

Consorzio di Bonifica **PIANURA di FERRARA**

44121 Ferrara - Via Borgo dei Leoni, 28
Codice Fiscale 93076450381
Tel.: 0532.218211 - Fax: 0532.211402
E-mail: info@bonificaferrara.it



PROGETTO SISTEMA IRRIGUO VALLI GIRALDA-GAFFARO-FALCE

PROGETTO ESECUTIVO

Opere di competenza del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali

Salvaguardia ambientale e riassetto irriguo del comprensorio

**Progetto di adeguamento funzionale del sistema irriguo
delle valli Giralda, Gaffaro e Falce in Comune di Codigoro (FE)
1° e 2° LOTTO**

RELAZIONI E AUTORIZZAZIONI

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Data:

Elaborato

1.2

IL PROGETTISTA
(Dott. Ing. Fabrizio Brunetti)



IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
(Dott. Ing. Gianni Tebaldi)

.....

STUDIO TECNICO INGEGNERI ASSOCIATI

stinor

MICHELE FERGNANI, FABRIZIO BRUNETTI
PROGETTAZIONE INGEGNERIA CIVILE, IDRAULICA
NORMATIVA ANTINCENDIO
NORMATIVA SICUREZZA

VIA MASCHERAIO, 17
44121 FERRARA

TEL.: 0532.210796 - FAX: 0532.215210
C.F. / P. I.V.A. : 01115500389
E-Mail: f.brunetti@stinor.it

CUP:

Commessa: 13-1501-0005



GEOLOGIA TECNICA ESTENSE

STUDIO GEOLOGICO
Dr. Geol. Marco Condotta

REGIONE EMILIA-ROMAGNA
PROVINCIA DI FERRARA

Località POMPOSA, comune di CODIGORO (FE)



Salvaguardia Ambientale e Riassetto Irriguo del Comprensorio.

Progetto di adeguamento del sistema Irriguo delle Valli *Giralda-Gaffaro-Falce*.

Indagini geologiche e sismiche sui terreni ubicati in via Strada Giralda Ovest, in località Pomposa nel Comune di Codigoro (FE), per il progetto di una torre piezometrica.

MODELLAZIONE GEOLOGICA (Parametri geotecnici e sismici)
Ai sensi del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 14/01/2008

COMMITTENTE : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara
Sede Legale ed Amministrativa:
Via Borgo dei Leoni, 28
44121 FERRARA (FE)



RELATORE : Dr. Geol. M. Condotta



rif. n° 19/11

Ferrara 4 novembre 2011

INDICE

1.	Premessa	pag. 2
2.	Normative, bibliografia e raccomandazioni di riferimento	pag. 3
3.	Inquadramento geografico	pag. 4
4.	Inquadramento geologico regionale	pag. 5
5.	Inquadramento geologico locale	pag. 6
6.	Problematiche geologiche dell'area di intervento	pag. 8
7.	Ricostruzione geologica e geomorfologia del territorio in esame	pag. 9
8.	Caratteristiche sismiche	pag. 14
9.	Programma delle indagini	pag. 18
9.1	Modalità esecutive sondaggio geotecnico	pag. 19
9.2	Elaborazione sondaggio geotecnico	pag. 21
9.3	Analisi di laboratorio	pag. 22
9.4	Specifiche analisi di laboratorio	pag. 22
9.5	Risultati delle analisi di laboratorio	pag. 26
10.	Verifica cedimenti postsismici nei terreni coesivi	pag. 28
11.	Indagine sismica	pag. 30
11.1	Modalità esecutive	pag. 30
11.2	Risultati e conclusioni	pag. 31
11.3	Classificazione NTC 2008	pag. 34
11.4	Classificazione del sito (Delibera Regionale n. 112)	pag. 38
12.	Parametri sismici	pag. 40
13.	Pericolosità del territorio	pag. 43
14.	Liquefazione	pag. 44
15.	Tipo di fondazioni	pag. 46
15.1	Fondazioni profonde	pag. 47
16.	Considerazioni conclusive	pag. 53

- Figura 1 :** Stralcio C.T.R. n° 187154 "Pomposa" con ubicazione dell'area indagata
Figura 2 : Inquadramento geologico regionale
Figura 3 : Sezione geologica regionale
Figura 4 : Schema tettonico della Regione Emilia-Romagna
Figura 5 : Stralcio Carta Geomorfologica
Figura 6 : Modello altimetrico della Provincia di Ferrara
Figura 7 : Limiti Ex Comprensorio di Bonifica I° Circondario Polesine di Ferrara
Figura 8 : Nuova zonizzazione sismica
Figura 9 : Carta degli epicentri dei terremoti storici della Regione E.-R. (CPTI, 1999)
Figura 10 : Pianta di posizione delle indagini

Allegati	1÷2	Schede stratigrafiche sondaggio eseguito
Allegati	3÷6	Foto cassette catalogatrici
Allegati	7÷27	Certificati analisi di laboratorio

1. PREMESSA

Per il progetto di adeguamento del sistema irriguo delle Valli *Giralda-Gaffaro-Falce*, ai fini della Salvaguardia Ambientale e Riassetto Irriguo del Comprensorio, il “Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara”, ha previsto la costruzione di una nuova torre piezometrica.

Su incarico della Committenza, lo scrivente redige la presente relazione di Modellazione Geologica orientata alla ricostruzione dei caratteri strutturali, geotecnici, geologici, altimetrici, geomorfologici, sismici e, più in generale di pericolosità geologica del territorio.

Deve, quindi, essere sviluppata in modo da costituire utile elemento di riferimento per l'inquadramento, da parte del progettista, delle problematiche geotecniche a piccola e grande scala e del programma delle indagini.

Il modello geologico di riferimento sarà validato e supportato da indagini specifiche in funzione dell'importanza dell'opera.

2. NORMATIVE, BIBLIOGRAFIA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO

Legge 2 febbraio 1974 n° 64

“Provvedimenti per le costruzioni con particolare riguardo per le zone sismiche”

D.M. 16 gennaio 1996

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

Ordinanze P.C.M. 20 marzo 2003 n° 3274 e 2 ottobre 2003 n° 3316

“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”

Ordinanza P.C.M. 3 maggio 2005 n° 3431

“...viene prorogato di ulteriori tre mesi il periodo transitorio nel corso del quale sarà possibile impiegare le norme di cui al D.M. 16 gennaio 1996...”

Delibera di Giunta Regionale regione Emilia-Romagna n. 1677 del 24 ottobre 2005 relativa alle “Norme tecniche per le costruzioni”. Prime indicazioni applicative.

A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana

“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (giugno 1977)”.

A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana

“Raccomandazioni sui pali di fondazione (giugno 1982)”.

A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana

“Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica” Linee guida (marzo 2005).

D.M. 14 gennaio 2008

“Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”

D.M. 14 gennaio 2008

“Circolare applicativa 2 febbraio 2009 n. 617” C.S. LL. PP.


3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto dell'intervento previsto, è ubicata a oriente della strada di grande comunicazione n. 309 "Romea", a est dell'Abbazia di Pomposa, e ricade nell'elemento n. 187154 della C.T.R. in scala 1:5.00 denominato "Pomposa".

Il terreno che verrà interessato dall'opera, attualmente destinato a lavorazioni agricole, è ubicato a lato della Via Strada Giralda Ovest, in prossimità del "Podere E.D.P. N. 24", in località Pomposa, nel Comune di Codigoro (FE) *fig. 1*.



Figura 1 Stralcio C.T.R. 1: 5.000 Elemento 187154 denominato "Pomposa"

 Ubicazione del sito oggetto d'intervento

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE



Figura 2

Il territorio dell'Emilia-Romagna è costituito dal versante padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a sud del Po; il limite regionale, infatti, coincide per lunghi tratti con lo spartiacque appenninico verso sud e con il corso del Po verso nord (fig. 2).

Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinti, l'Appennino e la Pianura Padana sono strettamente correlati.

Il fronte della catena appenninica non coincide con il limite morfologico catena – pianura (margine appenninico – padano), ma è individuabile negli archi estremi delle Pieghe Emiliane e Ferraresi (Pieri & Groppi, 1981) sepolte dai sedimenti quaternari padani (fig. 3).

Sud

Nord

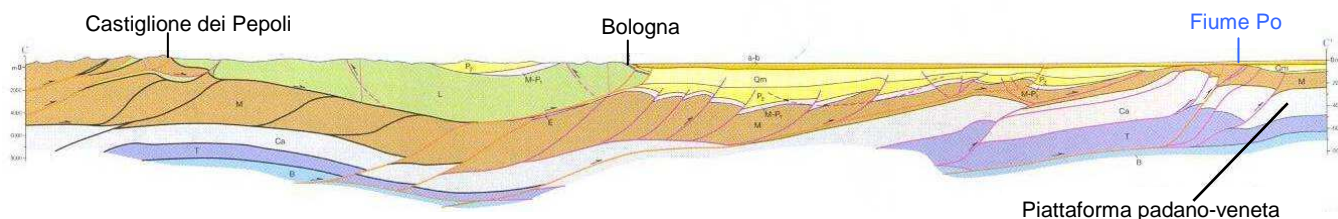


Figura 3

Il vero fronte appenninico, quindi, situato circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano – veneta.

Si può così schematizzare che l'evoluzione del territorio dell'Emilia – Romagna coincide con l'evoluzione del settore esterno della catena nord – appenninica.

L'Appennino settentrionale è una catena a *thrusts* facente parte del sistema alpino, formatosi in gran parte a spese della placca Adriatica per l'interazione fra le placche Africana ed Eurasiatica.

Si tratta, quindi, di un edificio formato da una pila di unità tettoniche riferibili a due principali domini: il dominio Ligure, i cui sedimenti si sono depositi originariamente su crosta oceanica (*Liguridi*) e il dominio Tosco – Umbro – Marchigiano, rappresentato da successioni del margine continentale dell'Adria la cui età inizia a partire dal Triassico (circa 200 M.ni di anni fa)

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE

La Pianura Padana, al cui interno è inserita l'area in esame, è costituita da un cuneo di sedimenti depositi, ad iniziare dall'Eocene, in un bacino subsidente che veniva riempito progressivamente, dapprima solo con materiale proveniente dalla catena alpina e poi anche con materiale della catena appenninica, durante e dopo la loro rispettiva emersione.

La disposizione e l'assetto di tali sedimenti corrispondono alla più recente storia evolutiva tettonica e sedimentaria del bacino padano.

In particolare la formazione della piana alluvionale e del territorio del delta del Po rappresentano l'ultimo atto di tale evoluzione.

Dal punto di vista geologico – strutturale (fig. 4), il bacino dell'attuale Pianura Padana tuttora subsidente, era compreso nel più ampio Bacino Padano – Adriatico, che corrisponde alla zona di subsidenza sin – orogenica e post – orogenica compresa tra le zone di sollevamento dell'Appennino e delle Alpi; strutturalmente il bacino padano può essere considerato in generale, come un'area di avanfossa, originatasi dalla progressiva subduzione della placca Africana verso quella Europea con probabile subduzione della interposta microplacca padano – adriatica soggetta ad un doppio fenomeno di compressione, al di sotto delle coltri appenniniche e sud alpine.

L'arco delle pieghe ferraresi – romagnole, ora sepolte dalla coltre alluvionale, reso noto dalle prospezioni del sottosuolo per ricerche di idrocarburi, è l'elemento strutturale più esterno dell'Appennino settentrionale, all'interno del quale si possono distinguere:

- le pieghe ferraresi, più esterne, con nucleo mesozoico molto sollevato e tettonizzato, in posizione elevata in sovrascorrimento sul Terziario, e serie terziarie di spessore generalmente ridotto o mancante;
- le pieghe romagnole relativamente più interne e le pieghe adriatiche, le quali si sviluppano prevalentemente nell'area marina.

Nel Pliocene inferiore, la zona ferrarese viene interessata da una moderata subsidenza, più accentuata in corrispondenza degli assi sinclinali esterni alle pieghe ferraresi.

Il mare di questo periodo copriva anche le strutture positive dell'area, sulle quali si depositavano spessori più esigui di sedimenti.

Nella zona intorno a Ferrara ed in corrispondenza del litorale attuale, lo spessore dei sedimenti pliocenici si aggira intorno ai 1000 metri, mentre il complesso di quelli quaternari supera quasi ovunque i 3000 metri, con massimi verso l'Adriatico.

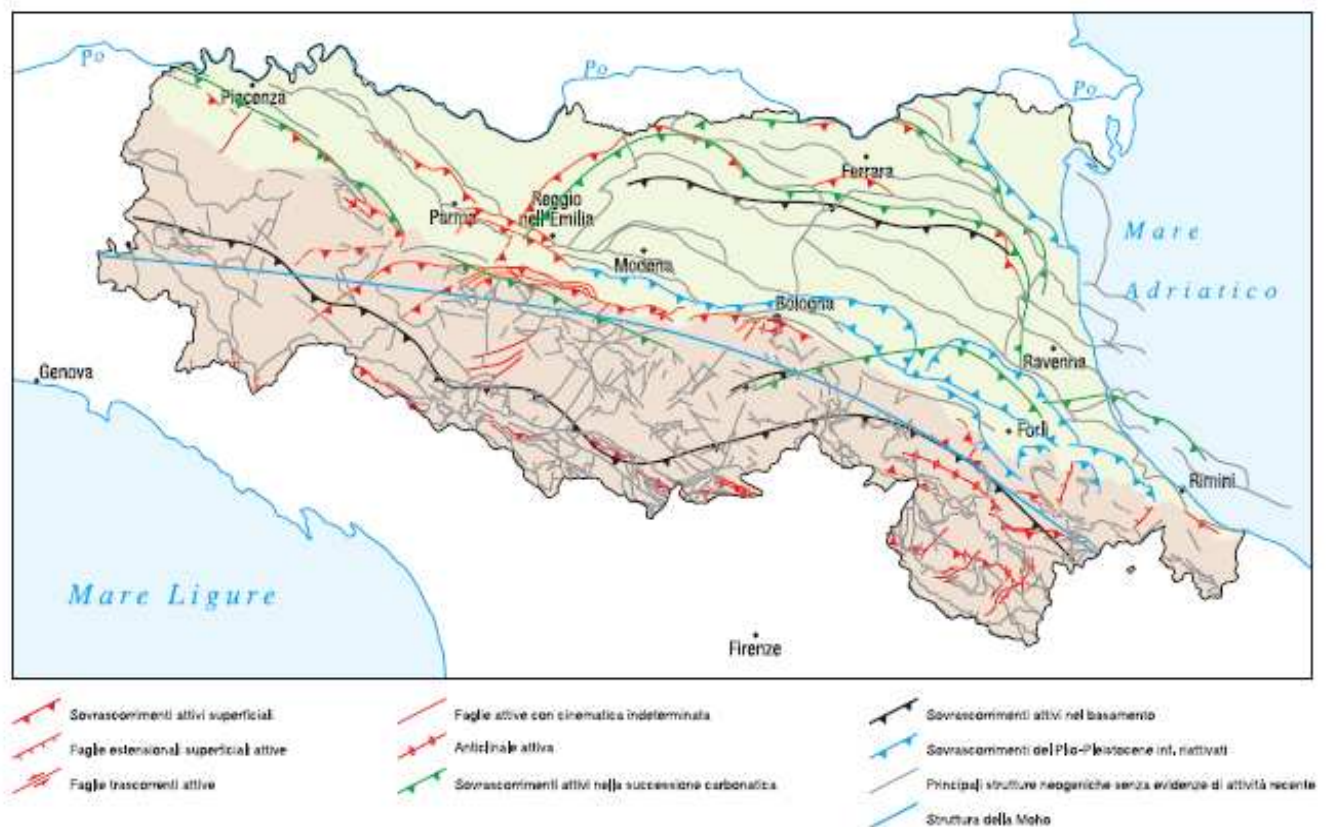


Figura 4 Schema tettonico della Regione Emilia-Romagna

6. PROBLEMATICHE GEOLOGICHE DELL'AREA D'INTERVENTO

Nel quadro geologico regionale, che verrà ampiamente delineato nei paragrafi successivi, la messa a fuoco, sull'area in esame, oggetto dell'intervento, porta ad individuare i seguenti aspetti di natura geologica da approfondire, anche in ottemperanza alle normative vigenti:

- i terreni di fondazione di natura sedimentaria di recente deposizione, incoerenti e disomogenei in senso verticale e orizzontale;
- tali terreni devono essere indagati nel dettaglio per stabilire le caratteristiche di consistenza, granulometriche, di resistenza alla compressione, della permeabilità, e nei loro rapporti geometrici in funzione degli spessori e della loro continuità laterale;
- previsione sulla naturale evoluzione nel tempo, ma soprattutto sulle risposte alle sollecitazioni imposte dai sovraccarichi legati alla costruendo opera;
- la situazione della falda freatica può determinare problemi ad eventuali strutture semi-interrate, con allagamenti in caso di eventi meteorici intensi: a tale scopo andrà verificato il livello e le possibili variazioni nel tempo;
- l'assetto geomorfologico e altimetrico può influenzare lo scolo degli afflussi meteorici e indirizzare la progettazione delle opere di urbanizzazione;
- il quadro sismotettonico delineato e la nuova normativa sismica, impongono alcune verifiche di parametri significativi, per prevedere il comportamento dei terreni in caso di scosse sismiche (amplificazione locale, liquefazione).

7. RICOSTRUZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA DEL TERRITORIO IN ESAME.

Il territorio del Comune di Codigoro, facente parte della Provincia di Ferrara, è parte integrante della Pianura Padana, dove il suo costituirsi, va visto nel contesto più generale dell'evoluzione geomorfologia Olocenica della pianura ferrarese, con particolare riguardo agli ultimi 3000 anni.

Il meccanismo di formazione e trasformazione di questo territorio è il frutto di processi geologici e geomorfologici che si sovrappongono, nello spazio e nel tempo, e che principalmente sono la sedimentazione fluviale e costiera, la subsidenza, le variazioni del livello marino.

Per evoluzione geomorfologia si intende specificatamente, la progradazione dell'apparato deltizio del Po, che fece seguito alla trasgressione Flandriana, con lo sviluppo di canali distributori, oggi rimasti come residui dossivi a far da limite a catini interfluviali morfologicamente depressi, in relazione al maggior tasso di subsidenza effetto della maggiore costipabilità dei sedimenti fini.

Un corso d'acqua naturale ormai giunto vicino alla foce, al momento della piena, deposita i sedimenti più grossolani, in questo caso sabbie e limi, entro l'alveo oppure al di fuori di esso se sussistono le condizioni per una sua tracimazione.

Appena l'acqua può espandersi perde energia e lascia gran parte del suo "carico" ai lati dell'alveo stesso, formando così degli argini naturali.

Le frazioni più fini dei materiali trasportati, restano in sospensione finché l'energia non diminuisce ancora fino ad annullarsi, dove l'acqua si ferma e ristagna.

Il volume minore occupato dalle granulometrie fini e la maggiore costipabilità dei sedimenti a cui danno origine causano, nel tempo, una differenziazione altimetrica tra gli alvei, che diventano pensili, ed i bacini di sedimentazione laterali che divengono via via depressioni a forma di catino delimitate dai tracciati fluviali.

La distribuzione sul territorio di queste forme geomorfologiche, condiziona anche il flusso della falda freatica: in genere i paleoalvei corrispondono a zone di distribuzione e di alimentazione della falda freatica, laddove i catini interfluviali corrispondono a zone di drenaggio e richiamo delle acque.

Dalla Carta Geomorfologia della Pianura Padana, (M. Bondesan), di cui è visibile uno stralcio in *fig. 5*, si possono osservare i vari elementi geomorfologici presenti, che interessano l'area oggetto d'intervento, solo marginalmente.

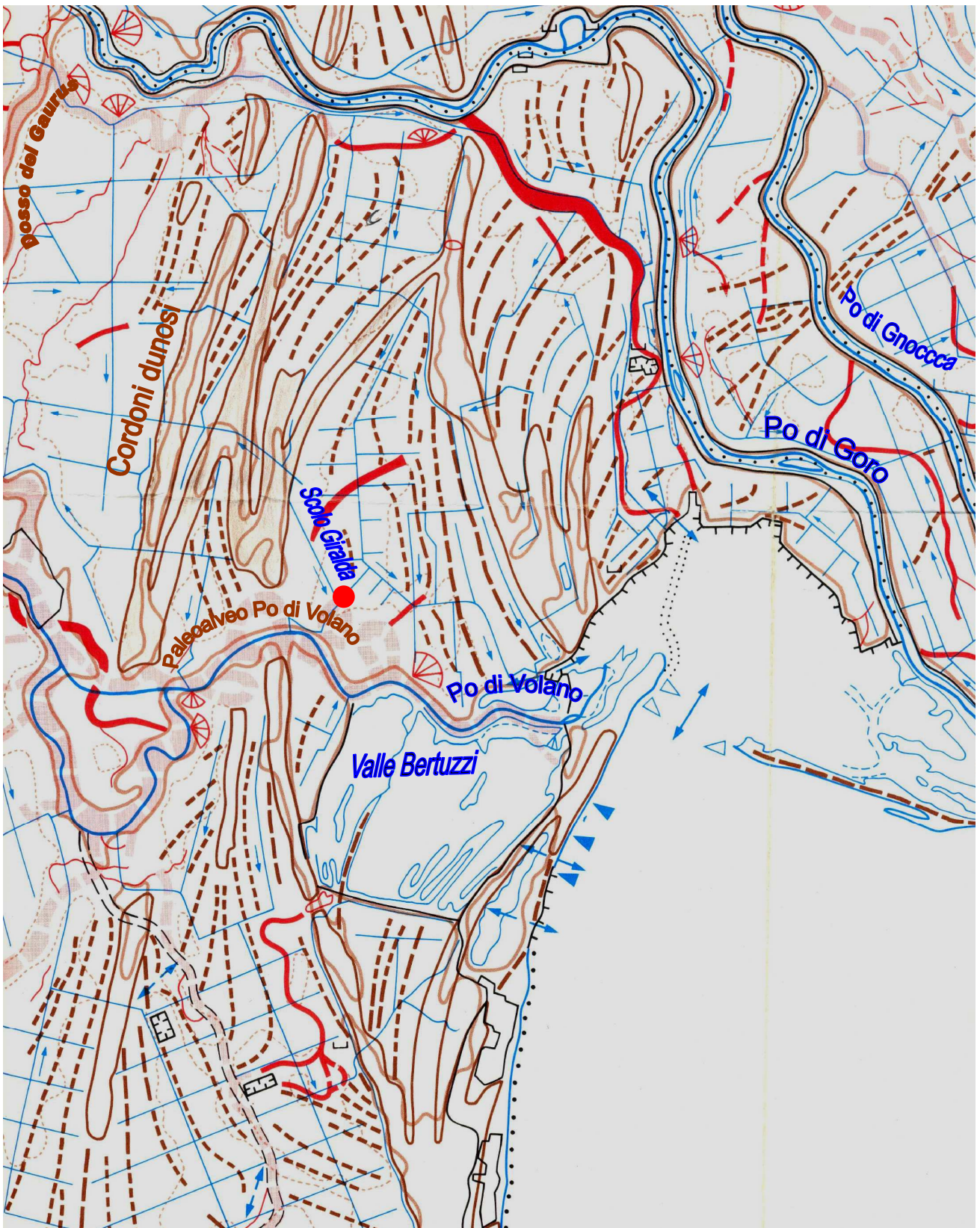


Figura 5 Stralcio Carta Geomorfologia della Pianura Padana
● Sito indagato

Questa parte del territorio comunale di Codigoro è caratterizzata dal paleoalveo del Volano, con andamento principale ovest-est, attraversando gli abitati di Massafiscaglia e Codigoro per poi dirigersi verso Volano e terminare nella sacca di Goro, e dai tracciati delle divagazioni dello stesso Volano o, più probabilmente di sue temporanee diramazioni.

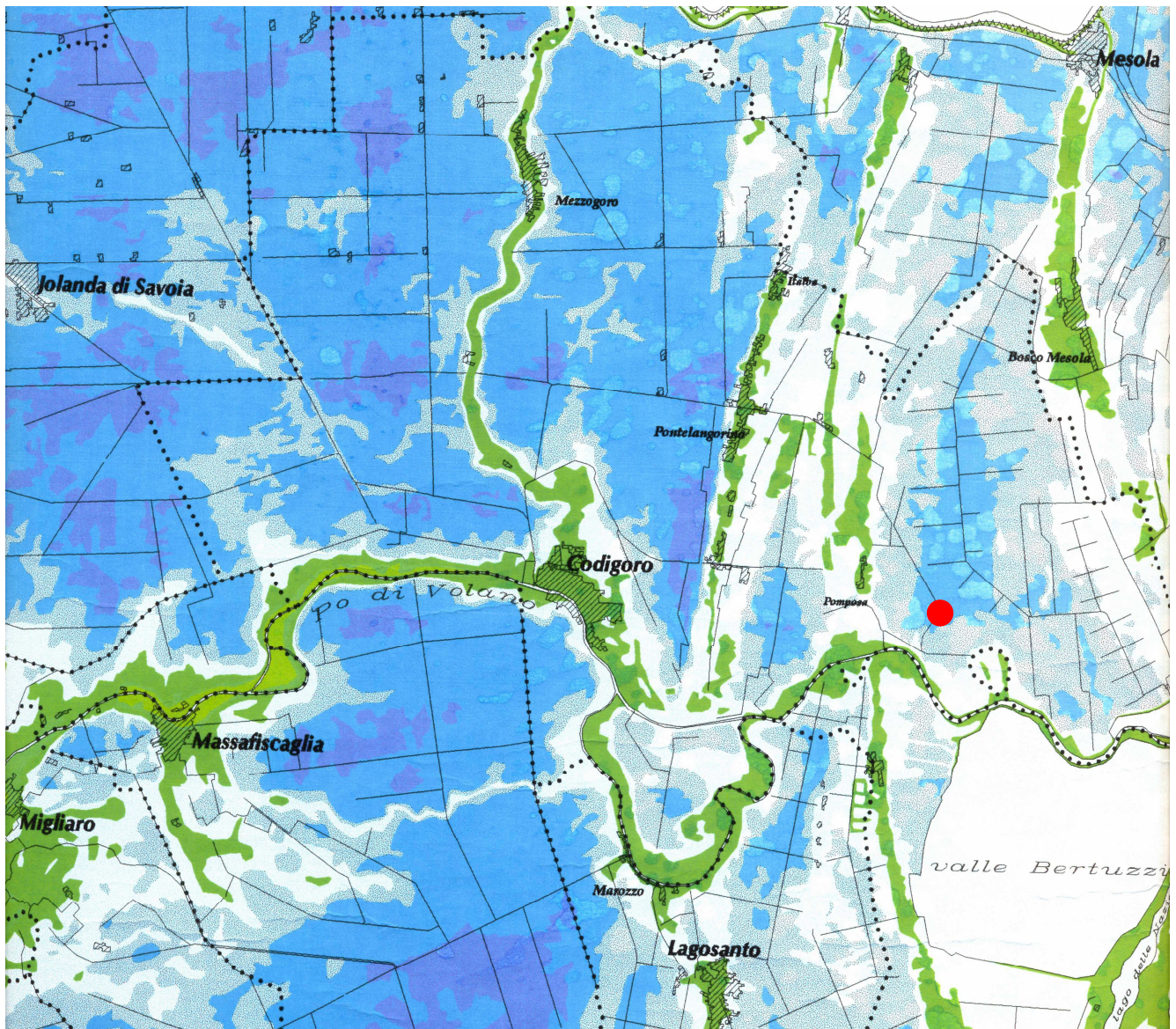
Oltre a quello descritto, esiste un reticolo più o meno fitto di paleoalvei secondari in corrispondenza dei quali, talvolta, sono stati impostati i canali di scolo delle varie bonifiche.

Questi sono individuabili solo dalle foto aeree o dall'esame delle antiche carte disponibili.

I paleoalvei, per la loro sopraelevazione rispetto alle zone circostanti e spesso anche per la loro costituzione litologica sono da considerare, come lo sono stati in passato, luoghi preferenziali per l'insediamento umano all'interno di un territorio generalmente paludoso in tempi storici e con caratteristiche geotecniche instabili.

L'altro elemento geomorfologico, caratteristico di questa porzione di territorio, è rappresentato dagli allineamenti di paleodune, con andamento generale nod-sud, dove le più antiche poste a ovest e ascrivibili all'età del Bronzo, presentano un andamento retroflesso, nel margine meridionale; l'ulteriore allineamento dunoso, posto più a est, di età intermedia tra quella del Bronzo e quella del Ferro, comprende la "Riserva Naturale Orientata" delle *Dune di Massenzatica*, prosegue verso sud, interessando le località di Italba, Pontelangorino e Pontemaodino.

Dal punto di vista altimetrico, *fig. 6*, l'area in esame risulta leggermente rilevata, con quote prossime ai -2,00 m.s.l.m., rispetto alle aree circostanti poste a nord e ad est, che presentano quote comprese tra -2,10 e -2,30 m.s.l.m., con una situazione generale di debole pendenza verso est, che contribuisce a favorire lo scolo delle acque superficiali.



	Quote comprese fra 20 e 21 m s.l.m.		Quote comprese fra 7 e 8 m s.l.m.
	Quote comprese fra 19 e 20 m s.l.m.		Quote comprese fra 6 e 7 m s.l.m.
	Quote comprese fra 18 e 19 m s.l.m.		Quote comprese fra 5 e 6 m s.l.m.
	Quote comprese fra 17 e 18 m s.l.m.		Quote comprese fra 4 e 5 m s.l.m.
	Quote comprese fra 16 e 17 m s.l.m.		Quote comprese fra 3 e 4 m s.l.m.
	Quote comprese fra 15 e 16 m s.l.m.		Quote comprese fra 2 e 3 m s.l.m.
	Quote comprese fra 14 e 15 m s.l.m.		Quote comprese fra 1 e 2 m s.l.m.
	Quote comprese fra 13 e 14 m s.l.m.		Quote comprese fra 0 e 1 m s.l.m.
	Quote comprese fra 12 e 13 m s.l.m.		Quote comprese fra 0 e -1 m s.l.m.
	Quote comprese fra 11 e 12 m s.l.m.		Quote comprese fra -1 e -2 m s.l.m.
	Quote comprese fra 10 e 11 m s.l.m.		Quote comprese fra -2 e -3 m s.l.m.
	Quote comprese fra 9 e 10 m s.l.m.		Quote comprese fra -3 e -4 m s.l.m.
	Quote comprese fra 8 e 9 m s.l.m.		Zone allagate

Ubicazione del sito

Figura 6 Stralcio Modello altimetrico della Provincia di Ferrara

Il territorio considerato ricade nelle competenze dell' *ex Consorzio di Bonifica I° Circondario Polesine di Ferrara* (dal 1 ottobre 2009, in riferimento alla L.R. n. 5 del 24 aprile 2009, è operativo il nuovo "Consorzio di Bonifica Pianura Padana", derivante dalla fusione dei precedenti consorzi di bonifica Ferraresi), caratterizzato da un vasto territorio pianeggiante con altimetria graduale, degradante verso est.

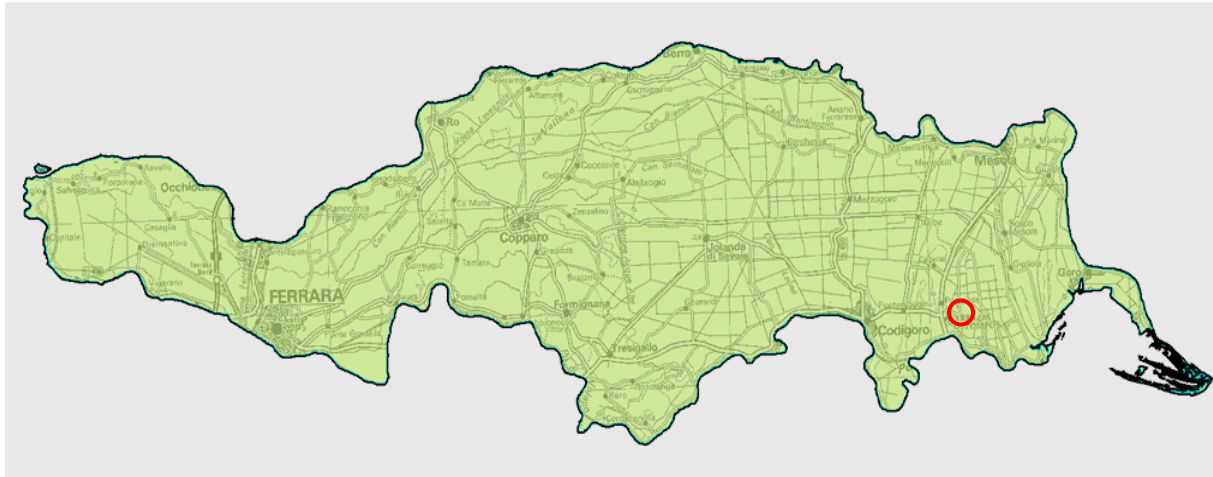


Figura 7 Limiti dell'ex Consorzio di Bonifica I° Circondario Polesine di Ferrara.

Per la propensione al dissesto, le verifiche effettuate sulle carte redatte *dal Consorzio Generale di Bonifica della Provincia di Ferrara* per i maggiori eventi meteorici del 18/19 agosto 1979, dal *Consorzio di Bonifica I° Circondario Polesine di Ferrara* per l'evento del 12 maggio 1996 e da quanto emerso nello studio del P.S.C. vigente, escludono problemi di allagamento per l'area in oggetto.

8. CARATTERISTICHE SISMICHE

Con l'entrata in vigore del nuovo D.M. "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", che ha recepito l'OPCM 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche", il Comune di Codigoro è stato confermato in zona 3 (fig. 8) cioè:

- accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico secondo Norme Tecniche (a_g/g) pari a 0,15.
- accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A pari a 0,15g;

Per la classificazione delle zone di sismicità:			
zona	accelerazione orizzontale (a_g/g) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni	accelerazione orizzontale (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme tecniche)	Valori di a_g , accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A, da adottare
1	> 0,25	0,35	0,35g
2	0,15 - 0,25	0,25	0,25g
3	0,05 - 0,15	0,15	0,15g
4	< 0,05	0,05	0,05g

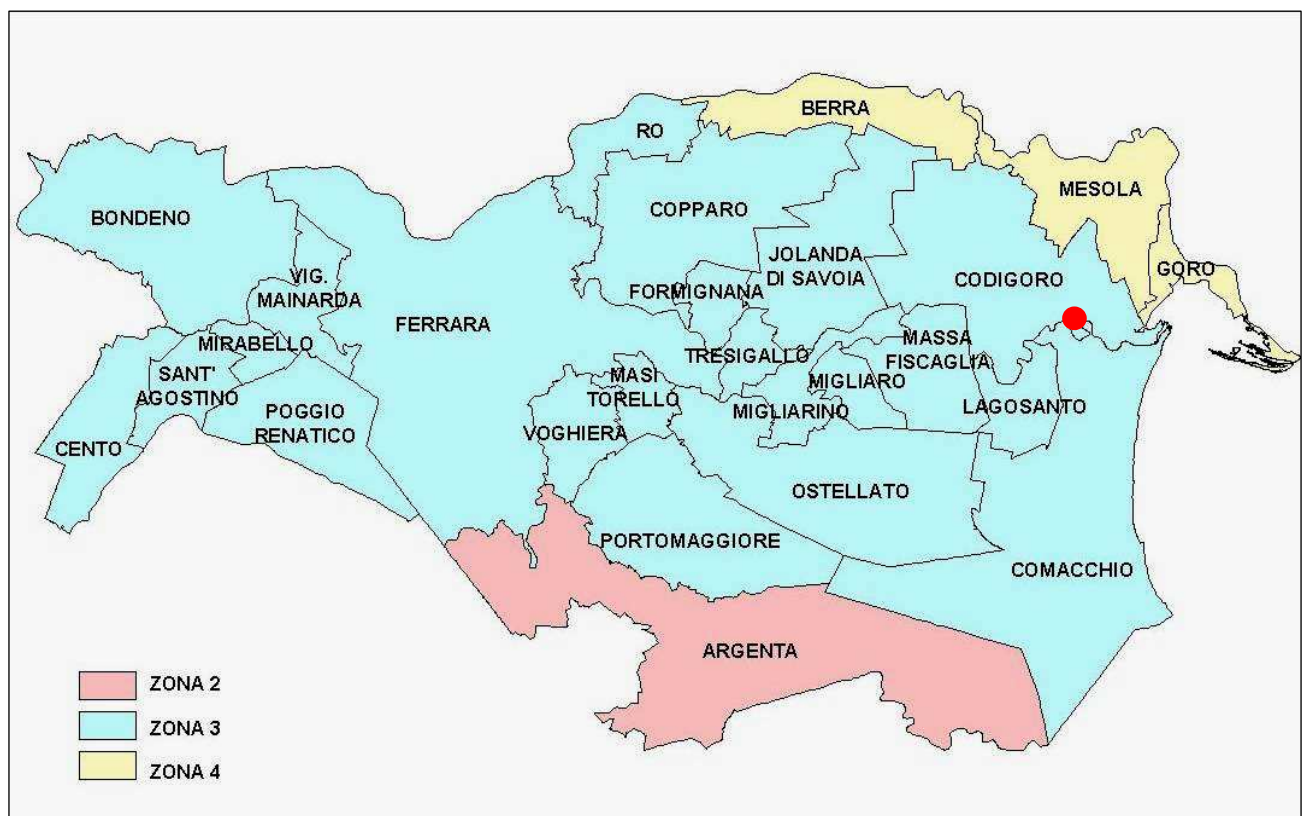


Figura 8 Nuova zonizzazione sismica

● Ubicazione del sito indagato

L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità che può essere definita media, relativamente alla sismicità nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 (Fig. 9), della scala Richter e intensità massima del IX°-X° grado della scala MCS (Mercalli Cancani Sieberg).

Infatti, dai cataloghi dei terremoti risulta che negli ultimi 1000 anni circa la nostra regione è stata interessata da terremoti frequenti ma mai paragonabili, per energia liberata (e, quindi, per valori di magnitudo) ai maggiori eventi di altre aree regionali quali, ad esempio, Sicilia orientale e Calabria, Irpinia-Basilicata o Friuli.

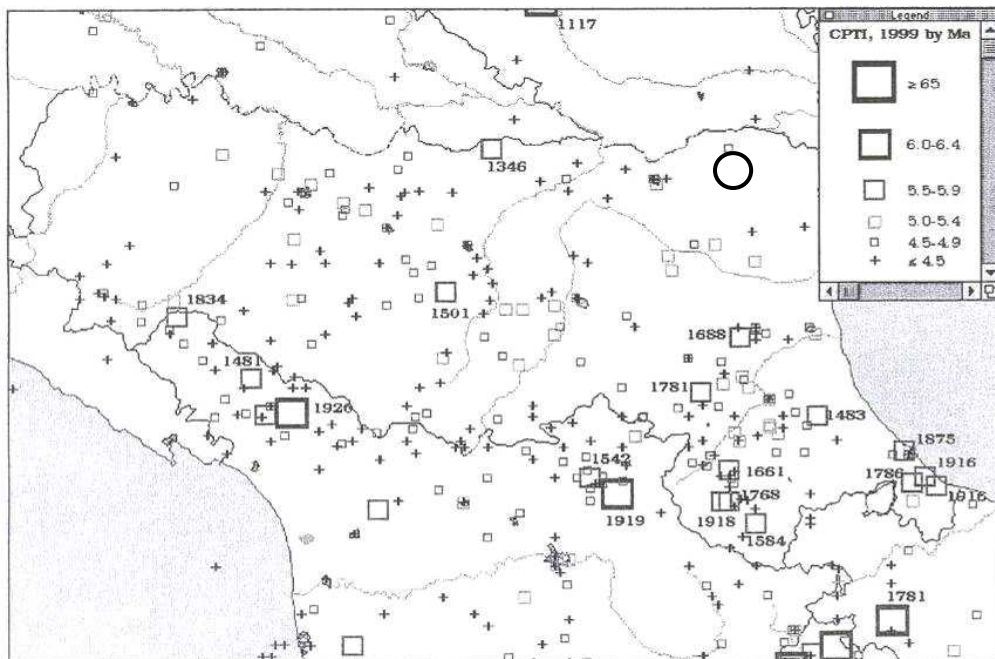


Figura 9 – Carta degli epicentri dei terremoti storici della Regione Emilia-Romagna, per classi di magnitudo (CPTI, 1999)

I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell'Appennino romagnolo e lungo la costa riminese.

Tale magnitudo è paragonabile a quella (5,8) della scossa principale del 26 settembre 1997 riferita alla lunga crisi sismica del 1997-1998 in Umbria –Marche.

La presenza di sedimenti clastici incoerenti e saturi d'acqua può essere, infatti, motivo di amplificazione di scosse sismiche anche provenienti da luoghi non vicini; si è trattato comunque di fenomeni che nella Provincia di Ferrara non hanno provocato danni.

Le scosse più forti sono invece riconducibili a eventi locali, imputabili a movimenti delle pieghe dell'Appennino sepolto, probabilmente amplificate dalla natura dei materiali sovrastanti.

Nella tabella seguente vengono riportati, a partire dal XIII secolo, i principali sismi locali catalogati da recenti studi (Ferrari et al. 1980; Postpischl, 1985; Boschi et al., 1997; Camassi, Stucchi, 1998). Le intensità massime sono espresse in gradi della Scala Mercalli-Cancani-Sieberg.

Tabella 1 – Elenco dei principali terremoti che hanno colpito il Ferrarese dal XIII secolo ad oggi

Evento N°	Anno	mese	giorno	zona epicentrale		zona epicentr. località	Intensità	Bibliogr.
				lat.	long.			
1	1234	marzo	20	44,833	11,617	Ferrara	7	Camassi-Stucchi, 1997
2	1285	dicembre	13	44,833	11,650	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
3	1346	febbraio	22	44,817	11,617	poco a S di Ferrara	7,5	Camassi-Stucchi, 1997
4	1410	giugno	9	44,833	11,617	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
5	1425	agosto	10	44,833	11,667	poco a E di Ferrara	6	Camassi-Stucchi, 1997
6	1483	marzo	3	44,817	11,650	poco a SE di Ferrara	5,5	Camassi-Stucchi, 1997
7	1487	gennaio	11	45,03	11,30	a NW di Ferrara	5	Boschi et al., 1995
8	1508	ottobre	18	44,833	11,667	poco a E di Ferrara	6	Camassi-Stucchi, 1997
9	1561	novembre	24	44,833	11,600	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
10	1570	novembre	18	44,817	11,650	Ferrara	8	Camassi-Stucchi, 1997
11	1594	ottobre	3	44,83	11,62	Ferrara	5	Boschi et al., 1997
12	1624	marzo	18	44,667	11,917	a NE di Argenta	8,5	Camassi-Stucchi, 1997
13	1695	febbraio	28	44,833	11,617	Ferrara	5,5	Camassi-Stucchi, 1997
14	1743	maggio	29	44,823	11,650	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
15	1787	luglio	16	44,83	11,62	Ferrara	6,5	Boschi et al., 1997
16	1787	luglio	26	44,843	11,633	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
17	1895	marzo	23	44,700	12,183	Comacchio	6	Camassi-Stucchi, 1997
18	1895	maggio	25	45,000	12,000	Serravalle-Papozze	6	Camassi-Stucchi, 1997
19	1895	luglio	3	44,700	12,183	Comacchio	6	Camassi-Stucchi, 1997
20	1898	gennaio	16	44,617	11,833	Argenta	7	Camassi-Stucchi, 1997
21	1908	giugno	28	44,800	11,300	fra Cento e Finale Emilia	6	Camassi-Stucchi, 1997
22	1909	gennaio	13	44,617	11,667	presso Tragheto	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
23	1922	maggio	24	44,733	11,383	Cento	3,5	Camassi-Stucchi, 1997
24	1956	febbraio	20	44,567	11,950	a Sud di Filo di Argenta	5,5	Camassi-Stucchi, 1997
25	1967	dicembre	30	44,667	11,833	fra Argenta e Portomaggiore	6	Camassi-Stucchi, 1997

Come si può notare, gli eventi più gravi sono stati il terremoto di Ferrara del 1570 (grado 8) e quello di Argenta del 1624 (grado 8,5).

Per il controllo sismico locale, il Comune di Ferrara è dotato, da circa 15 anni, di una rete di sismografi locali che permette un controllo nel territorio provinciale, disposti per il monitoraggio microsismico del giacimento geotermico di Casaglia (Ardizzoni et al., 1991); il sistema è stato realizzato per registrare eventuali fenomeni indotti dall'emungimento e dalla reiniezione del fluido geotermico.

Il sistema si compone di 6 stazioni di rilevamento, distribuite su un'area di circa 100 kmq attorno ai pozzi geotermici; ogni stazione è dotata di geofoni calati in pozzi profondi dai 16 ai 60 metri.

I segnali vengono trasmessi ad un centro di elaborazione situato presso la Centrale di Cassana.

I dati finora raccolti da questo sistema di monitoraggio permettono di affermare:

- non sono stati raccolti segnali attribuibili allo sfruttamento del giacimento geotermico;
- sono state registrate le scosse dei terremoti naturali più vicini;
- sono state registrate piccole scosse, non avvertite né dagli abitanti, né dai sismografi della rete nazionale, riconducibili a movimenti tettonici in atto in altre parti della "Dorsale" e in generale delle "Pieghe Ferraresi"(Dall'Olio, 1996).

Si può quindi concludere, sulla base dei dati esaminati che il territorio provinciale di Ferrara, e in particolare per il settore più vicino alla città e a sud-est della stessa, è soggetto ad una certa sismicità (C.N.R. 1980), ben maggiore della sismicità evidenziabile per territori vicini quali quelli di Rovigo, Mantova e Ravenna.

9. PROGRAMMA DELLE INDAGINI

Al fine di caratterizzare il sito in esame secondo i vari aspetti (geologico, geotecnico e sismico), e per fornire indicazioni utili al Progettista, le indagini previste dovranno essere commisurate e posizionate in modo da fornire un quadro, il più possibile esaustivo, della zona in esame.

Sulla base delle caratteristiche dell'intervento in oggetto e in relazione alla nuova Normativa sismica, in accordo con il Progettista le indagini sono state programmate tramite l'esecuzione di:

- n° 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati, preventivato a 30 metri di profondità, ma approfondito a 40 metri dal piano campagna, per individuare l'orizzonte granulare su cui intestare i pali di fondazione;
- un'indagine n. 1 indagine sismica con metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves) attivo e passivo, atta alla classificazione, ai sensi del D.M. 14/01/2008.

Le indagini, ubicate in figura 10, iniziate in date 5 ottobre 2001, si sono concluse il giorno successivo.

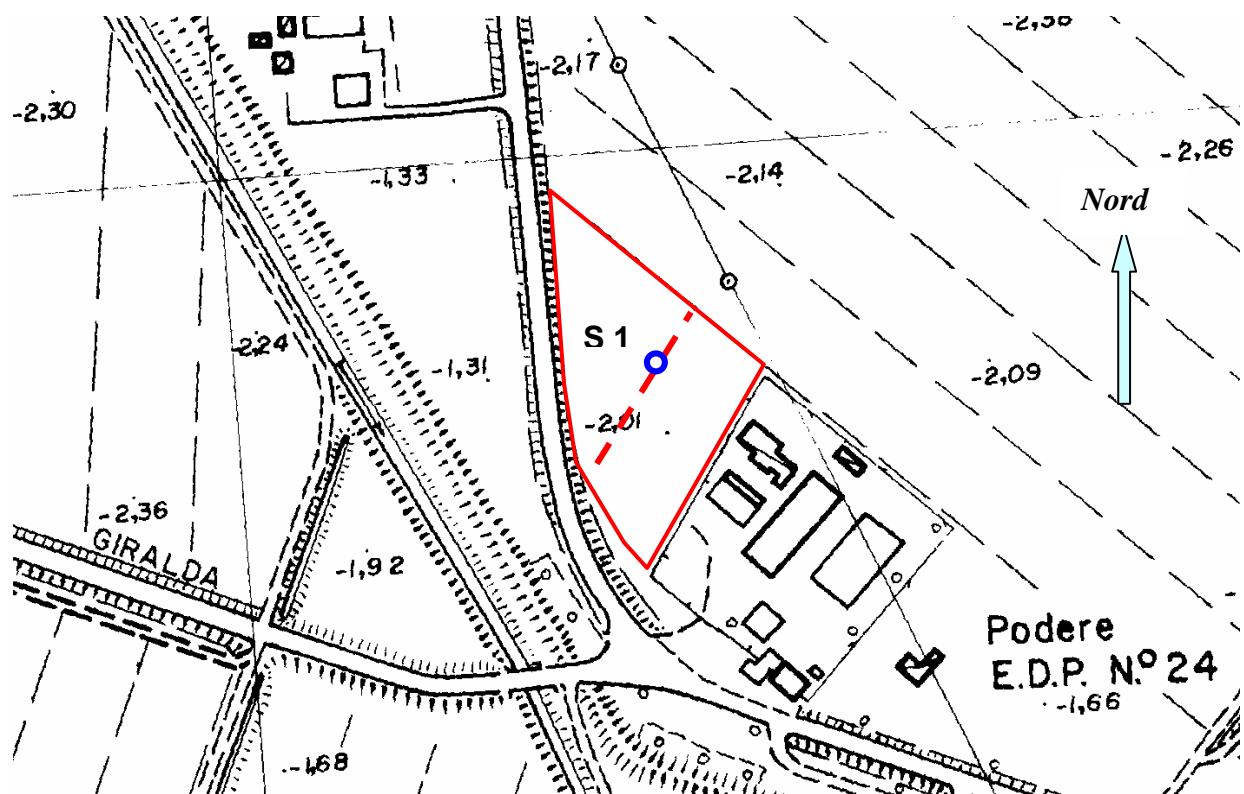





Figura 10 Pianta di Posizione delle indagini eseguite

LEGENDA

-  Area oggetto d'intervento
-  Ubicazione e n° sondaggio geognostico
-  Stendimento sismico

Per il sondaggio geotecnico è stata utilizzata una sonda oleodinamica montata su autocarro, mentre per l'indagine sismica è stato utilizzato un sismografo ABEM RAS-24, 24 canali, 24 bits, con metodo di energizzazione costituito da rumore naturale + 10 kg e geometria dello stendimento tramite 24 geofoni posti ad interasse di 1.5 metri.

9.1 Modalità esecutive sondaggio geotecnico

La strumentazione di lavoro è costituita da una perforatrice modello Sonda Cometria 1 PC-01, identificata con numero di serie CE*0204* P/CO/1-I, regolarmente installata su autoveicolo per uso speciale: autocarro FIAT 130 NC targato BJ 006 RX.



Attrezzatura utilizzata

La sonda dell'anno 2001 a marchio CE, è munita di:

- motore ausiliario silenziato diesel VM;
- pulsanti di arresto di emergenza sulla macchina e sul quadro comandi;
- doppia morsa e quadro comandi;
- pompa per acqua montata direttamente sul carro.

Dopo aver posizionato la sonda "in bolla", tramite martinetti idraulici e sottopiedi in legno, si solleva idraulicamente l'antenna: a questo punto la sonda è pronta per l'uso.

Il metodo di lavoro adottato è quello di procedere alla perforazione aggiungendo aste cave ad un tubo carotiere, tramite l'utilizzo dell'organo in dotazione alla perforatrice.

Per il campionamento sono stati utilizzati due campionatore standard \varnothing 101 mm della lunghezza di 1500 mm e 3000 mm, facendo seguire ogni manovra di carotaggio, con l'infissione di rivestimento provvisorio del foro \varnothing 127 mm e lunghezza di 1500 mm, al fine di sostenere le pareti di sondaggio ed evitare rifluimenti all'interno.

Le manovre di svuotamento sono state eseguite esclusivamente ad acqua a bassa pressione collegando la testa del campionatore alla pompa tramite tubo flessibile.

Le carote del materiale estratto, sono state deposte in apposite cassette porta campioni munite di coperchio e dei dati identificativi: data, Committente, località, punto di prelievo, profondità, ecc.

Durante le varie fasi di carotaggio, sono stati altresì prelevati 4 campioni indisturbati, con campionatore a pareti sottili Osterberg, sigillati alle estremità con paraffina liquida e muniti di targhette identificative.

Alla fine di ogni giornata lavorativa i campioni sono stati consegnati al laboratorio geotecnico per le analisi stabilite.

La deposizione delle carote nelle cassette catalogatrici e la successiva analisi stratigrafica con la compilazione della relativa scheda, sono state effettuate a cura dello scrivente, presente in cantiere durante tutte le fasi di campionamento.

9.2 Elaborazione sondaggio geotecnico

Nel presente paragrafo, vengono sintetizzati i risultati stratigrafici del sondaggio eseguito, le cui schede stratigrafiche dettagliate sono riportate negli *allegati 1 +2*.

Sondaggio S1

Da p.d.c. (piano di campagna), a -6,50 mt

Superato il terreno agrario superficiale, sono presenti sabbie medio-fini, con livelli decimetrici di sabbie-limose e limi-sabbiosi;

da -6,50 mt a -12,00 mt

limi debolmente sabbiosi con alternanze decimetriche di argille debolmente limose e limi sabbiosi;

da -12,00 mt a -26,00 mt

argille limose-limi argillosi, con alternanze centimetriche di sabbie debolmente limose e limi argillosi (da -21,00 mt a -23,35 mt);

da -26,00 mt a -33,00 mt

limi argillosi a tratti debolmente sabbiosi;

da -33,00 mt a -40,00 mt

sabbie da medie a grosse, a tratti debolmente limose.

Durante le fasi di perforazione, la falda è stata rinvenuta a -1,50 metri dal piano campagna.

Le foto delle cassette catalogatrici, sono riportate negli *allegati 3+6*.

9.3 Analisi di laboratorio

Come concordato con il Progettista, sui campioni indisturbati sono state eseguite le seguenti analisi di laboratorio.

Sui campioni di terreno mediamente coesivo Ost 1 (da -8,40 mt a -9,00 mt) e Ost 2 (da 18,40 mt a -19,00 mt), sono state eseguite le seguenti analisi:

Limiti di Atterberg

Umidità naturale, densità naturale, densità secca, indice dei vuoti;

Prova edometrica I.L. con pressione fino a 1600 kPa con scarico finale;

Compressione ad espansione libera

Sui campioni di terreni granulari Ost 3 (da -33,00 mt a -33,70 mt) e Ost 4 (da 39,40 mt a -40,00 mt), sono state eseguite le seguenti analisi:

Prova di taglio diretto

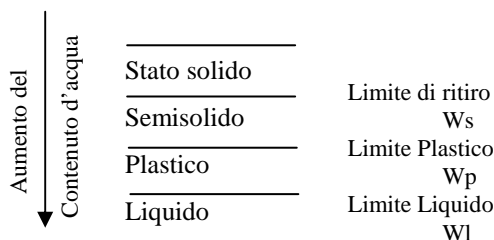
Granulometria

9.4 Specifiche analisi di laboratorio

Limiti di Atterberg

Un terreno a grana fine può presentarsi in quattro differenti stati fisici a seconda del suo contenuto d'acqua w , e dato che il valore corrispondente al passaggio da uno stato ad un altro varia da argilla ad argilla, una misura di w può servire come mezzo di identificazione e classificazione.

La figura sottostante schematizza i quattro possibili stati fisici e definisce il contenuto d'acqua corrispondente ai vari passaggi.



dove

$$\text{Indice plastico } IP = Wl - Wp$$

$$\text{Indice di liquidità } LI = \frac{W_N - W_p}{IP}$$

con $W_N =$ contenuto d'acqua allo stato naturale

Determinazione del contenuto naturale d'acqua

Questa determinazione, condotta su tutti i campioni prelevati, consiste nella misura della quantità d'acqua presente nei terreni, allo stato naturale, relativa ai campioni sopraindicati, eseguita secondo le norme ASTM DESIGNATION d 2216-71, ed espressa in percentuale del peso secco.

Determinazione del peso di volume

Sugli stessi campioni è stato altresì calcolato il peso di volume per immersione in cilindro graduato, dopo aver paraffinato il provino, per evitare alterazioni al suo stato naturale e contenuto d'acqua.

Prova di consolidazione edometrica per gradini di carico (I.L .)

L'apparecchiatura edometrica consiste essenzialmente di un anello rigido che contiene il provino il quale è confinato superiormente ed inferiormente tra due pietre porose; quella superiore è sormontata da un capitello rigido per l'applicazione del carico.

L'insieme provino - anello rigido - pietre porose, è posto in un contenitore pieno d'acqua per prevenire l'essiccamento del provino nel corso della prova e in modo da fornire l'acqua di assorbimento durante la fase di scarico.

Le dimensioni adottate per il provino rappresentano un compromesso tra opposte esigenze, pertanto non sono sempre ed ovunque le stesse.

Generalmente il rapporto diametro/altezza non deve essere inferiore a 2.5 per minimizzare l'influenza dell'attrito tra superficie laterale e anello di contenimento.

Di conseguenza si impiegano generalmente provini di diametro minimo di 50 mm ed altezza minima di 19 mm.

La prova edometrica riproduce in laboratorio le condizioni di consolidazione monodimensionale; la metodologia più semplice, e usata nel nostro caso, è quella ad **incremento di carico (IL)**.

Essa consiste nell'applicare una sequenza di carichi con progressione geometrica ad un provino confinato lateralmente, in modo che le deformazioni ed il flusso d'acqua avvengano solo in direzione verticale.

Ogni incremento di carico è mantenuto costante per un certo intervallo di tempo (di norma 24 ore) sufficiente a garantire la completa dissipazione delle sovrappressioni d'acqua interstiziale generate dal carico stesso.

Nel corso del processo di consolidazione viene rilevata l'altezza del provino a vari istanti di tempo; tali dati sono utilizzati per determinare i parametri di compressibilità e la velocità di consolidazione.

Prova di compressione ad espansione laterale libera

La prova di compressione verticale con espansione laterale libera, detta anche compressione semplice, è riservata a quelle terre di natura coesiva capaci di autosostenersi in posizione verticale.

La prova è equiparabile, pur con qualche approssimazione, ad una prova UU con pressione di contenimento nulla.

Da essa si ricava la resistenza a compressione semplice q_c che, come noto è strettamente correlata alla resistenza al taglio non drenata c_u .

La prova di compressione semplice presenta procedure estremamente semplici e speditive, e per tali ragioni è anche definita "Quick Test".

Il confezionamento dei provini cilindrici, con terra coesiva, è relativamente semplice; la terra ha infatti la capacità di sostenersi e di mantenere la forma e le dimensioni imposte (rapporto altezza-diametro mai inferiore a 2).

La fase di compressione viene svolta a velocità di deformazione costante registrando la forza necessaria per ogni millimetro di deformazione verticale (velocità della pressa pari a 1 mm/sec).

Prova di taglio diretto su 3 provini

La prova di taglio diretto consente di determinare, in corrispondenza di una certa pressione verticale applicata, la resistenza al taglio di un campione di terra coerente o incoerente, lungo il piano orizzontale mediano.

Tale prova che generalmente viene effettuata in condizioni drenate, trova utili applicazioni laddove si ritenga possibile la rottura del terreno secondo piani di scorrimento predeterminati.

La prova può essere condotta su campioni di terra indisturbati o ricostituiti in laboratorio.

I terreni di natura generalmente granulare, vengono preparati con un grado di addensamento prefissato.

La scatola di taglio è composta di due parti distinte e separabili.

Durante la preparazione del provino le due parti vengono rese rigidamente solidali, con due viti, poste simmetricamente rispetto al centro della scatola.

La scatola viene quindi posta sull'apparecchio di prova, e sul provino viene applicato istantaneamente il carico verticale di consolidazione.

Si segue lo sviluppo dell'abbassamento nel tempo del provino, fino al completo esaurimento della consolidazione primaria: tale tempo è ridotto nei terreni granulari, mentre risulta assai lungo nei terreni coesivi.

Ultimata la consolidazione e prima di iniziare la fase di taglio, si procede allo sbloccaggio ed al distanziamento, in senso verticale (1 mm), delle due parti costituenti la scatola di contenimento del campione.

Azzerato il micrometro per la misura degli spostamenti orizzontali e sistemato l'anello dinamometrico del contrasto, viene iniziato lo scorrimento relativo tra le due parti della scatola a velocità controllata.

L'anello dinamometrico consente, in ogni istante della prova, di determinare la forza resistente che si sviluppa lungo il piano di scorrimento mediano del campione.

Questa procedura viene eseguita su tre provini dello stesso campione, variando solo la pressione verticale di consolidazione in ordine crescente.

I valori rilevati di pressione verticale e sforzo di taglio per ciascun provino, consentono di tracciare sul piano di Mhor la retta involuppo di rottura, e determinare quindi l'angolo di attrito interno.

Granulometria

La granulometria di un terreno, rappresenta l'assortimento, sotto l'aspetto dimensionale, delle varie particelle che lo compongono.

Per le rocce sciolte, si considerano due grandi classi granulometriche:

Classe superiore, (frazione a grana grossa o molto grossa) le cui particelle sono trattenute al setaccio ASTM n. 200 con maglia da 0,075 mm;

Classe inferiore, (frazione a grana fine o molto fine) le cui particelle passano attraverso le maglie del suddetto setaccio.

Il procedimento di analisi granulometrica è diverso per le due classi; per la classe superiore si esegue una setacciatura meccanica, con vagli di dimensioni decrescenti, mentre per quella inferiore si adotta il procedimento per sedimentazione aerometrica.

9.5 Risultati delle analisi di laboratorio

Nel corso del sondaggio geognostico eseguito, sono stati prelevati i seguenti campioni indisturbati, da sottoporre ad analisi di laboratorio:

- Ost 1 (da -8,40 mt a -9,00 mt);
- Ost 2 (da 18,40 mt a -19,00 mt);
- Ost 3 (da -33,00 mt a -33,70 mt);
- Ost 4 (da 39,40 mt a -40,00 mt).

Nella tabella seguente vengono riassunti i risultati delle analisi effettuate sui campioni OST 1 e OST 2.

Caratteristiche		Campione OST1	Campione OST2	
Umidità naturale	W	35.033	32.498	%
Massa volumica umida	g	1903.39	1881.89	kg/m ³
Massa volumica secca	g _d	1409.57	1420.32	kg/m ³
Massa specifica dei grani	Gs	2772,81	2789,39	kg/m ³
Limite liquido	LL	34	27	%
Limite plastico	LP	22	19	%
Indice plastico	IP	12	8	%
Indice dei vuoti	e	0.97	0.96	
Porosità	N	49.16	49.08	%
Umidità di saturazione	Ws	34.88	34.56	%
Grado di saturazione	Sr	100.44	94.04	%
Pocket p.		0.80	0.70	kg/cm ²
Vane test		0.24	0.20	kg/cm ²

Su entrambi questi campioni è stata inoltre eseguita una prova edometrica I.L. (fino ad una pressione di 1600 kPa con tabella di e_0 , Cc (per tutti i gradini di carico) e una prova di compressione ad espansione libera, le cui elaborazioni dettagliate sono riportate negli allegati.

Per i campioni Ost 3 ed Ost 4, sono state eseguite prove di taglio diretto consolidate drenate e un'analisi granulometrica sul campione Ost 3, dettagliate negli allegati, mentre nella tabella seguente vengono riassunti i risultati principali.

Prova di taglio diretto C.D.		Campione OST3	Campione OST4	
Sforzo a rottura				
Coesione in condizioni drenate	c'	10.38	12.80	kPa
Angolo di attrito in condizioni drenate	ϕ'	34.25	39.74	°sess.

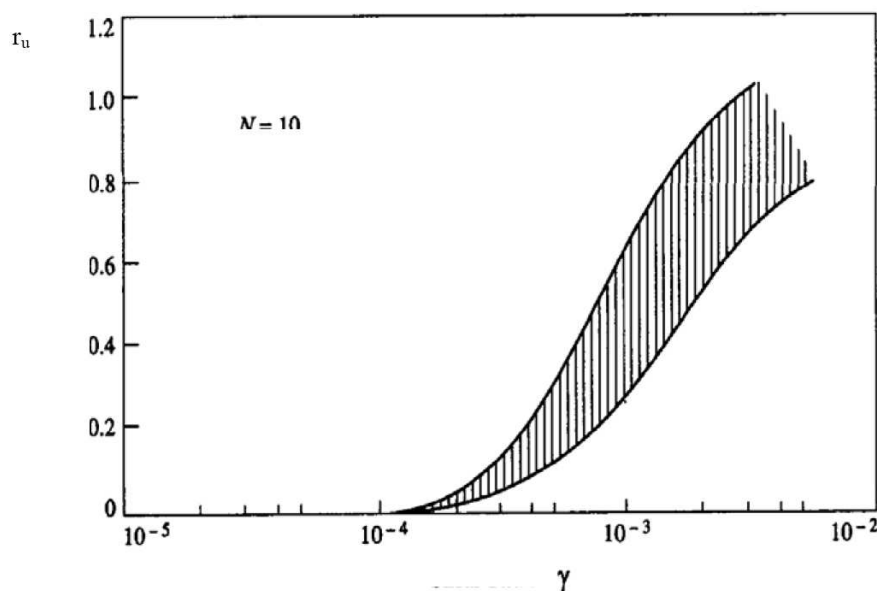
I risultati completi delle analisi geotecniche di laboratorio sono riportati negli **allegati 7-27**.

10. VERIFICA CEDIMENTI POSTSISMICI NEI TERRENI COESIVI

La presente verifica deve contenere quanto previsto dalla Nota Provinciale Prot. 110083/05 del 29/11/2005, che richiama la “Valutazione di compatibilità delle previsioni con la riduzione del rischio sismico e con le esigenze di Protezione Civile”, prevista dalla Delibera di Giunta Regionale n. 1677/05; deve inoltre essere conforme ai contenuti dell’“Atto di indirizzo e coordinamento tecnico” approvato dall’Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna con Delibera n. 112 del 2 maggio 2007.

I cedimenti post-sismici dei terreni coesivi molto soffici ($c_u \leq 70 \text{kPa}$) e plastici ($IP \geq 30\%$), dovuti a fenomeni di riconsolidazione conseguenti alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante un terremoto risulta essere significativo, ai fini ingegneristici, solo se il rapporto dell’incremento delle pressioni interstiziali $r_u = \Delta u / \sigma'_{v0}$ è maggiore o uguale a 0.3.

Tale rapporto può essere valutato dal grafico riportato nella figura seguente.



Valutazione dell’incremento di pressioni neutre normalizzato ($r_u = \Delta u / \sigma'_{v0}$) in funzione della deformazione indotta dal sisma di progetto (Dobry, 1989) [11].

Per valutare se negli orizzonti coesivi soffici possano sussistere condizioni legate a fenomeni di riconsolidazione, significativi ai fini ingegneristici e conseguenti alla dissipazione delle pressioni interstiziali che potrebbero accumularsi dopo un eventuale terremoto, sono state condotte analisi di laboratorio sui campioni indisturbati Ost 1 (da -8,40 mt a -9,00 mt) e Ost 2 (da 18,40 mt a -19,00 mt), rappresentativi degli orizzonti a natura maggiormente coesiva.

Nel seguito vengono brevemente riassunti i risultati, per quanto riguarda i limiti di consistenza.

	Campione OST1		Campione OST2	
Limite liquido	LL	34	27	%
Limite plastico	LP	22	19	%
Indice plastico	IP	12	8	%
Pocket p.		0.80	0.70	kg/cm ²
Vane test		0.24	0.20	kg/cm ²

Poiché in entrambi i campioni, risulta $I_p < 30\%$ e analizzando la situazione stratigrafica del sottosuolo indagato, non sono presenti orizzonti coesivi soffici importanti, in accordo con l'Atto di indirizzo, non è necessario procedere alla valutazione del rapporto dell'incremento delle pressioni interstiziali $r_u = \Delta u / \sigma'_{vo}$ e quindi dell'insorgenza di cedimenti postsismici.

11. INDAGINE SISMICA

Ai fini della caratterizzazione sismica dei terreni, in data 6 ottobre 2011 è stata condotta un'indagine sismica mediante il metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves) attivo e passivo, atta alla classificazione del sito in esame, ai sensi del D.M. 14/01/2008.

Il metodo utilizzato sfrutta le onde di superficie (onde di Rayleigh) e il fenomeno della dispersione delle stesse (variazione della velocità di fase con il variare della frequenza).

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$.

Il metodo dei microtremiti sfrutta il rumore naturale, mentre il metodo MASW sfrutta sorgenti "attive", (massa battente).

Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello tecnico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico), onde ricavare il modello reale.

L'indagine è stata eseguita lungo un asse passante per il punto di sondaggio (cfr. figura 10).

11.1 Modalità Esecutive

Si è optato per l'analisi delle onde di superficie dal momento che tale tecnica ha dimostrato ampiamente la sua affidabilità e la capacità risolutiva.

Il metodo prevede l'utilizzo di strumentazione classica per sismica a rifrazione ad elevata dinamica (24 bits di conversione A/D), con geofoni a bassa frequenza (preferibilmente da 4,5 Hz).

Nella fattispecie per le misure era stato utilizzato un sismografo a 24 canali mod. RAS24 a 24 bits con scarico dei dati direttamente su PC.

Sono state effettuate 10 registrazioni da 30 secondi ciascuna, per il metodo passivo, e 1 registrazione da 2 secondi ciascuna per il metodo attivo.

Utilizzando geofoni di tipo verticale da 4,5 Hz e grazie alla dinamica dello strumento (117 dB di range dinamico), è stata eseguita la registrazione delle onde di superficie con contenuto in frequenza fino a circa 2 Hz.

I dati acquisiti in campagna sono stati elaborati e, grazie ai dati di taratura forniti, è stato possibile ricostruire un modello $V_s/\text{profondità}$ attendibile.

11.2 Risultati e conclusioni

L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino oltre i 30 metri di profondità.

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

L'errore RMS calcolato risulta pari al 0.25 % .

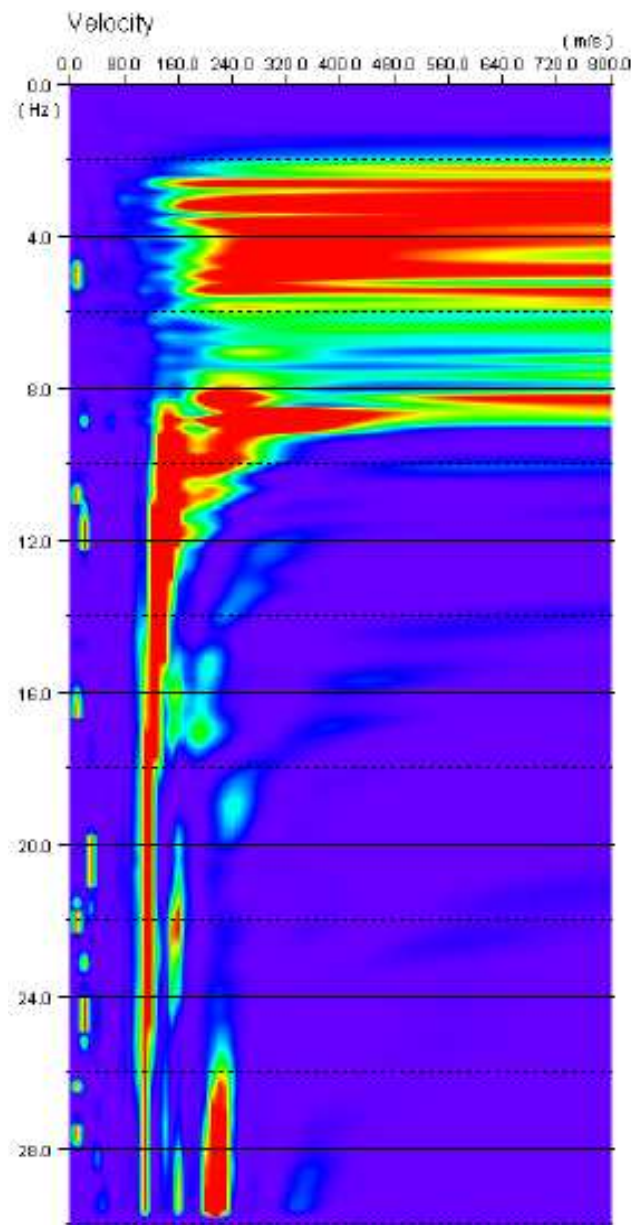


Diagramma 1 - Curva di dispersione cumulativa metodi attivo e passivo

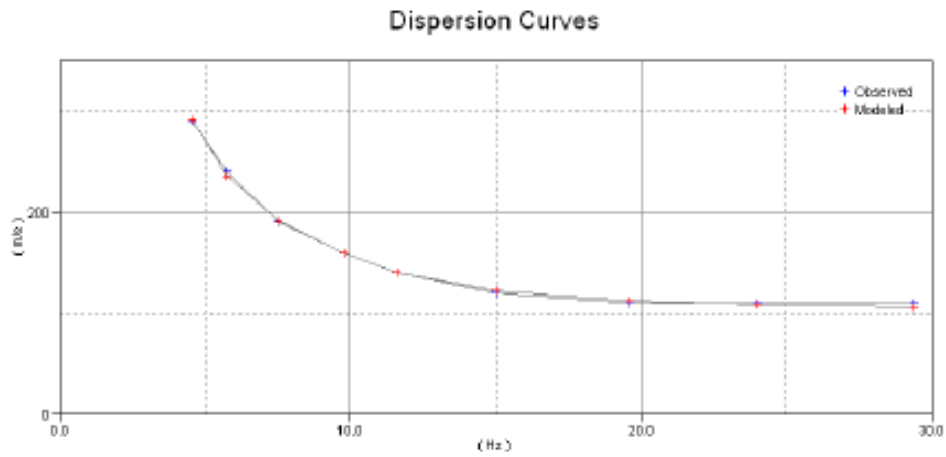


Diagramma 2 - Curva di dispersione misurata (blu) e calcolata (rosso)

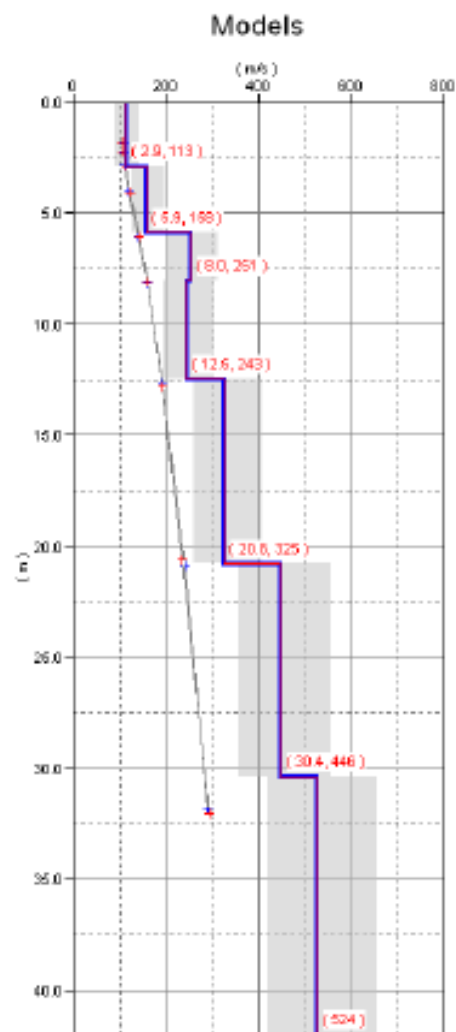
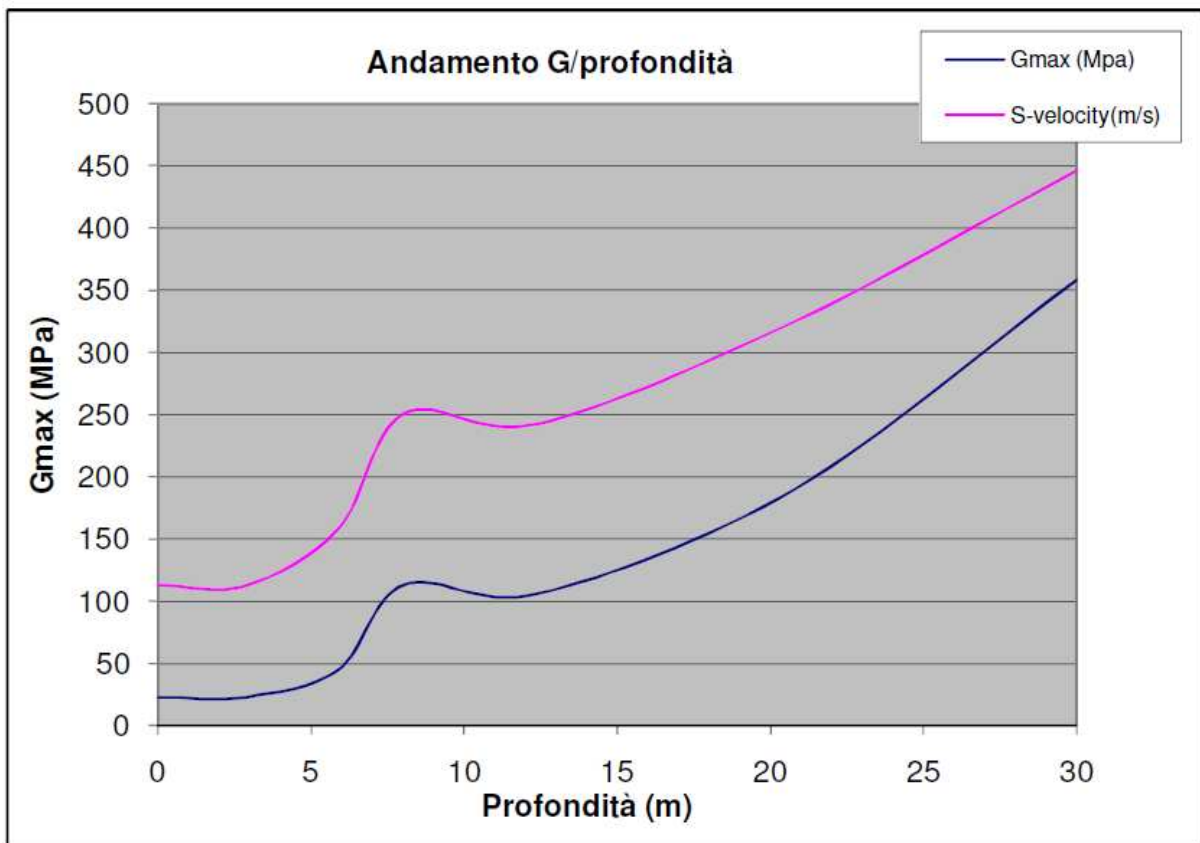


Diagramma 3 – Modello risultante dall'inversione dei dati

Depth(m)	S-velocity(m/s)	Gmax (Mpa)	ρ (t/mc)
0.0	113	23	1.80
2.9	113	23	1.80
5.9	158	45	1.80
8.0	251	113	1.80
12.5	243	106	1.80
20.8	325	190	1.80
30.0	446	358	1.80



Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 2 metri.

11.3 Classificazione secondo NTC 2008

La V_{s30} è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico, risultando $V_{s30} = 255$ m/s, il sito esaminato presenta un suolo tipo C ($S = 1.50$ secondo NTC 2008). Nel seguito vengono inoltre fornite le tabelle per la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico, considerando il 5% di smorzamento della componente orizzontale (NTC 2008), con possibilità di superamento del 10% in 50 anni.

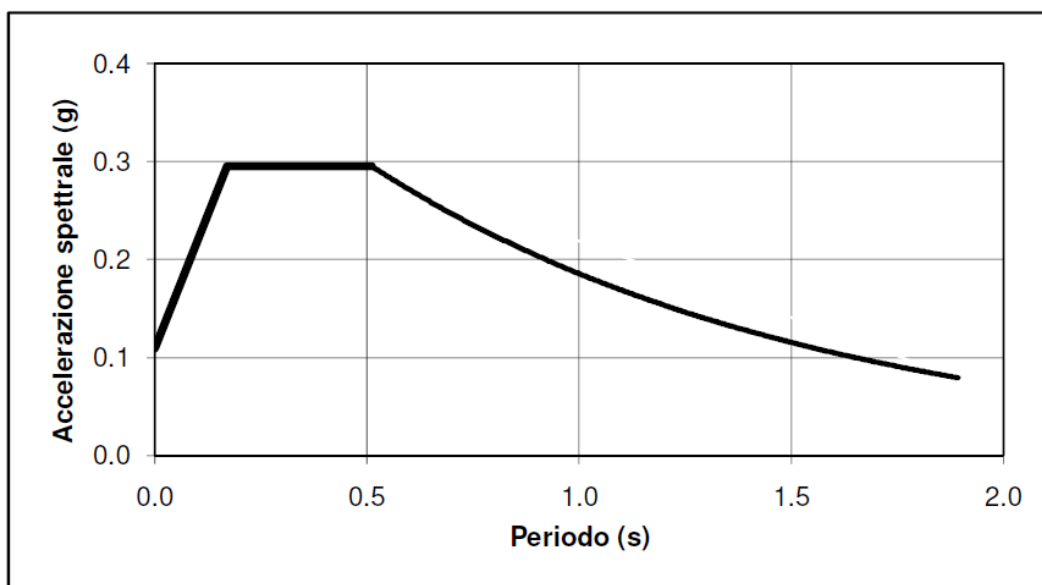
$$T_0 = a_g \times S$$

$$T_b = T_c / 3$$

$$T_c = C_c \times T_c^*$$

$$T_d = 4.0 \times a_g / g + 1.6$$

Ascisse (s)	Ordinate
0.0000	0.1095
0.1704	0.2955
0.5111	0.2955
1.8920	0.0798



Classificazione delle zone di sismicità

Zona	accelerazione orizzontale (a_g/g) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni	accelerazione orizzontale (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (NTC)	Valori di a_g , accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A, da adottare
1	> 0.25	0.35	0.35 g
2	0.15 – 0.25	0.25	0.25 g
3	0.05 – 0.15	0.15	0.15 g
4	< 0.05	0.05	0.05 g

CLASSIFICAZIONE DEL SITO Ordinanza 3274 del 20/03/2003

Località	Pomposa, Comune di Codigoro (FE)
Metodo di indagine	MASW (misura Vr)
Strumentazione utilizzata	Sismografo ABEM RAS-24, 24 canali, 24 bits
Metodo di energizzazione	Rumore naturale + 10 kg
Geometria stendimento	24 geofoni – interasse 2 metri

		Ss	Cc	S= Ss * St
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	1.00	1.00	1.00
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine)	1.20	1.36	1.20
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori ai 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < Cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine)	1.50	1.49	1.50
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori ai 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $70 < Cu_{30}$ kPa nei terreni a grana fine)	1.80	2.13	1.80
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s)	1.60	1.76	1.60
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori ai 100 m/s (ovvero $170 < Cu_{30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	Servono studi speciali		
S2	Deposito di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti			

I parametri a/g , F_0 e T^c vengono forniti dalla normativa

Nella tabella seguente vengono riportate le *Categorie Topografiche*, riferite a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, che devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 metri.

St

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione $i \leq 15^\circ$	1	
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2	Valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2	Valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4	Valore della cresta del rilievo

Ai fini della presente normativa (NTC 2008), le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

In allegato alla norma citata (NTC 2008), per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_0 e T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

I valori dello spostamento orizzontale d_g e della velocità orizzontale v_g massimi del terreno sono dati dalle seguenti espressioni:

$$d_g = 0,025 * S * T_c * T_D * a_g$$

$$v_g = 0,16 * S * T_c * a_g$$

dove:

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di suolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione $S = S_s * S_T$

F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da $T_C = C_c * T_c^*$, dove C_c è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi tabelle precedenti)

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante $T_B = T_C/3$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in

secondi mediante la relazione: $T_D = 4,0 \frac{a_g}{g} + 1,6$

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_s e C_c valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_c^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella tabella sottostante, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

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

Essendo in fase di progettazione è stata inoltre effettuata la ricerca approfondita, per coordinate, come previsto dalle NTC 2008.

Dati sul sito

Latitudine: 44.829996 Longitudine: 12.193489

Dati sulla costruzione

Classe d'uso: 2

Vita Nominale: 50 anni

Coefficiente d'uso: 1

Vita di riferimento: 50 anni

Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (SLV) Periodo di ritorno: 474.561079 (anni)

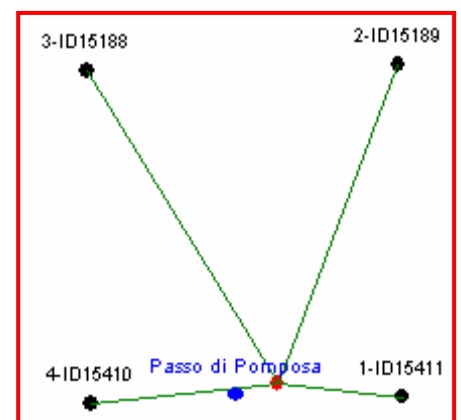
Punti impiegati sulla maglia di riferimento

Primo punto: ID=15411 Lat.=44.828000 Long.=12.222000 Distanza=2.59334 Km

Secondo punto: ID=15189 Lat.=44.878000 Long.=12.221000 Distanza=5.761507 Km

Terzo punto: ID=15188 Lat.=44.877000 Long.=12.150000 Distanza=6.250558 Km

Quarto punto: ID=15410 Lat.=44.827000 Long.=12.151000 Distanza=3.37274 Km



Calcolo eseguito con interpolazione basata sulle distanze

Valori finali calcolati

$a_g = 0.0705 g$

$F_0 = 2.7102$

$T_c^* = 0.3431 \text{ sec}$

11.4 Classificazione del sito (Delibera Regionale n. 112)

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 classificazione territoriale e urbanistica.

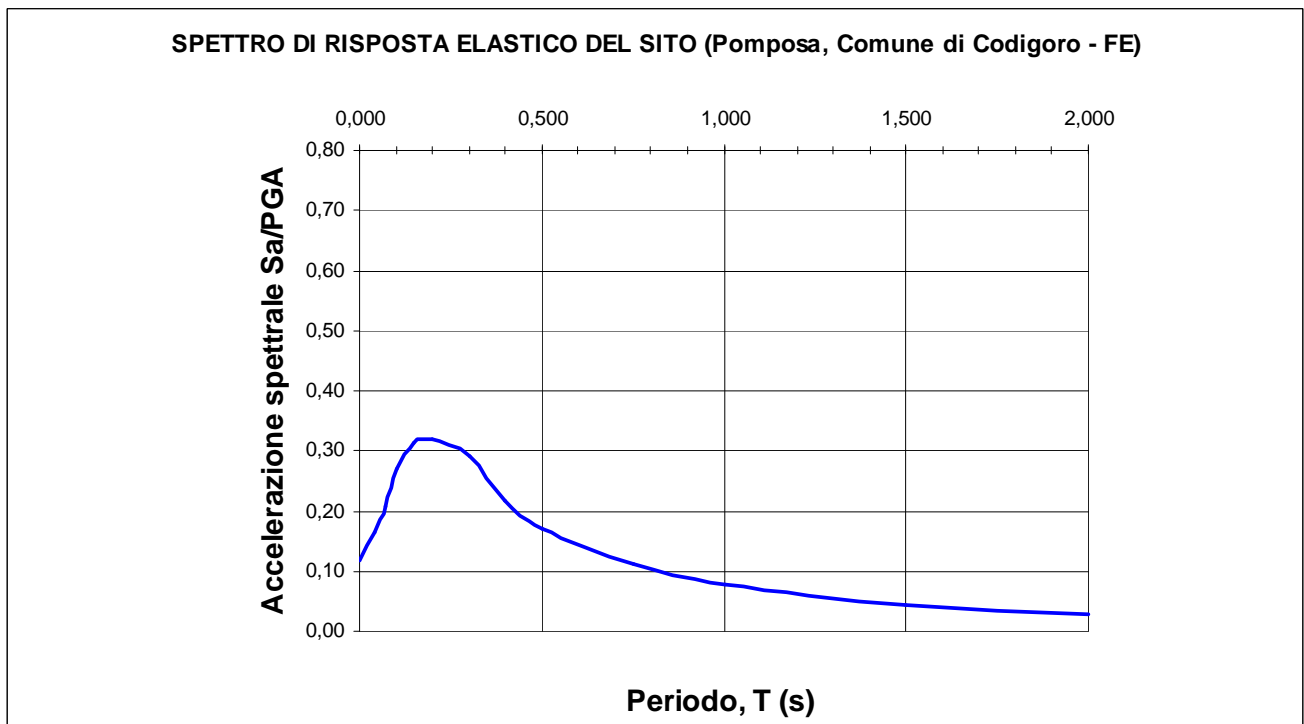
Dalla Tabella 2 dell'Atto di indirizzo n. 112, il Comune di Codigoro (FE) assume un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo a_{refg} 0,079.

Di seguito si riporta la tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica, valida supponendo il substrato profondo (≥ 100 m da p.c.) PIANURA 2.

Vs30	F.A.
200	1.5
250	1.5
300	1.5
350	1.4
400	1.4
450	1.4
500	1.3
600	1.1
700	1.0
800	1.0

Nel seguito viene calcolato lo spettro di riposta elastico 5% smorzamento –componente orizzontale, con possibilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni), dove tale condizione corrisponde allo **stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV)**.

T(s)	Sa/a _{refa}	Sa/a _g
0	1,000	0,119
0,04	1,389	0,165
0,07	1,759	0,208
0,1	2,283	0,271
0,15	2,637	0,312
0,2	2,707	0,321
0,3	2,466	0,292
0,4	1,840	0,218
0,5	1,445	0,171
0,75	0,955	0,113
1	0,645	0,076
1,5	0,355	0,042
2	0,231	0,027



Riassumendo:

Zona sismica di appartenenza: 3

Sottosuolo categoria: C

Accelerazione massima al suolo: $a_{max}: S * a_{refg} = 1,50 * 0,079g = 0,1185g$

(Secondo l'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 classificazione territoriale e urbanistica).

Spostamento e velocità del terreno

I valori dello spostamento e della velocità orizzontali massimi del suolo (d_g) e (v_g), sono dati dalle seguenti espressioni:

$$d_g = 0,025 * S * T_c * T_D * a_g$$

$$v_g = 0,16 * S * T_c * a_g$$

$$T_C = C_c * T_c^* = 1,49 * 0,3431 = 0,511$$

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

per i terreni in esame, risulta:

$$d_g = 0,025 * 1,50 * (1,49 * 0,3431) * (4 * 0,118 + 1,6) * 0,118 * 9,81 = \mathbf{0,0459 \text{ mt (4,59 cm)}}$$

$$v_g = 0,16 * 1,50 * (1,49 * 0,3431) * 0,118 * 9,81 = \mathbf{0,142 \text{ m/s.}}$$

12. PARAMETRI SISMICI

Tramite programma per PC, dopo aver inserito

- le coordinate geografiche del sito in oggetto;
- la vita nominale dell'opera;
- la classe d'uso;
- la tipologia (nel nostro caso fondazioni);
- la categoria di suolo (nel nostro caso C);
- la categoria topografica (nel nostro caso T1)

si passa al calcolo dei coefficienti sismici.

Riassumendo

Latitudine: 44.829996 Longitudine: 12.193489

TIPO DI COSTRUZIONE (opere ordinarie, importanza normale)		2
VITA NOMINALE	V_N	≥50 ANNI
CLASSE D'USO		II
COEFFICIENTE D'USO	C_U	1
PERIODO DI RIFERIMENTO per l'azione sismica $V_R = V_N * C_U$		50 anni

Parametri sismici

Sito in esame:

latitudine: 44.829996

longitudine: 12.193489

Operatività (SLO)

Probabilità di superamento: 81 [%]

Tr: 30 [anni]

a_g : 0,030 [g]

F_0 : 2,511

T_c^* : 0,223 [s]

Danno (SLD)

Probabilità di superamento: 63 [%]

Tr: 50 [anni]

a_g : 0,036 [g]

F_0 : 2,552

T_c^* : 0,269 [s]

Salvaguardia della vita (SLV)

Probabilità di superamento:	10 [%]
Tr:	475 [anni]
a _g :	0,074 [g]
F ₀ :	2,698
T _c [*] :	0,341 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC)

Probabilità di superamento:	5 [%]
Tr:	975 [anni]
a _g :	0,095 [g]
F ₀ :	2,640
T _c [*] :	0,349 [s]

Ottenuti quindi i valori di a_g, F₀, e T_c^{*}, si passa alla valutazione dell'accelerazione massima attesa al sito $A_{max} = a_g * S_s * S_t$

e dei coefficienti sismici orizzontale $k_h = \beta * A_{max} / g$ e verticale $k_v = 0.5 * k_h$.

Elaborazione Stabilità dei pendii, fondazioni

Coefficienti sismici

(SLO)

Ss	:	1,50
Cc	:	1,72
St	:	1,00
kh	:	0,009
kv	:	0,005
Amax	:	0,448
Beta	:	0,200

(SLD)

Ss	:	1,50
Cc	:	1,62
St	:	1,00
kh	:	0,011
kv	:	0,005
Amax	:	0,536
Beta	:	0,200

(SLV)

Ss	:	1,50	
Cc	:	1,50	
St	:	1,00	
kh	:	0,022	<i>coefficiente sismico orizzontale</i>
kv	:	0,011	
Amax	:	1,083	<i>accelerazione massima[m/s²]</i>
Beta	:	0,200	

(SLC)

Ss	:	1,50	
Cc	:	1,49	
St	:	1,00	
kh	:	0,029	
kv	:	0,014	
Amax	:	1,401	
Beta	:	0,240	

Valutazione dell'accelerazione di progetto

FONDAZIONI			
a _g accelerazione orizzontale massima	STATO LIMITE		a _g [g]
	SLU <u>SLV</u>		0,074
	SLU <u>SLC</u>		0,095
	SLE <u>SLO</u>		0,030
	SLE <u>SLD</u>		0,036
Amax (accelerazione massima)	Amax=a _g * S= a _g *Ss*St	0,111 [g] 1,08 [m/s ²]	(per SLV)
Coefficiente sismico orizzontale	Kh = β*Amax[g]	0,022	

Poiché l'accelerazione massima Amax è fornita in [m/s²], dal valore nominale di a_g [g] accelerazione massima attesa al sito, si passa ad a_g [m/s²], moltiplicando per 9.81

Essendo poi Amax = a_g [m/s²]*S , si deve moltiplicare il valore precedentemente trovato * S.

13. PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL TERRITORIO

La pericolosità dell'area in esame è stata effettuata sulla base dell'individuazione di:

- spessori potenzialmente liquefacibili;
- presenza di terreni con caratteristiche portanti scarse;
- condizioni idrogeologiche particolari;
- presenza di rilevati.

Per i terreni in esame, fino alla massima profondità d'indagine (mt. 40,00):

1. sono stati rinvenuti orizzonti a probabili litologie granulari, potenzialmente liquefacibili, compresi tra il piano campagna e i -12,00 metri di profondità;
2. non sono stati rinvenuti livelli significativi, a bassa consistenza;
3. per quanto riguarda le condizioni idrogeologiche, non si segnalano particolari problemi di difficoltà di scolo, in quanto non risulta presente una falda freatica in senso stretto con un flusso prevalente orizzontale, ma solo acqua d'infiltrazione superficiale;
4. non sono presenti rilevati in corrispondenza o nei pressi del sedime dell'opera in progetto.

14. LIQUEFAZIONE

Poiché il territorio in oggetto risulta caratterizzato da andamento orizzontale, gli unici problemi che possono verificarsi in occasione di eventi sismici, sono legati unicamente a particolari caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni costituenti il substrato.

Il fenomeno della liquefazione, interessa sedimenti con falda superficiale, costituiti da materiali granulari fini (limi e sabbie fini) saturi, non consolidati, con granulometria uniforme ($U = \frac{D_{60}}{D_{10}} < 5$) e con densità da media a bassa.

Con l'aumentare della profondità del deposito, diminuisce la probabilità di liquefazione durante l'evento sismico, in quanto vengono richiesti valori di $\langle U \rangle$ sempre più elevati per annullare la pressione litostatica crescente, oltre alla diminuzione dell'intensità delle sollecitazioni indotte dal sisma.

In generale le dimensioni dei granuli di un terreno sabbioso, controllano in maniera determinante il comportamento di questo materiale nei confronti delle sollecitazioni derivanti da vibrazioni.

Le sabbie con granulometrie fini ed uniformi hanno più facilità alla liquefazione, a parità di condizioni, delle sabbie con granulometrie più grossolane e meno uniformemente distribuite.

Il fenomeno si spiega con una maggiore capacità di dissipazione delle tensioni interstiziali che hanno le sabbie con granulometrie più grosse, nei confronti di sabbie con granulometrie più fini.

La maggiore permeabilità infatti, porta come conseguenza diretta una più immediata capacità di dissipazione, delle tensioni che si accumulano a seguito delle tensioni prodotte dal moto vibratorio, mentre la minore permeabilità dei materiali più fini ed uniformi inibisce e rallenta questa capacità.

Il sondaggio eseguito, ha evidenziato orizzonti con presenza di materiali a natura granulare a partire da piano campagna e fino ai 12,00 metri.

Utilizzando quindi le velocità misurate e supponendo la presenza di una percentuale di limo e/o argilla compresa tra il 5% e il 35%, nonché una magnitudo di riferimento $M = 6.14$ (valore indicato dalle ZS9) per la Dorsale Ferrarese), è stato calcolato il coefficiente di sicurezza (previa una "normalizzazione" dei dati per riportarli alla magnitudo di riferimento:

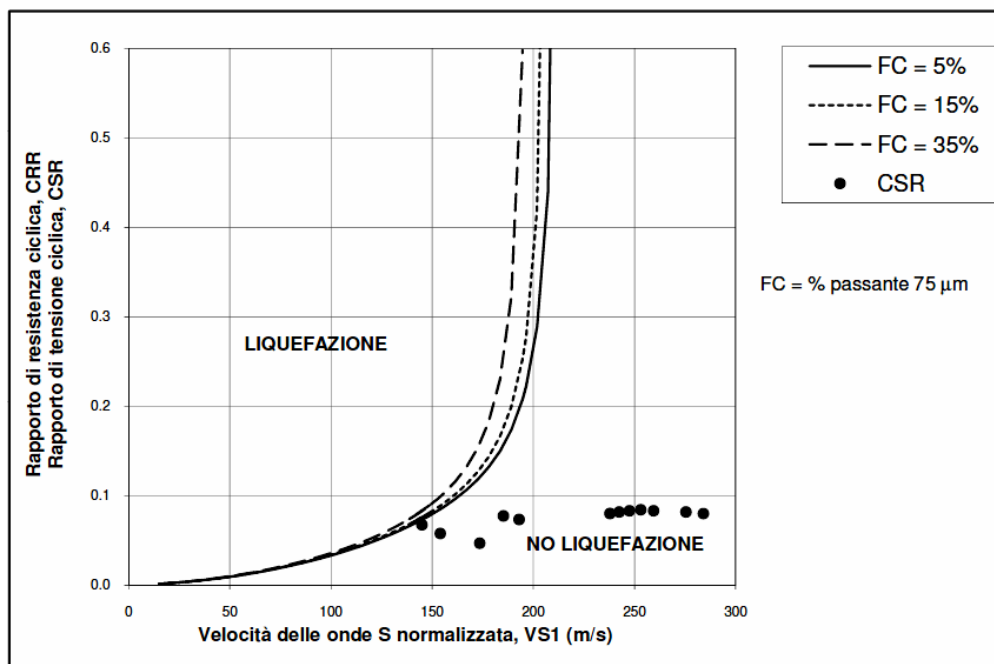
$$F_s = CRR_{7.5} / CSR_{7.5}$$

dove $CRR_{7.5}$ = rapporto di resistenza ciclica (per $M= 7.5$)

$$CSR_{7.5} = \text{rapporto di tensione ciclica (per } M= 7.5)$$

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

profondità (m)	Vs	Vs1	CSR	$F_s = CRR_{7.5}/CSR_{7.5}$
1.0	113	173	0.047	3.93
2.0	113	154	0.058	2.19
3.0	113	145	0.068	1.60
4.0	158	193	0.074	4.51
5.0	158	185	0.077	3.22
6.0	251	284	0.080	2.25
7.0	251	275	0.082	1.93
8.0	243	259	0.083	1.34
9.0	243	253	0.084	1.06
10.0	243	247	0.083	0.80
11.0	243	242	0.082	0.51
12.0	243	238	0.080	0.19



I risultati ottenuti (cfr. grafico e tabella) indicano che per i livelli indagati non vi è, con buona approssimazione, rischio di liquefazione.

15. TIPO DI FONDAZIONI

Per fondazione s'intende una struttura adatta a trasmettere il peso del fabbricato e le altre forze agenti sulla sovrastruttura al terreno. I carichi trasmessi da una struttura al terreno di fondazione non devono superare la massima resistenza al taglio mobilitabile dal terreno stesso.

Nel caso ciò avvenisse la conseguenza sarebbe la rottura degli strati portanti, che si manifesterebbe con ampie deformazioni non tollerabili dalla sovrastruttura.

Il valore della resistenza al taglio massima mobilitabile, e quindi il carico massimo teorico che può essere applicato dal fabbricato, viene definito capacità portante limite del terreno di fondazione.

Le scelte progettuali per le opere di fondazione, dovranno essere fatte contestualmente e congruamente con quelle delle strutture in elevato.

La scelta del tipo di fondazioni da adottare dipenderà:

- dalla disposizione planimetrica dei montanti della costruzione (pilastri, muri continui, ecc.);
- dall'entità dei carichi applicati, in relazione alla capacità portante offerta dai terreni di posa;
- dai cedimenti differenziali ammissibili, e quindi da un'analisi dell'interazione che si svilupperà tra terreno e struttura, nel suo insieme.

Le fondazioni profonde differiscono da quelle superficiali perché trasmettono la loro sollecitazione oltre che sulla base del palo, anche per attrito lungo il fusto.

Fondazioni profonde sono quelle dove, generalmente, il rapporto fra la lunghezza L e il diametro D è superiore a 10.

Le fondazioni dirette o superficiali, sono quelle che trasferiscono l'azione proveniente dalla struttura in elevato, agli strati superficiali del terreno.

La profondità del piano di posa della fondazione deve essere scelta in relazione alle caratteristiche ed alle prestazioni da raggiungere della struttura in elevato, alle caratteristiche dei terreni ed alle condizioni idrogeologiche e posto, se possibile, al di fuori del campo di variazioni significative del contenuto d'acqua del terreno e a profondità tale da non risentire di fenomeni di erosione o scalzamento da parte di acque di scorrimento superficiale.

15.1 Fondazioni profonde

In virtù del carico da applicare e delle caratteristiche dei terreni, il Progettista prevede di utilizzare dei pali trivellati con diametro variabile tra \varnothing 800 mm e \varnothing 1000 mm posati alla profondità **di 36,00 metri dal piano campagna attuale.**

I pali trivellati sono pali messi in opera con asportazione di terreno. Vengono impiegati in terreni incoerenti da mediamente a molto addensati e in terreni coesivi, dove provocano un minor rimaneggiamento rispetto ai pali infissi.

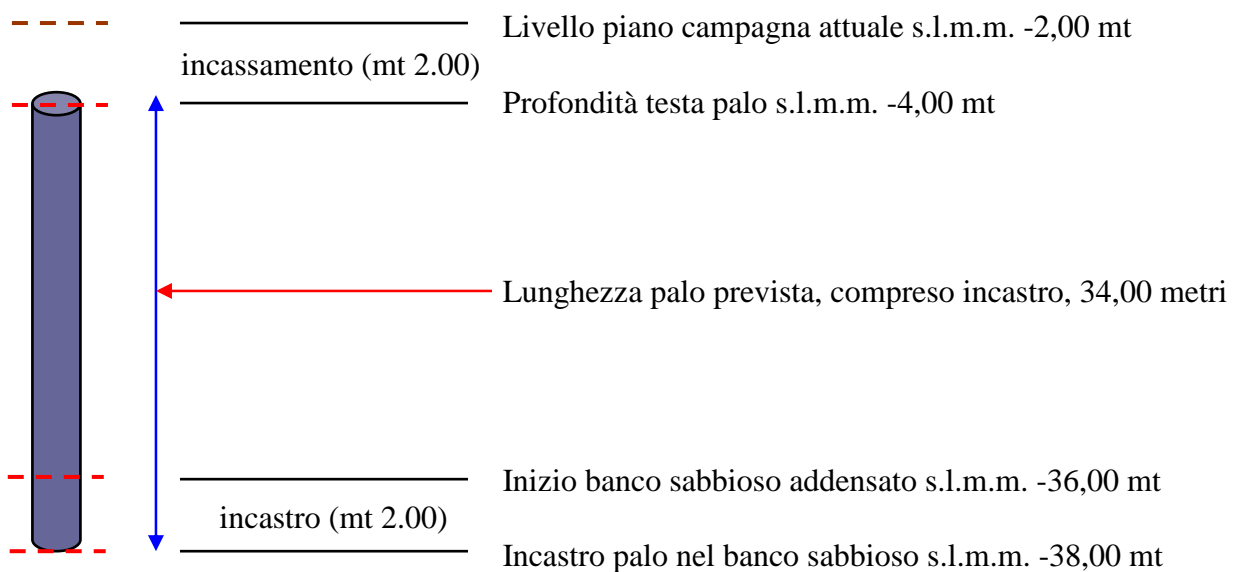
Il calcolo della portanza di un palo trivellato viene eseguito come nel caso di un palo infisso, sommando i contributi di portata della punta del palo e del fusto.

Sono valide in generale le relazioni per i pali infissi, dove, nell'applicare tali relazioni va tenuto presente però che, a causa del disturbo indotto nei livelli incoerenti dall'asportazione del terreno, l'angolo d'attrito palo-terreno viene posto generalmente inferiore all'angolo di attrito del terreno.

Spesso nella pratica si pone $\varphi' = \varphi - 3$, dove φ è l'angolo d'attrito del terreno prima della messa in opera del palo.

Per sfruttare al meglio la portata di punta (Q_p), la profondità dei pali dovrà tener conto delle migliori caratteristiche del livello sabbioso, evidenziato dalle indagini effettuate e presente a partire dai -34,00 metri circa (si prevede di incastrare i pali per almeno 2,00 metri nel livello sabbioso addensato).

In virtù dell'incassamento dei pali pari a -2,00 metri dal piano campagna, la lunghezza finita dei pali risulta pari a 34,00 metri, prevedendo una perforazione di -36,00 metri dal piano campagna.



La profondità di posa è stata scelta in corrispondenza delle migliori caratteristiche del banco sabbioso, comprese mediamente tra $-2D$ e $+2D$ (con D = diametro del palo).

CALCOLO DI UN PALO DATI DI PROGETTO
--

Carico assiale: carico permanente sfavorevole $G = 50$ ton (490 kN)

Carico accidentale sfavorevole $Q =$ n.d. kN

Palo Trivellato: diametro $D = 0.80$ metri

Lunghezza prevista $L = 34.00$ metri

Incassamento $I = 2.00$ metri

Peso immerso del palo $W' = 255$ kN

$$W' = 3.14 * 0.40^2 m * [34.00 m * (24-9) kN/mc] = 255,00 \text{ kN}$$

24 kN/mc = peso di volume del calcestruzzo

14 kN/mc peso di volume del terreno fuori falda

19 kN/mc peso di volume saturo del terreno

Peso di volume del terreno immerso $\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{acqua}} = 19 - 10 = 9$ kN/mc

10 kN/mc peso di volume dell'acqua

Stratigrafia media del terreno: falda a -1.50 metri dal p.c.

0.00m -33.70m **alternanze di argille limose-limi argillosi**

Peso di volume saturo $\gamma_{\text{sat}} = 19$ kN/mc

Peso di volume immerso $\gamma' = 9$ kN/mc

Coesione $c_u = 24,51$ kN/m²

Angolo di attrito $\varphi = 0^\circ$

33.70m -40.00m **sabbie addensate**

Peso di volume saturo $\gamma_{\text{sat}} = 19$ kN/mc

Peso di volume immerso $\gamma' = 9$ kN/mc

Coesione $c' = 0$ kN/m²

Angolo di attrito $\varphi'_k = 39^\circ - 3^\circ = 36^\circ$ (cautelativo)

METODO TRADIZIONALE (D.M. 11.03.1988)

Portata limite del palo $Q_{lim} = Q_p + \Sigma Q_{li}$

Portata limite di punta $Q_p = A_p * N_q * \sigma'_v$

$A_p = 0,50 \text{ m}^2$

$N_q = 18$ (secondo Berezantev, 1963 per $\varphi' 36^\circ$)

$\sigma'_v = 19 \text{ kN/m}^3 * 1,50 \text{ m} + (19-10) \text{ kN/m}^3 * 32,50 \text{ m} = 321 \text{ kN/m}^2$ (32,73 ton/m²)

$Q_p = 0,50 \text{ (m}^2) * 18 * 321 \text{ (kN/m}^2) = 2889 \text{ kN (294 ton)}$

Dall'analisi critica della stratigrafia del sondaggio eseguito, dove sono presenti alternanze di terreni coesivi e terreni granulari, per il calcolo della Portata laterale, ai fini cautelativi viene considerata L (lunghezza del tratto di palo soggetto all'attrito laterale), pari alla metà dello strato di terreno dotato di coesione [(33,00mt - 2,00 mt) / 2].

La portata limite laterale viene calcolata solo per il tratto di terreno soggetto a coesione, trascurando l'effetto della portata per attrito laterale, del tratto di terreno a natura granulare.

Portata limite laterale $Q_l = A_s * \alpha * c_u'$ (*solo terreno coesivo*)

$L = 15,50 \text{ mt}$

Superficie laterale del palo $A_s = \pi * D * L = 38,90 \text{ m}^2$

Valore medio della coesione non drenata $c_u = \frac{0,25 * 15,50}{2} = 1,94 \text{ kg/cm}^2$ (19,4 ton/m²)

$\alpha = 0,90$ (coefficiente dipendente dal tipo di terreno e dal metodo di installazione del palo)

$Q_l = 38,90 \text{ m}^2 * 0,90 * 19,4 \text{ ton/m}^2 = 679,19 \text{ ton (6660 kN)}$

$Q_l = 6660 \text{ kN (679 ton)}$

Portata limite del palo $Q_{lim} = Q_p + Q_l = 1248 + (2889+6660) = 9549 \text{ kN}$

Portata limite del palo $Q_{lim} = 9549 \text{ kN (973 ton)}$

$$\text{Portata ammissibile} = Q_{amm} = \frac{Q_{lim}}{FS} - W' = \frac{9549}{3} - 255 = 2929 \text{ kN (298 ton)}$$

$$Q_{amm} = 2929 \text{ kN (298,00 ton)}$$

Massimo carico di esercizio

$$N_{max} = (W' + G + Q) = 255 + 490 = 745 \text{ kN}$$

$$N_{max} (G + Q) < Q_{amm} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

G = carico permanente sfavorevole

Q = carico accidentale sfavorevole

NTC 2008 Approccio 1 Combinazione 1 STR (A1+M1+R1)

Portata caratteristica del palo

$$R_{c,k, \text{ punta}} = \frac{Qp}{\xi_3} = \frac{2889 \text{ kN}}{1,7} = 1699 \text{ kN}$$

$$R_{c,k, \text{ laterale}} = \frac{Ql}{\xi_4} = \frac{6660 \text{ kN}}{1,7} = 3917 \text{ kN}$$

ξ_3, ξ_4 = coefficienti in funzione del numero delle verticali d'indagine (entrambi = 1,7)

Calcolo della resistenza di progetto

Resistenza	Valore (kN)	Simbolo (γ_r)	Pali trivellati	Rd (kN)
Punta	1699	γ_b	1,0	1699
Laterale (in compressione)	3917	γ_s	1,0	3917
POTATA TOTALE DI PROGETTO				5616

$$R_d = \frac{Rk_{punta} + Rk_{laterale}}{\gamma_r} = 5616 \text{ kN}$$

Calcolo azione di progetto

Ed = Carichi x coefficienti (A1)

$$Ed = (W' * \gamma_g + G * \gamma_g + Q * \gamma_q) \text{ kN}$$

$$Ed = 255 * 1,3 + 490 * 1,3 = 968,5 \text{ kN}$$

Ed ≤ Rd Verifica soddisfatta

NTC 2008 Approccio 1 Combinazione 2 GEO (A2+M1+R2)

Portata caratteristica del palo

$$R_{c,k, \text{ punta}} = \frac{Q_p}{\xi_3} = \frac{2889 \text{ kN}}{1,7} = 1699 \text{ kN}$$

$$R_{c,k, \text{ laterale}} = \frac{Q_l}{\xi_4} = \frac{6660 \text{ kN}}{1,7} = 3917 \text{ kN}$$

Portata di progetto del palo

Resistenza	Valore (kN)	Simbolo (γ_r)	Pali trivellati	Rd (kN)
Punta	1699	γ_b	1,7	999
Laterale (in compressione)	3917	γ_s	1,45	2701
POTATA TOTALE DI PROGETTO				3700

$$Rd = \frac{Rk_{\text{punta}} + Rk_{\text{laterale}}}{\gamma_r} = 3700 \text{ kN}$$

Calcolo azione di progetto

Ed = Carichi x coefficienti (A2)

$$Ed = (W' * \gamma_g + G * \gamma_g + Q * \gamma_q) \text{ kN}$$

$$Ed = 255 * 1,0 + 490 * 1,0 = 745 \text{ kN}$$

Ed ≤ Rd Verifica soddisfatta

NTC 2008 Approccio 2 Combinazione GEO (A1+M1+R3)

Calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

Portata caratteristica del palo

$$R_{c,k, \text{ punta}} = \frac{Qp}{\xi_3} = \frac{2889kN}{1,7} = 1699 \text{ kN}$$

$$R_{c,k, \text{ laterale}} = \frac{Ql}{\xi_4} = \frac{6660kN}{1,7} = 3917 \text{ kN}$$

ξ_3, ξ_4 = coefficienti in funzione del numero delle verticali d'indagine (entrambi = 1,7)

Portata di progetto del palo

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_r} = \frac{1699}{1,7} + \frac{3917}{1,45} = 3700 \text{ kN}$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = 3700 \text{ kN (377 ton)}$$

Calcolo azione di progetto

Ed = Carichi x coefficienti (A1)

Carichi	Effetto	Coef. Parz. (γ_F o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevoli	γ_{g1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali	Favorevoli	γ_{g2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevoli	γ_q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

$$Ed = (W' * \gamma_g + G * \gamma_g + Q * \gamma_q) \text{ kN}$$

$$Ed = 255 * 1,3 + 490 * 1,3 = 968,5 \text{ kN}$$

$$Ed \leq R_d \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

16. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La modellazione geologica del sito, oggetto del presente lavoro, dovrà essere orientata alla ricostruzione dei caratteri strutturali, geologici, altimetrici, geomorfologici, litologici, idrogeologici e, più in generale di pericolosità geologica del territorio.

Deve, quindi, essere sviluppata in modo da costituire utile elemento di riferimento per l'inquadramento, da parte del progettista, delle problematiche geotecniche a piccola e grande scala e del programma delle indagini.

Il modello geologico di riferimento sarà validato e supportato da indagini specifiche in funzione dell'importanza dell'opera.

Per la Salvaguardia Ambientale e Riassetto Irriguo del Comprensorio di Bonifica Pianura di Ferrara, il Progetto di adeguamento del sistema Irriguo delle Valli *Giralda-Gaffaro-Falce*, ha previsto la costruzione di una nuova torre piezometrica.

La presente relazione viene redatta su incarico e per conto della Committenza, per verificare l'idoneità litostratigrafica, fornendo una parametrizzazione geotecnica e sismica dei terreni interessati dall'opera in progetto.

Con l'entrata in vigore del nuovo D.M. "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", che ha recepito l'OPCM 3519 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche*", il Comune di Codigoro è stato confermato in zona 3 cioè:

- accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico secondo Norme Tecniche (a_g/g) pari a 0,15.
- accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A pari a 0,15g;

Al fine di caratterizzare il sito in esame secondo i vari aspetti (geologico, geotecnico e sismico) in accordo con il Progettista, le indagini previste sono state commisurate e posizionate in modo da fornire un quadro, il più possibile esaustivo, della zona in esame.

E' stata quindi programmata ed eseguita:

- un'indagine sismica con metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves) attivo e passivo, atta alla classificazione, ai sensi del D.M. 14/01/2008;
- un sondaggio geognostico con prelievo di campioni indisturbati, previsto a 30 metri ed eseguito, in corso d'opera, alla profondità di 40,00 metri dal piano campagna.

Si riporta una descrizione sommaria delle caratteristiche litologiche dei terreni, dettagliate nei paragrafi e negli allegati riportati nella presente relazione.

Da p.d.c. (piano di campagna), a -6,50 mt

Superato il terreno agrario superficiale, sono presenti sabbie medio-fini, con livelli decimetrici di sabbie-limose e limi-sabbiosi;

da -6,50 mt a -12,00 mt

limi debolmente sabbiosi con alternanze decimetriche di argille debolmente limose e limi sabbiosi;

da -12,00 mt a -26,00 mt

argille limose-limi argillosi, con alternanze centimetriche di sabbie debolmente limose e limi argillosi (da -21,00 mt a -23,35 mt);

da -26,00 mt a -33,00 mt

limi argillosi a tratti debolmente sabbiosi;

da -33,00 mt a -40,00 mt

sabbie da medie a grosse, a tratti debolmente limose.

Durante le varie fasi di esecuzione del sondaggio è stata rilevata a più riprese la posizione della tavola d'acqua superficiale, e presente mediamente a -1,50 metri dal piano campagna (ottobre 2011).

Per la caratterizzazione sismica dei terreni, in data 6 ottobre 2011 è stata condotta un'indagine sismica mediante il metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves) attivo e passivo, atta alla classificazione del sito in esame, secondo le NTC 2008.

L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino ad oltre 30 metri di profondità.

La V_{s30} è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico, risultando $V_{s30} = 255$ m/s, il sito esaminato presenta un suolo tipo C ($S = 1.50$).

Suolo di tipo C: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori ai 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < Cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)*

Nei capitoli dedicati vengono inoltre fornite le tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato sia secondo le prescrizioni della OPCM 3274, sia secondo l'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 e urbanistica"

Essendo in fase di progettazione è stata inoltre effettuata la ricerca approfondita, per coordinate, come previsto dalle NTC 2008.

Dati sul sito

Latitudine: 44.829996 Longitudine: 12.193489

Dati sulla costruzione

Classe d'uso: 2

Vita Nominale: 50 anni

Coefficiente d'uso: 1

Vita di riferimento: 50 anni

Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (SLV) Periodo di ritorno: 474.561079 (anni)

Punti impiegati sulla maglia di riferimento

Primo punto: ID=15411 Lat.=44.828000 Long.=12.222000 Distanza=2.59334 Km

Secondo punto: ID=15189 Lat.=44.878000 Long.=12.221000 Distanza=5.761507 Km

Terzo punto: ID=15188 Lat.=44.877000 Long.=12.150000 Distanza=6.250558 Km

Quarto punto: ID=15410 Lat.=44.827000 Long.=12.151000 Distanza=3.37274 Km

Valori finali calcolati

$$a_g = 0.0705 \text{ g}$$

$$F_o = 2.7102$$

$$T_c^* = 0.3431 \text{ sec}$$

Riassumendo:

Zona sismica di appartenenza: 3

Sottosuolo categoria: C

Accelerazione massima al suolo: $a_{\max}: S * a_{\text{refg}} = 1,50 * 0,079\text{g} = 0,1185\text{g}$

(Secondo l'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 classificazione territoriale e urbanistica).

Spostamento e velocità del terreno

I valori dello spostamento e della velocità orizzontali massimi del suolo (d_g) e (v_g), sono dati dalle seguenti espressioni:

$$d_g = 0,025 * S * T_c * T_D * a_g$$

$$v_g = 0,16 * S * T_c * a_g$$

$$T_C = C_c * T_c^* = 1,49 * 0,3431 = 0,511$$

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

per i terreni in esame, risulta:

$$d_g = 0,025 * 1,50 * (1,49 * 0,3431) * (4 * 0,118 + 1,6) * 0,118 * 9,81 = \mathbf{0,0459 \text{ mt (4,59 cm)}}$$

$$v_g = 0,16 * 1,50 * (1,49 * 0,3431) * 0,118 * 9,81 = \mathbf{0,142 \text{ m/s.}}$$

Tramite programma per PC, dopo aver inserito i dati necessari, sono stati ottenuti:

Parametri sismici

Salvaguardia della vita (SLV)

Probabilità di superamento: 10 [%]
Tr: 475 [anni]
a_g: 0,074 [g]
F₀: 2,698
T_c*: 0,341 [s]

Coefficienti sismici

(SLV)

S_s : 1,50
C_c : 1,50
S_t : 1,00
k_h : 0,022 *coefficiente sismico orizzontale*
k_v : 0,011
A_{max} : 1,083 *accelerazione massima[m/s²]*
Beta : 0,200

Valutazione dell'accelerazione di progetto

FONDAZIONI			
a _g accelerazione orizzontale massima	STATO LIMITE		a _g [g]
	SLU <u>SLV</u>		0,074
	SLU <u>SLC</u>		0,095
	SLE <u>SLO</u>		0,030
	SLE <u>SLD</u>		0,036
A _{max} (accelerazione massima)	A _{max} =a _g * S= a _g *S _s *S _t	0,111 [g] 1,08 [m/s ²]	(per SLV)
Coefficiente sismico orizzontale	K _h = β*A _{max} [g]	0,022	

La pericolosità dell'area in esame è stata effettuata sulla base dell'individuazione di:

- spessori potenzialmente liquefacibili;
- presenza di terreni con caratteristiche portanti scarse;
- condizioni idrogeologiche particolari;
- presenza di rilevati.

Per i terreni in esame, fino alla massima profondità d'indagine (mt. 40,00):

1. sono stati rinvenuti orizzonti a probabili litologie granulari, potenzialmente liquefacibili, compresi tra il piano campagna e i -12,00 metri di profondità;
2. non sono stati rinvenuti livelli significativi, a bassa consistenza;
3. per quanto riguarda le condizioni idrogeologiche, non si segnalano particolari problemi di difficoltà di scolo, in quanto non risulta presente una falda freatica in senso stretto con un flusso prevalente orizzontale, ma solo acqua d'infiltrazione superficiale;
4. non sono presenti rilevati in corrispondenza o nei pressi del sedime dell'opera in progetto.

Poiché il territorio in oggetto risulta caratterizzato da andamento orizzontale, gli unici problemi che possono verificarsi in occasione di eventi sismici, sono legati unicamente a particolari caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni costituenti il substrato.

Il sondaggio eseguito, ha evidenziato orizzonti con presenza di materiali a natura granulare a partire da piano campagna e fino ai 12,00 metri.

Utilizzando quindi le velocità misurate e supponendo la presenza di una percentuale di limo e/o argilla compresa tra il 5% e il 35%, nonché una magnitudo di riferimento $M = 6.14$ (valore indicato dalle ZS9) per la Dorsale Ferrarese), è stato calcolato il coefficiente di sicurezza (previa una "normalizzazione" dei dati per riportarli alla magnitudo di riferimento:

I risultati ottenuti, dettagliati nel paragrafo dedicato, indicano che per i livelli indagati non vi è, con buona approssimazione, rischio di liquefazione.

In virtù del carico da applicare e delle caratteristiche dei terreni, il Progettista prevede di utilizzare dei pali trivellati con diametro \varnothing 800 mm, posati alla profondità **di 36,00 metri dal piano campagna attuale.**

In virtù dell'incassamento dei pali pari a -2,00 metri dal piano campagna, la lunghezza finita dei pali risulta pari a 34,00 metri, prevedendo una perforazione di 36,00 metri dal piano campagna.

Sono state quindi eseguite le verifiche per il calcolo di pali, sia con il D.M. 11.03.1988 e sia con le NTC 2008.

1) Secondo D.M. 11.03.1988

$$\text{Portata limite del palo} \quad Q_{\text{lim}} = Q_p + \sum Q_{li}$$

$$\text{Portata limite di punta } Q_p = A_p * N_q * \sigma'_v$$

$$Q_p = 0,50 \text{ (m}^2\text{)} * 18 * 321 \text{ (kN/m}^2\text{)} = 2889 \text{ kN (294 ton)}$$

$$\text{Portata limite laterale } Q_l = A_s * \alpha * c_u \text{ (solo terreno coesivo)}$$

$$Q_l = 38,90 \text{ m}^2 * 0,90 * 19,4 \text{ ton/m}^2 = 679,19 \text{ ton (6660 kN)}$$

$$\text{Portata limite del palo} \quad Q_{\text{lim}} = Q_p + Q_l = 1248 + (2889 + 6660) = 9549 \text{ kN}$$

$$\text{Portata ammissibile} = Q_{\text{amm}} = \frac{Q_{\text{lim}}}{FS} - W' = \frac{9549}{3} - 255 = 2929 \text{ kN (298 ton)}$$

Massimo carico di esercizio

$$N_{\text{max}} = (W' + G + Q) = 255 + 490 = 745 \text{ kN}$$

$$N_{\text{max}} (G + Q) < Q_{\text{amm}} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

2) Secondo NTC 2008 Approccio 1 Combinazione 1 STR (A1+M1+R1)

Portata caratteristica del palo

$$R_{c,k, \text{ punta}} = \frac{Q_p}{\xi_3} = \frac{2889 \text{ kN}}{1,7} = 1699 \text{ kN}$$

$$R_{c,k, \text{ laterale}} = \frac{Q_l}{\xi_4} = \frac{6660 \text{ kN}}{1,7} = 3917 \text{ kN}$$

$$R_d = \frac{Rk_{\text{punta}} + Rk_{\text{laterale}}}{\gamma_r} = 5616 \text{ kN}$$

Calcolo azione di progetto

$$\underline{Ed = Carichi \times coefficienti (A1)}$$

$$Ed = (W' * \gamma_g + G * \gamma_g + Q * \gamma_q) \text{ kN}$$

$$Ed = 255 * 1,3 + 490 * 1,3 = 968,5 \text{ kN}$$

$$\underline{Ed \leq Rd} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

3) Secondo NTC 2008 Approccio 1 Combinazione 2 GEO (A2+M1+R2)

Portata caratteristica del palo

$$R_{c,k, \text{ punta}} = \frac{Qp}{\xi_3} = \frac{2889 \text{ kN}}{1,7} = 1699 \text{ kN}$$

$$R_{c,k, \text{ laterale}} = \frac{Ql}{\xi_4} = \frac{6660 \text{ kN}}{1,7} = 3917 \text{ kN}$$

Portata di progetto del palo

$$Rd = \frac{Rk_{\text{ punta}} + Rk_{\text{ laterale}}}{\gamma_r} = 3700 \text{ kN}$$

Calcolo azione di progetto

$$Ed = Carichi \times coefficienti (A2)$$

$$Ed = (W' * \gamma_g + G * \gamma_g + Q * \gamma_q) \text{ kN}$$

$$Ed = 255 * 1,0 + 490 * 1,0 = 745 \text{ kN}$$

$$\underline{Ed \leq Rd} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

4) Secondo NTC 2008 Approccio 2 Combinazione GEO (A1+M1+R3)

Portata caratteristica del palo

$$R_{c,k, \text{ punta}} = \frac{Qp}{\xi_3} = \frac{2889kN}{1,7} = 1699 \text{ kN}$$

$$R_{c,k, \text{ laterale}} = \frac{Ql}{\xi_4} = \frac{6660kN}{1,7} = 3917 \text{ kN}$$

Portata di progetto del palo

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_r} = \frac{1699}{1,7} + \frac{3917}{1,45} = 3700 \text{ kN}$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = 3700 \text{ kN (377 ton)}$$

Calcolo azione di progetto

Ed = Carichi x coefficienti (A1)

$$Ed = (W' * \gamma_g + G * \gamma_g + Q * \gamma_q) \text{ kN}$$

$$Ed = 255 * 1,3 + 490 * 1,3 = 968,5 \text{ kN}$$

Ed ≤ Rd Verifica soddisfatta

Maggiori dettagli vengono riportati nei paragrafi dedicati, inseriti nella presente relazione.

Ferrara, 4 novembre 2011

Dr. Geol. M. Condotta



ALLEGATI

Pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
sede legale: 44034 Copparo - FE - Viale P. Togliatti n. 6
unità locale: 44030 Corlo - FE - Via Canalazzi n. 13/b - telefono 0532-426021 fax 0532-426521

Committente: Consorzio di bonifica pianura di Ferrara				CAMPIONI: Shelby		Riferimento: 203-11P	Numero: S1						
Cantiere: Pomposa - Codigoro (FE)				Osterberg		Pagina: 1/2							
Indagine: geognostica				Denison		Data: 05/10/2011 06/10/2011							
Stratigrafia da: Sondaggio geognostico				Denison fustella		Responsabile: Dott. Geol. Zanella Fabio							
Codice: S01-0201-023				S.P.T.		Operatore: P.I. Andrea dalla Muta							
				Rimaneggiato		Quota: p.c.							
				PIEZOMETRI: ATA Tubo aperto CSG Casagrande		Falda: non rilevata							
Profondità Scala: 1:100	stratigrafia	campioni			Pocket Kg/cm²	Torvane Kg/cm²	S.P.T.		DESCRIZIONE	Metodo	Rivest.	Falda	Piezo.
		tipo	sigla	quota			quota	colpi					
0									terreno agrario: sabbie limose-limi sabbiosi, granulometria medio-fine e fine. Pale brown				
-0.45									5YR 5/2				0.45
1									sabbie a tratti deb. limose gran. da medio-fine e fine a media. Colore da very pale orange 10yr				1.10
-1.55													
2													
3													
4									sabbie a tratti deb. limose con livelli decimetrici sabbie limose-limi sabbiosi. Gran, media a tratti medio-fine e fine. Med light gray 6				
5													
6													4.95
-6.50													
7									limi deb. sabbiosi a tratti sabbiosi, gran. medio-fine. Medium gray 5				
8													1.90
-8.40				OST1-8.40	1.00	0.480			Campione indisturbato OST1 Da mt 8.40 a mt 9.00				0.60
-9.00				-9.00									
9					0.55	0.250			limi deb. sabbiosi con livello decimetrico di argille limose poco consistenti. Medium gray 5				0.80
-9.80									Livelli centimetrici di argille deb. limose e sabbie limose. Medium gray 5				0.55
-10.35													
10									alternanze decimetriche tra limi sabbiosi e deb. sabbiosi (gran. medio-fine) e sabbie deb. limose a tratti limose (gran. media). Medium e med dark gray				1.65
-12.00													
11					0.40	0.150							
12					0.41	0.150							
13					0.40	0.200			argille limose-limi argillosi a tratti deb. sabbiosi poco consistenti con sporadici livelli centimetrici di sabbie limose. medium gray 5				
14					0.60	0.300							4.70
-16.70					0.60	0.300							
15									argille limose sabbiose e deb. sabbiose, gran. medio-fine. Medium gray 5				0.90
-17.60													
16									limi argillosi - argille limose. Medium gray 5				0.80
-18.40				OST2-18.40	0.60	0.300			Campione indisturbato OST2 da mt 18.40 a mt 19.00				0.60
-19.00				-19.00									
17					0.55	0.250			limi argillosi-argille limose poco consistenti con a tratti livelli centimetrici di sabbie limose. medium gray 5				
18													
19													
20													
note:	Sonda tipo: sonda idraulica a rotazione - Cometria PC-01												

Acquisizione ed elaborazione dati geologici, geotecnici, idrogeologici ed ambientali. Software by Dr.D.Merlin - 0425840820

Pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
sede legale: 44034 Copparo - FE - Viale P.Togliatti n. 6
unità locale: 44030 Corlo - FE - Via Canalazzi n. 13/b - telefono 0532-426021 fax 0532-426521

Committente: Consorzio di bonifica pianura di Ferrara				CAMPIONI: Shelby		Riferimento: 203-11P	Numero: S1							
Cantiere: Pomposa - Codigoro (FE)				Osterberg		Pagina: 2/2								
Indagine: geognostica				Denison		Data: 05/10/2011 06/10/2011								
Stratigrafia da: Sondaggio geognostico		Caranto Tracce fossili Resti organici Concrezioni		PIEZOMETRI: ATA Tubo aperto CSG Casagrande		Responsabile: Dott. Geol. Zanella Fabio								
Codice: S01-0201-023						Operatore: P.I. Andrea dalla Muta								
						Quota: p.c.								
						Falda: non rilevata								
Profondità Scala: 1:100	stratigrafia	campioni			Pocket Kg/cm²	Torvane Kg/cm²	S.P.T.		DESCRIZIONE	Metodo	Rivest.	Falda	Piezo.	
		tipo	sigla	quota			quota	colpi						
20					0.65	0.300			limi argillosi-argille limose poco consistenti con a tratti livelli centimetrici di sabbie limose.					
21	-21.00								medium gray 5				1.00	
22									alternanze centimetriche tra sabbie deb.limose e limose e limi argillosi. Medium gray 5					
23	-23.35												2.35	
24					0.65	0.300								
25					1.35	0.500			argille deb. limose e limose poco consistenti, a tratti argille organiche.Da mt 25.35 a mt 23.55 sabbie deb.limose.Medium e med dark gray 4/5					
26	-26.00				0.90	0.400								
27					1.30	0.500								
28					1.40	0.520							2.65	
29														
30					1.30	0.500			limi argillosi a tratti deb.sabbiosi con sporadici livelli decimetrici di argille limose. Medium gray 5					
31														
32														
33	-33.00												7.00	
34	-33.70								Campione indisturbato OST3 da mt 33.00 a mt 33.70				0.70	
35														
36									sabbie gran. da media a grossa, a tratti deb. limose.					
37									Medium gray 5 e med dark gray 4					
38														
39	-39.40												5.70	
40	-40.00								Campione indisturbato OST4 da mt 39.40 a mt 40.00				0.60	
note:													Sonda tipo: sonda idraulica a rotazione - Cometria PC-01	

Software by Dr.D.Merlin - 0425840820

Acquisizione ed elaborazione dati geologici, geotecnici, idrogeologici ed ambientali.

Progetto di adeguamento del sistema Irriguo delle Valli Giralda-Gaffaro-Falce. Indagini geologiche e sismiche sui terreni ubicati in via Strada Giralda Ovest, in località Pomposa nel Comune di Codigoro (FE) per il progetto di una torre piezometrica.

SONDAGGIO 1 (40,00 metri)



Comm: Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)

Località: Pomposa-Codigoro (FE)

Data: 5/09/2011

Cassa n° 1 Prof. da mt. 0,00 a mt. -5,00



Comm: Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)

Località: Pomposa-Codigoro (FE)

Data: 5/09/2011

Cassa n° 2 Prof. da mt. -5,00 a mt. -10,00





Comm: Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
Località: Pomposa-Codigoro (FE)
Data: 5/09/2011
Cassa n° 3 Prof. da mt. -10,00 a mt. -15,00



Comm: Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
Località: Pomposa-Codigoro (FE)
Data: 5/09/2011
Cassa n° 4 Prof. da mt. -15,00 a mt. -20,00





Comm: Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
Località: Pomposa-Codigoro (FE)
Data: 6/09/2011
Cassa n° 5 Prof. da mt. -20,00 a mt. -25,00



Comm: Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
Località: Pomposa-Codigoro (FE)
Data: 6/09/2011
Cassa n° 6 Prof. da mt. -25,00 a mt. -30,00





Comm: Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
Località: Pomposa-Codigoro (FE)
Data: 6/09/2011
Cassa n° 7 Prof. da mt. -30,00 a mt. -33,00



Dai -33,00 metri, si è proseguito il sondaggio analizzando la stratigrafia, costituita da sabbie medie e grosse, a tratti debolmente limose, prelevando due campioni inurbati a profondità comprese tra -33,00 metri e -33,70 metri e tra -39,40 metri e .40,00 metri.



Determinazione del peso di volume mediante fustella tarata

Pagina 1 di 1

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-2

Certificato: 7642
Verbale: 756
Committente: Condotta Dott. Marco
Località: Codigoro - Pomposa
Cantiere: Strada Giralda Ovest
Sondaggio: -
Campione: OST1
Profondità: 8.40 - 9.00
Data ricevimento: 07/10/2011
Data inizio prove: 07/10/2011
Data fine prove: 10/10/2011
Data certificazione: 20/10/2011
Data apertura campione: 07/10/2011
Classe campione: Q4

Massa tara (g): 71,67
Massa Campione umido + tara (g): 100
Massa Campione secco + tara (g): 92,65
Volume fustella tarata (cm³): 14,884

Umidità naturale (%): 35,033
Massa Volumica umida (kg/m³): 1903,39
Massa Volumica secca (kg/m³): 1409,57

note:

Direttore

Sperimentatore

40068 San Lazzaro di Savena (BO) Via della Tecnica 57/A4
Tel 051 6253377 Fax 051 4898378
Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE



GEOTECA s.r.l.

Laboratorio Geotecnico
Accreditato presso Ministero Lavori Pubblici

Peso specifico dei grani

Pagina 1 di 1

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-3

Certificato:	7643
Verbale:	756
Committente:	Condotta Dott. Marco
Località:	Codigoro - Pomposa
Cantiere:	Strada Giralda Ovest
Sondaggio:	-
Campione:	OST1
Profondità:	8.40 - 9.00
Data ricevimento:	07/10/2011
Data inizio prove:	07/10/2011
Data fine prove:	14/10/2011
Data certificazione:	20/10/2011
Data apertura campione:	07/10/2011
Classe campione:	Q4
Massa Tara (g):	71,67
Massa campione umido + Tara (g):	100,00
Massa Campione secco + Tara (g):	92,65
Massa picnometro + campione (g):	121,27
Massa picnometro + tappo + acqua (g):	193,59
Massa pic. + tappo + acqua + camp. (g):	230,50
Umidità naturale (%):	35,03
Massa volumica umida kg/m ³ :	1903,39
Massa volumica secca kg/m ³ :	1409,57
Massa specifica dei grani kg/m³:	2772,81
Indice dei vuoti	0,97
Porosità (%):	49,16
Umidità di saturazione (%):	34,88
Grado di saturazione (%):	100,44

note:

Direttore

Sperimentatore

40068 San Lazzaro di Savena (BO) Via della Tecnica 57/A4
Tel 051 6252377 Fax 051 4998378
Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE



LIMITI
Pagina 1 di 1
Normativa di riferimento: CNR-UNI 10014 - BS1377

Certificato: 7644
Verbale: 756
Committente: Condotta Dott. Marco
Località: Codigoro - Pomposa
Cantiere: Strada Giralda Ovest
Sondaggio: -
Campione: OST1
Profondità: 8.40 - 9.00
Data ricevimento: 07/10/2011
Data inizio prove: 07/10/2011
Data fine prove: 14/10/2011
Data certificazione: 20/10/2011
Data apertura campione: 07/10/2011
Classe campione: Q4

Numero colpi: 15
Massa tara (g): 72,07
Massa Campione umido + tara (g): 132,21
Massa Campione secco + tara (g): 116,14
Limite liquido (%): 34

Massa tara (g): 70,63
Massa Campione umido + tara (g): 81,09
Massa Campione secco + tara (g): 79,20
Limite Plastico (%): 22

	Provino1	Provino2
Massa Campione umido + tara (g):		
Massa Campione secco + tara (g):		
Massa tara (g):		
Volume tara (cm ³):		
Volume mercurio (cm ³):		
Massa campione umido (g):		
Massa Campione secco (g):		
Limite di Ritiro (%):		
Media:		

Lunghezza iniziale (mm):
Lunghezza finale (mm):
Ritiro lineare (%):

Direttore

Sperimentatore

40068 San Lazzaro di Savena (BO) Via della Tecnica, 67/A4
Tel 051 6285377 Fax 051 4998378
Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE

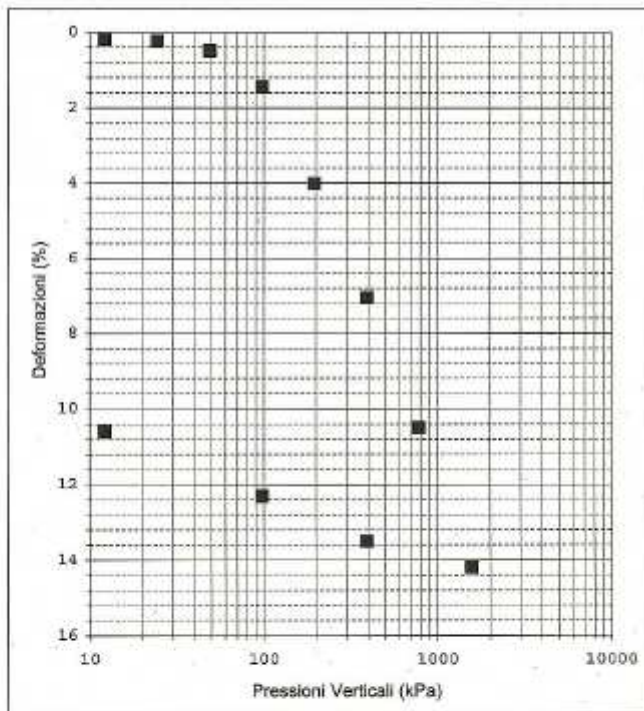


Edometria
Pagina 1 di 1
Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-5

Certificato: 7645
Verbale: 756
Committente: Condotta Dott. Marco
Località: Codigoro - Pomposa
Cantiere: Strada Giralda Ovest
Sondaggio: -
Campione: OST1
Profondità: 8.40 - 9.00
Data ricevimento: 07/10/2011
Data inizio prove: 07/10/2011
Data fine prove: 20/10/2011
Data certificazione: 20/10/2011
Data apertura campione: 07/10/2011
Classe del Campione: Q4
Area (cm²): 20,0
Altezza provino (cm): 2,0

Carico (kPa)	dv (mm)	dh (%)	e
12,2	0,037	0,18	0,964
24,5	0,049	0,25	0,962
49,0	0,101	0,50	0,957
98,0	0,290	1,45	0,939
196,0	0,804	4,02	0,888
392,0	1,411	7,06	0,829
784,0	2,098	10,49	0,761
1568,0	2,839	14,20	0,688
392,0	2,701	13,51	-
98,0	2,462	12,31	-
12,2	2,118	10,59	-

Descrizione campione		
Limo sabbioso argilloso grigio.		
Pocket P.	0,8	kg/cm ²
Tor V.	0,24	kg/cm ²




 Direttore


 Sperimentatore

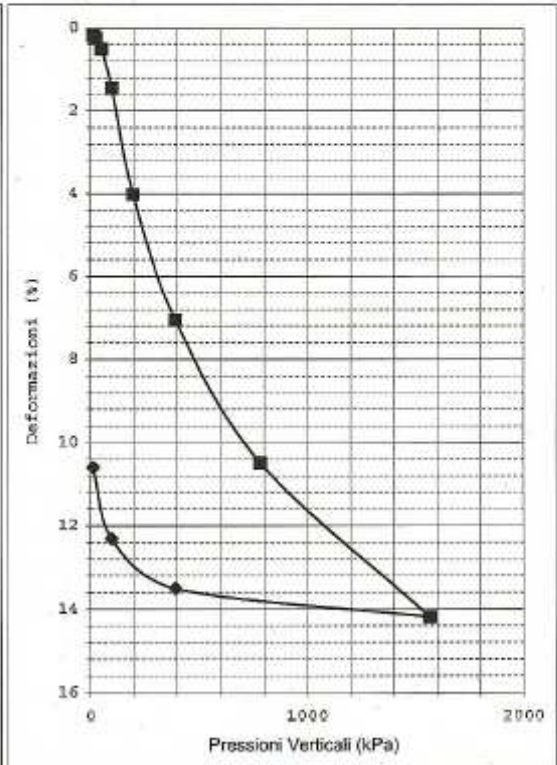
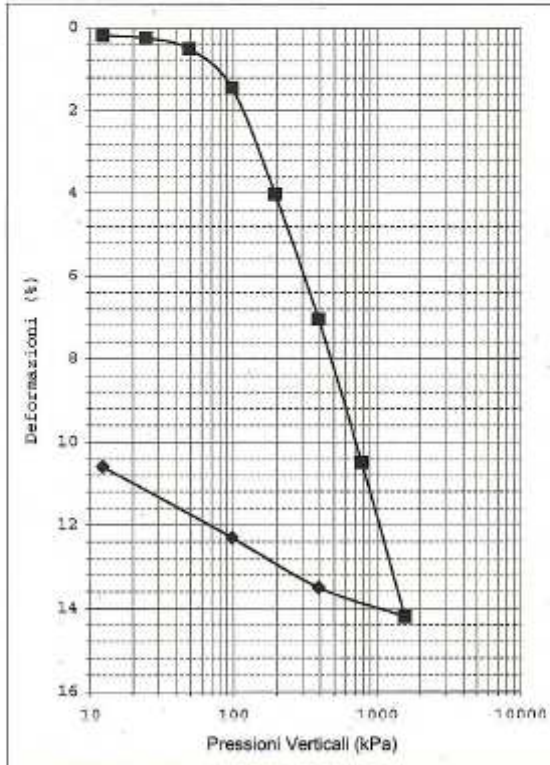
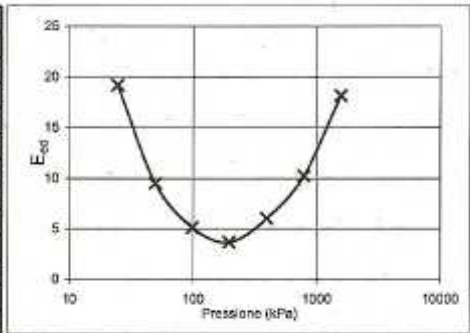


Committente: Condotta Dott. Marco
Località: Codigoro - Pomposa
Cantiere: Strada Giralda Ovest

Sondaggio: -
Campione: OST1
Profondità: 8.40 - 9.00

ELABORAZIONE PROVA EDOMETRICA

Pressione kPa	dv mm	dh %	e	E_{ed} MPa	m _v kPa ⁻¹	C _c
12.2	0,04	0,18	0,964	-	-	0,00415
24,5	0,05	0,25	0,962	19,19	5,2E-05	0,01677
49	0,10	0,50	0,957	9,50	1,0E-04	0,06187
98	0,29	1,45	0,939	5,10	1,9E-04	0,16796
196	0,80	4,02	0,888	3,66	2,6E-04	0,19835
392	1,41	7,06	0,829	6,00	1,5E-04	0,22449
784	2,10	10,49	0,761	10,21	8,8E-05	0,24214
1568	2,84	14,20	0,688	18,16	4,7E-05	-
392	2,70	13,51	-	-	-	-
98	2,46	12,31	-	-	-	-
12,2	2,12	10,59	-	-	-	-



Legenda: D_v = deformazione verticale; d_h = deformazione percentuale; e = indice dei vuoti; E_{ed} = modulo edometrico; m_v = indice di compressibilità; C_c = coefficiente di compressibilità.



GEOTECA s.r.l.

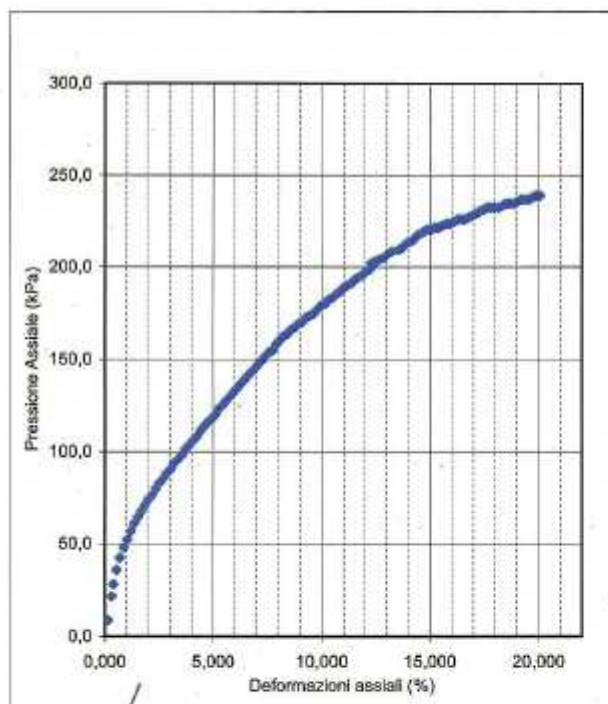
Laboratorio Geotecnico
Aut. Min. Istr. Univ. Sci. Tec. n. 108/2009

Espansione Laterale Libera

Pagina 1 di 2

Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-7

Certificato:	7648
Verbale:	756
Committente:	Condotta Dott. Marco
Località:	Codigoro - Pomposa
Cantiere:	Strada Giralda Ovest
Sondaggio:	-
Campione:	OST1
Profondità:	8,40 - 9,00
Data ricevimento:	07/10/2011
Data inizio prove:	07/10/2011
Data fine prove:	07/10/2011
Data certificazione:	20/10/2011
Data apertura campione:	07/10/2011
Classe del Campione:	Q4
Diametro (cm)	3,81
Altezza provino (cm)	7,62
Volume provino (cm ³)	86,87
Velocità di Prova (mm/min)	0,65
P.assiale max (kPa)	240,29



note:

Il campione a causa della sua natura granulometrica si presenta leggermente detensionato. Si è quindi proceduto ad eseguire una consolidazione dello stesso ad una pressione pari a quella litostatica. Successivamente è stata eseguita la prova di compressione.

Direttore

Sperimentatore

40068 San Lazzaro di Savena (BO) Via della Tecnica 57/IM
Tel. 051 0253377 Fax 051 492375
Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE



GEOTECA s.r.l.

Laboratorio Geotecnico

Accreditato presso Ministero Lavori Pubblici

Espansione Laterale Libera

Pagina 2 di 2

Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-7

Certificato: 7646
Verbale: 756

Deformazione assiale (%)	Pressione assiale (kPa)	Deformazione assiale (%)	Pressione assiale (kPa)
0,16	0,0	9,971	179,1
0,32	8,7	10,16	180,2
0,40	21,8	10,32	182,4
0,55	28,4	10,5	183,5
0,70	36,0	10,67	185,7
0,88	42,6	10,85	186,8
1,04	48,1	11,01	189,0
1,20	52,4	11,16	190,0
1,37	56,8	11,36	191,1
1,54	61,2	11,53	193,3
1,68	64,4	11,69	194,4
1,85	67,7	11,87	195,5
2,02	71,0	12,04	197,7
2,18	74,3	12,21	198,8
2,34	76,5	12,38	201,0
2,52	79,7	12,27	202,1
2,68	83,0	12,47	203,2
2,86	85,2	12,67	204,2
3,03	88,5	12,87	205,3
3,18	90,7	13,07	207,5
3,38	93,9	13,24	208,6
3,56	96,1	13,57	209,7
3,72	98,3	13,73	210,8
3,89	101,6	13,9	213,0
4,06	103,8	14,08	214,1
4,23	105,9	14,24	215,2
4,41	108,1	14,4	217,4
4,57	111,4	14,56	218,4
4,73	113,6	14,73	219,5
4,92	115,8	14,9	220,6
5,09	118,0	15,08	220,6
5,27	120,1	15,24	221,7
5,44	123,4	15,4	221,7
5,61	125,6	15,57	222,8
5,78	127,8	15,76	223,9
5,94	130,0	15,93	223,9
6,10	132,2	16,1	225,0
6,27	134,3	16,28	226,1
6,43	136,5	16,45	226,1
6,59	138,7	16,61	226,1
6,76	140,9	16,79	227,2
6,93	143,1	16,96	228,3
7,09	145,3	17,14	229,4
7,25	147,5	17,3	230,5
7,42	149,6	17,47	231,6
7,59	151,8	17,65	232,6
7,75	154,0	17,81	232,6
7,92	155,1	17,99	232,6
8,08	158,4	18,18	232,6
8,25	160,6	18,35	233,7
8,42	162,7	18,51	234,8
8,58	163,8	18,69	234,8
8,76	166,0	18,86	234,8
8,93	167,1	19,04	235,9
9,11	169,3	19,2	237,0
9,27	170,4	19,38	237,0
9,45	172,6	19,55	237,0
9,62	173,7	19,71	238,1
9,80	174,8	19,89	239,2
	176,9	20,06	239,2

Direttore

Sperimentatore



40088 San Leuzzano di Sienne (DO) Via della Tecnica 57144
Tel 057 6255377 Fax 0571 4805376
Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE



GEOTECA s.r.l.
Laboratorio Geotecnico
Attestato presso Ministero Lavori Pubblici

Determinazione del peso di volume mediante fustella tarata
Pagina 1 di 1
Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-2

Certificato: 7647
Verbale: 756
Committente: Condotta Dott. Marco
Località: Codigoro - Pomposa
Cantiere: Strada Giralda Ovest
Sondaggio: -
Campione: OST2
Profondità: 18.40 - 19.00
Data ricevimento: 07/10/2011
Data inizio prove: 07/10/2011
Data fine prove: 08/10/2011
Data certificazione: 20/10/2011
Data apertura campione: 07/10/2011
Classe campione: Q4

Massa tara (g): 71,64
Massa Campione umido + tara (g): 99,65
Massa Campione secco + tara (g): 92,78
Volume fustella tarata (cm³): 14,884

Umidità naturale (%): 32,498
Massa Volumica umida (kg/m³): 1881,89
Massa Volumica secca (kg/m³): 1420,32

nole:

Direttore

Sperimentatore





Peso specifico dei grani

Pagina 1 di 1

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-3

Certificato:	7648
Verbale:	756
Committente:	Condotta Dott. Marco
Località:	Codigoro - Pomposa
Cantiere:	Strada Giralda Ovest
Sondaggio:	-
Campione:	OST2
Profondità:	18.40 - 19.00
Data ricevimento:	07/10/2011
Data inizio prove:	07/10/2011
Data fine prove:	10/10/2011
Data certificazione:	20/10/2011
Data apertura campione:	07/10/2011
Classe campione:	Q4
Massa Tara (g):	71,64
Massa campione umido + Tara (g):	99,65
Massa Campione secco + Tara (g):	92,78
Massa picnometro + campione (g):	114,37
Massa picnometro + tappo + acqua (g):	194,99
Massa pic. + tappo + acqua + camp. (g):	227,70
Umidità naturale (%):	32,50
Massa volumica umida kg/m ³ :	1881,89
Massa volumica secca kg/m ³ :	1420,32
Massa specifica dei grani kg/m ³ :	2789,39
Indice dei vuoti	0,96
Porosità (%):	49,08
Umidità di saturazione (%):	34,56
Grado di saturazione (%):	94,04

note:

Direttore

Sperimentatore

40068 San Lazzaro di Savena (BO) Via della Tecnica 57/A4
Tel 051 6220377 Fax 051 4998378
Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE



LIMITI
Pagina 1 di 1
Normativa di riferimento: CNR-UNI 10014 - BS1377

Certificato: 7649
Verbale: 756
Committente: Condotta Dott. Marco
Località: Codigoro - Pomposa
Cantiere: Strada Giralda Ovest
Sondaggio: -
Campione: OST2
Profondità: 18.40 - 19.00
Data ricevimento: 07/10/2011
Data inizio prove: 07/10/2011
Data fine prove: 14/10/2011
Data certificazione: 20/10/2011
Data apertura campione: 07/10/2011
Classe campione: Q4

Numero colpi: 13
Massa tara (g): 70,05
Massa Campione umido + tara (g): 119,61
Massa Campione secco + tara (g): 108,34
Limite liquido (%): 27

Massa tara (g): 70,71
Massa Campione umido + tara (g): 82,30
Massa Campione secco + tara (g): 80,45
Limite Plastico (%): 19

	Provino1	Provino2
Massa Campione umido + tara (g):		
Massa Campione secco + tara (g):		
Massa tara (g):		
Volume tara (cm ³):		
Volume mercurio (cm ³):		
Massa campione umido (g):		
Massa Campione secco (g):		
Limite di Ritiro (%):		
Media:		

Lunghezza iniziale (mm):
Lunghezza finale (mm):
Ritiro lineare (%):

Direttore

Sperimentatore



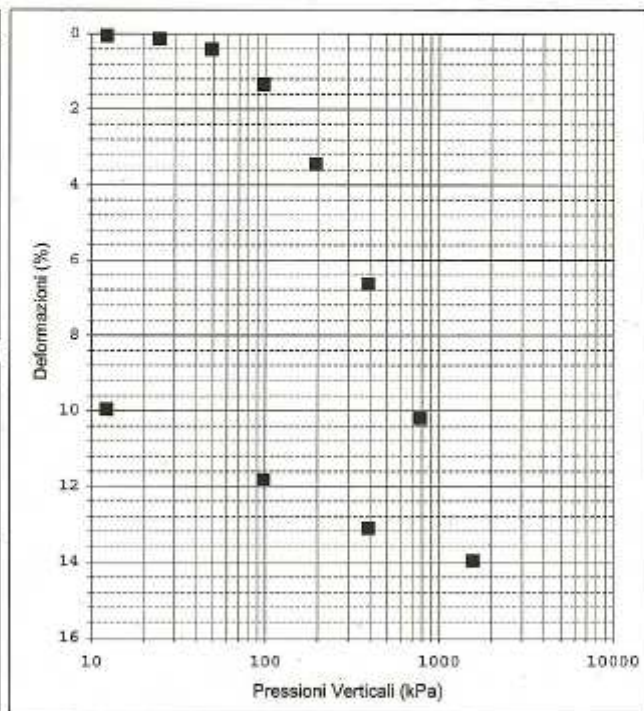


Edometria
Pagina 1 di 1
Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-5

Certificato: 7650
Verbale: 756
Committente: Condotta Dott. Marco
Località: Codigoro - Pomposa
Cantiere: Strada Giralda Ovest
Sondaggio: -
Campione: **OST2**
Profondità: **18.40 - 19.00**
Data ricevimento: 07/10/2011
Data inizio prove: 07/10/2011
Data fine prove: 20/10/2011
Data certificazione: 20/10/2011
Data apertura campione: 07/10/2011
Classe del Campione: Q4
Area (cm²): 20,0
Altezza provino (cm): 2,0

Carico (kPa)	dv (mm)	dh (%)	e
12,2	0,010	0,05	0,963
24,5	0,027	0,14	0,961
49,0	0,082	0,41	0,956
98,0	0,268	1,34	0,938
196,0	0,690	3,45	0,896
392,0	1,328	6,64	0,834
784,0	2,040	10,20	0,764
1568,0	2,794	13,97	0,690
392,0	2,623	13,12	-
98,0	2,368	11,84	-
12,2	1,991	9,96	-

Descrizione campione		
Limo sabbioso argilloso.		
Pocket P.	0,7	kg/cm ²
Tor V.	0,2	kg/cm ²



Direttore

Sperimentatore

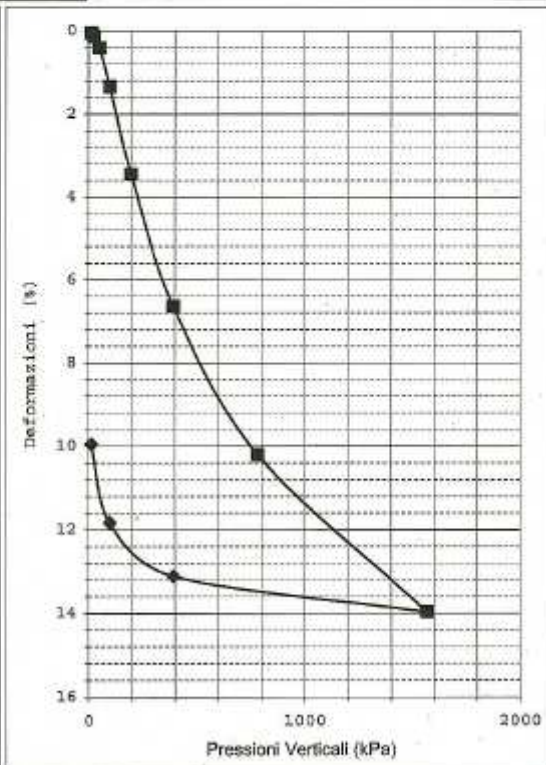
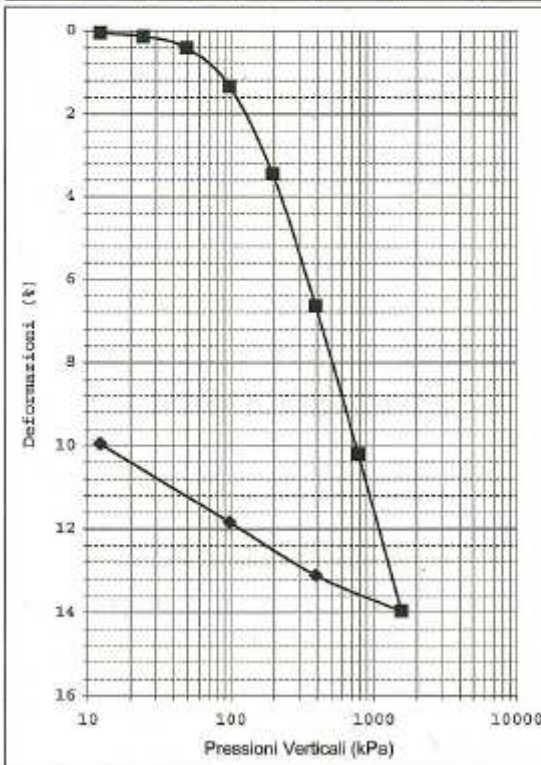
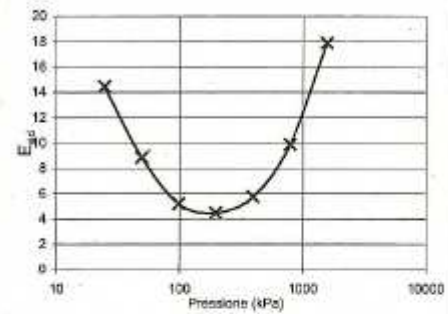


Committente: Condotta Dott. Marco
Località: Codigoro - Pomposa
Cantiere: Strada Giralda Ovest

Sondaggio: -
Campione: OST2
Profondità: 18.40 - 19.00

ELABORAZIONE PROVA EDOMETRICA

Pressione kPa	dv mm	dh %	e	E_{ed} MPa	mv kPa ⁻¹	Cc
12,2	0,01	0,05	0,96	-	-	0,00551
24,5	0,03	0,14	0,961	14,45	6,9E-05	0,01796
49	0,08	0,41	0,956	8,86	1,1E-04	0,06066
98	0,27	1,34	0,938	5,20	1,9E-04	0,13767
196	0,69	3,45	0,895	4,48	2,2E-04	0,20813
392	1,33	6,64	0,834	5,74	1,6E-04	0,23227
784	2,04	10,20	0,764	9,89	9,1E-05	0,24598
1568	2,79	13,97	0,690	17,89	4,8E-05	
392	2,62	13,12	-			
98	2,37	11,84	-			
12,2	1,99	9,96	-			



Legenda: D_v = deformazione verticale; d_h = deformazione percentuale; e = indice dei vuoti; E_{ed} = modulo edometrico; mv = indice di compressibilità; C_c = coefficiente di compressibilità.



GEOTECA s.r.l.

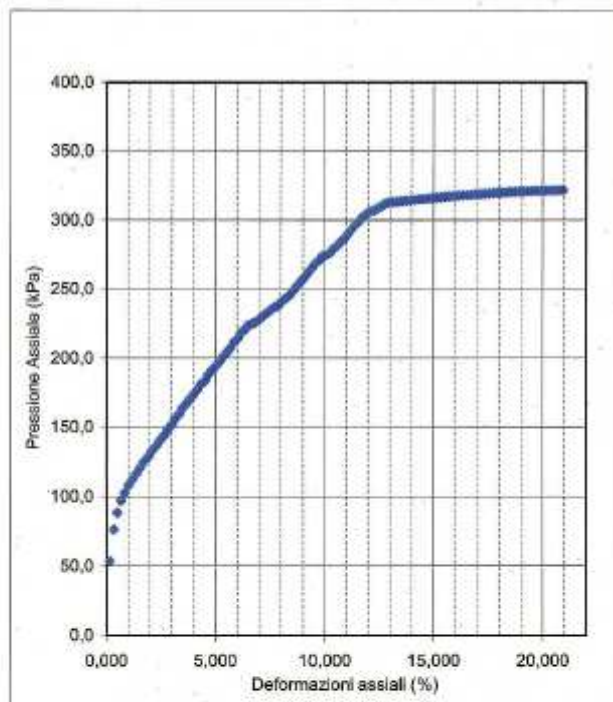
Laboratorio Geotecnico
Accreditato presso Ministero Lavori Pubblici

Espansione Laterale Libera

Pagina 1 di 2

Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-7

Certificato: 7651
Verbale: 756
Committente: Condotta Dott. Marco
Località: Codigoro - Pomposa
Cantiere: Strada Giralda Ovest
Sondaggio: -
Campione: **OST2**
Profondità: **18,40 - 19,00**
Data ricevimento: 07/10/2011
Data inizio prove: 07/10/2011
Data fine prove: 07/10/2011
Data certificazione: 20/10/2011
Data apertura campione: 07/10/2011
Classe del Campione: Q4
Diametro (cm) 3,81
Altezza provino (cm) 7,62
Volume provino (cm³) 86,87
Velocità di Prova (mm/min) 0,65
P.assiale max (kPa) 321,97



note:
Il campione a causa della sua natura granulometrica si presenta leggermente detensionato. Si è quindi proceduto ad eseguire una consolidazione dello stesso ad una pressione pari a quella litostatica. Successivamente è stata eseguita la prova di compressione.

Direttore

Sperimentatore

40068 San Lazzaro di Savena (BO) Via della Tecnica 57/A4
Tel 051 6269377 Fax 051 4999378
Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE



Espansione Laterale Libera
Pagina 2 di 2
Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-7

Certificato: 7651
Verbale: 756

Deformazione assiale (%)	Pressione assiale (kPa)	Deformazione assiale (%)	Pressione assiale (kPa)
0,00	-0,1	10,24	276,3
0,15	53,4	10,41	279,5
0,33	76,4	10,58	281,7
0,50	88,4	10,76	285,0
0,68	97,1	10,92	287,2
0,84	102,6	11,08	290,5
1,01	108,1	11,25	293,7
1,20	112,4	11,43	297,0
1,38	116,8	11,59	299,2
1,55	121,2	11,77	302,5
1,74	125,5	11,94	304,7
1,93	128,8	12,1	306,3
2,11	133,2	12,28	307,1
2,29	136,5	12,44	308,6
2,47	140,8	12,62	310,0
2,66	144,1	12,78	311,9
2,82	148,5	12,95	312,9
3,00	151,7	13,15	313,2
3,16	156,1	13,35	313,5
3,33	159,4	13,55	313,9
3,49	163,8	13,75	314,2
3,67	167,0	13,95	314,5
3,83	170,3	14,15	314,8
4,01	173,6	14,35	315,1
4,17	176,9	14,55	315,5
4,34	181,2	14,75	315,8
4,52	183,4	14,95	316,1
4,68	187,8	15,15	316,4
4,84	191,1	15,35	316,8
5,02	194,3	15,55	317,1
5,18	197,6	15,75	317,3
5,34	200,9	15,95	317,6
5,51	204,2	16,15	317,8
5,68	207,5	16,35	318,1
5,84	211,8	16,55	318,3
6,01	214,0	16,75	318,5
6,17	218,4	16,95	318,8
6,34	220,6	17,15	319,0
6,50	223,8	17,35	319,3
6,67	224,9	17,55	319,5
6,85	226,0	17,75	319,8
7,01	228,2	17,95	320,0
7,17	230,4	18,15	320,2
7,35	232,6	18,35	320,4
7,52	234,8	18,55	320,6
7,70	236,9	18,75	320,7
7,87	238,0	18,95	320,9
8,05	241,3	19,15	321,1
8,22	243,5	19,35	321,2
8,40	245,7	19,55	321,4
8,57	249,0	19,75	321,5
8,73	252,2	19,95	321,5
8,91	255,5	20,15	321,6
9,09	258,8	20,35	321,7
9,25	262,1	20,55	321,8
9,41	265,3	20,75	321,9
9,57	268,6	20,95	322,0
9,75	270,8	-	-0,1
9,91	274,1	-	-0,1
10,08	275,2	-	-0,1

Direttore

Sperimentatore



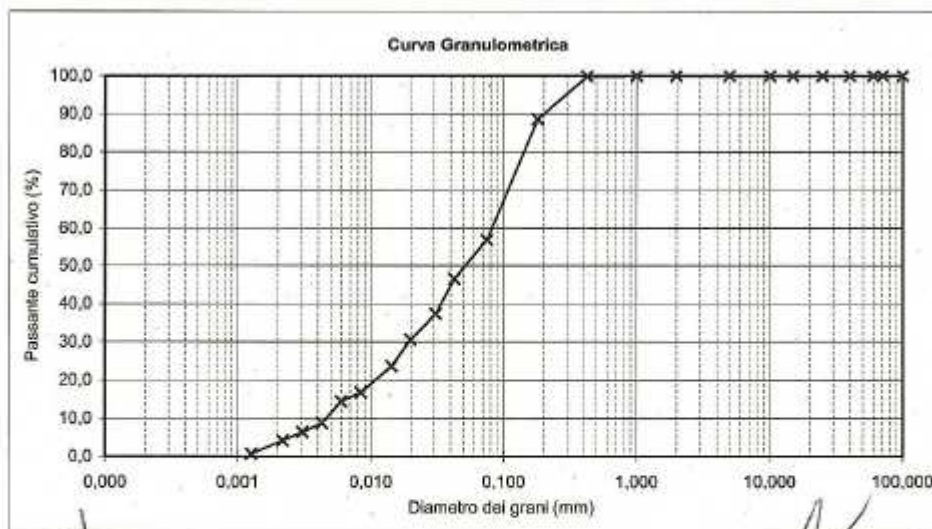


Analisi Granulometrica	
Pagina 1 di 1	
Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-4 CNR UNI A. V n° 23	

Certificato: 7652
Verbale: 756
Committente: Condotta Dott. Marco
Località: Codigoro - Pomposa
Cantiere: Strada Giralda Ovest
Sondaggio: -
Campione: OST3
Profondità: 33,00 - 33,6
Data ricevimento: 07/10/2011
Data inizio prove: 07/10/2011
Data fine prove: 14/10/2011
Data certificazione: 20/10/2011
Data apertura campione: 07/10/2011

SETACCIATURA			SEDIMENTAZIONE		
Massa Campione (g)	319,95		Massa Campione (g)	40,36	
Crivelli/setacc (mm)	Peso (g)	Passante (%)	Diametri (mm)	Letture	Passante (%)
100	0	100,00	0,043	24	46,47
71	0	100,00	0,031	20	37,32
60	0	100,00	0,020	17	30,45
40	0	100,00	0,014	14	23,58
25	0	100,00	0,008	11	16,71
15	0	100,00	0,006	10	14,42
10	0	100,00	0,004	7,5	8,70
5	0	100,00	0,0030	6,5	6,41
2	0	100,00	0,0022	5,5	4,12
1	0,1	99,97	0,0013	4	0,69
0,425	0,45	99,83			
0,18	35,97	88,59			
0,075	101,64	58,82			

Granulometria A.G.I.	Ghiaia (%)	0,00	Sabbia (%)	47,99	Limo (%)	48,52	Argilla (%)	3,49
----------------------	------------	------	------------	-------	----------	-------	-------------	------



Direttore

Sedimentatore





GEOTECA s.r.l.

Laboratorio Geotecnico
Accreditato presso Ministero Lavori Pubblici

Taglio Diretto

Pagina 1 di 2

Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-10

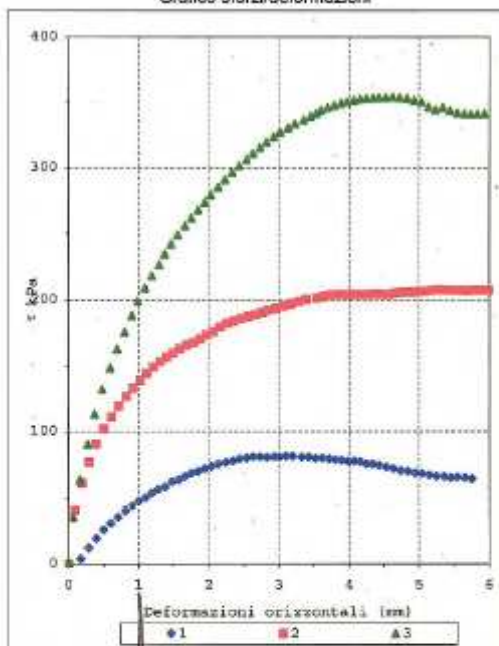
Certificato: 7653
Verbale: 756
Committente: Condotta Dott. Marco
Località: Codigoro - Pomposa
Cantiere: Strada Giralda Ovest
Sondaggio: -
Campione: OST3
Profondità: 33,00 - 33,60
Data ricevimento: 07/10/2011
Data inizio prove: 07/10/2011
Data fine prove: 12/10/2011
Data certificazione: 20/10/2011
Data apertura campione: 07/10/2011
Classe del Campione: Q3

Provino	n°	1	2	3
Lato	mm	60,00	60,00	60,00
Altezza iniziale	mm	20,00	20,00	20,00
Velocità di taglio utilizzata	mm/min	0,015	0,015	0,015
Press. Consolidazione	kPa	100,00	300,00	500,00

Descrizione del campione

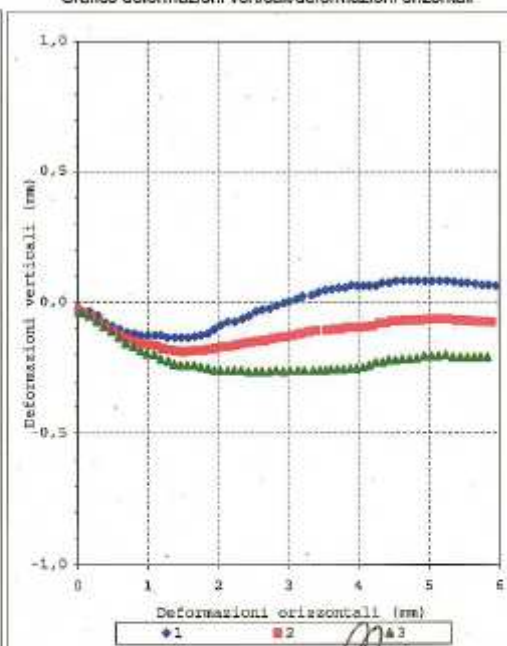
Sabbia limosa

Grafico sforzi/deformazioni



Direttore

Grafico deformazioni verticali/deformazioni orizzontali



Sperimentatore

40088 San Lazzaro di Savena (BO) Via della Tecnica 57/A4
TN 061 6256377 Fax 061 4958378
Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE



Taglio Diretto
Pagina 2 di 2
Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Certificato: 7653
Verbale: 756

Consolidazione (0-100 kPa)		Provino 1		Provino 2		Provino 3				
tempi (sec)	def. Mm	def. s (mm)	def. s (mm)	def. s (mm)	def. s (mm)	def. s (mm)	def. s (mm)			
		0,1998	-0,019	0,81	0,7938	-0,029	90,68	0,0813	-0,038	35,24
		0,2851	-0,025	12,15	0,1949	-0,057	81,52	0,1698	-0,058	63,45
		0,3035	-0,024	19,20	0,2824	-0,051	77,23	0,2707	-0,051	90,38
		0,4981	-0,078	35,62	0,3935	-0,0745	60,08	0,3882	-0,071	113,92
		0,5222	-0,03	30,43	0,5054	-0,052	702,21	0,4729	-0,054	151,99
		0,7039	-0,102	36,24	0,6137	-0,106	111,18	0,6994	-0,11	148,31
		0,8099	-0,114	20,73	0,7149	-0,124	119,51	0,8859	-0,134	162,71
		0,9211	-0,118	43,59	0,8291	-0,1375	128,87	0,9742	-0,157	175,61
		1	-0,126	67,43	0,9205	-0,1475	133,27	0,9903	-0,169	187,93
		1,0374	-0,129	49,69	1,0252	-0,1555	139,35	0,9919	-0,185	186,18
		1,1877	-0,129	53,51	1,1101	-0,1615	141,48	1,0932	-0,197	204,77
		1,2779	-0,126	56,40	1,213	-0,1625	142,29	1,1641	-0,201	218,38
		1,2526	-0,124	53,32	1,314	-0,1725	153,44	1,2309	-0,217	226,67
		1,4801	-0,134	60,17	1,4043	-0,179	155,03	1,3718	-0,234	234,05
		1,574	-0,134	63,77	1,4945	-0,183	159,63	1,462	-0,238	242,01
		1,6670	-0,134	66,33	1,582	-0,187	163,03	1,5509	-0,24	249,04
		1,7545	-0,13	68,57	1,6691	-0,185	165,91	1,637	-0,24	255,74
		1,8519	-0,125	70,16	1,7606	-0,183	167,63	1,7609	-0,24	261,81
		1,9458	-0,115	72,10	1,8772	-0,183	170,59	1,8483	-0,248	267,88
		2,0301	-0,102	73,79	1,9711	-0,177	173,59	1,9422	-0,252	273,65
		2,1271	-0,085	75,30	2,0695	-0,173	176,15	2,0352	-0,26	279,37
		2,2418	-0,074	76,91	2,1624	-0,167	179,67	2,1386	-0,26	285,12
		2,3468	-0,074	77,87	2,2625	-0,167	182,23	2,2274	-0,26	290,85
		2,4404	-0,063	79,47	2,351	-0,1615	184,15	2,3205	-0,26	296,30
		2,5379	-0,051	80,41	2,4557	-0,1555	186,59	2,4095	-0,26	301,61
		2,6317	-0,035	81,67	2,5667	-0,1495	187,67	2,5043	-0,264	306,69
		2,7326	-0,027	81,07	2,6876	-0,1455	188,04	2,6046	-0,264	310,97
		2,8339	-0,023	80,43	2,7653	-0,1425	190,54	2,7202	-0,264	315,44
		2,9360	-0,015	81,07	2,8512	-0,1375	192,40	2,8291	-0,264	319,59
		3,0418	-0,023	80,75	2,9489	-0,1315	193,74	2,9241	-0,26	323,75
		3,11	0,0039	81,71	3,0513	-0,13005	195,34	3,019	-0,264	327,29
		3,2	0,0110	81,39	3,1524	-0,1241	196,94	3,1259	-0,26	330,44
		3,3	0,0230	80,73	3,1841	-0,1182	197,59	3,2274	-0,26	333,63
		3,4260	0,0279	80,75	3,29	-0,1162	199,18	3,36	-0,26	336,40
		3,5294	0,0294	79,79	3,39	-0,1108	200,45	3,45	-0,26	339,36
		3,6299	0,0473	80,11	3,5923	-0,1033	201,74	3,55	-0,26	341,60
		3,7148	0,0513	79,47	3,6468	-0,10435	203,01	3,5902	-0,26	343,83
		3,8125	0,0552	78,83	3,7430	-0,1004	203,67	3,6921	-0,259	346,07
		3,8953	0,0562	78,51	3,8411	-0,1004	204,29	3,7838	-0,259	347,60
		3,9855	0,067	77,86	3,9314	-0,0945	204,23	3,8808	-0,259	349,27
		4,0732	0,0631	77,87	4,0248	-0,09445	204,81	3,9711	-0,259	350,52
		4,1682	0,0601	77,33	4,1155	-0,09445	204,29	4,0649	-0,259	351,49
		4,2464	0,0551	75,82	4,2057	-0,09245	204,29	4,1616	-0,259	352,43
		4,3267	0,0551	75,82	4,2966	-0,08945	204,61	4,2418	-0,24	353,07
		4,4202	0,0749	74,34	4,3882	-0,07955	204,65	4,3205	-0,239	353,45
		4,5142	0,0749	73,30	4,4801	-0,07955	204,61	4,4209	-0,239	353,71
		4,6089	0,0699	72,10	4,5704	-0,0699	204,61	4,5204	-0,22	353,71
		4,7038	0,0699	70,90	4,6679	-0,0699	206,57	4,6208	-0,22	354,04
		4,8411	0,0699	70,16	4,7725	-0,0671	206,21	4,722	-0,217	353,71
		4,9426	0,0623	68,89	4,8772	-0,0671	206,21	4,8267	-0,217	353,07
		5,0423	0,0609	68,25	4,9555	-0,0651	206,13	4,9214	-0,213	351,49
		5,1516	0,0608	67,29	5,033	-0,0611	206,85	5,0204	-0,205	350,52
		5,2527	0,0626	66,33	5,1877	-0,0611	207,49	5,1135	-0,205	349,36
		5,3574	0,0629	66,33	5,2882	-0,0611	206,13	5,2049	-0,205	346,48
		5,4548	0,0786	65,37	5,3946	-0,06105	207,81	5,2957	-0,205	346,07
		5,5487	0,0749	65,69	5,4846	-0,06705	207,49	5,344	-0,209	343,83
		5,557	0,0749	65,37	5,5966	-0,06705	207,49	5,4451	-0,209	341,91
		5,7581	0,071	64,41	5,6825	-0,069	207,17	5,6426	-0,209	341,27
		5,8463	0,067	64,73	5,767	-0,071	207,81	5,7328	-0,209	340,97
		5,953	0,067	64,69	5,8916	-0,071	207,49	5,8209	-0,209	340,97
		0,0489	0,0631	64,73	5,9821	-0,07205	207,81	5,9114	-0,205	341,27
					6,093	-0,073	206,17	6,0052	-0,209	339,69

Direttore

Spesimentatore

40088 San Lazzaro di Savena (BO) Via della Tecnica 57/A4
Tel 051 8255377 Fax 051 4395378
Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE

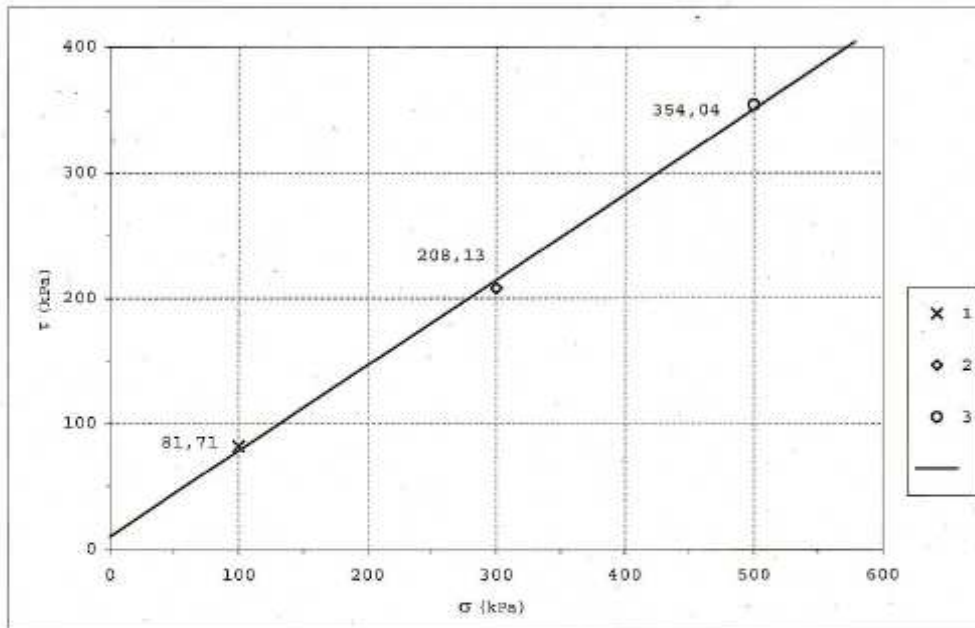
Committente: **Condotta Dott. Marco**
Località: **Codigoro - Pomposa**
Cantiere: **Strada Giralda Ovest**

Sondaggio: **-**
Campione: **OST3**
Profondità: **33,00 - 33,60**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO, CONSOLIDATO, DRENATO

Lato	60,00	mm
Altezza iniziale	20,00	mm

Valori dei provini a rottura				
Provino	n°	1	2	3
Sforzo a rottura	kPa	81,713	208,128	354,043
C'	KPa	10,38		
ϕ'	" sess	34,25		





GEOTECA s.r.l.

Laboratorio Geotecnico
Accreditato presso Ministero Lavori Pubblici

Taglio Diretto

Pagina 1 di 2

Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-10

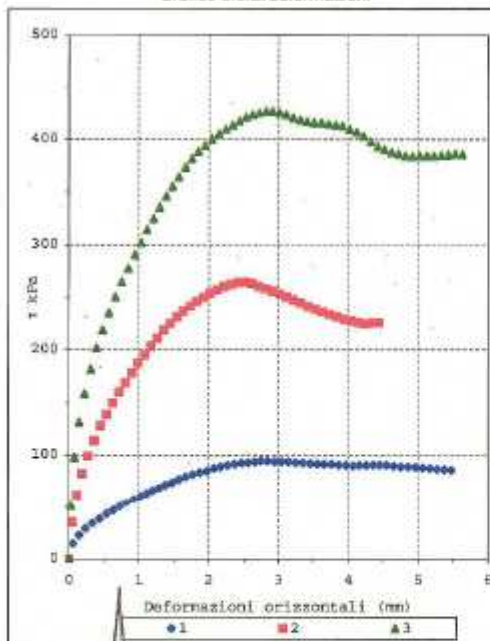
Certificato: 7654
Verbale: 756
Committente: Condotta Dott. Marco
Località: Codigoro - Pomposa
Cantiere: Strada Giralda Ovest
Sondaggio: -
Campione: QST4
Profondità: 39,40 - 4,00
Data ricevimento: 07/10/2011
Data inizio prove: 12/10/2011
Data fine prove: 14/10/2011
Data certificazione: 20/10/2011
Data apertura campione: 07/10/2011
Classe del Campione: Q3

Provino	n°	1	2	3
Lato	mm	60,00	60,00	60,00
Altezza iniziale	mm	20,00	20,00	20,00
Velocità di taglio utilizzata	mm/min	0,02	0,02	0,02
Press. Consolidazione	kPa	100,00	300,00	500,00

Descrizione del campione

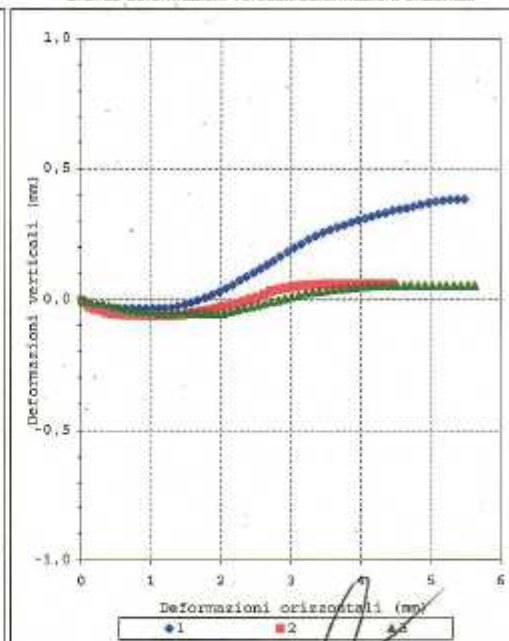
Sabbia debolmente limosa

Grafico sforzi/deformazioni



Disegnatore

Grafico deformazioni verticali/deformazioni orizzontali



Sperimentatore

40066 San Lazzaro di Savena (BO) Via della Tecnica 5/VA
Tel 051 6255377 Fax 051 4990378
Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE

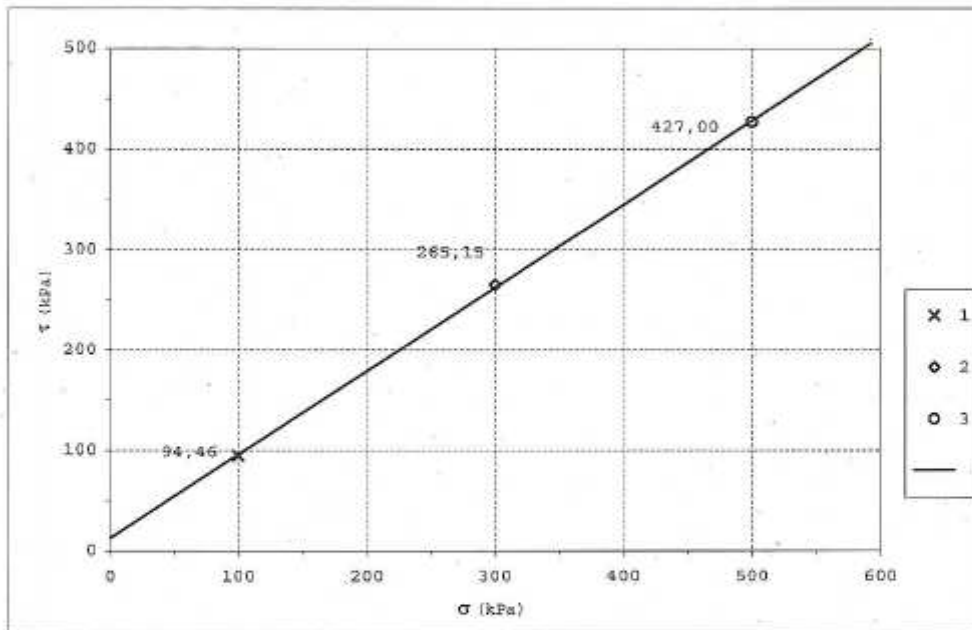
Committente: Condotta Dott. Marco
Località: Codigoro - Pomposa
Cantiere: Strada Giralda Ovest

Sondaggio: -
Campione: OST4
Profondità: 39,40 - 4,00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO, CONSOLIDATO, DRENATO

Lato	60,00	mm
Altezza iniziale	20,00	mm

Valori dei provini a rottura				
Provino	n°	1	2	3
Sforzo a rottura	kPa	94,462	265,155	427,005
C'	KPa	12,80		
ϕ'	° sess	39,74		





GEOLOGIA TECNICA ESTENSE

STUDIO GEOLOGICO

Dr. Geol. Marco Condotta

REGIONE EMILIA-ROMAGNA

PROVINCIA DI FERRARA

Località POMPOSA, comune di CODIGORO (FE)



Progetto di nuovi manufatti presso l'Impianto Idrovoro di Pomposa,
in località Pomposa nel Comune di Codigoro (FE).

MODELLAZIONE GEOLOGICA (Parametri geotecnici e sismici)
Ai sensi del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 14/01/2008

COMMITTENTE : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara
Sede Legale ed Amministrativa:
Via Borgo dei Leoni, 28
44121 FERRARA (FE)



RELATORE : Dr. Geol. M. Condotta



rif. n° 24/11

Ferrara 5 marzo 2012

INDICE

1.	Premessa	pag. 2
2.	Normative, bibliografia e raccomandazioni di riferimento	pag. 3
3.	Inquadramento geografico	pag. 4
4.	Inquadramento geologico regionale	pag. 5
5.	Inquadramento geologico locale	pag. 6
6.	Problematiche geologiche dell'area di intervento	pag. 8
7.	Ricostruzione geologica e geomorfologia del territorio in esame	pag. 9
8.	Caratteristiche sismiche	pag. 14
9.	Programma delle indagini	pag. 18
9.1	Approfondimento d'indagine	pag. 21
9.2	Modalità esecutive prove penetrometriche statiche	pag. 22
9.3	Elaborazione prove penetrometriche statiche	pag. 24
9.4	Analisi di laboratorio	pag. 34
9.5	Specifiche analisi di laboratorio	pag. 34
9.6	Risultati delle analisi di laboratorio	pag. 36
10.	Verifica cedimenti postsismici nei terreni coesivi	pag. 37
10.1	Verifiche livello compreso tra -1.00 e -5.00 metri dal piano campagna	pag. 40
11.	Indagine sismica	pag. 42
11.1	Modalità esecutive	pag. 42
11.2	Risultati e conclusioni	pag. 43
11.3	Classificazione NTC 2008	pag. 45
11.4	Classificazione del sito (Delibera Regionale n. 112)	pag. 49
12.	Parametri sismici	pag. 51
13.	Pericolosità del territorio	pag. 54
14.	Liquefazione	pag. 55
15.	Valutazione cedimenti argini	pag. 57
16.	Analisi di stabilità degli argini	pag. 58
16.1	Metodo di calcolo utilizzato	pag. 58
16.2	Definizione del problema	pag. 59
17.	Tipo di fondazioni	pag. 61
17.1	Fondazioni profonde	pag. 62
18.	Considerazioni conclusive	pag. 67

Figura 1 : Stralcio C.T.R. n° 187153 "Vaccolino" con ubicazione dell'area indagata

Figura 2 : Inquadramento geologico regionale

Figura 3 : Sezione geologica regionale

Figura 4 : Schema tettonico della Regione Emilia-Romagna

Figura 5 : Stralcio Carta Geomorfologica

Figura 6 : Modello altimetrico della Provincia di Ferrara

Figura 7 : Limiti Ex Comprensorio di Bonifica I° Circondario Polesine di Ferrara

Figura 8 : Nuova zonizzazione sismica

Figura 9 : Carta degli epicentri dei terremoti storici della Regione E.-R. (CPTI, 1999)

Figura 10 : Pianta di posizione delle indagini

Allegati 1÷10 Tabelle valori di resistenza CPT

Allegati 11÷19 Diagrammi di resistenza prove penetrometriche

Allegati 20÷28 Parametri geotecnici prove penetrometriche

Allegati 29÷34 Certificati analisi di laboratorio

1. PREMESSA

Per la Salvaguardia Ambientale e Riassetto Irriguo del Comprensorio, il “Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara”, ha previsto la costruzione di nuovi manufatti presso l’impianto Idroforo di Pomposa, nel Comune di Codigoro (FE).

Nello specifico, le indagini previste dovranno caratterizzare i terreni, dal punto di vista geologico fornendo, inoltre, i principali parametri geotecnici, per la costruzione dei seguenti manufatti:

- manufatto Aa1, nuovo ponte di collegamento con il Po di Volano;
- manufatto Ab1, bacino scarico impianto Pomposa;
- manufatto Ac1, paratoie controllo livello vasca;
- manufatto Ad1, ponte di chiusura della marezzana;
- manufatto Af1, partenza condotta interrata e scarico Condotta Volano;
- nuovi argini del bacino di accumulo.

Su incarico della Committenza, lo scrivente redige la presente relazione di Modellazione Geologica orientata alla ricostruzione dei caratteri strutturali, geotecnici, geologici, altimetrici, geomorfologici, sismici e, più in generale di pericolosità geologica del territorio.

Deve, quindi, essere sviluppata in modo da costituire utile elemento di riferimento per l’inquadramento, da parte del progettista, delle problematiche geotecniche a piccola e grande scala e del programma delle indagini.

Il modello geologico di riferimento sarà validato e supportato da indagini specifiche in funzione dell’importanza delle opere.

2. **NORMATIVE, BIBLIOGRAFIA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO**

Legge 2 febbraio 1974 n° 64

“Provvedimenti per le costruzioni con particolare riguardo per le zone sismiche”

D.M. 16 gennaio 1996

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

Ordinanze P.C.M. 20 marzo 2003 n° 3274 e 2 ottobre 2003 n° 3316

“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”

Ordinanza P.C.M. 3 maggio 2005 n° 3431

“...viene prorogato di ulteriori tre mesi il periodo transitorio nel corso del quale sarà possibile impiegare le norme di cui al D.M. 16 gennaio 1996...”

Delibera di Giunta Regionale regione Emilia-Romagna n. 1677 del 24 ottobre 2005 relativa alle “Norme tecniche per le costruzioni”. Prime indicazioni applicative.

A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana

“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (giugno 1977)”.

A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana

“Raccomandazioni sui pali di fondazione (giugno 1982)”.

A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana

“Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica” Linee guida (marzo 2005).

D.M. 14 gennaio 2008

“Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”

D.M. 14 gennaio 2008

“Circolare applicativa 2 febbraio 2009 n. 617” C.S. LL. PP.

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

I terreni che verranno interessati dalle opere in progetto sono ubicati nei pressi dello Stabilimento Idrovoro di Pomposa, subito a est del ponte sul Po di Volano, a ridosso della Strada Statale n. 309 “Romea” e ricade nella C.T.R. in scala 1:5.000 elemento n. 187153 denominato “Vaccolino”, in località Pomposa, nel Comune di Codigoro (FE) *fig. 1.*

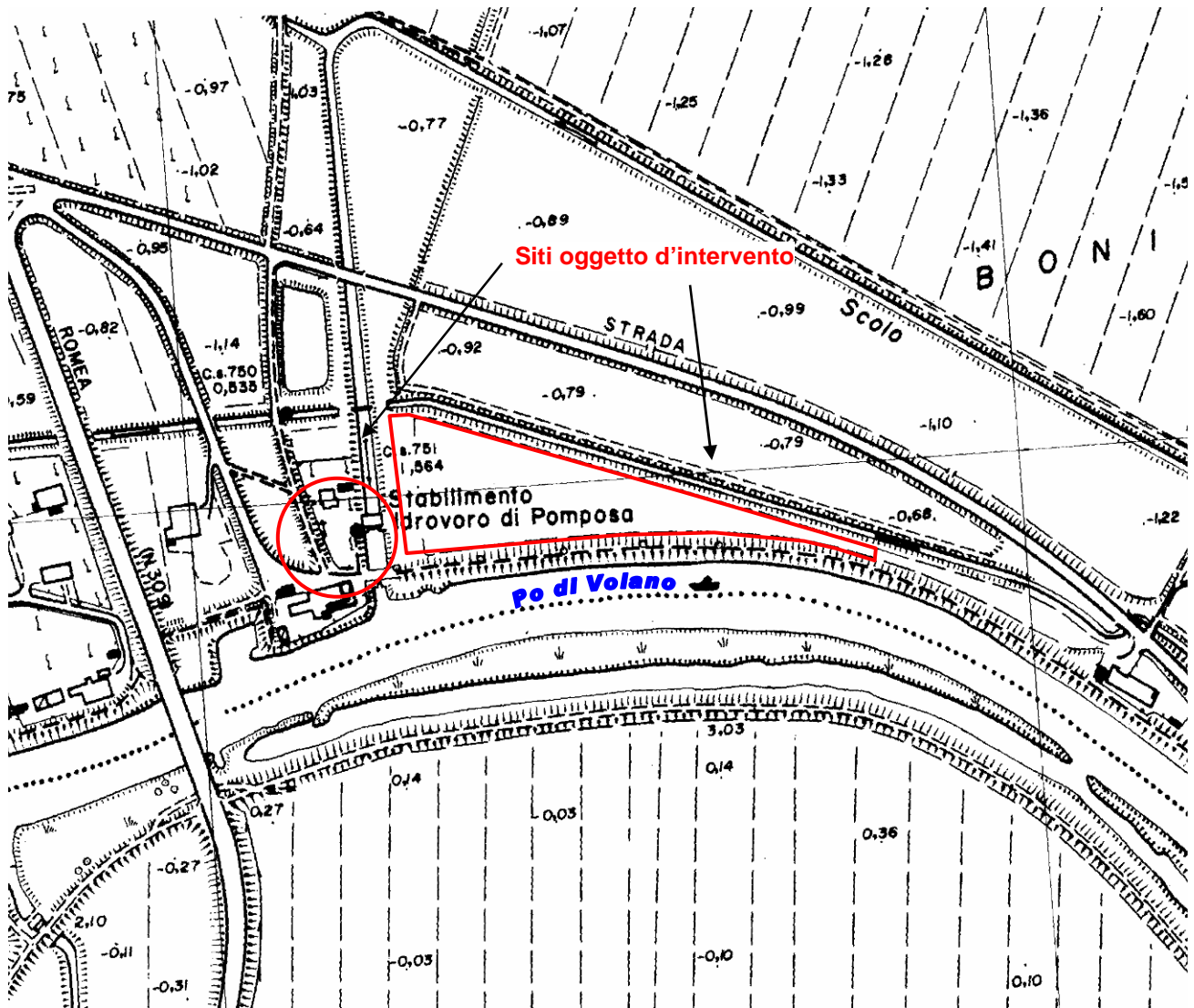




Figura 1 Stralcio C.T.R. 1: 5.000 Elemento 187153 denominato "Vaccolino"

  Ubicazione siti oggetto d'intervento

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE



Figura 2

Il territorio dell'Emilia-Romagna è costituito dal versante padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a sud del Po; il limite regionale, infatti, coincide per lunghi tratti con lo spartiacque appenninico verso sud e con il corso del Po verso nord (fig. 2).

Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinti, l'Appennino e la Pianura Padana sono strettamente correlati.

Il fronte della catena appenninica non coincide con il limite morfologico catena – pianura (margine appenninico – padano), ma è individuabile negli archi estremi delle Pieghe Emiliane e Ferraresi (Pieri & Groppi, 1981) sepolte dai sedimenti quaternari padani (fig. 3).

Sud

Nord

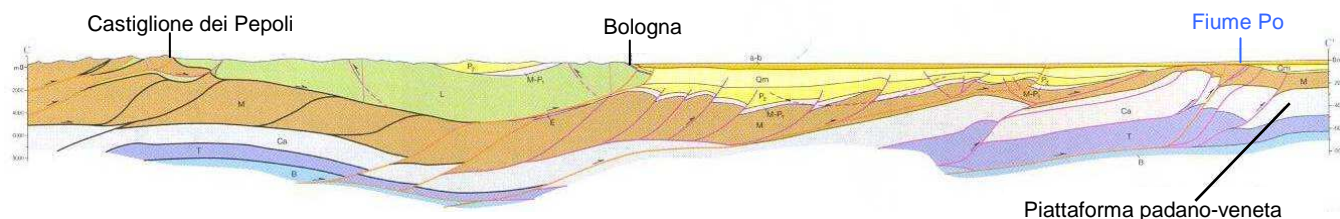


Figura 3

Il vero fronte appenninico, quindi, situato circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano – veneta.

Si può così schematizzare che l'evoluzione del territorio dell'Emilia – Romagna coincide con l'evoluzione del settore esterno della catena nord – appenninica.

L'Appennino settentrionale è una catena a *thrusts* facente parte del sistema alpino, formatosi in gran parte a spese della placca Adriatica per l'interazione fra le placche Africana ed Eurasiatica.

Si tratta, quindi, di un edificio formato da una pila di unità tettoniche riferibili a due principali domini: il dominio Ligure, i cui sedimenti si sono depositi originariamente su crosta oceanica (*Liguridi*) e il dominio Tosco – Umbro – Marchigiano, rappresentato da successioni del margine continentale dell'Adria la cui età inizia a partire dal Triassico (circa 200 M.ni di anni fa)

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE

La Pianura Padana, al cui interno è inserita l'area in esame, è costituita da un cuneo di sedimenti depositi, ad iniziare dall'Eocene, in un bacino subsidente che veniva riempito progressivamente, dapprima solo con materiale proveniente dalla catena alpina e poi anche con materiale della catena appenninica, durante e dopo la loro rispettiva emersione.

La disposizione e l'assetto di tali sedimenti corrispondono alla più recente storia evolutiva tettonica e sedimentaria del bacino padano.

In particolare la formazione della piana alluvionale e del territorio del delta del Po rappresentano l'ultimo atto di tale evoluzione.

Dal punto di vista geologico – strutturale (fig. 4), il bacino dell'attuale Pianura Padana tuttora subsidente, era compreso nel più ampio Bacino Padano – Adriatico, che corrisponde alla zona di subsidenza sin – orogenica e post – orogenica compresa tra le zone di sollevamento dell'Appennino e delle Alpi; strutturalmente il bacino padano può essere considerato in generale, come un'area di avanfossa, originatasi dalla progressiva subduzione della placca Africana verso quella Europea con probabile subduzione della interposta microplacca padano – adriatica soggetta ad un doppio fenomeno di compressione, al di sotto delle coltri appenniniche e sud alpine.

L'arco delle pieghe ferraresi – romagnole, ora sepolte dalla coltre alluvionale, reso noto dalle prospezioni del sottosuolo per ricerche di idrocarburi, è l'elemento strutturale più esterno dell'Appennino settentrionale, all'interno del quale si possono distinguere:

- le pieghe ferraresi, più esterne, con nucleo mesozoico molto sollevato e tettonizzato, in posizione elevata in sovrascorrimento sul Terziario, e serie terziarie di spessore generalmente ridotto o mancante;
- le pieghe romagnole relativamente più interne e le pieghe adriatiche, le quali si sviluppano prevalentemente nell'area marina.

Nel Pliocene inferiore, la zona ferrarese viene interessata da una moderata subsidenza, più accentuata in corrispondenza degli assi sinclinali esterni alle pieghe ferraresi.

Il mare di questo periodo copriva anche le strutture positive dell'area, sulle quali si depositavano spessori più esigui di sedimenti.

Nella zona intorno a Ferrara ed in corrispondenza del litorale attuale, lo spessore dei sedimenti pliocenici si aggira intorno ai 1000 metri, mentre il complesso di quelli quaternari supera quasi ovunque i 3000 metri, con massimi verso l'Adriatico.

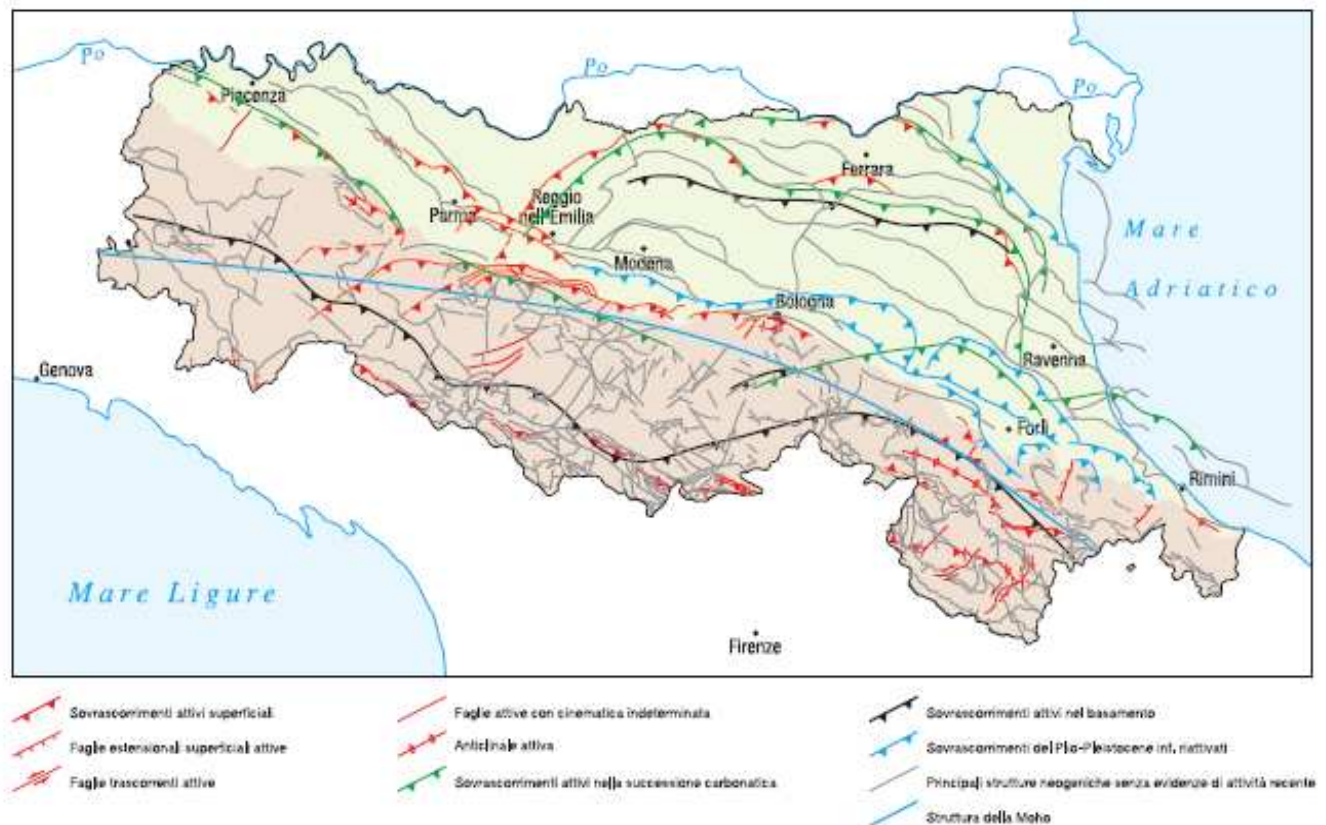


Figura 4 Schema tettonico della Regione Emilia-Romagna

6. PROBLEMATICHE GEOLOGICHE DELL'AREA D'INTERVENTO

Nel quadro geologico regionale, che verrà ampiamente delineato nei paragrafi successivi, la messa a fuoco, sull'area in esame, oggetto dell'intervento, porta ad individuare i seguenti aspetti di natura geologica da approfondire, anche in ottemperanza alle normative vigenti:

- i terreni di fondazione di natura sedimentaria di recente deposizione, incoerenti e disomogenei in senso verticale e orizzontale;
- tali terreni devono essere indagati nel dettaglio per stabilire le caratteristiche di consistenza, granulometriche, di resistenza alla compressione, della permeabilità, e nei loro rapporti geometrici in funzione degli spessori e della loro continuità laterale;
- previsione sulla naturale evoluzione nel tempo, ma soprattutto sulle risposte alle sollecitazioni imposte dai sovraccarichi legati alla costruendo opera;
- la situazione della falda freatica può determinare problemi ad eventuali strutture semi-interrate, con allagamenti in caso di eventi meteorici intensi: a tale scopo andrà verificato il livello e le possibili variazioni nel tempo;
- l'assetto geomorfologico e altimetrico può influenzare lo scolo degli afflussi meteorici e indirizzare la progettazione delle opere di urbanizzazione;
- il quadro sismotettonico delineato e la nuova normativa sismica, impongono alcune verifiche di parametri significativi, per prevedere il comportamento dei terreni in caso di scosse sismiche (amplificazione locale, liquefazione).

7. RICOSTRUZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA DEL TERRITORIO IN ESAME.

Il territorio del Comune di Codigoro, facente parte della Provincia di Ferrara, è parte integrante della Pianura Padana, dove il suo costituirsi, va visto nel contesto più generale dell'evoluzione geomorfologia Olocenica della pianura ferrarese, con particolare riguardo agli ultimi 3000 anni.

Il meccanismo di formazione e trasformazione di questo territorio è il frutto di processi geologici e geomorfologici che si sovrappongono, nello spazio e nel tempo, e che principalmente sono la sedimentazione fluviale e costiera, la subsidenza, le variazioni del livello marino.

Per evoluzione geomorfologia si intende specificatamente, la progradazione dell'apparato deltizio del Po, che fece seguito alla trasgressione Flandriana, con lo sviluppo di canali distributori, oggi rimasti come residui dossivi a far da limite a catini interfluviali morfologicamente depressi, in relazione al maggior tasso di subsidenza effetto della maggiore costipabilità dei sedimenti fini.

Un corso d'acqua naturale ormai giunto vicino alla foce, al momento della piena, deposita i sedimenti più grossolani, in questo caso sabbie e limi, entro l'alveo oppure al di fuori di esso se sussistono le condizioni per una sua tracimazione.

Appena l'acqua può espandersi perde energia e lascia gran parte del suo "carico" ai lati dell'alveo stesso, formando così degli argini naturali.

Le frazioni più fini dei materiali trasportati, restano in sospensione finché l'energia non diminuisce ancora fino ad annullarsi, dove l'acqua si ferma e ristagna.

Il volume minore occupato dalle granulometrie fini e la maggiore costipabilità dei sedimenti a cui danno origine causano, nel tempo, una differenziazione altimetrica tra gli alvei, che diventano pensili, ed i bacini di sedimentazione laterali che divengono via via depressioni a forma di catino delimitate dai tracciati fluviali.

La distribuzione sul territorio di queste forme geomorfologiche, condiziona anche il flusso della falda freatica: in genere i paleoalvei corrispondono a zone di distribuzione e di alimentazione della falda freatica, laddove i catini interfluviali corrispondono a zone di drenaggio e richiamo delle acque.

Dalla Carta Geomorfologia della Pianura Padana, (M. Bondesan), di cui è visibile uno stralcio in *fig. 5*, si possono osservare i vari elementi geomorfologici presenti, che interessano l'area oggetto d'intervento, solo marginalmente.

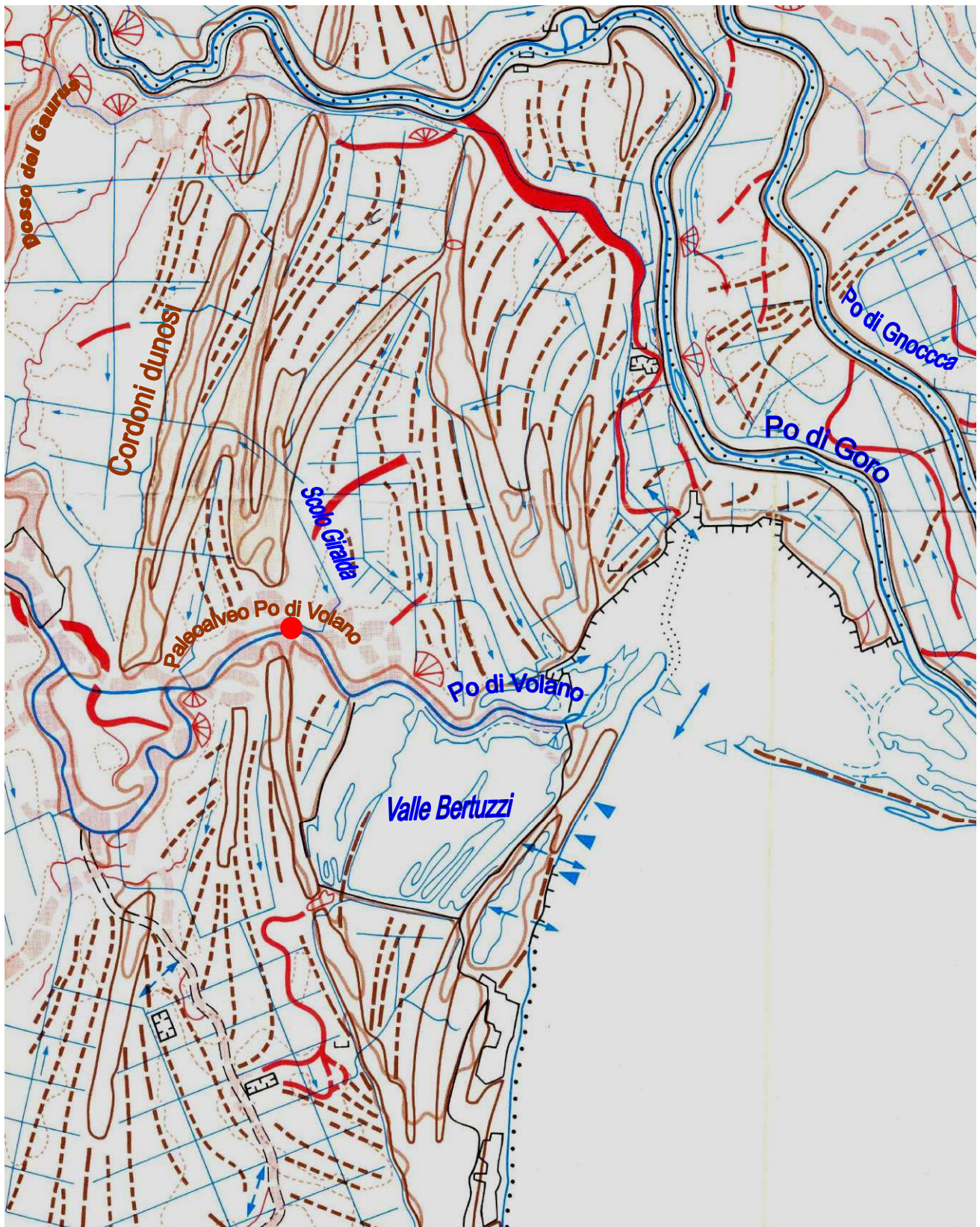


Figura 5 Stralcio Carta Geomorfologia della Pianura Padana
● Sito indagato

Questa parte del territorio comunale di Codigoro è caratterizzata dal paleoalveo del Volano, con andamento principale ovest-est, attraversando gli abitati di Massafiscaglia e Codigoro per poi dirigersi verso Volano e terminare nella sacca di Goro, e dai tracciati delle divagazioni dello stesso Volano o, più probabilmente di sue temporanee diramazioni.

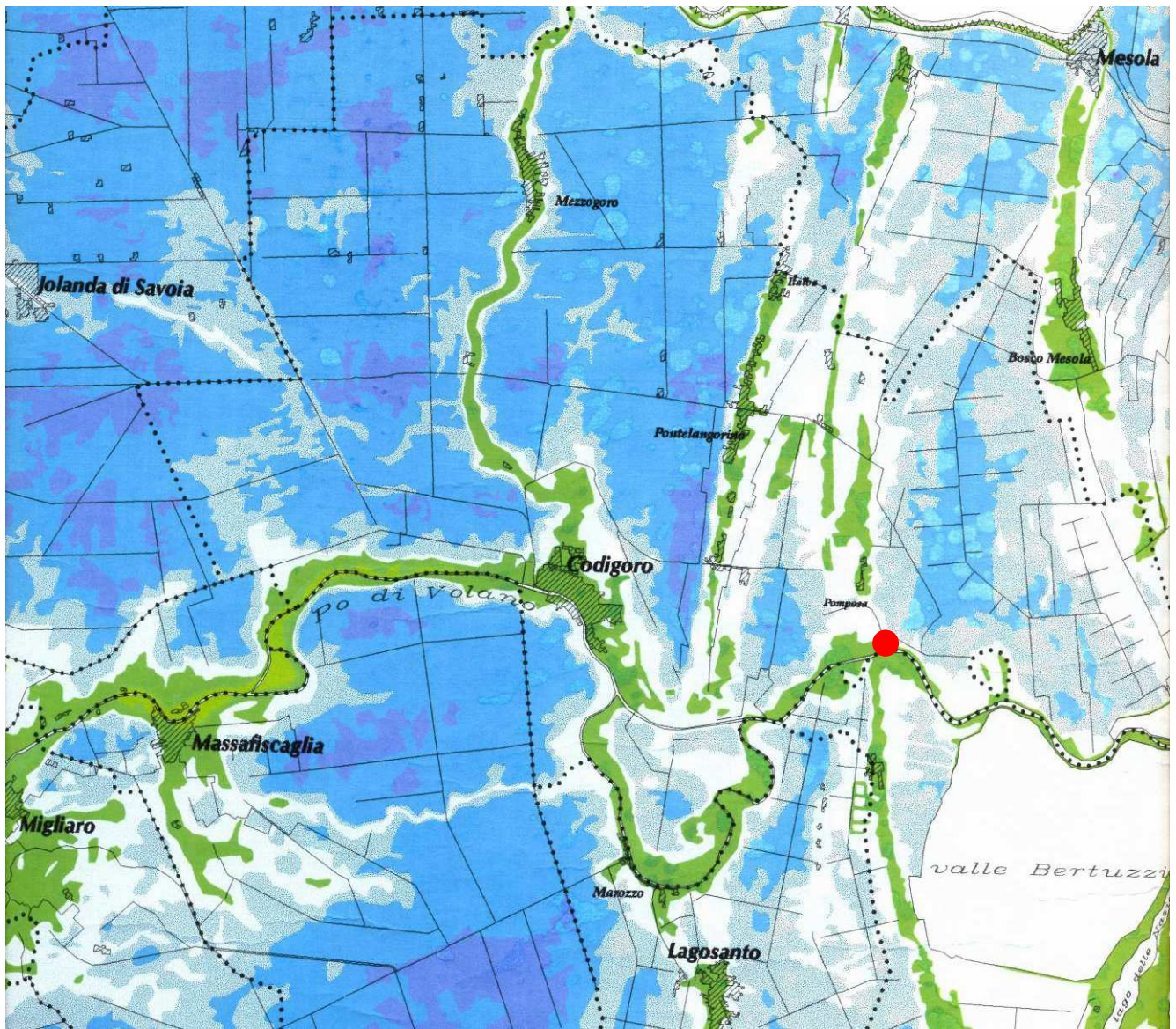
Oltre a quello descritto, esiste un reticolo più o meno fitto di paleoalvei secondari in corrispondenza dei quali, talvolta, sono stati impostati i canali di scolo delle varie bonifiche.

Questi sono individuabili solo dalle foto aeree o dall'esame delle antiche carte disponibili.

I paleoalvei, per la loro sopraelevazione rispetto alle zone circostanti e spesso anche per la loro costituzione litologica sono da considerare, come lo sono stati in passato, luoghi preferenziali per l'insediamento umano all'interno di un territorio generalmente paludoso in tempi storici e con caratteristiche geotecniche instabili.

L'altro elemento geomorfologico, caratteristico di questa porzione di territorio, è rappresentato dagli allineamenti di paleodune, con andamento generale nod-sud, dove le più antiche poste a ovest e ascrivibili all'età del Bronzo, presentano un andamento retroflesso, nel margine meridionale; l'ulteriore allineamento dunoso, posto più a est, di età intermedia tra quella del Bronzo e quella del Ferro, comprende la "Riserva Naturale Orientata" delle *Dune di Massenzatica*, prosegue verso sud, interessando le località di Italba, Pontelangorino e Pontemaodino.

Dal punto di vista altimetrico, *fig. 6*, l'area in esame risulta con quote variabili e comprese mediamente tra i -2,00 mt s.l.m. e i +2,50 mt s.l.m., con una situazione generale di debole pendenza verso nord-est.



	Quote comprese fra 20 e 21 m s.l.m.		Quote comprese fra 7 e 8 m s.l.m.
	Quote comprese fra 19 e 20 m s.l.m.		Quote comprese fra 6 e 7 m s.l.m.
	Quote comprese fra 18 e 19 m s.l.m.		Quote comprese fra 5 e 6 m s.l.m.
	Quote comprese fra 17 e 18 m s.l.m.		Quote comprese fra 4 e 5 m s.l.m.
	Quote comprese fra 16 e 17 m s.l.m.		Quote comprese fra 3 e 4 m s.l.m.
	Quote comprese fra 15 e 16 m s.l.m.		Quote comprese fra 2 e 3 m s.l.m.
	Quote comprese fra 14 e 15 m s.l.m.		Quote comprese fra 1 e 2 m s.l.m.
	Quote comprese fra 13 e 14 m s.l.m.		Quote comprese fra 0 e 1 m s.l.m.
	Quote comprese fra 12 e 13 m s.l.m.		Quote comprese fra 0 e -1 m s.l.m.
	Quote comprese fra 11 e 12 m s.l.m.		Quote comprese fra -1 e -2 m s.l.m.
	Quote comprese fra 10 e 11 m s.l.m.		Quote comprese fra -2 e -3 m s.l.m.
	Quote comprese fra 9 e 10 m s.l.m.		Quote comprese fra -3 e -4 m s.l.m.
	Quote comprese fra 8 e 9 m s.l.m.		Zone allagate

Ubicazione del sito

Figura 6

Stralcio Modello altimetrico della Provincia di Ferrara

Il territorio considerato ricade nelle competenze dell' *ex Consorzio di Bonifica I° Circondario Polesine di Ferrara* (dal 1 ottobre 2009, in riferimento alla L.R. n. 5 del 24 aprile 2009, è operativo il nuovo "Consorzio di Bonifica Pianura Padana", derivante dalla fusione dei precedenti consorzi di bonifica Ferraresi), caratterizzato da un vasto territorio pianeggiante con altimetria graduale, degradante verso est.

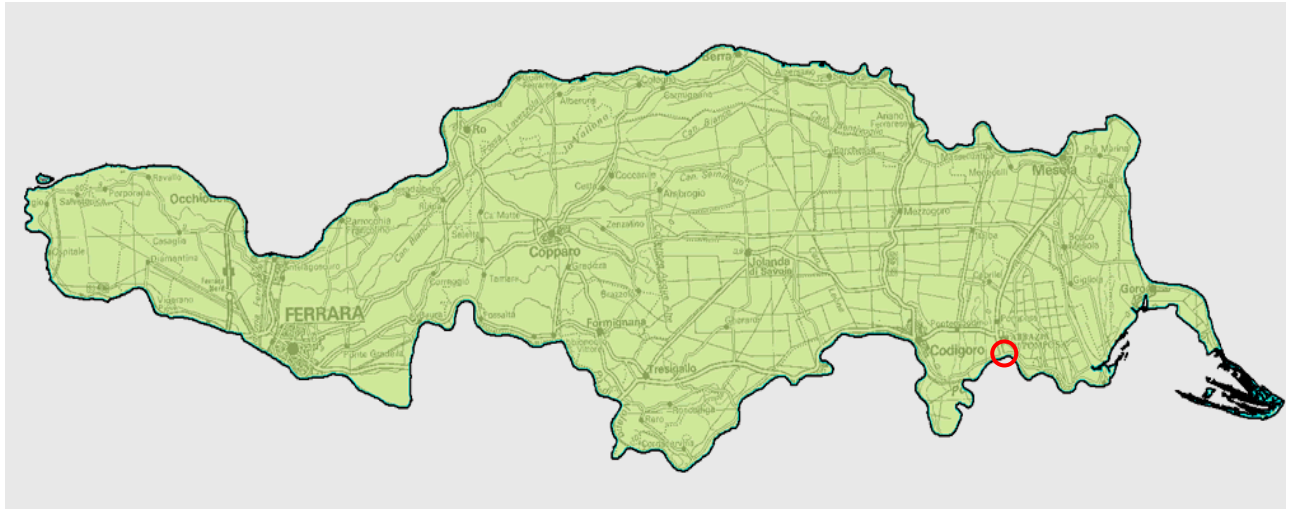


Figura 7 Limiti dell'ex Consorzio di Bonifica I° Circondario Polesine di Ferrara.

Per la propensione al dissesto, le verifiche effettuate sulle carte redatte *dal Consorzio Generale di Bonifica della Provincia di Ferrara* per i maggiori eventi meteorici del 18/19 agosto 1979, dal *Consorzio di Bonifica I° Circondario Polesine di Ferrara* per l'evento del 12 maggio 1996 e da quanto emerso nello studio del P.S.C. vigente, escludono problemi di allagamento per l'area in oggetto.

8. CARATTERISTICHE SISMICHE

Con l'entrata in vigore del nuovo D.M. "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", che ha recepito l'OPCM 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche", il Comune di Codigoro è stato confermato in zona 3 (fig. 8) cioè:

- accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico secondo Norme Tecniche (a_g/g) pari a 0,15.
- accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A pari a 0,15g;

Per la classificazione delle zone di sismicità:			
zona	accelerazione orizzontale (a_g/g) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni	accelerazione orizzontale (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme tecniche)	Valori di a_g , accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A, da adottare
1	> 0,25	0,35	0,35g
2	0,15 - 0,25	0,25	0,25g
3	0,05 - 0,15	0,15	0,15g
4	< 0,05	0,05	0,05g

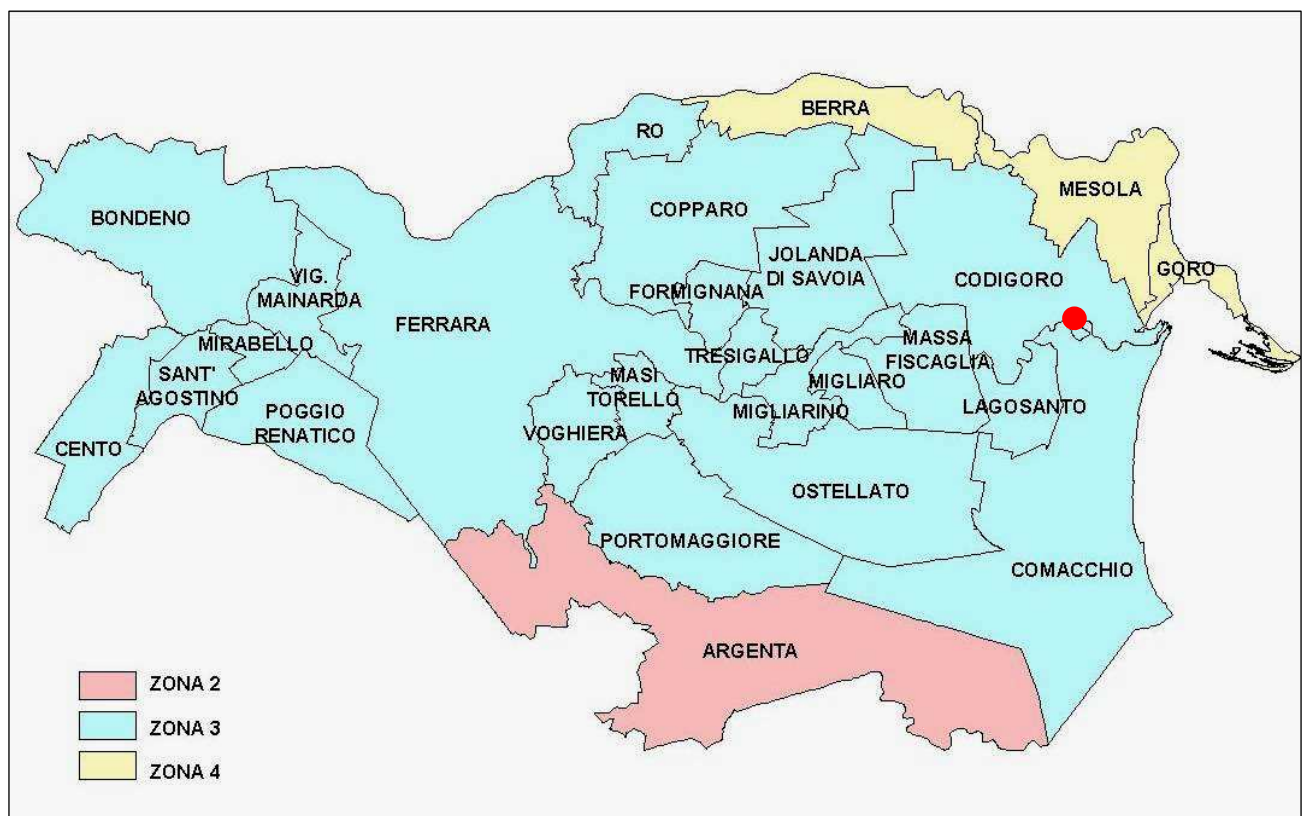


Figura 8 Nuova zonizzazione sismica

● Ubicazione del sito indagato

L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità che può essere definita media, relativamente alla sismicità nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 (Fig. 9), della scala Richter e intensità massima del IX°-X° grado della scala MCS (Mercalli Cancani Sieberg).

Infatti, dai cataloghi dei terremoti risulta che negli ultimi 1000 anni circa la nostra regione è stata interessata da terremoti frequenti ma mai paragonabili, per energia liberata (e, quindi, per valori di magnitudo) ai maggiori eventi di altre aree regionali quali, ad esempio, Sicilia orientale e Calabria, Irpinia-Basilicata o Friuli.

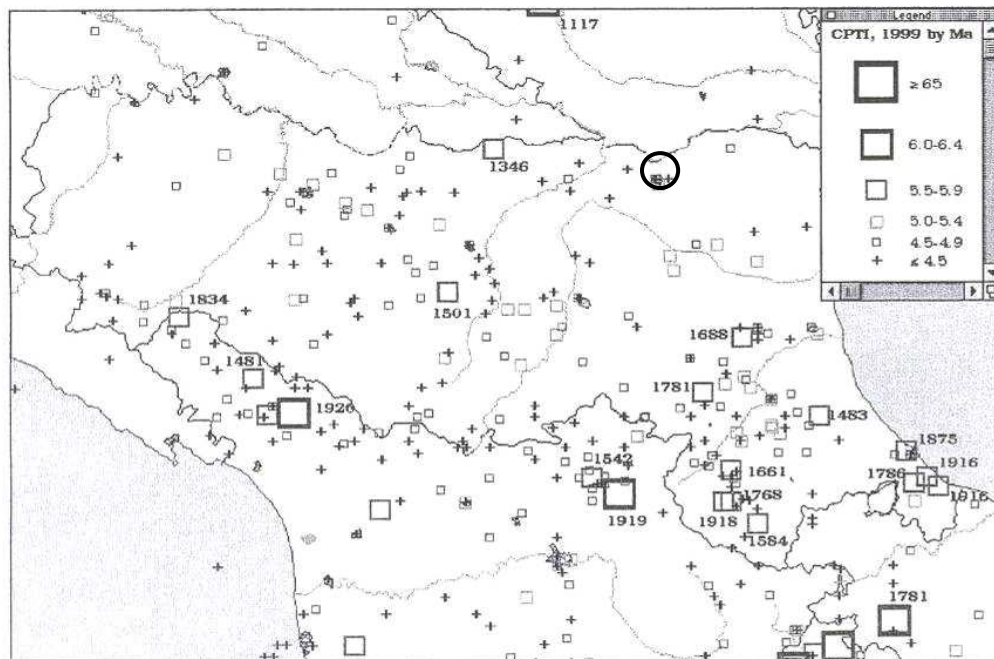


Figura 9 – Carta degli epicentri dei terremoti storici della Regione Emilia-Romagna, per classi di magnitudo (CPTI, 1999)

I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell'Appennino romagnolo e lungo la costa riminese.

Tale magnitudo è paragonabile a quella (5,8) della scossa principale del 26 settembre 1997 riferita alla lunga crisi sismica del 1997-1998 in Umbria –Marche.

La presenza di sedimenti clastici incoerenti e saturi d'acqua può essere, infatti, motivo di amplificazione di scosse sismiche anche provenienti da luoghi non vicini; si è trattato comunque di fenomeni che nella Provincia di Ferrara non hanno provocato danni.

Le scosse più forti sono invece riconducibili a eventi locali, imputabili a movimenti delle pieghe dell'Appennino sepolto, probabilmente amplificate dalla natura dei materiali sovrastanti.

Nella tabella seguente vengono riportati, a partire dal XIII secolo, i principali sismi locali catalogati da recenti studi (Ferrari et al. 1980; Postpischl, 1985; Boschi et al., 1997; Camassi, Stucchi, 1998). Le intensità massime sono espresse in gradi della Scala Mercalli-Cancani-Sieberg.

Tabella 1 – Elenco dei principali terremoti che hanno colpito il Ferrarese dal XIII secolo ad oggi

Evento N°	Anno	mese	giorno	zona epicentrale		zona epicentr. località	Intensità	Bibliogr.
				lat.	long.			
1	1234	marzo	20	44,833	11,617	Ferrara	7	Camassi-Stucchi, 1997
2	1285	dicembre	13	44,833	11,650	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
3	1346	febbraio	22	44,817	11,617	poco a S di Ferrara	7,5	Camassi-Stucchi, 1997
4	1410	giugno	9	44,833	11,617	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
5	1425	agosto	10	44,833	11,667	poco a E di Ferrara	6	Camassi-Stucchi, 1997
6	1483	marzo	3	44,817	11,650	poco a SE di Ferrara	5,5	Camassi-Stucchi, 1997
7	1487	gennaio	11	45,03	11,30	a NW di Ferrara	5	Boschi et al., 1995
8	1508	ottobre	18	44,833	11,667	poco a E di Ferrara	6	Camassi-Stucchi, 1997
9	1561	novembre	24	44,833	11,600	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
10	1570	novembre	18	44,817	11,650	Ferrara	8	Camassi-Stucchi, 1997
11	1594	ottobre	3	44,83	11,62	Ferrara	5	Boschi et al., 1997
12	1624	marzo	18	44,667	11,917	a NE di Argenta	8,5	Camassi-Stucchi, 1997
13	1695	febbraio	28	44,833	11,617	Ferrara	5,5	Camassi-Stucchi, 1997
14	1743	maggio	29	44,823	11,650	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
15	1787	luglio	16	44,83	11,62	Ferrara	6,5	Boschi et al., 1997
16	1787	luglio	26	44,843	11,633	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
17	1895	marzo	23	44,700	12,183	Comacchio	6	Camassi-Stucchi, 1997
18	1895	maggio	25	45,000	12,000	Serravalle-Papozze	6	Camassi-Stucchi, 1997
19	1895	luglio	3	44,700	12,183	Comacchio	6	Camassi-Stucchi, 1997
20	1898	gennaio	16	44,617	11,833	Argenta	7	Camassi-Stucchi, 1997
21	1908	giugno	28	44,800	11,300	fra Cento e Finale Emilia	6	Camassi-Stucchi, 1997
22	1909	gennaio	13	44,617	11,667	presso Tragheto	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
23	1922	maggio	24	44,733	11,383	Cento	3,5	Camassi-Stucchi, 1997
24	1956	febbraio	20	44,567	11,950	a Sud di Filo di Argenta	5,5	Camassi-Stucchi, 1997
25	1967	dicembre	30	44,667	11,833	fra Argenta e Portomaggiore	6	Camassi-Stucchi, 1997

Come si può notare, gli eventi più gravi sono stati il terremoto di Ferrara del 1570 (grado 8) e quello di Argenta del 1624 (grado 8,5).

Per il controllo sismico locale, il Comune di Ferrara è dotato, da circa 15 anni, di una rete di sismografi locali che permette un controllo nel territorio provinciale, disposti per il monitoraggio microsismico del giacimento geotermico di Casaglia (Ardizzoni et al., 1991); il sistema è stato realizzato per registrare eventuali fenomeni indotti dall'emungimento e dalla reiniezione del fluido geotermico.

Il sistema si compone di 6 stazioni di rilevamento, distribuite su un'area di circa 100 kmq attorno ai pozzi geotermici; ogni stazione è dotata di geofoni calati in pozzi profondi dai 16 ai 60 metri.

I segnali vengono trasmessi ad un centro di elaborazione situato presso la Centrale di Cassana.

I dati finora raccolti da questo sistema di monitoraggio permettono di affermare:

- non sono stati raccolti segnali attribuibili allo sfruttamento del giacimento geotermico;
- sono state registrate le scosse dei terremoti naturali più vicini;
- sono state registrate piccole scosse, non avvertite né dagli abitanti, né dai sismografi della rete nazionale, riconducibili a movimenti tettonici in atto in altre parti della "Dorsale" e in generale delle "Pieghie Ferraresi"(Dall'Olio, 1996).

Si può quindi concludere, sulla base dei dati esaminati che il territorio provinciale di Ferrara, e in particolare per il settore più vicino alla città e a sud-est della stessa, è soggetto ad una certa sismicità (C.N.R. 1980), ben maggiore della sismicità evidenziabile per territori vicini quali quelli di Rovigo, Mantova e Ravenna.

9. PROGRAMMA DELLE INDAGINI

Al fine di caratterizzare il sito in esame secondo i vari aspetti (geologico, geotecnico e sismico), e per fornire indicazioni utili al Progettista, le indagini previste dovranno essere commisurate e posizionate in modo da fornire un quadro, il più possibile esaustivo, della zona in esame.

Sulla base delle caratteristiche degli interventi previsti e in relazione alla nuova Normativa sismica, in accordo con il Progettista le indagini sono state programmate tramite l'esecuzione di:

- n° 5 prove penetrometriche statiche con prelievo di campioni indisturbati, previste a 20 metri di profondità, per fornire indicazioni di carattere geotecnico e stratigrafico e per individuare gli orizzonti granulari, su cui intestare eventuali pali di fondazione;
- un'indagine sismica con metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves) attivo e passivo, atta alla classificazione, ai sensi del D.M. 14/01/2008.

Le indagini, ubicate in figura 10 e iniziate in data 8 novembre 2011 con le prove penetrometriche, si sono concluse in data 10 novembre con lo stendimento sismico.

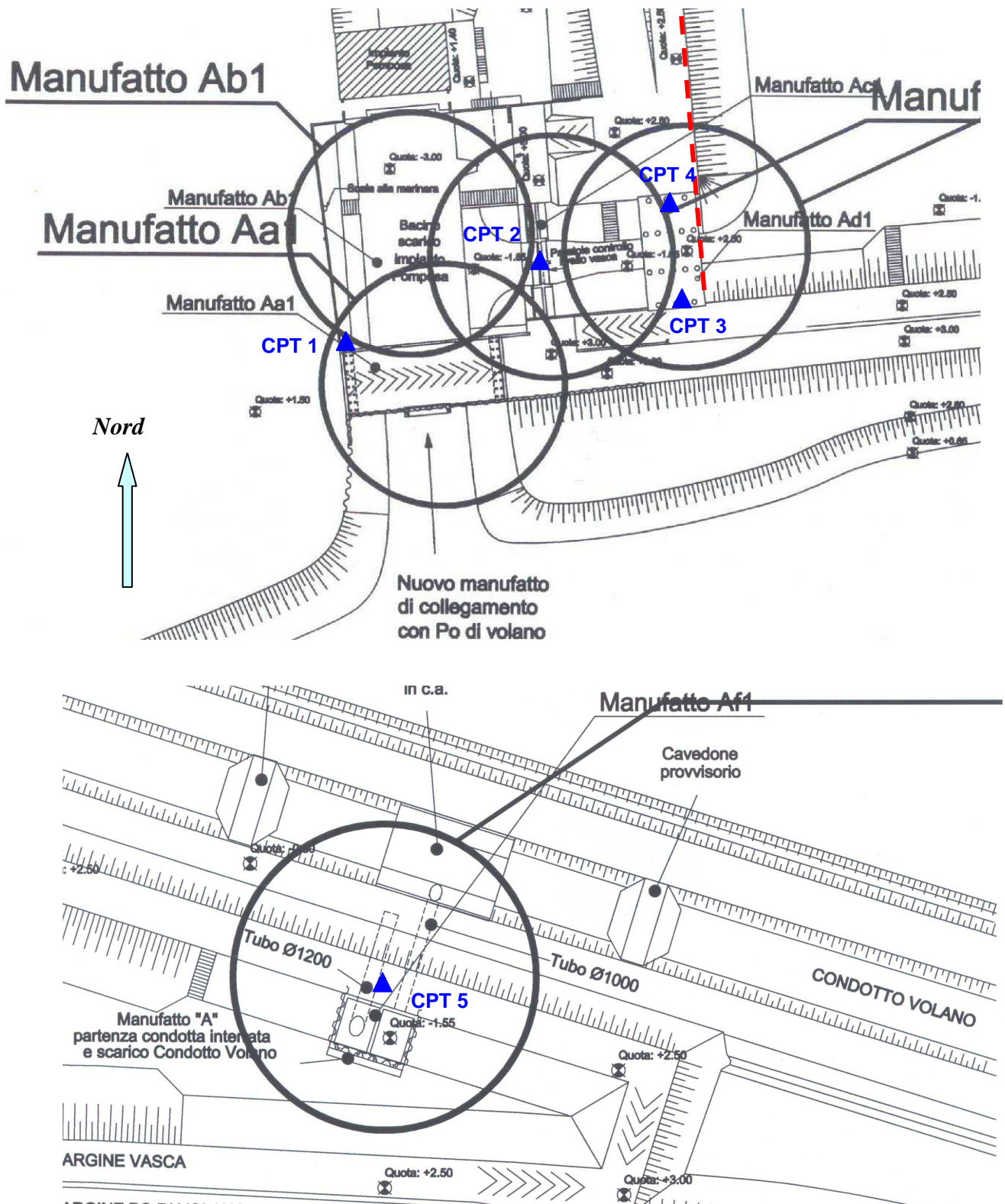


Figura 10 Pianta di Posizione delle indagini eseguite

LEGENDA

- CPT 1** ▲ Ubicazione e n° prova penetrometrica
- Stendimento sismico

Le prove penetrometriche, previste a 20 metri, sono state eseguite a profondità diverse in funzione dei terreni incontrati:

CPT 1 a metri 25,00 CPT 2 a metri 20,00 CPT 3 a metri 12,00 CPT 4 a metri 16,00 e CPT 5 a metri 17,00.

Per le prove CPT, iniziate in data 8 novembre 2011 e concluse nello stesso giorno, è stato utilizzato un penetrometro statico, modello Pagani TG 73/200, tipo Gouda da 20 ton, montato su autocarro 4x4 Unimog-Mercedes, con misura della resistenza discontinua (una lettura ogni 200÷250 mm) a mezzo di centralina elettronica.



Penetrometro da 20 ton montato su Unimog-Mercedes

Ai fini della caratterizzazione sismica dei terreni, in data 10 novembre 2011 è stata condotta un'indagine sismica mediante la tecnica dei microtremori (REMI, Refraction Microtremors) e del metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves) combinati, atta alla classificazione del sito in esame, ai sensi dell'OPCM 3274 e successive variazioni e all'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 e urbanistica".

9.1 Approfondimento d'indagine

In virtù dei risultati ottenuti nella prima fase d'indagine, in accordo con il Progettista e sentita la Committenza, si è proceduto ad un approfondimento delle investigazioni, in relazione a quanto era emerso circa le caratteristiche dei terreni che verranno interessati dai nuovi argini di contenimento, previsti per il "bacino di accumulo".

In data 7 dicembre 2011, si è quindi provveduto ad eseguire n. 4 ulteriori prove penetrometriche statiche, a profondità compresa tra 7,00 e 10,00 metri dal piano arginale e ubicate come indicato nella figura 11.

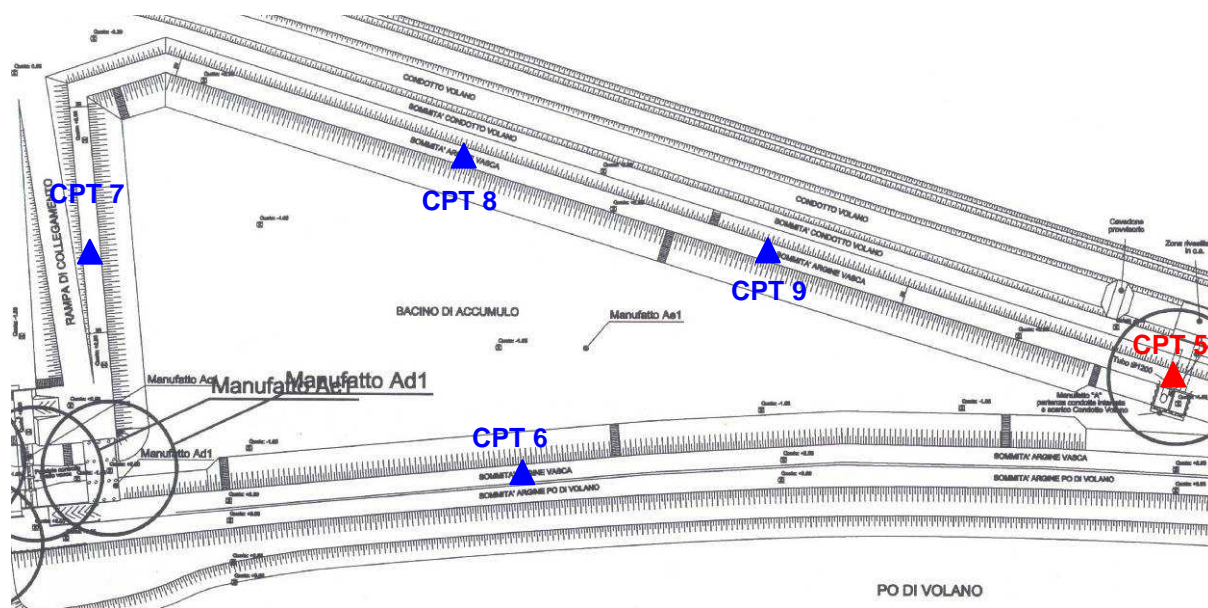
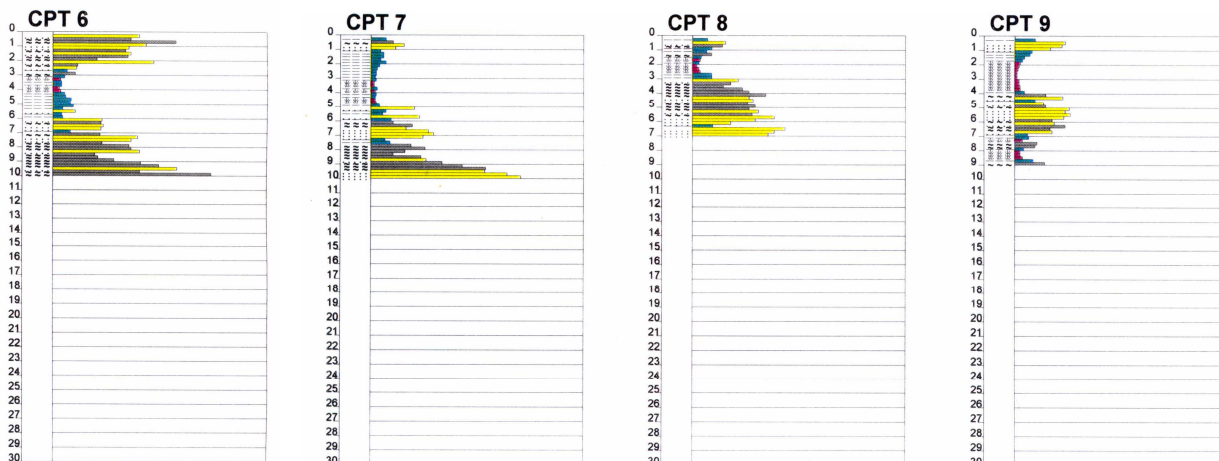


Figura 11 Pianta di Posizione delle indagini di approfondimento eseguite

LEGENDA

- CPT 6 ▲ Ubicazione e n° prove penetrometriche di approfondimento
- ▲ Ubicazione e n° prova penetrometrica indagini iniziali



9.2 Caratteristiche esecutive prove penetrometriche statiche

La prova CPT (Cone Penetration Test), consiste essenzialmente nella misura di resistenza alla penetrazione di una punta conica (punta Begemann) e di un manicotto (friction jacket cone), di dimensioni standardizzate: la punta ha un angolo di 60° e l'area della superficie di base pari a 10 cm^2 ; il manicotto per la misura dell'attrito laterale locale, è posizionato immediatamente dietro al cono ed ha l'area della superficie laterale pari 150 cm^2 .



Punta Begemann

Sono state pertanto rilevate, alternativamente, la resistenza alla punta R_p e la resistenza all'attrito laterale locale R_l .

Le tabelle dei valori ottenuti sono riportate negli ***allegati 1+10***, mentre negli ***allegati 11+19*** i diagrammi di resistenza dove si può notare:

- curva R_p = resistenza che incontra la punta dello strumento avanzando nel terreno, espressa in kg/cm^2 ;
- curva R_l = resistenza all'attrito laterale locale fornita dal manicotto, espressa in kg/cm^2 .

Negli ***allegati 20+28***, sono riportati i parametri geotecnici più rappresentativi, descritti alla pagina seguente, ottenuti dalla elaborazione delle prove effettuate.

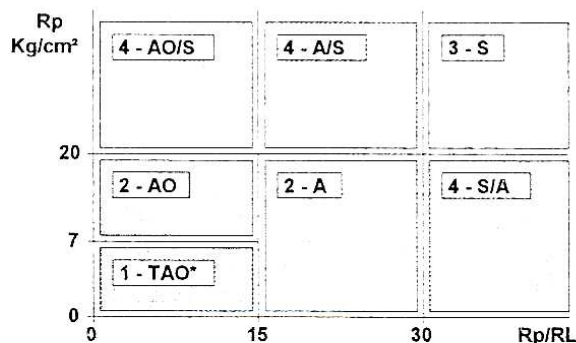
LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

SCELTE LITOLOGICHE (validità orientativa)

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto R_p / R_L
(Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$R_p \leq 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni COESIVI anche se (R_p / R_L) > 30

$R_p \geq 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni GRANULARI anche se (R_p / R_L) < 30



NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - R_p - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - R_p]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [correl. : Eu - C_u - OCR - I_p [I_p = ind.plast.]
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - R_p]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983)
- Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : Mo - R_p - natura]
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- Dr = densità relativa (terreni gran. N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : Dr - R_p - σ'_{vo}] (Schmertmann 1976)
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - Dr - R_p - σ'_{vo}]
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976)
 ϕ'_{1s} - (Schmertmann) sabbia fine uniforme ϕ'_{2s} - sabbia media unif./ fine ben gradata
 ϕ'_{3s} - sabbia grossa unif./ media ben gradata ϕ'_{4s} - sabbia-ghiaia poco lim./ ghiaietto unif.
 ϕ'_{dm} - (Durgunoglu & Mitchell) sabbie N.C. ϕ'_{my} - (Meyerhof) sabbie limose
- Amax = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (Amax/g) - Dr]

9.3 Elaborazione prove penetrometriche statiche

Nel seguito viene riportata una descrizione delle caratteristiche litologiche e meccaniche dei terreni, indagati nel corso delle prove penetrometriche, relativa al manufatto di riferimento.

CPT 1-CPT 2

“Manufatti Aa1-Ab1-Ac1, Ponte di collegamento Po di Volano, Bacino di scarico impianto, Paratoie controllo livello vasca”

dal p.c. fino a -2,00 ml circa

i terreni superficiali sono caratterizzati da litologie di natura granulare-coesiva, costituiti da probabili sabbie fini e limi argillosi a media consistenza, con valori medi di R_p compresi tra 30 e 70 kg/cm^2 , coesione media non drenata c_u superiore a 1,00 kg/cm^2 , angolo di attrito ϕ compreso tra 29° e 33° , modulo edometrico M_o superiore ai 100 kg/cm^2 e densità relativa D_r , superiore all'80%;

da -2,00 ml a -6,50 ml

le litologie caratteristiche sono rappresentate da terreni a natura coesiva (probabili argille e limi), con valori di R_p compresi tra 7 e 20 kg/cm^2 , coesione media non drenata c_u compresa tra 0,40 e 0,70 kg/cm^2 , M_o modulo edometrico superiore a 40 kg/cm^2 , intervallate da litologie granulari (probabili sabbie fini), con valori medi di R_p più elevati, mediamente superiori ai 30 kg/cm^2 , angolo di attrito ϕ compreso tra 27° e 30° e densità relativa D_r , superiore al 25%;

**da -6,50 ml a -13,20 ml
(-14,40 ml in Cpt2)**

aumentano gradualmente i valori di resistenza alla punta del penetrometro, per la presenza di litologie granulari (probabili sabbie fini e medie) a buona consistenza, con valori di R_p mediamente superiori a 40 kg/cm^2 che in alcuni orizzonti superano i 100 kg/cm^2 con un angolo di attrito ϕ compreso tra 33° e 36° , densità relativa D_r compresa tra 50% e 80% e modulo edometrico che supera mediamente i 200 kg/cm^2 ;

da -13,20 ml (Cpt 1) (-14,40 ml i valori di resistenza alla punta decrescono drasticamente per la Cpt 2) a -20 ml (-25,00 ml in Cpt2) presenza di litologie di tipo coesivo e coesivo-organico, comunque in un intervallo limitato fra le profondità di -13,20 mt e -15,80 mt, con valori di resistenza compresi tra 4 e 7 kg/cm², coesione media non drenata cu compresa tra 0,25 e 0,35 kg/cm² e Mo modulo edometrico compreso tra 18 e 35 kg/cm², mentre a maggiore profondità sono le litologie presentano natura mista coesiva e granulare con valori leggermente più elevati di resistenza:

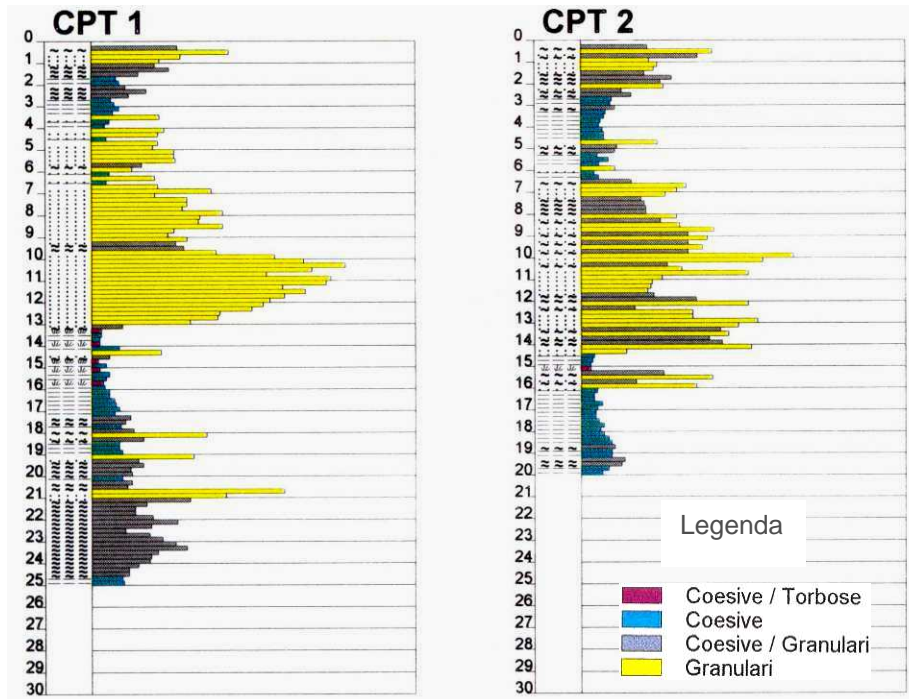
terreni coesivi: Rp 8÷19 kg/cm²
coesione media cu 0,40÷0,60 kg/cm²
Mo modulo edometrico > 40 g/cm²

terreni coesivi-granulari: Rp 15÷30 kg/cm²
angolo di attrito ϕ 27°÷29°
densità relativa Dr > 20 kg/cm²;

localmente sono presenti sottili orizzonti a natura essenzialmente granulare, con valori più elevati di Rp e angolo di attrito ϕ .

Per il nuovo Ponte di collegamento con il Po di Volano, il Progettista prevede di utilizzare fondazioni su pali che, da quanto emerso dalle indagini svolte dovranno essere intestati alla profondità di 10,00 metri dal piano delle indagini sul lato ovest mentre, sul lato est, in virtù della differenza di quota esistente, gli stessi pali dovranno essere intestati alla profondità di 11,00 metri circa, dal piano delle indagini.

Per le Paratoie di controllo livello vasca, poiché la prova di riferimento risulta la Cpt 2, la profondità dei pali di fondazione dovrà raggiungere la profondità di 11,00 metri dal piano delle indagini.

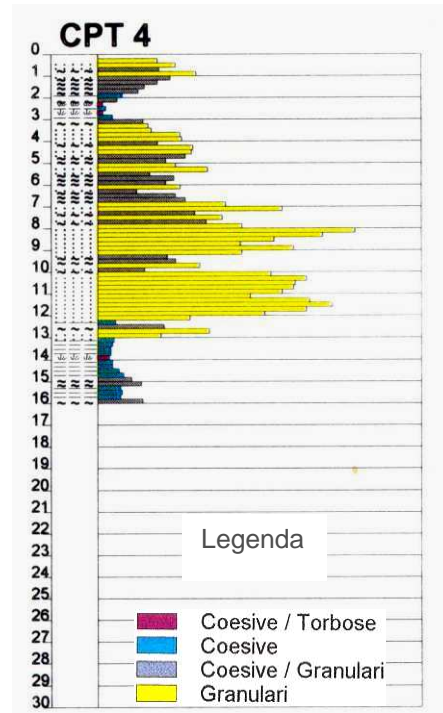
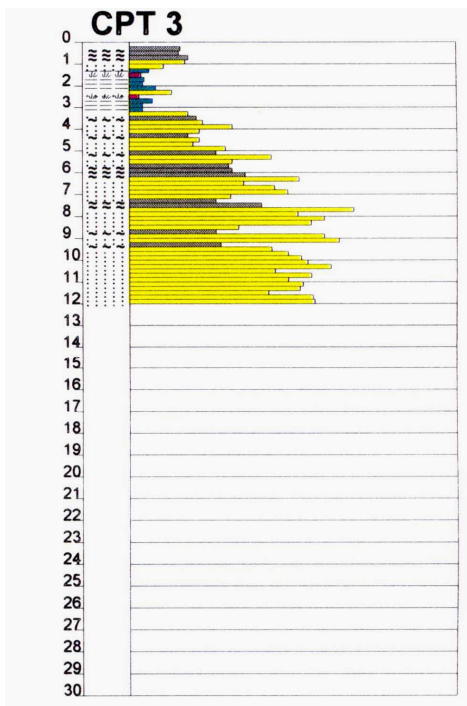


CPT 3-CPT 4

“Manufatto Ad1, Ponte di chiusura della marezzana”

- dal p.c. fino a -3,20 ml circa** superato il primo metro, caratterizzato da litologie di natura mista granulare-coesiva (probabili sabbie fini e limi argillosi) a media consistenza, con valori medi di Rp compresi tra 30 e 60 kg/cm², coesione cu superiore a 1,00 kg/cm², angolo di attrito ϕ compreso tra 27° e 30°, seguono litologie a natura coesiva e coesiva-organica a debole resistenza, con valori più bassi di Rp compresi tra 3 e 9 kg/cm², coesione cu compresa tra 0,15 e 0,30 kg/cm² e modulo edometrico Mo compreso tra 15 e 30 kg/cm²;
- da -3,20 ml a -12,00 ml** sono presenti terreni a natura essenzialmente granulare (probabili sabbie fini e medie), con valori medi di Rp compresi tra 40 e 80 kg/cm² (localmente maggiori di 100 kg/cm²), angolo di attrito ϕ compreso tra 30° e 35° e densità relativa Dr superiore al 70%;
- da -12,00 ml a -16,00 ml** profondità raggiunta solo in Cpt 4, i valori di Rp decrescono per la presenza di litologie coesive (argille, localmente limose), con valori di Rp compresi tra 7 e 15 kg/cm², coesione cu compresa tra 0,35 e 0,60 kg/cm² e modulo Mo compreso tra 30 e 60 kg/cm².

Anche per il nuovo **Ponte di chiusura della marezzana**, il Progettista prevede di utilizzare fondazioni su pali che, in virtù di quanto emerso dalle prove di riferimento effettuate (Cpt 3 e Cpt 4), dovranno essere intestati alla profondità di 10,50/11,00 metri dal piano delle indagini, per sfruttare al meglio il banco sabbioso rinvenuto a tale profondità.



CPT 5

“Manufatto Af1, partenza condotta interrata e scarico Condotta Volano”

dal p.c. fino a -1,00 ml circa

i terreni superficiali che costituiscono la sommità dell'argine, sono caratterizzati da litologie a natura coesiva (probabili argille), con valori medi di R_p compresi tra 7 e 19 kg/cm^2 , coesione media non drenata c_u compresa tra 0,35 e 0,70 kg/cm^2 e modulo edometrico M_o superiore ai 30 kg/cm^2 ;

da -1,00 ml a -7,60 ml

le litologie sono rappresentate da terreni a natura coesiva e coesiva-organica (argille e argille organiche), caratterizzate da scarsa resistenza e valori di R_p molto bassi compresi tra 2 e 11 kg/cm^2 , coesione media non drenata c_u compresa tra 0,10 e 0,30 kg/cm^2 e M_o modulo edometrico compreso tra 10 e 30 kg/cm^2 ;

da -7,60 ml a -12,00 ml

migliorano le caratteristiche dei terreni incontrati, per la presenza di probabili sabbie fini, con valori medi di R_p più elevati, compresi mediamente tra 35 e 70 kg/cm^2 , angolo di attrito ϕ compreso tra 29° e 32° e densità relativa D_r , superiore al 60%;

da -12,00 ml a -17,00 ml

massima profondità investigata, si incontrano alternanze di terreni coesivi (limi e argille) e terreni granulari (sabbie medie):

terreni coesivi:	R_p 5÷9 kg/cm^2 coesione media c_u 0,25÷0,45 kg/cm^2 M_o modulo edometrico > 20 g/cm^2
terreni coesivi-granulari:	R_p 50÷60 kg/cm^2 angolo di attrito ϕ 29° ÷ 32° densità relativa D_r > 50 kg/cm^2 .

Per il manufatto Af1, condotta interrata e scarico Condotta Volano, poiché i terreni superficiali non garantiscono adeguate caratteristiche di capacità portante si rende necessario, anche in questo caso, il ricorso a fondazioni profonde su pali che, in virtù dei terreni investigati, dovranno essere intestati ad una profondità di 8,50/9,00 metri, dal piano delle indagini.

**“Nuovi argini del bacino di accumulo”
(Cpt 6-Cpt 7-Cpt 8-Cpt 9)**

CPT 6

dal p.c. fino a -2,20 ml circa

i valori elevati riscontrati, diversamente dalle altre verticali investigate sono, in questo caso, probabilmente legati a terreni di riporto rappresentati, almeno nella parte sommitale da ghiaie e ciottoli in probabile matrice sabbioso-argillosa, con valori di R_p compresi tra 40 e 115 kg/cm^2 , angolo di attrito ϕ compreso tra 30° e 35° e densità relativa D_r , superiore al 90%;

da -2,20 ml a -3,00 ml

le litologie sono rappresentate da terreni a natura mista coesiva-granulare (argille-limose e sabbie fini), caratterizzate da valori di resistenza R_p molto bassi compresi tra 13 e 23 kg/cm^2 , coesione media non drenata c_u compresa tra 0,50 e 0,80 kg/cm^2 , angolo di attrito ϕ pari a 27° e M_o modulo edometrico compreso tra 40 e 70 kg/cm^2 ;

da -3,00 ml a -6,00 ml

i terreni caratteristici sono rappresentati da prevalenti argille e argille-organiche, con valori medi di R_p compresi mediamente tra 6 e 12 kg/cm^2 , c_u compresa tra 0,30 e 0,50 kg/cm^2 e M_o modulo edometrico medio pari a 50 kg/cm^2 ;

da -6,00 ml a -10,00 ml

massima profondità investigata, si registra un aumento delle resistenze con la profondità, in virtù della presenza di litologie marcatamente granulari e valori più elevati di R_p , compresi mediamente tra 40÷80 kg/cm^2 , angolo di attrito ϕ compreso tra 30° ÷ 36° , densità relativa D_r compresa tra 40 e 80%.

CPT 7

dal p.c. fino a -5,00 ml circa

i terreni superficiali che costituiscono la sommità dell'argine, sono caratterizzati da litologie di natura prevalentemente granulare (probabili sabbie limi), con valori medi di Rp compresi tra 14 e 31 kg/cm², angolo di attrito ϕ compreso tra 27° e 29° e densità relativa media, superiore al 70%;

da -5,00 ml a -9,0 ml

si incontrano alternanze di terreni coesivi (limi e argille) e terreni granulari (probabili sabbie fini):

terreni coesivi: Rp 11÷18 kg/cm²
coesione media cu 0,50÷0,60 kg/cm²
Mo modulo edometrico > 40 g/cm²

terreni granulari: Rp medio 30÷40 kg/cm²
angolo di attrito ϕ 27°÷30°
densità relativa Dr > 50 kg/cm²;

da -9,00 ml a -10,00 ml

massima profondità indagata, migliorano le caratteristiche dei terreni incontrati, per la presenza di terreni essenzialmente granulari, con valori medi di Rp più elevati, compresi mediamente tra 80 e 140 kg/cm², angolo di attrito ϕ compreso tra 36° e 38° e densità relativa Dr, superiore al 70%.

CPT 8

dal p.c. fino a -1,40 ml circa

sono presenti litologie di natura mista granulare-coesiva (probabili sabbie fini e limi argillosi) a media consistenza, con valori medi di Rp compresi tra 13 e 31 kg/cm², coesione cu superiore a 0,60 kg/cm², angolo di attrito ϕ compreso tra 27° e 29° e densità relativa Dr, superiore al 70%;

da -1,40 ml a -2,60 ml

le litologie caratteristiche sono rappresentate da terreni a natura coesiva e coesiva-organica, con valori medi di Rp compresi tra 4 e 8 kg/cm², cu compresa tra 0,20 e 0,40 kg/cm² e Mo modulo edometrico compreso tra 18 e 50 kg/cm²;

da -2,60 ml a -7,00 ml

massima profondità indagata, si passa gradatamente a litologie granulari con miglioramento delle caratteristiche dei terreni incontrati, con valori di R_p più elevati, compresi mediamente tra 18 e 80 kg/cm^2 , angolo di attrito ϕ compreso tra 29° e 33° e densità relativa D_r , procedendo con la profondità, superiore al 65%.

CPT 9

dal p.c. fino a -1,0 ml circa

sono presenti litologie di natura essenzialmente granulare (probabili sabbie fini) a media consistenza, con valori medi di R_p compresi tra 19 e 47 kg/cm^2 , angolo di attrito ϕ compreso tra 29° e 31° e densità relativa D_r , superiore al 75%;

da -1,00 ml a -4,00 ml

peggiorano sensibilmente le caratteristiche geotecniche per la presenza di litologie coesive e coesive-organiche, con R_p che da valori compresi tra 7 e 14 kg/cm^2 , scendono a valori compresi tra 2 e 5 kg/cm^2 , con c_u compresa tra 0,10 e 0,25 kg/cm^2 e M_o modulo edometrico compreso tra 9 e 30 kg/cm^2 ;

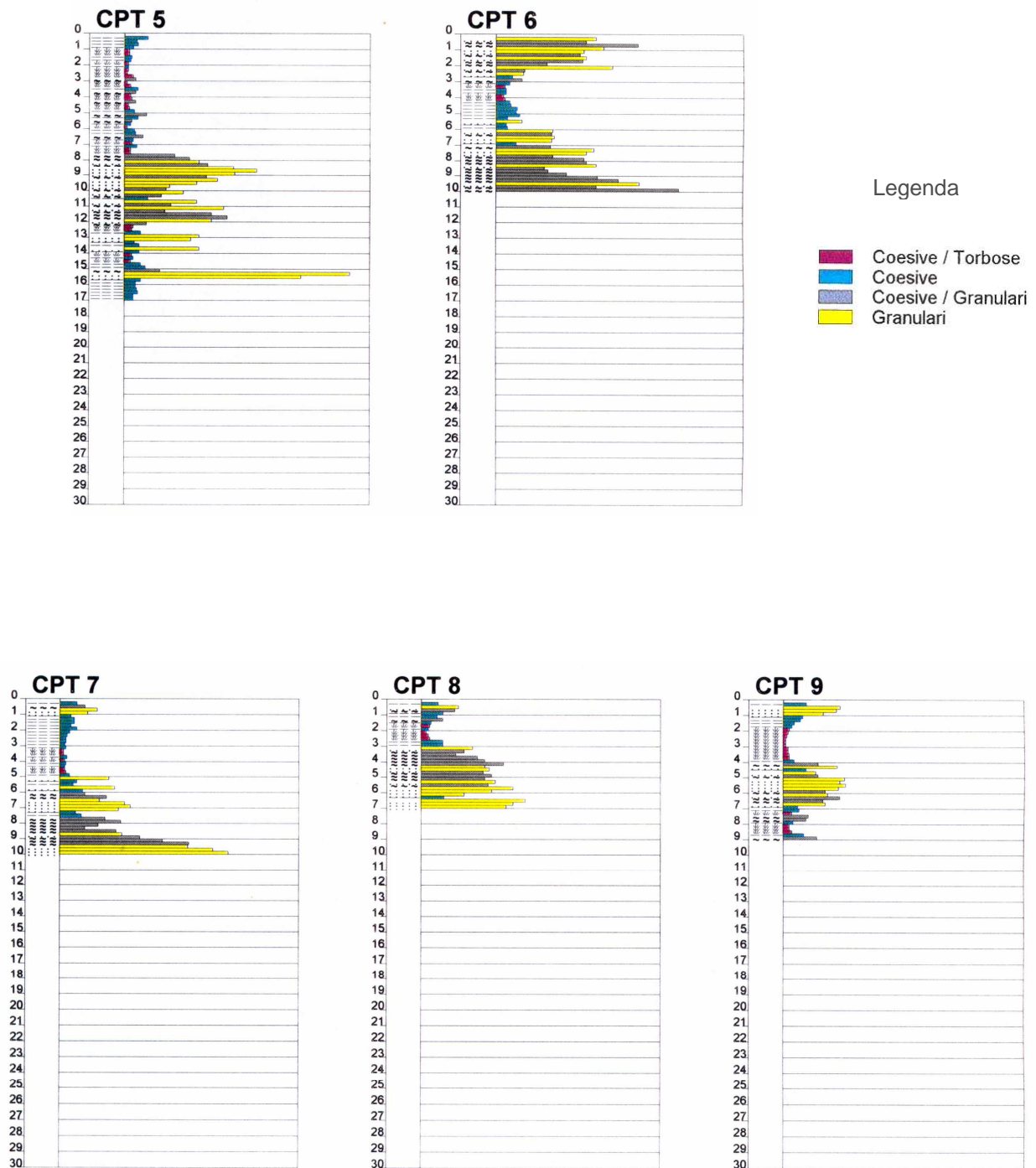
da -4,00 ml a -6,80 ml

sono presenti litologie granulari con miglioramento delle caratteristiche geotecniche dei terreni incontrati, e con valori di R_p più elevati, compresi mediamente tra 30 e 50 kg/cm^2 , angolo di attrito ϕ compreso tra 29° e 31° e densità relativa D_r , procedendo con la profondità, superiore al 45%.

da -6,80 ml a -9,00 ml

massima profondità indagata, si incontrano alternanze di terreni coesivi-organici e terreni granulari:

terreni coesivi:	R_p 5÷8 kg/cm^2
	coesione media c_u 0,25÷0,35 kg/cm^2
	modulo edometrico pari a 25 kg/cm^2
terreni granulari:	R_p medio 17÷28 kg/cm^2
	angolo di attrito ϕ 26° ÷ 28°
	densità relativa D_r 0,30



Alla fine delle prove, tramite freatimetro di precisione, è stato misurato il livello statico della falda freatica, rispetto al piano delle indagini, risultato compreso tra -1,50 metri e -4,00 metri (periodo a medie precipitazioni, novembre 2011).

Maggiori dettagli sulle prove effettuate vengono riportati negli allegati, inseriti nella presente relazione.

9.4 Analisi di laboratorio

Nel corso delle prove eseguite, essendo stati rinvenuti orizzonti coesivi soffici in corrispondenza della Cpt 5, in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali durante il terremoto di riferimento; è stato quindi prelevato un campione indisturbato, al fine di condurre prove di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica degli strati, al fine di valutare gli eventuali cedimenti di riconsolidazione post-ciclica.

Sul campione prelevato in corrispondenza della Cpt 5, fra le profondità di -2,00 mt e -2,50 mt dal piano campagna, sono state eseguite le seguenti analisi:

Limiti di Atterberg

Umidità naturale, densità naturale, densità secca, indice dei vuoti;

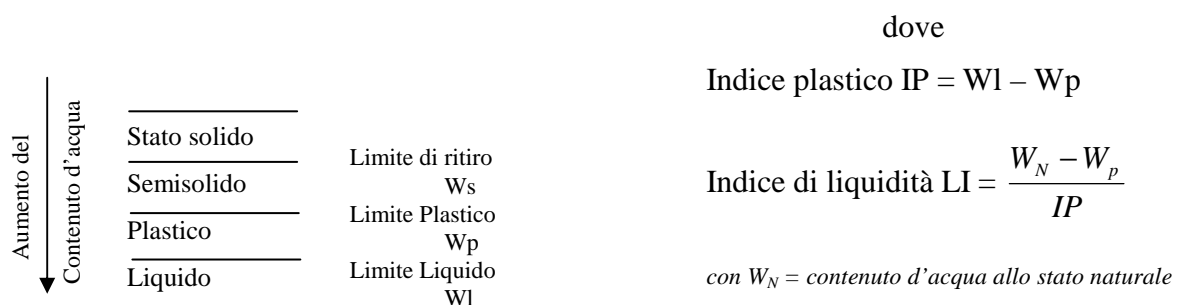
Prova edometrica I.L. con pressione fino a 1600 kPa con scarico finale;

9.5 Specifiche analisi di laboratorio

Limiti di Atterberg

Un terreno a grana fine può presentarsi in quattro differenti stati fisici a seconda del suo contenuto d'acqua w e, dato che il valore corrispondente al passaggio da uno stato ad un altro varia da argilla ad argilla, una misura di w può servire come mezzo di identificazione e classificazione.

La figura sottostante schematizza i quattro possibili stati fisici e definisce il contenuto d'acqua corrispondente ai vari passaggi.



Determinazione del contenuto naturale d'acqua

Questa determinazione, condotta sul campione prelevato, consiste nella misura della quantità d'acqua presente nel terreno, allo stato naturale, eseguita secondo le norme ASTM DESIGNATION d 2216-71, ed espressa in percentuale del peso secco.

Determinazione del peso di volume

Sullo stesso campione è stato altresì calcolato il peso di volume per immersione in cilindro graduato, dopo aver paraffinato il provino, per evitare alterazioni al suo stato naturale e contenuto d'acqua.

Prova di consolidazione edometrica per gradini di carico (I.L.)

L'apparecchiatura edometrica consiste essenzialmente di un anello rigido che contiene il provino il quale è confinato superiormente ed inferiormente tra due pietre porose; quella superiore è sormontata da un capitello rigido per l'applicazione del carico.

L'insieme provino - anello rigido - pietre porose, è posto in un contenitore pieno d'acqua per prevenire l'essiccamento del provino nel corso della prova e in modo da fornire l'acqua di assorbimento durante la fase di scarico.

Le dimensioni adottate per il provino rappresentano un compromesso tra opposte esigenze, pertanto non sono sempre ed ovunque le stesse.

Generalmente il rapporto diametro/altezza non deve essere inferiore a 2.5 per minimizzare l'influenza dell'attrito tra superficie laterale e anello di contenimento.

Di conseguenza si impiegano generalmente provini di diametro minimo di 50 mm ed altezza minima di 19 mm.

La prova edometrica riproduce in laboratorio le condizioni di consolidazione monodimensionale; la metodologia più semplice, e usata nel nostro caso, è quella ad **incremento di carico (IL)**.

Essa consiste nell'applicare una sequenza di carichi con progressione geometrica ad un provino confinato lateralmente, in modo che le deformazioni ed il flusso d'acqua avvengano solo in direzione verticale.

Ogni incremento di carico è mantenuto costante per un certo intervallo di tempo (di norma 24 ore) sufficiente a garantire la completa dissipazione delle sovrappressioni d'acqua interstiziale generate dal carico stesso.

Nel corso del processo di consolidazione viene rilevata l'altezza del provino a vari istanti di tempo; tali dati sono utilizzati per determinare i parametri di compressibilità e la velocità di consolidazione.

9.6 Risultati delle analisi di laboratorio

Nella tabella seguente vengono riassunti i risultati delle analisi effettuate sul campione prelevato.

Sul campione prelevato, sono state condotte entrambi questi campioni è stata inoltre eseguita una prova edometrica I.L. (fino ad una pressione di 1600 kPa con tabella di e_0 , C_c (per tutti i gradini di carico) e una prova di compressione ad espansione libera, le cui elaborazioni dettagliate sono riportate negli allegati.

Caratteristiche		Campione OST1	
Umidità naturale	W	42.037	%
Massa volumica umida	g	1761.62	kg/m ³
Massa volumica secca	g _d	1240.26	kg/m ³
Massa specifica dei grani	Gs	2705,49	kg/m ³
Limite liquido	LL	57	%
Limite plastico	LP	26	%
Indice plastico	IP	31	%
Indice dei vuoti	e	1.18	
Porosità	N	54.16	%
Umidità di saturazione	Ws	43.67	%
Grado di saturazione	Sr	96.27	%

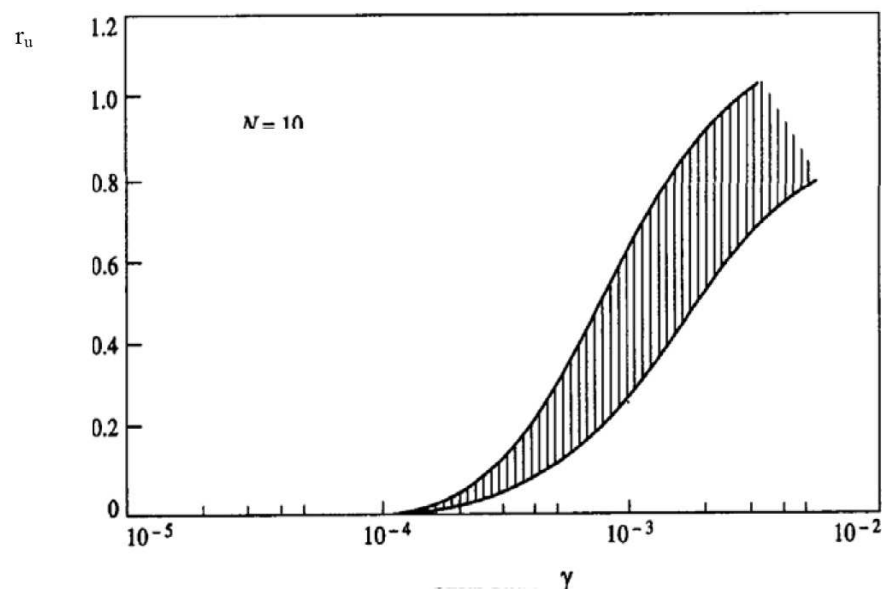
I risultati completi delle analisi geotecniche di laboratorio sono riportati negli **allegati 29-34**.

10. VERIFICA CEDIMENTI POSTSISMICI NEI TERRENI COESIVI

La presente verifica deve contenere quanto previsto dalla Nota Provinciale Prot. 110083/05 del 29/11/2005, che richiama la “Valutazione di compatibilità delle previsioni con la riduzione del rischio sismico e con le esigenze di Protezione Civile”, prevista dalla Delibera di Giunta Regionale n. 1677/05; deve inoltre essere conforme ai contenuti dell’“Atto di indirizzo e coordinamento tecnico” approvato dall’Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna con Delibera n. 112 del 2 maggio 2007.

I cedimenti post-sismici dei terreni coesivi molto soffici ($c_u \leq 70 \text{kPa}$) e plastici ($IP \geq 30\%$), dovuti a fenomeni di riconsolidazione conseguenti alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante un terremoto risulta essere significativo, ai fini ingegneristici, solo se il rapporto dell’incremento delle pressioni interstiziali $r_u = \Delta u / \sigma'_{vo}$ è maggiore o uguale a 0.3.

Tale rapporto può essere valutato dal grafico riportato nella figura seguente.



Valutazione dell’incremento di pressioni neutre normalizzato ($r_u = \Delta u / \sigma'_{vo}$) in funzione della deformazione indotta dal sisma di progetto (Dobry, 1989) [11].

Per valutare se negli orizzonti coesivi soffici possano sussistere condizioni legate a fenomeni di riconsolidazione, significativi ai fini ingegneristici e conseguenti alla dissipazione delle pressioni interstiziali che potrebbero accumularsi dopo un eventuale terremoto, sono state condotte analisi di laboratorio sul campione indisturbato Ost 1 (da -2,00 mt a -2,50 mt), prelevato in corrispondenza dei terreni incontrati nel corso dell’esecuzione della Cpt 5, rappresentativo degli orizzonti a natura maggiormente coesiva.

Nel seguito vengono brevemente riassunti i risultati, per quanto riguarda i limiti di consistenza.

	Campione OST1		
Limite liquido	LL	57	%
Limite plastico	LP	26	%
Indice plastico	IP	31	%

Poiché per il campione prelevato, risulta $I_p > 30\%$ e analizzando la situazione stratigrafica del sottosuolo indagato sono presenti orizzonti coesivi soffici, individuati nella cpt 5 entro i primi 10,00 metri, con valori di coesione non drenata c_u compresi tra 0,10 e 0,35 kg/cm² (9,81 e 34,32 kPa), in accordo con l'Atto di indirizzo, si procederà alla valutazione del rapporto dell'incremento delle pressioni interstiziali $r_u = \Delta u / \sigma'_{vo}$.

La deformazione indotta dal terremoto di progetto negli strati di terreno è valutabile utilizzando la seguente espressione:

$$\gamma_{\max} = 0.65 * a_{g,rif} * S * \sigma_{vo} * r_d * \frac{1}{G}$$

dove:

$a_{g,rif}$ = accelerazione di riferimento per il Comune allo studio, Codigoro (FE) $a_{g,rif} = 0.079$

S = fattore di amplificazione, funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s e della stratigrafia dei terreni (nel caso in esame F.A. = 1.50)

σ_{vo} = carico litostatico in termini di tensioni totali

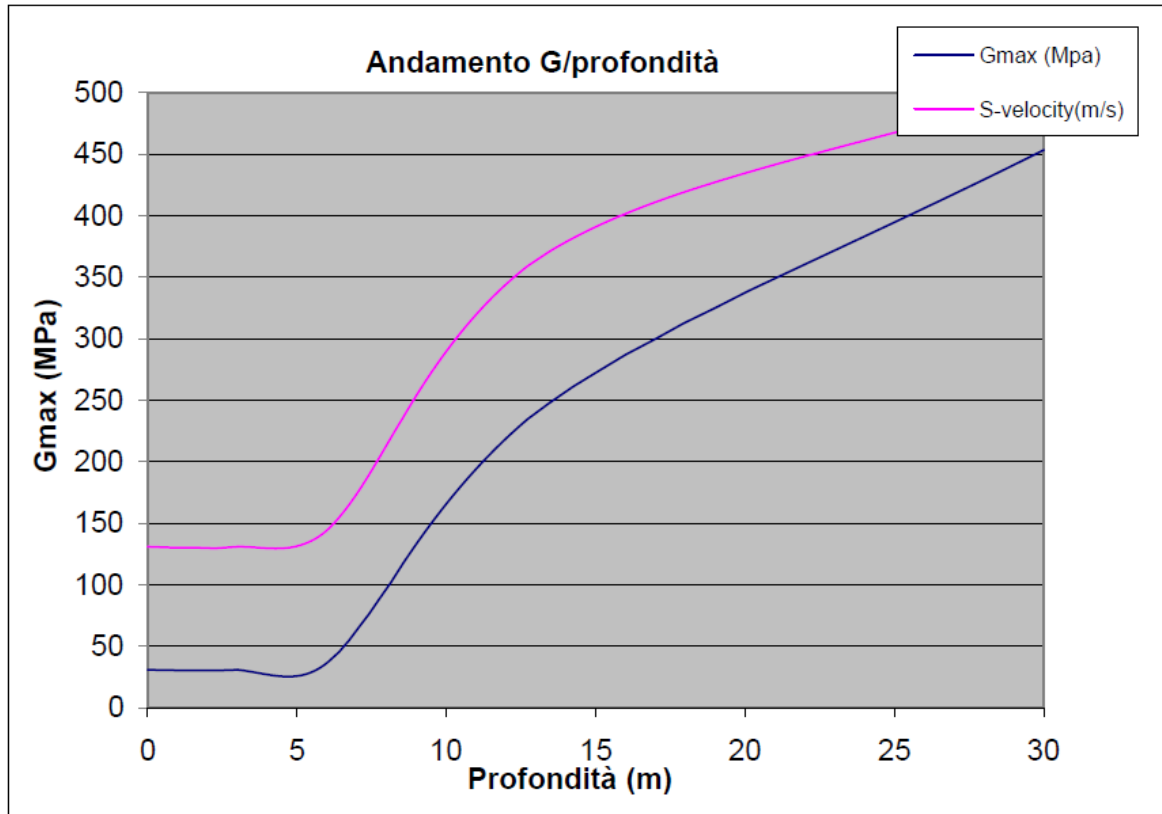
r_d = $(1 - 0.00766 * Z)$ per profondità dello strato entro 9,15 metri dal p.c.

r_d = $(1,174 - 0.0267 * Z)$ per profondità comprese tra 9,15 metri e 23 metri dal p.c.

G = valore del modulo di taglio corrispondente al livello deformativo γ_{\max}

Nella pagina seguente si riporta l'andamento di G modulo di taglio, con la profondità, ricavato dall'indagine sismica effettuata.

Depth(m)	S-velocity(m/s)	Gmax (Mpa)	ρ (t/mc)
0.0	131	31	1.80
3.0	131	31	1.80
6.1	146	38	1.80
13.5	371	248	1.80
30.0	502	454	1.80



$$V_{s30} \text{ (m/s)} = 310$$

Per il calcolo dei cedimenti postsismici, verranno utilizzati i dati ricavati dalle analisi di laboratorio effettuate sul campione OST 1, rappresentative dell'orizzonte coesivo soffice, rinvenuto in Cpt 5 nei primi 5,00 metri di profondità.

10.1 Verifiche livello compreso tra -1.00 e -5.00 metri dal piano campagna

Per l'orizzonte, compreso da -1.00 a -5,00 metri dal piano campagna il calcolo del cedimento postsismico viene effettuato considerando una R_p media di 5 kg/cm^2 (490 kPa).

Il Modulo di taglio G , può essere ricavato dai dati dello stendimento sismico (cfr. tabella), dove, in mezzeria dello strato considerato si ottiene un valore di $G = 31000 \text{ kPa}$.

Lo strato su cui viene calcolato il cedimento postsismico inizia a -1,00 m dal p.c. e termina a -5,00 m dal p.c. con una R_p media di 5 kg/cm^2 .

Nella tabella sottostante vengono riportati i dati di input per l'analisi.

strato	Tetto-letto (m da p.c.)	DH (cm)	qc (kPa)	G (kPa)	r_d
1	Da -1.00 a -5,00	400	490	31000	0,977

La deformazione indotta dal terremoto di progetto negli strati di terreno è valutabile utilizzando la seguente espressione:

$$\gamma_{\max} = 0.65 * a_{g,\text{rif}} * S * \sigma_{v0} * r_d * \frac{1}{G}$$

dove:

$a_{g,\text{rif}}$ = accelerazione di riferimento per il Comune allo studio, Codigoro (FE) $a_{g,\text{rif}} = 0.079$

S = fattore di amplificazione, funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s e della stratigrafia dei terreni (nel caso in esame F.A. = 1.50)

$\sigma_{v3,00} = 1,76 \times 3,00 = 5,28 \text{ t/m}^2$ (51,78 kPa)

r_d = per profondità dello strato entro 9,15 metri dal p.c $(1 - 0.00766 * 3,00) = 0,977$

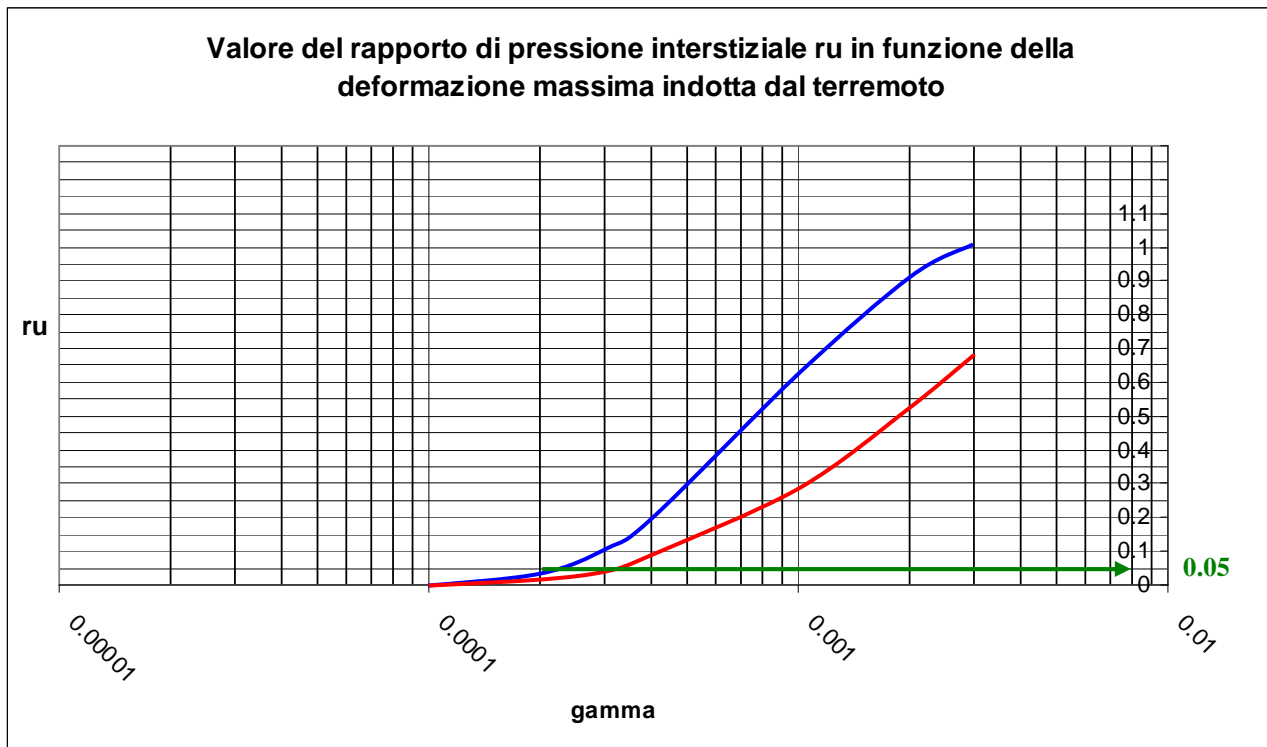
G = 31000 kPa (valore del modulo di taglio corrispondente al livello deformativo γ_{\max})

G_0 = modulo di taglio alle piccole deformazioni.

Sostituendo i valori, si ottiene

$$\gamma_{\max} = 0.65 * 0.079 * 1,5 * 51,87 * 0.977 * \frac{1}{31000} = 1.259 \cdot 10^{-4}$$

Introducendo in ascissa il valore di γ_{\max} calcolato, si valuta se la r_u assume valori tali da dover procedere al calcolo dei cedimenti post-sismici.



Come si può notare, lo strato considerato subisce, a causa del terremoto un incremento di pressione interstiziale r_u decisamente inferiore a 0,3 per cui non si dovrebbe procedere al calcolo dei cedimenti postsismici.

Si procede comunque al fine di valutarne l'entità, in caso di evento sismico, utilizzando la seguente espressione:

$$\Delta H = H \frac{\alpha \cdot C_r}{1+e_0} * \log \left\{ \frac{1}{1 - \frac{\Delta_u}{\sigma_{vo}}} \right\}$$

Sostituendo i valori per lo strato considerato:

$$H = 400 \text{ cm}$$

$$\alpha = 1.25 \text{ (valore medio compreso tra 1 e 1.5)}$$

$$e_0 = 1.18$$

$$\frac{\Delta_u}{\sigma_{vo}} = 0.05 \text{ (valore cautelativo)}$$

$$C_r = 0.225 * C_c = 0.225 * 0,225 = 0,0506$$

Si ricava $\mathbf{DH_{(0.05)} = 0.258 \text{ cm}}$

11. INDAGINE SISMICA

Ai fini della caratterizzazione sismica dei terreni, in data 10 novembre 2011 è stata condotta un'indagine sismica mediante il metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves) attivo e passivo, atta alla classificazione del sito in esame, ai sensi del D.M. 14/01/2008.

Il metodo utilizzato sfrutta le onde di superficie (onde di Rayleigh) e il fenomeno della dispersione delle stesse (variazione della velocità di fase con il variare della frequenza).

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$.

Il metodo dei microtremori sfrutta il rumore naturale, mentre il metodo MASW sfrutta sorgenti "attive", (massa battente).

Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello tecnico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico), onde ricavare il modello reale.

L'indagine è stata eseguita lungo un asse passante per il punto di sondaggio (cfr. figura 10).

11.1 Modalità Esecutive

Si è optato per l'analisi delle onde di superficie dal momento che tale tecnica ha dimostrato ampiamente la sua affidabilità e la capacità risolutiva.

Il metodo prevede l'utilizzo di strumentazione classica per sismica a rifrazione ad elevata dinamica (24 bits di conversione A/D), con geofoni a bassa frequenza (preferibilmente da 4,5 Hz).

Nella fattispecie per le misure era stato utilizzato un sismografo a 24 canali mod. RAS24 a 24 bits con scarico dei dati direttamente su PC.

Sono state effettuate 10 registrazioni da 30 secondi ciascuna, per il metodo passivo, e 1 registrazione da 2 secondi ciascuna per il metodo attivo.

Utilizzando geofoni di tipo verticale da 4,5 Hz e grazie alla dinamica dello strumento (117 dB di range dinamico), è stata eseguita la registrazione delle onde di superficie con contenuto in frequenza fino a circa 2 Hz.

I dati acquisiti in campagna sono stati elaborati e, grazie ai dati di taratura forniti, è stato possibile ricostruire un modello $V_s/\text{profondità}$ attendibile.

11.2 Risultati e conclusioni

L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a circa 35 metri di profondità.

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

L'errore RMS calcolato risulta pari al 0.39 % .

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 2 metri.

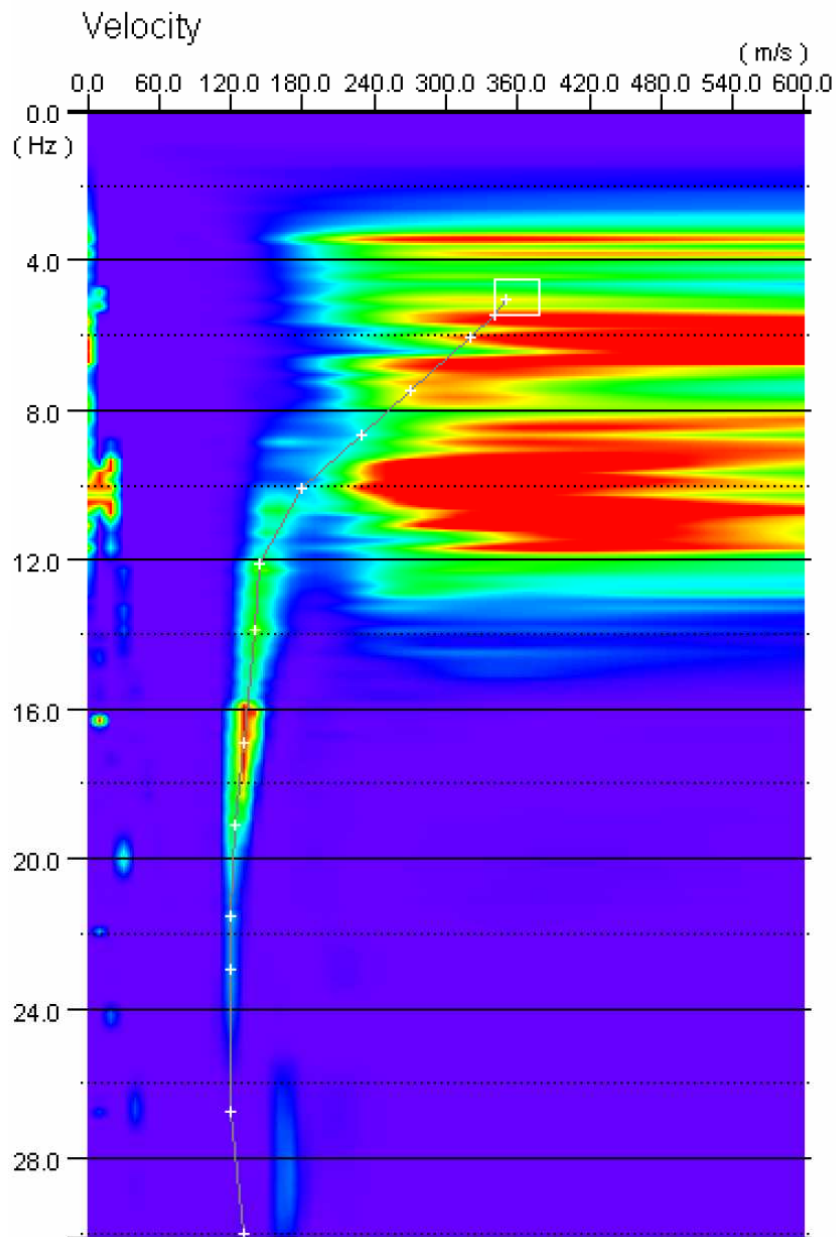


Diagramma 1 - Curva di dispersione cumulativa metodi attivo e passivo

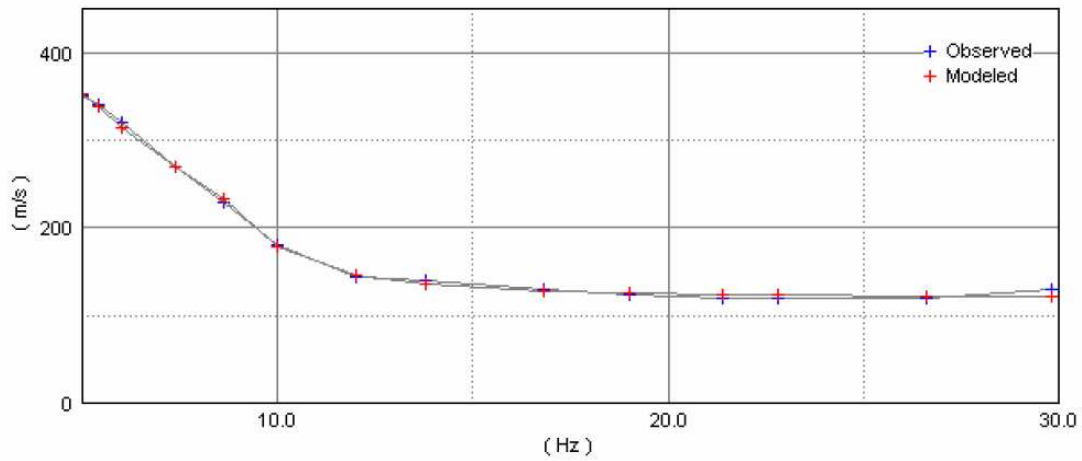


Diagramma 2 - Curva di dispersione misurata (blu) e calcolata (rosso)

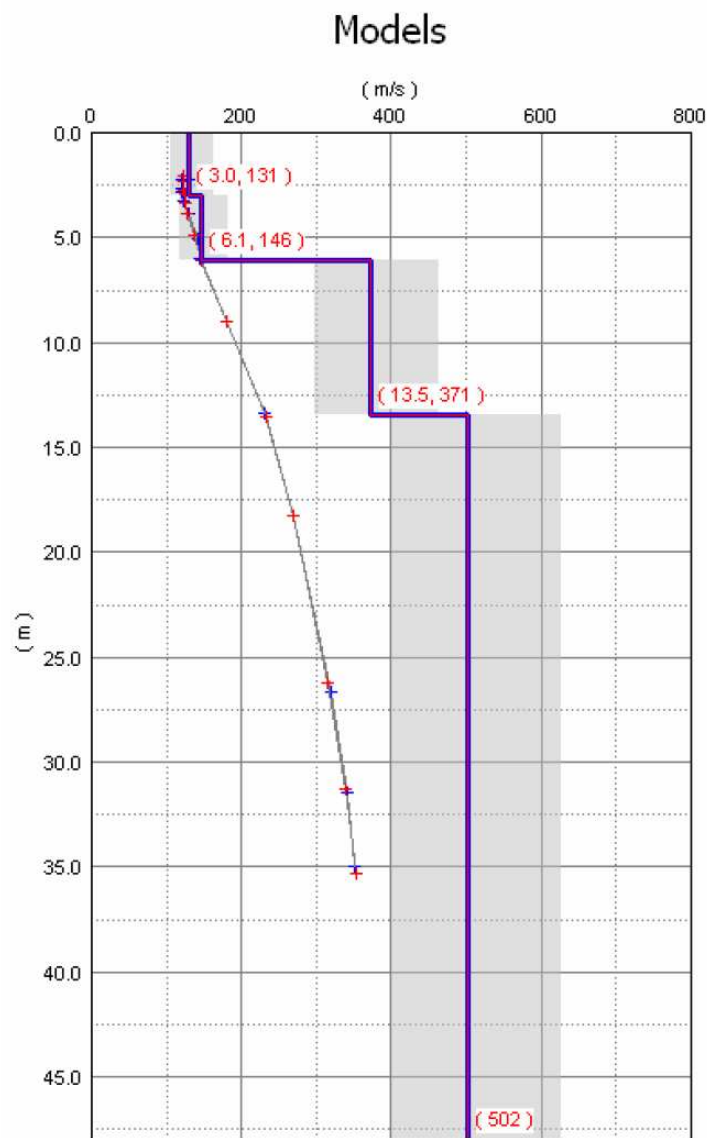


Diagramma 3 - Modello risultante dall'inversione dei dati

11.3 Classificazione secondo NTC 2008

La V_{s30} è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico, risultando $V_{s30} = 310$ m/s, il sito esaminato presenta un suolo tipo C (S = 1.50 secondo NTC 2008).

Nel seguito viene inoltre fornito lo spettro di risposta elastico, considerando il 5% di smorzamento della componente orizzontale (NTC 2008), con possibilità di superamento del 10% in 50 anni.

Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (secondo NTC 2008).

E' stata inoltre inserita la classificazione del sito in base alle normative vigenti.

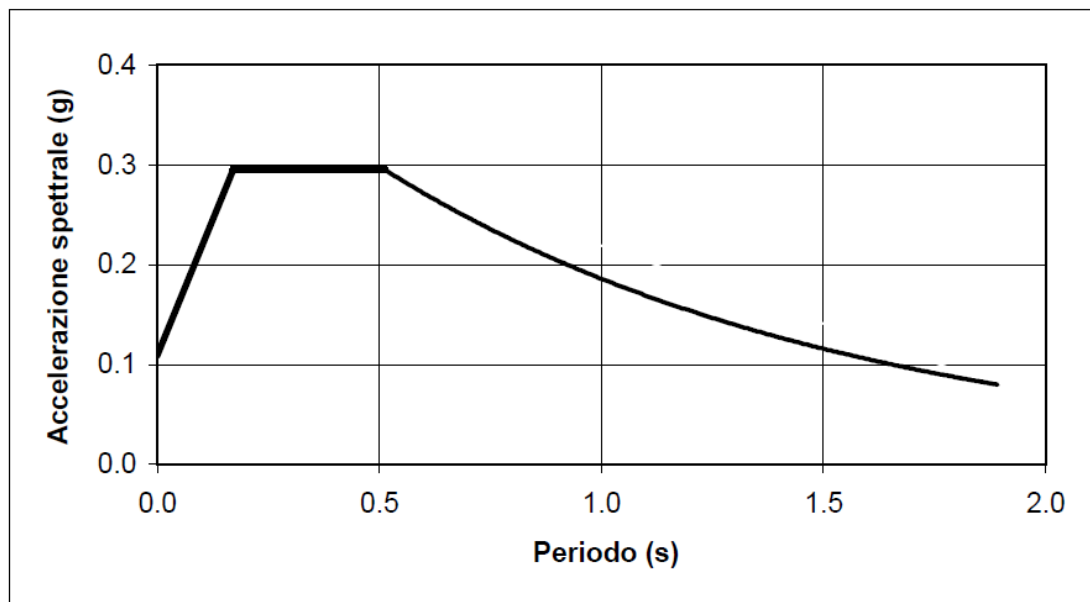
$$T_0 = ag \times S$$

$$T_b = T_c / 3$$

$$T_c = C_c \times T_c^*$$

$$T_d = 4.0 \times a_g / g + 1.6$$

Ascisse (s)	Ordinate
0.0000	0.1095
0.1704	0.2955
0.5111	0.2955
1.8920	0.0798



Classificazione delle zone di sismicità

Zona	accelerazione orizzontale (a_g/g) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni	accelerazione orizzontale (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (NTC)	Valori di a_g , accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A, da adottare
1	> 0.25	0.35	0.35 g
2	0.15 – 0.25	0.25	0.25 g
3	0.05 – 0.15	0.15	0.15 g
4	< 0.05	0.05	0.05 g

CLASSIFICAZIONE DEL SITO Ordinanza 3274 del 20/03/2003

Località	Stabilimento Idrovo di Pomposa, Comune di Codigoro (FE)
Metodo di indagine	MASW (misura Vr)
Strumentazione utilizzata	Sismografo ABEM RAS-24, 24 canali, 24 bits
Metodo di energizzazione	Rumore naturale + 10 kg
Geometria stendimento	24 geofoni – interasse 2 metri

		Ss	Cc	S= Ss * St
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	1.00	1.00	1.00
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine)	1.20	1.36	1.20
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori ai 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < Cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	1.50	1.49	1.50
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori ai 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $70 < Cu_{30}$ kPa nei terreni a grana fina)	1.80	2.13	1.80
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s)	1.60	1.76	1.60
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori ai 100 m/s (ovvero $70 < Cu_{30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	Servono studi speciali		
S2	Deposito di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti			

I parametri a/g , F_0 e T_c vengono forniti dalla normativa

Nella tabella seguente vengono riportate le *Categorie Topografiche*, riferite a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, che devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 metri.

St			
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione $i \leq 15^\circ$	1	
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2	Valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2	Valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4	Valore della cresta del rilievo

Ai fini della presente normativa (NTC 2008), le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito
 F_o 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

In allegato alla norma citata (NTC 2008), per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_o e T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

I valori dello spostamento orizzontale d_g e della velocità orizzontale v_g massimi del terreno sono dati dalle seguenti espressioni:

$$d_g = 0,025 * S * T_c * T_D * a_g$$

$$v_g = 0,16 * S * T_c * a_g$$

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di suolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione $S = S_s * S_T$

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

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da $T_C = C_c * T_c^*$, dove C_c è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi tabelle precedenti)

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante $T_B = T_C/3$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in

secondi mediante la relazione: $T_D = 4,0 \frac{a_g}{g} + 1,6$

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_s e C_c valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_o e T_c^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella tabella sottostante, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

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

Essendo in fase di progettazione è stata inoltre effettuata la ricerca approfondita, per coordinate, come previsto dalle NTC 2008.

Dati sul sito

Latitudine: 44.821377 Longitudine: 12.180381

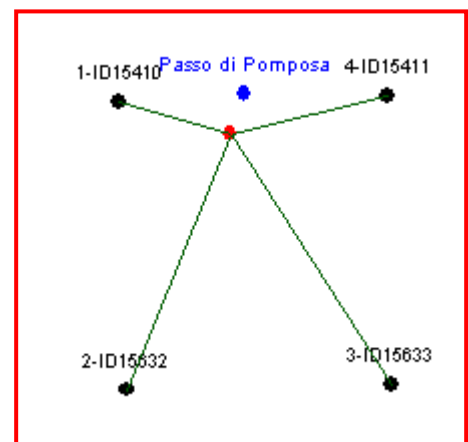
Dati sulla costruzione

Classe d'uso: 2

Vita Nominale: 50 anni

Coefficiente d'uso: 1

Vita di riferimento: 50 anni



Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (SLV) Periodo di ritorno: 474.561079 (anni)

Punti impiegati sulla maglia di riferimento

Primo punto: ID=15410 Lat.=44.827000 Long.=12.151000 Distanza=2.400081 Km

Secondo punto: ID=15632 Lat.=44.777000 Long.=12.153000 Distanza=5.386709 Km

Terzo punto: ID=15633 Lat.=44.778000 Long.=12.223000 Distanza=5.879787 Km

Quarto punto: ID=15411 Lat.=44.828000 Long.=12.222000 Distanza=3.363963 Km

Calcolo eseguito con interpolazione basata sulle distanze

Valori finali calcolati: $ag = 0.0772 g$ $F_o = 2.6479$ $T_c^* = 0.3365 \text{ sec}$

11.4 Classificazione del sito (Delibera Regionale n. 112)

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 classificazione territoriale e urbanistica.

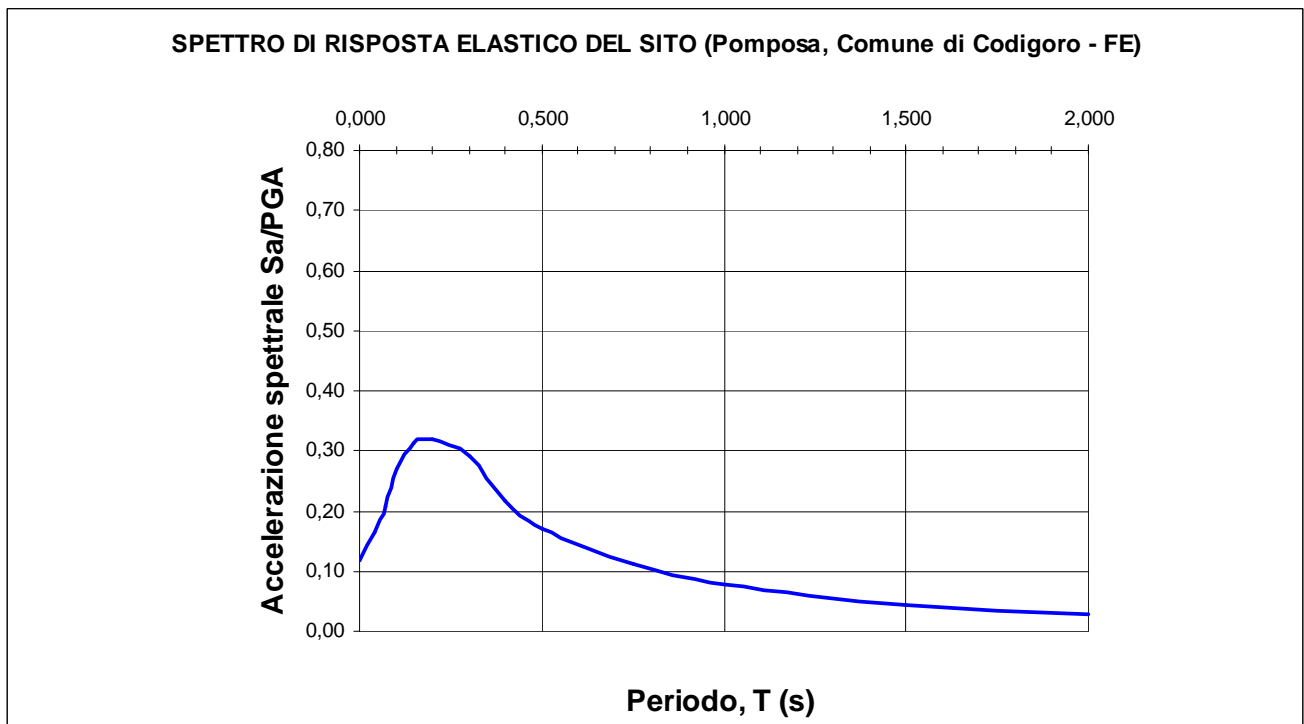
Dalla Tabella 2 dell'Atto di indirizzo n. 112, il Comune di Codigoro (FE) assume un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo a_{refg} 0,079.

Di seguito si riporta la tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica, valida supponendo il substrato profondo (≥ 100 m da p.c.) PIANURA 2.

Vs30	F.A.
200	1.5
250	1.5
300	1.5
350	1.4
400	1.4
450	1.4
500	1.3
600	1.1
700	1.0
800	1.0

Nel seguito viene calcolato lo spettro di riposta elastico 5% smorzamento –componente orizzontale, con possibilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni), dove tale condizione corrisponde allo **stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV)**.

T(s)	Sa/a _{refg}	Sa/a _g
0	1,000	0,119
0,04	1,389	0,165
0,07	1,759	0,208
0,1	2,283	0,271
0,15	2,637	0,312
0,2	2,707	0,321
0,3	2,466	0,292
0,4	1,840	0,218
0,5	1,445	0,171
0,75	0,955	0,113
1	0,645	0,076
1,5	0,355	0,042
2	0,231	0,027



Riassumendo:

Zona sismica di appartenenza: 3

Sottosuolo categoria: C

Accelerazione massima al suolo: $a_{max}: S * a_{refg} = 1,50 * 0,079g = 0,1185g$

(Secondo l'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 classificazione territoriale e urbanistica).

Spostamento e velocità del terreno

I valori dello spostamento e della velocità orizzontali massimi del suolo (d_g) e (v_g), sono dati dalle seguenti espressioni:

$$d_g = 0,025 * S * T_c * T_D * a_g$$

$$v_g = 0,16 * S * T_c * a_g$$

$$T_C = C_c * T_c^* = 1,49 * 0,3365 = 0,501$$

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

per i terreni in esame, risulta:

$$d_g = 0,025 * 1,50 * (1,49 * 0,3365) * (4 * 0,118 + 1,6) * 0,118 * 9,81 = \mathbf{0,0451 \text{ mt (4,51 cm)}}$$

$$v_g = 0,16 * 1,50 * (1,49 * 0,3365) * 0,118 * 9,81 = \mathbf{0,139 \text{ m/s.}}$$

12. PARAMETRI SISMICI

Tramite programma per PC, dopo aver inserito

- le coordinate geografiche del sito in oggetto;
- la vita nominale dell'opera;
- la classe d'uso;
- la tipologia (nel nostro caso fondazioni);
- la categoria di suolo (nel nostro caso C);
- la categoria topografica (nel nostro caso T1)

si passa al calcolo dei coefficienti sismici.

Riassumendo

Latitudine: 44.821377 Longitudine: 12.180381

TIPO DI COSTRUZIONE (opere ordinarie, importanza normale)		2
VITA NOMINALE	V_N	≥50 ANNI
CLASSE D'USO		II
COEFFICIENTE D'USO	C_U	1
PERIODO DI RIFERIMENTO per l'azione sismica $V_R = V_N * C_U$		50 anni

Parametri sismici

Sito in esame:

latitudine: 44.821377

longitudine: 12.180381

Operatività (SLO)

Probabilità di superamento: 81 [%]

Tr: 30 [anni]

a_g : 0,031 [g]

F_0 : 2,519

T_c^* : 0,227 [s]

Danno (SLD)

Probabilità di superamento: 63 [%]

Tr: 50 [anni]

a_g : 0,037 [g]

F_0 : 2,558

T_c^* : 0,271 [s]

Salvaguardia della vita (SLV)

Probabilità di superamento:	10 [%]
Tr:	475 [anni]
a _g :	0,079 [g]
F ₀ :	2,645
T _c [*] :	0,336 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC)

Probabilità di superamento:	5 [%]
Tr:	975 [anni]
a _g :	0,102 [g]
F ₀ :	2,613
T _c [*] :	0,338 [s]

Ottenuti quindi i valori di a_g, F₀, e T_c^{*}, si passa alla valutazione dell'accelerazione massima attesa al sito $A_{max} = a_g * S_s * S_t$

e dei coefficienti sismici orizzontale $k_h = \beta * A_{max} / g$ e verticale $k_v = 0.5 * k_h$.

Elaborazione Stabilità dei pendii, fondazioni

Coefficienti sismici

(SLO)

Ss	:	1,50
Cc	:	1,71
St	:	1,00
kh	:	0,009
kv	:	0,005
Amax	:	0,458
Beta	:	0,200

(SLD)

Ss	:	1,50
Cc	:	1,62
St	:	1,00
kh	:	0,011
kv	:	0,006
Amax	:	0,547
Beta	:	0,200

(SLV)

Ss	:	1,50	
Cc	:	1,49	
St	:	1,00	
kh	:	0,024	<i>coefficiente sismico orizzontale</i>
kv	:	0,012	
Amax	:	1,159	<i>accelerazione massima[m/s²]</i>
Beta	:	0,200	

(SLC)

Ss	:	1,50	
Cc	:	1,49	
St	:	1,00	
kh	:	0,037	
kv	:	0,018	
Amax	:	1,500	
Beta	:	0,240	

Valutazione dell'accelerazione di progetto

FONDAZIONI			
a _g accelerazione orizzontale massima	STATO LIMITE		a _g [g]
	SLU <u>SLV</u>		0,079
	SLU <u>SLC</u>		0,102
	SLE <u>SLO</u>		0,031
	SLE <u>SLD</u>		0,037
Amax (accelerazione massima)	Amax=a _g * S= a _g *Ss*St	0,118 [g] 1,16 [m/s ²]	<i>(per SLV)</i>
Coefficiente sismico orizzontale	Kh = β*Amax[g]	0,024	

Poiché l'accelerazione massima Amax è fornita in [m/s²], dal valore nominale di a_g [g] accelerazione massima attesa al sito, si passa ad a_g [m/s²], moltiplicando per 9.81

Essendo poi Amax = a_g [m/s²]*S , si deve moltiplicare il valore precedentemente trovato * S.

13. PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL TERRITORIO

La pericolosità dell'area in esame è stata effettuata sulla base dell'individuazione di:

- spessori potenzialmente liquefacibili;
- presenza di terreni con caratteristiche portanti scarse;
- condizioni idrogeologiche particolari;
- presenza di rilevati.

Per i terreni in esame, fino alla massima profondità d'indagine (mt. 25,00):

1. sono stati rinvenuti orizzonti a probabili litologie granulari, potenzialmente liquefacibili, a partire dai 3 metri dal piano delle indagini;
2. sono stati rinvenuti livelli significativi, a bassa consistenza, in Cpt 5 compresi tra -1,00 e -5,00 metri dal piano delle indagini;
3. per quanto riguarda le condizioni idrogeologiche, non si segnalano particolari problemi di difficoltà di scolo, in quanto regolati dal funzionamento dell'impianto idrovoro esistente;
4. non sono presenti rilevati in corrispondenza o nei pressi del sedime delle opere in progetto.

14. LIQUEFAZIONE

Poiché il territorio in oggetto risulta caratterizzato da andamento orizzontale, gli unici problemi che possono verificarsi in occasione di eventi sismici, sono legati unicamente a particolari caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni costituenti il substrato.

Il fenomeno della liquefazione, interessa sedimenti con falda superficiale, costituiti da materiali granulari fini (limi e sabbie fini) saturi, non consolidati, con granulometria uniforme ($U = \frac{D_{60}}{D_{10}} < 5$) e con densità da media a bassa.

Con l'aumentare della profondità del deposito, diminuisce la probabilità di liquefazione durante l'evento sismico, in quanto vengono richiesti valori di $\langle U \rangle$ sempre più elevati per annullare la pressione litostatica crescente, oltre alla diminuzione dell'intensità delle sollecitazioni indotte dal sisma.

In generale le dimensioni dei granuli di un terreno sabbioso, controllano in maniera determinante il comportamento di questo materiale nei confronti delle sollecitazioni derivanti da vibrazioni.

Le sabbie con granulometrie fini ed uniformi hanno più facilità alla liquefazione, a parità di condizioni, delle sabbie con granulometrie più grossolane e meno uniformemente distribuite.

Il fenomeno si spiega con una maggiore capacità di dissipazione delle tensioni interstiziali che hanno le sabbie con granulometrie più grosse, nei confronti di sabbie con granulometrie più fini.

La maggiore permeabilità infatti, porta come conseguenza diretta una più immediata capacità di dissipazione, delle tensioni che si accumulano a seguito delle tensioni prodotte dal moto vibratorio, mentre la minore permeabilità dei materiali più fini ed uniformi inibisce e rallenta questa capacità.

L'indagine sismica e le prove penetrometriche eseguite, hanno rilevato la presenza di orizzonti a natura granulare a partire da 3 metri dal piano campagna.

Come previsto dalle linee guida, è stata pertanto eseguita una verifica alla liquefazione dai 3 ai 15 metri di profondità.

Utilizzando quindi le velocità misurate e supponendo la presenza di una percentuale di limo e/o argilla compresa tra il 5% e il 35%, nonché una magnitudo di riferimento $M = 6.14$ (valore indicato dalle ZS9) per la Dorsale Ferrarese), è stato calcolato il coefficiente di sicurezza (previa una “normalizzazione” dei dati per riportarli alla magnitudo di riferimento:

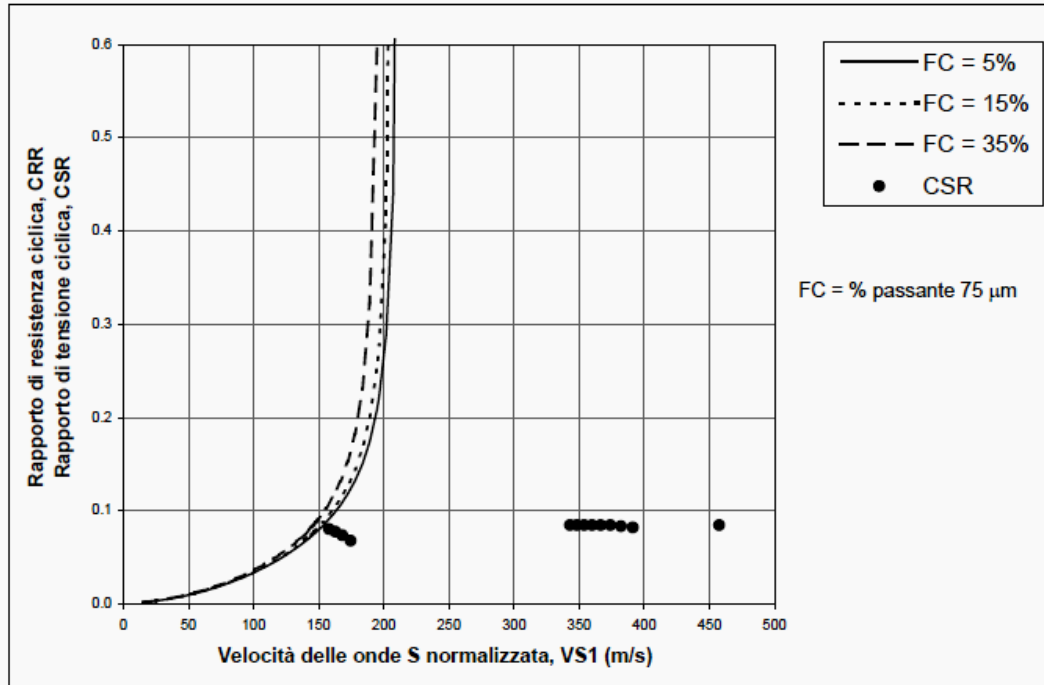
$$F_s = CRR_{7.5} / CSR_{7.5}$$

dove $CRR_{7.5}$ = rapporto di resistenza ciclica (per $M= 7.5$)

$CSR_{7.5}$ = rapporto di tensione ciclica (per $M= 7.5$)

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

profondità (m)	Vs	Vs1	CSR	$F_s = CRR_{7.5} / CSR_{7.5}$
3.0	146	175	0.068	1.60
4.0	146	168	0.074	4.51
5.0	146	163	0.077	3.22
6.0	146	158	0.080	2.25
7.0	371	391	0.082	1.93
8.0	371	382	0.083	1.34
9.0	371	374	0.084	1.06
10.0	371	367	0.084	1.06
11.0	371	360	0.084	1.06
12.0	371	354	0.084	1.06
13.0	371	348	0.084	1.06
14.0	371	343	0.084	1.06
15.0	502	457	0.084	1.06



I risultati ottenuti (cfr. grafico e tabella) indicano che per i livelli indagati **non vi è**, con buona approssimazione, rischio di liquefazione.

15. VALUTAZIONE CEDIMENTI ARGINI (in condizioni statiche)

In corrispondenza del “*bacino di accumulo*”, il Progettista prevede un innalzamento degli argini perimetrali, pari a circa 2,00 metri in modo da garantire, in sicurezza, il livello corrispondente al massimo invaso dell’acqua all’interno del bacino stesso.

In virtù della sopraelevazione e del conseguente maggior peso che andrà a gravare sugli argini attuali, è stata eseguita una valutazione dei cedimenti dei terreni sottostanti.

Per il nuovo manufatto, previsto in *terre armate*, il peso esercitato viene considerato pari a circa 4 t/mq (la sopraelevazione degli argini sarà di circa 2,00 metri).

Sono stati quindi valutati i cedimenti, dei terreni sottostanti, che hanno fornito valori prossimi ai 5,50 centimetri; valore che dovrà essere tenuto in debito conto, nella valutazione del franco di sicurezza, da tenere nelle condizioni di massimo invaso e quindi della quota di sommità arginale.

CPT	Tipo di fondazioni platea larghezza L(mt)	Piano di posa da p.c. (mt)	Carico (kg/m²)	Banco comprimibile (in mt da p.c.)	Cedimento (cm)
5	4,00	-0,40	4000	7	5,53
6	4,00	-0,40	4000	7	1,50
7	4,00	-0,40	4000	7	3,50
8	4,00	-0,40	4000	7	2,24
9	4,00	-0,40	4000	7	4,10

Si raccomanda di *immorsare*, adeguatamente, i nuovi argini a quelli preesistenti, in modo da garantire la loro stabilità, soggetta alla spinta dell’acqua.

A tale proposito, sarà opportuno prevedere un’impermeabilizzare adeguata per la parte interna del bacino di accumulo, in corrispondenza degli argini esistenti e delle nuove parti previste in sopraelevazione, per evitare sifonamenti a valle e garantire la tenuta dell’intero bacino di accumulo.

16. ANALISI DI STABILITA' DEGLI ARGINI

I metodi di analisi per i terreni e per i rilevati in generale, prevedono l'uso di soluzioni analitiche (di Bishop, di Janbu, di Morgenstern e Price, etc.) basate sull'ipotesi che lo scivolamento potenziale avvenga su superfici continue e curvilinee e che la struttura in esame sia suddivisa in conci verticali, a ciascuno dei quali, note le caratteristiche geometriche, vengono attribuiti gli appropriati parametri fisico-meccanici .

Questi metodi prendono in considerazione un insieme di superfici di possibile scivolamento nel corpo delle strutture ricercando, fra esse, quella a cui corrisponde il minor fattore di sicurezza.

Risulta quindi di fondamentale importanza la determinazione dei parametri geotecnici di resistenza.

16.1 Metodo di calcolo utilizzato

La procedura di calcolo utilizzata per analizzare la stabilità del pendio si basa sul metodo dell'equilibrio limite, che studia la stabilità sulla base del rapporto fra la resistenza disponibile e quella effettivamente mobilitata lungo una determinata superficie di rottura per controbilanciare le forze destabilizzanti (carichi).

Il valore del rapporto deve risultare superiore all'unità sia per effetto dei carichi permanenti che temporanei.

Il fattore di sicurezza si suppone costante lungo la superficie di scivolamento e si determina imponendo condizioni di equilibrio globale.

Tra i vari metodi di calcolo, in questa sede è stato utilizzato il metodo di **Bishop semplificato**, che non è altro che una semplificazione del metodo completo, ed è applicabile a superfici di scorrimento a direttrici circolari in pendii sia omogenei che stratificati.

L'ammasso di terra compreso tra la superficie di scivolamento ed il profilo viene come già detto, suddiviso in strisce verticali (*conci*), per ciascuna delle quali si ammette che la risultante delle forze tangenziali agenti sulle superfici laterali sia diversa da 0.

Il fattore di sicurezza è dato da:

$$F_s = \frac{\sum [cb + (W - ub)tg\varphi]}{\sum W \cdot \sin\alpha} \quad \text{con} \quad ma = \cos\alpha \frac{(1 + tg\alpha \cdot tg\varphi)}{FS1}$$

dove: c = coesione apparente u = pressione dei pori
 b = larghezza concio φ = angolo di attrito
 W = peso del concio α = angolo fra base concio e orizzontale

Si procede quindi assumendo il primo fattore di sicurezza FS1, calcolando FS, e modificandoli poi iterativamente fino ad ottenerli uguali. L'analisi è stata eseguita mediante programma di calcolo su PC, con restituzione grafica della sezione analizzata visualizzando a colori i cerchi di rottura più probabili, e stampa dei risultati.

16.2 Definizione del problema

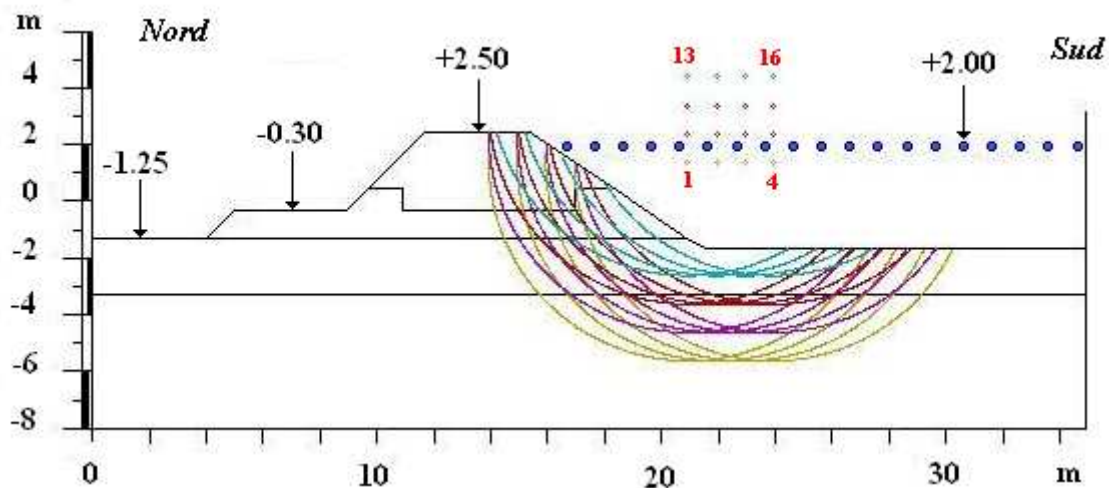
Per la sezione da analizzare è stato quindi necessario definire:

1. il profilo topografico, con le nuove altezze di progetto;
2. la stratigrafia fino a un massimo di 6 strati, con superfici di separazione di forma qualsiasi;
3. le proprietà geotecniche: peso di volume, peso di volume saturo, coesione e angolo di attrito;
4. la superficie della falda;
5. la zona di appartenenza sulla base della nuova normativa sismica.

In fase di calcolo sono stati poi definiti altri parametri come, la superficie di rottura più probabile, la rete dei centri dei cerchi oppure le coordinate dei punti di monte e di valle, la larghezza dei conci, il raggio dei cerchi, ecc.

E' evidente che tanto maggiore sarà l'incertezza con la quale si riescono a definire i suddetti parametri tanto maggiore dovrà essere il fattore di sicurezza accettabile.

Avendo determinato per via indiretta i parametri della resistenza al taglio dei terreni naturali, viene considerato adeguato un fattore di sicurezza $F_s \geq 2$ per le superfici ipotizzate che attraversano e si sviluppano prevalentemente lungo l'argine, coinvolgendo il substrato superficiale a più debole resistenza.



I parametri geotecnici attribuiti alla sezione definita, risultano i seguenti:

Sopraelevazione argine in terre armate:

$$c_u = 4.0 \text{ t/mq} \quad \gamma = 2.00 \text{ t/mc} \quad \gamma_{\text{sat}} = 2.10 \text{ t/mc} \quad \varphi = 40^\circ$$

Argine esistente:

$$c_u = 3.0 \text{ t/mq} \quad \gamma = 1.85 \text{ t/mc} \quad \gamma_{\text{sat}} = 2.00 \text{ t/mc} \quad \varphi = 0^\circ$$

I° orizzonte (argille e argille-organiche):

$$c_u = 2.00 \text{ t/mq} \quad \gamma = 1.75 \text{ t/mc} \quad \gamma_{\text{sat}} = 1.80 \text{ t/mc} \quad \varphi = 0^\circ$$

II° orizzonte (argille):

$$c_u = 4.00 \text{ t/mq} \quad \gamma = 1.90 \text{ t/mc} \quad \gamma_{\text{sat}} = 2.00 \text{ t/mc} \quad \varphi = 0^\circ$$

Nella sezione analizzata sono stati considerati diversi modelli di superfici di rottura.

Particolare riguardo è stato posto nel considerare sia superfici di rottura che potrebbero verificarsi lungo il pendio, e sia superfici di base, quindi più profonde, che potrebbero coinvolgere oltre agli argini, anche parte dei terreni sottostanti gli argini stessi.

I fattori di sicurezza più critici, compresi tra **2.46** e **5.31**, competono a superfici di rottura profonde, (contraddistinte dai punti 1-8), passanti quasi sempre all'interno dei terreni costituenti il I° ed il II° orizzonte di riferimento: in questi casi infatti, il maggior volume della massa interessata da un probabile scivolamento determina il fatto che le forze destabilizzanti, legate in maggior parte al peso stesso dell'ammasso, sono più rilevanti.

Nel caso delle superfici di rottura più superficiali (punti 9-16), sono presenti valori più elevati del fattore di sicurezza che competono invece a superfici di rottura meno profonde, che si originano lungo il pendio, o poco all'interno dello stesso, con valori di F_s compresi tra **2.46** e **6.81**, nelle condizioni a breve termine.

17. TIPO DI FONDAZIONI

Per fondazione s'intende una struttura adatta a trasmettere il peso del fabbricato e le altre forze agenti sulla sovrastruttura, al terreno.

I carichi trasmessi da una struttura al terreno di fondazione non devono superare la massima resistenza al taglio mobilitabile dal terreno stesso.

Nel caso ciò avvenisse la conseguenza sarebbe la rottura degli strati portanti, che si manifesterebbe con ampie deformazioni non tollerabili dalla sovrastruttura.

Il valore della resistenza al taglio massima mobilitabile, e quindi il carico massimo teorico che può essere applicato dal fabbricato, viene definito capacità portante limite del terreno di fondazione.

Le scelte progettuali per le opere di fondazione, dovranno essere fatte contestualmente e congruamente con quelle delle strutture in elevato.

La scelta del tipo di fondazioni da adottare dipenderà:

- dalla disposizione planimetrica dei montanti della costruzione (pilastrini, muri continui, ecc.);
- dall'entità dei carichi applicati, in relazione alla capacità portante offerta dai terreni di posa;
- dai cedimenti differenziali ammissibili, e quindi da un'analisi dell'interazione che si svilupperà tra terreno e struttura, nel suo insieme.

Le fondazioni profonde differiscono da quelle superficiali perché trasmettono la loro sollecitazione oltre che sulla base del palo, anche per attrito lungo il fusto.

Fondazioni profonde sono quelle dove, generalmente, il rapporto fra la lunghezza L e il diametro D è superiore a 10.

Le fondazioni dirette o superficiali, sono quelle che trasferiscono l'azione proveniente dalla struttura in elevato, agli strati superficiali del terreno.

La profondità del piano di posa delle fondazioni deve essere scelta in relazione alle caratteristiche ed alle prestazioni da raggiungere della struttura in elevato, alle caratteristiche dei terreni ed alle condizioni idrogeologiche e posto, se possibile, al di fuori del campo di variazioni significative del contenuto d'acqua del terreno e a profondità tale da non risentire di fenomeni di erosione o scalzamento da parte di acque di scorrimento superficiale.

17.1 Fondazioni profonde “Manufatto Aa1 , Ponte di collegamento Po di Volano

In virtù del manufatto che prevede i maggiori carichi e sulla base delle caratteristiche dei terreni, il Progettista prevede di utilizzare dei pali trivellati con diametro \varnothing pari a 450 mm posati alla profondità indicativa di 12,00 metri dal piano campagna.

I pali trivellati sono pali messi in opera con asportazione di terreno. Vengono impiegati in terreni incoerenti da mediamente a molto addensati e in terreni coesivi, dove provocano un minor rimaneggiamento rispetto ai pali infissi.

Il calcolo della portanza di un palo trivellato viene eseguito come nel caso di un palo infisso, sommando i contributi di portata della punta del palo e del fusto.

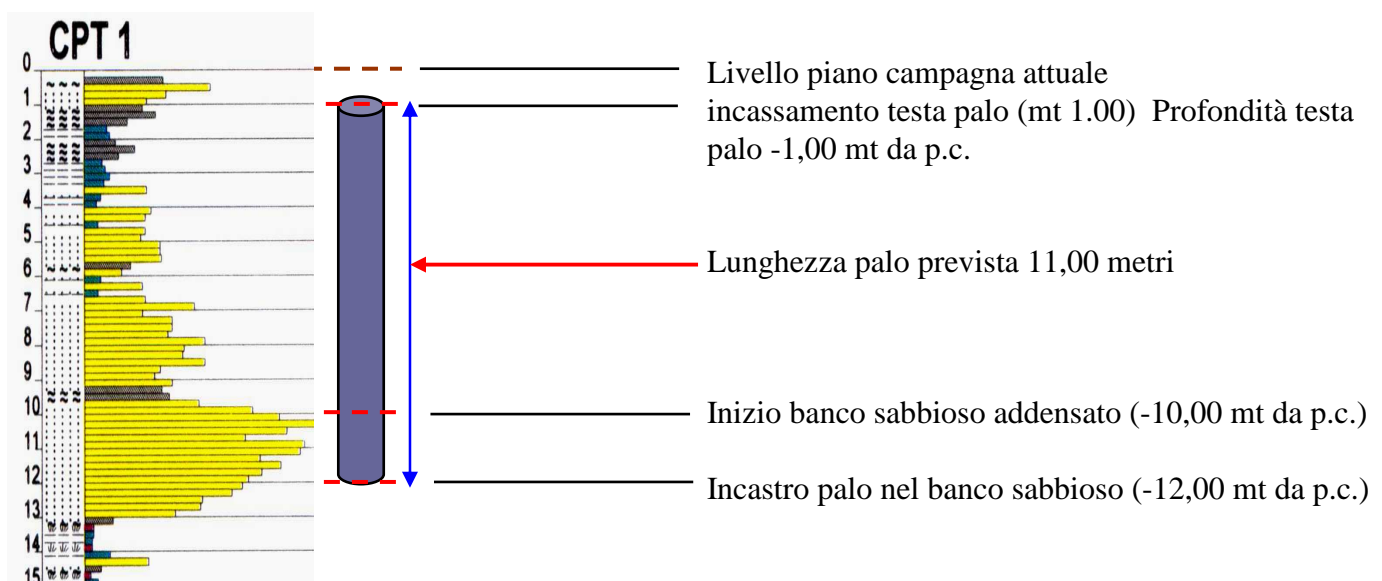
Sono valide in generale le relazioni per i pali infissi, dove, nell'applicare tali relazioni va tenuto presente però che, a causa del disturbo indotto nei livelli incoerenti dall'asportazione del terreno, l'angolo d'attrito palo-terreno viene posto generalmente inferiore all'angolo di attrito del terreno.

Nelle analisi che seguono, ai fini cautelativi è stato utilizzato un valore dell'angolo di attrito corretto $\varphi' = \varphi - 3$, dove φ è l'angolo d'attrito del terreno prima della messa in opera del palo.

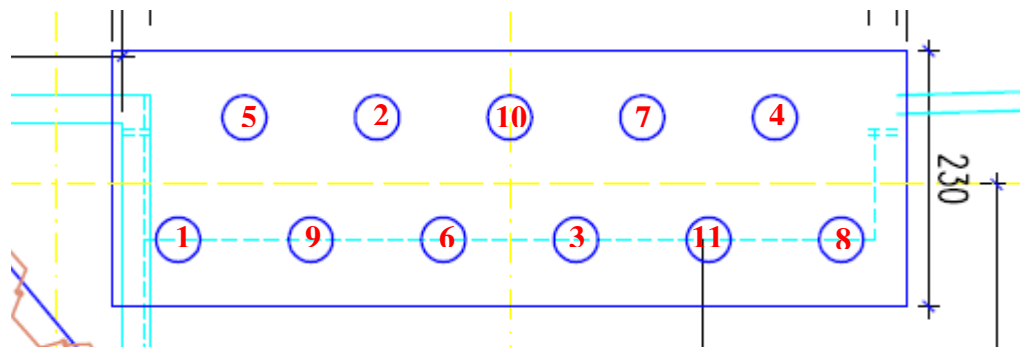
Per sfruttare al meglio la portata di punta (Q_p), la profondità dei pali dovrà tener conto delle migliori caratteristiche dei livelli sabbiosi, evidenziati dalle indagini effettuate.

L'incastro dei pali di fondazione è previsto per almeno 2 diametri nel livello sabbioso maggiormente addensato.

In virtù dell'incasso dei pali pari ad 1,00 metro dal piano campagna, la lunghezza finita dei pali risulta pari a 11,00 metri, prevedendo una perforazione di 12,00 metri dal piano campagna.



Al fine di arrecare il minor disturbo possibile ai terreni confinanti con i pali appena perforati, si raccomanda di utilizzare una sequenza di installazione, analoga con la successione indicata nella figura sottostante.



La profondità di posa è stata scelta in corrispondenza delle migliori caratteristiche del banco sabbioso, comprese mediamente tra -2D e + 2D (con D= diametro del palo).

CALCOLO DEL PALO
DATI DI PROGETTO

Sulla spalla è presente un carico totale pari a 4471 kN (456 ton), che dovrà essere sopportato da n. 11 pali, diametro \varnothing 450 mm e lunghezza L= 11,00 metri con una portata minima pari a 41 ton.

Carico assiale:	carico permanente sfavorevole	G = 41 ton (406,45 kN)
	Carico accidentale sfavorevole	Q = n.d. kN
Palo Trivellato:	diametro	D = 0.45 metri
	Lunghezza prevista	L = 11.00 metri
	Incassamento	I = 1.00 metri
	Peso immerso del palo	W' = 19,35 kN

$$W' = 3.14 * 0.225^2 \text{m} * [11.00\text{m} * (24-10)\text{kN/mc}] = 24,49 \text{ kN (2,50 ton)}$$

24 kN/mc = peso di volume del calcestruzzo

10 kN/mc = peso di volume dell'acqua

Stratigrafia media del terreno: falda a -1.50 metri dal p.c.

0.00m -10.00m **alternanze di argille limose-limi argillosi**

Peso di volume saturo	γ_{sat}	= 19 kN/mc
Peso di volume immerso	γ'	= 9 kN/mc
Coesione	c _u	= 73,54 kN/m ² (0,75 kg/cm ²)
Angolo di attrito	φ	= 0°

10.00m -13.00m **sabbie addensate**

Peso di volume saturo	γ_{sat}	= 19 kN/mc
Peso di volume immerso	γ'	= 9 kN/mc
Coesione	c'	= 0 kN/m ²
Angolo di attrito	φ'_k	= 34°-3° = 31° (cautelativo)

METODO A.G.I. Verifica alle tensioni ammissibili $F_s=2.5$

Portata limite del palo $Q_{lim} = Q_p + \sum Q_{li}$

Portata limite di punta $Q_p = A_p * N_q * \sigma'_v$

$A_p = \pi * r^2 = 0,159 \text{ m}^2$ (\varnothing 450)

$N_q = 30$ (secondo Berezantzev, 1963 per $\varphi' 31^\circ$)

$\sigma'_v = 18,5 \text{ kN/m}^3 * 1,50 \text{ m} + (18,5-10) \text{ kN/m}^3 * 9,50 \text{ m} = 108,50 \text{ kN/m}^2$ (11,07 ton/m²)

$Q_p = 0,159 \text{ (m}^2) * 30 * 108,50 \text{ (kN/m}^2) = 517,68 \text{ kN (52,80 ton)}$

La portata limite laterale viene calcolata solo per il tratto di terreno soggetto a coesione.

Portata limite laterale $Q_s = A_s * \alpha * cu'$ (*cautelativamente è stato considerato solo terreno coesivo*)

$L = 10,00 \text{ mt}$ (è stato sottratto il metro non aderente al terreno)

Superficie laterale del palo $A_s = \pi * D * L = 14,14 \text{ m}^2$

Valore medio della coesione non drenata $cu = 0,75 \text{ kg/cm}^2$ (7,5 ton/m²)

$\alpha = 0,60$ (coefficiente di adesione per pali in terreni coesivi)

$Q_s = 14,14 \text{ m}^2 * 0,60 * 7,5 \text{ ton/m}^2 = 623,96 \text{ kN (63,63 ton)}$

Portata limite del palo $Q_{lim} = Q_p + Q_s = 517,68 + 623,96 = 1141,36 \text{ kN (116,42 ton)}$

$W' = 3.14 * 0.225^2 \text{ m} * [10.00 \text{ m} * (24-10) \text{ kN/mc}] = 24,49 \text{ kN (2,50 ton)}$

Portata ammissibile = $Q_{amm} = \frac{Q_{lim}}{F_s} - W' = \frac{116,42}{2,5} - 2,50 = 44,10 \text{ ton}$

$Q_{amm} = 432,05 \text{ kN (44,10 ton)}$

Massimo carico di esercizio per singolo palo

$N_{max} = (W' + G) = 24,49 + 406,45 = 430,94 \text{ kN}$

$N_{max} (W'+G) < Q_{amm}$

$430,94 \text{ kN} < 432,05 \text{ kN}$

Verifica soddisfatta

VERIFICA NTC 2008 Approccio 2 Combinazione GEO (A1+M1+R3)
PALO Ø 450 mm

Calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

Portata caratteristica del palo

$$R_{c,k, \text{ punta}} = \frac{Qp}{\xi_3} = \frac{517,68 \text{ kN}}{1,65} = 313,75 \text{ kN}$$

$$R_{c,k, \text{ laterale}} = \frac{Ql}{\xi_4} = \frac{623,96 \text{ kN}}{1,55} = 402,55 \text{ kN}$$

ξ_3, ξ_4 = coefficienti in funzione del numero delle verticali d'indagine (Tabella 6.4.IV NTC 2008))

Calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_r} \frac{R_{c,k, \text{ punta}}}{\gamma_b} + \frac{R_{c,k, \text{ laterale}}}{\gamma_s} = \frac{313,75}{1,35} + \frac{402,55}{1,15} = 582,45 \text{ kN}$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = 582,45 \text{ kN (59,41 ton)}$$

Resistenza	Simbolo	Pali Trivellati		
	γ_P	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,7	1,35
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15

Tabella 6.4.II (NTC 2008)

Calcolo del valore di progetto delle azioni

Ed = Carichi x coefficienti (A1)

$$Ed = (W' * \gamma_g + G * \gamma_g) \text{ kN}$$

$$Ed = (W' * \gamma_g + G * \gamma_g) = 24,49 * 1,3 + 406,45 * 1,3 = 560,22 \text{ kN}$$

$$Ed \leq R_d$$

$$560,22 \text{ kN} \leq 582,45 \text{ kN}$$

Verifica soddisfatta

18. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La modellazione geologica del sito, oggetto del presente lavoro, dovrà essere orientata alla ricostruzione dei caratteri strutturali, geologici, altimetrici, geomorfologici, litologici, idrogeologici e, più in generale di pericolosità geologica del territorio.

Deve, quindi, essere sviluppata in modo da costituire utile elemento di riferimento per l'inquadramento, da parte del progettista, delle problematiche geotecniche a piccola e grande scala e del programma delle indagini.

Il modello geologico di riferimento sarà validato e supportato da indagini specifiche in funzione dell'importanza dell'opera.

Per il Riassetto Irriguo del Comprensorio di Bonifica Pianura di Ferrara, il Progetto di adeguamento del sistema Irriguo delle Valli *Giralda-Gaffaro-Falce*, ha previsto la costruzione di nuovi manufatti, presso l'impianto Idrovoro di Pomposa.

Nello specifico, le indagini previste dovranno caratterizzare i terreni, per la costruzione dei seguenti manufatti:

- manufatto Aa1, nuovo ponte di collegamento con il Po di Volano;
- manufatto Ab1, bacino scarico impianto Pomposa;
- manufatto Ac1, paratoie controllo livello vasca;
- manufatto Ad1, ponte di chiusura della marezzana;
- manufatto Af1, partenza condotta interrata e scarico Condotta Volano;
- nuovi argini del bacino di accumulo.

La presente relazione viene redatta su incarico e per conto della Committenza, per verificare l'idoneità litostratigrafica, fornendo una parametrizzazione geotecnica e sismica dei terreni interessati dalle opere in progetto.

Con l'entrata in vigore del nuovo D.M. "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", che ha recepito l'OPCM 3519 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche*", il Comune di Codigoro è stato confermato in zona 3 cioè:

- accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico secondo Norme Tecniche (a_g/g) pari a 0,15.
- accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A pari a 0,15g;

Al fine di caratterizzare il sito in esame secondo i vari aspetti (geologico, geotecnico e sismico) in accordo con il Progettista, le indagini previste sono state commisurate e posizionate in modo da fornire un quadro, il più possibile esaustivo, della zona in esame.

Sono state quindi programmate ed eseguite:

- n. 5 prove penetrometriche statiche, a profondità compresa tra 12,00 e 25,00 metri, effettuate in data 8 novembre 2011;
- un'indagine sismica con metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves) attivo e passivo, atta alla classificazione, ai sensi del D.M. 14/01/2008, eseguita in data 10 novembre 2011.

In virtù dei risultati ottenuti nella prima fase d'indagine, in accordo con il Progettista e sentita la Committenza, si è proceduto ad un approfondimento delle investigazioni, circa le caratteristiche dei terreni che verranno interessati dai nuovi argini di contenimento, previsti per il “*bacino di accumulo*”.

- In data 7 dicembre 2011, si è quindi provveduto ad eseguire n. 4 ulteriori prove penetrometriche statiche, a profondità compresa tra 7,00 e 10,00 metri dal piano arginale.

I dettagli delle prove penetrometriche eseguite, descritte nei paragrafi dedicati, sono riportati negli allegati inseriti nella presente relazione.

L'indagine sismica eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle V_s fino a circa 35 metri di profondità.

La V_{s30} è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico, risultando $V_{s30} = 310$ m/s, il sito esaminato presenta un suolo tipo C ($S = 1.50$).

Suolo di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori ai 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} \leq 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < Cu_{30} \leq 250$ kPa nei terreni a grana fina)

Nei capitoli dedicati vengono inoltre fornite le tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato sia secondo le prescrizioni della OPCM 3274, sia secondo l'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 e urbanistica"

Essendo in fase di progettazione è stata inoltre effettuata la ricerca approfondita, per coordinate, come previsto dalle NTC 2008.

Dati sul sito

Latitudine: 44.821377 Longitudine: 12.180381

Dati sulla costruzione

Classe d'uso: 2

Vita Nominale: 50 anni

Coefficiente d'uso: 1

Vita di riferimento: 50 anni

Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (SLV) Periodo di ritorno: 474.561079 (anni).

Punti impiegati sulla maglia di riferimento

Primo punto:	ID=15410	Lat.=44.827000	Long.=12.151000	Distanza=2.400081 Km
Secondo punto:	ID=15632	Lat.=44.777000	Long.=12.153000	Distanza=5.386709 Km
Terzo punto:	ID=15633	Lat.=44.778000	Long.=12.223000	Distanza=5.879787 Km
Quarto punto:	ID=15411	Lat.=44.828000	Long.=12.222000	Distanza=3.363963 Km

Calcolo eseguito con interpolazione basata sulle distanze

Valori finali calcolati

$ag = 0.0772$ g

$Fo = 2.6479$

$Tc^* = 0.3365$ sec

Riassumendo:

Zona sismica di appartenenza: 3

Sottosuolo categoria: C

Accelerazione massima al suolo: $a_{\max}: S * a_{\text{refg}} = 1,50 * 0,079\text{g} = 0,1185\text{g}$

(Secondo l'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 classificazione territoriale e urbanistica).

Spostamento e velocità del terreno

I valori dello spostamento e della velocità orizzontali massimi del suolo (d_g) e (v_g), sono dati dalle seguenti espressioni:

$$d_g = 0,025 * S * T_c * T_D * a_g$$

$$v_g = 0,16 * S * T_c * a_g$$

$$T_c = C_c * T_c^* = 1,49 * 0,3365 = 0,501$$

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

per i terreni in esame, risulta:

$$d_g = 0,025 * 1,50 * (1,49 * 0,3365) * (4 * 0,118 + 1,6) * 0,118 * 9,81 = \mathbf{0,0451 \text{ mt (4,51 cm)}}$$

$$v_g = 0,16 * 1,50 * (1,49 * 0,3365) * 0,118 * 9,81 = \mathbf{0,139 \text{ m/s.}}$$

Tramite programma per PC, dopo aver inserito i dati necessari, sono stati ottenuti:

Parametri sismici

Salvaguardia della vita (SLV)

Probabilità di superamento: 10 [%]

Tr: 475 [anni]

a_g : 0,079 [g]

F_0 : 2,645

T_c^* : 0,336 [s]

Coefficienti sismici

(SLV)	Ss	:	1,50
	Cc	:	1,49
	St	:	1,00
	kh	:	0,024 <i>coefficiente sismico orizzontale</i>
	kv	:	0,012
	Amax	:	1,159 <i>accelerazione massima[m/s²]</i>
	Beta	:	0,200

Valutazione dell'accelerazione di progetto

FONDAZIONI			
a _g accelerazione orizzontale massima	STATO LIMITE		a _g [g]
	SLU <u>SLV</u>		0,079
	SLU <u>SLC</u>		0,102
	SLE <u>SLO</u>		0,031
	SLE <u>SLD</u>		0,037
Amax (accelerazione massima)	Amax=a _g * S= a _g *Ss*St	0,118 [g] 1,16 [m/s ²]	(per SLV)
Coefficiente sismico orizzontale	Kh = β*Amax[g]	0,024	

Poiché l'accelerazione massima Amax è fornita in [m/s²], dal valore nominale di a_g [g] accelerazione massima attesa al sito, si passa ad a_g [m/s²], moltiplicando per 9.81

Essendo poi Amax = a_g [m/s²]*S , si deve moltiplicare il valore precedentemente trovato * S.

La pericolosità dell'area in esame è stata effettuata sulla base dell'individuazione di:

- spessori potenzialmente liquefacibili;
- presenza di terreni con caratteristiche portanti scarse;
- condizioni idrogeologiche particolari;
- presenza di rilevati.
-

Per i terreni in esame, fino alla massima profondità d'indagine (mt. 25,00):

1. sono stati rinvenuti orizzonti a probabili litologie granulari, potenzialmente liquefacibili, a partire dai 3 metri dal piano delle indagini;
2. sono stati rinvenuti livelli significativi, a bassa consistenza, in Cpt 5 compresi tra -1,00 e -5,00 metri dal piano delle indagini;
3. per quanto riguarda le condizioni idrogeologiche, non si segnalano particolari problemi di difficoltà di scolo, in quanto regolati dal funzionamento dell'impianto idrovoro esistente;
4. non sono presenti rilevati in corrispondenza o nei pressi del sedime delle opere in progetto.

Poiché il territorio in oggetto è risultato caratterizzato da andamento orizzontale, gli unici problemi che possono verificarsi in occasione di eventi sismici, sono legati unicamente a particolari caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni costituenti il substrato.

L'indagine sismica e le prove penetrometriche eseguite, hanno rilevato la presenza di orizzonti a natura granulare a partire da 3 metri dal piano campagna.

Come previsto dalle linee guida, è stata pertanto eseguita una verifica alla liquefazione dai 3 ai 15 metri di profondità.

Utilizzando quindi le velocità misurate e supponendo la presenza di una percentuale di limo e/o argilla compresa tra il 5% e il 35%, nonché una magnitudo di riferimento $M = 6.14$ (valore indicato dalle ZS9) per la Dorsale Ferrarese), è stato calcolato il coefficiente di sicurezza (previa una "normalizzazione" dei dati per riportarli alla magnitudo di riferimento:

I risultati ottenuti, dettagliati nel paragrafo dedicato indicano, che per i livelli indagati **non vi è**, con buona approssimazione, rischio di liquefazione.

Per valutare se negli orizzonti coesivi soffici possano sussistere condizioni legate a fenomeni di riconsolidazione, significativi ai fini ingegneristici e conseguenti alla dissipazione delle pressioni interstiziali che potrebbero accumularsi dopo un eventuale terremoto, sono state condotte analisi di laboratorio sul campione indisturbato Ost 1 (da -2,00 mt a -2,50 mt), prelevato in corrispondenza dei terreni incontrati nel corso dell'esecuzione della Cpt 5, rappresentativo degli orizzonti a natura maggiormente coesiva.

Poiché per il campione prelevato, è risultato $I_p > 30\%$ e analizzando la situazione stratigrafica del sottosuolo indagato erano presenti orizzonti coesivi soffici, individuati nella cpt 5, entro i primi 10,00 metri, con valori di coesione non drenata c_u compresi tra 0,10 e 0,35 kg/cm^2 (9,81 e 34,32 kPa), in accordo con l'Atto di indirizzo, si è proceduto alla valutazione del rapporto dell'incremento delle pressioni interstiziali $r_u = \Delta u / \sigma'_{vo}$.

Per il calcolo dei cedimenti postsismici, sono stati utilizzati i dati ricavati dalle analisi di laboratorio sul campione OST 1, rappresentative dell'orizzonte coesivo soffice, rinvenuto in Cpt 5 nei primi 5,00 metri di profondità, dove è stata considerata una R_p media di 5 kg/cm^2 (490 kPa).

Il Modulo di taglio G , è stato ricavato dai dati dello stendimento sismico (cfr. tabella), dove, in mezzzeria dello strato considerato è stato ottenuto un valore di $G = 31000$ kPa.

La deformazione indotta dal terremoto di progetto negli strati di terreno è valutabile utilizzando la seguente espressione:

$$\gamma_{\max} = 0.65 * a_{g,\text{rif}} * S * \sigma_{\text{vo}} * r_d * \frac{1}{G}$$

Sostituendo i valori, si ottiene

$$\gamma_{\max} = 0.65 * 0.079 * 1.5 * 51.87 * 0.977 * \frac{1}{31000} = 1.259 \cdot 10^{-4}$$

Introducendo in ascissa il valore di γ_{\max} calcolato, si valuta se la r_u assume valori tali da dover procedere al calcolo dei cedimenti post-sismici.

Pur risultando, a causa del terremoto un incremento di pressione interstiziale r_u decisamente inferiore a 0,3 per cui non si dovrebbe eseguire il calcolo dei cedimenti postsismici, si è proceduto comunque al fine di valutarne l'entità, in caso di evento sismico, utilizzando la seguente espressione:

$$\Delta H = H \frac{\alpha \cdot C_r}{1 + e_0} * \log \left\{ \frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma_{\text{vo}}}} \right\}$$

da cui è stato ricavato $\mathbf{DH_{(0.05)} = 0.258 \text{ cm}}$

In corrispondenza del “*bacino di accumulo*”, il Progettista prevede un innalzamento degli argini perimetrali, pari a circa 2,00 metri in modo da garantire, in sicurezza, il livello corrispondente al massimo invaso dell'acqua all'interno del bacino stesso.

In virtù della sopraelevazione e del conseguente maggior peso che andrà a gravare sugli argini attuali, è stata eseguita una valutazione dei cedimenti dei terreni sottostanti.

Per il nuovo manufatto, previsto in *terre armate*, il peso esercitato viene considerato pari a circa 4 t/mq (la sopraelevazione degli argini sarà di circa 2,00 metri).

Sono stati quindi valutati i cedimenti, dei terreni sottostanti, che hanno fornito valori prossimi ai 5,50 centimetri; valore che dovrà essere tenuto in debito conto, nella valutazione del franco di sicurezza, da tenere nelle condizioni di massimo invaso e quindi della quota di sommità arginale.

Si raccomanda di *immorsare*, adeguatamente, i nuovi argini a quelli preesistenti, in modo da garantire la loro stabilità, soggetta alla spinta dell'acqua.

A tale proposito, sarà opportuno prevedere un'impermeabilizzare adeguata per la parte interna del bacino di accumulo, in corrispondenza degli argini esistenti e delle nuove parti previste in sopraelevazione, per evitare sifonamenti a valle e garantire la tenuta dell'intero bacino di accumulo.

Con programma di calcolo su PC è stata quindi eseguita la verifica di stabilità del pendio, in corrispondenza dei nuovi argini.

La procedura di calcolo utilizzata per analizzare la stabilità del pendio si basa sul metodo dell'equilibrio limite, che studia la stabilità sulla base del rapporto fra la resistenza disponibile e quella effettivamente mobilitata lungo una determinata superficie di rottura per controbilanciare le forze destabilizzanti (carichi).

Il valore del rapporto deve risultare superiore all'unità sia per effetto dei carichi permanenti che temporanei.

Il fattore di sicurezza si suppone costante lungo la superficie di scivolamento e si determina imponendo condizioni di equilibrio globale.

Tra i vari metodi di calcolo, in questa sede è stato utilizzato il metodo di **Bishop semplificato**, che non è altro che una semplificazione del metodo completo, ed è applicabile a superfici di scorrimento a direttrici circolari in pendii sia omogenei che stratificati.

L'ammasso di terra compreso tra la superficie di scivolamento ed il profilo viene suddiviso in strisce verticali (*conci*), per ciascuna delle quali si ammette che la risultante delle forze tangenziali agenti sulle superfici laterali sia diversa da 0.

Per la sezione da analizzare si è reso necessario definire:

1. il profilo topografico, con le nuove altezze di progetto;
2. la stratigrafia fino a un massimo di 6 strati, con superfici di separazione di forma qualsiasi;
3. le proprietà geotecniche: peso di volume, peso di volume saturo, coesione e angolo di attrito;
4. la superficie della falda;
5. la zona di appartenenza sulla base della nuova normativa sismica.

In fase di calcolo sono stati poi definiti altri parametri come, la superficie di rottura più probabile, la rete dei centri dei cerchi oppure le coordinate dei punti di monte e di valle, la larghezza dei conci, il raggio dei cerchi, ecc.

E' evidente che tanto maggiore sarà l'incertezza con la quale si riescono a definire i suddetti parametri tanto maggiore dovrà essere il fattore di sicurezza accettabile.

Avendo determinato per via indiretta i parametri della resistenza al taglio dei terreni naturali, viene considerato adeguato un fattore di sicurezza $F_s \geq 2$ per le superfici ipotizzate che attraversano e si sviluppano prevalentemente lungo l'argine, coinvolgendo il substrato superficiale a più debole resistenza.

I fattori di sicurezza più critici, compresi tra **2.46 e 5.31**, competono a superfici di rottura profonde, (contraddistinte dai punti 1-8), passanti quasi sempre all'interno dei terreni costituenti il I° ed il II° orizzonte di riferimento: in questi casi infatti, il maggior volume della massa interessata da un probabile scivolamento determina il fatto che le forze destabilizzanti, legate in maggior parte al peso stesso dell'ammasso, sono più rilevanti.

Nel caso delle superfici di rottura più superficiali (punti 9-16), sono presenti valori più elevati del fattore di sicurezza che competono invece a superfici di rottura meno profonde, che si originano lungo il pendio, o poco all'interno dello stesso, con valori di F_s compresi tra **2.46 e 6.81**, nelle condizioni a breve termine.

Maggiori dettagli sono evidenziati nei paragrafi dedicati, all'interno della presente relazione

In virtù del manufatto che prevede i maggiori carichi e sulla base delle caratteristiche dei terreni, il Progettista prevede di utilizzare fondazioni profonde del tipo a pali trivellati con diametro \emptyset pari a 450 mm posati alla profondità indicativa di 12,00 metri dal piano campagna attuale.

Nelle analisi che seguono, ai fini cautelativi è stato utilizzato un valore dell'angolo di attrito corretto $\varphi' = \varphi - 3$, dove φ è l'angolo d'attrito del terreno prima della messa in opera del palo.

Per sfruttare al meglio la portata di punta (Q_p), la profondità dei pali dovrà tener conto delle migliori caratteristiche dei livelli sabbiosi, evidenziati dalle indagini effettuate.

L'incastro dei pali di fondazione è previsto per almeno 1,00 metro nel livello sabbioso maggiormente addensato.

In virtù dell'incasso dei pali pari ad 1,00 metro dal piano campagna, la lunghezza finita dei pali risulta pari a 11,00 metri, prevedendo una perforazione di 12,00 metri dal piano campagna.

Si è quindi proceduto alla verifica della capacità portante dei pali, secondo il Metodo A.G.I. (Verifica alle tensioni ammissibili con $F_s = 2.5$).

$$\text{Portata limite del palo} \quad Q_{\text{lim}} = Q_p + \sum Q_{li}$$

$$\text{Portata limite di punta } Q_p = A_p * N_q * \sigma'_v$$

$$A_p = \pi * r^2 = 0,159 \text{ m}^2 (\text{Ø } 450)$$

$$N_q = 30 \text{ (secondo Berezantzev, 1963 per } \varphi' 31^\circ)$$

$$\sigma'_v = 18,5 \text{ kN/m}^3 * 1,50 \text{ m} + (18,5-10) \text{ kN/m}^3 * 9,50 \text{ m} = 108,50 \text{ kN/m}^2 \text{ (11,07 ton/m}^2)$$

$$Q_p = 0,159 \text{ (m}^2) * 30 * 108,50 \text{ (kN/m}^2) = 517,68 \text{ kN (52,80 ton)}$$

La portata limite laterale viene calcolata solo per il tratto di terreno soggetto a coesione.

$$\text{Portata limite laterale } Q_s = A_s * \alpha * c_u' \text{ (cautelativamente è stato considerato solo terreno coesivo)}$$

$$\text{Superficie laterale del palo } A_s = \pi * D * L = 14,14 \text{ m}^2$$

$$\text{Valore medio della coesione non drenata } c_u = 0,75 \text{ kg/cm}^2 \text{ (7,5 ton/m}^2)$$

$$\alpha = 0,60 \text{ (coefficiente di adesione per pali in terreni coesivi)}$$

$$Q_s = 14,14 \text{ m}^2 * 0,60 * 7,5 \text{ ton/m}^2 = 623,96 \text{ kN (63,63 ton)}$$

$$\text{Portata limite del palo} \quad Q_{\text{lim}} = Q_p + Q_s = 517,68 + 623,96 = 1141,64 \text{ kN (116,42 ton)}$$

$$W' = 3,14 * 0,225^2 \text{ m} * [10,00 \text{ m} * (24-10) \text{ kN/mc}] = 24,49 \text{ kN (2,50 ton)}$$

$$\text{Portata ammissibile} = Q_{\text{amm}} = \frac{Q_{\text{lim}}}{FS} - W' = \frac{116,42}{2,5} - 2,50 = 44,10 \text{ ton}$$

$$Q_{\text{amm}} = 432,05 \text{ kN (44,10 ton)}$$

Massimo carico di esercizio per singolo palo

$$N_{\text{max}} = (W' + G) = 24,49 + 406,45 = 430,94 \text{ kN}$$

$$N_{\text{max}} (W'+G) < Q_{\text{amm}}$$

$$430,94 \text{ kN} < 432,05 \text{ kN}$$

Verifica soddisfatta

VERIFICA NTC 2008 Approccio 2 Combinazione GEO (A1+M1+R3)
PALO Ø 450 mm

Calcolo della resistenza caratteristica $R_{c,k}$

Portata caratteristica del palo

$$R_{c,k, \text{ punta}} = \frac{Qp}{\xi_3} = \frac{517,68 \text{ kN}}{1,65} = 313,75 \text{ kN}$$

$$R_{c,k, \text{ laterale}} = \frac{Ql}{\xi_4} = \frac{623,96 \text{ kN}}{1,55} = 402,55 \text{ kN}$$

ξ_3, ξ_4 = coefficienti in funzione del numero delle verticali d'indagine (Tabella 6.4.IV NTC 2008))

Calcolo della resistenza di progetto

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_r} \frac{R_{c,k, \text{ punta}}}{\gamma_b} + \frac{R_{c,k, \text{ laterale}}}{\gamma_s} = \frac{313,75}{1,35} + \frac{402,55}{1,15} = 582,45 \text{ kN}$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = 582,45 \text{ kN (59,41 ton)}$$

Resistenza	Simbolo	Pali Trivellati		
	γ_P	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,7	1,35
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15

Tabella 6.4.II (NTC 2008)

Calcolo del valore di progetto delle azioni

Ed = Carichi x coefficienti (A1)

$$Ed = (W' * \gamma_g + G * \gamma_g) \text{ kN}$$

$$Ed = (W' * \gamma_g + G * \gamma_g) = 24,49 * 1,3 + 406,45 * 1,3 = 560,22 \text{ kN}$$

$$Ed \leq R_d$$

$$560,22 \text{ kN} \leq 582,45 \text{ kN}$$

Verifica soddisfatta

Al fine di arrecare il minor disturbo possibile ai terreni confinanti con i pali appena perforati, si raccomanda di utilizzare una sequenza di installazione, secondo la successione indicata nella figura inserita nel paragrafo dedicato.

Maggiori dettagli relativi ai vari aspetti analizzati vengono riportati, in maniera approfondita, nei paragrafi dedicati inseriti nella presente relazione.

Ferrara, 5 marzo 2012

Dr. Geol. M. Condotta



ALLEGATI

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

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

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa
- note :
- data : 08/11/2011
- quota inizio :
- prof. falda : -1,50 m da quota inizio
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	---	---	--	2,13	---	10,20	131,0	173,0	131,0	2,53	52,0
0,40	53,0	85,0	53,0	1,80	29,0	10,40	157,0	195,0	157,0	2,60	60,0
0,60	85,0	112,0	85,0	2,47	34,0	10,60	136,0	175,0	136,0	2,40	57,0
0,80	55,0	92,0	55,0	1,53	36,0	10,80	108,0	144,0	108,0	2,87	38,0
1,00	42,0	65,0	42,0	1,33	31,0	11,00	148,0	191,0	148,0	2,27	65,0
1,20	39,0	59,0	39,0	1,80	22,0	11,20	145,0	179,0	145,0	2,53	57,0
1,40	48,0	75,0	48,0	1,80	27,0	11,40	118,0	156,0	118,0	2,40	49,0
1,60	29,0	56,0	29,0	1,20	24,0	11,60	132,0	168,0	132,0	2,60	51,0
1,80	15,0	33,0	15,0	1,00	15,0	11,80	119,0	158,0	119,0	2,27	53,0
2,00	17,0	32,0	17,0	1,00	17,0	12,00	110,0	144,0	110,0	2,33	47,0
2,20	21,0	36,0	21,0	1,20	17,0	12,20	106,0	141,0	106,0	2,47	43,0
2,40	34,0	52,0	34,0	1,40	24,0	12,40	99,0	136,0	99,0	1,80	55,0
2,60	23,0	44,0	23,0	0,93	25,0	12,60	79,0	106,0	79,0	1,67	47,0
2,80	12,0	26,0	12,0	1,20	10,0	12,80	78,0	103,0	78,0	1,53	51,0
3,00	14,0	32,0	14,0	1,07	13,0	13,00	61,0	84,0	61,0	1,13	54,0
3,20	17,0	33,0	17,0	0,73	23,0	13,20	19,0	36,0	19,0	0,47	41,0
3,40	13,0	24,0	13,0	1,47	9,0	13,40	6,0	13,0	6,0	0,40	15,0
3,60	42,0	64,0	42,0	0,80	52,0	13,60	6,0	12,0	6,0	0,33	18,0
3,80	11,0	23,0	11,0	0,67	16,0	13,80	5,0	10,0	5,0	0,27	19,0
4,00	8,0	18,0	8,0	1,20	7,0	14,00	5,0	9,0	5,0	1,20	4,0
4,20	45,0	63,0	45,0	1,20	37,0	14,20	17,0	35,0	17,0	1,40	12,0
4,40	41,0	59,0	41,0	0,73	56,0	14,40	43,0	64,0	43,0	0,87	50,0
4,60	9,0	20,0	9,0	1,47	6,0	14,60	11,0	24,0	11,0	0,33	33,0
4,80	41,0	63,0	41,0	1,20	34,0	14,80	4,0	9,0	4,0	0,47	9,0
5,00	38,0	56,0	38,0	1,13	34,0	15,00	9,0	16,0	9,0	0,40	22,0
5,20	51,0	68,0	51,0	1,20	42,0	15,20	5,0	11,0	5,0	0,93	5,0
5,40	51,0	69,0	51,0	1,07	48,0	15,40	11,0	25,0	11,0	0,60	18,0
5,60	52,0	68,0	52,0	1,20	43,0	15,60	9,0	18,0	9,0	0,47	19,0
5,80	31,0	49,0	31,0	1,07	29,0	15,80	7,0	14,0	7,0	0,47	15,0
6,00	25,0	41,0	25,0	0,73	34,0	16,00	8,0	15,0	8,0	0,73	11,0
6,20	11,0	22,0	11,0	1,27	9,0	16,20	11,0	22,0	11,0	0,73	15,0
6,40	39,0	58,0	39,0	0,53	73,0	16,40	11,0	22,0	11,0	0,73	15,0
6,60	9,0	17,0	9,0	1,73	5,0	16,60	14,0	25,0	14,0	0,87	16,0
6,80	41,0	67,0	41,0	1,20	34,0	16,80	15,0	28,0	15,0	1,07	14,0
7,00	74,0	92,0	74,0	1,20	62,0	17,00	17,0	33,0	17,0	1,00	17,0
7,20	39,0	57,0	39,0	1,27	31,0	17,20	14,0	29,0	14,0	1,60	9,0
7,40	59,0	78,0	59,0	1,47	40,0	17,40	24,0	48,0	24,0	1,20	20,0
7,60	59,0	81,0	59,0	1,47	40,0	17,60	21,0	39,0	21,0	1,20	17,0
7,80	56,0	78,0	56,0	1,27	44,0	17,80	18,0	36,0	18,0	1,07	17,0
8,00	81,0	100,0	81,0	1,47	55,0	18,00	26,0	42,0	26,0	1,27	21,0
8,20	67,0	89,0	67,0	1,47	46,0	18,20	71,0	90,0	71,0	2,13	33,0
8,40	66,0	88,0	66,0	1,87	35,0	18,40	32,0	64,0	32,0	1,20	27,0
8,60	81,0	109,0	81,0	1,47	55,0	18,60	17,0	35,0	17,0	1,33	13,0
8,80	51,0	73,0	51,0	1,33	38,0	18,80	17,0	37,0	17,0	1,47	12,0
9,00	47,0	67,0	47,0	1,47	32,0	19,00	19,0	41,0	19,0	1,93	10,0
9,20	59,0	81,0	59,0	1,60	37,0	19,20	63,0	92,0	63,0	2,00	32,0
9,40	52,0	76,0	52,0	1,87	28,0	19,40	29,0	59,0	29,0	1,60	18,0
9,60	57,0	85,0	57,0	2,13	27,0	19,60	32,0	56,0	32,0	1,80	18,0
9,80	77,0	109,0	77,0	1,80	43,0	19,80	24,0	51,0	24,0	1,73	14,0
10,00	113,0	140,0	113,0	2,80	40,0	20,00	25,0	51,0	25,0	1,33	19,0

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manico laterale (superficie 150 cm²)

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa
- note :
- data : 08/11/2011
- quota inizio :
- prof. falda : -1,50 m da quota inizio
- pagina : 2

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
20,20	19,0	39,0	19,0	1,27	15,0	22,80	36,0	66,0	36,0	1,67	22,0
20,40	25,0	44,0	25,0	1,47	17,0	23,00	44,0	69,0	44,0	3,00	15,0
20,60	22,0	44,0	22,0	1,07	21,0	23,20	52,0	97,0	52,0	2,53	21,0
20,80	119,0	135,0	119,0	3,07	39,0	23,40	59,0	97,0	59,0	2,40	25,0
21,00	83,0	129,0	83,0	2,53	33,0	23,60	41,0	77,0	41,0	1,80	23,0
21,20	61,0	99,0	61,0	2,07	30,0	23,80	37,0	64,0	37,0	2,13	17,0
21,40	34,0	65,0	34,0	1,80	19,0	24,00	36,0	68,0	36,0	1,80	20,0
21,60	27,0	54,0	27,0	2,00	14,0	24,20	29,0	56,0	29,0	1,60	18,0
21,80	27,0	57,0	27,0	1,80	15,0	24,40	23,0	47,0	23,0	1,53	15,0
22,00	38,0	65,0	38,0	2,80	14,0	24,60	23,0	46,0	23,0	1,20	19,0
22,20	53,0	95,0	53,0	2,07	26,0	24,80	19,0	37,0	19,0	1,40	14,0
22,40	37,0	68,0	37,0	2,27	16,0	25,00	20,0	41,0	20,0	----	----
22,60	21,0	55,0	21,0	2,00	10,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

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

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE) - data : 08/11/2011
- lavoro : Nuovi manufatti - quota inizio :
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa - prof. falda : -3,00 m da quota inizio
- note : - pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	---	---	--	1,73	---	10,20	112,0	149,0	112,0	2,13	52,0
0,40	41,0	67,0	41,0	2,27	18,0	10,40	53,0	85,0	53,0	2,20	24,0
0,60	81,0	115,0	81,0	1,93	42,0	10,60	62,0	95,0	62,0	1,93	32,0
0,80	72,0	101,0	72,0	2,40	30,0	10,80	103,0	132,0	103,0	1,87	55,0
1,00	42,0	78,0	42,0	1,33	31,0	11,00	50,0	78,0	50,0	1,53	33,0
1,20	47,0	67,0	47,0	1,40	34,0	11,20	44,0	67,0	44,0	1,33	33,0
1,40	45,0	66,0	45,0	1,13	40,0	11,40	43,0	63,0	43,0	1,27	34,0
1,60	39,0	56,0	39,0	2,07	19,0	11,60	41,0	60,0	41,0	1,27	32,0
1,80	56,0	87,0	56,0	1,87	30,0	11,80	45,0	64,0	45,0	2,47	18,0
2,00	49,0	77,0	49,0	2,13	23,0	12,00	71,0	108,0	71,0	2,40	30,0
2,20	51,0	83,0	51,0	1,67	31,0	12,20	103,0	139,0	103,0	1,87	55,0
2,40	25,0	50,0	25,0	1,33	19,0	12,40	33,0	61,0	33,0	2,27	15,0
2,60	31,0	51,0	31,0	1,27	24,0	12,60	69,0	103,0	69,0	2,13	32,0
2,80	19,0	38,0	19,0	1,20	16,0	12,80	69,0	101,0	69,0	1,53	45,0
3,00	18,0	36,0	18,0	0,93	19,0	13,00	109,0	132,0	109,0	2,80	39,0
3,20	21,0	35,0	21,0	0,93	22,0	13,20	97,0	139,0	97,0	3,00	32,0
3,40	15,0	29,0	15,0	0,93	16,0	13,40	86,0	131,0	86,0	2,93	29,0
3,60	14,0	28,0	14,0	0,87	16,0	13,60	91,0	135,0	91,0	2,13	43,0
3,80	12,0	25,0	12,0	0,73	16,0	13,80	79,0	111,0	79,0	3,47	23,0
4,00	11,0	22,0	11,0	0,93	12,0	14,00	87,0	139,0	87,0	3,07	28,0
4,20	13,0	27,0	13,0	1,00	13,0	14,20	105,0	151,0	105,0	1,27	83,0
4,40	14,0	29,0	14,0	0,87	16,0	14,40	28,0	47,0	28,0	0,60	47,0
4,60	14,0	27,0	14,0	1,33	10,0	14,60	8,0	17,0	8,0	0,40	20,0
4,80	47,0	67,0	47,0	1,33	35,0	14,80	7,0	13,0	7,0	0,27	26,0
5,00	22,0	42,0	22,0	1,07	21,0	15,00	6,0	10,0	6,0	0,33	18,0
5,20	21,0	37,0	21,0	0,87	24,0	15,20	6,0	11,0	6,0	2,20	3,0
5,40	10,0	23,0	10,0	1,27	8,0	15,40	51,0	84,0	51,0	2,80	18,0
5,60	17,0	36,0	17,0	0,67	25,0	15,60	81,0	123,0	81,0	1,67	49,0
5,80	11,0	21,0	11,0	1,00	11,0	15,80	34,0	59,0	34,0	3,20	11,0
6,00	21,0	36,0	21,0	0,60	35,0	16,00	71,0	119,0	71,0	0,93	76,0
6,20	8,0	17,0	8,0	0,47	17,0	16,20	10,0	24,0	10,0	0,67	15,0
6,40	11,0	18,0	11,0	1,47	7,0	16,40	8,0	18,0	8,0	0,67	12,0
6,60	31,0	53,0	31,0	1,53	20,0	16,60	8,0	18,0	8,0	0,53	15,0
6,80	65,0	88,0	65,0	1,27	51,0	16,80	13,0	21,0	13,0	0,60	22,0
7,00	59,0	78,0	59,0	1,47	40,0	17,00	10,0	19,0	10,0	0,53	19,0
7,20	52,0	74,0	52,0	1,13	46,0	17,20	9,0	17,0	9,0	0,60	15,0
7,40	37,0	54,0	37,0	1,33	28,0	17,40	9,0	18,0	9,0	0,73	12,0
7,60	39,0	59,0	39,0	1,67	23,0	17,60	11,0	22,0	11,0	0,60	18,0
7,80	40,0	65,0	40,0	1,47	27,0	17,80	14,0	23,0	14,0	0,80	17,0
8,00	40,0	62,0	40,0	1,80	22,0	18,00	12,0	24,0	12,0	0,73	16,0
8,20	59,0	86,0	59,0	1,07	55,0	18,20	14,0	25,0	14,0	0,93	15,0
8,40	49,0	65,0	49,0	2,07	24,0	18,40	17,0	31,0	17,0	1,13	15,0
8,60	61,0	92,0	61,0	1,93	32,0	18,60	19,0	36,0	19,0	1,20	16,0
8,80	82,0	111,0	82,0	1,53	53,0	18,80	21,0	39,0	21,0	1,27	17,0
9,00	66,0	89,0	66,0	2,40	27,0	19,00	19,0	38,0	19,0	1,07	18,0
9,20	78,0	114,0	78,0	2,13	37,0	19,20	19,0	35,0	19,0	1,07	18,0
9,40	66,0	98,0	66,0	2,53	26,0	19,40	27,0	43,0	27,0	1,53	18,0
9,60	75,0	113,0	75,0	1,80	42,0	19,60	25,0	48,0	25,0	1,13	22,0
9,80	66,0	93,0	66,0	2,40	27,0	19,80	17,0	34,0	17,0	0,93	18,0
10,00	131,0	167,0	131,0	2,47	53,0	20,00	13,0	27,0	13,0	----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 3
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA | 2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE) - data : 08/11/2011
- lavoro : Nuovi manufatti - quota inizio :
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa - prof. falda : -2,50 m da quota inizio
- note : - pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	---	---	--	1,20	---	6,20	71,0	103,0	71,0	2,80	25,0
0,40	31,0	49,0	31,0	1,07	29,0	6,40	104,0	146,0	104,0	2,07	50,0
0,60	30,0	46,0	30,0	1,20	25,0	6,60	70,0	101,0	70,0	2,27	31,0
0,80	36,0	54,0	36,0	1,27	28,0	6,80	89,0	123,0	89,0	2,40	37,0
1,00	34,0	53,0	34,0	0,93	36,0	7,00	97,0	133,0	97,0	1,67	58,0
1,20	21,0	35,0	21,0	0,60	35,0	7,20	62,0	87,0	62,0	1,73	36,0
1,40	12,0	21,0	12,0	0,47	26,0	7,40	53,0	79,0	53,0	2,40	22,0
1,60	7,0	14,0	7,0	0,67	10,0	7,60	81,0	117,0	81,0	2,80	29,0
1,80	9,0	19,0	9,0	0,47	19,0	7,80	137,0	179,0	137,0	2,13	64,0
2,00	8,0	15,0	8,0	1,07	7,0	8,00	103,0	135,0	103,0	2,40	43,0
2,20	16,0	32,0	16,0	0,80	20,0	8,20	119,0	155,0	119,0	2,33	51,0
2,40	26,0	38,0	26,0	0,47	56,0	8,40	111,0	146,0	111,0	1,93	57,0
2,60	6,0	13,0	6,0	0,93	6,0	8,60	67,0	96,0	67,0	2,20	30,0
2,80	14,0	28,0	14,0	0,60	23,0	8,80	53,0	86,0	53,0	3,07	17,0
3,00	8,0	17,0	8,0	0,60	13,0	9,00	119,0	165,0	119,0	2,93	41,0
3,20	8,0	17,0	8,0	0,93	9,0	9,20	128,0	172,0	128,0	2,07	62,0
3,40	36,0	50,0	36,0	1,07	34,0	9,40	56,0	87,0	56,0	3,20	17,0
3,60	41,0	57,0	41,0	1,40	29,0	9,60	87,0	135,0	87,0	2,80	31,0
3,80	45,0	66,0	45,0	1,27	36,0	9,80	97,0	139,0	97,0	2,47	39,0
4,00	63,0	82,0	63,0	1,33	47,0	10,00	105,0	142,0	105,0	2,13	49,0
4,20	43,0	63,0	43,0	1,07	40,0	10,20	109,0	141,0	109,0	2,80	39,0
4,40	36,0	52,0	36,0	1,47	25,0	10,40	123,0	165,0	123,0	2,53	49,0
4,60	43,0	65,0	43,0	1,20	36,0	10,60	89,0	127,0	89,0	2,67	33,0
4,80	39,0	57,0	39,0	1,13	34,0	10,80	111,0	151,0	111,0	2,80	40,0
5,00	59,0	76,0	59,0	1,53	38,0	11,00	97,0	139,0	97,0	2,80	35,0
5,20	53,0	76,0	53,0	3,33	16,0	11,20	106,0	148,0	106,0	2,87	37,0
5,40	87,0	137,0	87,0	2,00	44,0	11,40	104,0	147,0	104,0	3,20	32,0
5,60	63,0	93,0	63,0	1,93	33,0	11,60	85,0	133,0	85,0	2,80	30,0
5,80	61,0	90,0	61,0	2,13	29,0	11,80	112,0	154,0	112,0	2,53	44,0
6,00	63,0	95,0	63,0	2,13	30,0	12,00	113,0	151,0	113,0	---	---

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA **CPT 4**
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa
- note :
- data : 08/11/2011
- quota inizio :
- prof. falda : -2,10 m da quota inizio
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	---	---	--	1,47	---	8,20	159,0	192,0	159,0	2,53	63,0
0,40	37,0	59,0	37,0	1,13	33,0	8,40	139,0	177,0	139,0	3,07	45,0
0,60	48,0	65,0	48,0	1,40	34,0	8,60	109,0	155,0	109,0	3,13	35,0
0,80	38,0	59,0	38,0	2,00	19,0	8,80	88,0	135,0	88,0	2,87	31,0
1,00	61,0	91,0	61,0	1,67	37,0	9,00	121,0	164,0	121,0	3,20	38,0
1,20	45,0	70,0	45,0	1,73	26,0	9,20	89,0	137,0	89,0	1,73	51,0
1,40	37,0	63,0	37,0	1,47	25,0	9,40	43,0	69,0	43,0	1,73	25,0
1,60	29,0	51,0	29,0	1,33	22,0	9,60	48,0	74,0	48,0	1,93	25,0
1,80	25,0	45,0	25,0	1,00	25,0	9,80	63,0	92,0	63,0	1,13	56,0
2,00	15,0	30,0	15,0	0,73	20,0	10,00	29,0	46,0	29,0	2,27	13,0
2,20	12,0	23,0	12,0	0,27	45,0	10,20	107,0	141,0	107,0	2,00	54,0
2,40	3,0	7,0	3,0	0,33	9,0	10,40	129,0	159,0	129,0	1,93	67,0
2,60	5,0	10,0	5,0	0,20	25,0	10,60	122,0	151,0	122,0	2,73	45,0
2,80	3,0	6,0	3,0	0,67	4,0	10,80	121,0	162,0	121,0	2,60	47,0
3,00	9,0	19,0	9,0	1,27	7,0	11,00	114,0	153,0	114,0	3,13	36,0
3,20	28,0	47,0	28,0	1,07	26,0	11,20	94,0	141,0	94,0	2,80	34,0
3,40	31,0	47,0	31,0	1,00	31,0	11,40	131,0	173,0	131,0	2,73	48,0
3,60	33,0	48,0	33,0	1,00	33,0	11,60	145,0	186,0	145,0	2,33	62,0
3,80	51,0	66,0	51,0	1,60	32,0	11,80	129,0	164,0	129,0	2,13	60,0
4,00	52,0	76,0	52,0	1,20	43,0	12,00	103,0	135,0	103,0	2,00	52,0
4,20	37,0	55,0	37,0	1,67	22,0	12,20	57,0	87,0	57,0	0,80	71,0
4,40	59,0	84,0	59,0	1,80	33,0	12,40	11,0	23,0	11,0	2,13	5,0
4,60	58,0	85,0	58,0	1,87	31,0	12,60	41,0	73,0	41,0	1,40	29,0
4,80	54,0	82,0	54,0	1,80	30,0	12,80	69,0	90,0	69,0	1,73	40,0
5,00	42,0	69,0	42,0	1,40	30,0	13,00	39,0	65,0	39,0	0,73	53,0
5,20	48,0	69,0	48,0	1,40	34,0	13,20	10,0	21,0	10,0	0,60	17,0
5,40	68,0	89,0	68,0	1,53	44,0	13,40	9,0	18,0	9,0	0,47	19,0
5,60	32,0	55,0	32,0	1,73	18,0	13,60	8,0	15,0	8,0	0,47	17,0
5,80	47,0	73,0	47,0	1,80	26,0	13,80	8,0	15,0	8,0	0,53	15,0
6,00	42,0	69,0	42,0	2,00	21,0	14,00	7,0	15,0	7,0	0,53	13,0
6,20	51,0	81,0	51,0	1,27	40,0	14,20	9,0	17,0	9,0	0,47	19,0
6,40	24,0	43,0	24,0	1,33	18,0	14,40	9,0	16,0	9,0	0,53	17,0
6,60	48,0	68,0	48,0	1,87	26,0	14,60	13,0	21,0	13,0	0,67	19,0
6,80	54,0	82,0	54,0	2,33	23,0	14,80	16,0	26,0	16,0	1,40	11,0
7,00	79,0	114,0	79,0	2,53	31,0	15,00	21,0	42,0	21,0	1,07	20,0
7,20	114,0	152,0	114,0	2,27	50,0	15,20	27,0	43,0	27,0	0,93	29,0
7,40	60,0	94,0	60,0	2,53	24,0	15,40	14,0	28,0	14,0	1,00	14,0
7,60	77,0	115,0	77,0	2,00	38,0	15,60	15,0	30,0	15,0	0,73	20,0
7,80	67,0	97,0	67,0	3,27	21,0	15,80	14,0	25,0	14,0	1,20	12,0
8,00	89,0	138,0	89,0	2,20	40,0	16,00	28,0	46,0	28,0	---	---

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 5
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA 2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE) - data : 08/11/2011
- lavoro : Nuovi manufatti - quota inizio :
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa - prof. falda : -2,00 m da quota inizio
- note : - pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	0,47	----	8,80	108,0	149,0	108,0	2,33	46,0
0,40	19,0	26,0	19,0	0,67	28,0	9,00	90,0	125,0	90,0	1,87	48,0
0,60	10,0	20,0	10,0	0,67	15,0	9,20	67,0	95,0	67,0	2,40	28,0
0,80	11,0	21,0	11,0	0,53	21,0	9,40	76,0	112,0	76,0	1,13	67,0
1,00	7,0	15,0	7,0	0,27	26,0	9,60	59,0	76,0	59,0	0,73	80,0
1,20	4,0	8,0	4,0	0,27	15,0	9,80	37,0	48,0	37,0	1,07	35,0
1,40	4,0	8,0	4,0	0,40	10,0	10,00	34,0	50,0	34,0	1,13	30,0
1,60	6,0	12,0	6,0	0,27	22,0	10,20	48,0	65,0	48,0	0,87	55,0
1,80	5,0	9,0	5,0	0,20	25,0	10,40	30,0	43,0	30,0	1,27	24,0
2,00	3,0	6,0	3,0	0,20	15,0	10,60	19,0	38,0	19,0	1,73	11,0
2,20	3,0	6,0	3,0	0,13	22,0	10,80	59,0	85,0	59,0	1,40	42,0
2,40	3,0	5,0	3,0	0,20	15,0	11,00	38,0	59,0	38,0	3,20	12,0
2,60	2,0	5,0	2,0	0,53	4,0	11,20	81,0	129,0	81,0	1,13	71,0
2,80	7,0	15,0	7,0	0,60	12,0	11,40	33,0	50,0	33,0	3,33	10,0
3,00	9,0	18,0	9,0	0,20	45,0	11,60	71,0	121,0	71,0	3,47	20,0
3,20	2,0	5,0	2,0	0,33	6,0	11,80	84,0	136,0	84,0	3,20	26,0
3,40	5,0	10,0	5,0	0,67	7,0	12,00	71,0	119,0	71,0	1,20	59,0
3,60	11,0	21,0	11,0	0,60	18,0	12,20	18,0	36,0	18,0	0,53	34,0
3,80	9,0	18,0	9,0	0,27	34,0	12,40	7,0	15,0	7,0	0,47	15,0
4,00	5,0	9,0	5,0	0,33	15,0	12,60	6,0	13,0	6,0	1,00	6,0
4,20	6,0	11,0	6,0	0,53	11,0	12,80	13,0	28,0	13,0	2,27	6,0
4,40	9,0	17,0	9,0	0,27	34,0	13,00	61,0	95,0	61,0	1,93	32,0
4,60	3,0	7,0	3,0	0,20	15,0	13,20	54,0	83,0	54,0	0,60	90,0
4,80	4,0	7,0	4,0	0,40	10,0	13,40	8,0	17,0	8,0	0,80	10,0
5,00	8,0	14,0	8,0	1,07	7,0	13,60	12,0	24,0	12,0	1,73	7,0
5,20	18,0	34,0	18,0	0,33	54,0	13,80	61,0	87,0	61,0	0,87	70,0
5,40	11,0	16,0	11,0	0,47	24,0	14,00	12,0	25,0	12,0	0,47	26,0
5,60	6,0	13,0	6,0	0,13	45,0	14,20	6,0	13,0	6,0	0,47	13,0
5,80	5,0	7,0	5,0	0,20	25,0	14,40	7,0	14,0	7,0	0,33	21,0
6,00	2,0	5,0	2,0	0,47	4,0	14,60	5,0	10,0	5,0	0,53	9,0
6,20	8,0	15,0	8,0	0,60	13,0	14,80	13,0	21,0	13,0	0,60	22,0
6,40	9,0	18,0	9,0	0,93	10,0	15,00	17,0	26,0	17,0	1,13	15,0
6,60	15,0	29,0	15,0	0,47	32,0	15,20	29,0	46,0	29,0	3,67	8,0
6,80	7,0	14,0	7,0	0,40	17,0	15,40	184,0	239,0	184,0	3,73	49,0
7,00	6,0	12,0	6,0	0,73	8,0	15,60	144,0	200,0	144,0	0,93	154,0
7,20	10,0	21,0	10,0	0,40	25,0	15,80	13,0	27,0	13,0	0,80	16,0
7,40	5,0	11,0	5,0	0,40	12,0	16,00	9,0	21,0	9,0	0,53	17,0
7,60	5,0	11,0	5,0	1,73	3,0	16,20	9,0	17,0	9,0	0,53	17,0
7,80	41,0	67,0	41,0	1,87	22,0	16,40	10,0	18,0	10,0	0,67	15,0
8,00	53,0	81,0	53,0	2,40	22,0	16,60	11,0	21,0	11,0	0,47	24,0
8,20	61,0	97,0	61,0	1,80	34,0	16,80	7,0	14,0	7,0	0,40	17,0
8,40	68,0	95,0	68,0	3,13	22,0	17,00	7,0	13,0	7,0	----	----
8,60	89,0	136,0	89,0	2,73	33,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 6

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa
- note : Riporto nei primi 2,20 metri

- data : 07/12/2011
- quota inizio : Argine Volano
- prof. falda : -4,00 m da quota inizio
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	1,67	----	5,20	19,0	36,0	19,0	0,73	26,0
0,40	81,0	106,0	81,0	2,47	33,0	5,40	9,0	20,0	9,0	0,93	10,0
0,60	73,0	110,0	73,0	2,93	25,0	5,60	21,0	35,0	21,0	0,67	31,0
0,80	115,0	159,0	115,0	4,07	28,0	5,80	8,0	18,0	8,0	0,67	12,0
1,00	87,0	148,0	87,0	2,73	32,0	6,00	9,0	19,0	9,0	1,13	8,0
1,20	71,0	112,0	71,0	2,07	34,0	6,20	46,0	63,0	46,0	1,40	33,0
1,40	68,0	99,0	68,0	2,93	23,0	6,40	45,0	66,0	45,0	1,73	26,0
1,60	73,0	117,0	73,0	2,07	35,0	6,60	47,0	73,0	47,0	1,20	39,0
1,80	70,0	101,0	70,0	3,27	21,0	6,80	45,0	63,0	45,0	1,00	45,0
2,00	41,0	90,0	41,0	1,93	21,0	7,00	16,0	31,0	16,0	1,53	10,0
2,20	94,0	123,0	94,0	2,40	39,0	7,20	44,0	67,0	44,0	2,33	19,0
2,40	23,0	59,0	23,0	1,33	17,0	7,40	79,0	114,0	79,0	2,13	37,0
2,60	22,0	42,0	22,0	0,53	41,0	7,60	73,0	105,0	73,0	1,53	48,0
2,80	13,0	21,0	13,0	1,73	7,0	7,80	46,0	69,0	46,0	2,40	19,0
3,00	21,0	47,0	21,0	0,93	22,0	8,00	71,0	107,0	71,0	2,40	30,0
3,20	11,0	25,0	11,0	0,93	12,0	8,20	73,0	109,0	73,0	2,80	26,0
3,40	7,0	21,0	7,0	0,73	10,0	8,40	81,0	123,0	81,0	1,53	53,0
3,60	8,0	19,0	8,0	0,67	12,0	8,60	39,0	62,0	39,0	2,07	19,0
3,80	8,0	18,0	8,0	0,40	20,0	8,80	42,0	73,0	42,0	1,87	22,0
4,00	6,0	12,0	6,0	0,53	11,0	9,00	57,0	85,0	57,0	4,07	14,0
4,20	7,0	15,0	7,0	0,80	9,0	9,20	82,0	143,0	82,0	3,73	22,0
4,40	11,0	23,0	11,0	0,87	13,0	9,40	99,0	155,0	99,0	3,53	28,0
4,60	12,0	25,0	12,0	0,53	22,0	9,60	116,0	169,0	116,0	2,93	40,0
4,80	17,0	25,0	17,0	1,07	16,0	9,80	81,0	125,0	81,0	3,20	25,0
5,00	16,0	32,0	16,0	1,13	14,0	10,00	148,0	196,0	148,0	----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 10 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 7

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovorivo di Pomposa
- note :

- data : 07/12/2011
- quota inizio : Arg. ovest bacino
- prof. falda : -2,50 m da quota inizio
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	---	---	--	0,60	---	5,20	41,0	73,0	41,0	0,93	44,0
0,40	14,0	23,0	14,0	0,73	19,0	5,40	14,0	28,0	14,0	0,60	23,0
0,60	21,0	32,0	21,0	0,93	22,0	5,60	11,0	20,0	11,0	1,27	9,0
0,80	31,0	45,0	31,0	0,73	42,0	5,80	46,0	65,0	46,0	1,27	36,0
1,00	23,0	34,0	23,0	0,73	31,0	6,00	19,0	38,0	19,0	1,73	11,0
1,20	9,0	20,0	9,0	0,87	10,0	6,20	21,0	47,0	21,0	1,53	14,0
1,40	12,0	25,0	12,0	0,80	15,0	6,40	39,0	62,0	39,0	1,73	22,0
1,60	12,0	24,0	12,0	0,73	16,0	6,60	33,0	59,0	33,0	1,00	33,0
1,80	9,0	20,0	9,0	1,00	9,0	6,80	54,0	69,0	54,0	1,47	37,0
2,00	14,0	29,0	14,0	0,47	30,0	7,00	59,0	81,0	59,0	1,53	38,0
2,20	8,0	15,0	8,0	0,33	24,0	7,20	49,0	72,0	49,0	1,00	49,0
2,40	6,0	11,0	6,0	0,27	22,0	7,40	13,0	28,0	13,0	1,20	11,0
2,60	5,0	9,0	5,0	0,27	19,0	7,60	18,0	36,0	18,0	1,80	10,0
2,80	5,0	9,0	5,0	0,20	25,0	7,80	38,0	65,0	38,0	2,13	18,0
3,00	4,0	7,0	4,0	0,20	20,0	8,00	51,0	83,0	51,0	1,80	28,0
3,20	5,0	8,0	5,0	0,27	19,0	8,20	32,0	59,0	32,0	1,33	24,0
3,40	3,0	7,0	3,0	0,20	15,0	8,40	21,0	41,0	21,0	1,53	14,0
3,60	3,0	6,0	3,0	0,40	7,0	8,60	47,0	70,0	47,0	1,93	24,0
3,80	6,0	12,0	6,0	0,27	22,0	8,80	52,0	81,0	52,0	1,67	31,0
4,00	4,0	8,0	4,0	0,27	15,0	9,00	67,0	92,0	67,0	4,13	16,0
4,20	5,0	9,0	5,0	0,20	25,0	9,20	86,0	148,0	86,0	4,73	18,0
4,40	4,0	7,0	4,0	0,20	20,0	9,40	108,0	179,0	108,0	3,73	29,0
4,60	4,0	7,0	4,0	0,33	12,0	9,60	107,0	163,0	107,0	3,00	36,0
4,80	5,0	10,0	5,0	0,53	9,0	9,80	128,0	173,0	128,0	3,00	43,0
5,00	8,0	16,0	8,0	2,13	4,0	10,00	141,0	186,0	141,0	----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 10 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 8

LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE) - lavoro : Nuovi manufatti - località : Stabilimento idrovoro di Pomposa - note :	- data : 07/12/2011 - quota inizio : Argine nord bacino - prof. falda : -2,00 m da quota inizio - pagina : 1
--	---

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	0,73	----	3,80	47,0	68,0	47,0	2,13	22,0
0,40	14,0	25,0	14,0	1,67	8,0	4,00	53,0	85,0	53,0	1,87	28,0
0,60	31,0	56,0	31,0	1,00	31,0	4,20	69,0	97,0	69,0	2,33	30,0
0,80	28,0	43,0	28,0	1,20	23,0	4,40	53,0	88,0	53,0	1,67	32,0
1,00	18,0	36,0	18,0	0,60	30,0	4,60	57,0	82,0	57,0	1,40	41,0
1,20	13,0	22,0	13,0	0,60	22,0	4,80	52,0	73,0	52,0	1,73	30,0
1,40	18,0	27,0	18,0	0,53	34,0	5,00	59,0	85,0	59,0	2,00	30,0
1,60	8,0	16,0	8,0	0,53	15,0	5,20	53,0	83,0	53,0	2,20	24,0
1,80	7,0	15,0	7,0	0,47	15,0	5,40	62,0	95,0	62,0	1,87	33,0
2,00	6,0	13,0	6,0	0,33	18,0	5,60	56,0	84,0	56,0	3,07	18,0
2,20	4,0	9,0	4,0	0,33	12,0	5,80	77,0	123,0	77,0	1,47	52,0
2,40	6,0	11,0	6,0	0,47	13,0	6,00	59,0	81,0	59,0	1,40	42,0
2,60	7,0	14,0	7,0	1,13	6,0	6,20	36,0	57,0	36,0	0,67	54,0
2,80	18,0	35,0	18,0	1,20	15,0	6,40	19,0	29,0	19,0	3,27	6,0
3,00	18,0	36,0	18,0	1,47	12,0	6,60	87,0	136,0	87,0	2,53	34,0
3,20	43,0	65,0	43,0	1,27	34,0	6,80	77,0	115,0	77,0	2,33	33,0
3,40	36,0	55,0	36,0	1,27	28,0	7,00	71,0	106,0	71,0	----	----
3,60	29,0	48,0	29,0	1,40	21,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 10 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 9

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa
- note :

- data : 07/12/2011
- quota inizio : Argine nord bacino
- prof. falda : -2,10 m da quota inizio
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	1,20	----	4,80	27,0	39,0	27,0	0,80	34,0
0,40	19,0	37,0	19,0	2,13	9,0	5,00	29,0	41,0	29,0	2,13	14,0
0,60	47,0	79,0	47,0	1,27	37,0	5,20	51,0	83,0	51,0	1,40	36,0
0,80	44,0	63,0	44,0	1,07	41,0	5,40	47,0	68,0	47,0	1,53	31,0
1,00	33,0	49,0	33,0	0,93	35,0	5,60	52,0	75,0	52,0	1,33	39,0
1,20	16,0	30,0	16,0	0,80	20,0	5,80	46,0	66,0	46,0	1,27	36,0
1,40	14,0	26,0	14,0	0,80	17,0	6,00	35,0	54,0	35,0	1,47	24,0
1,60	9,0	21,0	9,0	0,47	19,0	6,20	37,0	59,0	37,0	1,20	31,0
1,80	7,0	14,0	7,0	0,27	26,0	6,40	47,0	65,0	47,0	1,60	29,0
2,00	5,0	9,0	5,0	0,40	12,0	6,60	33,0	57,0	33,0	1,93	17,0
2,20	4,0	10,0	4,0	0,33	12,0	6,80	35,0	64,0	35,0	0,80	44,0
2,40	3,0	8,0	3,0	0,20	15,0	7,00	12,0	24,0	12,0	0,87	14,0
2,60	2,0	5,0	2,0	0,13	15,0	7,20	13,0	26,0	13,0	0,53	24,0
2,80	2,0	4,0	2,0	0,13	15,0	7,40	7,0	15,0	7,0	1,13	6,0
3,00	2,0	4,0	2,0	0,20	10,0	7,60	21,0	38,0	21,0	1,07	20,0
3,20	4,0	7,0	4,0	0,27	15,0	7,80	19,0	35,0	19,0	0,47	41,0
3,40	4,0	8,0	4,0	0,33	12,0	8,00	8,0	15,0	8,0	0,27	30,0
3,60	5,0	10,0	5,0	0,33	15,0	8,20	5,0	9,0	5,0	0,40	12,0
3,80	5,0	10,0	5,0	0,53	9,0	8,40	5,0	11,0	5,0	0,53	9,0
4,00	9,0	17,0	9,0	1,47	6,0	8,60	7,0	15,0	7,0	0,93	7,0
4,20	29,0	51,0	29,0	1,13	26,0	8,80	17,0	31,0	17,0	1,13	15,0
4,40	45,0	62,0	45,0	1,07	42,0	9,00	28,0	45,0	28,0	----	----
4,60	19,0	35,0	19,0	0,80	24,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 10 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

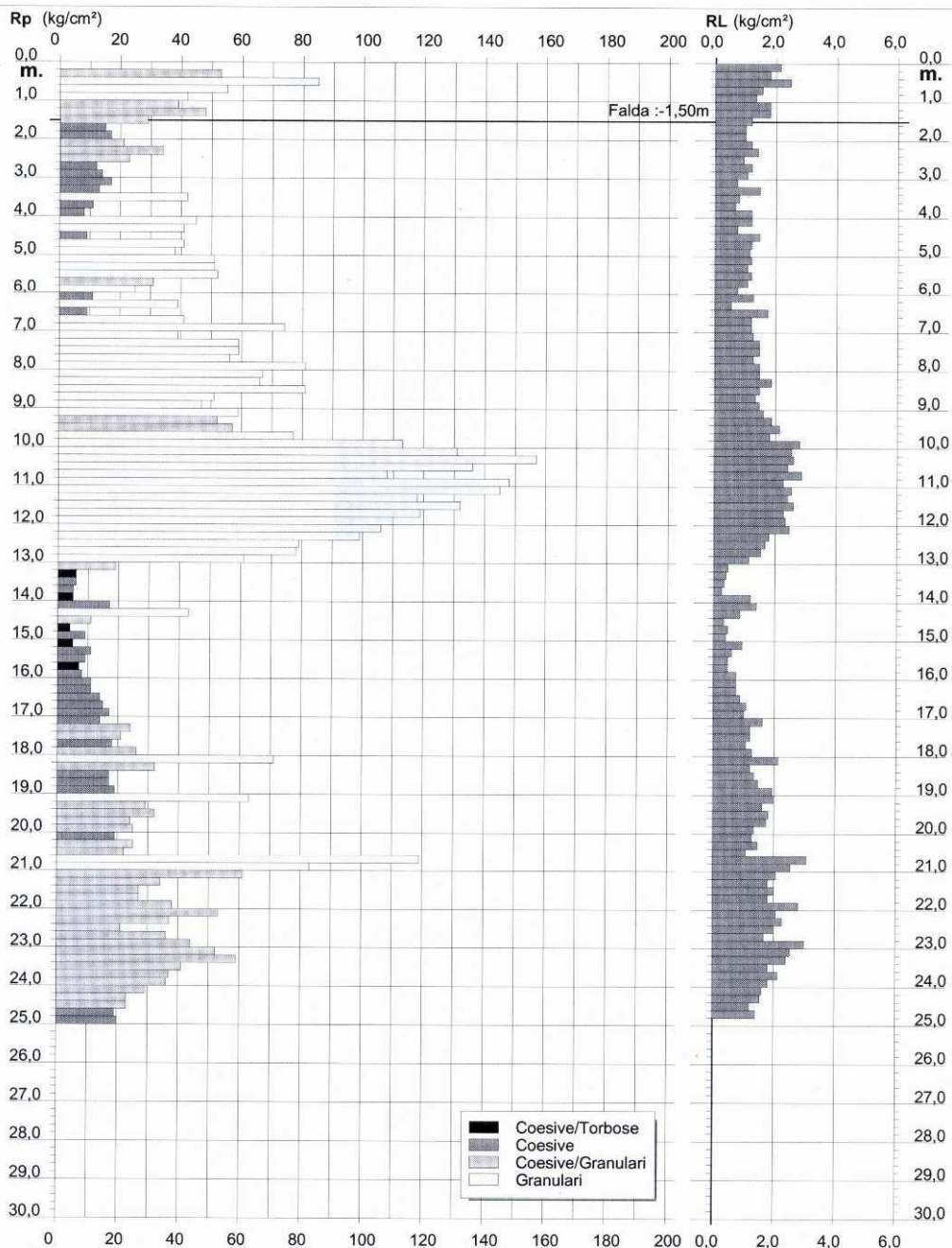
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa

- data : 08/11/2011
- quota inizio :
- prof. falda : -1,50 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Acquisizione ed elaborazione dati geologici, geotecnici, idrogeologici ed ambientali.

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

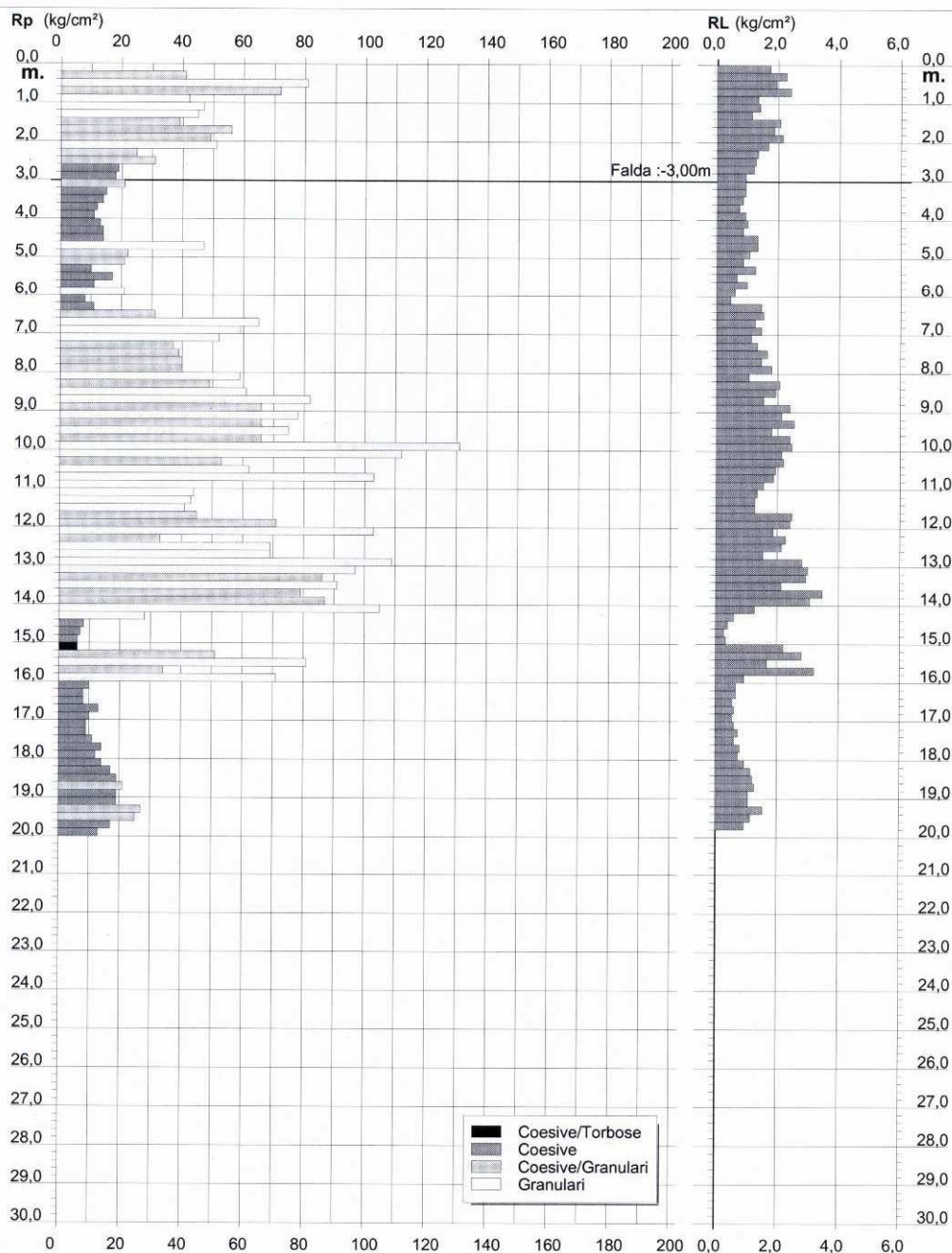
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa

- data : 08/11/2011
- quota inizio :
- prof. falda : -3,00 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Acquisizione ed elaborazione dati geologici, geotecnici, idrogeologici ed ambientali.

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

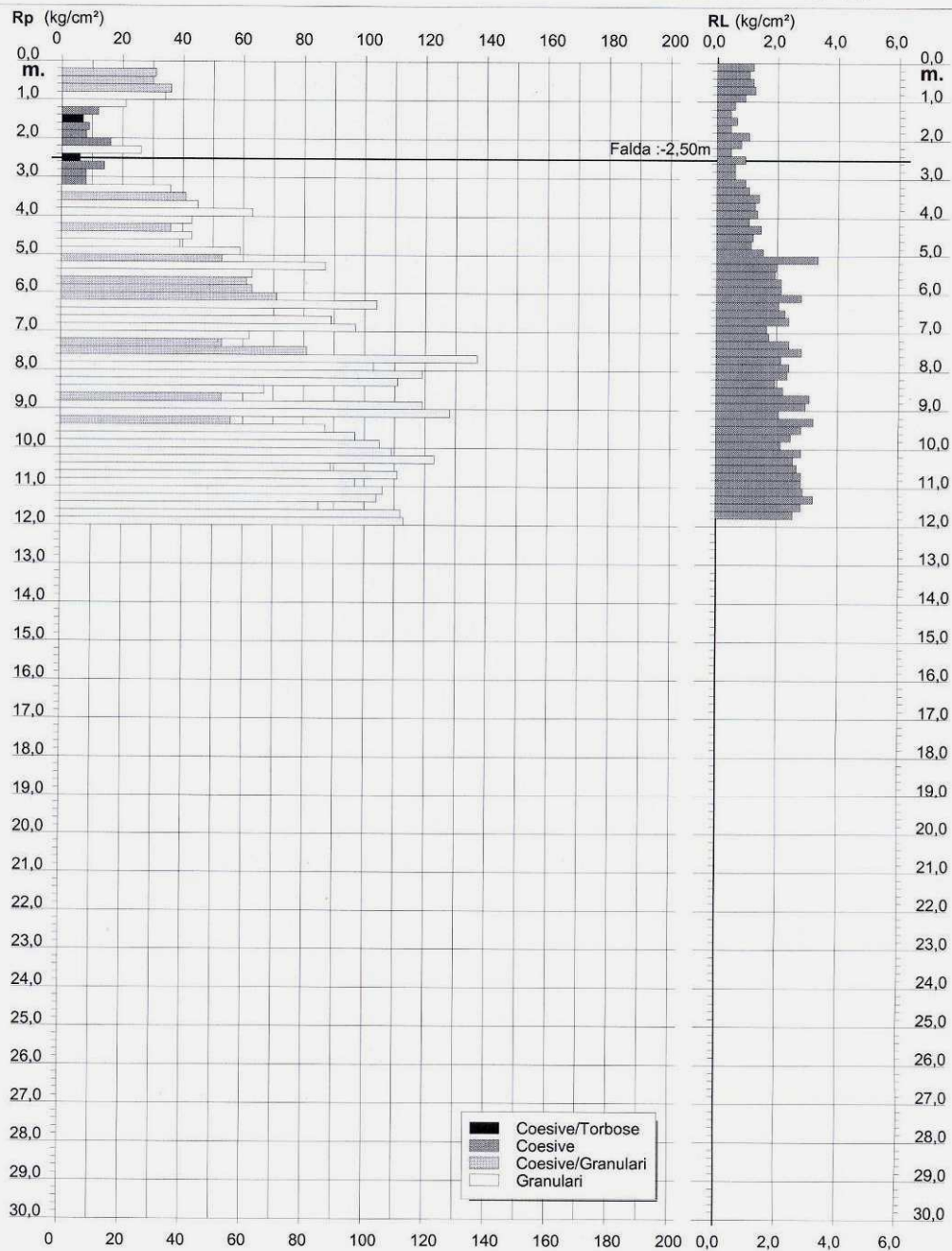
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 3

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa

- data : 08/11/2011
- quota inizio :
- prof. falda : -2,50 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150



pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

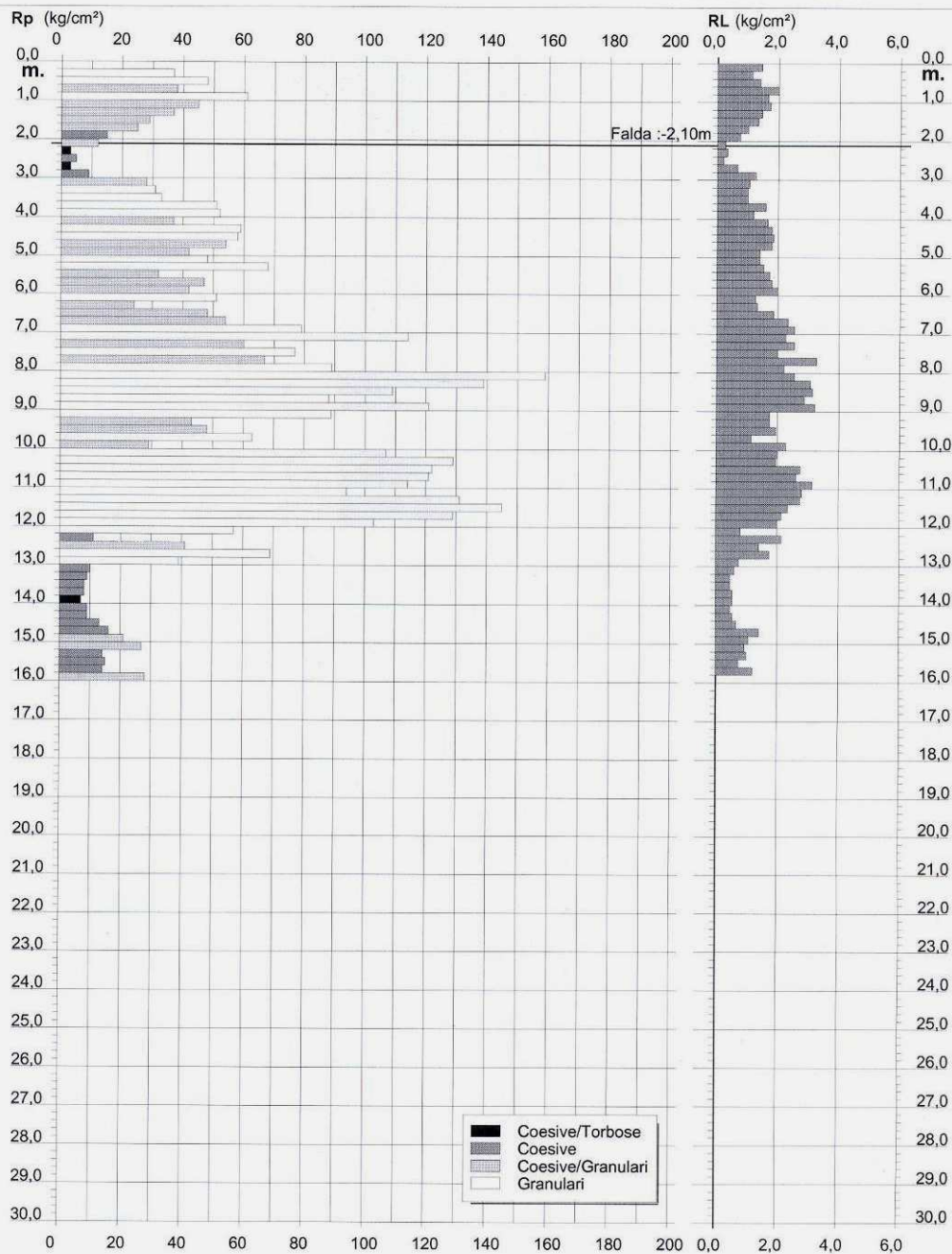
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 4

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa

- data : 08/11/2011
- quota inizio :
- prof. falda : -2,10 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150



pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

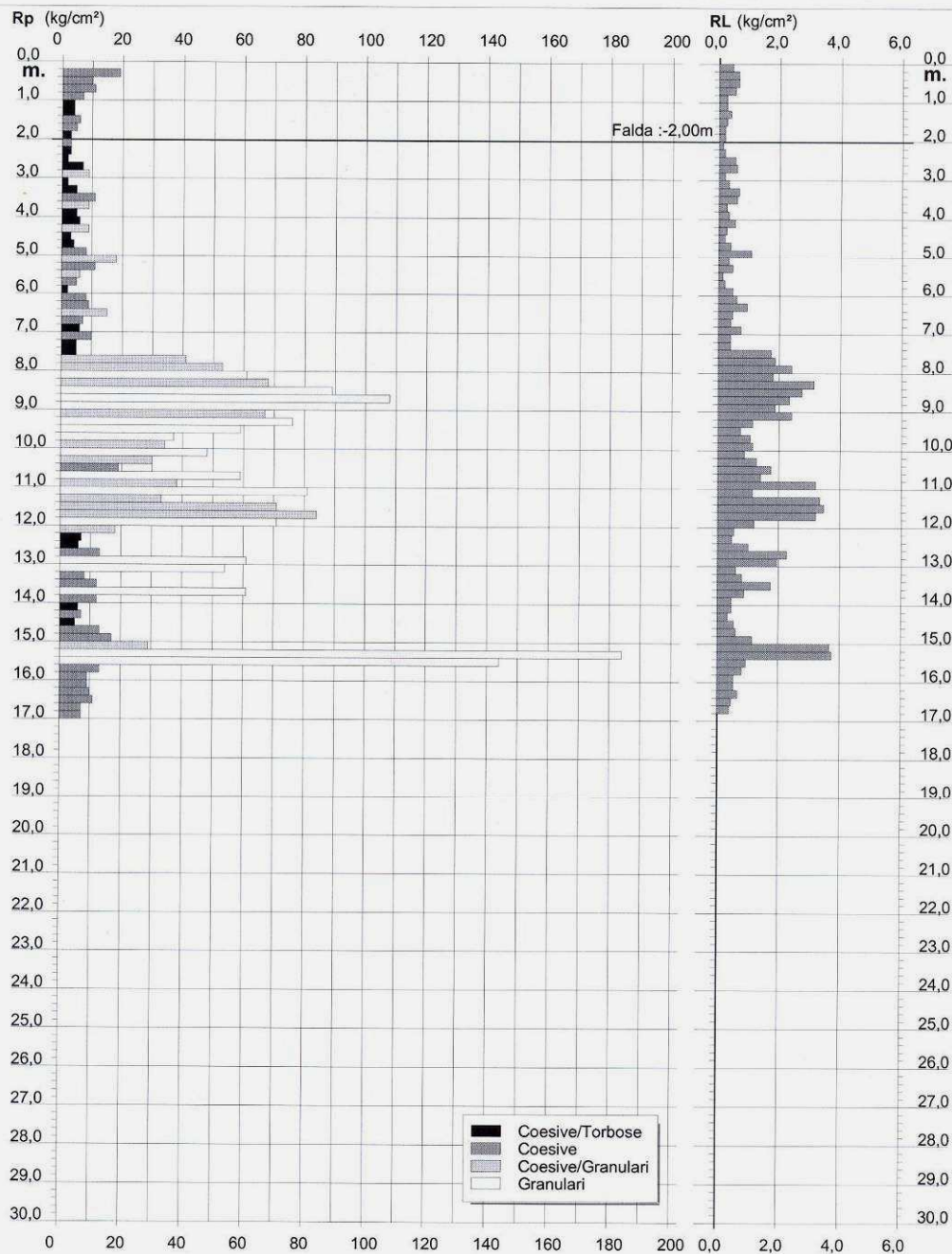
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 5

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa

- data : 08/11/2011
- quota inizio :
- prof. falda : -2,00 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150



pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

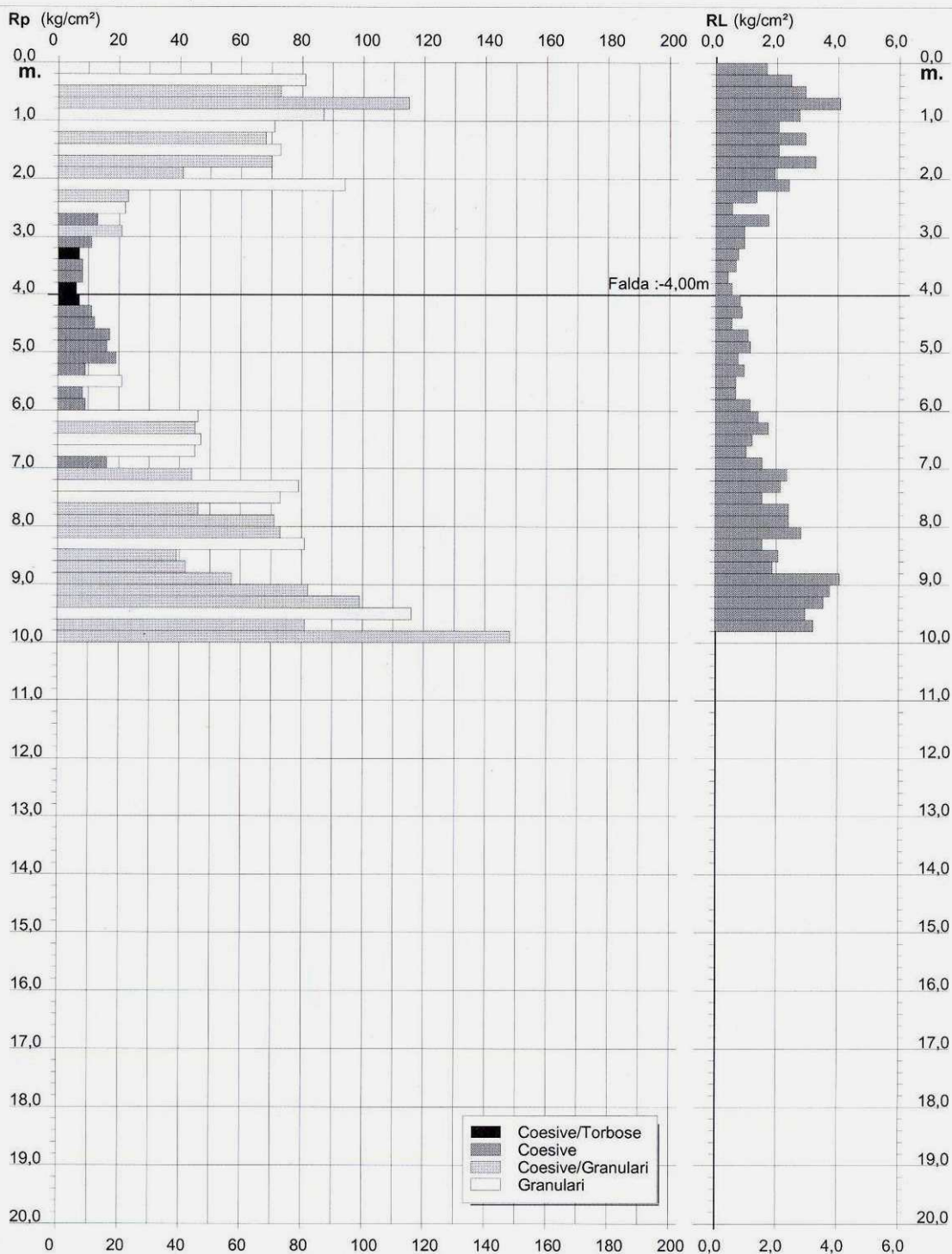
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 6

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa
- note : Riporto nei primi 2,20 metri

- data : 07/12/2011
- quota inizio : Argine Volano
- prof. falda : -4,00 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

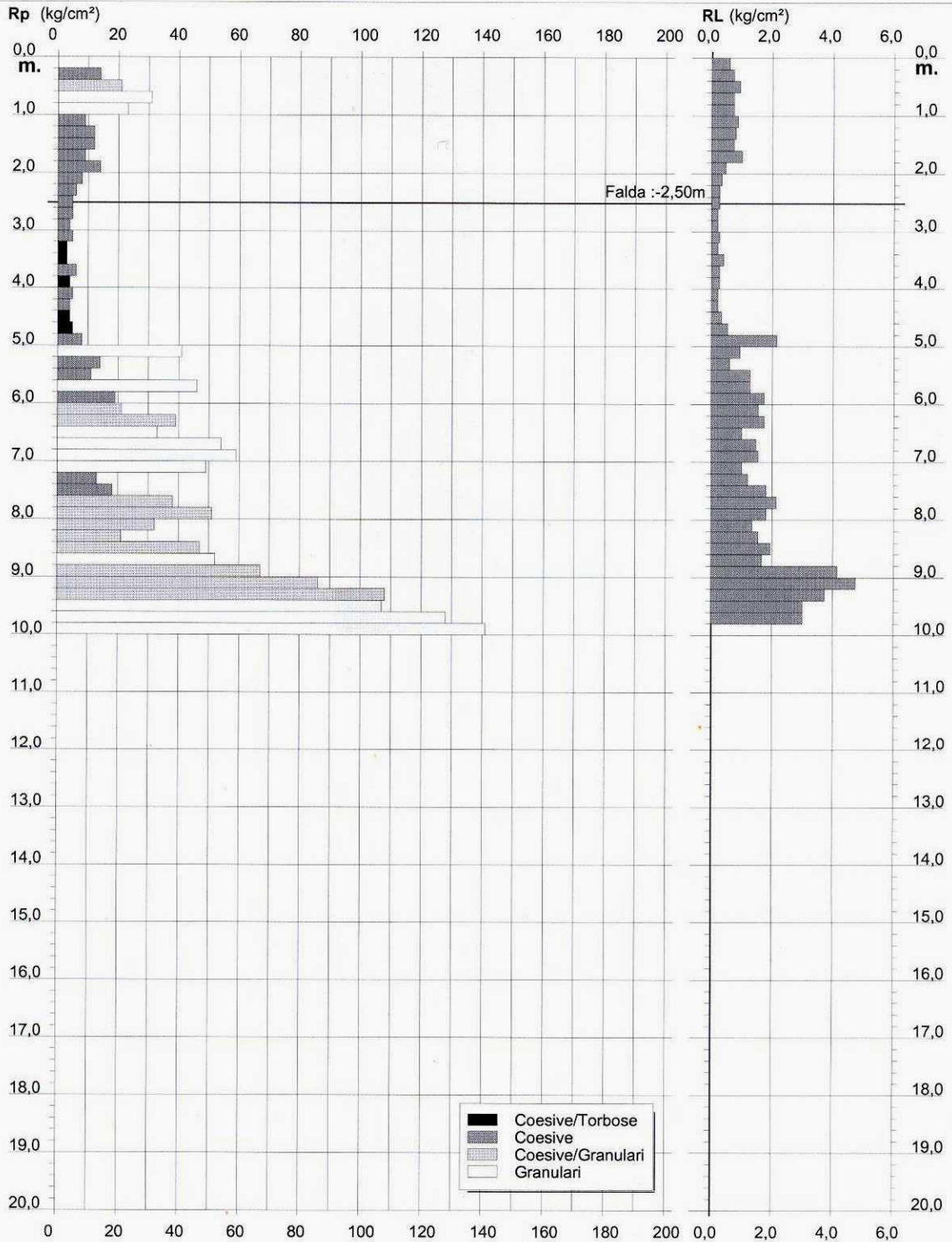
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 7

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa

- data : 07/12/2011
- quota inizio : Arg. ovest bacino
- prof. falda : -2,50 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

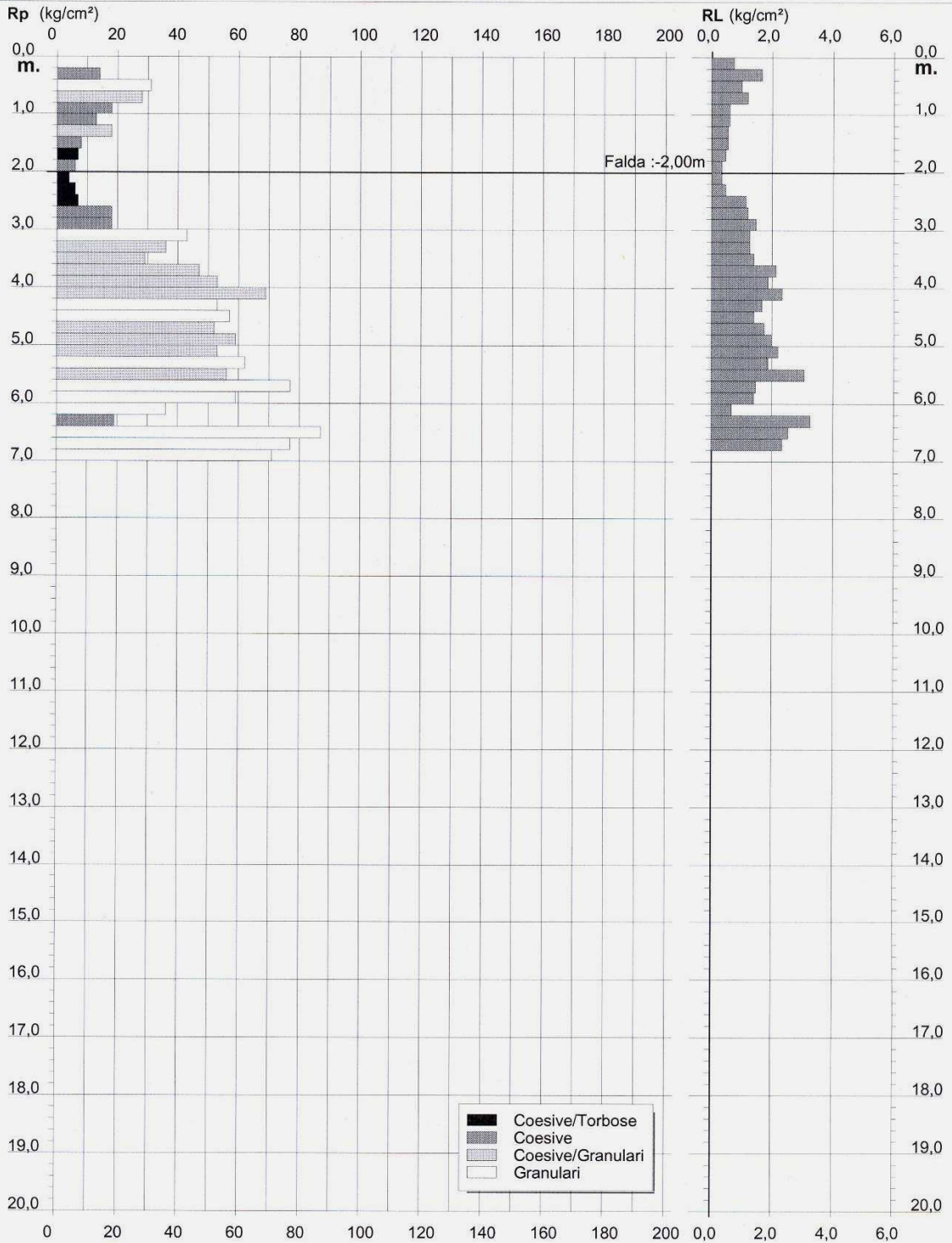
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 8

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa

- data : 07/12/2011
- quota inizio : Argine nord bacino
- prof. falda : -2,00 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

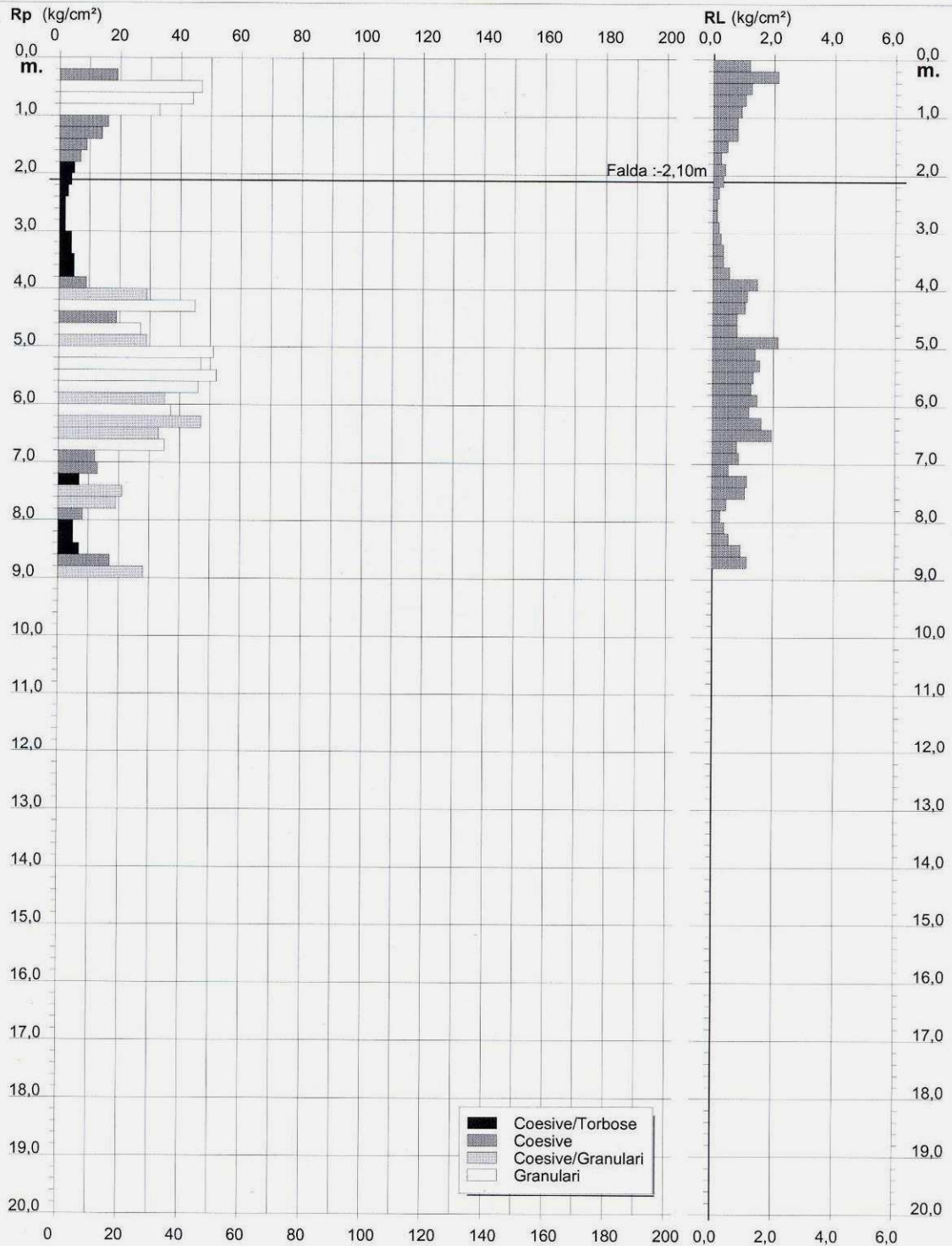
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 9

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovaro di Pomposa

- data : 07/12/2011
- quota inizio : Argine nord bacino
- prof. falda : -2,10 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECCNICI**

CPT 1

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa
- note :

- data : 08/11/2011
- quota inizio :
- prof. falda : -1,50 m da quota inizio
- pagina : 2

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE											
Prof. m	Rp kg/cm ²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m ³	p'vo kg/cm ²	Cu kg/cm ²	OCR (-)	Eu50 kg/cm ²	Eu25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm ²	E'25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	
20,20	19	15	2III	0,99	1,99	0,78	1,9	437	655	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
20,40	25	17	4I/II	0,94	2,01	0,91	2,3	492	738	75	7	29	32	35	39	25	28	0,016	42	63	75	
20,60	22	21	4I/II	0,93	2,03	0,85	2,1	469	703	66	3	28	32	35	38	25	28	0,007	37	55	66	
20,80	119	39	3III	1,03	2,05	--	--	--	--	--	60	36	39	41	43	34	35	0,132	198	298	357	
21,00	83	33	3III	0,97	2,07	--	--	--	--	--	48	35	37	39	42	32	33	0,099	138	208	249	
21,20	61	30	4I/II	1,02	2,09	2,03	6,1	550	825	183	37	33	36	38	41	30	32	0,073	102	153	183	
21,40	34	19	4I/II	0,98	2,11	1,13	2,9	569	853	102	17	30	33	36	39	27	29	0,032	57	85	102	
21,60	27	14	4I/II	0,95	2,13	0,95	2,3	515	773	81	9	29	32	35	39	25	28	0,018	45	68	81	
21,80	27	15	4I/II	0,95	2,14	0,95	2,3	516	775	81	8	29	32	35	39	25	28	0,018	45	68	81	
22,00	38	14	4I/II	0,99	2,16	1,27	3,2	602	904	114	20	31	34	37	40	27	30	0,038	63	95	114	
22,20	53	26	4I/II	1,01	2,18	1,77	4,8	606	909	159	31	32	35	38	40	29	31	0,060	88	133	159	
22,40	37	16	4I/II	0,99	2,20	1,23	3,0	605	907	111	19	31	33	36	39	27	30	0,035	62	93	111	
22,60	21	10	4I/II	0,93	2,22	0,82	1,8	469	703	63	--	28	31	35	38	25	27	--	35	53	63	
22,80	36	22	4I/II	0,99	2,24	1,20	2,9	604	906	108	17	30	33	36	39	27	30	0,033	60	90	108	
23,00	44	15	4I/II	1,00	2,26	1,47	3,7	639	958	132	24	31	34	37	40	28	31	0,045	73	110	132	
23,20	52	21	4I/II	1,01	2,28	1,73	4,4	637	955	156	29	32	35	37	40	29	31	0,056	87	130	156	
23,40	59	25	4I/II	1,02	2,30	1,97	5,2	633	949	177	33	33	35	38	41	29	32	0,065	98	148	177	
23,60	41	23	4I/II	1,00	2,32	1,37	3,2	648	971	123	21	31	34	37	40	27	30	0,039	68	103	123	
23,80	37	17	4I/II	0,99	2,34	1,23	2,8	626	939	111	17	30	33	36	39	27	30	0,033	62	93	111	
24,00	36	20	4I/II	0,99	2,36	1,20	2,7	620	930	108	16	30	33	36	39	26	30	0,031	60	90	108	
24,20	29	18	4I/II	0,96	2,38	0,98	2,1	546	820	87	8	29	32	35	39	25	29	0,018	48	73	87	
24,40	23	15	4I/II	0,94	2,40	0,87	1,8	496	745	69	--	28	31	35	38	25	28	--	38	58	69	
24,60	23	19	4I/II	0,94	2,42	0,87	1,7	497	746	69	--	28	31	35	38	25	28	--	38	58	69	
24,80	19	14	2III	0,99	2,44	0,78	1,5	452	679	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
25,00	20	--	4I/II	0,93	2,46	0,80	1,5	465	698	60	--	28	31	35	38	25	27	--	33	50	60	

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 6

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- localita' : Stabilimento idrovoro di Pomposa
- note : Riporto nei primi 2,20 metri

- data : 07/12/2011
- quota inizio : Argine Volano
- prof. falda : -4,00 m da quota inizio
- pagina : 1

NATURA COESIVA										NATURA GRANULARE												
Prof. m	Rp kg/cm ²	Rp/RI (-)	Natura Litol.	Y' t/m ³	p'vo kg/cm ²	Cu kg/cm ²	OCR (-)	Eu50 kg/cm ²	Eu25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm ²	E'25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	81	33	3:~	1,85	0,07	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	33	0,258	135	203	243	
0,60	73	25	4:~	1,85	0,11	2,43	99,9	414	621	219	100	42	43	45	46	45	32	0,258	122	183	219	
0,80	115	28	4:~	1,85	0,15	3,83	99,9	652	978	345	100	42	43	45	46	45	35	0,258	192	288	345	
1,00	87	32	3:~	1,85	0,19	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	33	0,258	145	218	261	
1,20	71	34	3:~	1,85	0,22	--	--	--	--	--	97	42	43	44	46	42	32	0,247	118	178	213	
1,40	68	23	4:~	1,85	0,26	2,27	94,5	385	578	204	92	41	42	44	45	41	32	0,226	122	183	219	
1,60	73	35	3:~	1,85	0,30	--	--	--	--	--	91	41	42	44	45	41	32	0,211	117	175	210	
1,80	70	21	4:~	1,85	0,33	2,33	71,6	397	595	210	87	40	42	43	45	40	32	0,211	117	175	210	
2,00	41	21	4:~	1,85	0,37	1,37	32,1	232	349	123	66	37	39	41	43	38	30	0,146	68	103	123	
2,20	94	39	3:~	1,85	0,41	--	--	--	--	--	92	41	42	44	45	41	34	0,229	157	235	282	
2,40	23	17	4:~	1,85	0,44	0,87	14,5	148	221	69	41	34	36	39	41	33	28	0,083	38	58	69	
2,60	22	41	3:~	1,85	0,48	--	--	--	--	--	38	33	36	38	41	33	28	0,075	37	55	66	
2,80	13	7	2:~	1,85	0,52	0,60	7,6	126	189	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3,00	21	22	4:~	1,85	0,55	0,82	10,3	140	210	63	33	33	35	38	41	32	27	0,064	35	53	63	
3,20	11	12	2:~	1,85	0,59	0,54	5,6	160	240	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3,40	7	10	1:~	1,85	0,63	0,35	3,0	35	52	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3,60	8	12	2:~	1,85	0,67	0,40	3,3	187	280	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3,80	8	20	2:~	1,85	0,70	0,40	3,1	194	291	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4,00	6	11	1:~	0,46	0,71	0,30	2,1	35	53	27	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4,20	7	9	1:~	0,46	0,72	0,35	2,5	39	58	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4,40	11	13	2:~	0,91	0,74	0,54	4,2	207	310	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4,60	12	22	2:~	0,92	0,76	0,57	4,4	212	317	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4,80	17	16	2:~	0,97	0,78	0,72	5,7	208	313	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5,00	16	14	2:~	0,96	0,80	0,70	5,3	218	326	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5,20	19	26	2:~	0,99	0,82	0,78	5,9	217	326	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5,40	9	10	2:~	0,88	0,83	0,45	2,9	225	338	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5,60	21	31	3:~	0,85	0,85	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5,80	8	12	2:~	0,88	0,87	0,40	2,4	215	323	35	22	31	34	37	40	29	27	0,042	35	53	63	
6,00	9	8	2:~	0,88	0,89	0,45	2,7	233	349	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6,20	46	33	3:~	0,91	0,90	--	--	--	--	--	48	35	37	39	42	33	31	0,098	77	115	138	
6,40	45	26	4:~	1,00	0,92	1,50	11,5	255	383	135	46	35	37	39	42	33	31	0,095	75	113	135	
6,60	47	39	3:~	0,91	0,94	--	--	--	--	--	47	35	37	39	42	33	31	0,098	78	118	141	
6,80	45	45	3:~	0,91	0,96	--	--	--	--	--	46	34	37	39	42	33	31	0,093	75	113	135	
7,00	16	10	2:~	0,96	0,98	0,70	4,1	273	410	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7,20	44	19	4:~	1,00	1,00	1,47	10,1	249	374	132	44	34	37	39	42	32	31	0,089	73	110	132	
7,40	79	37	3:~	0,97	1,02	--	--	--	--	--	63	37	39	41	43	36	33	0,140	132	198	237	
7,60	73	48	3:~	0,96	1,04	--	--	--	--	--	60	36	38	41	43	35	32	0,131	122	183	219	
7,80	46	19	4:~	1,01	1,06	1,53	10,0	261	391	138	44	34	37	39	42	32	31	0,089	77	115	138	
8,00	71	30	4:~	1,03	1,08	2,37	16,8	402	604	213	58	36	38	40	43	35	32	0,126	118	178	213	
8,20	73	26	4:~	1,03	1,10	2,43	16,9	414	621	219	59	36	38	40	43	35	32	0,127	122	183	219	
8,40	81	53	3:~	0,97	1,12	--	--	--	--	--	62	37	39	41	43	35	33	0,136	135	203	243	
8,60	39	19	4:~	1,00	1,14	1,30	7,4	280	420	117	36	33	36	38	41	31	30	0,072	65	98	117	
8,80	42	22	4:~	1,00	1,16	1,40	8,0	279	418	126	39	33	36	38	41	31	30	0,077	70	105	126	
9,00	57	14	4:~	1,01	1,18	1,90	11,4	323	485	171	49	35	37	39	42	33	31	0,101	95	143	171	
9,20	82	22	4:~	1,04	1,20	2,73	17,6	465	697	246	61	37	39	41	43	35	33	0,132	137	205	246	
9,40	99	28	4:~	1,05	1,22	3,30	21,8	561	842	297	67	37	39	41	43	36	34	0,150	165	248	297	
9,60	116	40	3:~	1,02	1,24	--	--	--	--	--	72	38	40	42	44	37	35	0,165	193	290	348	
9,80	81	25	4:~	1,03	1,26	2,70	16,2	459	689	243	59	36	38	40	43	35	33	0,128	135	203	243	
10,00	148	--	3:~	1,07	1,28	--	--	--	--	--	79	39	41	43	44	38	36	0,188	247	370	444	

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 7

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa
- note :

- data : 07/12/2011
- quota inizio : Arg. ovest bacino
- prof. falda : -2,50 m da quota inizio
- pagina : 1

Prof. m	Rp kg/cm ²	Rp/Rl (-)	NATURA COESIVA										NATURA GRANULARE									
			Natura Litol.	Y' t/m ³	p'vo kg/cm ²	Cu kg/cm ²	OCR (-)	Eu50 kg/cm ²	Eu25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm ²	E'25 kg/cm ²	Mo kg/cm ²	
0.20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0.40	14	19	2///	1,85	0,07	0,64	92,5	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0.60	21	22	4/./	1,85	0,11	0,82	76,9	140	210	63	72	38	40	42	44	40	27	0,165	35	53	63	
0.80	31	42	3:::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	78	39	41	42	44	40	29	0,185	52	78	93	
1.00	23	31	3:::	1,85	0,19	--	--	--	--	--	63	37	39	41	43	38	28	0,138	38	58	69	
1.20	9	10	2///	1,85	0,22	0,45	15,2	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
1.40	12	15	2///	1,85	0,26	0,57	16,9	97	146	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
1.60	12	16	2///	1,85	0,30	0,57	14,3	97	146	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
1.80	9	9	2///	1,85	0,33	0,45	9,1	79	119	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.00	14	30	4/./	1,85	0,37	0,64	12,4	108	162	48	29	32	35	37	40	32	26	0,055	23	35	42	
2.20	8	24	2///	1,85	0,41	0,40	6,1	107	160	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.40	6	22	2///	1,85	0,44	0,30	3,8	125	187	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.60	5	19	2///	0,80	0,46	0,25	2,9	125	187	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.80	5	25	2///	0,80	0,48	0,25	2,8	127	191	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.00	4	20	2///	0,78	0,49	0,20	2,0	112	167	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.20	5	19	2///	0,80	0,51	0,25	2,6	131	196	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.40	3	15	1***	0,46	0,52	0,15	1,3	19	29	14	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.60	3	7	1***	0,46	0,53	0,15	1,3	19	29	14	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.80	6	22	2///	0,82	0,54	0,30	3,0	148	222	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.00	4	15	1***	0,46	0,55	0,20	1,8	25	37	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.20	5	25	2///	0,80	0,57	0,25	2,3	136	205	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.40	4	20	2///	0,78	0,58	0,20	1,6	115	173	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.60	4	12	1***	0,46	0,59	0,20	1,6	25	38	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.80	5	9	1***	0,46	0,60	0,25	2,1	30	44	23	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.00	8	4	2///	0,86	0,62	0,40	3,6	175	262	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.20	41	44	3:::	0,90	0,64	--	--	--	--	--	52	35	38	40	42	35	30	0,110	68	103	123	
5.40	14	23	2///	0,94	0,66	0,64	6,0	173	260	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.60	11	9	2///	0,91	0,67	0,54	4,7	187	281	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.80	46	36	3:::	0,91	0,69	--	--	--	--	--	54	36	38	40	42	35	31	0,115	77	115	138	
6.00	19	11	2///	0,99	0,71	0,78	7,0	179	268	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.20	21	14	4/./	0,93	0,73	0,82	7,3	181	271	61	26	32	34	37	40	30	27	0,050	35	53	63	
6.40	39	22	4/./	1,00	0,75	1,30	12,5	221	332	117	47	35	37	39	42	33	30	0,096	65	98	117	
6.60	33	33	3:::	0,88	0,77	--	--	--	--	--	40	34	36	39	41	32	29	0,081	55	83	99	
6.80	54	37	3:::	0,92	0,79	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	35	31	0,121	90	135	162	
7.00	59	38	3:::	0,93	0,81	--	--	--	--	--	59	36	38	40	43	35	32	0,128	98	148	177	
7.20	49	49	3:::	0,92	0,82	--	--	--	--	--	52	35	38	40	42	34	31	0,110	82	123	147	
7.40	13	11	2///	0,93	0,84	0,60	4,2	235	353	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.60	18	10	2///	0,98	0,86	0,75	5,3	236	353	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.80	38	18	4/./	0,99	0,88	1,27	9,9	216	324	114	42	34	36	39	41	32	30	0,084	63	95	114	
8.00	51	28	4/./	1,01	0,90	1,70	13,9	289	434	153	51	35	37	40	42	34	31	0,107	85	128	153	
8.20	32	24	4/./	0,97	0,92	1,07	7,5	225	338	96	35	33	35	38	41	31	29	0,068	53	80	96	
8.40	21	14	4/./	0,93	0,94	0,82	5,3	256	385	63	20	31	34	37	40	29	27	0,038	35	53	63	
8.60	47	24	4/./	1,01	0,96	1,57	11,6	266	400	141	47	35	37	39	42	33	31	0,097	78	118	141	
8.80	52	31	3:::	0,92	0,98	--	--	--	--	--	50	35	37	40	42	33	31	0,104	87	130	156	
9.00	67	16	4/./	1,02	1,00	2,23	17,2	380	570	201	58	36	38	40	43	35	32	0,126	112	168	201	
9.20	86	18	4/./	1,04	1,02	2,87	22,9	487	731	258	66	37	39	41	43	36	33	0,148	143	215	258	
9.40	108	29	4/./	1,06	1,04	3,60	29,6	612	918	324	74	38	40	42	44	37	34	0,170	180	270	324	
9.60	107	36	3:::	1,01	1,06	--	--	--	--	--	73	38	40	42	44	37	34	0,168	178	268	321	
9.80	128	43	3:::	1,04	1,08	--	--	--	--	--	79	39	41	42	44	38	35	0,185	213	320	384	
10.00	141	--	3:::	1,06	1,10	--	--	--	--	--	81	39	41	43	45	38	36	0,195	235	353	423	

pergeo s.r.l. di Condotta, Stevanin & C.
44030 Ro Ferrarese via dell'Artigianato n. 2
Telefono 0532-426021 Fax 0532-426521

Rifer. 24-2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 8

2.010496-001

- committente : Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (FE)
- lavoro : Nuovi manufatti
- località : Stabilimento idrovoro di Pomposa
- note :

- data : 07/12/2011
- quota inizio : Argine nord bacino
- prof. falda : -2,00 m da quota inizio
- pagina : 1

Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Ri (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	NATURA GRANULARE															
											Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²					
0.20	--	--	???	1.85	0.04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
0.40	14	8	2////	1.85	0.07	0.64	92.5	108	162	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
0.60	31	31	3:..:.	1.85	0.11	--	--	--	--	--	85	40	41	43	45	41	29	0.208	52	78	93	--	--	--	--	
0.80	28	23	4:/::	1.85	0.15	0.97	65.5	164	246	84	75	38	40	42	44	40	28	0.174	47	70	84	--	--	--	--	
1.00	18	30	4:/::	1.85	0.19	0.75	36.1	128	191	56	54	36	38	40	42	37	27	0.115	30	45	54	--	--	--	--	
1.20	13	22	2////	1.85	0.22	0.60	22.0	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	18	34	4:/::	1.85	0.26	0.75	23.7	128	191	56	46	34	37	39	42	35	27	0.094	30	45	54	--	--	--	--	
1.60	8	15	2////	1.85	0.30	0.40	9.1	70	106	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	7	15	1***	1.85	0.33	0.35	6.7	18	27	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	6	18	2////	0.82	0.35	0.30	5.2	96	144	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	4	12	1***	0.46	0.36	0.20	3.0	20	30	18	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	6	13	1***	0.46	0.37	0.30	4.9	19	28	27	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	7	6	1***	0.46	0.38	0.35	5.7	20	30	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	18	15	2////	0.98	0.40	0.75	13.9	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	18	12	2////	0.98	0.42	0.75	13.1	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	43	34	3:..:.	0.91	0.43	--	--	--	--	--	63	37	39	41	43	37	30	0.140	72	108	129	--	--	--	--	
3.40	36	28	4:/::	0.99	0.45	1.20	21.2	204	306	108	56	36	38	40	42	36	30	0.120	60	90	108	--	--	--	--	--
3.60	29	21	4:/::	0.96	0.47	0.98	15.7	167	251	87	48	35	37	39	42	34	29	0.098	48	73	87	--	--	--	--	--
3.80	47	22	4:/::	1.01	0.49	1.57	26.6	266	400	141	63	37	39	41	43	37	31	0.140	78	118	141	--	--	--	--	--
4.00	53	28	4:/::	1.01	0.51	1.77	29.4	300	451	159	66	37	39	41	43	37	31	0.149	88	133	159	--	--	--	--	--
4.20	69	30	4:/::	1.02	0.53	2.30	39.0	391	586	207	75	38	40	42	44	38	32	0.173	115	173	207	--	--	--	--	--
4.40	53	32	3:..:.	0.92	0.55	--	--	--	--	--	65	37	39	41	43	37	31	0.143	88	133	159	--	--	--	--	--
4.60	57	41	3:..:.	0.93	0.57	--	--	--	--	--	66	37	39	41	43	37	31	0.148	95	143	171	--	--	--	--	--
4.80	52	30	4:/::	1.01	0.59	1.73	24.1	295	442	156	62	37	39	41	43	36	31	0.137	87	130	156	--	--	--	--	--
5.00	59	30	4:/::	1.02	0.61	1.97	27.0	334	502	177	66	37	39	41	43	37	32	0.147	98	148	177	--	--	--	--	--
5.20	53	24	4:/::	1.01	0.63	1.77	22.7	300	451	159	61	37	39	41	43	36	31	0.134	88	133	159	--	--	--	--	--
5.40	62	33	3:..:.	0.94	0.65	--	--	--	--	--	66	37	39	41	43	37	32	0.148	103	155	186	--	--	--	--	--
5.60	56	18	4:/::	1.01	0.67	1.87	22.6	317	476	168	62	37	39	41	43	36	31	0.135	93	140	168	--	--	--	--	--
5.80	77	52	3:..:.	0.96	0.69	--	--	--	--	--	72	38	40	42	44	38	33	0.165	128	193	231	--	--	--	--	--
6.00	59	42	3:..:.	0.93	0.71	--	--	--	--	--	62	37	39	41	43	36	32	0.137	98	148	177	--	--	--	--	--
6.20	36	54	3:..:.	0.89	0.73	--	--	--	--	--	45	34	37	39	42	33	30	0.091	60	90	108	--	--	--	--	--
6.40	19	6	2////	0.99	0.75	0.78	6.6	191	287	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	87	34	3:..:.	0.98	0.77	--	--	--	--	--	74	38	40	42	44	38	33	0.170	145	218	261	--	--	--	--	--
6.80	77	33	3:..:.	0.96	0.78	--	--	--	--	--	69	38	40	41	44	37	33	0.156	128	193	231	--	--	--	--	--
7.00	71	--	3:..:.	0.95	0.80	--	--	--	--	--	66	37	39	41	43	36	32	0.146	118	178	213	--	--	--	--	--



Determinazione del peso di volume mediante fustella tarata

Pagina 1 di 1

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-2

Certificato: 7764
Verbale: 765
Committente: DOTT. MARCO CONDOTTA
Località: POMPOSA
Cantiere: -
Sondaggio: CPT 5
Campione: 1
Profondità: 2.00 - 2.50
Data ricevimento: 10/11/2011
Data inizio prove: 16/11/2011
Data fine prove: 20/11/2011
Data certificazione: 25/11/2011
Data apertura campione: 16/11/2011
Classe campione: Q5

Massa tara (g): 109,23
Massa Campione umido + tara (g): 135,45
Massa Campione secco + tara (g): 127,69
Volume fustella tarata (cm³): 14,884

Umidità naturale (%): 42,037
Massa Volumica umida (kg/m³): 1761,62
Massa Volumica secca (kg/m³): 1240,26

note:

Direttore

Sperimentatore



Peso specifico dei grani
Pagina 1 di 1
Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-3

Certificato: 7765
Verbale: 765
Committente: DOTT. MARCO CONDOTTA
Località: POMPOSA
Cantiere: -
Sondaggio: CPT 5
Campione: 1
Profondità: 2.00 - 2.50
Data ricevimento: 10/11/2011
Data inizio prove: 16/11/2011
Data fine prove: 20/11/2011
Data certificazione: 25/11/2011
Data apertura campione: 16/11/2011
Classe campione: Q5

Massa Tara (g): 109,23
Massa campione umido + Tara (g): 135,45
Massa Campione secco + Tara (g): 127,69
Massa picnometro + campione (g): 91,48
Massa picnometro + tappo + acqua (g): 193,67
Massa pic. + tappo + acqua + camp. (g): 211,68
Umidità naturale (%): 42,04
Massa volumica umida kg/m^3 : 1761,62
Massa volumica secca kg/m^3 : 1240,26
Massa specifica dei grani kg/m^3 : 2705,49
Indice dei vuoti: 1,18
Porosità (%): 54,16
Umidità di saturazione (%): 43,67
Grado di saturazione (%): 96,27

note:

Disegnatore

Sperimentatore

40068 San Lazzaro di Savena (BO) Via della Tecnica 57/A4
Tel 051 6255377 Fax 051 4908378
Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE



Peso specifico dei grani

Pagina 1 di 1

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-3

Certificato: 7765
Verbale: 765
Committente: DOTT. MARCO CONDOTTA
Località: POMPOSA
Cantiere: -
Sondaggio: CPT 5
Campione: 1
Profondità: 2.00 - 2.50
Data ricevimento: 10/11/2011
Data inizio prove: 16/11/2011
Data fine prove: 20/11/2011
Data certificazione: 25/11/2011
Data apertura campione: 16/11/2011
Classe campione: Q5

Massa Tara (g): 109,23
Massa campione umido + Tara (g): 135,45
Massa Campione secco + Tara (g): 127,69
Massa picnometro + campione (g): 91,48
Massa picnometro + tappo + acqua (g): 193,67
Massa pic. + tappo + acqua + camp. (g): 211,68
Umidità naturale (%): 42,04
Massa volumica umida kg/m³: 1761,62
Massa volumica secca kg/m³: 1240,26
Massa specifica dei grani kg/m³: 2705,49
Indice dei vuoti 1,18
Porosità (%): 54,16
Umidità di saturazione (%): 43,67
Grado di saturazione (%): 96,27

note:

Direttore

Sperimentatore

40068 San Lazzaro di Savena (BO) Via della Tecnica 67/A4
Tel 051 6256377 Fax 051 4998378
Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE



GEOTECA s.r.l.

Laboratorio Geotecnico
Accreditato presso Ministero Lavori Pubblici

LIMITI

Pagina 1 di 1

Normativa di riferimento: CNR-UNI 10014 - BS1377

Certificato: 7766
Verbale: 765
Committente: DOTT. MARCO CONDOTTA
Località: POMPOSA
Cantiere: -
Sondaggio: CPT 5
Campione: 1
Profondità: 2.00 - 2.50
Data ricevimento: 10/11/2011
Data inizio prove: 16/11/2011
Data fine prove: 20/11/2011
Data certificazione: 25/11/2011
Data apertura campione: 16/11/2011
Classe campione: Q5

Numero colpi: 31
Massa tara (g): 72,01
Massa Campione umido + tara (g): 144,02
Massa Campione secco + tara (g): 118,37
Limite liquido (%): 57

Massa tara (g): 72,07
Massa Campione umido + tara (g): 83,22
Massa Campione secco + tara (g): 80,90
Limite Plastico (%): 26

	Provino1	Provino2
Massa Campione umido + tara (g):		
Massa Campione secco + tara (g):		
Massa tara (g):		
Volume tara (cm ³):		
Volume mercurio (cm ³):		
Massa campione umido (g):		
Massa Campione secco (g):		
Limite di Ritiro (%):		
Media:		

Lunghezza iniziale (mm):
Lunghezza finale (mm):
Ritiro lineare (%):

Direttore

Sperimentatore

40068 San Lazzaro di Savena (BO) Via della Tecnica 57/A4
Tel 051 6256377 Fax 051 4998378
Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE

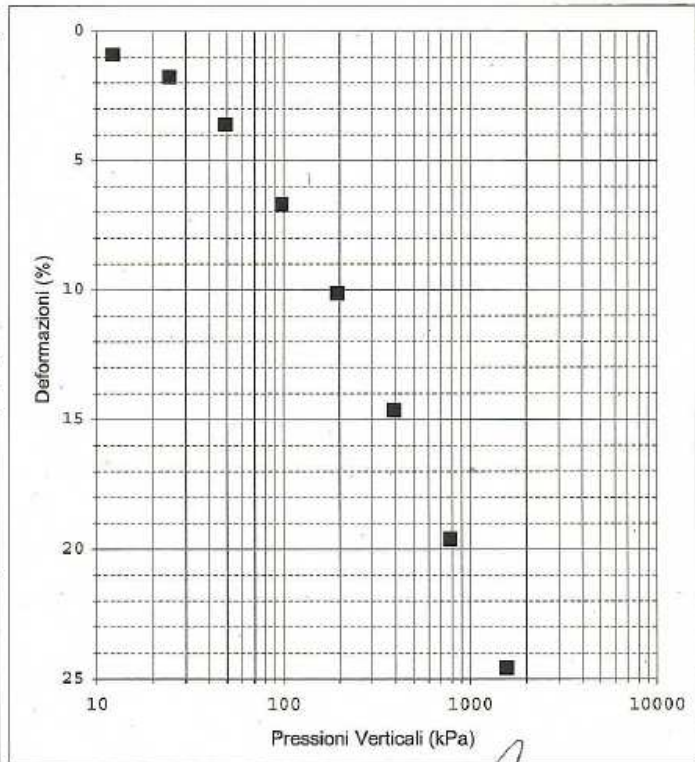


Edometria
Pagina 1 di 1
Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-5

Certificato: 7767
 Verbale: 765
 Committente: CONDOTTA DOTT. MARCO
 Località: POMPOSA
 Cantiere: -
Sondaggio: CPT5
Campione: 1
Profondità: 2,00 - 2,50
 Data ricevimento: 10/11/2011
 Data inizio prove: 16/11/2011
 Data fine prove: 25/11/2011
 Data certificazione: 25/11/2011
 Data apertura campione: 16/11/2011
 Classe del Campione: Q5
 Area (cm²): 20,0
 Altezza provino (cm): 2,0

Carico (kPa)	dv (mm)	dh (%)	e
12,2	0,183	0,92	1,161
24,5	0,359	1,80	1,142
49,0	0,723	3,62	1,103
98,0	1,340	6,70	1,035
196,0	2,030	10,15	0,960
392,0	2,927	14,64	0,862
784,0	3,922	19,61	0,754
1568,0	4,912	24,56	0,646

Descrizione campione		
LIMO ARGILLOSO/ARGILLA LIMOSA. PRESENZA DI SOSTANZA ORGNICA NERASTRA.		
Pocket P.	1,1	kg/cm ²
Tor V.	0,24	kg/cm ²



Direttore

Sperimentatore



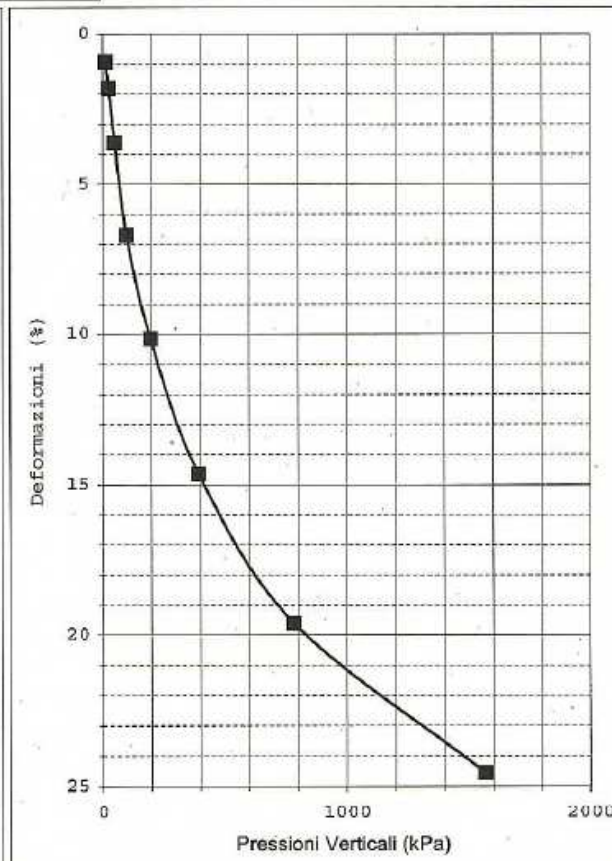
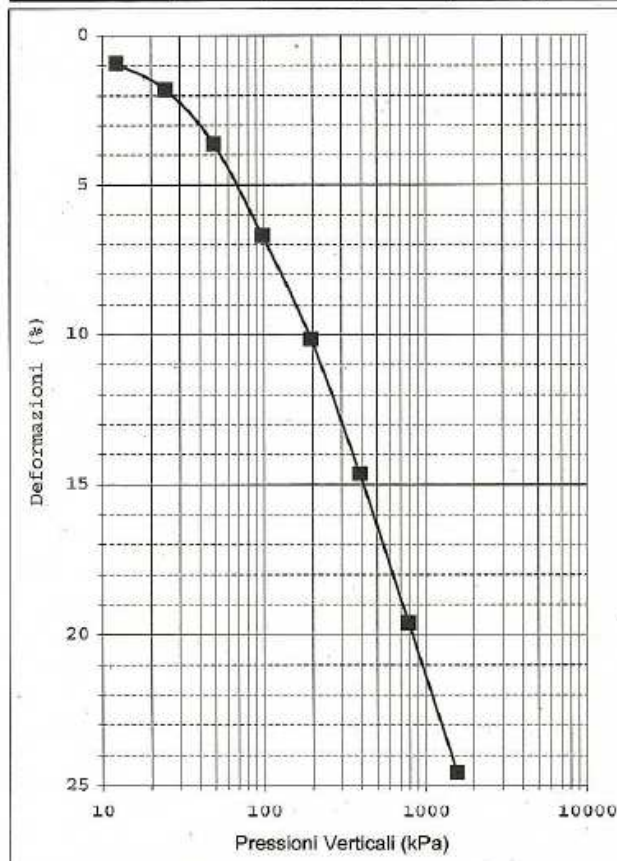
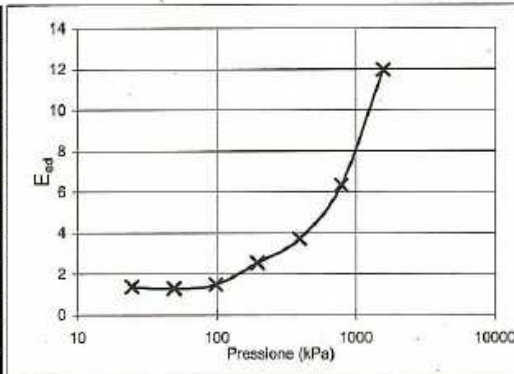
40068 San Lazzaro di Savena (BO) Via della Tecnica 57/A4
Tel 051 6255377 Fax 051 4996378
Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE

Committente: CONDOTTA DOTT. MARCO
Località: POMPOSA
Cantiere: -

Sondaggio: CPT5
Campione: 1
Profondità: 2,00 - 2,50

ELABORAZIONE PROVA EDOMETRICA

Pressione	dv	dh	e	E_{ed}	mv	C_c
kPa	mm	%	1,18	MPa	kPa^{-1}	-
12,2	0,18	0,92	1,161	-	-	0,0634
24,5	0,36	1,80	1,142	1,37	7,2E-04	0,13189
49	0,72	3,62	1,103	1,30	7,4E-04	0,22356
98	1,34	6,70	1,035	1,48	6,3E-04	0,25001
196	2,03	10,15	0,960	2,55	3,5E-04	0,32501
392	2,93	14,64	0,862	3,73	2,3E-04	0,36052
784	3,92	19,61	0,754	6,33	1,3E-04	0,35871
1568	4,91	24,56	0,646	11,95	6,3E-05	



Legenda: D_v = deformazione verticale; d_h = deformazione percentuale; e = indice dei vuoti; E_{ed} = modulo edometrico; m_v = indice di compressibilità; C_c = coefficiente di compressibilità.