

Committente:	LA DARSENA S.r.l. via Marconi 138 - 35040 Merlara (PD)
--------------	--



Oggetto:	Caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni su cui è prevista l'edificazione del nuovo complesso residenziale "La Darsena", Ferrara.
----------	---

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

dott. geol. Gianluca FERIOLI

INDICE

<u>1.</u>	<u>PREMESSA.....</u>	<u>3</u>
<u>2.</u>	<u>INQUADRAMENTO DELL'AREA.....</u>	<u>3</u>
<u>3.</u>	<u>GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA</u>	<u>4</u>
<u>4.</u>	<u>PIANO DELLE INDAGINI.....</u>	<u>8</u>
<u>5.</u>	<u>CARATTERI STRATIGRAFICI DEL SITO</u>	<u>12</u>
<u>6.</u>	<u>PARAMETRI GEOTECNICI: VALORI CARATTERISTICI.....</u>	<u>13</u>
<u>7.</u>	<u>PARAMETRI SISMICI.....</u>	<u>15</u>
<u>8.</u>	<u>CEDIMENTI POST-SISMICI</u>	<u>22</u>
<u>9.</u>	<u>VALUTAZIONE DELLA LIQUEFACIBILITA' DEI TERRENI</u>	<u>23</u>
<u>10.</u>	<u>RICALCOLO DELLA LIQUEFACIBILITA' DEI TERRENI ..ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</u>	

1. PREMESSA

Su incarico della Committenza, la Darsena S.r.l. con sede in via Marconi 138 a Merlara, Padova, la scrivente ha eseguito una campagna di indagini geognostiche finalizzata alla caratterizzazione geologica e sismica del terreno su cui è prevista edificazione del complesso residenziale "La Darsena", via Darsena, Ferrara.

Per la stesura della seguente relazione e per l'esecuzione delle relative indagini in situ e prove di laboratorio, si sono seguite le disposizioni delle seguenti normative:

O.P.C.M. 20.03.2003 n°3274 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* e O.P.C.M 2.10.2003 n° 3316, *"Modifiche ed integrazioni all' n°3274 O.P.C.M. del 20.03.2003"* ;

D.M. 14.01.2008 *"Nuove norme tecniche per le costruzioni"*;

Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16 c. 1, della L.R. 20/2000 per *"Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica"*;

Associazione Geotecnica Italiana: *"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche - 1977"*;

Associazione Geotecnica Italiana: *"Raccomandazioni sull'esecuzione delle prove di laboratorio geotecnico - 1994"*;

Associazione Geotecnica Italiana: *"Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica, Linee Guida - 2005"*;

Varie norme di prova ASTM, UNI, CNR, DIN e BS, richiamate nei relativi certificati di prova allegati.

2. INQUADRAMENTO DELL'AREA

L'area oggetto di indagine è ubicata all'interno della città di Ferrara, sulla sponda destra del canale di Volano e la via Darsena, come mostrato dal riquadro rosso nella figura 1.

Le coordinate geografiche del sito, e che verranno utilizzate per la valutazioni sismiche sono:

44.831672° N - 11.612170° E (WGS 84) = 44.832600° N – 11.613161° E (ED50)



Figura 1: Foto aerea dell'area oggetto di indagine.

3. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Da un punto di vista geologico il territorio del ferrarese fa parte del più ampio bacino subsidente padano, formatosi dall'interazione delle dinamiche di deposizione fluvio-palustre, lagunari, deltizie e marine. I depositi alluvionali dello spessore di qualche migliaio di metri, poggiano su falde geologiche profonde, che sono le propaggini settentrionali dell'Appennino emiliano-romagnolo. Il paesaggio della bassa Pianura Padana è infatti dominato dalle dinamiche fluviali. Le divagazioni del fiume Po e dei suoi affluenti, nonché dei fiumi appenninici, hanno colmato di sedimenti il bacino padano.

La geomorfologia della bassa pianura ferrarese è caratterizzata dall'alternanza di grandi aree relativamente ribassate, delimitate ed attraversate da dossi allungati di pochi metri di altezza e anche di alcuni chilometri di lunghezza disposti paralleli all'idrografia. Questi rappresentano le testimonianze dell'evoluzione degli antichi alvei fluviali e dei ventagli di rotta dei fiumi appenninici, Panaro e Reno e del fiume Po. La stessa viabilità interurbana, come il collocamento dei centri abitati scelto dai loro antichi fondatori, sfrutta il naturale rilievo degli alvei abbandonati.

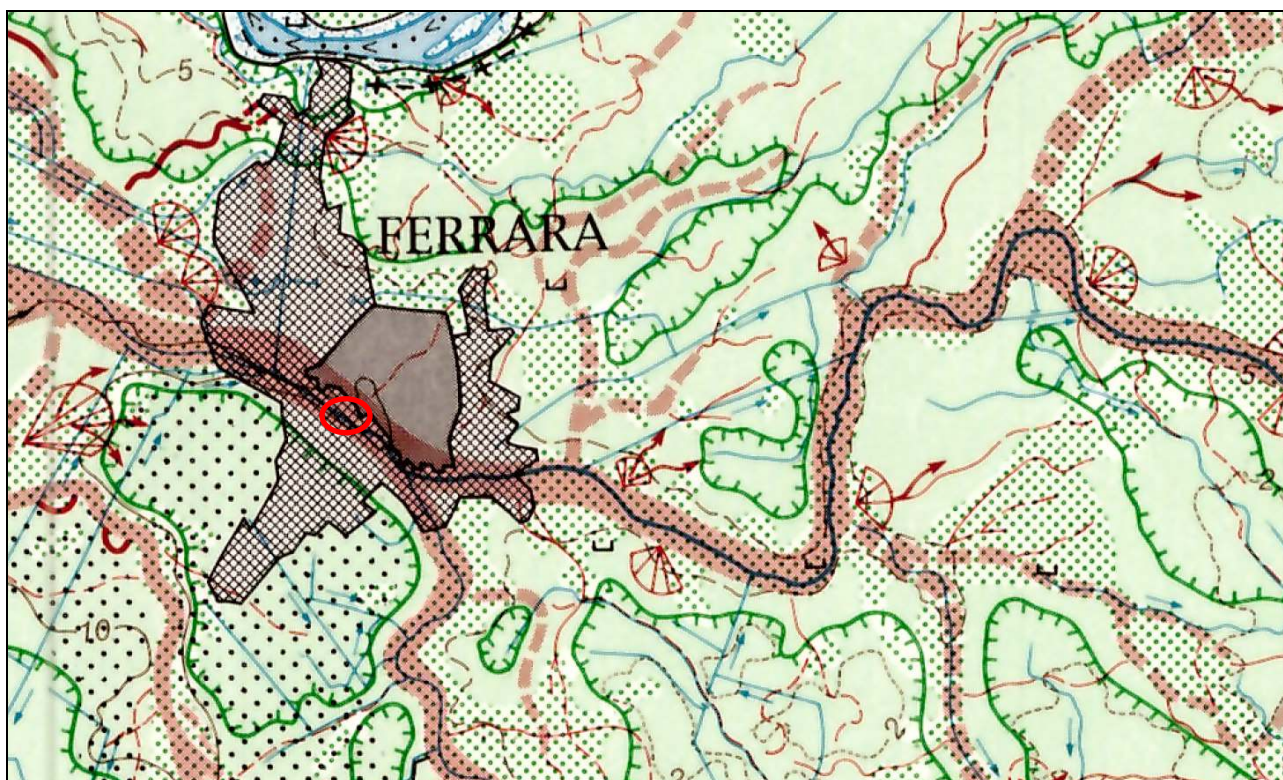


Figura 2: stralcio della carta geomorfologica del PSC di Ferrara.

La figura 2, che rappresenta uno stralcio della “Carta Geomorfologica della Pianura Padana”, evidenzia in tratteggio rosso i tracciati di antichi corsi d'acqua che formavano il sistema di deflusso superficiale della bassa pianura padana. Come si può notare l'area oggetto di indagine si trova in prossimità dell'antico corso del Fiume Po, che anticamente attraversava la città di Ferrara.

L'Appennino settentrionale è una catena a falde (Fig. 3) formata dal corrugamento di prismi di rocce sedimentarie, depositi nel paleo-oceano ligure-piemontese e sul margine continentale della microplacca dell'Adria, durante la collisione tra la placca africana e quella europea. L'orogenesi dell'Appennino comincia con la fase eo-mesoalpina, durante l'Eocene medio (45 MA), e si sviluppa soprattutto a partire dall'Oligocene (30 MA). Più nel dettaglio, si osserva che le successioni geologiche sono deformate da pieghe e sovrascorrimenti lungo faglie inverse con trasporto generale verso nord-est. L'inizio della formazione di queste strutture è databile al Tortoniano (10-8 MA).

I sovrascorrimenti e le pieghe più antichi, affioranti nel medio e alto Appennino romagnolo, sono ritagliati da faglie estensionali, in generale orientate parallelamente all'asse della catena e probabile propagazione verso nord-est della distensione del versante tirrenico della catena. Il fronte della catena vero e proprio non coincide con il margine morfologico appenninico-padano ma è identificabile con l'alto strutturale della dorsale ferrarese, sepolta dai sedimenti della Pianura padana, dove il fronte appenninico sovrascorre sulla placca padano-veneta. Il sollevamento dell'Appennino, tuttora attivo, è dovuto probabilmente ai sovrascorrimenti che determinano raddoppi del basamento cristallino, il cui tetto è individuato ad una profondità di circa 8 km nella parte alta della catena e a circa 12 km in prossimità del margine morfologico appennino-padano.

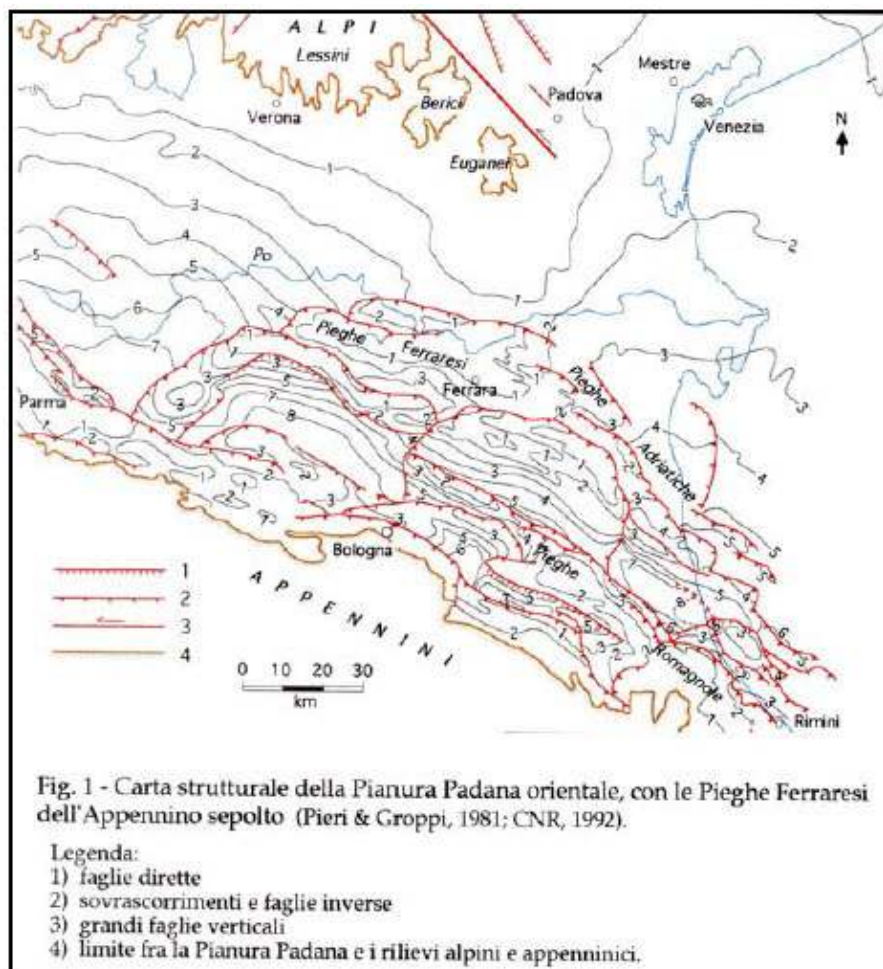


Figura 3: carta strutturale della Pianura Padana.

La formazione della coltre alluvionale dell'attuale pianura padana ha inizio alla fine del Pliocene e prosegue fino ai giorni nostri con la combinazione dei fenomeni deposizionali e della subsidenza.

Il complesso plio-quadernario è costituito da un'alternanza di strati sabbiosi con strati limoso-argillosi, variamente ondulati, con frequenti passaggi laterali di facies.

Gli spessori delle colti alluvionali che ricoprono le falde appenniniche sepolte, vanno dai circa 150 metri della dorsale ferrarese (Casaglia) ai 3000 metri. Nell'areale comacchiese la potenza della coltre sedimentaria plio-quadernaria è circa 2000 – 3000 metri.

La subsidenza è un importante e caratteristico fenomeno della bassa pianura Padana. In effetti si tratta di un fenomeno che in tutto il territorio ha avuto molta rilevanza e prodotto anche notevoli danni. Nella fascia costiera, come è noto, provoca un arretramento delle spiagge, aumentando la pericolosità delle mareggiate, produce una maggior risalita del cuneo salino nei fiumi e l'infiltrazione nelle falde acquifere di acque del mare (ERSA, 1978; Montori, 1983). Le più recenti misure altimetriche indicano valori medi di abbassamento del suolo intorno a 1 cm/anno nel periodo 1987-1999 per la costa cesenate, ravennate e ferrarese. Anche nell'entroterra, d'altronde, e quindi anche nel territorio comunale, esso rappresenta un importante fattore di rischio. Infatti, a causa delle basse pendenze in gioco, esso ostacola il deflusso delle acque superficiali,

alterando il profilo longitudinale degli alvei fluviali e, soprattutto, dei canali di scolo e dei collettori fognari; modifica inoltre i dislivelli che gli impianti idrovori debbono vincere per avviare le acque verso mare, ostacola l'irrigazione e riduce i franchi di coltivazione.

I fenomeni di subsidenza accertati nel territorio comunale sono di carattere sia naturale che artificiale.

Con il termine di subsidenza naturale, vengono comprensivamente indicati tutti quei movimenti di abbassamento del suolo imputabili a cause naturali; nel territorio in esame tali cause consistono sia nel costipamento dei sedimenti più recenti, sia nella risposta isostatica della crosta al variare dei carichi superficiali (soprattutto depositi sedimentari) o comunque in movimenti di neotettonica.

Va ricordato, d'altronde, che, a sud dell'attuale posizione del fiume Po, l'orogene appenninico continua, sotto la Pianura Padana, nelle pieghe dell'Appennino sepolto (Pieri, Groppi, 1981; CNR, 1992), e che il territorio comunale si sviluppa interamente su tale orogene; a nord è invece presente una omoclinale che arriva ai piedi delle Alpi.

La forma di tale substrato in generale condiziona i tassi di costipamento dei terreni sovrapposti, producendo una loro attenuazione nelle zone corrispondenti agli alti strutturali sepolti; il substrato stesso, inoltre, è ancora sottoposto a movimenti sia orizzontali che verticali.

Vengono comunemente indicati col termine di «subsidenza artificiale» o «antropica», i fenomeni di abbassamento del suolo imputabili a varie attività dell'uomo.

Nella Pianura Padana orientale questi abbassamenti per subsidenza hanno avuto ed hanno anche attualmente una notevole importanza. E' evidente, ad esempio, che essi stanno alla base dell'attuale assetto altimetrico della sua fascia orientale, che comprende un'area di oltre 2300 Km² al di sotto del livello medio del mare.

Essi sono riconducibili soprattutto all'estrazione di fluidi dal sottosuolo: un caso classico è rappresentato dalla estrazione di metano misto ad acqua attuata nel Polesine e nel settore nord-orientale del Ferrarese, fra il 1938 e il 1964, da strati del Quaternario di profondità generalmente inferiori ai 200 m.

3.1 SISMICITA'

I sovrascorrimenti delle falde profonde appenniniche sono ancora attivi, e sono la zona di origine dei terremoti, i cui ipocentri sono collocati tra i 5 e gli 8 km di profondità, e con meccanismo di fagliazione prevalentemente compressivo.

La sismicità dell'Emilia Romagna può essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell'Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5) sono il margine appenninico-padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico.

I maggiori terremoti occorsi in epoca storica nel ferrarese sono stati il terremoto di Ferrara del 1346 e con una intensità di 7.5 gradi della scala Mercalli, stimata di magnitudo 5,81 della scala Richter; ed il terremoto del Emilia orientale del 1796 con una intensità di 7.0 gradi della scala Mercalli, stimata di magnitudo 5,63 della scala Richter.

Tali eventi storici sono perfettamente congruenti con i recenti sismi di magnitudo 5,9 e 5,8 del 20 e 29 maggio 2012, che confermano l'intensità sismica dell'areale emiliano romagnolo.

Nella tabella sottostante sono riportati i terremoti più intensi verificatisi in un raggio di 30 chilometri dal baricentro del sito oggetto di studio, come registrati nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2004.

Anno	Areale	Lat	Lon	Maw	Io
1346	Ferrara	44.92	11.02	5.81	75
1796	Emilia orientale	44.62	11.67	5.63	70
1570	Ferrara	44.82	11.63	5.48	75
1505	Bologna	44.48	11.25	5.47	70
1624	Argenta	44.65	11.85	5.43	75
1234	Ferrara	44.836	11.618	5.17	70
1574	Finale Emilia	44.833	11.294	5.12	70

Il territorio del comune di Ferrara è classificato secondo l'OPCM 3274 del 20.03.2003, in zona 3, le cui azioni sismiche sono governate dalle accelerazioni riportate nella tabella sottostante.

ZONA	a_g = accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

Tale classificazione ora è utilizzata solo a fini amministrativi per la pianificazione territoriale.

Per la definizione dei parametri sismici di progetto verrà utilizzata la carta della pericolosità sismica dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

4. PIANO DELLE INDAGINI

Sulla base della normativa vigente e delle relative informazioni geotecniche e sismiche necessarie ad una sufficiente modellazione dei terreni oggetto di indagine è stato eseguito il seguente piano di indagini:

- n.° 1 prova penetrometrica statica con piezocono sismico fino a 30 metri di profondità;
- n.° 2 prove dinamiche leggere per la valutazione della consistenza del sottofondo.

come indicato nella foto aerea sotto riportata.



Figura 4: ubicazione indagini.

4.1 PENETROMETRIA STATICA CON PIEZOCONO E SISMOCONO

La prova penetrometrica è stata eseguita utilizzando un penetrometro GeoMill da 200 kN di spinta massima, dotato di punta elettrica, montato su autocarro Mercedes Unimog 4 X 4.

La prova SCPTU (S = Seismic; CPT = Cone Penetration Test; U = con misura della pressione neutra U) consiste, come per le prove CPTU standard, nell'infissione nel terreno del piezocono per la misura, ogni 2 cm, dei classici parametri qc (resistenza di punta), fs (resistenza laterale) ed U (pressione neutra).

Ad ogni metro di profondità (od eventualmente a profondità prestabilite a seconda delle necessità progettuali) viene sospesa l'infissione del piezocono ed a piano campagna, tramite adeguato sistema di energizzazione, vengono generate delle vibrazioni artificiali nel terreno.

Tramite i sensori sismici (geofoni) presenti all'interno del piezocono ed adeguato acquisitore sismico è possibile quindi rilevare e registrare tali segnali sismici e di conseguenza determinare i tempi necessari alle onde sismiche per percorrere il tratto da piano campagna fino alla profondità a cui si trova il piezocono (tempi di arrivo). Grazie alla presenza di tre geofoni o accelerometri disposti all'interno del piezocono lungo le tre direzioni X, Y e Z ed al tipo di sistema di energizzazione utilizzato è possibile discriminare nei sismogrammi i segnali generati dalle onde di taglio S. Ottenuti i tempi di arrivo è possibile quindi calcolare la velocità di propagazione delle onde S.

La prova penetrometrica statica SCPTU consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta elettrica dotata di piezocono, di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($V = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$).

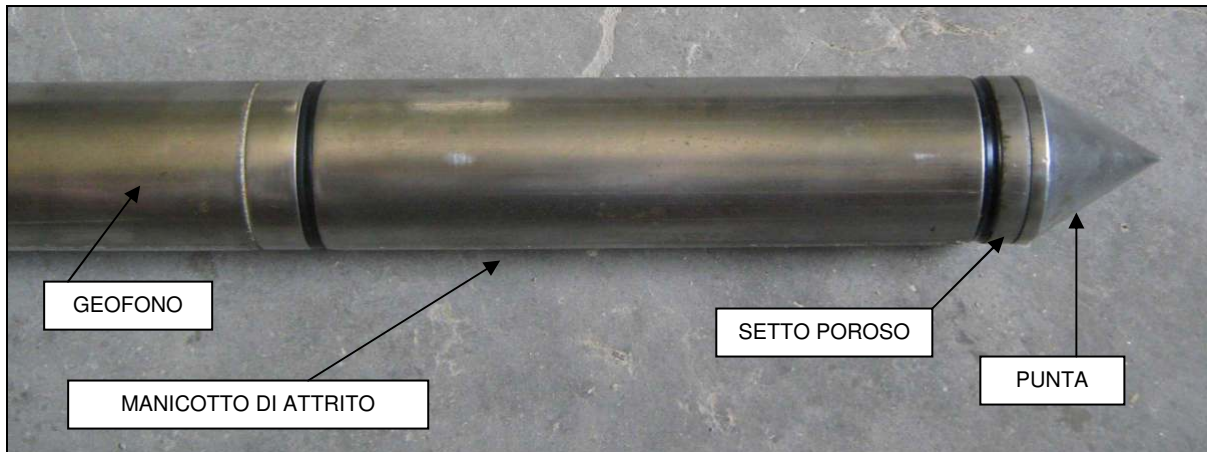


Figura 5: punta sismocono.

La punta sismica è una punta penetrometrica elettrica dotata, oltre che dei geofoni succitati, di un trasduttore di pressione per la misura della pressione interstiziale dei pori, cioè il carico idraulico istantaneo presente nell'intorno della punta. La pressione dell'acqua interstiziale del terreno viene trasmessa al trasduttore attraverso un filtro, che è posto tra la base dell'estremità conica della punta ed il manicotto di attrito.

La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta, che agisce su una batteria di aste (aste cave con il cavo di trasmissione dati all'interno), alla cui estremità inferiore è collegata la punta con piezocono.

Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura estensimetrico collegato alla punta ed al manicotto dell'attrito laterale, e da un trasduttore di pressione che registra le pressioni dell'acqua di falda durante l'infissione della punta, attraverso un setto poroso opportunamente saturato e disareato.

I dati delle resistenze alla punta, al manicotto laterale, della pressione dei pori e dell'inclinazione della punta vengono registrate su supporti magnetici ed e successivamente elaborati.

Le dimensioni della punta/manicotto sono standardizzate, e precisamente:

- diametro di base del cono $f = 35.7 \text{ mm}$
- area della punta conica $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo apertura del cono $B = 60^\circ$
- superficie laterale manicotto $A_m = 150 \text{ cm}^2$

Nei diagrammi e tabelle allegate sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture di campagna, durante l'infissione dello strumento):

- q_c (kg/cm^2) = resistenza alla punta (conica);
- f_s (kg/cm^2) = resistenza laterale (manicotto);
- U (kg/cm^2) = pressione dei pori (setto poroso);
- f_s/q_c (%) = rapporto attrito laterale / resistenza alla punta;
- $\Delta U/q_c$ = variazione pressione dei pori in funzione della resistenza alla punta.

Oltre all'elaborazione dei valori di resistenza del sottosuolo, vengono fornite utili informazioni per il riconoscimento di massima dei terreni attraversati (stratigrafia), in base al rapporto q_c/f_s fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro, ovvero in base ai valori di q_c e del rapporto $FR = (f_s/q_c)$ %.

Sempre con riferimento alle prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU, nelle tavole allegate sono riportate indicazioni concernenti i principali parametri geotecnici (coesione non drenata C_u , angolo di attrito interno efficace, densità relativa D_r , peso di volume Y , ecc).

4.2 PENETROMETRIA DINAMICA LEGGERA

Oltre alle prove di caratterizzazione geotecnica prevista, sono state eseguite due prove penetrometriche dinamiche, spinte fino alla profondità di un metro, allo scopo di valutare la capacità portante dei terreni sede delle pavimentazioni stradali del parcheggio auto in progetto.

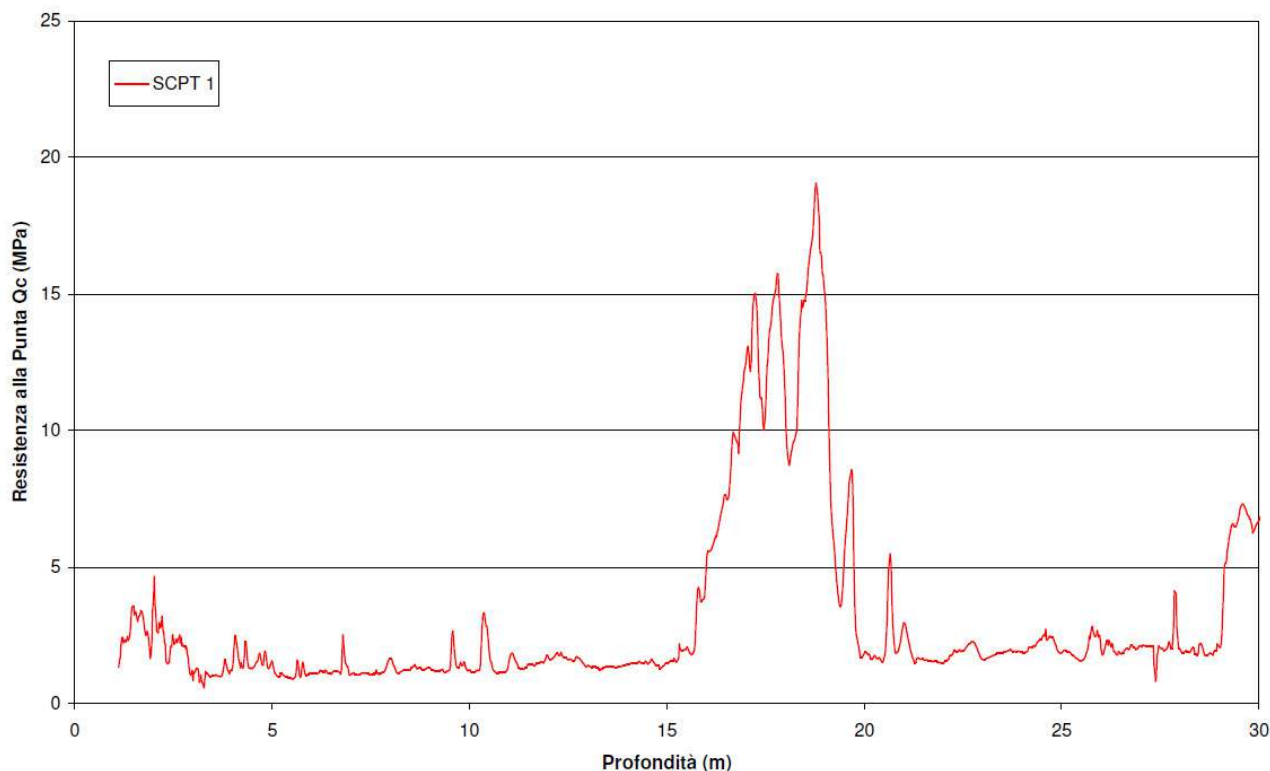
Le prove DCP (Dynamic Cone Penetrometer) prove penetrometriche dinamiche leggere, vengono eseguite con uno strumento standard, normato dalla ASTM D 6951, che oltre a consentire una stima litologica dei terreni attraversati, consente una ottima valutazione dei parametri meccanici.



Figura 6: penetrometro dinamico leggero "DCP" standard ASTM D 6951-03

Il dispositivo penetrometrico si compone di una massa battente di 8 kg che infigge una punta conica del diametro di 20 mm mediante battute da 575 mm di altezza. Le aste di manovra e prolunga hanno un diametro di 16 mm e consentono la riduzione al minimo dell'attrito lungo le pareti del foro. Attraverso una correlazione standardizzata ASTM è possibile ricavare l'indice di portanza CBR direttamente dall'indice di penetrazione DCP (mm/colpo). Questo consente una caratterizzazione continua della capacità portante del corpo del rilevato stradale per almeno un metro di profondità.

5. CARATTERI STRATIGRAFICI DEL SITO



Nella figura sopra riportata viene riportato il grafico di resistenza alla punta ricavato dalle prove penetrometriche eseguite. Nel grafico l'approfondimento della prova viene rappresentato sull'asse delle ordinate in metri, mentre in ascissa la resistenza alla punta espressa in MPa.

Valori bassi di resistenza alla punta solitamente indicano la presenza di terreni fini (argille e limi), mentre i valori più alti (oltre i 3/5 MPa) indicano la presenza di terreni sabbiosi.

La litologia dei terreni incontrati è piuttosto regolare, ed è caratterizzata dalla presenza di terreni argilloso limosi con resti vegetali sparsi, intercalati ad un banco sabbioso presente tra i 15 e i 20 metri di profondità.

Sinteticamente i terreni incontrati si possono dividere nei seguenti gruppi:

- | | | | |
|----|------------|-------------|---|
| 1. | da – 0.00 | a – 3.00 m | terreni di varia natura anche di riporto sovraconsolidati per essiccamento; |
| 2. | da – 2.00 | a – 15.50 m | argille limose intercalate a rari livelli centimetrici di limi sabbiosi; |
| 3. | da – 15.50 | a – 19.60 m | sabbie limose; |
| 4. | da – 19.60 | a – 29.20 m | argille limose e limi consistenti; |
| 5. | da – 29.20 | a – 30.00 m | sabbie limose. |

La profondità della falda è stata rilevata nei fori di prova della penetrometrica come indicato nella tabella sottostante.

Punto di rilievo	Profondità da p.c. (m)	Data rilievo
SCPTU 1	3.70	02.11.15

6. PARAMETRI GEOTECNICI: VALORI CARATTERISTICI

L'Eurocodice 7 definisce il valore caratteristico di una particolare grandezza del terreno nel seguente modo: "Il valore caratteristico di un parametro geotecnico sarà scelto come stima cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite".

L'approccio che si segue in questo lavoro per la stima dei valori caratteristici è quello statistico suggerito dall'EC7, perciò i valori caratteristici verranno selezionati come 5° percentile della distribuzione della media.

La distribuzione del valor medio, nel caso di distribuzione normale, viene calcolata utilizzando la 't' di Student ad n-1 gradi di libertà ed ipotizzando che la media del campione coincida con la media della popolazione, usando la seguente relazione:

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

Dove:

x_k è il valore caratteristico desiderato;

$\bar{x}$ con barra il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione.

Ipotesi che si ritiene corretta dato l'alto numero di campioni che si ottengono dalla prova penetrometrica elettrica (1 ogni 2 centimetri);

t è il valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà con probabilità $u = 95\%$ (ossia, $1-a = 0.95$ o alternativamente, $a = 0.05$)

s è la deviazione standard del campione

n il numero di dati.

Come si può notare, la grande mole di dati che si ricavano da un penetrometria elettrica (10 volte quella meccanica) rende il metodo statistico più affidabile, e consentono di ottenere valori caratteristici prossimi alla media, cioè non eccessivamente cautelativi.

Un altro vantaggio dato da un numero di dati sufficientemente elevato è la coincidenza di valori ricavata da una distribuzione normale rispetto una distribuzione lognormale.

Le tabelle sottostanti riportano i valori caratteristici dei parametri geotecnici. Detti parametri sono calcolati sulla base delle correlazioni proposte da P. K. Robertson in "Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering" (3rd edition, 2009).

Penetrometria	UNITA' 1	UNITA' 2	UNITA' 3	UNITA' 4	UNITA' 5
	RIPORTO E SOVRA CONSOLIDATI	ARGILLE LIMOSE	SABBIE FINI E LIMI	ARGILLE LIMOSE	SABBIE FINI E LIMI
Limite sup. (m)	0.0	3.0	15.5	19.6	29.2
Limite inf. (m)	3.0	15.5	19.6	29.2	30.0
γ (Mg/m ³)	1.73	1.88	1.98	1.92	1.98
media dati	1.81	1.88	1.98	1.92	1.98
dev. Stand	0.45	0.01	0.02	0.01	0.00
n° dati	87	565	187	449	34
Cu (kPa)	153	81	-	113	-
media dati	163	82	-	115	-
dev. Stand	55	14	-	21	-
n° dati	87	565	-	449	-
Φ (°)	-	-	36.3	-	31.1
media dati	-	-	36.6	-	31.2
dev. Stand	-	-	2.5	-	0.3
n° dati	-	-	187	-	34
G ₀ (Mpa)	35.1	44.6	105.6	74.1	132.7
media dati	36.9	45.4	107.8	75.1	136.5
dev. Stand	10.1	10.9	18.6	12.9	12.9
n° dati	87	565	187	449	34
M (MPa)	30.0	12.7	97.7	11.3	85.7
media dati	31.6	12.9	100.1	11.7	86.9
dev. Stand	9.3	3.8	20.4	4.9	4.3
n° dati	87	565	187	449	34
Eu (MPa)	27.4	56.5	79.9	57.7	100.6
media dati	28.8	58.1	81.6	60.2	103.5
dev. Stand	7.9	23.1	13.6	33.0	9.8
n° dati	87	565	187	449	34
Dr (%)	-	-	60.7	-	36.3
media dati	-	-	62.8	-	36.9
dev. Stand	-	-	17.0	-	1.9
n° dati	-	-	187	-	34
OCR	13.3	2.1	-	1.3	-
media dati	14.5	2.2	-	1.3	-
dev. Stand	6.4	0.6	-	0.3	-
n° dati	87	565	-	449	-

* Molta cautela va posta nell'utilizzare i parametri geotecnici ricavati dalle penetrometrie in terreni non saturi (Unità 1). Le correlazioni di letteratura per la stima di detti parametri sono scarsamente attendibili in assenza di falda.

7. PARAMETRI SISMICI

8.1. CATEGORIA SISMICA DEL SOTTOSUOLO

L'NTC 2008 ha cambiato l'approccio alla valutazione del rischio sismico, introducendo la necessità della sua valutazione in funzione del sito.

La Vs30, cioè la velocità delle onde di taglio nei primi trenta metri di sottosuolo, è il parametro che classifica la risposta sismica del sottosuolo in funzione della stratigrafia presente nel sito.

La Vs30 è stata determinata attraverso misura diretta della velocità delle onde di taglio nella penetrometria SCPTU 1, ed è risultata essere di **200 m/s** che consente di attribuire al **sottosuolo la categoria sismica "C"**.

8.2. AZIONE SISMICA CON METODI SEMPLIFICATI

La categoria di suolo sismico consente di definire l'amplificazione sito dipendente che un sisma di riferimento può sviluppare, la pericolosità sismica del sito fornisce le intensità delle azioni sismiche da attendersi.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento V_R .

Nell'NTC 2008 le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;

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

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

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella.

Stati Limite		P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

I suddetti parametri si possono ricavare dalla mappa della pericolosità sismica realizzata dall'INGV, e che si compone di una maglia di 16000 punti i cui essi sono definiti, attraverso la media pesata alle coordinate geografiche del sito in esame rispetto ai vertici della maglia entro cui esso si trova.

Il periodo di riferimento VR è dato da: $VR = VN \times CU$

Dove VN è la vita nominale di un'opera strutturale, 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, ed è definita dalla tabella sottostante.

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

CU è il valore del coefficiente d'uso, definito al variare della classe d'uso come indicato nella sottostante tabella.

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

Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR considerata, lo spettro di risposta elastico in accelerazione, della componente orizzontale, è definito dalle espressioni seguenti:

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

nelle quali T ed Se sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale.

Inoltre:

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente

$$S = SS \times ST,$$

essendo SS il coefficiente di amplificazione stratigrafica e ST il coefficiente di amplificazione topografica;

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = 10 / (5 + \xi)^3 \approx 0,55$$

dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

Fo è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

TC è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da

$$T^*C = CC \times TC,$$

dove T*C è definito al § 3.2 delle NTC e CC è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo ;

TB è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante,

$$TB = TC / 3,$$

TD è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6.$$

L'amplificazione stratigrafica è definita dai coefficienti Ss e Cc , per le varie categorie di suolo sismico come riportato nella tabella sottostante.

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

Mentre l'amplificazione topografica è dimensionata secondo le seguenti tabelle.

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

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

Con la definizione delle componenti spettrali ricavata dalle correlazioni sito dipendenti, si possono così calcolare i valori dello spostamento orizzontale d_g e della velocità orizzontale v_g massimo dalle seguenti espressioni:

$$d_g = 0,025 \times a_g \times S \times T_C \times T_D$$

$$v_g = 0,16 \times a_g \times S \times T_C$$

8.3. PARAMETRI DELL'AZIONE SISMICA

Dalla mappa della pericolosità sismica dell'INGV, considerando:

vita nominale dell'opera, $V_n = 50$ anni;

Classe d'uso, $C_u = II$;

vita di riferimento, $V_r = 50$ anni

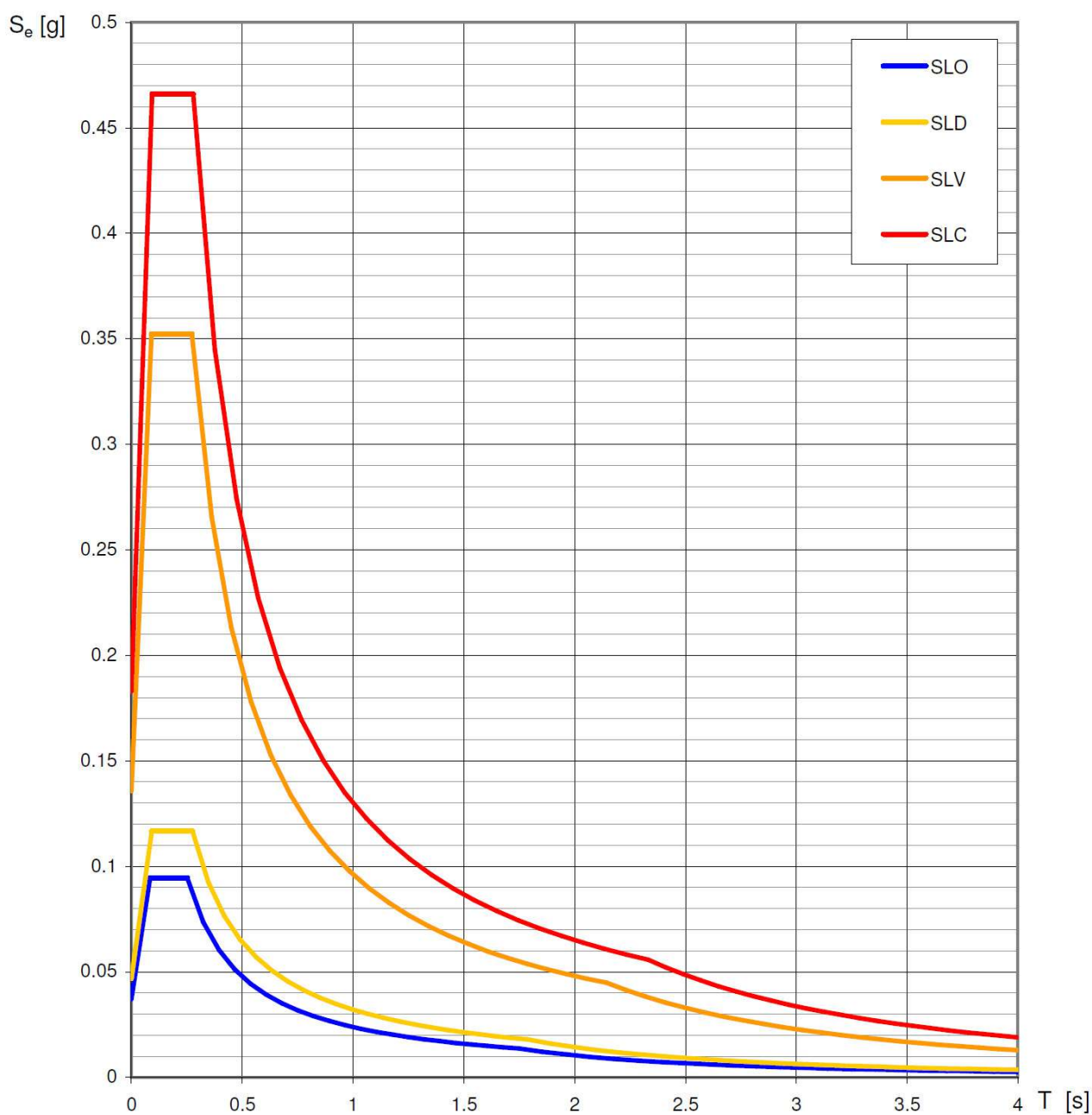
si ricavano i seguenti parametri dell'azione sismica per ciascuna delle verticali indagate:

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	0.037	2.548	0.253
SLD	50	0.047	2.500	0.275
SLV	475	0.136	2.595	0.273
SLC	975	0.183	2.547	0.279

Gli spettri elastici che si ricavano dai suddetti parametri al substrato di riferimento e per i diversi Stati Limite sono i seguenti:

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



In particolare per gli SLD e SLV per il suolo di categoria "C":

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.047 g
F_o	2.500
T_C	0.275 s
S_S	1.500
C_C	1.608
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.500
η	1.000
T_B	0.147 s
T_C	0.442 s
T_D	1.787 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

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

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	S_e [g]
	0.000	0.070
$T_B \leftarrow$	0.147	0.175
$T_C \leftarrow$	0.442	0.175
	0.506	0.153
	0.570	0.136
	0.634	0.122
	0.698	0.111
	0.762	0.102
	0.826	0.094
	0.890	0.087
	0.954	0.081
	1.018	0.076
	1.082	0.072
	1.146	0.068
	1.210	0.064
	1.274	0.061
	1.339	0.058
	1.403	0.055
	1.467	0.053
	1.531	0.051
	1.595	0.049
	1.659	0.047
	1.723	0.045
$T_D \leftarrow$	1.787	0.043
	1.892	0.039
	1.998	0.035
	2.103	0.031
	2.208	0.028
	2.314	0.026
	2.419	0.024
	2.525	0.022
	2.630	0.020
	2.735	0.018
	2.841	0.017
	2.946	0.016
	3.052	0.015
	3.157	0.014
	3.262	0.013
	3.368	0.012
	3.473	0.011
	3.578	0.011
	3.684	0.010
	3.789	0.010
	3.895	0.009
	4.000	0.009

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.136 g
F_0	2.595
T_C	0.273 s
S_S	1.489
C_C	1.612
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.489
η	1.000
T_B	0.147 s
T_C	0.440 s
T_D	2.143 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

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

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.202
$T_B \leftarrow$	0.147	0.524
$T_C \leftarrow$	0.440	0.524
	0.521	0.443
	0.602	0.383
	0.683	0.338
	0.764	0.302
	0.845	0.273
	0.926	0.249
	1.008	0.229
	1.089	0.212
	1.170	0.197
	1.251	0.184
	1.332	0.173
	1.413	0.163
	1.494	0.154
	1.575	0.146
	1.656	0.139
	1.738	0.133
	1.819	0.127
	1.900	0.121
	1.981	0.116
	2.062	0.112
$T_D \leftarrow$	2.143	0.108
	2.231	0.099
	2.320	0.092
	2.408	0.085
	2.497	0.079
	2.585	0.074
	2.674	0.069
	2.762	0.065
	2.850	0.061
	2.939	0.057
	3.027	0.054
	3.116	0.051
	3.204	0.048
	3.293	0.046
	3.381	0.043
	3.469	0.041
	3.558	0.039
	3.646	0.037
	3.735	0.035
	3.823	0.034
	3.912	0.032
	4.000	0.031

8. CEDIMENTI POST-SISMICI

La valutazione dei cedimenti post sismici viene eseguita secondo l'allegato 3 dell'atto di indirizzo per la microzonazione sismica in Emilia Romagna (Delibera n. 112, 2 maggio 2007).

Dalle interpretazioni delle prove penetrometriche si individuano come orizzonti suscettibili di cedimenti post-sismici significativi, gli strati di terreno caratterizzati da terreni argillosi con C_u inferiore ai 70 KPa, e da sabbie con N_{SPT} equivalente stimato inferiore a 15 colpi.

Il cedimento di consolidazione post-sismica è dato dall'espressione:

$$\Delta H = \varepsilon_{vr} H$$

Dove: H = altezza dello strato omogeneo;

ε_{vr} = deformazione volumetrica post-ciclica percentuale, dove:

$$\varepsilon_{vr} = (\alpha C_r / (1 + e_0)) \log(1 / (1 - \Delta u / \sigma'_0))$$

α = costante sperimentale variabile da 1 a 1,5;

e_0 = indice dei vuoti iniziale;

C_r = indice di riconsolidazione, che può essere ipotizzato pari a $0,225 \cdot C_c$ (indice di consolidazione);

$\Delta u / \sigma'_0$ = rapporto di pressione interstiziale (aumento di pressione neutra indotta dal sisma di progetto).

Per il calcolo dei cedimenti verranno adottati i seguenti parametri:

α = compreso tra 1 e 1,5;

$e_0 = 1$: indice dei vuoti medio per terreni argilloso limosi con sostanza organica sparsa;

$e_0 = 0,6$: indice dei vuoti medio per terreni sabbioso limosi;

Indici di consolidazione calcolati dal modulo edometrico stimato dalle penetrometrie ($C_c = (1 + e_0) \sigma_{va} / 0,435 M$).

Il calcolo di $\Delta u / \sigma'_0$ (ru) richiede l'esecuzione di alcuni passaggi intermedi.

Determinazione ampiezza della deformazione di taglio massima indotta dal sisma:

$$\gamma_{max} = 0,65 a_{max,s} / g \sigma_v \text{ rd } 1/G$$

dove:

$a_{max,s}$ = picco di accelerazione al piano campagna del sisma di riferimento;

g = accelerazione di gravità;

σ_v = tensione totale verticale;

rd = coefficiente riduttivo dell'azione sismica = $1 - 0,015 z$;

G = modulo di taglio corrispondente alla deformazione γ_{max} .

$$a_{max,s} = a_{ref,g} S_S S_T = 1.305 \cdot 1.490 \cdot 1 = 1.944 \text{ m/s}^2$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$rd = 0,850$$

$G/G_0 = 0.515$ (tabella 3 allegato A3);

essendo G_0 (medio) SCPTU A = 37.7 MPa.

Inserendo le grandezze determinate precedentemente l'ampiezza delle deformazioni ricavate dalla prova penetrometrica è:

$$\text{SCPTU A } \gamma_{\max} = 1.05 \times 10^{-3}$$

Inserendo i valori di deformazione ricavati nella tabella γ - $\gamma\%$ di (tabella 2 degli atti di indirizzo) si ricava un rapporto di incremento della pressione di circa 0.40.

Utilizzando i parametri sopra riportati, i massimi cedimenti post sismici attesi sulla verticale indagata, per lo spessore di terreno comprimibile, sono quindi stimati in:

$$\text{SCPTU A } \Delta H = \epsilon_{vr} H = \mathbf{0,010 \text{ m}}$$

9. VALUTAZIONE DELLA LIQUEFACIBILITA' DEI TERRENI

La liquefazione dei terreni è il comportamento dei suoli prevalentemente sabbiosi che, a causa di un aumento della pressione interstiziale (qui considerata come indotta dallo scuotimento sismico), passano improvvisamente da uno stato solido ad un fluido, con conseguente temporanea perdita totale di resistenza al taglio.

Il rischio di manifestarsi del fenomeno della liquefazione viene valutato rapportando la sollecitazione sismica di riferimento Cyclic Strength Ratio (CSR), con la resistenza dei vari strati di terreno considerato Cyclic Resistance Ratio (CRR).

$FS_{liq} = CRR/CSR \cdot MSF$; dove FS rappresenta il fattore di sicurezza alla liquefazione.

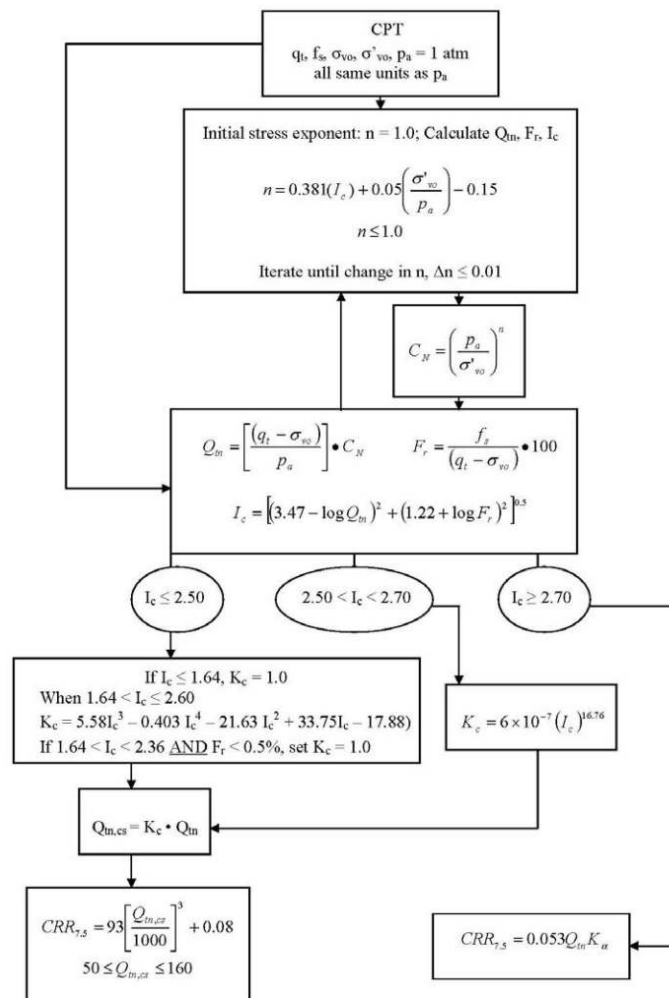
Quando la sollecitazione sismica CSR è maggiore della resistenza del terreno CRR, si può verificare il fenomeno della liquefazione dei terreni.

Il numeratore del rapporto sopra riportato, il CRR, viene ricavato dall'interpretazione delle prove in sito.

La determinazione del rischio di liquefazione mediante l'utilizzo dei dati derivanti da prove CPT (intese come prove con piezocono, anche sismico. La punta meccanica non può utilizzare correttamente la procedura sotto riportata), è stata sviluppata principalmente da P. K. Robertson ed altri autori, mediante un procedimento che è ormai diventato un riferimento mondiale.

Il diagramma di flusso sotto riportato schematizza i vari passaggi, che dalle grandezze meccaniche misurate dalla punta penetrometrica, conducono al dimensionamento del CRR (Guide to Cone Penetration Testing for

Geotechnical Engineering By P. K. Robertson and K.L. Cabal - 5a edizione Novembre 2012 - Gregg Drilling & Testing, Inc.). Si può notare che questa grandezza sia direttamente proporzionale alla q_c , alla f_s , agli stati tensionali nel terreno ed in misura minore ed indiretta alla U .



Al denominatore, del rapporto si trova il CSR, che dimensiona l'azione innescante la liquefazione. La funzione più utilizzata per dimensionare il CSR e quella proposta da Seed e Idriss (1971):

$$CSR_{7.5} = 0,65 \text{ (ag/g)} \times (\sigma_v0 / \sigma'v0) \times rd \times (1 / MSF)$$

Dove:

σ_v0 = pressione litostatica totale;

$\sigma'v0$ = pressione litostatica efficace;

rd = coefficiente di riduzione della rigidezza con l'aumentare della profondità z ;

MSF = (Magnitudo Scaling Factor) fattore di correzione per la magnitudo del sito di analisi.

L'MSF è un coefficiente empirico che riduce o aumenta il rapporto in funzione della magnitudo del terremoto di progetto, essendo state tutte le valutazioni della liquefazione studiate e calibrate su terremoti di magnitudo 7,5 della scala Richter.

Diversi autori propongono molteplici correlazioni per calcolare l'MSF. Nel presente elaborato si fa uso della relazione presentata da Seed (1997), consigliata dall'NCEER (National Center for Earthquake Engineering Research, 2003).

La magnitudo di progetto del terremoto di progetto della Zona Sismogenetica 912, in cui si trova gran parte del territorio della regione Emilia Romagna, viene qui considerata di 6.14 della scala Richter.

Dato che in fase di prova penetrometrica le determinazioni dei parametri meccanici del terreno vengono qui registrate ogni 2 centimetri, la valutazione del fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione viene calcolato per ogni mini strato di 2 centimetri, e riportata negli elaborati grafici sotto riportati.

Gli strati in cui il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione è inferiore all'unità sono evidenziati in rosso nell'elaborato di sinistra, mentre negli altri due grafici sono rappresentati dalla collocazione della linea e dei puntini blu, a sinistra del riferimento, indicato con linee rosse.

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

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

dove:

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

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

con

$F = 0$ per $FS \geq 1$

$F = 1 - FS$ per $FS < 1$

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

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

$$LPI = \sum_{da\ 0\ a\ Z_{cr}} F(z) \times w(z) \times dz$$

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

Le classi di pericolosità di liquefazione secondo Sonmez (2003) sono riportate nella tabella sottostante.

Indice del potenziale di liquefazione, LPI	Pericolosità di liquefazione
LPI = 0	Nulla
$0 < \text{LPI} \leq 2$	Bassa
$2 < \text{LPI} \leq 5$	Moderata
$5 < \text{LPI} \leq 15$	Alta
LPI > 15	Molto alta

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

L'accelerazione utilizzata per il calcolo del Cyclic Stress Ratio (CSR) è quella ricavata dalla mappa di pericolosità sismica dell'INGV per lo SLV, e corrispondente a 0,133g, moltiplicata per il fattore di amplificazioni stratigrafico funzione della categoria sismica del terreno, mentre la magnitudo del sisma di progetto impiegata nel Magnitudo Scaling Factor (MSF) è 6.14, corrispondente a quella massima della zona sismogenetica 912 cui appartiene il territorio oggetto di indagine.

L'indice di liquefazione I_L del terreno (Iwasaki 1982), come da allegato 3 dagli atti di indirizzo della regione Emilia Romagna, è risultato, per la verticale indagata:

SCPTU 1 = 0.510 (Basso);

Nei grafici sotto riportati, gli orizzonti in cui FL (fattore di sicurezza alla liquefazione) è inferiore all'unità sono contraddistinti dal colore rosso, e come si può notare negli elaborati grafici di sotto riportati, sono presenti alcuni livelli da centimetrici a decimetrici, in cui le sabbie presenti sono potenzialmente liquefacibili.

Tali livelli si collocano oltre i 10 metri di profondità, producendo valori trascurabili dell'entità del superamento della soglia rappresentata dal fattore di sicurezza alla liquefazione.

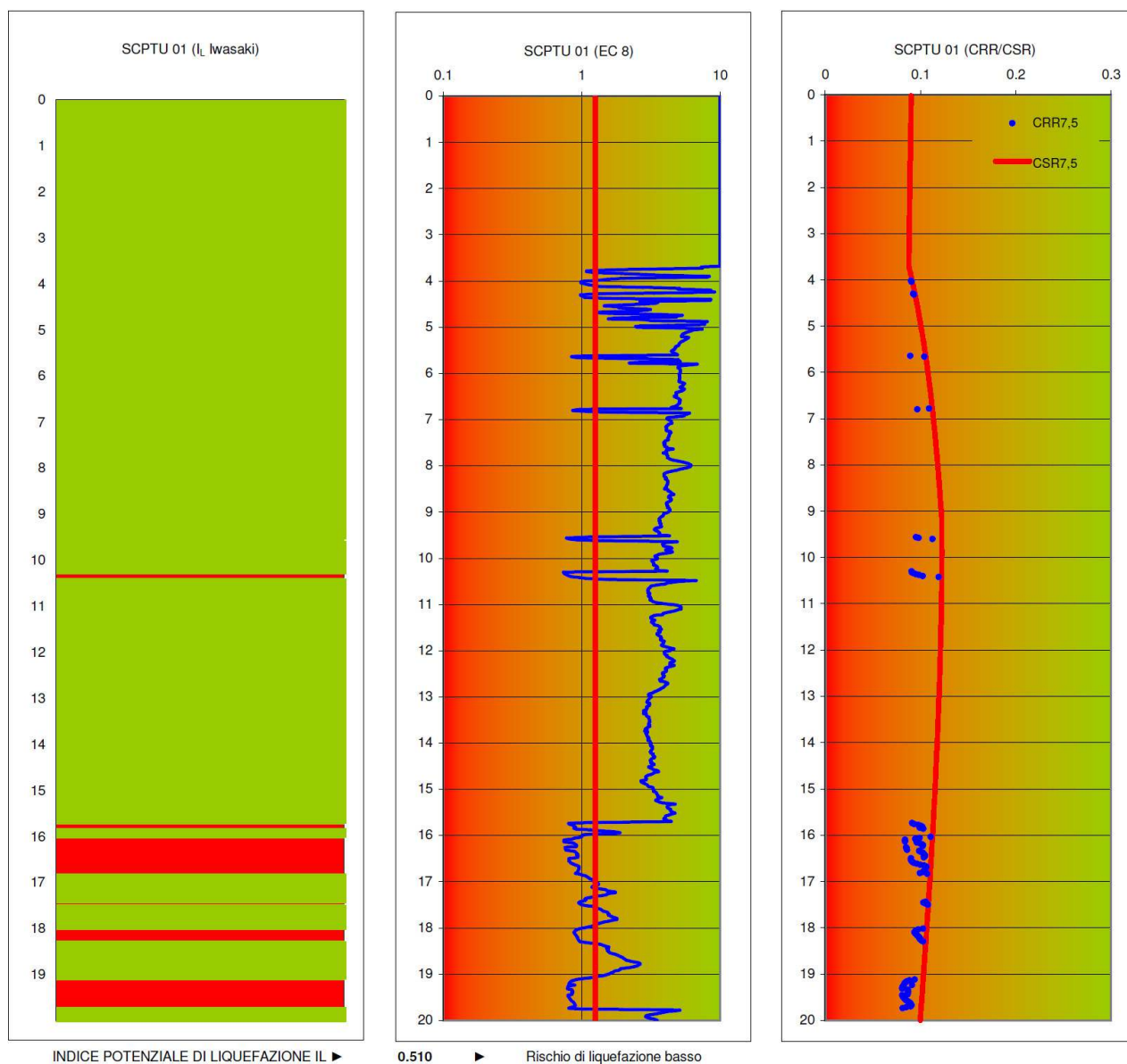
Secondo le indicazioni della Regione Emilia Romagna (Ordinanza del Commissario Delegato – Presidente Della Regione Emilia-Romagna n. 70/2012 e relativi Allegati), i terreni in corrispondenza della verticale indagata possono essere classificati come:

N: assenza di orizzonti liquefacibili importanti nei primi 15-20 m;

da cui deriva un indice di liquefazione inferiore al 2% che comporta un **rischio di liquefazione nullo**.

Per le verifiche alle azioni sismiche previste dalla normativa, ed alle condizioni del sito al momento dell'esecuzione delle indagini, il sito non presenta rischi di manifestazione di fenomeni di liquefazione in caso di terremoto.

ANDAMENTO DI F_L PER TERREMOTI DI MAGNITUDO 6.14



Nome file:

RELgeo-14765-15-DARSENA.doc

Cod.
Doc
Rel_01

N° Comm.
14765/15

Rev.
01

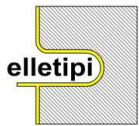
bm
05/11/15

Rif. segreteria
bb

Pag. 27 di 28

ALLEGATI

ALLEGATO 1	Certificato di prova penetrometrica SCPTU
ALLEGATO 2	Certificato di prova penetrometrica DCP



elletipi s.r.l.

Sede operativa ed amm.va: Via Annibale Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

tel. 0532/567711; fax 0532/561119 e-mail: info@elletipi.it sito: www.elletipi.it

P IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

® Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC



COMMITTENTE: **LA DARSENA S.r.l. - via Marconi 138 - 35040 Merlara (PD)**

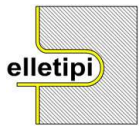
CANTIERE: **via Darsena, Ferrara**

CPT N° SCPTU 1 PROF. FALDA (m da p.c.) 3.70 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]

DATA 02/11/15 PREFORO (m da p.c.) 1.10 LAT. (WGS 84): 44.831770°

COMMESSA 14765/15 C. SITO N°: S150688 del 05.11.15 LONG. (WGS 84): 11.612472°

prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi
1.12	1.33	61.83	19.33	3.87	3.12	1.28	43.49	116.00	3.91	5.12	1.03	29.68	125.33	3.94	7.12	1.08	18.98	159.33	3.99	9.12	1.20	29.99	244.67	4.14
1.14	1.60	62.83	33.33	3.87	3.14	1.22	38.38	106.67	3.91	5.14	1.00	23.57	130.67	3.93	7.14	1.06	20.20	156.67	3.99	9.14	1.19	29.22	243.33	4.15
1.16	1.69	66.28	47.33	3.83	3.16	0.79	30.60	82.67	3.93	5.16	0.99	21.46	130.00	3.92	7.16	1.05	20.87	159.33	4.00	9.16	1.19	28.55	242.67	4.15
1.18	2.18	67.72	70.00	3.89	3.18	0.83	29.93	73.33	3.93	5.18	0.99	20.91	130.00	3.93	7.18	1.06	20.98	161.33	4.01	9.18	1.19	27.99	243.33	4.14
1.20	2.40	67.16	56.00	3.90	3.20	1.04	30.71	75.33	3.89	5.20	0.99	19.91	130.00	3.95	7.20	1.07	21.54	162.00	4.00	9.20	1.20	26.99	244.67	4.13
1.22	2.43	65.05	50.00	3.92	3.22	0.81	36.16	76.67	3.90	5.22	1.11	18.94	101.33	3.96	7.22	1.06	21.76	162.67	4.02	9.22	1.20	25.89	239.33	4.14
1.24	2.22	61.83	37.33	3.92	3.24	0.76	32.72	74.67	3.89	5.24	1.11	16.82	100.00	3.96	7.24	1.07	20.98	160.00	4.02	9.24	1.20	25.11	233.33	4.13
1.26	2.32	58.38	40.00	3.92	3.26	0.70	30.06	66.00	3.91	5.26	1.08	16.27	99.33	3.96	7.26	1.11	19.33	224.67	4.02	9.26	1.23	24.77	233.33	4.14
1.28	2.34	58.59	40.67	3.94	3.28	0.59	29.95	60.67	3.90	5.28	1.06	16.71	97.33	3.95	7.28	1.13	19.10	210.67	4.02	9.28	1.22	24.55	230.00	4.14
1.30	2.26	58.37	31.33	3.92	3.30	0.89	28.62	63.33	3.88	5.30	1.04	16.27	96.00	3.94	7.30	1.11	19.77	202.67	4.03	9.30	1.23	24.89	224.67	4.14
1.32	2.33	50.14	16.00	3.91	3.32	1.19	27.29	66.00	3.86	5.32	1.01	16.49	96.00	3.94	7.32	1.12	19.54	196.67	4.02	9.32	1.27	26.48	164.00	4.16
1.34	2.46	50.47	16.00	3.92	3.34	1.09	27.20	101.33	3.90	5.34	1.00	16.60	97.33	3.94	7.34	1.11	19.77	184.00	4.02	9.34	1.19	24.14	172.67	4.16
1.36	2.31	48.69	15.33	3.92	3.36	1.12	25.99	98.00	3.92	5.36	0.99	16.16	98.00	3.94	7.36	1.12	20.54	182.67	4.02	9.36	1.15	21.48	193.33	4.17
1.38	2.37	50.13	16.67	3.92	3.38	1.08	25.65	94.00	3.92	5.38	0.99	15.94	99.33	3.95	7.38	1.11	20.88	182.00	4.01	9.38	1.13	19.14	217.33	4.16
1.40	2.55	50.58	18.67	3.90	3.40	1.04	26.42	94.00	3.90	5.40	0.98	16.16	100.67	3.95	7.40	1.10	20.55	182.00	4.02	9.40	1.14	17.48	242.67	4.15
1.42	2.78	48.02	20.00	3.89	3.42	1.02	25.54	94.00	3.89	5.42	0.95	15.94	101.33	3.95	7.42	1.11	19.88	186.00	4.03	9.42	1.18	17.48	252.00	4.16
1.44	3.35	36.13	24.00	3.89	3.44	1.01	24.54	94.00	3.89	5.44	0.95	15.60	103.33	3.94	7.44	1.11	19.22	186.00	4.01	9.44	1.19	17.59	259.33	4.16
1.46	3.54	37.45	26.00	3.91	3.46	1.01	23.76	96.00	3.92	5.46	0.93	15.38	104.00	3.94	7.46	1.07	19.22	187.33	4.02	9.46	1.21	16.81	265.33	4.15
1.48	3.57	35.67	28.00	3.88	3.48	1.02	24.54	104.67	3.92	5.48	0.93	15.27	105.33	3.94	7.48	1.06	16.55	187.33	4.03	9.48	1.20	17.59	261.33	4.14
1.50	3.58	35.01	27.33	3.87	3.50	1.01	23.42	112.67	3.92	5.50	0.91	14.60	106.67	3.95	7.50	1.05	16.77	192.00	4.04	9.50	1.23	18.03	262.67	4.15
1.52	3.26	35.56	20.00	3.89	3.52	1.04	22.31	114.00	3.90	5.52	0.89	12.94	115.33	3.96	7.52	1.06	16.00	204.00	4.04	9.52	1.39	19.36	276.67	4.16
1.54	3.36	35.67	26.00	3.88	3.54	1.03	22.20	115.33	3.90	5.54	0.91	12.72	126.00	3.96	7.54	1.06	14.77	206.67	4.06	9.54	1.96	22.36	332.00	4.16
1.56	3.31	36.66	28.00	3.88	3.56	1.04	19.87	116.00	3.89	5.56	0.93	10.94	138.00	3.95	7.56	1.07	15.00	203.33	4.04	9.56	2.53	24.14	114.67	4.16
1.58	3.15	39.44	25.33	3.89	3.58	1.06	18.64	117.33	3.90	5.58	0.97	10.94	144.67	3.96	7.58	1.07	15.00	204.67	4.05	9.58	2.66	28.36	85.33	4.16
1.60	3.01	43.99	22.67	3.90	3.60	1.04	16.75	116.00	3.87	5.60	0.99	9.72	159.33	3.94	7.60	1.12	15.11	206.67	4.05	9.60	2.39	26.14	68.00	4.17
1.62	3.18	49.22	29.33	3.87	3.62	1.03	16.53	117.33	3.92	5.62	1.24	9.50	197.33	3.94	7.62	1.12	16.00	207.33	4.06	9.62	1.96	21.48	60.67	4.17
1.64	3.20	56.10	30.67	3.86	3.64	1.00	14.87	116.00	3.92	5.64	1.60	11.27	212.00	3.94	7.64	1.23	17.11	206.00	4.07	9.64	1.66	25.25	56.67	4.16
1.66	3.26	62.55	28.00	3.87	3.66	1.01	13.31	120.00	3.90	5.66	1.54	13.94	94.00	3.96	7.66	1.12	17.33	208.00	4.07	9.66	1.43	29.81	92.67	4.17
1.68	3.41	71.88	27.33	3.86	3.68	1.00	12.64	123.33	3.91	5.68	1.28	14.16	74.67	3.95	7.68	1.11	17.22	216.67	4.07	9.68	1.35	32.14	200.00	4.17
1.70	3.38	78.65	26.67	3.88	3.70	0.98	13.53	124.67	3.92	5.70	1.04	15.50	70.67	3.95	7.70	1.12	17.22	220.67	4.06	9.70	1.31	28.25	226.67	4.17
1.72	3.29	79.86	27.33	3.88	3.72	1.00	14.75	126.00	3.91	5.72	0.97	16.83	162.67	3.95	7.72	1.06	17.89	221.33	4.07	9.72	1.33	27.70	230.00	4.18
1.74	3.14	74.75	27.33	3.87	3.74	1.06	13.98	132.67	3.92	5.74	1.04	15.94	176.67	3.95	7.74	1.13	17.33	221.33	4.07	9.74	1.33	25.81	242.67	4.18
1.76	2.92	71.64	26.00	3.88	3.76	1.15	12.87	146.67	3.92	5.76	1.33	18.05	199.33	3.95	7.76	1.13	18.33	219.33	4.08	9.76	1.45	23.58	247.33	4.20
1.78	2.67	69.86	22.67	3.85	3.78	1.36	12.76	164.00	3.92	5.78	1.52	21.50	132.00	3.96	7.78	1.14	18.55	218.67	4.09	9.78	1.51	22.92	229.33	4.21
1.80	2.50	74.74	26.00	3.85	3.80	1.60	16.54	172.67	3.92	5.80	1.40	22.72	100.00	3.95	7.80	1.15	18.11	222.67	4.10	9.80	1.44	21.81	188.67	4.21
1.82	2.54	77.41	24.00	3.84	3.82	1.60	20.65	50.00	3.92	5.82	1.22	17.94	88.00	3.94	7.82	1.15	19.11	224.67	4.08	9.82	1.38	19.58	192.67	4.20
1.84	2.66	78.18	14.67	3.85	3.84	1.45	20.76	46.00	3.91	5.84	1.09	17.28	92.67	3.96	7.84	1.17	20.22	229.33	4.10	9.84	1.41	18.14	228.67	4.19
1.86	2.53	77.40	10.67	3.85	3.86	1.32	20.31	70.67	3.92	5.86	1.04	19.83	148.00	3.96	7.86	1.20	20.45	236.67	4.09	9.86	1.53	18.03	202.67	4.20
1.88	2.32	71.95	8.00	3.84	3.88	1.25	20.32	92.67	3.92	5.88	1.05	18.28	154.67	3.97	7.88	1.27	21.22	247.33	4.09	9.88	1.51	19.80	162.67	4.19
1.90	1.99	69.84	7.33	3.85	3.90	1.18	20.99	118.67	3.93	5.90	1.07	20.84	155.33	3.96	7.90	1.35	22.11	262.00	4.08	9.90	1.36	21.14	161.33	4.22
1.92	1.66	67.73	6.67	3.85	3.92	1.09	21.99	222.67	3.91	5.92	1.09	23.28	162.67	3.97	7.92	1.47	23.34	282.00	4.10	9.92	1.28	19.80	180.67	4.20
1.94	1.86	59.74	104.00	3.80	3.94	1.18	16.54	286.67	3.92	5.94	1.09	21.95	160.00	3.98	7.94	1.54	25.67	306.00	4.10	9.94	1.24	20.91	178.67	4.22
1.96	2.37	54.07	136.00	3.80	3.96	1.																		



elletipi s.r.l.

Sede operativa ed amm.va: Via Annibale Zucchini, 69 - 44100 FERRARA
tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: info@elletipi.it sito: www.elletipi.it
P IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

® Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC



COMMITTENTE: LA DARSENA S.r.l. - via Marconi 138 - 35040 Merlara (PD)

CANTIERE: via Darsena, Ferrara

CPT N° SCPTU 1 PROF. FALDA (m da p.c.) 3.70 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]
DATA 02/11/15 PREFORO (m da p.c.) 1.10 LAT. (WGS 84): 44.831770°
COMMESSA 14765/15 C. SITO N°: S150688 del 05.11.15 LONG. (WGS 84): 11.612472°

prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi	prof. m	qc Mpa	fs kPa	U kPa	incl. gradi
11.12	1.74	63.46	539.33	4.14	13.12	1.32	32.23	312.67	4.42	15.12	1.56	11.36	495.33	4.58	17.12	12.16	35.04	196.00	5.25	19.12	9.24	34.84	66.67	6.19
11.14	1.69	73.68	531.33	4.16	13.14	1.35	30.12	317.33	4.40	15.14	1.57	11.03	504.00	4.57	17.14	12.55	36.15	209.33	5.27	19.14	8.07	31.40	53.33	6.21
11.16	1.60	82.24	465.33	4.19	13.16	1.35	28.79	320.67	4.41	15.16	1.57	11.69	504.00	4.58	17.16	13.63	43.48	130.67	5.28	19.16	7.26	29.95	46.00	6.21
11.18	1.53	86.46	384.00	4.20	13.18	1.35	27.67	326.00	4.40	15.18	1.66	12.36	524.00	4.56	17.18	14.50	59.14	55.33	5.29	19.18	6.73	29.50	42.00	6.22
11.20	1.51	93.91	295.33	4.19	13.20	1.34	28.34	324.00	4.42	15.20	1.60	12.59	520.67	4.56	17.20	14.83	69.03	40.67	5.30	19.20	6.36	28.84	40.00	6.23
11.22	1.43	98.35	496.67	4.19	13.22	1.31	28.79	321.33	4.42	15.22	1.56	12.25	524.00	4.58	17.22	14.97	78.58	41.33	5.32	19.22	6.06	28.28	38.00	6.22
11.24	1.30	92.13	381.33	4.21	13.24	1.31	33.13	395.33	4.44	15.24	1.51	9.81	519.33	4.58	17.24	15.02	78.02	44.67	5.32	19.24	5.77	27.17	34.67	6.24
11.26	1.30	75.80	251.33	4.21	13.26	1.29	34.13	395.33	4.43	15.26	1.56	10.70	540.00	4.59	17.26	14.78	67.35	48.00	5.32	19.26	5.30	22.12	145.33	6.22
11.28	1.27	69.02	288.67	4.23	13.28	1.29	34.35	397.33	4.44	15.28	1.60	10.37	558.00	4.58	17.28	14.55	52.79	52.67	5.32	19.28	4.93	21.01	128.67	6.22
11.30	1.26	65.46	320.00	4.25	13.30	1.25	33.13	392.00	4.43	15.30	1.66	10.70	572.67	4.59	17.30	13.73	36.91	49.33	5.34	19.30	4.52	19.91	108.00	6.22
11.32	1.26	59.01	358.00	4.24	13.32	1.25	31.46	387.33	4.42	15.32	2.19	32.50	214.00	4.64	17.32	12.58	25.59	140.67	5.33	19.32	4.22	18.24	97.33	6.22
11.34	1.30	42.33	381.33	4.23	13.34	1.29	30.24	386.67	4.42	15.34	2.01	30.39	251.33	4.64	17.34	11.91	26.59	130.67	5.33	19.34	3.98	17.69	92.00	6.22
11.36	1.27	43.22	350.00	4.23	13.36	1.25	30.46	383.33	4.42	15.36	1.96	28.39	288.00	4.65	17.36	11.24	27.59	120.67	5.33	19.36	3.73	18.02	97.33	6.23
11.38	1.26	43.89	322.00	4.23	13.38	1.30	31.35	386.67	4.42	15.38	1.93	26.39	311.33	4.67	17.38	11.16	32.03	132.00	5.36	19.38	3.58	18.58	92.00	6.23
11.40	1.29	45.44	318.67	4.24	13.40	1.30	32.23	390.00	4.41	15.40	1.93	25.17	328.67	4.68	17.40	11.19	35.59	122.67	5.36	19.40	3.55	18.46	90.00	6.23
11.42	1.31	47.33	339.33	4.25	13.42	1.31	32.23	390.67	4.42	15.42	1.96	23.72	350.67	4.70	17.42	10.81	35.25	70.00	5.39	19.42	3.64	17.80	92.67	6.23
11.44	1.31	48.22	346.00	4.25	13.44	1.36	32.24	390.67	4.42	15.44	1.99	22.51	368.67	4.72	17.44	10.28	38.03	55.33	5.39	19.44	3.88	16.80	98.00	6.25
11.46	1.37	46.22	358.00	4.25	13.46	1.35	31.35	396.00	4.43	15.46	1.97	20.39	394.67	4.73	17.46	10.02	39.13	55.33	5.40	19.46	4.34	17.80	105.33	6.27
11.48	1.43	44.89	332.67	4.25	13.48	1.36	30.46	403.33	4.43	15.48	1.98	19.17	410.00	4.75	17.48	10.32	39.91	62.00	5.41	19.48	4.89	20.69	86.67	6.27
11.50	1.43	46.11	327.33	4.24	13.50	1.36	28.35	406.00	4.45	15.50	2.03	19.17	423.33	4.76	17.50	10.61	40.68	68.67	5.42	19.50	5.46	22.36	46.00	6.27
11.52	1.43	46.22	322.00	4.26	13.52	1.36	27.35	406.00	4.44	15.52	2.09	21.06	438.67	4.77	17.52	11.51	32.13	48.00	5.43	19.52	5.96	22.59	30.67	6.27
11.54	1.47	43.77	316.67	4.23	13.54	1.37	27.13	409.33	4.44	15.54	1.99	22.83	430.67	4.76	17.54	12.40	23.57	27.33	5.45	19.54	6.31	19.48	26.00	6.27
11.56	1.41	42.66	312.67	4.24	13.56	1.36	26.02	407.33	4.46	15.56	1.94	22.50	428.67	4.76	17.56	12.54	35.13	64.00	5.45	19.56	6.68	15.92	28.00	6.27
11.58	1.45	42.44	310.67	4.24	13.58	1.35	25.90	405.33	4.45	15.58	1.85	22.50	419.33	4.75	17.58	13.19	40.57	76.67	5.47	19.58	7.06	12.37	30.00	6.28
11.60	1.45	41.77	307.33	4.25	13.60	1.36	26.13	409.33	4.44	15.60	1.84	20.50	442.00	4.76	17.60	13.68	43.56	88.00	5.51	19.60	7.63	14.59	44.00	6.30
11.62	1.41	39.55	306.67	4.25	13.62	1.36	27.79	410.00	4.44	15.62	1.81	19.06	450.00	4.77	17.62	13.74	37.23	96.00	5.50	19.62	8.09	16.49	52.00	6.31
11.64	1.38	37.77	306.00	4.25	13.64	1.38	28.02	406.00	4.45	15.64	1.79	19.17	454.67	4.77	17.64	13.91	35.23	108.00	5.51	19.64	8.30	18.94	52.67	6.30
11.66	1.40	36.33	312.67	4.25	13.66	1.35	29.13	398.00	4.45	15.66	1.84	19.94	462.67	4.79	17.66	14.31	33.90	119.33	5.55	19.66	8.41	19.83	52.00	6.31
11.68	1.42	33.77	318.00	4.25	13.68	1.32	30.68	394.67	4.45	15.68	1.89	20.39	465.33	4.80	17.68	14.61	39.89	127.33	5.55	19.68	8.57	20.39	54.67	6.32
11.70	1.47	32.44	320.67	4.25	13.70	1.30	31.24	391.33	4.45	15.70	1.98	21.05	486.67	4.79	17.70	14.79	47.11	136.00	5.57	19.70	8.40	21.39	56.00	6.34
11.72	1.47	33.11	315.33	4.26	13.72	1.35	32.68	392.67	4.45	15.72	2.27	17.94	524.67	4.79	17.72	14.89	52.11	144.67	5.58	19.72	7.06	21.39	42.67	6.34
11.74	1.47	33.77	312.67	4.25	13.74	1.30	33.24	391.33	4.45	15.74	2.93	22.16	475.33	4.80	17.74	15.03	50.33	158.00	5.62	19.74	5.12	23.28	26.00	6.32
11.76	1.47	34.44	316.67	4.27	13.76	1.36	36.13	390.67	4.46	15.76	3.72	30.16	194.67	4.81	17.76	15.18	42.45	172.67	5.63	19.76	3.63	28.95	14.67	6.34
11.78	1.49	33.89	318.67	4.26	13.78	1.35	37.35	390.00	4.45	15.78	4.15	39.05	52.67	4.80	17.78	15.50	40.67	196.00	5.65	19.78	2.80	49.62	12.67	6.35
11.80	1.54	33.89	324.67	4.24	13.80	1.35	38.13	384.67	4.45	15.80	4.26	44.83	33.33	4.80	17.80	15.75	39.56	218.00	5.66	19.80	2.53	57.47	169.33	6.47
11.82	1.52	36.44	318.67	4.26	13.82	1.36	38.58	384.67	4.46	15.82	4.17	47.60	28.00	4.80	17.82	15.71	40.33	228.00	5.70	19.82	2.37	69.70	171.33	6.48
11.84	1.53	37.00	322.00	4.27	13.84	1.36	38.80	386.67	4.48	15.84	3.95	42.05	24.00	4.81	17.84	15.10	39.22	202.67	5.69	19.84	2.23	74.36	214.00	6.48
11.86	1.52	37.44	318.00	4.27	13.86	1.37	40.02	388.67	4.48	15.86	3.74	40.49	22.67	4.82	17.86	14.62	40.66	188.00	5.69	19.86	2.12	75.03	286.67	6.49
11.88	1.49	37.45	313.33	4.27	13.88	1.39	39.35	392.67	4.47	15.88	3.73	47.49	24.00	4.82	17.88	14.06	42.44	174.67	5.69	19.88	1.90	73.58	420.00	6.49
11.90	1.53	37.34	316.67	4.29	13.90	1.39	37.79	394.67	4.48	15.90	3.80	54.16	26.67	4.82	17.90	13.53	44.22	166.00	5.70	19.90	1.74	64.69	609.33	6.49
11.92	1.61	37.56	332.67	4.29	13.92	1.39	37.57	394.67	4.48	15.92	3.82													



elletipi s.r.l.

Sede operativa ed amm.va: Via Annibale Zucchini, 69 - 44100 FERRARA
tel. 0532/56771; fax 0532/56119 e-mail: info@elletipi.it sito: www.elletipi.it
P IVA e Codice Fiscale n. 00174600387

® Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC



COMMITTENTE: **LA DARSENA S.r.l. - via Marconi 138 - 35040 Merlara (PD)**

CANTIERE: **via Darsena, Ferrara**

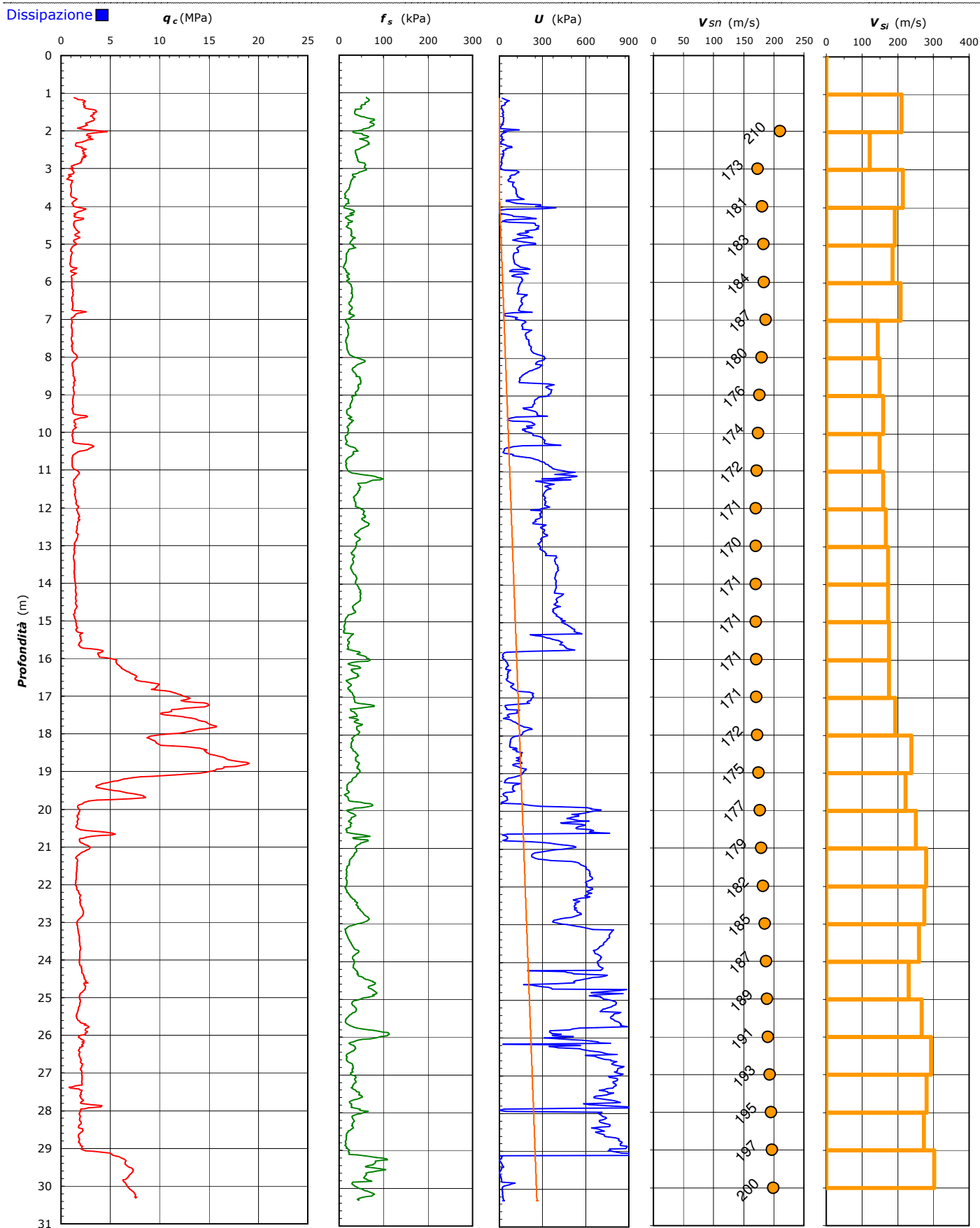
CPT N° SCPTU 1 PROF. FALDA (m da p.c.) 3.70 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]
DATA 02/11/15 PREFORO (m da p.c.) 1.10 LAT. (WGS 84): 44.831770°
COMMESSA 14765/15 C. SITO N°: S150688 del 05.11.15 LONG. (WGS 84): 11.612472°

prof.	qc	fs	U	incl.	prof.	qc	fs	U	incl.	prof.	qc	fs	U	incl.	prof.	qc	fs	U	incl.	prof.	qc	fs	U	incl.
m	Mpa	kPa	kPa	gradi	m	Mpa	kPa	kPa	gradi	m	Mpa	kPa	kPa	gradi	m	Mpa	kPa	kPa	gradi	m	Mpa	kPa	kPa	gradi
21.12	2.32	35.35	233.33	6.74	23.12	1.67	16.56	650.00	7.16	25.12	1.95	28.22	808.67	7.46	27.12	2.13	35.04	819.33	7.82	29.12	4.97	40.50	6.67	8.31
21.14	2.18	34.13	226.67	6.74	23.14	1.68	13.24	794.00	7.16	25.14	1.92	30.00	790.00	7.46	27.14	2.12	36.26	804.00	7.83	29.14	5.13	56.50	20.00	8.32
21.16	2.06	34.68	224.67	6.73	23.16	1.69	13.68	785.33	7.16	25.16	1.92	31.22	782.67	7.47	27.16	2.12	37.37	791.33	7.83	29.16	5.14	71.95	15.33	8.33
21.18	1.91	33.24	222.67	6.74	23.18	1.71	14.24	782.67	7.15	25.18	1.90	33.78	774.67	7.47	27.18	2.12	38.04	791.33	7.83	29.18	5.26	83.83	12.67	8.35
21.20	1.82	32.02	226.67	6.74	23.20	1.72	14.68	779.33	7.17	25.20	1.89	35.23	752.67	7.46	27.20	2.12	37.37	801.33	7.83	29.20	5.63	96.94	6.67	8.35
21.22	1.72	30.46	235.33	6.74	23.22	1.73	15.02	771.33	7.17	25.22	1.88	37.01	736.00	7.46	27.22	2.10	34.59	807.33	7.83	29.22	5.84	106.50	3.33	8.35
21.24	1.64	29.02	248.67	6.73	23.24	1.74	15.58	768.00	7.17	25.24	1.83	38.34	719.33	7.46	27.24	2.10	33.15	812.00	7.82	29.24	6.03	108.39		8.36
21.26	1.55	27.24	274.67	6.74	23.26	1.76	16.58	766.00	7.16	25.26	1.79	38.90	712.67	7.47	27.26	2.13	31.59	810.00	7.83	29.26	6.20	96.38	4.00	8.35
21.28	1.49	25.79	310.00	6.74	23.28	1.77	17.25	763.33	7.17	25.28	1.79	38.34	707.33	7.48	27.28	2.12	31.04	801.33	7.86	29.28	6.36	81.27	8.00	8.37
21.30	1.49	24.46	357.33	6.75	23.30	1.79	17.80	764.00	7.17	25.30	1.76	38.35	700.67	7.47	27.30	2.12	30.70	795.33	7.83	29.30	6.49	81.15	12.00	8.37
21.32	1.63	24.49	498.67	6.74	23.32	1.81	18.58	764.67	7.16	25.32	1.73	36.92	844.00	7.45	27.32	2.12	30.37	789.33	7.81	29.32	6.57	81.71	14.67	8.37
21.34	1.67	22.93	522.67	6.76	23.34	1.81	19.36	764.67	7.18	25.34	1.71	33.92	830.00	7.47	27.34	1.42	27.58	749.33	7.94	29.34	6.60	80.37	18.00	8.37
21.36	1.68	22.93	546.67	6.76	23.36	1.85	20.03	759.33	7.18	25.36	1.67	30.14	799.33	7.48	27.36	1.22	30.58	733.33	7.86	29.36	6.49	76.25	19.33	8.37
21.38	1.67	23.27	556.00	6.74	23.38	1.85	20.58	752.00	7.18	25.38	1.66	27.92	793.33	7.48	27.38	0.82	33.08	693.33	7.86	29.38	6.48	76.69	22.67	8.37
21.40	1.65	23.04	564.67	6.75	23.40	1.84	21.58	749.33	7.18	25.40	1.65	26.03	790.00	7.48	27.40	0.96	35.84	722.67	7.94	29.40	6.51	65.36	26.67	8.37
21.42	1.63	22.16	571.33	6.76	23.42	1.85	22.91	743.33	7.18	25.42	1.62	23.47	786.00	7.48	27.42	1.80	38.61	752.00	7.83	29.42	6.48	59.69	28.00	8.37
21.44	1.62	22.71	585.33	6.76	23.44	1.85	23.58	736.67	7.17	25.44	1.60	22.03	775.33	7.48	27.44	1.91	38.94	752.67	7.85	29.44	6.61	60.79	13.33	8.38
21.46	1.63	19.38	600.00	6.76	23.46	1.86	24.47	730.67	7.17	25.46	1.56	19.92	773.33	7.48	27.46	2.13	45.16	792.67	7.86	29.46	6.66	77.68	16.67	8.36
21.48	1.63	18.60	604.67	6.76	23.48	1.86	25.47	726.00	7.19	25.48	1.57	18.14	778.67	7.48	27.48	2.08	45.61	770.00	7.86	29.48	6.77	92.68	12.67	8.37
21.50	1.62	17.93	600.67	6.76	23.50	1.86	26.70	724.00	7.17	25.50	1.56	17.36	786.67	7.49	27.50	2.04	45.16	746.00	7.87	29.50	6.95	105.01	8.00	8.38
21.52	1.61	18.38	600.67	6.77	23.52	1.86	27.58	725.33	7.17	25.52	1.60	15.58	796.67	7.50	27.52	2.02	44.49	707.33	7.87	29.52	7.12	100.23	6.00	8.37
21.54	1.58	17.26	613.33	6.77	23.54	1.91	27.92	719.33	7.18	25.54	1.61	15.58	804.67	7.49	27.54	2.01	47.94	670.00	7.88	29.54	7.23	85.01	3.33	8.36
21.56	1.60	16.60	622.67	6.77	23.56	1.90	28.92	706.67	7.18	25.56	1.62	15.14	815.33	7.50	27.56	2.03	51.49	656.67	7.88	29.56	7.29	75.78	0.67	8.36
21.58	1.61	16.60	626.67	6.77	23.58	1.90	30.37	697.33	7.18	25.58	1.66	14.25	830.67	7.50	27.58	1.95	52.83	661.33	7.90	29.58	7.30	66.89	1.33	8.38
21.60	1.60	17.49	630.00	6.78	23.60	1.91	31.48	693.33	7.19	25.60	1.72	14.48	838.00	7.50	27.60	1.92	49.82	689.33	7.90	29.60	7.31	60.22	4.00	8.38
21.62	1.58	17.49	628.00	6.78	23.62	1.92	32.48	688.67	7.18	25.62	1.84	14.81	842.00	7.49	27.62	1.96	45.60	729.33	7.90	29.62	7.24	61.55	5.33	8.38
21.64	1.58	17.49	626.67	6.78	23.64	1.95	33.70	685.33	7.19	25.64	1.90	17.48	846.67	7.49	27.64	1.98	38.93	776.67	7.91	29.64	7.19	60.99	6.67	8.40
21.66	1.57	17.26	630.67	6.79	23.66	1.96	34.70	677.33	7.19	25.66	2.00	19.70	840.67	7.50	27.66	2.00	32.82	796.00	7.91	29.66	7.14	58.99	9.33	8.40
21.68	1.56	16.38	630.00	6.77	23.68	1.95	37.14	655.33	7.20	25.68	2.13	21.81	854.00	7.50	27.68	2.08	28.37	818.00	7.91	29.68	7.04	58.33	9.33	8.38
21.70	1.56	17.38	628.00	6.77	23.70	2.00	42.70	660.00	7.20	25.70	2.48	24.71	891.33	7.50	27.70	2.13	23.71	840.00	7.90	29.70	6.95	56.99	11.33	8.38
21.72	1.54	17.38	633.33	6.77	23.72	1.96	44.15	661.33	7.21	25.72	2.38	30.93	679.33	7.53	27.72	2.27	22.71	790.00	7.91	29.72	6.89	55.54	12.67	8.41
21.74	1.55	16.82	640.67	6.77	23.74	1.93	43.81	664.67	7.21	25.74	2.59	32.82	558.00	7.52	27.74	2.20	24.59	586.00	7.91	29.74	6.87	57.09	14.67	8.40
21.76	1.56	15.93	646.67	6.79	23.76	1.92	42.04	666.00	7.22	25.76	2.78	40.71	508.00	7.54	27.76	2.10	27.59	626.67	7.93	29.76	6.77	60.98	15.33	8.41
21.78	1.55	15.60	648.67	6.79	23.78	1.92	40.48	681.33	7.22	25.78	2.83	52.59	488.00	7.54	27.78	2.02	28.60	683.33	7.93	29.78	6.75	63.09	16.67	8.41
21.80	1.56	15.15	640.67	6.79	23.80	1.93	37.48	692.00	7.22	25.80	2.65	67.93	353.33	7.56	27.80	2.02	27.38	782.67	7.92	29.80	6.63	71.98	16.67	8.42
21.82	1.56	16.26	628.00	6.77	23.82	1.92	35.14	699.33	7.23	25.82	2.55	77.93	352.00	7.54	27.82	2.32	28.04	902.00	7.96	29.82	6.53	73.98	18.00	8.42
21.84	1.54	16.71	616.67	6.80	23.84	1.91	33.25	705.33	7.23	25.84	2.45	88.82	349.33	7.54	27.84	3.04	27.93	###	7.95	29.84	6.25	30.98	108.00	8.42
21.86	1.54	17.27	604.00	6.80	23.86	1.91	31.48	711.33	7.23	25.86	2.47	98.93	362.67	7.56	27.86	4.13	27.04	520.00	7.95	29.86	6.30	29.09	84.67	8.42
21.88	1.52	18.60	598.67	6.80	23.88	1.93	30.47	705.33	7.25	25.88	2.49	109.82	365.33	7.58	27.88	4.07	37.38	34.67	7.95	29.88	6.37	29.09	68.00	8.42
21.90	1.50	18.49	603.33	6.80	23.90	1.92	30.36	704.00	7.25	25.90	2.68	111.26	429.33	7.58	27.90	4.01	47.72	4.51	7.95	29.90	6.43	30.20	53.33	8.42
21.92	1.52	17.49	608.00	6.80	23.92																			

COMMITTENTE: LA DARSENA S.r.l. - via Marconi 138 - 35040 Merlara (PD)

CANTIERE: via Darsena, Ferrara

CPT N°	SCPTU 1	PROF. FALDA (m da p.c.)	3.70	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]
DATA	02/11/15	PREFORO (m da p.c.)	1.10	LAT. (WGS 84): 44.831770°
COMMESSA	14765/15	C. SITO N°:	S150688 del 05.11.15	LONG. (WGS 84): 11.612472°

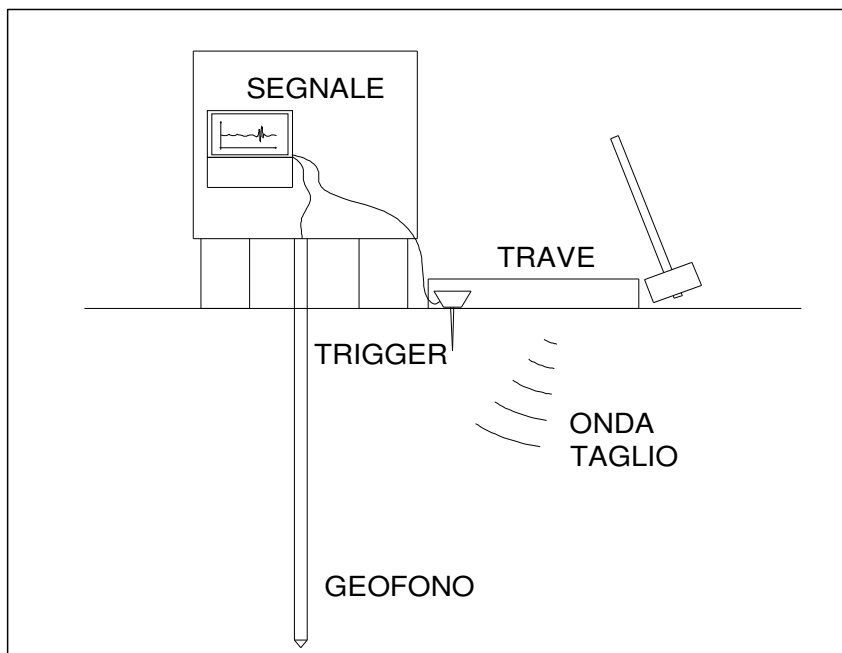


COMMITTENTE: LA DARSENA S.r.l. - via Marconi 138 - 35040 Merlara (PD)

CANTIERE: via Darsena, Ferrara

CPT N° SCPTU 1 PROF. FALDA (m da p.c.) 3.70 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]
DATA 02/11/15 PREFORO (m da p.c.) 1.10 LAT. (WGS 84): 44.831770°
COMMESSA 14765/15 C. SITO N°: S150688 del 05.11.15 LONG. (WGS 84): 11.612472°

Prova Down Hole ASTM D 7400



Profondità (m)	Ts (ms)	L (m)	Vs (m/s)	Vis (m/s)
1.1	T0		-	-
2.0	10.65	2.24	210	210
3.0	18.30	3.17	173	121
4.0	22.79	4.13	181	214
5.0	27.87	5.10	183	192
6.0	33.16	6.09	184	186
7.0	37.91	7.08	187	208
8.0	44.76	8.07	180	145
9.0	51.40	9.06	176	149
10.0	57.66	10.05	174	159
11.0	64.31	11.05	172	150
12.0	70.57	12.05	171	159
13.0	76.54	13.04	170	167
14.0	82.30	14.04	171	173
15.0	88.07	15.04	171	173
16.0	93.75	16.04	171	176
17.0	99.42	17.03	171	176
18.0	104.59	18.03	172	193
19.0	108.79	19.03	175	238
20.0	113.29	20.03	177	222
21.0	117.27	21.03	179	251
22.0	120.84	22.03	182	280
23.0	124.48	23.03	185	274
24.0	128.32	24.03	187	260
25.0	132.65	25.02	189	231
26.0	136.39	26.02	191	267
27.0	139.79	27.02	193	293
28.0	143.36	28.02	195	280
29.0	147.02	29.02	197	274
30.0	150.33	30.02	200	302

CATEGORIA SOTTOSUOLO

C

V_{s,30} = 200 m/s

Intervallo di profondità considerato per il calcolo della Vs30: m 1.1 - 30.0

D = Distanza centro trave generatrice onde di taglio - verticale di prov 1.00

Profondità = Profondità punta da piano campagna

Ts = Tempo percorrenza onda di taglio

L = Lunghezza percorso onda di taglio

Vs = Velocità onde di taglio da piano campagna alla profondità indic = 30.0 m

Vis = Velocità onde di taglio nello strato di terreno compreso fra le due profondità indicate

N.B.: il calcolo del percorso delle onde di taglio viene corretto per l'inclinazione zenitale e per la deriva azimutale della punta

COMMITTENTE: LA DARSENA S.r.l. - via Marconi 138 - 35040 Merlara (PD)

CANTIERE: via Darsena, Ferrara

CPT N°	SCPTU 1	PROF. FALDA (m da p.c.)	3.70	PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 111010)[a = 0.66]
DATA	02/11/15	PREFORO (m da p.c.)	1.10	LAT. (WGS 84): 44.831770°
COMMESSA	14765/15	C. SITO N°:	S150688 del 05.11.15	LONG. (WGS 84): 11.612472°

UBICAZIONE

Località: via Darsena, Ferrara



NOTE: Utilizzato 1 anello allargatore da inizio prova



elletipi s.r.l.

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it



Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

PENETROMETRO DINAMICO LEGGERO "DCP" - ASTM D 6951 - 03

COMMITTENTE:	La Darsena s.r.l. - via Marconi 158 35040 Merlara (Pd)		
CANTIERE:	Via Darsena Ferrara	Coord. (WGS84)	Lat. N Long. E
PROVA:	DCP 2 (da -1.00 m)	44.831750°	11.612523°
COMMESSA:	14765/15	DATA PROVA:	11/02/15
CERT. SITO:	S150689	rev.00 del:	23/10/15

Numero di Colpi	Avanzamento Cumulativo (mm)	Penetrazione per Lettura (mm)	Indice DCP (mm/colpo)	Numero di Colpi	Avanzamento Cumulativo (mm)	Penetrazione per Lettura (mm)	Indice DCP (mm/colpo)
1	38.5	38.5	38.5				
1	70	31.5	31.5				
1	79.5	9.5	9.5				
1	89	9.5	9.5				
3	105	16	5.3				
3	114	9	3.0				
3	130	16	5.3				
5	152	22	4.4				
5	180.5	28.5	5.7				
5	222	41.5	8.3				
5	253.5	31.5	6.3				
5	282.5	29	5.8				
3	310.5	28	9.3				
3	332.5	22	7.3				
3	354.5	22	7.3				
3	373.5	19	6.3				
3	380	6.5	2.2				
3	418	38	12.7				
3	443.5	25.5	8.5				
3	468.5	25	8.3				
3	506.5	38	12.7				
3	525.5	19	6.3				
3	544.5	19	6.3				
3	576	31.5	10.5				
3	608	32	10.7				
3	633	25	8.3				
3	658.5	25.5	8.5				
3	677.5	19	6.3				
3	696.5	19	6.3				
3	712.5	16	5.3				
3	737.5	25	8.3				
3	760	22.5	7.5				
3	810.5	50.5	16.8				
3	839	28.5	9.5				
3	861	22	7.3				
3	873.5	12.5	4.2				
5	899	25.5	5.1				
5	924.5	25.5	5.1				
5	956	31.5	6.3				
3	975	19	6.3				



elletipi s.r.l.

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

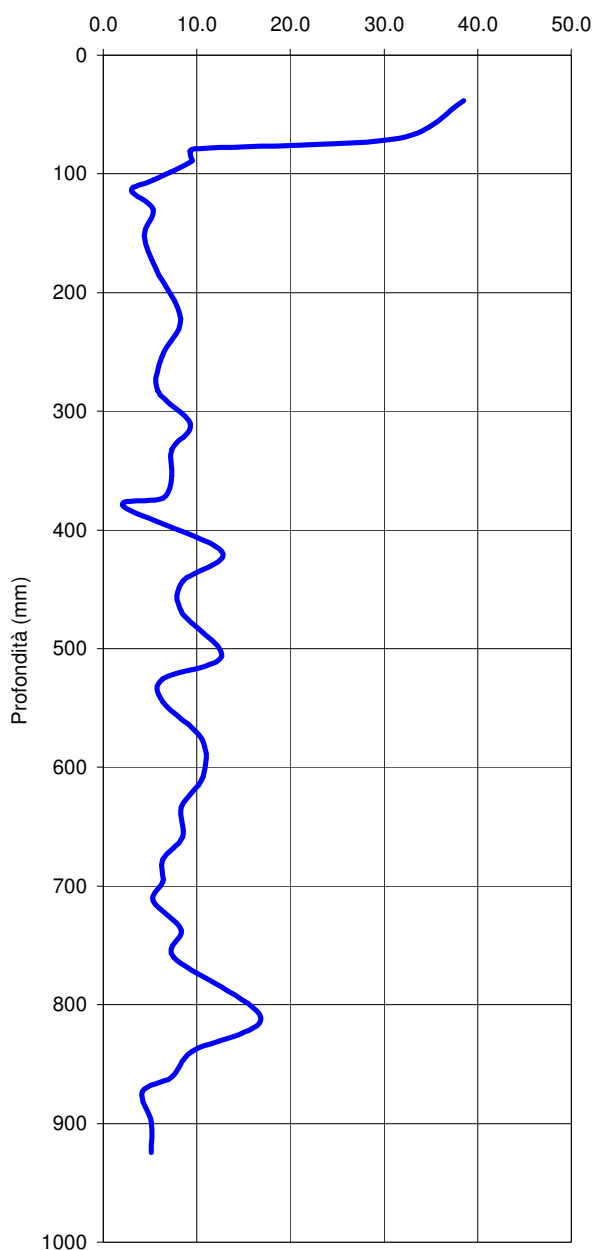


Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

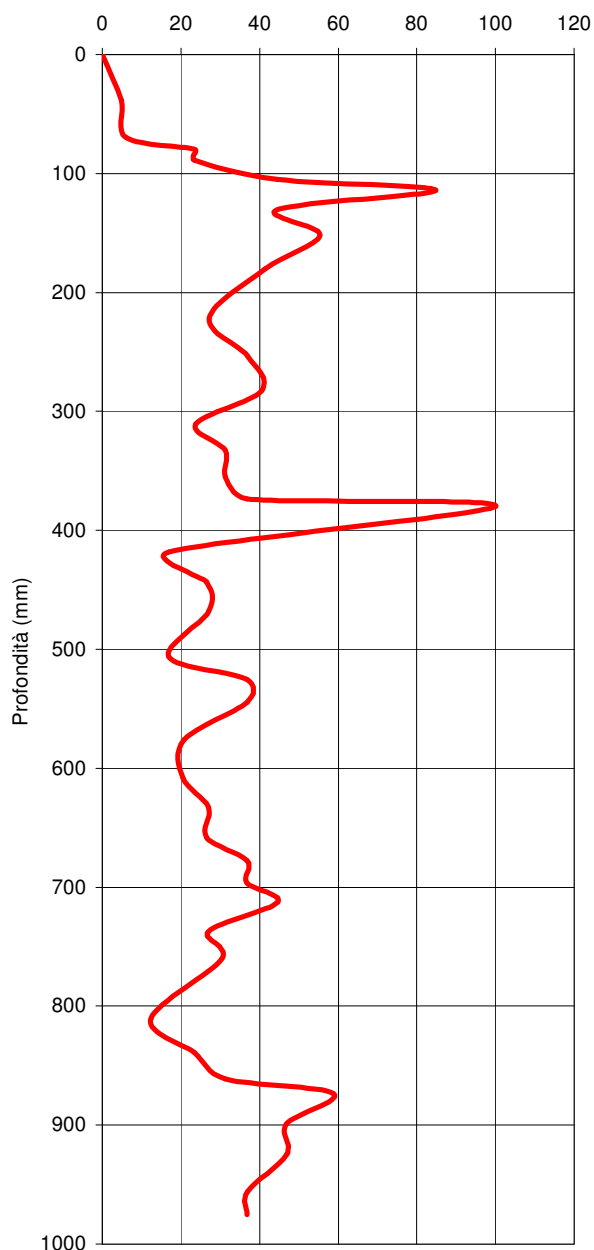
PENETROMETRO DINAMICO LEGGERO "DCP" - ASTM D 6951 - 03

COMMITTENTE:	La Darsena s.r.l. - via Marconi 158 35040 Merlara (Pd)		
CANTIERE:	Via Darsena Ferrara	Coord. (WGS84)	Lat. N Long. E
PROVA:	DCP 2 (da -1.00 m)		44.831750° 11.612523°
COMMESSA:	14765/15	DATA PROVA:	11/02/15
CERT. SITO:	S150689	rev.00 del:	23/10/15

Indice DCP



Indice CBR





elletipi s.r.l.

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it



Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

PENETROMETRO DINAMICO LEGGERO "DCP" - ASTM D 6951 - 03

COMMITTENTE:	La Darsena s.r.l. - via Marconi 158 35040 Merlara (Pd)				
CANTIERE:	Via Darsena Ferrara	Coord. (WGS84)	Lat. N	Long. E	
PROVA:	DCP 2	(da -1.00 m)	44.831750°	11.612523°	
COMMESSA:	14765/15	DATA PROVA:	11/02/15		
CERT. SITO:	S150689	rev.00 del:	23/10/15		

UBICAZIONE

Località: DCP1





elletipi s.r.l.

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it



Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

PENETROMETRO DINAMICO LEGGERO "DCP" - ASTM D 6951 - 03

COMMITTENTE:	La Darsena s.r.l. - via Marconi 158 35040 Merlara (Pd)		
CANTIERE:	Via Darsena Ferrara	Coord. (WGS84)	Lat. N Long. E
PROVA:	DCP 2 (da -1.00 m)		44.831971° 11.612080°
COMMESSA:	14765/15	DATA PROVA:	11/02/15
CERT. SITO:	S150690	rev.00 del:	23/10/15

Numero di Colpi	Avanzamento Cumulativo (mm)	Penetrazione per Lettura (mm)	Indice DCP (mm/colpo)	Numero di Colpi	Avanzamento Cumulativo (mm)	Penetrazione per Lettura (mm)	Indice DCP (mm/colpo)
1	54.5	54.5	54.5				
2	127	72.5	36.3				
1	139.5	12.5	12.5				
3	165	25.5	8.5				
2	177.5	12.5	6.3				
3	203	25.5	8.5				
3	228	25	8.3				
2	266	38	19.0				
2	304	38	19.0				
4	329.5	25.5	6.4				
3	348.5	19	6.3				
3	367.5	19	6.3				
5	408.5	41	8.2				
3	456	47.5	15.8				
3	506.5	50.5	16.8				
2	570	63.5	31.8				
2	620.5	50.5	25.3				
1	658.5	38	38.0				
1	696.5	38	38.0				
2	760	63.5	31.8				
1	785	25	25.0				
2	835.5	50.5	25.3				
1	873.5	38	38.0				
2	924.5	51	25.5				
1	949.5	25	25.0				
1	975	25.5	25.5				



elletipi s.r.l.

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

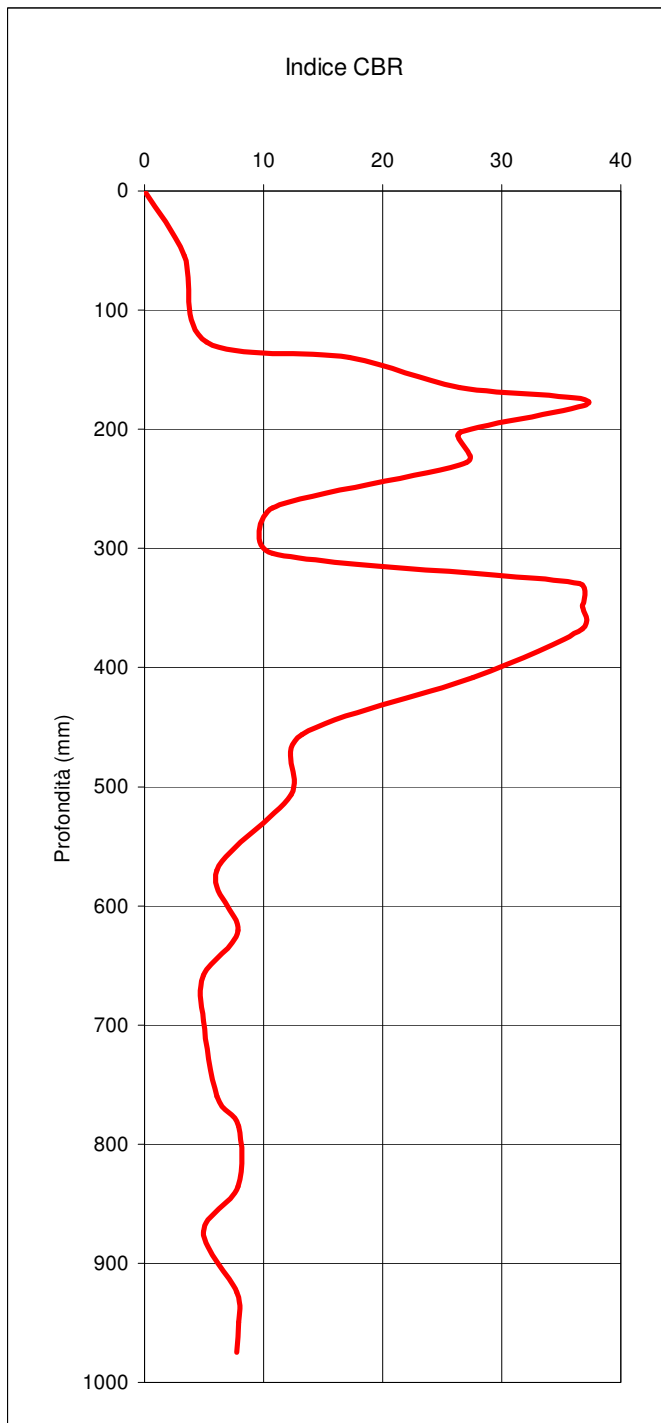
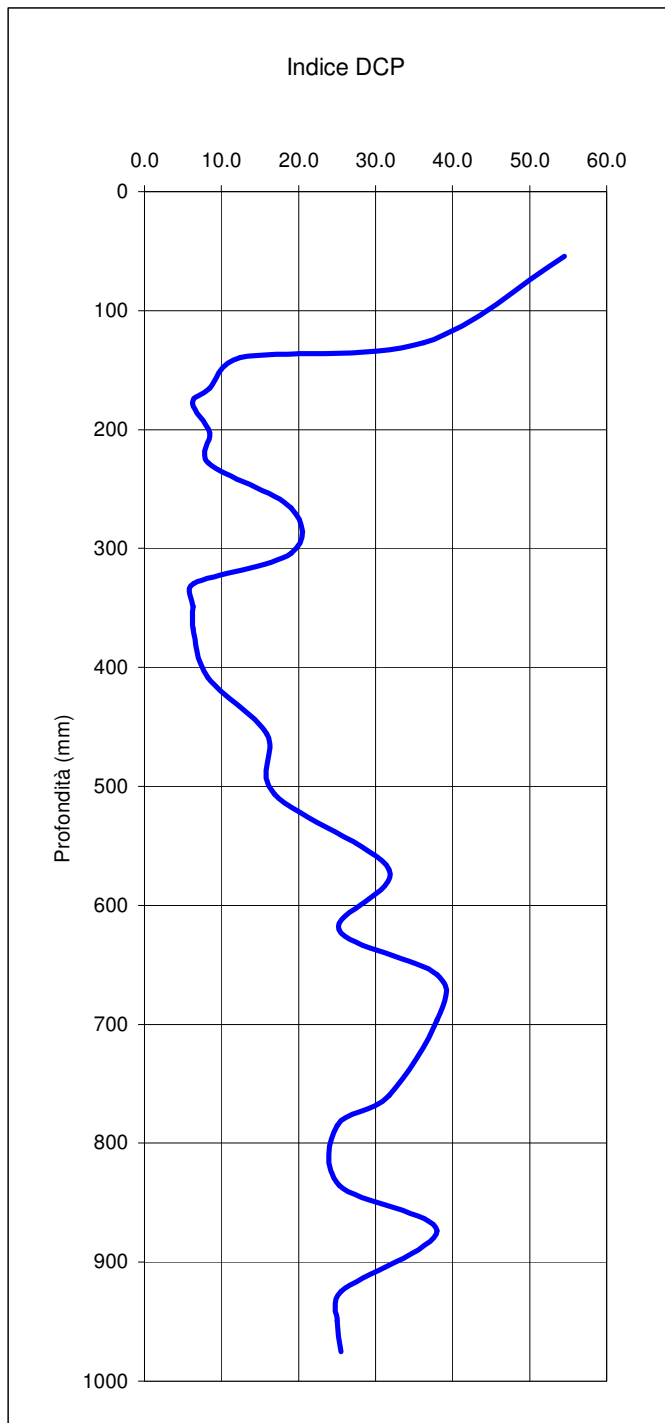
® sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it



Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

PENETROMETRO DINAMICO LEGGERO "DCP" - ASTM D 6951 - 03

COMMITTENTE:	La Darsena s.r.l. - via Marconi 158 35040 Merlara (Pd)		
CANTIERE:	Via Darsena Ferrara	Coord. (WGS84)	Lat. N Long. E
PROVA:	DCP 2 (da -1.00 m)		44.831971° 11.612080°
COMMESSA:	14765/15	DATA PROVA:	11/02/15
CERT. SITO:	S150690	rev.00 del:	23/10/15





elletipi s.r.l.

Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA

P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387

®

sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it



Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 6572 del 07/10/2014, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

PENETROMETRO DINAMICO LEGGERO "DCP" - ASTM D 6951 - 03

COMMITTENTE:	La Darsena s.r.l. - via Marconi 158 35040 Merlara (Pd)		
CANTIERE:	Via Darsena Ferrara	Coord. (WGS84)	Lat. N Long. E
PROVA:	DCP 2 (da -1.00 m)		44.831971° 11.612080°
COMMESSA:	14765/15	DATA PROVA:	11/02/15
CERT. SITO:	S150690	rev.00 del:	23/10/15

UBICAZIONE

Località: DCP 2

