,00</b>	<b>10,2</b>	<b>21,2</b>		<b>20</b>	<b>1,467</b>	<b>14</b>	<b>7,3</b>	<b>17,00</b>	<b>21,1</b>	<b>40,3</b>		<b>42</b>	<b>2,56</b>	<b>16</b>	<b>6,1</b>
2,20	19,5	22,6		39	0,413	94	1,1	17,20	16,9	32,4		34	2,067	16	6,1
2,40	11,6	16,6		23	0,667	34	2,9	17,40	25,6	43,8		51	2,427	21	4,8
2,60	8,9	12,6		18	0,493	37	2,7	17,60	29,9	50,7		60	2,773	22	4,6
2,80	2,8	5,6		6	0,373	16	6,2	17,80	28,5	52		57	3,133	18	5,5
<b>3,00</b>	<b>6,0</b>	<b>12</b>		<b>12</b>	<b>0,8</b>	<b>15</b>	<b>6,7</b>	<b>18,00</b>	<b>30,1</b>	<b>55,9</b>		<b>60</b>	<b>3,44</b>	<b>17</b>	<b>5,7</b>
3,20	11,3	13,5		23	0,293	78	1,3	18,20	34,7	60,7		69	3,467	20	5,0
3,40	8,4	11,2		17	0,373	46	2,2	18,40	34,5	63		69	3,8	18	5,5
3,60	9,7	14,5		19	0,64	30	3,4	18,60	34,0	57		68	3,067	22	4,5
3,80	18,0	22,1		36	0,547	66	1,5	18,80	23,1	48,2		46	3,347	14	7,3
<b>4,00</b>	<b>13,5</b>	<b>18,5</b>		<b>27</b>	<b>0,667</b>	<b>40</b>	<b>2,5</b>	<b>19,00</b>	<b>23,9</b>	<b>47,2</b>		<b>48</b>	<b>3,107</b>	<b>15</b>	<b>6,5</b>
4,20	13,5	16,1		27	0,347	78	1,3	19,20	22,6	42,4		45	2,64	17	5,9
4,40	2,3	7,7		5	0,72	7	14,4	19,40	21,2	44,2		42	3,067	14	7,3
4,60	2,3	5,4		5	0,413	12	8,3	19,60	19,0	41		38	2,933	13	7,7
4,80	3,4	4,7		7	0,173	40	2,5	19,80	21,4	43,1		43	2,893	15	6,7
<b>5,00</b>	<b>3,5</b>	<b>5,9</b>		<b>7</b>	<b>0,32</b>	<b>22</b>	<b>4,6</b>	<b>20,00</b>	<b>25,7</b>	<b>50,1</b>		<b>51</b>	<b>3,253</b>	<b>16</b>	<b>6,4</b>
5,20	3,1	6,3		6	0,427	14	7,1	20,20	25,5	53,1		51	3,68	14	7,2
5,40	3,5	6,5		7	0,4	18	5,7	20,40	26,9	56,1		54	3,893	14	7,2
5,60	5,0	8		10	0,4	25	4,0	20,60	22,7	53		45	4,04	11	9,0
5,80	3,1	6,9		6	0,507	12	8,5	20,80	13,3	33,1		27	2,64	10	9,8
<b>6,00</b>	<b>3,2</b>	<b>7,3</b>		<b>6</b>	<b>0,547</b>	<b>11</b>	<b>9,1</b>	<b>21,00</b>	<b>12,5</b>	<b>33,1</b>		<b>25</b>	<b>2,747</b>	<b>9</b>	<b>11,0</b>
6,20	3,6	7,6		7	0,533	13	7,6	21,20	17,3	30,1		35	1,707	21	4,9
6,40	4,5	8,4		9	0,52	17	5,8	21,40	18,8	36,5		38	2,36	16	6,2
6,60	3,3	7,8		7	0,6	12	8,6	21,60	15,3	34		31	2,493	12	8,0
6,80	3,1	7,3		6	0,56	11	9,3	21,80	9,5	27,3		19	2,373	8	12,5
<b>7,00</b>	<b>6,9</b>	<b>8</b>		<b>14</b>	<b>0,147</b>	<b>95</b>	<b>1,1</b>	<b>22,00</b>	<b>12,5</b>	<b>25,8</b>		<b>25</b>	<b>1,773</b>	<b>14</b>	<b>7,1</b>
7,20	3,2	7,9		6	0,627	10	10,5	22,20	15,7	25,6		31	1,32	23	4,3
7,40	3,8	7,8		8	0,533	15	6,7	22,40	20,4	34		41	1,813	23	4,4
7,60	3,5	7,5		7	0,533	13	7,6	22,60	28,4	47,5		57	2,547	22	4,5
7,80	3,8	7		8	0,427	19	5,3	22,80	32,0	55		64	3,067	21	4,8
<b>8,00</b>	<b>3,1</b>	<b>7,4</b>		<b>6</b>	<b>0,573</b>	<b>10</b>	<b>9,6</b>	<b>23,00</b>	<b>38,0</b>	<b>57</b>		<b>76</b>	<b>2,533</b>	<b>30</b>	<b>3,3</b>
8,20	4,0	8,2		8	0,56	14	7,0								
8,40	6,2	10		12	0,507	24	4,2								
8,60	4,1	9,1		8	0,667	12	8,3								
8,80	4,6	9,2		9	0,613	15	6,8								
<b>9,00</b>	<b>4,6</b>	<b>9,8</b>		<b>9</b>	<b>0,693</b>	<b>13</b>	<b>7,7</b>								
9,20	5,9	12,4		12	0,867	14	7,2								
9,40	5,8	12,8		12	0,933	13	7,8								
9,60	6,0	12,9		12	0,92	13	7,7								
9,80	6,6	14		13	0,987	13	7,6								
<b>10,00</b>	<b>8,4</b>	<b>17,2</b>		<b>17</b>	<b>1,173</b>	<b>14</b>	<b>6,9</b>								
10,20	11,3	21,1		23	1,307	18	5,7								
10,40	10,9	21,5		22	1,413	16	6,4								
10,60	11,7	21,1		23	1,253	18	5,4								
10,80	10,9	19,6		22	1,16	19	5,3								
<b>11,00</b>	<b>15,3</b>	<b>27</b>		<b>31</b>	<b>1,56</b>	<b>20</b>	<b>5,0</b>								
11,20	24,0	37,2		48	1,76	27	3,7								
11,40	27,2	44,8		54	2,347	23	4,3								
11,60	17,3	34,3		35	2,267	15	6,5								
11,80	19,3	33,7		39	1,92	20	4,9								
<b>12,00</b>	<b>24,2</b>	<b>33,4</b>		<b>48</b>	<b>1,227</b>	<b>39</b>	<b>2,6</b>								
12,20	24,8	36,8		50	1,6	31	3,2								
12,40	17,0	30,3		34	1,773	19	5,2								
12,60	16,8	38,7		34	2,92	12	8,6								
12,80	22,9	32,2		46	1,24	37	2,7								
<b>13,00</b>	<b>25,3</b>	<b>40,9</b>		<b>51</b>	<b>2,08</b>	<b>25</b>	<b>4,1</b>								
13,20	24,0	41,1		48	2,28	21	4,8								
13,40	29,1	45,2		58	2,147	27	3,7								
13,60	43,4	64,1		87	2,76	32	3,2								
13,80	41,6	51,8		83	1,36	61	1,6								
<b>14,00</b>	<b>38,8</b>	<b>51,5</b>		<b>78</b>	<b>1,693</b>	<b>46</b>	<b>2,2</b>								
14,20	24,4	43,5		49	2,547	19	5,2								
14,40	34,1	54,9		68	2,773	25	4,1								
14,60	31,2	37,4		62	0,827	75	1,3								
14,80	10,5	34,7		21	3,227	7	15,4								
<b>15,00</b>	<b>10,5</b>	<b>23,3</b>		<b>21</b>	<b>1,707</b>	<b>12</b>	<b>8,1</b>								

H = profondità	qc = resistenza di punta	<b>Lo sperimentatore: GHD Sas - Rovigo</b>  <b>Il direttore laboratorio: 1</b>
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale calcolata	
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	alla stessa quota di qc	
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)	
CT =20,00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100	

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA</b>	<b>CPT</b>	<b>2</b>
	riferimento	<b>12-14</b>

Committente: <b>Reno Gas - Manservisi I. - Balboni L. e L.</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data exec.: <b>17/12/2014</b>
Cantiere: <b>Verifiche geotecniche</b>	Scala: <b>1:150</b>	
Località: <b>Via Statale 116 - Corporendo di Cento (Ferrara)</b>	Pagina: <b>1</b>	Quota inizio: p.c.
	Elaborato:	Falda: <b>-3,30 m</b> da quota inizio



Litologia: <b>Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone</b>	Corr.astine: kg/ml	Preforo: m
Penetrometro: <b>DDSP100SM</b>	Cod.ISTAT: 038004	<b>Lo sperimentatore: GHD Sas - Rovigo</b>
Responsabile: <b>GHD Sas - Rovigo</b>	Cod. punta:	<b>Il direttore laboratorio: 1</b>
Assistente: <b>Dott.Geol. A.Garbellini</b>		

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA**  
**DIAGRAMMI LITOLOGIA**

**CPT**

**2**

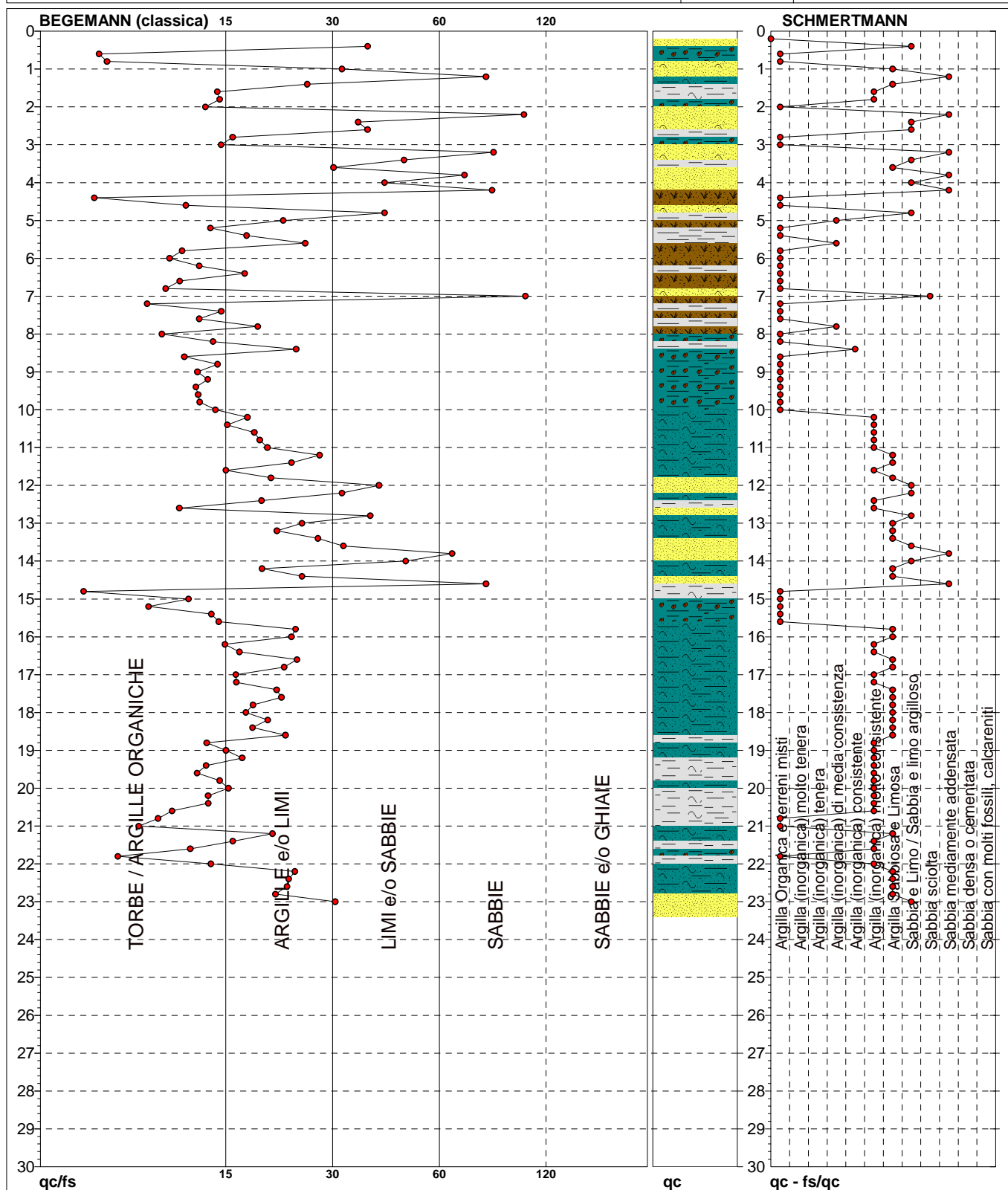
referimento

**12-14**

Committente: **Reno Gas - Manservizi I. - Balboni L. e L.**  
Cantiere: **Verifiche geotecniche**  
Località: **Via Statale 116 - Corporendo di Cento (Ferrara)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**  
Scala: **1:150**  
Pagina: **1**  
Elaborato:

Data esec.: **17/12/2014**  
Falda: **-3,30 m da quota inizio**



Torbe / Argille org. :	80 punti, 53,69%
Argille e/o Limi :	49 punti, 32,89%
Limi e/o Sabbie :	13 punti, 8,72%
Sabbie:	8 punti, 5,37%

**Lo sperimentatore: GHD Sas - Rovigo**  
**Il direttore laboratorio: 1**



<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b>  <b>PARAMETRI GEOTECNICI</b>	<b>CPT</b>	<b>2</b>
	riferimento	<b>12-14</b>

Committente: <b>Reno Gas - Manservizi I. - Balboni L. e L.</b>	U.M.: <b>kg/cm²</b>	Data esec.: <b>17/12/2014</b>
Cantiere: <b>Verifiche geotecniche</b>	Pagina: <b>2</b>	Falda: <b>-3,30 m</b> da quota inizio
Località: <b>Via Statale 116 - Corporendo di Cento (Ferrara)</b>	Elaborato:	

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	$\gamma'$ t/m³	$\sigma'_{vo}$ U.M.	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
							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.
20,00	51	15,6778	4	1,01	2,10	160	1,70	4,8	583,2	874,8	153,0	31	32	26	22	21	29	31	--	--	85,0	127,5	153,0
20,20	51	13,8587	4	1,01	2,12	160	1,70	4,8	589,6	884,4	153,0	30	32	26	22	21	29	31	--	--	85,0	127,5	153,0
20,40	54	13,8711	4	1,01	2,14	163	1,80	5,0	590,6	885,9	162,0	32	33	26	23	21	29	31	--	--	90,0	135,0	162,0
20,60	45	11,1386	4	1,00	2,16	154	1,50	4,0	604,4	906,6	135,0	26	32	25	22	20	28	31	--	--	75,0	112,5	135,0
20,80	27	10,2273	4	0,95	2,18	138	0,95	2,2	519,2	778,8	81,0	8	29	22	19	18	25	28	--	--	45,0	67,5	81,0
21,00	25	9,1008	4	0,94	2,20	133	0,91	2,1	505,2	757,8	75,0	5	29	22	18	17	25	28	--	--	41,7	62,5	75,0
21,20	35	20,5038	4	0,98	2,22	147	1,17	2,8	592,9	889,4	105,0	16	30	23	20	19	27	29	--	--	58,3	87,5	105,0
21,40	38	16,1017	4	0,99	2,24	151	1,27	3,1	616,9	925,4	114,0	19	31	24	21	19	27	30	--	--	63,3	95,0	114,0
21,60	31	12,4348	4	0,97	2,26	143	1,03	2,4	557,0	835,5	93,0	12	30	23	19	18	26	29	--	--	51,7	77,5	93,0
21,80	19	8,0067	2	0,99	2,28	127	0,78	1,6	448,1	672,2	58,1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
22,00	25	14,1004	4	0,94	2,30	134	0,91	2,0	510,6	765,9	75,0	4	29	22	18	17	25	28	--	--	41,7	62,5	75,0
22,20	31	23,4848	4	0,97	2,32	144	1,03	2,3	561,7	842,6	93,0	11	30	23	19	18	26	29	--	--	51,7	77,5	93,0
22,40	41	22,6145	4	1,00	2,34	152	1,37	3,2	650,6	975,8	123,0	21	31	24	21	20	27	30	--	--	68,3	102,5	123,0
22,60	57	22,3793	4	1,01	2,36	166	1,90	4,8	654,4	981,6	171,0	32	32	26	22	21	29	31	--	--	95,0	142,5	171,0
22,80	64	20,8673	4	1,02	2,38	171	2,13	5,5	645,1	967,7	192,0	36	33	26	23	22	30	32	--	--	106,7	160,0	192,0
23,00	76	30,0039	3	0,96	2,40	179	--	--	--	--	--	41	34	27	24	22	31	33	--	--	126,7	190,0	228,0

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI</b>	<b>CPT</b>	<b>3</b>
	riferimento	<b>12-14</b>

Committente: <b>Reno Gas - Manservisi I. - Balboni L. e L.</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec.: <b>17/12/2014</b>
Cantiere: <b>Verifiche geotecniche</b>	Pagina: <b>1</b>	
Località: <b>Via Statale 116 - Corporendo di Cento (Ferrara)</b>	Elaborato:	Falda: <b>-2,80 m da quota inizio</b>

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	F -	Rf %
0,20	0,0	0		0	0			15,20	12,1	24,5		24	1,653	15	6,9
0,40	5,3	11,8		11	0,867	13	7,9	15,40	14,8	26,5		30	1,56	19	5,2
0,60	6,3	11,6		13	0,707	18	5,4	15,60	12,4	24,2		25	1,573	16	6,3
0,80	9,0	13,2		18	0,56	32	3,1	15,80	13,6	26,8		27	1,76	15	6,5
<b>1,00</b>	<b>9,6</b>	<b>17,7</b>		<b>19</b>	<b>1,08</b>	<b>18</b>	<b>5,7</b>	<b>16,00</b>	<b>17,2</b>	<b>34,1</b>		<b>34</b>	<b>2,253</b>	<b>15</b>	<b>6,6</b>
1,20	9,4	17,1		19	1,027	19	5,4	16,20	21,5	38,9		43	2,32	19	5,4
1,40	11,0	15,2		22	0,56	39	2,5	16,40	13,6	32,7		27	2,547	11	9,4
1,60	9,5	13,1		19	0,48	40	2,5	16,60	8,8	23,3		18	1,933	9	10,7
1,80	9,2	15,2		18	0,8	23	4,4	16,80	14,0	30,8		28	2,24	13	8,0
<b>2,00</b>	<b>10,9</b>	<b>15,3</b>		<b>22</b>	<b>0,587</b>	<b>37</b>	<b>2,7</b>	<b>17,00</b>	<b>21,7</b>	<b>40,8</b>		<b>43</b>	<b>2,547</b>	<b>17</b>	<b>5,9</b>
2,20	11,5	18,6		23	0,947	24	4,1	17,20	27,5	50,8		55	3,107	18	5,6
2,40	13,7	16,9		27	0,427	63	1,6	17,40	31,8	60,9		64	3,88	16	6,1
2,60	8,0	13,8		16	0,773	21	4,8	17,60	27,1	55,6		54	3,8	14	7,0
2,80	6,1	6,6		12	0,067	179	0,6	17,80	27,9	62,3		56	4,587	12	8,2
<b>3,00</b>	<b>3,4</b>	<b>9,1</b>		<b>7</b>	<b>0,76</b>	<b>9</b>	<b>10,9</b>	<b>18,00</b>	<b>32,7</b>	<b>66,8</b>		<b>65</b>	<b>4,547</b>	<b>14</b>	<b>7,0</b>
3,20	6,0	10		12	0,533	23	4,4	18,20	20,3	56,8		41	4,867	8	11,9
3,40	3,1	5,4		6	0,307	20	5,1	18,40	16,2	43,9		32	3,693	9	11,5
3,60	7,3	7,9		15	0,08	188	0,5	18,60	16,4	28,7		33	1,64	20	5,0
3,80	2,7	5,3		5	0,347	14	6,9	18,80	15,9	38,4		32	3	11	9,4
<b>4,00</b>	<b>2,0</b>	<b>4,5</b>		<b>4</b>	<b>0,333</b>	<b>12</b>	<b>8,3</b>	<b>19,00</b>	<b>15,7</b>	<b>36</b>		<b>31</b>	<b>2,707</b>	<b>11</b>	<b>8,7</b>
4,20	2,0	4		4	0,267	15	6,7	19,20	16,2	37,2		32	2,8	11	8,8
4,40	1,7	3		3	0,173	17	5,8	19,40	20,0	42		40	2,933	14	7,3
4,60	2,0	4,2		4	0,293	14	7,3	19,60	21,1	42,6		42	2,867	15	6,8
4,80	2,9	6		6	0,413	15	6,9	19,80	19,5	42,3		39	3,04	13	7,8
<b>5,00</b>	<b>3,6</b>	<b>6,8</b>		<b>7</b>	<b>0,427</b>	<b>16</b>	<b>6,1</b>	<b>20,00</b>	<b>21,0</b>	<b>44,7</b>		<b>42</b>	<b>3,16</b>	<b>13</b>	<b>7,5</b>
5,20	3,4	7,1		7	0,493	14	7,0								
5,40	3,3	6,6		7	0,44	16	6,3								
5,60	4,2	7,8		8	0,48	17	6,0								
5,80	4,0	8,3		8	0,573	14	7,2								
<b>6,00</b>	<b>4,2</b>	<b>9,1</b>		<b>8</b>	<b>0,653</b>	<b>12</b>	<b>8,2</b>								
6,20	4,0	9,3		8	0,707	11	8,8								
6,40	3,9	8,5		8	0,613	13	7,7								
6,60	3,1	7,5		6	0,587	10	9,8								
6,80	3,2	6,8		6	0,48	13	8,0								
<b>7,00</b>	<b>3,7</b>	<b>7,9</b>		<b>7</b>	<b>0,56</b>	<b>13</b>	<b>8,0</b>								
7,20	5,6	11,2		11	0,747	15	6,8								
7,40	4,5	10,7		9	0,827	11	9,2								
7,60	3,2	8,1		6	0,653	9	10,9								
7,80	3,2	7		6	0,507	12	8,5								
<b>8,00</b>	<b>6,4</b>	<b>11,7</b>		<b>13</b>	<b>0,707</b>	<b>18</b>	<b>5,4</b>								
8,20	4,3	8,6		9	0,573	16	6,4								
8,40	4,4	10		9	0,747	12	8,3								
8,60	5,0	10,8		10	0,773	13	7,7								
8,80	5,8	11,8		12	0,8	15	6,7								
<b>9,00</b>	<b>6,0</b>	<b>13,6</b>		<b>12</b>	<b>1,013</b>	<b>12</b>	<b>8,4</b>								
9,20	6,6	14,6		13	1,067	12	8,2								
9,40	7,6	16,3		15	1,16	13	7,7								
9,60	10,4	19,1		21	1,16	18	5,5								
9,80	12,5	21,8		25	1,24	20	5,0								
<b>10,00</b>	<b>11,0</b>	<b>22,3</b>		<b>22</b>	<b>1,507</b>	<b>15</b>	<b>6,9</b>								
10,20	14,4	25,7		29	1,507	19	5,2								
10,40	17,3	30,1		35	1,707	21	4,9								
10,60	21,5	40,6		43	2,547	17	5,9								
10,80	23,7	40,9		47	2,293	20	4,9								
<b>11,00</b>	<b>19,5</b>	<b>47</b>		<b>39</b>	<b>3,667</b>	<b>11</b>	<b>9,4</b>								
11,20	18,4	38,2		37	2,64	14	7,1								
11,40	18,4	37		37	2,48	15	6,7								
11,60	22,9	38,5		46	2,08	22	4,5								
11,80	9,8	24,3		20	1,933	10	9,7								
<b>12,00</b>	<b>4,3</b>	<b>14,7</b>		<b>9</b>	<b>1,387</b>	<b>6</b>	<b>15,4</b>								
12,20	26,6	36,9		53	1,373	39	2,6								
12,40	25,7	36,4		51	1,427	36	2,8								
12,60	33,5	42,3		67	1,173	57	1,8								
12,80	36,4	46,1		73	1,293	56	1,8								
<b>13,00</b>	<b>27,0</b>	<b>34</b>		<b>54</b>	<b>0,933</b>	<b>58</b>	<b>1,7</b>								
13,20	24,7	30,3		49	0,747	66	1,5								
13,40	23,9	32,7		48	1,173	41	2,4								
13,60	23,8	31,1		48	0,973	49	2,0								
13,80	34,1	45,1		68	1,467	46	2,2								
<b>14,00</b>	<b>31,5</b>	<b>36,6</b>		<b>63</b>	<b>0,68</b>	<b>93</b>	<b>1,1</b>								
14,20	34,1	40,4		68	0,84	81	1,2								
14,40	45,9	51,7		92	0,773	119	0,8								
14,60	47,0	48,7		94	0,227	414	0,2								
14,80	6,9	25,5		14	2,48	6	17,7								
<b>15,00</b>	<b>6,7</b>	<b>16,7</b>		<b>13</b>	<b>1,333</b>	<b>10</b>	<b>10,3</b>								

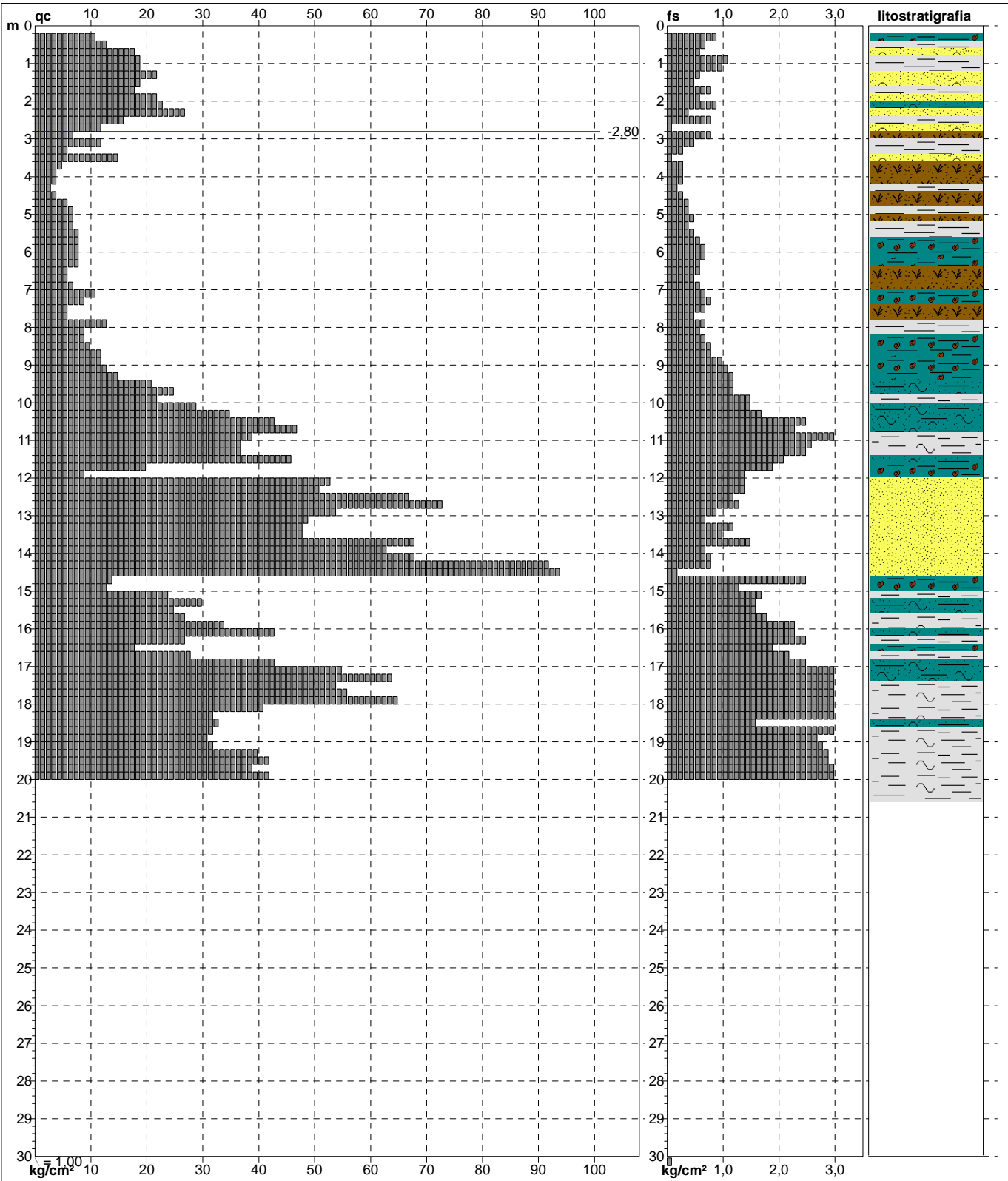
H = profondità  
L1 = prima lettura (punta)  
L2 = seconda lettura (punta + laterale)  
Lt = terza lettura (totale)  
CT = 20,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta  
fs = resistenza laterale calcolata alla stessa quota di qc  
F = rapporto Begemann (qc / fs)  
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)\*100

Lo sperimentatore: **GHD Sas - Rovigo**Il direttore laboratorio: **1**

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA</b>	<b>CPT</b>	<b>3</b>
	riferimento	<b>12-14</b>

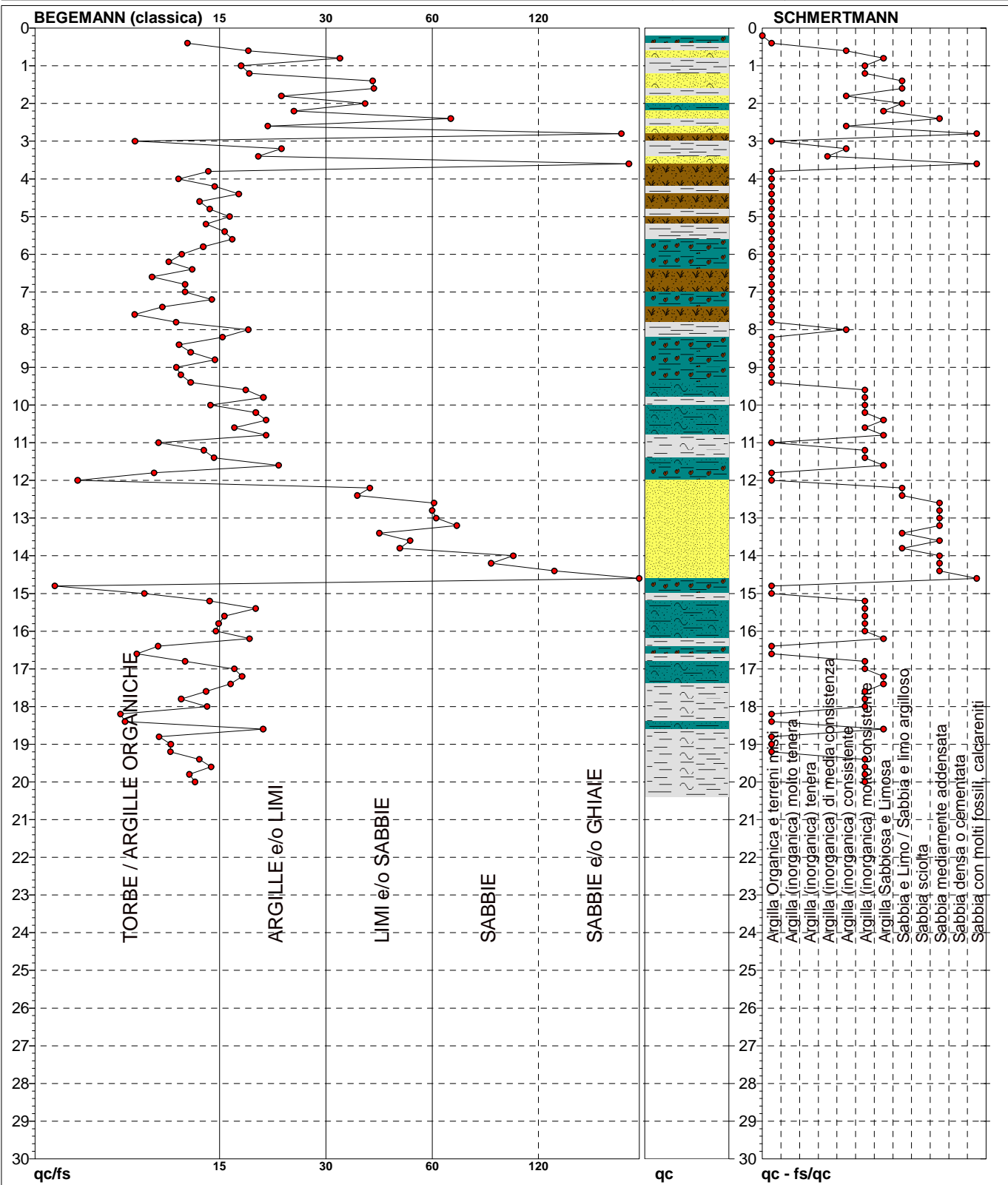
Committente: <b>Reno Gas - Manservisi I. - Balboni L. e L.</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data exec.: <b>17/12/2014</b>
Cantiere: <b>Verifiche geotecniche</b>	Scala: <b>1:150</b>	Quota inizio: p.c.
Località: <b>Via Statale 116 - Corporendo di Cento (Ferrara)</b>	Pagina: <b>1</b>	Falda: <b>-2,80 m</b> da quota inizio
	Elaborato:	



Litologia: <b>Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone</b>	Corr.astine: <b>kg/ml</b>	Preforo: <b>m</b>
Penetrometro: <b>DDSP100SM</b>	Cod.ISTAT: <b>038004</b>	<b>Lo sperimentatore: GHD Sas - Rovigo</b>
Responsabile: <b>GHD Sas - Rovigo</b>	Cod. punta:	<b>Il direttore laboratorio: 1</b>
Assistente: <b>Dott.Geol. A.Garbellini</b>		

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>DIAGRAMMI LITOLOGIA</b>	<b>CPT</b>	<b>3</b>
	referimento	<b>12-14</b>

Committente: <b>Reno Gas - Manservisi I. - Balboni L. e L.</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec.: <b>17/12/2014</b>
Cantiere: <b>Verifiche geotecniche</b>	Scala: <b>1:150</b>	
Località: <b>Via Statale 116 - Corporendo di Cento (Ferrara)</b>	Pagina: <b>1</b>	
	Elaborato:	Falda: <b>-2,80 m da quota inizio</b>



Torbe / Argille org. :	100 punti, 67,11%
Argille e/o Limi :	30 punti, 20,13%
Limi e/o Sabbie :	12 punti, 8,05%
Sabbie :	5 punti, 3,36%
Sabbie e/o Ghiaie :	3 punti, 2,01%

**Lo sperimentatore: GHD Sas - Rovigo**  
**Il direttore laboratorio: 1**



***PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI***  
*(DM 14/01/2008)*

- *Valutazione della pericolosità sismica*
- *Verifica del potenziale di liquefazione*
- *Calcolo dei cedimenti post sisma*
- *Calcolo della capacità portante*

## *Valutazione della pericolosità sismica*

## Valutazione della pericolosità sismica

ai sensi del D.M. 14/01/2008 “Norme tecniche per le costruzioni”

eseguita mediante “Spettri di risposta” vers. 1.0.3 distribuito dal C.S. LL.PP.

Il documento Excel SPETTRI-NTC fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale. La definizione degli spettri di risposta relativi ad uno Stato Limite è articolata in 3 fasi, ciascuna delle quali prevede la scelta dei valori di alcuni parametri da parte dell'utente:  
**FASE 1.** Individuazione della pericolosità del sito (sulla base dei risultati del progetto S1 - INGV);  
**FASE 2.** Scelta della strategia di progettazione;  
**FASE 3.** Determinazione dell'azione di progetto.  
La schermata relativa a ciascuna fase è suddivisa in sotto-schermate: l'utente può intervenire nelle sotto-schermate con sfondo grigio scuro mentre quelle con sfondo grigio chiaro consentono un immediato controllo grafico delle scelte effettuate. In ogni singola fase l'utente può visualizzare e stampare i risultati delle elaborazioni -in forma sia grafica che numerica- nonché i relativi riferimenti alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 pubblicate nella G.U. n.29 del 04.02.2008 Suppl. Ord. n.30 e scaricabile dal sito [www.cslp.it](http://www.cslp.it)

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

11,32270

LATITUDINE

44,76659

Ricerca per comune

REGIONE

Emilia-Romagna

PROVINCIA

Ferrara

COMUNE

Cento

Elaborazioni grafiche

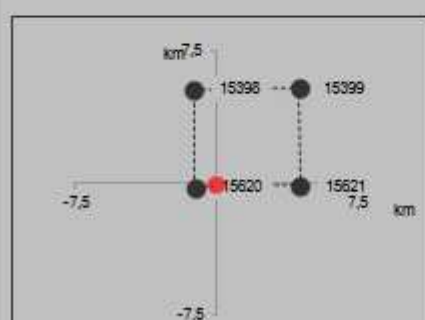
Grafici spettri di risposta

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

## 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	0,042	2,529	0,256
50	0,055	2,469	0,268
72	0,065	2,484	0,275
101	0,078	2,546	0,267
140	0,092	2,594	0,262
201	0,108	2,590	0,268
475	0,155	2,590	0,271
975	0,208	2,538	0,278
2475	0,297	2,436	0,294

### 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 - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="30"/>
SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="50"/>

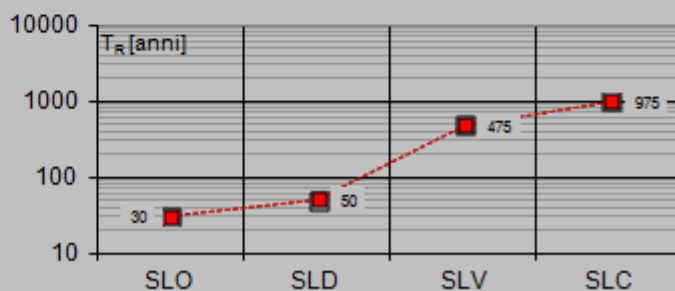
Stati limite ultimi - SLU {

SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="475"/>
SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="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

**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	0,042	2,529	0,257
SLD	50	0,055	2,469	0,268
SLV	475	0,155	2,590	0,271
SLC	975	0,208	2,538	0,278

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**  
Stato Limite considerato: **SLV** info

---

**Risposta sismica locale**  
 Categoria di sottosuolo: **C** info       $S_E =$         $C_0 =$   info  
 Categoria topografica: **T1** info       $h/H =$         $S_T =$   info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

---

**Compon. orizzontale**  
 Spettro di progetto elastico (SLE)      Smorzamento  $\xi$  (%)        $\eta_1 =$   info  
 Spettro di progetto inelastico (SLU)      Fattore  $q_0$        Regol. in altezza: **no** info

---

**Compon. verticale**  
 Spettro di progetto      Fattore  $q$         $\eta =$   info

---

**Elaborazioni**  
 Grafici spettri di risposta →  
 Parametri e punti spettri di risposta →

**Spettri di risposta**

$S_{a,o}$  [g] 0,45  
 $S_{v,o}$  [g] 0,40  
 $S_e$  [g] 0,35

— Spettro di progetto - componente orizzontale  
 — Spettro di progetto - componente verticale  
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

---

INTRO   
 FASE 1   
 FASE 2   
 FASE 3

*Verifica del potenziale di liquefazione e calcolo dei cedimenti post sisma  
per CPT1*

:: Liquefaction Potential Index calculation data ::											
Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI	Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI
0.20	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	2.00	0.00	9.80	0.20	0.00
0.60	2.00	0.00	9.70	0.20	0.00	0.80	2.00	0.00	9.60	0.20	0.00
1.00	2.00	0.00	9.50	0.20	0.00	1.20	2.00	0.00	9.40	0.20	0.00
1.40	2.00	0.00	9.30	0.20	0.00	1.60	2.00	0.00	9.20	0.20	0.00
1.80	2.00	0.00	9.10	0.20	0.00	2.00	2.00	0.00	9.00	0.20	0.00
2.20	2.00	0.00	8.90	0.20	0.00	2.40	2.00	0.00	8.80	0.20	0.00
2.60	2.00	0.00	8.70	0.20	0.00	2.80	2.00	0.00	8.60	0.20	0.00
3.00	2.00	0.00	8.50	0.20	0.00	3.20	2.00	0.00	8.40	0.20	0.00
3.40	2.00	0.00	8.30	0.20	0.00	3.60	2.00	0.00	8.20	0.20	0.00
3.80	2.00	0.00	8.10	0.20	0.00	4.00	2.00	0.00	8.00	0.20	0.00
4.20	2.00	0.00	7.90	0.20	0.00	4.40	2.00	0.00	7.80	0.20	0.00
4.60	2.00	0.00	7.70	0.20	0.00	4.80	2.00	0.00	7.60	0.20	0.00
5.00	2.00	0.00	7.50	0.20	0.00	5.20	0.84	0.16	7.40	0.20	0.24
5.40	0.86	0.14	7.30	0.20	0.21	5.60	0.82	0.18	7.20	0.20	0.26
5.80	0.89	0.11	7.10	0.20	0.15	6.00	0.88	0.12	7.00	0.20	0.17
6.20	0.99	0.01	6.90	0.20	0.02	6.40	0.99	0.01	6.80	0.20	0.02
6.60	0.94	0.06	6.70	0.20	0.08	6.80	0.95	0.05	6.60	0.20	0.06
7.00	0.93	0.07	6.50	0.20	0.10	7.20	0.90	0.10	6.40	0.20	0.12
7.40	0.85	0.15	6.30	0.20	0.19	7.60	0.88	0.12	6.20	0.20	0.15
7.80	1.06	0.00	6.10	0.20	0.00	8.00	1.23	0.00	6.00	0.20	0.00
8.20	1.33	0.00	5.90	0.20	0.00	8.40	1.29	0.00	5.80	0.20	0.00
8.60	1.31	0.00	5.70	0.20	0.00	8.80	1.41	0.00	5.60	0.20	0.00
9.00	1.80	0.00	5.50	0.20	0.00	9.20	2.00	0.00	5.40	0.20	0.00
9.40	2.00	0.00	5.30	0.20	0.00	9.60	2.00	0.00	5.20	0.20	0.00
9.80	2.00	0.00	5.10	0.20	0.00	10.00	2.00	0.00	5.00	0.20	0.00
10.20	2.00	0.00	4.90	0.20	0.00	10.40	2.00	0.00	4.80	0.20	0.00
10.60	2.00	0.00	4.70	0.20	0.00	10.80	2.00	0.00	4.60	0.20	0.00
11.00	2.00	0.00	4.50	0.20	0.00	11.20	2.00	0.00	4.40	0.20	0.00
11.40	2.00	0.00	4.30	0.20	0.00	11.60	2.00	0.00	4.20	0.20	0.00
11.80	2.00	0.00	4.10	0.20	0.00	12.00	2.00	0.00	4.00	0.20	0.00
12.20	2.00	0.00	3.90	0.20	0.00	12.40	2.00	0.00	3.80	0.20	0.00
12.60	2.00	0.00	3.70	0.20	0.00	12.80	2.00	0.00	3.60	0.20	0.00
13.00	2.00	0.00	3.50	0.20	0.00	13.20	2.00	0.00	3.40	0.20	0.00
13.40	2.00	0.00	3.30	0.20	0.00	13.60	2.00	0.00	3.20	0.20	0.00
13.80	2.00	0.00	3.10	0.20	0.00	14.00	2.00	0.00	3.00	0.20	0.00
14.20	2.00	0.00	2.90	0.20	0.00	14.40	2.00	0.00	2.80	0.20	0.00
14.60	2.00	0.00	2.70	0.20	0.00	14.80	2.00	0.00	2.60	0.20	0.00
15.00	2.00	0.00	2.50	0.20	0.00	15.20	2.00	0.00	2.40	0.20	0.00
15.40	1.74	0.00	2.30	0.20	0.00	15.60	1.50	0.00	2.20	0.20	0.00
15.80	2.00	0.00	2.10	0.20	0.00	16.00	2.00	0.00	2.00	0.20	0.00
16.20	2.00	0.00	1.90	0.20	0.00	16.40	2.00	0.00	1.80	0.20	0.00
16.60	2.00	0.00	1.70	0.20	0.00	16.80	2.00	0.00	1.60	0.20	0.00
17.00	2.00	0.00	1.50	0.20	0.00	17.20	2.00	0.00	1.40	0.20	0.00
17.40	2.00	0.00	1.30	0.20	0.00	17.60	2.00	0.00	1.20	0.20	0.00
17.80	2.00	0.00	1.10	0.20	0.00	18.00	2.00	0.00	1.00	0.20	0.00
18.20	2.00	0.00	0.90	0.20	0.00	18.40	2.00	0.00	0.80	0.20	0.00
18.60	2.00	0.00	0.70	0.20	0.00	18.80	2.00	0.00	0.60	0.20	0.00
19.00	2.00	0.00	0.50	0.20	0.00	19.20	2.00	0.00	0.40	0.20	0.00

**:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)**

Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI	Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI
19.40	2.00	0.00	0.30	0.20	0.00	19.60	2.00	0.00	0.20	0.20	0.00
19.80	2.00	0.00	0.10	0.20	0.00	20.00	2.00	0.00	0.00	0.20	0.00

**Overall liquefaction potential: 1.79**

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low  
 LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low  
 LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high  
 LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

**Abbreviations**

FS: Calculated factor of safety for test point  
 F<sub>L</sub>: 1 - FS  
 w<sub>z</sub>: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth  
 d<sub>z</sub>: Layer thickness (m)  
 LPI: Liquefaction potential index value for test point

:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction ::											
Depth (m)	Q <sub>tn,cs</sub>	FS	e <sub>v</sub> (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	Q <sub>tn,cs</sub>	FS	e <sub>v</sub> (%)	DF	Settlement (cm)
2.40	612.56	2.00	0.00	1.00	0.00	2.60	633.82	2.00	0.00	1.00	0.00
2.80	564.02	2.00	0.00	1.00	0.00	3.00	389.91	2.00	0.00	1.00	0.00
3.20	304.92	2.00	0.00	1.00	0.00	3.40	365.82	2.00	0.00	1.00	0.00
3.60	429.20	2.00	0.00	1.00	0.00	3.80	438.83	2.00	0.00	1.00	0.00
4.00	465.86	2.00	0.00	1.00	0.00	4.20	517.70	2.00	0.00	1.00	0.00
4.40	580.34	2.00	0.00	1.00	0.00	4.60	472.77	2.00	0.00	1.00	0.00
4.80	292.99	2.00	0.00	1.00	0.00	5.00	143.26	2.00	0.00	1.00	0.00
5.20	74.38	0.84	2.98	1.00	0.60	5.40	77.52	0.86	2.29	1.00	0.46
5.60	75.71	0.82	2.94	1.00	0.59	5.80	82.76	0.89	2.07	1.00	0.41
6.00	82.56	0.88	2.08	1.00	0.42	6.20	91.62	0.99	0.96	1.00	0.19
6.40	92.34	0.99	0.95	1.00	0.19	6.60	89.84	0.94	1.84	1.00	0.37
6.80	91.74	0.95	0.96	1.00	0.19	7.00	90.52	0.93	1.82	1.00	0.36
7.20	89.59	0.90	1.85	1.00	0.37	7.40	85.97	0.85	2.53	1.00	0.51
7.60	89.24	0.88	1.86	1.00	0.37	7.80	101.28	1.06	0.55	1.00	0.11
8.00	110.89	1.23	0.38	1.00	0.08	8.20	116.39	1.33	0.26	1.00	0.05
8.40	114.68	1.29	0.26	1.00	0.05	8.60	116.23	1.31	0.26	1.00	0.05
8.80	120.85	1.41	0.00	1.00	0.00	9.00	135.90	1.80	0.00	1.00	0.00
9.20	147.88	2.00	0.00	1.00	0.00	9.40	159.26	2.00	0.00	1.00	0.00
9.60	161.62	2.00	0.00	1.00	0.00	9.80	165.13	2.00	0.00	1.00	0.00
10.00	177.40	2.00	0.00	1.00	0.00	10.20	208.02	2.00	0.00	1.00	0.00
10.40	224.41	2.00	0.00	1.00	0.00	10.60	243.69	2.00	0.00	1.00	0.00
10.80	292.27	2.00	0.00	1.00	0.00	11.00	372.94	2.00	0.00	1.00	0.00
11.20	477.75	2.00	0.00	1.00	0.00	11.40	510.47	2.00	0.00	1.00	0.00
11.60	524.05	2.00	0.00	1.00	0.00	11.80	503.97	2.00	0.00	1.00	0.00
12.00	478.85	2.00	0.00	1.00	0.00	12.20	419.20	2.00	0.00	1.00	0.00
12.40	357.97	2.00	0.00	1.00	0.00	12.60	432.82	2.00	0.00	1.00	0.00
12.80	569.10	2.00	0.00	1.00	0.00	13.00	673.09	2.00	0.00	1.00	0.00
13.20	730.52	2.00	0.00	1.00	0.00	13.40	849.59	2.00	0.00	1.00	0.00
13.60	1222.85	2.00	0.00	1.00	0.00	13.80	1478.10	2.00	0.00	1.00	0.00
14.00	1478.63	2.00	0.00	1.00	0.00	14.20	1256.46	2.00	0.00	1.00	0.00
14.40	1161.86	2.00	0.00	1.00	0.00	14.60	883.04	2.00	0.00	1.00	0.00
14.80	610.54	2.00	0.00	1.00	0.00	15.00	239.70	2.00	0.00	1.00	0.00
15.20	186.29	2.00	0.00	1.00	0.00	15.40	128.66	1.74	0.00	1.00	0.00
15.60	119.49	1.50	0.00	1.00	0.00	15.80	162.71	2.00	0.00	1.00	0.00
16.00	234.50	2.00	0.00	1.00	0.00	16.20	285.76	2.00	0.00	1.00	0.00
16.40	338.34	2.00	0.00	1.00	0.00	16.60	374.54	2.00	0.00	1.00	0.00
16.80	406.46	2.00	0.00	1.00	0.00	17.00	374.57	2.00	0.00	1.00	0.00
17.20	339.13	2.00	0.00	1.00	0.00	17.40	334.34	2.00	0.00	1.00	0.00
17.60	358.07	2.00	0.00	1.00	0.00	17.80	406.04	2.00	0.00	1.00	0.00
18.00	450.15	2.00	0.00	1.00	0.00	18.20	504.94	2.00	0.00	1.00	0.00
18.40	547.12	2.00	0.00	1.00	0.00	18.60	558.36	2.00	0.00	1.00	0.00
18.80	535.82	2.00	0.00	1.00	0.00	19.00	471.62	2.00	0.00	1.00	0.00
19.20	406.07	2.00	0.00	1.00	0.00	19.40	360.21	2.00	0.00	1.00	0.00
19.60	332.99	2.00	0.00	1.00	0.00	19.80	320.68	2.00	0.00	1.00	0.00
20.00	306.92	2.00	0.00	1.00	0.00						

**:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction :: (continued)**

Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	$e_v$ (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	$e_v$ (%)	DF	Settlement (cm)
--------------	-------------	----	-----------	----	--------------------	--------------	-------------	----	-----------	----	--------------------

**Total estimated settlement: 5.36****Abbreviations**

$Q_{tn,cs}$ :	Equivalent clean sand normalized cone resistance
FS:	Factor of safety against liquefaction
$e_v$ (%):	Post-liquefaction volumetric strain
DF:	$e_v$ depth weighting factor
Settlement:	Calculated settlement

*Verifica del potenziale di liquefazione e calcolo dei cedimenti post sisma  
per CPT2*

:: Liquefaction Potential Index calculation data ::											
Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI	Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI
0.20	2.00	0.00	9.90	0.20	0.00	0.40	2.00	0.00	9.80	0.20	0.00
0.60	2.00	0.00	9.70	0.20	0.00	0.80	2.00	0.00	9.60	0.20	0.00
1.00	2.00	0.00	9.50	0.20	0.00	1.20	2.00	0.00	9.40	0.20	0.00
1.40	2.00	0.00	9.30	0.20	0.00	1.60	2.00	0.00	9.20	0.20	0.00
1.80	2.00	0.00	9.10	0.20	0.00	2.00	2.00	0.00	9.00	0.20	0.00
2.20	2.00	0.00	8.90	0.20	0.00	2.40	2.00	0.00	8.80	0.20	0.00
2.60	2.00	0.00	8.70	0.20	0.00	2.80	2.00	0.00	8.60	0.20	0.00
3.00	2.00	0.00	8.50	0.20	0.00	3.20	2.00	0.00	8.40	0.20	0.00
3.40	2.00	0.00	8.30	0.20	0.00	3.60	2.00	0.00	8.20	0.20	0.00
3.80	2.00	0.00	8.10	0.20	0.00	4.00	2.00	0.00	8.00	0.20	0.00
4.20	2.00	0.00	7.90	0.20	0.00	4.40	2.00	0.00	7.80	0.20	0.00
4.60	0.91	0.09	7.70	0.20	0.14	4.80	1.06	0.00	7.60	0.20	0.00
5.00	1.15	0.00	7.50	0.20	0.00	5.20	1.11	0.00	7.40	0.20	0.00
5.40	1.34	0.00	7.30	0.20	0.00	5.60	1.29	0.00	7.20	0.20	0.00
5.80	1.19	0.00	7.10	0.20	0.00	6.00	0.95	0.05	7.00	0.20	0.07
6.20	1.12	0.00	6.90	0.20	0.00	6.40	1.11	0.00	6.80	0.20	0.00
6.60	1.01	0.00	6.70	0.20	0.00	6.80	1.41	0.00	6.60	0.20	0.00
7.00	1.35	0.00	6.50	0.20	0.00	7.20	1.46	0.00	6.40	0.20	0.00
7.40	0.88	0.12	6.30	0.20	0.15	7.60	0.94	0.06	6.20	0.20	0.07
7.80	0.85	0.15	6.10	0.20	0.19	8.00	0.89	0.11	6.00	0.20	0.14
8.20	1.19	0.00	5.90	0.20	0.00	8.40	1.33	0.00	5.80	0.20	0.00
8.60	1.42	0.00	5.70	0.20	0.00	8.80	1.12	0.00	5.60	0.20	0.00
9.00	1.39	0.00	5.50	0.20	0.00	9.20	1.58	0.00	5.40	0.20	0.00
9.40	1.85	0.00	5.30	0.20	0.00	9.60	1.99	0.00	5.20	0.20	0.00
9.80	2.00	0.00	5.10	0.20	0.00	10.00	2.00	0.00	5.00	0.20	0.00
10.20	2.00	0.00	4.90	0.20	0.00	10.40	2.00	0.00	4.80	0.20	0.00
10.60	2.00	0.00	4.70	0.20	0.00	10.80	2.00	0.00	4.60	0.20	0.00
11.00	2.00	0.00	4.50	0.20	0.00	11.20	2.00	0.00	4.40	0.20	0.00
11.40	2.00	0.00	4.30	0.20	0.00	11.60	2.00	0.00	4.20	0.20	0.00
11.80	2.00	0.00	4.10	0.20	0.00	12.00	2.00	0.00	4.00	0.20	0.00
12.20	2.00	0.00	3.90	0.20	0.00	12.40	2.00	0.00	3.80	0.20	0.00
12.60	2.00	0.00	3.70	0.20	0.00	12.80	2.00	0.00	3.60	0.20	0.00
13.00	2.00	0.00	3.50	0.20	0.00	13.20	2.00	0.00	3.40	0.20	0.00
13.40	2.00	0.00	3.30	0.20	0.00	13.60	2.00	0.00	3.20	0.20	0.00
13.80	2.00	0.00	3.10	0.20	0.00	14.00	2.00	0.00	3.00	0.20	0.00
14.20	2.00	0.00	2.90	0.20	0.00	14.40	2.00	0.00	2.80	0.20	0.00
14.60	2.00	0.00	2.70	0.20	0.00	14.80	2.00	0.00	2.60	0.20	0.00
15.00	2.00	0.00	2.50	0.20	0.00	15.20	2.00	0.00	2.40	0.20	0.00
15.40	1.71	0.00	2.30	0.20	0.00	15.60	2.00	0.00	2.20	0.20	0.00
15.80	2.00	0.00	2.10	0.20	0.00	16.00	2.00	0.00	2.00	0.20	0.00
16.20	2.00	0.00	1.90	0.20	0.00	16.40	2.00	0.00	1.80	0.20	0.00
16.60	2.00	0.00	1.70	0.20	0.00	16.80	2.00	0.00	1.60	0.20	0.00
17.00	2.00	0.00	1.50	0.20	0.00	17.20	2.00	0.00	1.40	0.20	0.00
17.40	2.00	0.00	1.30	0.20	0.00	17.60	2.00	0.00	1.20	0.20	0.00
17.80	2.00	0.00	1.10	0.20	0.00	18.00	2.00	0.00	1.00	0.20	0.00
18.20	2.00	0.00	0.90	0.20	0.00	18.40	2.00	0.00	0.80	0.20	0.00
18.60	2.00	0.00	0.70	0.20	0.00	18.80	2.00	0.00	0.60	0.20	0.00
19.00	2.00	0.00	0.50	0.20	0.00	19.20	2.00	0.00	0.40	0.20	0.00

**:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)**

Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI	Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI
19.40	2.00	0.00	0.30	0.20	0.00	19.60	2.00	0.00	0.20	0.20	0.00
19.80	2.00	0.00	0.10	0.20	0.00	20.00	2.00	0.00	0.00	0.20	0.00
20.20	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.40	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.60	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.80	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.20	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.40	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.60	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.80	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22.20	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.40	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22.60	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.80	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00						

**Overall liquefaction potential: 0.75**

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low  
 LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low  
 LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high  
 LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

**Abbreviations**

FS: Calculated factor of safety for test point  
 F<sub>L</sub>: 1 - FS  
 w<sub>z</sub>: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth  
 d<sub>z</sub>: Layer thickness (m)  
 LPI: Liquefaction potential index value for test point

<b>:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction ::</b>											
Depth (m)	Q <sub>tn,cs</sub>	FS	e <sub>v</sub> (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	Q <sub>tn,cs</sub>	FS	e <sub>v</sub> (%)	DF	Settlement (cm)
2.40	452.74	2.00	0.00	1.00	0.00	2.60	252.56	2.00	0.00	1.00	0.00
2.80	184.07	2.00	0.00	1.00	0.00	3.00	205.49	2.00	0.00	1.00	0.00
3.20	256.31	2.00	0.00	1.00	0.00	3.40	292.12	2.00	0.00	1.00	0.00
3.60	352.16	2.00	0.00	1.00	0.00	3.80	394.19	2.00	0.00	1.00	0.00
4.00	435.81	2.00	0.00	1.00	0.00	4.20	275.08	2.00	0.00	1.00	0.00
4.40	169.93	2.00	0.00	1.00	0.00	4.60	75.99	0.91	2.35	1.00	0.47
4.80	88.10	1.06	0.60	1.00	0.12	5.00	94.79	1.15	0.57	1.00	0.11
5.20	93.83	1.11	0.57	1.00	0.11	5.40	106.40	1.34	0.28	1.00	0.06
5.60	105.27	1.29	0.28	1.00	0.06	5.80	101.30	1.19	0.40	1.00	0.08
6.00	87.97	0.95	1.00	1.00	0.20	6.20	99.47	1.12	0.55	1.00	0.11
6.40	99.52	1.11	0.55	1.00	0.11	6.60	94.50	1.01	0.93	1.00	0.19
6.80	115.57	1.41	0.00	1.00	0.00	7.00	113.80	1.35	0.00	1.00	0.00
7.20	119.14	1.46	0.00	1.00	0.00	7.40	88.65	0.88	1.87	1.00	0.37
7.60	93.48	0.94	1.73	1.00	0.35	7.80	86.97	0.85	2.49	1.00	0.50
8.00	90.46	0.89	1.82	1.00	0.36	8.20	109.37	1.19	0.38	1.00	0.08
8.40	116.59	1.33	0.26	1.00	0.05	8.60	120.62	1.42	0.00	1.00	0.00
8.80	106.72	1.12	0.53	1.00	0.11	9.00	120.03	1.39	0.00	1.00	0.00
9.20	128.26	1.58	0.00	1.00	0.00	9.40	138.10	1.85	0.00	1.00	0.00
9.60	142.58	1.99	0.00	1.00	0.00	9.80	161.39	2.00	0.00	1.00	0.00
10.00	200.28	2.00	0.00	1.00	0.00	10.20	231.00	2.00	0.00	1.00	0.00
10.40	254.47	2.00	0.00	1.00	0.00	10.60	250.41	2.00	0.00	1.00	0.00
10.80	281.67	2.00	0.00	1.00	0.00	11.00	370.62	2.00	0.00	1.00	0.00
11.20	486.33	2.00	0.00	1.00	0.00	11.40	496.65	2.00	0.00	1.00	0.00
11.60	459.43	2.00	0.00	1.00	0.00	11.80	437.43	2.00	0.00	1.00	0.00
12.00	491.07	2.00	0.00	1.00	0.00	12.20	472.14	2.00	0.00	1.00	0.00
12.40	413.75	2.00	0.00	1.00	0.00	12.60	398.65	2.00	0.00	1.00	0.00
12.80	454.79	2.00	0.00	1.00	0.00	13.00	503.96	2.00	0.00	1.00	0.00
13.20	543.54	2.00	0.00	1.00	0.00	13.40	665.85	2.00	0.00	1.00	0.00
13.60	785.63	2.00	0.00	1.00	0.00	13.80	849.01	2.00	0.00	1.00	0.00
14.00	714.09	2.00	0.00	1.00	0.00	14.20	658.09	2.00	0.00	1.00	0.00
14.40	603.78	2.00	0.00	1.00	0.00	14.60	507.07	2.00	0.00	1.00	0.00
14.80	346.99	2.00	0.00	1.00	0.00	15.00	181.62	2.00	0.00	1.00	0.00
15.20	152.93	2.00	0.00	1.00	0.00	15.40	127.78	1.71	0.00	1.00	0.00
15.60	156.76	2.00	0.00	1.00	0.00	15.80	239.97	2.00	0.00	1.00	0.00
16.00	307.72	2.00	0.00	1.00	0.00	16.20	356.83	2.00	0.00	1.00	0.00
16.40	400.10	2.00	0.00	1.00	0.00	16.60	443.32	2.00	0.00	1.00	0.00
16.80	456.26	2.00	0.00	1.00	0.00	17.00	396.10	2.00	0.00	1.00	0.00
17.20	402.77	2.00	0.00	1.00	0.00	17.40	456.81	2.00	0.00	1.00	0.00
17.60	528.84	2.00	0.00	1.00	0.00	17.80	555.84	2.00	0.00	1.00	0.00
18.00	584.21	2.00	0.00	1.00	0.00	18.20	619.83	2.00	0.00	1.00	0.00
18.40	640.76	2.00	0.00	1.00	0.00	18.60	566.47	2.00	0.00	1.00	0.00
18.80	498.08	2.00	0.00	1.00	0.00	19.00	425.66	2.00	0.00	1.00	0.00
19.20	411.97	2.00	0.00	1.00	0.00	19.40	380.26	2.00	0.00	1.00	0.00
19.60	371.72	2.00	0.00	1.00	0.00	19.80	397.64	2.00	0.00	1.00	0.00
20.00	436.16	2.00	0.00	1.00	0.00	20.20	468.83	2.00	0.00	1.00	0.00
20.40	450.06	2.00	0.00	1.00	0.00	20.60	373.92	2.00	0.00	1.00	0.00
20.80	285.17	2.00	0.00	1.00	0.00	21.00	249.69	2.00	0.00	1.00	0.00
21.20	280.59	2.00	0.00	1.00	0.00	21.40	295.36	2.00	0.00	1.00	0.00

**:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction :: (continued)**

Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	$e_v$ (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	$e_v$ (%)	DF	Settlement (cm)
21.60	249.79	2.00	0.00	1.00	0.00	21.80	211.49	2.00	0.00	1.00	0.00
22.00	211.57	2.00	0.00	1.00	0.00	22.20	271.58	2.00	0.00	1.00	0.00
22.40	361.69	2.00	0.00	1.00	0.00	22.60	456.63	2.00	0.00	1.00	0.00
22.80	523.54	2.00	0.00	1.00	0.00	23.00	605.87	2.00	0.00	1.00	0.00

**Total estimated settlement: 3.43****Abbreviations**

$Q_{tn,cs}$ :	Equivalent clean sand normalized cone resistance
FS:	Factor of safety against liquefaction
$e_v$ (%):	Post-liquefaction volumetric strain
DF:	$e_v$ depth weighting factor
Settlement:	Calculated settlement

*Verifica del potenziale di liquefazione e calcolo dei cedimenti post sisma  
per CPT3*

**:: Liquefaction Potential Index calculation data ::**

Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI	Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI
0.20	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	2.00	0.00	9.80	0.20	0.00
0.60	2.00	0.00	9.70	0.20	0.00	0.80	2.00	0.00	9.60	0.20	0.00
1.00	2.00	0.00	9.50	0.20	0.00	1.20	2.00	0.00	9.40	0.20	0.00
1.40	2.00	0.00	9.30	0.20	0.00	1.60	2.00	0.00	9.20	0.20	0.00
1.80	2.00	0.00	9.10	0.20	0.00	2.00	2.00	0.00	9.00	0.20	0.00
2.20	2.00	0.00	8.90	0.20	0.00	2.40	2.00	0.00	8.80	0.20	0.00
2.60	2.00	0.00	8.70	0.20	0.00	2.80	2.00	0.00	8.60	0.20	0.00
3.00	2.00	0.00	8.50	0.20	0.00	3.20	2.00	0.00	8.40	0.20	0.00
3.40	2.00	0.00	8.30	0.20	0.00	3.60	2.00	0.00	8.20	0.20	0.00
3.80	2.00	0.00	8.10	0.20	0.00	4.00	0.87	0.13	8.00	0.20	0.21
4.20	0.77	0.23	7.90	0.20	0.37	4.40	0.75	0.25	7.80	0.20	0.40
4.60	0.79	0.21	7.70	0.20	0.33	4.80	0.95	0.05	7.60	0.20	0.08
5.00	1.10	0.00	7.50	0.20	0.00	5.20	1.13	0.00	7.40	0.20	0.00
5.40	1.20	0.00	7.30	0.20	0.00	5.60	1.26	0.00	7.20	0.20	0.00
5.80	1.38	0.00	7.10	0.20	0.00	6.00	1.29	0.00	7.00	0.20	0.00
6.20	1.24	0.00	6.90	0.20	0.00	6.40	1.04	0.00	6.80	0.20	0.00
6.60	0.92	0.08	6.70	0.20	0.10	6.80	0.88	0.12	6.60	0.20	0.16
7.00	1.20	0.00	6.50	0.20	0.00	7.20	1.39	0.00	6.40	0.20	0.00
7.40	1.27	0.00	6.30	0.20	0.00	7.60	0.91	0.09	6.20	0.20	0.11
7.80	1.15	0.00	6.10	0.20	0.00	8.00	1.31	0.00	6.00	0.20	0.00
8.20	1.50	0.00	5.90	0.20	0.00	8.40	1.22	0.00	5.80	0.20	0.00
8.60	1.45	0.00	5.70	0.20	0.00	8.80	1.75	0.00	5.60	0.20	0.00
9.00	2.00	0.00	5.50	0.20	0.00	9.20	2.00	0.00	5.40	0.20	0.00
9.40	2.00	0.00	5.30	0.20	0.00	9.60	2.00	0.00	5.20	0.20	0.00
9.80	2.00	0.00	5.10	0.20	0.00	10.00	2.00	0.00	5.00	0.20	0.00
10.20	2.00	0.00	4.90	0.20	0.00	10.40	2.00	0.00	4.80	0.20	0.00
10.60	2.00	0.00	4.70	0.20	0.00	10.80	2.00	0.00	4.60	0.20	0.00
11.00	2.00	0.00	4.50	0.20	0.00	11.20	2.00	0.00	4.40	0.20	0.00
11.40	2.00	0.00	4.30	0.20	0.00	11.60	2.00	0.00	4.20	0.20	0.00
11.80	2.00	0.00	4.10	0.20	0.00	12.00	2.00	0.00	4.00	0.20	0.00
12.20	2.00	0.00	3.90	0.20	0.00	12.40	2.00	0.00	3.80	0.20	0.00
12.60	2.00	0.00	3.70	0.20	0.00	12.80	2.00	0.00	3.60	0.20	0.00
13.00	2.00	0.00	3.50	0.20	0.00	13.20	2.00	0.00	3.40	0.20	0.00
13.40	2.00	0.00	3.30	0.20	0.00	13.60	2.00	0.00	3.20	0.20	0.00
13.80	2.00	0.00	3.10	0.20	0.00	14.00	2.00	0.00	3.00	0.20	0.00
14.20	2.00	0.00	2.90	0.20	0.00	14.40	2.00	0.00	2.80	0.20	0.00
14.60	2.00	0.00	2.70	0.20	0.00	14.80	2.00	0.00	2.60	0.20	0.00
15.00	2.00	0.00	2.50	0.20	0.00	15.20	2.00	0.00	2.40	0.20	0.00
15.40	2.00	0.00	2.30	0.20	0.00	15.60	2.00	0.00	2.20	0.20	0.00
15.80	2.00	0.00	2.10	0.20	0.00	16.00	2.00	0.00	2.00	0.20	0.00
16.20	2.00	0.00	1.90	0.20	0.00	16.40	2.00	0.00	1.80	0.20	0.00
16.60	2.00	0.00	1.70	0.20	0.00	16.80	2.00	0.00	1.60	0.20	0.00
17.00	2.00	0.00	1.50	0.20	0.00	17.20	2.00	0.00	1.40	0.20	0.00
17.40	2.00	0.00	1.30	0.20	0.00	17.60	2.00	0.00	1.20	0.20	0.00
17.80	2.00	0.00	1.10	0.20	0.00	18.00	2.00	0.00	1.00	0.20	0.00
18.20	2.00	0.00	0.90	0.20	0.00	18.40	2.00	0.00	0.80	0.20	0.00
18.60	2.00	0.00	0.70	0.20	0.00	18.80	2.00	0.00	0.60	0.20	0.00
19.00	2.00	0.00	0.50	0.20	0.00	19.20	2.00	0.00	0.40	0.20	0.00

**:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)**

Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI	Depth (m)	FS	F <sub>L</sub>	w <sub>z</sub>	d <sub>z</sub>	LPI
19.40	2.00	0.00	0.30	0.20	0.00	19.60	2.00	0.00	0.20	0.20	0.00
19.80	2.00	0.00	0.10	0.20	0.00	20.00	2.00	0.00	0.00	0.20	0.00

**Overall liquefaction potential: 1.75**

LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low  
 LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low  
 LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high  
 LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

**Abbreviations**

FS: Calculated factor of safety for test point  
 F<sub>L</sub>: 1 - FS  
 w<sub>z</sub>: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth  
 d<sub>z</sub>: Layer thickness (m)  
 LPI: Liquefaction potential index value for test point

<b>:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction ::</b>											
Depth (m)	Q <sub>tn,cs</sub>	FS	e <sub>v</sub> (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	Q <sub>tn,cs</sub>	FS	e <sub>v</sub> (%)	DF	Settlement (cm)
2.40	363.12	2.00	0.00	1.00	0.00	2.60	312.14	2.00	0.00	1.00	0.00
2.80	184.16	2.00	0.00	1.00	0.00	3.00	160.58	2.00	0.00	1.00	0.00
3.20	124.68	2.00	0.00	1.00	0.00	3.40	167.30	2.00	0.00	1.00	0.00
3.60	134.61	2.00	0.00	1.00	0.00	3.80	121.93	2.00	0.00	1.00	0.00
4.00	67.09	0.87	2.83	1.00	0.57	4.20	57.43	0.77	3.68	1.00	0.74
4.40	57.05	0.75	3.70	1.00	0.74	4.60	64.68	0.79	3.34	1.00	0.67
4.80	81.07	0.95	2.14	1.00	0.43	5.00	92.61	1.10	0.58	1.00	0.12
5.20	95.44	1.13	0.57	1.00	0.11	5.40	99.97	1.20	0.40	1.00	0.08
5.60	104.33	1.26	0.28	1.00	0.06	5.80	110.85	1.38	0.00	1.00	0.00
6.00	107.71	1.29	0.27	1.00	0.05	6.20	106.03	1.24	0.39	1.00	0.08
6.40	96.05	1.04	0.92	1.00	0.18	6.60	89.03	0.92	1.86	1.00	0.37
6.80	86.82	0.88	1.93	1.00	0.39	7.00	107.06	1.20	0.39	1.00	0.08
7.20	116.46	1.39	0.00	1.00	0.00	7.40	111.43	1.27	0.27	1.00	0.05
7.60	91.37	0.91	1.79	1.00	0.36	7.80	106.65	1.15	0.53	1.00	0.11
8.00	115.22	1.31	0.26	1.00	0.05	8.20	123.76	1.50	0.00	1.00	0.00
8.40	111.57	1.22	0.37	1.00	0.07	8.60	122.54	1.45	0.00	1.00	0.00
8.80	134.11	1.75	0.00	1.00	0.00	9.00	145.45	2.00	0.00	1.00	0.00
9.20	158.08	2.00	0.00	1.00	0.00	9.40	191.03	2.00	0.00	1.00	0.00
9.60	235.18	2.00	0.00	1.00	0.00	9.80	259.18	2.00	0.00	1.00	0.00
10.00	287.45	2.00	0.00	1.00	0.00	10.20	321.13	2.00	0.00	1.00	0.00
10.40	395.87	2.00	0.00	1.00	0.00	10.60	461.28	2.00	0.00	1.00	0.00
10.80	471.02	2.00	0.00	1.00	0.00	11.00	445.81	2.00	0.00	1.00	0.00
11.20	404.92	2.00	0.00	1.00	0.00	11.40	429.59	2.00	0.00	1.00	0.00
11.60	366.36	2.00	0.00	1.00	0.00	11.80	264.56	2.00	0.00	1.00	0.00
12.00	290.51	2.00	0.00	1.00	0.00	12.20	404.02	2.00	0.00	1.00	0.00
12.40	613.00	2.00	0.00	1.00	0.00	12.60	680.45	2.00	0.00	1.00	0.00
12.80	687.76	2.00	0.00	1.00	0.00	13.00	622.48	2.00	0.00	1.00	0.00
13.20	530.61	2.00	0.00	1.00	0.00	13.40	505.07	2.00	0.00	1.00	0.00
13.60	566.56	2.00	0.00	1.00	0.00	13.80	617.43	2.00	0.00	1.00	0.00
14.00	685.72	2.00	0.00	1.00	0.00	14.20	765.15	2.00	0.00	1.00	0.00
14.40	868.86	2.00	0.00	1.00	0.00	14.60	674.95	2.00	0.00	1.00	0.00
14.80	406.28	2.00	0.00	1.00	0.00	15.00	170.16	2.00	0.00	1.00	0.00
15.20	222.12	2.00	0.00	1.00	0.00	15.40	258.97	2.00	0.00	1.00	0.00
15.60	267.71	2.00	0.00	1.00	0.00	15.80	282.38	2.00	0.00	1.00	0.00
16.00	340.92	2.00	0.00	1.00	0.00	16.20	339.58	2.00	0.00	1.00	0.00
16.40	283.32	2.00	0.00	1.00	0.00	16.60	233.40	2.00	0.00	1.00	0.00
16.80	284.70	2.00	0.00	1.00	0.00	17.00	404.14	2.00	0.00	1.00	0.00
17.20	517.20	2.00	0.00	1.00	0.00	17.40	550.25	2.00	0.00	1.00	0.00
17.60	551.52	2.00	0.00	1.00	0.00	17.80	555.42	2.00	0.00	1.00	0.00
18.00	510.91	2.00	0.00	1.00	0.00	18.20	434.43	2.00	0.00	1.00	0.00
18.40	328.52	2.00	0.00	1.00	0.00	18.60	298.55	2.00	0.00	1.00	0.00
18.80	293.48	2.00	0.00	1.00	0.00	19.00	291.91	2.00	0.00	1.00	0.00
19.20	315.90	2.00	0.00	1.00	0.00	19.40	347.82	2.00	0.00	1.00	0.00
19.60	366.76	2.00	0.00	1.00	0.00	19.80	362.36	2.00	0.00	1.00	0.00
20.00	369.83	2.00	0.00	1.00	0.00						

**:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction :: (continued)**

Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	$e_v$ (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	$e_v$ (%)	DF	Settlement (cm)
--------------	-------------	----	-----------	----	--------------------	--------------	-------------	----	-----------	----	--------------------

**Total estimated settlement: 5.30****Abbreviations**

$Q_{tn,cs}$ :	Equivalent clean sand normalized cone resistance
FS:	Factor of safety against liquefaction
$e_v$ (%):	Post-liquefaction volumetric strain
DF:	$e_v$ depth weighting factor
Settlement:	Calculated settlement

*Calcolo della capacità portante*

## Calcolo della capacità portante : metodi utilizzati

$$q_{LIM} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma} + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q$$

formula generale di Brinch-Hansen (1970)

nella quale:

$N_{\gamma}, N_c, N_q$ : fattori di capacità portante, dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio  $\varphi'$ ;

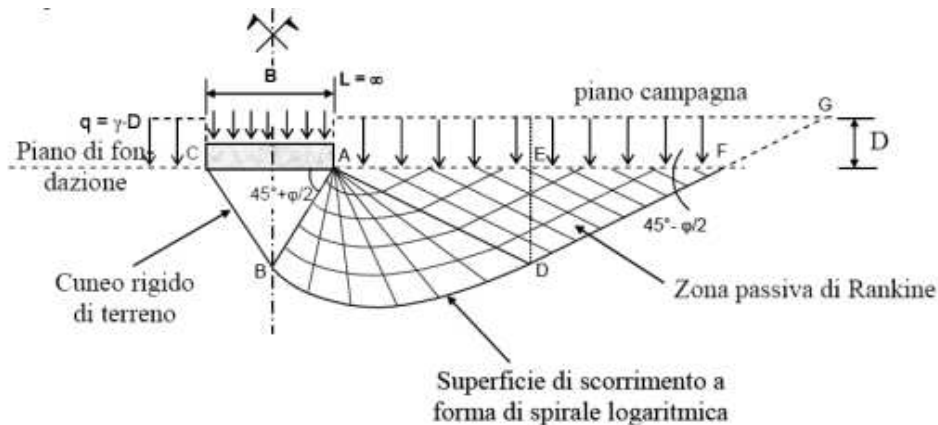
$s_{\gamma}, s_c, s_q$ : fattori di forma della fondazione;

$i_{\gamma}, i_c, i_q$ : fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;

$b_{\gamma}, b_c, b_q$ : fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano di posa della fondazione;

$g_{\gamma}, g_c, g_q$ : fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna;

$d_{\gamma}, d_c, d_q$ : fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa.



### FATTORI DI CAPACITA' PORTANTE

$$N_q = \frac{1 + \sin\varphi'}{1 - \sin\varphi'} \cdot e^{\pi \cdot \tan\varphi'}$$

$$N_{\gamma} = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan\varphi'$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot\varphi'$$

### COEFFICIENTI DI FORMA

(Meyerhof, 1963)

$$s_q = 1 + 0.1 \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{1 + \sin\varphi'}{1 - \sin\varphi'}$$

$$s_{\gamma} = s_q$$

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{1 + \sin\varphi'}{1 - \sin\varphi'}$$

## COEFFICIENTI DI PROFONDITÀ

(Brinch-Hansen, 1970; DeBeer e Ladanyi, 1961; Vesic, 1963)

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan \varphi' \cdot (1 - \operatorname{sen} \varphi')^2 \cdot \frac{D}{B} \quad D \leq B$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan \varphi' \cdot (1 - \operatorname{sen} \varphi')^2 \cdot \tan^{-1} \left( \frac{D}{B} \right) \quad D > B$$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \tan \varphi'}$$

$$d_\gamma = 1$$

## COEFFICIENTI DI INCLINAZIONE

(Vesic, 1963)

$$i_q = \left( 1 - \frac{H}{N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot \varphi'} \right)^m$$

$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{H}{N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot \varphi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \varphi'}$$

$$\text{dove: } m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

## INCLINAZIONE DEL PIANO DI POSA $\alpha$

(Brinch-Hansen, 1970)

$$b_q = (1 - \alpha \cdot \tan \varphi')^2$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \cdot \tan \varphi'}$$

## INCLINAZIONE DEL PIANO CAMPAGNA $\omega$

(Brinch-Hansen, 1970)

$$g_q = (1 - \tan \omega)^2$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \cdot \tan \varphi'}$$

## ***INDAGINE SISMICA TIPO MASW***

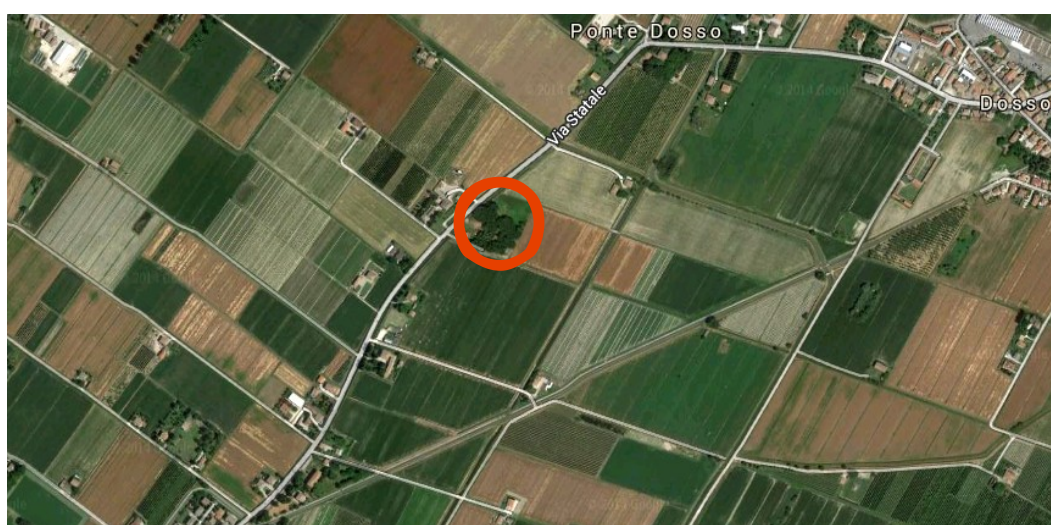
- *Indagine sismica e documentazione fotografica*

**PROVINCIA DI FERRARA**

**COMUNE DI CENTO**

## **INDAGINE GEOFISICA PER LA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO**

RELAZIONE DA ALLEGARSI ALLA RICHIESTA DI  
INTRODUZIONE, NELLA PROSSIMA VARIANTE DI PRG,  
DELLA SPECIFICA PERIMETRAZIONE DELL'AREA E DELLA  
SUA FUTURA DESTINAZIONE D'USO A DISTRIBUTORE  
CARBURANTI ED ATTIVITA' ACCESSORIE



### **RELAZIONE TECNICA**

*ai sensi del D.M. 14/01/2008*

Committente: GEOHYDRODATA Sas - Via Porta a Mare, 9 - ROVIGO

Località d'indagine: Via Statale, 116 – Corporeno di Cento (FE)

Data: 17 dicembre 2014

Il tecnico: dott. geol. Andrea Garbellini



**STUDIO GEOLOGICO dott. ANDREA GARBELLINI**

Via Antonio Gramsci n.74, 45034 Canaro (Rovigo)

tel 0425.940066, cell 347.2318951, email andrea.garbellini@gmail.com

# INDAGINE GEOFISICA PER LA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

## INDICE

1) PREMESSA .....	2
2) INDAGINE SISMICA TIPO MASW .....	3
3) CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO.....	7
4) PARAMETRI GEOTECNICI.....	9

## ALLEGATI

- Profilo sismico MASW

## **1) PREMESSA**

Su incarico della ditta Geohydrodata s.a.s. di Rovigo in un'area ubicata in Via Statale n. 116 in località Corporeno di Cento (FE) è stata eseguita una prova sismica attiva, la quale ha avuto lo scopo di rilevare le velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio "Vs" nel sottosuolo generate da una sorgente energizzante.

Il contesto ambientale in cui è stata eseguita l'indagine è rurale.

L'area d'indagine ha una topografia pianeggiante senza discontinuità altimetriche significative ed è caratterizzata dalla presenza in superficie di terre rimaneggiate vegetali in cui la componente limosa e limoso sabbiosa appare prevalente.

Le coordinate geografiche centrali allo stendimento della prova sismica sono: 44.76614N, 11.32229E (sistema di riferimento WS84 in gradi decimali).

In riferimento alla vigente normativa l'elaborazione e l'analisi del parametro "Vs" ha consentito di verificare i seguenti aspetti:

- determinazione della "Vs30" (velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità) per la classificazione sismica del sottosuolo (così come consigliato al punto 3.2.2. del D.M. 14/01/2008-Norme Tecniche per le Costruzioni);
- verifica indiretta delle consistenze e densità delle terre;
- parametrizzazione geotecnica in campo dinamico del sottosuolo.

In allegato si riporta l'elaborato grafico che schematizza e sintetizza i risultati ottenuti dalla prova eseguita in sito.

L'immagine seguente riporta l'ubicazione dello stendimento sismico con indicazione delle posizioni dei geofoni n. 1 e 24.



## **2) INDAGINE SISMICA TIPO MASW**

La tecnica d'indagine utilizzata per l'acquisizione delle onde "Vs" è attiva tipo MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

La tecnica MASW si basa sul fenomeno della "dispersione" delle onde superficiali, nella fattispecie onde di Rayleigh (hanno vibrazioni con un movimento complesso ellittico retrogrado con asse maggiore verticale), che avviene nei mezzi stratificati o eterogenei. Il fenomeno della dispersione, ovvero la variazione della velocità di fase delle onde sismiche in funzione della frequenza e lunghezza d'onda, avviene a seguito della capacità d'investigare differenti profondità del sottosuolo in funzione delle lunghezze d'onda generate.

I parametri che condizionano le onde di Rayleigh sono: onde "Vs", spessore del mezzo e in misura minore densità e onde "Vp". Le velocità delle onde di Rayleigh corrispondono circa alla velocità delle "Vs" (0.94 Vs).

L'esecuzione della prova MASW consiste nell'acquisire mediante un sismografo i tempi di arrivo ai geofoni delle onde meccaniche prodotte con l'energizzazione del sottosuolo. I geofoni, ovvero ricevitori molto sensibili in grado di rilevare le più piccole vibrazioni nel sottosuolo, debbono essere posizionati a delle distanze regolari lungo un allineamento stabilito (stendimento). Le distanze tra i geofoni e la lunghezza dello stendimento vengono scelti in funzione della profondità da raggiungere e della definizione

stratigrafica che si vuole conseguire. L'energizzazione del sottosuolo (battuta), ovvero la sorgente impulsiva in grado di produrre onde meccaniche con frequenze diverse, viene eseguita ad un'estremità dell'allineamento di geofoni.

Il risultato del rilievo di campagna è un sismogramma che visualizza i tempi di arrivo.

Le fasi di elaborazione sono essenzialmente due:

1. elaborazione dello "spettro di velocità" (velocità di fase delle onde in funzione della loro frequenza; lo spettro rappresenta un'elaborazione oggettiva del segnale registrato) e determinazione della "curva di dispersione sperimentale" (rappresenta un'elaborazione soggettiva delle densità spettrali);
2. "inversione" della curva di dispersione mediante calcolo automatico con utilizzo di un algoritmo euristico per la definizione del modello sismico, ovvero spessore dei sismostrati e velocità delle onde Vs; la modellazione numerica della curva di dispersione prevede che alla base del modello sia posto un semispazio di spessore infinito.

Il risultato finale dell'elaborazione è il profilo verticale (centrale allo stendimento) delle velocità delle onde di taglio "Vs" in funzione della profondità.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione ed elaborazione dei dati MASW e le modalità operative sono state:

- sismografo digitale ECHO 12-24 2002, prodotto dalla ditta AMBROGEO S.r.l., caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 16 bit, velocità di campionamento del segnale 0.131 millisecondi e filtro analogico Low Pass a 50 Hz;
- n. 1 stendimento con 24 geofoni verticali di frequenza propria 4.5 Hz; la distanza tra i geofoni è stata 2 m (lunghezza totale dello stendimento 46 m, orientato nord ovest – sud est);
- n. 6 punti di energizzazione del sottosuolo in sequenza ed esterni allo stendimento alla distanza di 2, 4, 6, 8, 10, 12 m dal geofono n. 1;
- sorgente energizzante con massa battente da 10 kg;
- tempo di acquisizione del segnale 1000 millisecondi;
- acquisizione di n. 6 sismogrammi completi;
- software EasyMasw 2014-20.2.73 della ditta Geostru S.r.l. per l'elaborazione dei dati sismici; il programma restituisce lo spettro di velocità, il modello sperimentale medio della "curva di dispersione" ed il profilo verticale della Vs avente i minori valori di errore percentuale e di disadattamento della "curva di dispersione teorica".

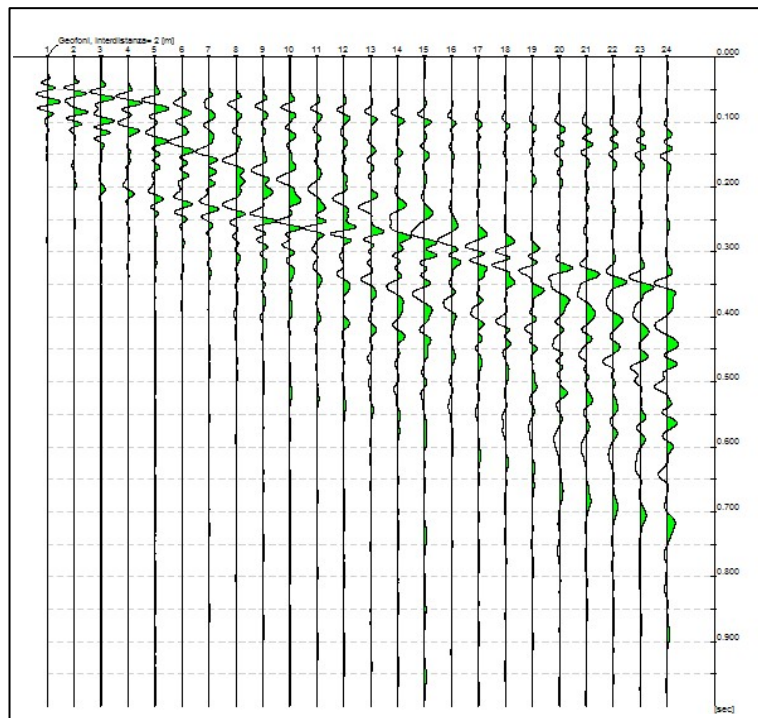
In allegato è riportato un elaborato che sintetizza i risultati ottenuti:

- migliore sismogramma rilevato,
- spettro delle velocità di fase,
- profilo verticale delle velocità  $V_s$ ,
- schema dei sismostrati rilevati e di alcuni parametri geotecnici (densità,  $G_{max}$ ).

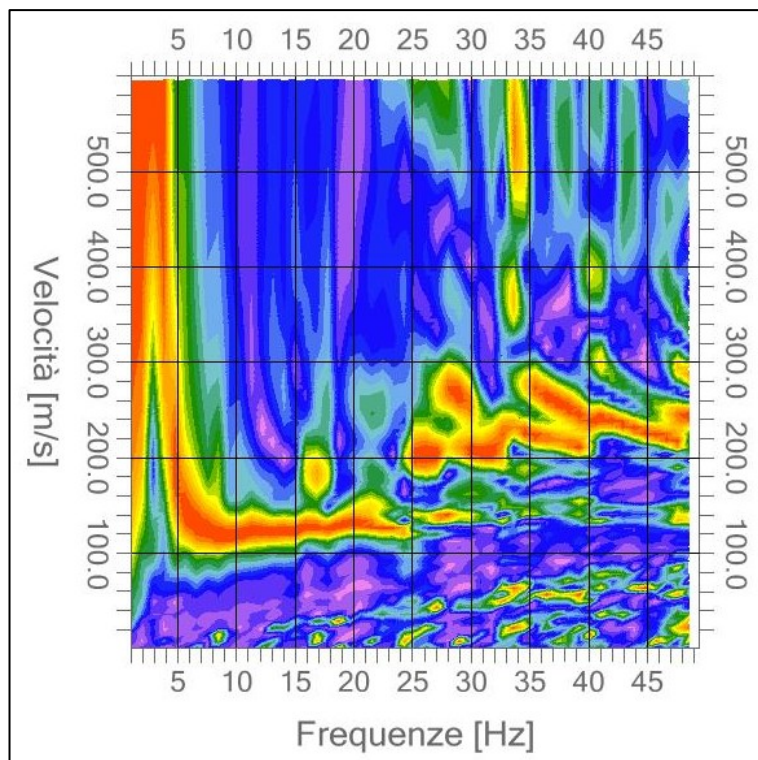
L'immagine successiva evidenzia la posizione e lo sviluppo dello stendimento sismico.



La successiva immagine rappresenta il migliore sismogramma acquisito in sito con una distanza di battuta dal geofono n. 1 di 6 m. L'immagine consente di verificare che tutte le componenti del segnale sismico sono state rilevate nel tempo d'acquisizione.



La successiva immagine rappresenta lo spettro delle velocità di fase delle onde di Rayleigh che consente di valutare le proprietà dispersive del segnale registrato. In fase di elaborazione allo spettro è stata sovrapposta la curva di dispersione sperimentale che ha permesso la definizione del modello sismo-stratigrafico.



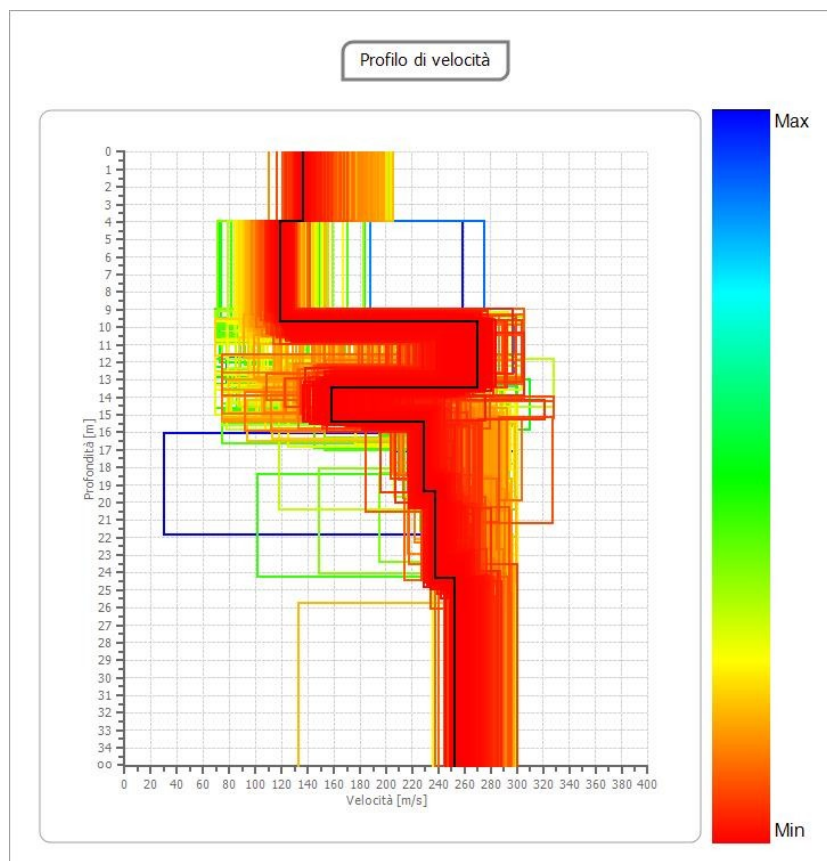
### **3) CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO**

In riferimento alla vigente normativa il sottosuolo di fondazione è stato classificato in funzione della “ $V_{S30}$ ”, ovvero la velocità equivalente delle onde di taglio “Vs” sino alla profondità di 30 m.

In relazione ai dati rilevati il profilo sismico della “Vs” sino alla quota -30 m è rappresentato nella successiva immagine (elaborazione con software EasyMasw), la quale riporta tutti i profili delle combinazioni di calcolo eseguite dal software per ottenere il profilo Vs (linea di colore nero) con i minori valori di errore percentuale e disadattamento della “curva di dispersione teorica”.

Le velocità Vs rilevate sono risultate variabili da 119 a >250 m/s con valori  $\leq 180$  m/s dal piano campagna sino alla profondità di circa 15 m.

Il profilo verticale della velocità ha uno sviluppo discontinuo ed è caratterizzato da due inversioni delle velocità (passaggio da terreni più rigidi a meno rigidi) alla profondità di circa 4 m (si passa da 136 m/s a 119 m/s) e circa 13.5 m (si passa da 269 m/s a 157 m/s). Nel calcolo analitico tali situazioni sono state riscontrate su più modelli teorici compatibili con la curva di dispersione sperimentale.



L'equazione per il calcolo della " $V_{s30}$ " definita dal D.M. 14/01/2008 al punto 3.2.2. è la seguente:

$$V_{s30} = 30 / (\sum h_i / V_i)$$

$h_i$  = spessore dello strato iesimo

$V_i$  = velocità delle onde di taglio dello strato iesimo

La tabella successiva riporta la classificazione del sottosuolo descritta nelle NTC (§ 3.2.2.) in funzione di alcuni parametri geotecnici (resistenza al taglio non drenata "Cu", resistenza alla penetrazione dinamica "Nspt") e della velocità media "Vs30".

<i>Categoria</i>	<i>Descrizione</i>
<b>A</b>	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi con valori $V_{s30} > 800$ m/s con strati di alterazione superficiale $h_{max} = 3$ m
<b>B</b>	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o terre a grana fina molto consistenti, con spessori $> 30$ m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra <b>360 m/s e 800 m/s</b> (ovvero resistenza penetrometrica media Nspt $> 50$ , o coesione non drenata media $C_u > 250$ kPa)
<b>C</b>	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o terreni a grana fine di media consistenza, con spessori $> 30$ m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra <b>180 m/s e 360 m/s</b> ( $15 < Nspt < 50$ , $70 < C_u < 250$ kPa)
<b>D</b>	Depositi di terreni granulari scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori $> 30$ m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ( $Nspt < 15$ , $C_u < 70$ kPa)
<b>E</b>	Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessori $< 20$ m posti sul substrato di riferimento ( $V_{s30} > 800$ m/s)
<b>S1</b>	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s (ovvero $10 < C_u < 20$ kPa) che includono uno strato spesso almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
<b>S2</b>	Deposito di terreni suscettibili alla liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti

In riferimento ai dati rilevati ed elaborati i risultati sono:

$$V_{s30} = 183 \text{ m/s}$$

**Categoria di sottosuolo = C**

La superficie topografica dell'area è pianeggiante (inclinazione  $< 15^\circ$ ):

**Categoria topografica = T1**

#### **4) PARAMETRI GEOTECNICI**

La disponibilità del parametro “Vs” e la valutazione del coefficiente di Poisson “ $\nu$ ” ha consentito con relazioni empiriche note in letteratura scientifica di stimare indirettamente altri parametri geotecnici che potranno essere utili nella modellazione dinamica del sottosuolo.

La tabella successiva riporta la stima dei valori dei seguenti parametri:

- $\gamma$  densità del mezzo (è in relazione alla Vs)
- Vp velocità delle onde prime (è in relazione alle Vs e  $\nu$ )
- $\lambda$  costante di Lamè (è in relazione alla densità del mezzo, alle Vs e alle Vp)
- k costante di Bulk (è in relazione alla densità del mezzo, alle Vs e alle Vp)
- E modulo di Young (è in relazione alla densità del mezzo, alle Vs e alle Vp)
- G<sub>max</sub> modulo di taglio dinamico o rigidità del sottosuolo (è in relazione alla densità del mezzo e alle Vs)

Strato	Spessore (m)	Prof. (m)	$\gamma$ kg/mc	Vs (m/s)	Vp (m/s)	$\nu$ Poisson	$\lambda$ (MPa) Lamè	k (MPa) Bulk	E (MPa) Young	G (MPa) Rigidità
1	4,0	4,0	1793	136	284	0,35	78	100	90	33
2	5,7	9,7	1748	119	292	0,40	100	116	69	25
3	3,8	13,5	2021	269	561	0,35	344	441	395	146
4	1,9	15,4	1841	157	330	0,35	110	140	123	45
5	3,9	19,3	1966	228	476	0,35	241	309	276	102
6	4,9	24,2	1979	237	493	0,35	259	333	300	111
7	6,0	30,2	1999	252	525	0,35	297	382	343	127

Lì, 17 dicembre 2014

Dott. Geol. Andrea Garbellini

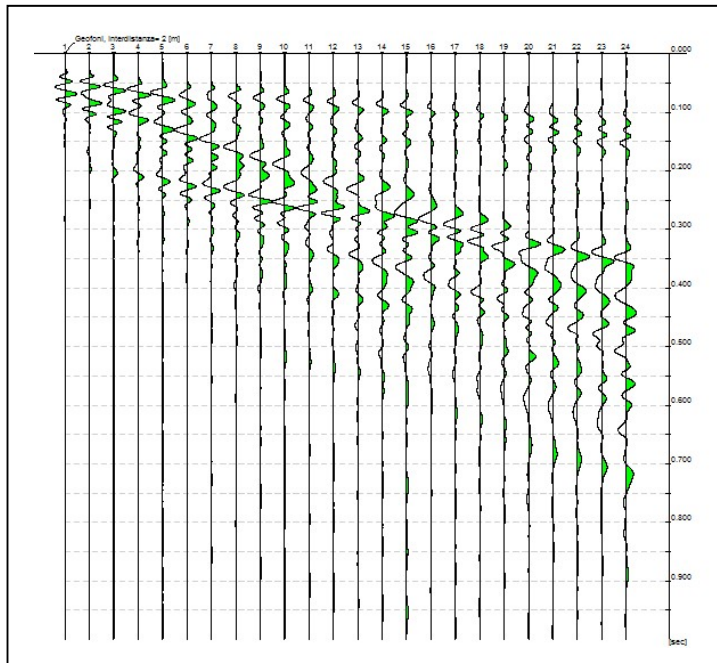


# PROFILO SISMICO MASW 01

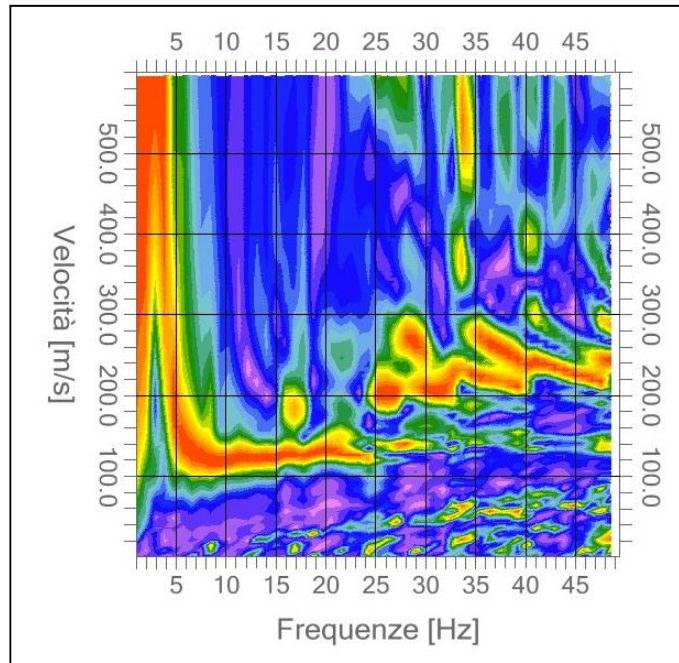
Comm.te: GEOHYDROTADA S.A.S.  
 Località: Corporeno di Cento (FE)  
 Indirizzo: Via Statale, 116  
 Data: 17/12/2014

STUDIO GEOLOGICO dott. ANDREA GARBELLINI  
 Via Antonio Gramsci n. 74, 45034 Canaro (Rovigo)  
 tel 0425.940066, cell 347.2318951, email andrea.garbellini@gmail.com

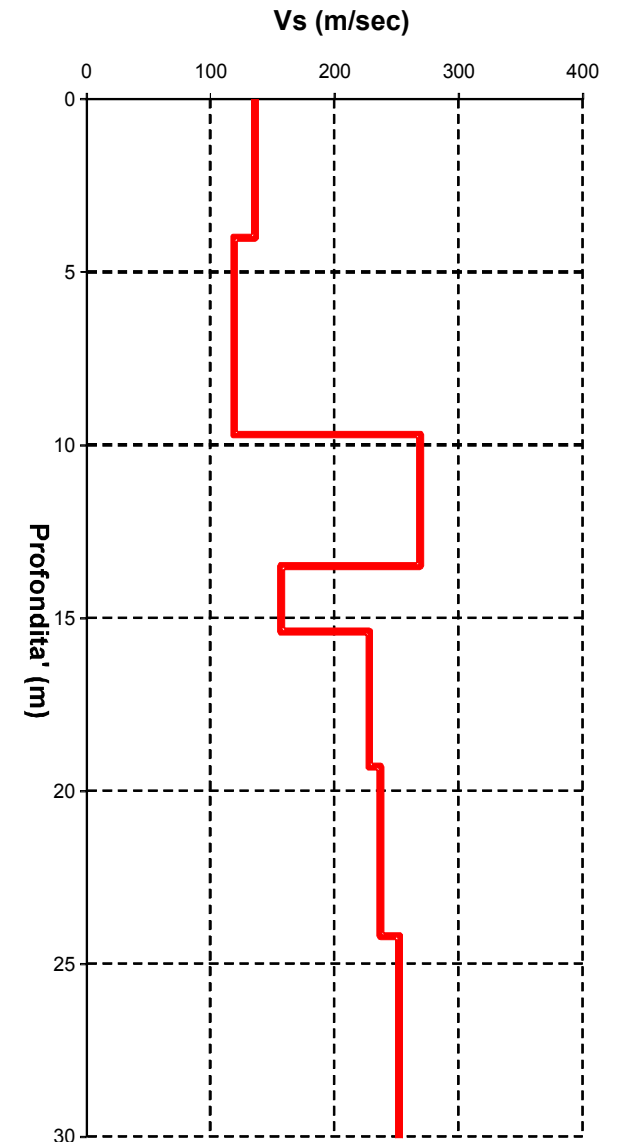
SISMOGRAMMA



SPETTRO VELOCITÀ DI FASE



Profilo verticale onde S



Valore calcolato Vs30 = 183 m/sec

Strato	Spessore (m)	Prof. (m)	$\gamma$ (kg/mc)	Vs (m/s)	G (MPa) Rigidità
1	4,0	4,0	1793	136	33
2	5,7	9,7	1748	119	25
3	3,8	13,5	2021	269	146
4	1,9	15,4	1841	157	45
5	3,9	19,3	1966	228	102
6	4,9	24,2	1979	237	111
7	6,0	30,2	1999	252	127