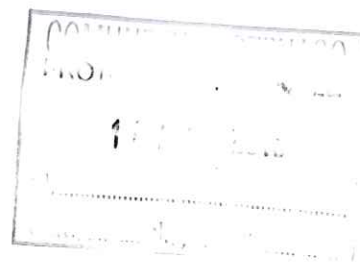


MODENA, Aprile 2013



RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA INERENTE UN'AREA
SITA IN COMUNE DI CASTENASO (BO) DENOMINATA COMPARTO C2.2 CHE
SARÀ INTERESSATA DA UN PROGETTO URBANISTICO POC-PUA

*Le proprietà
fornite
fedelmente*

Coop. Edif. "LA PIANORESE" Soc. Coop. a r.l.
Via Canova n. 24 40138 BOLOGNA
R.I. di Bologna e Cod. Fisc. 02098870377
Partita IVA 04220480376 REA BO 215878
Iscr. Albo Naz. Coop. n. A105244
Sez. coop. a mutualità prevalente

IN LIQUIDAZIONE

INDICE

1. PREMESSA ED INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE
2. INDAGINI ESEGUITE, RISULTATI OTTENUTI E MODELLIZZAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA
3. ASPETTI SISMICI
 - 3.1 Analisi di risposta sismica locale
 - 3.2 Verifica della suscettibilità alla liquefazione
4. CONCLUSIONI

ALLEGATI: Corografia
Ubicazione lotto e prove penetrometriche
Diagrammi penetrometrici
Tabulati di calcolo
Report indagine geofisica

1. PREMESSA ED INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Su incarico della Proprietà il sottoscritto Dott. Rino Guadagnini, Direttore Tecnico dell'INTERGEO S.r.l., geologo libero professionista regolarmente iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Emilia Romagna con il n. 192, ha provveduto ad effettuare uno studio geologico - geotecnico e sismico di un'area sita in Comune di Castenaso (Provincia di Bologna), denominata C2.2 che sarà interessata da un progetto urbanistico (POC-PUA) il quale prevede la realizzazione, oltre che delle opere di urbanizzazione, di edifici di civile abitazione che si svilupperanno in altezza per un massimo di 5 piani fuori terra.

Scopo dello studio, in questa fase, è stato quello di valutare la fattibilità geologico-geotecnica generale dell'intervento, oltre, naturalmente, quello di verificare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo, in modo da permettere, fin da questo momento progettuale, una corretta scelta fondazionale per gli edifici che verranno realizzati.

La relazione è stata, inoltre, finalizzata alla valutazione degli effetti sismici del sito, ivi compreso la microzonazione sismica.

Come precedentemente accennato, l'area oggetto della presente relazione, si trova in Comune di Castenaso (Provincia di Bologna) ed è situato alla periferia nord-est dell'abitato.

L'area è intersecata, da sud-ovest verso nord-est, dalla Via dei Mille che divide la stessa in due settori: uno ad est avente

forma triangolare e che confina ad est con la ferrovia Bologna-Castelmaggiore ed uno ad ovest.

Morfologicamente l'area è pianeggiante, anche se i due settori sono situati a due quote distinte e cioè quella ad est della Via dei Mille è situata a circa 38÷39 m s.l.m. e quella ad ovest, sempre della Via dei Mille, è situata a quote di circa 35÷36 m s.l.m. ed è raccordata con l'area circostante da scarpate di altezza pari a 2÷3 m.

La zona, da un punto di vista morfologico appartiene alla cosiddetta pianura bolognese.

Da un punto di vista geologico l'area appartiene al Grande Bacino subsidente Pliocenico Quaternario della Pianura Padana ed in particolare al settore appenninico.

Il sottosuolo, per parecchie decine di metri almeno e comunque per spessori di gran lunga superiori a quelli che possono essere interessati da qualsiasi opera fondazionale e dalla diffusione in profondità dei carichi trasmessi, è costituito da depositi alluvionali ascrivibili al T. Idice, il cui alveo attuale è situato poco a nord-ovest dell'area.

Tali depositi sono costituiti, in maniera del tutto prevalente, da materiali fini e/o finissimi (argille e limi con i relativi termini intermedi) cui si intercalano depositi più grossolani costituiti da limi e limi più o meno sabbiosi e sabbie fini e medie ad andamento marcatamente lenticolare.

La falda idrica contenuta nei materiali più grossolani ed alimentata per lo più da infiltrazione superficiale, presenta soggiacenze minime anche inferiori al metro.

Come previsto dalla normativa vigente, lo studio è stato condotto, oltre che attraverso rilevamento diretto e ricerca bibliografica, previa esecuzione di un'apposita indagine geognostica per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica generale (esecuzione di n. 4 prove penetrometriche ad infissione statica), potendosi avvalere anche dei risultati di altre indagini eseguite nelle vicinanze (sia per Enti Pubblici che privati) su terreni del tutto simili.

Per la caratterizzazione sismica del sito si è eseguita una apposita indagine sismica, la cui metodologia ed i cui risultati compaiono nel report allegato.

2. INDAGINI ESEGUITE, RISULTATI OTTENUTI E MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA

Come precedentemente accennato, per verificare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo e che saranno interessati dall'intervento edilizio che si intende realizzare, è stata eseguita in data 16/04/2013 dall'INTERGEO S.r.l. di Modena, un'apposita indagine geognostica.

L'indagine, in questa fase, è stata sviluppata mediante esecuzione di n. 4 prove penetrometriche che, in relazione alle presumibili caratteristiche granulometriche dei terreni del primo sottosuolo, sono state ad infissione statica; l'ubicazione delle prove, predisposte in modo da interessare l'intera area, compare nella planimetria allegata, unitamente ai diagrammi penetrometrici ed ai tabulati di calcolo.

Le prove sono state eseguite in campagna utilizzando un penetrometro statico Olandese Gouda da 10 ton di spinta ed impiegando per la penetrazione una punta "Friction Jacket Cone" avente un'area di 10 cm^2 ed un angolo alla punta di 60° .

L'uso della punta "Friction Jacket Cone" è stato espressamente richiesto dal sottoscritto per poter determinare, oltre al carico di rottura, anche la litologia dei terreni attraversati dalla punta penetrometrica.

Infatti dal rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale, applicando la correlazione di Begemann modificata da Schmestron, si riesce a risalire alla granulometria e, come

conseguenza, alla litologia dei terreni attraversati dalla punta penetrometrica.

Nei tabulati di calcolo sono stati riportati, oltre ai valori misurati in sito ogni 20 cm d'avanzamento della punta penetrometrica, i valori, calcolati mediante elaborazione automatica dei dati, della resistenza penetrometrica alla punta, (carico di rottura del terreno), espressi in kg/cm^2 , i valori della resistenza laterale locale, sempre espressi in kg/cm^2 , nonché i valori del rapporto fra la resistenza penetrometrica alla punta e la resistenza laterale locale (rapporto di Begemann).

Nei diagrammi penetrometrici, graficati mediante plotter interfacciato con l'elaboratore automatico, per semplicità di lettura, sono state riportate solamente due curve e precisamente:

- a sinistra del diagramma la curva della resistenza penetrometrica alla punta (carico di rottura del terreno), espressa in kg/cm^2 ;
- a destra, la curva del rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale (rapporto di Begemann).

Le prove penetrometriche appositamente eseguite hanno evidenziato, tra loro e con altre prove eseguite nelle vicinanze, una discreta omogeneità d'insieme, sia per quanto riguarda i valori della resistenza penetrometrica alla punta e quindi la capacità portante dei terreni, sia per quanto riguarda il rapporto di Begemann e quindi la litologia dei terreni attraversati dalla punta penetrometrica, confermando, nel contempo, quanto precedentemente illustrato e cioè la presenza nel sottosuolo di una

sequenza limoso-argillosa con intercalazioni di lenti sabbioso-limose che tendono rapidamente a chiudersi lateralmente.

La caratterizzazione litologica e geotecnica dei terreni del primo sottosuolo è stata eseguita, come detto, mediante l'elaborazione delle prove penetrometriche statiche eseguite sull'area interessata dal progetto di variante urbanistica.

La parametrizzazione delle unità litotecniche del sottosuolo è stata realizzata attraverso le correlazioni proposte in letteratura, con riferimento alle unità litostratigrafiche individuate.

Complessivamente l'indagine eseguita ha evidenziato la presenza di terreni con caratteristiche favorevoli alla progettazione dell'intervento previsto.

I terreni interessati dalle strutture di fondazione in progetto, ovvero quelli soggetti alla interazione struttura-terreno, sono quelli superficiali entro i primi 4-5 m di profondità, sufficientemente consistenti da affrontare le normali problematiche fondazionali.

Nella tabella seguente è riportata la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica, con i principali parametri.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo, I: Incoerente, CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm ²)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
γ :	Peso unità di volume (t/m ³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm ²)

PS1

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	γ	Dr	Fi	Ey
1	3,60	C	0,81	598,76	47,82	154,10	>9	1,94	--	--	--
2	11,60	CI	1,34	966,68	53,40	208,33	<0.5	2,02	28,58	31,44	53,40
3	14,80	I	--	--	224,25	596,85	1,31	1,90	75,71	38,38	299,00
4	18,80	C	1,32	921,46	53,00	207,38	4,32	2,01	--	--	--
5	21,00	I	--	--	131,10	429,95	<0.5	1,90	47,78	34,15	174,80
6	23,80	C	1,74	1206,14	69,40	244,51	3,52	2,05	--	--	--
7	25,60	I	--	--	214,50	580,86	2,93	1,90	59,53	35,86	286,00
8	30,00	C	1,67	1134,58	66,80	238,87	3,45	2,04	--	--	--

PS2

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	γ	Dr	Fi	Ey
1	3,40	C	0,66	482,27	47,88	134,84	>9	1,90	--	--	--
2	4,40	I	--	--	117,00	262,60	1,43	1,80	59,82	36,24	78,00
3	16,00	C	1,26	908,78	50,60	201,59	7,27	2,01	--	--	--
4	18,20	CI	2,02	1448,87	80,80	268,32	<0.5	2,08	27,22	31,12	80,80
5	20,00	C	1,24	852,36	49,40	198,65	4,92	1,99	--	--	--
6	24,20	I	--	--	263,85	659,20	1,59	1,90	71,06	37,61	351,80
7	25,60	C	1,56	1069,75	62,40	229,13	4,09	2,03	--	--	--
8	26,60	I	--	--	153,15	472,79	<0.5	1,90	47,90	34,12	204,20
9	30,00	C	1,74	1190,78	69,60	244,94	3,79	2,05	--	--	--

PS3

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	γ	Dr	Fi	Ey
1	5,00	C	0,72	531,19	48,41	142,86	>9	1,92	--	--	--
2	5,80	CI	1,71	1267,80	68,60	242,79	1,79	2,06	52,30	35,09	68,60
3	20,80	C	1,32	945,60	53,00	207,38	6,01	2,01	--	--	--
4	22,00	I	--	--	150,00	466,83	<0.5	1,90	54,09	35,10	200,00
5	25,40	C	1,69	1175,45	67,40	240,18	4,38	2,05	--	--	--
6	28,20	I	--	--	125,40	418,43	<0.5	1,90	41,98	33,25	167,20
7	30,00	C	1,58	1074,09	63,20	230,92	3,22	2,03	--	--	--

PS4

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	γ	Dr	Fi	Ey
1	2,20	C	0,61	450,20	47,07	129,10	>9	1,89	--	--	--
2	30,00	C	1,44	964,90	57,80	218,66	2,57	2,02	--	--	--

Sulla base dell'indagine eseguita, oltre che delle caratteristiche geologiche – geomorfologiche - idrogeologiche generali e particolari, si può prevedere di eseguire fondazioni del tipo superficiale.

3. ASPETTI SISMICI

3.1 Analisi di risposta sismica locale

L'operatività della classificazione sismica di tutto il territorio regionale, sia pure in via di prima applicazione, a far data dal 23 ottobre 2005, comporta significativi effetti per quanto riguarda i contenuti e le modalità di approvazione degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica.

Come previsto anche dalla L.R. 20/2000 e dalla successiva L.R. 19/2008, gli strumenti di pianificazione devono concorrere alla "prevenzione del rischio sismico, sulla base delle analisi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione".

Pertanto anche gli strumenti di pianificazione a livello comunale devono aggiornarsi su tali aspetti, al fine di "valutare la compatibilità delle previsioni in essi contenute con l'obiettivo della riduzione del rischio sismico e con le esigenze di protezione civile, sulla base di analisi di pericolosità locale nonché di vulnerabilità ed esposizione urbana".

Con la Delibera della G.R. n. 1677/2005 la RER ha fornito le prime indicazioni in merito alle valutazioni della compatibilità delle previsioni urbanistiche con le condizioni di pericolosità locale.

Successivamente la RER ha approvato dall'Assemblea Legislativa il 02.05.2007 l'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico in merito agli studi di microzonazione sismica" (Delibera

112), nei quali si dettano i diversi approfondimenti sismici da farsi nelle varie fasi della pianificazione.

Per l'area oggetto del presente studio, posta nella media pianura bolognese nel comune di Castenaso, si è provveduto ad eseguire un'analisi del III livello di approfondimento ai sensi della DAL 112/2007, mediante Risposta sismica locale.

Infatti l'esame della distribuzione dei danni prodotti da un terremoto nello stesso territorio dimostra che le azioni sismiche possono assumere anche a distanze di poche decine di metri caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie).

Dalle elaborazioni delle indagini geognostiche e geofisiche realizzate sull'area in esame si evince come da un punto di vista litostratigrafico e sismico siano presenti depositi costituiti, in maniera del tutto prevalente, da materiali fini e/o finissimi (argille e limi con i relativi termini intermedi) cui si intercalano depositi più grossolani costituiti da limi e limi più o meno sabbiosi e sabbie fini e medie ad andamento marcatamente lenticolare; nello specifico si rilevano terreni prevalentemente fini, molli, fino a circa 7 m caratterizzati da velocità delle onde S basse pari a 145 m/sec.

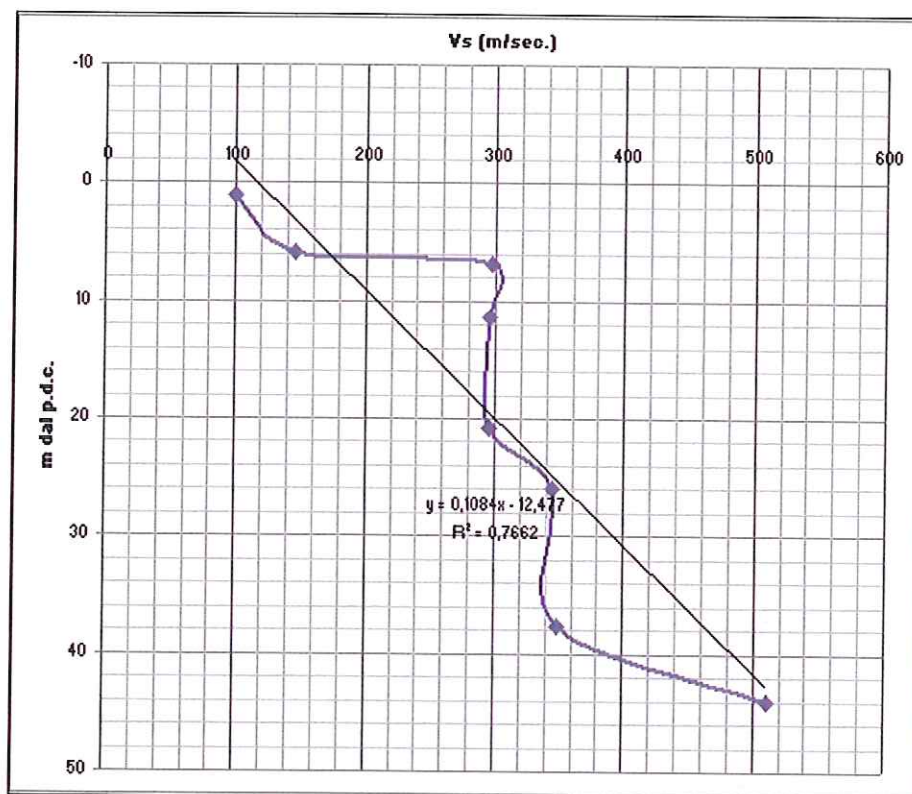


Figura 1 – Diagramma velocità – profondità per determinazione bedrock sismico.

Procedendo in profondità, sino a circa 26 m dal p.d.c., sono presenti sempre depositi prevalentemente argillosi caratterizzati da velocità delle onde S più alte pari a 296 m/sec seguiti a loro volta da un livello sabbioso, che dall'indagine geofisica eseguita risulta essere caratterizzato da velocità delle onde S più elevate mostrando in particolare valori pari a 344 m/sec, per poi tornare a rinvenire terreni fini argillosi, fino alla profondità di 30 m dal p.d.c. attuale, con Vs sui 349 m/sec.

L'indagine geofisica realizzata non ha raggiunto il substrato rigido di riferimento (*bedrock* sismico) che secondo la normativa vigente (D.M. 14/01/2008) è caratterizzato da velocità delle onde S maggiori o uguali a 800 m/sec, individuando a 30 m dal p.d.c. terreni con velocità delle onde S pari a 487 m/s.

Il profilo di V_s è stato pertanto estrapolato (Figura 1) in profondità fino a valori di $V_s = 800$ m/s, come previsto dalla normativa vigente, mantenendo lo stesso gradiente dell'ultimo tratto della curva sperimentale ottenuta dall'indagine geofisica eseguita sull'area in esame, ed utilizzando le indicazioni litologiche della stratigrafia di un pozzo per acqua ubicato nelle vicinanze dell'area in oggetto.

L'estrapolazione dei valori di V_s in profondità ha permesso così di collocare il Bedrock sismico convenzionale alla profondità di circa 75 m dal p.d.c. secondo lo schema riportato in figura.

Si riportano inoltre, nella tabella sottostante, i valori di V_s presi come riferimento per le analisi di Risposta Sismica Locale eseguite per il sito in esame e riportate nei paragrafi successivi con le relative litologie come rilevato dall'analisi dei risultati delle indagini penetrometriche realizzate e dalla stratigrafia di un pozzo dell'acquedotto ubicato in Via Loda nelle immediate vicinanze dell'Ambito in esame.

	Litologia prevalente	Profondità	Spessore	V _s	γ
		m	m	m/s	kN/m ³
1	argilla	1	1	99	17,65
2	argilla	5,91	4,91	145	18,63
3	argilla	6,91	1	297	19,12
4	argilla	11,27	4,36	296	19,12
5	argilla	20,82	9,55	296	19,12
6	sabbia	25,87	5,05	344	19,61
7	argilla	37,63	11,76	349	20,10
8	argilla	44	6,37	510	20,59
9	argilla	60	16	669	21,77
10	argilla	75	15	807	22,70
11	bedrock			830	24,25

Tabella 1 – Ricostruzione dei sismostrati utilizzati per l'analisi di risposta sismica locale. Legenda: in rosso, valori calcolati; in blu valori estrapolati da altre indagini; in verde valori assunti.

Tra i diversi programmi di calcolo per eseguire modellazioni numeriche ai fini della valutazione della risposta sismica locale, si è utilizzato il programma EERA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis of Layered Soil Deposits), basato sul codice SHAKE 91 per quanto concerne le soluzioni relative alle propagazioni delle onde di taglio.

Si tratta di un modello monodimensionale applicabile al sito in esame, in cui le cause principali di amplificazione del moto sismico sono il fenomeno di intrappolamento di onde S all'interno del deposito, favorito dal contrasto di impedenza fra terreno e basamento roccioso e la risonanza, determinata dalla prossimità tra

le frequenze del moto al substrato e quelle naturali di vibrazione del deposito.

L'analisi è di tipo lineare equivalente che consiste nell'esecuzione di una sequenza di analisi lineari complete con aggiornamento successivo dei parametri di rigidezza e smorzamento fino al soddisfacimento di un prefissato criterio di convergenza.

Il calcolo è stato eseguito inserendo come segnale di input, i tre terremoti forniti dalla Regione Emilia-Romagna per il Comune di Castenaso, di cui all'Allegato 4 della Delibera dell'Assemblea legislativa della R.E.R. N°112 del 2 maggio 2007, provvedendo al taglio delle frequenze superiori ai 25 Hz, scalati sulla base di un valore di accelerazione massima orizzontale di picco (PGA) su un suolo di riferimento di tipo A, per $T=0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità (a_{refg} - 10% di probabilità di superamento in 50 anni) pari a **0.175g**.

L'analisi è stata effettuata inoltre a partire da curve di variazione del modulo di rigidezza a taglio G e del fattore di smorzamento D (damping ratio) in funzione della deformazione per le diverse tipologie di materiali tratte da *"Gruppo di lavoro MS, 2008 - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica - Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd"* e riportate nella figura 2 seguente.

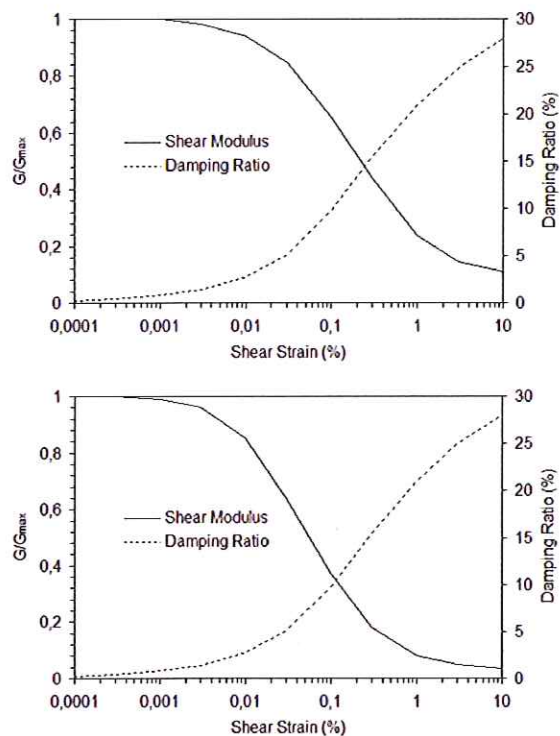


Figura 2 – Sopra: variazione di G e D - Argilla - (Idriss, 1990); in basso: variazione di G e D - Sabbie - (Idriss, 1990).

L'errore residuo medio, legato all'analisi compiuta sui 3 accelerogrammi (avendo selezionato un livello di approfondimento = "medium"), è risultato pari a 1,07% e, come si vede in figura 3, anche ogni singolo errore residuo risulta essere inferiore al 2%, valore massimo consentito per l'analisi.

Per il calcolo di Risposta sismica locale al p.d.c. attuale si è inserito il profilo del terreno sino alla profondità di 70 m, che corrisponde al Bedrock sismico considerato come individuato dalle indagini sismiche e descritto nei paragrafi precedenti, secondo lo schema riportato in seguito.

Starting Strata Calculation

3 Trials (1 Sites and 3 Motions)

[1 of 1] Generating site and soil properties

[1 of 3] Computing site response for motion: RER\00046xa_037021Castenaso.xy

Iteration: 1 Maximum Error: 298.89 %

Iteration: 2 Maximum Error: 18.50 %

Iteration: 3 Maximum Error: 1.11 %

[2 of 3] Computing site response for motion: RER\000126xa_037021Castenaso.xy

Iteration: 1 Maximum Error: 355.59 %

Iteration: 2 Maximum Error: 20.21 %

Iteration: 3 Maximum Error: 1.19 %

[3 of 3] Computing site response for motion: RER\000354xa_037021Castenaso.xy

Iteration: 1 Maximum Error: 312.01 %

Iteration: 2 Maximum Error: 15.68 %

Iteration: 3 Maximum Error: 0.92 %

Computing statistics.

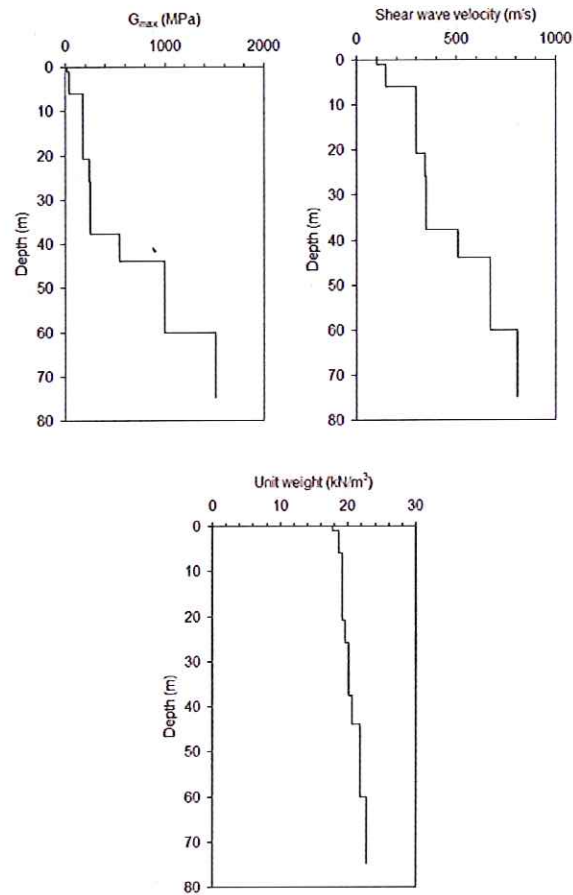


Figura 3 – Errore residuo legato all'analisi di ogni accelerogramma. L'errore residuo minimo, per ogni accelerogramma, corrisponde all'ultima iterazione. La media degli errori residui minimi è pari a 1,07

L'analisi è stata eseguita, come sopra detto, utilizzando, come segnali di input sismico, i 3 accelerogrammi del database regionale selezionati per il territorio comunale di Castenaso (Fig. 4).

Il fattore di amplificazione tra l'accelerazione di picco al *bedrock* e quella in superficie, sulla media dei tre accelerogrammi considerati, è risultato pari a **2,7**. L'analisi ha inoltre permesso di ricavare gli spettri in pseudo-velocità, mediati sui 3 terremoti, relativi sia al *bedrock* sismico che alla superficie del sito esaminato (Figura 5). Il fattore di amplificazione in termini di rapporto (SI/SI_0) di Intensità di Housner negli intervalli di frequenza 0.1–0.5 sec e 0.5–1.0 sec., risultano pari, rispettivamente, a **2,34** e **2,32**.

Si è verificato come l'area sia omogenea per quanto attenga la risposta sismica locale e i possibili effetti attesi. Non vi sono, invece, effetti legati alla topografia, essendo l'area con una inclinazione media inferiore ai 15° e pertanto St risulta uguale a **1**.

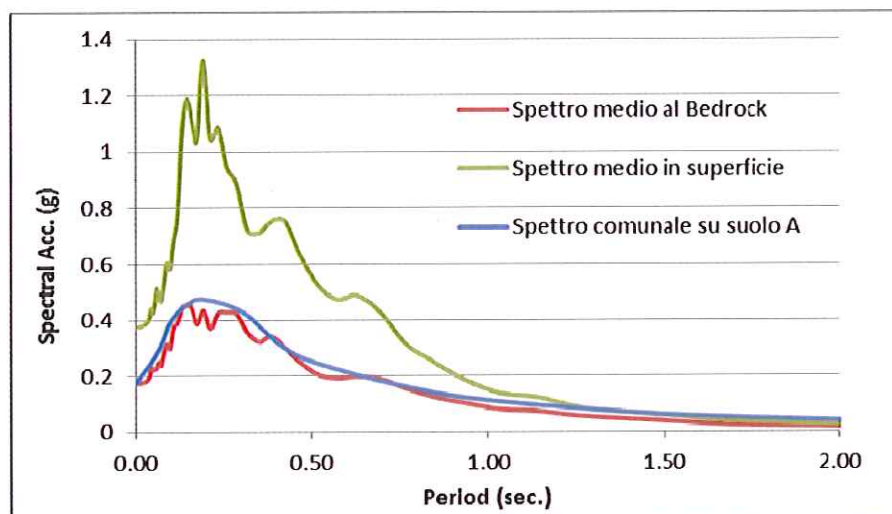


Figura 4 – Spettro di risposta elastico in accelerazione (medio) al bedrock sismico (in rosso); spettro di risposta elastico in accelerazione (medio) in superficie (in verde); spettro di risposta in accelerazione di normativa – suolo A (in azzurro).

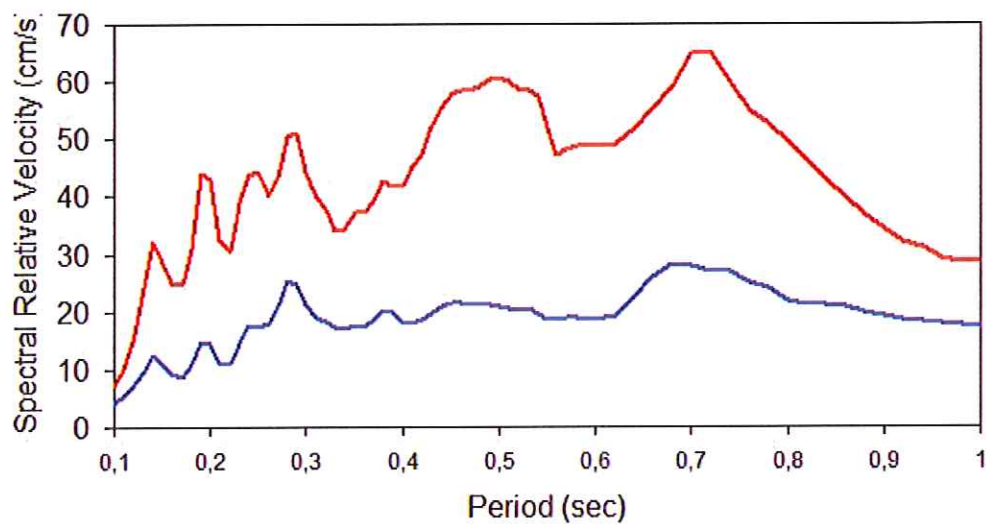
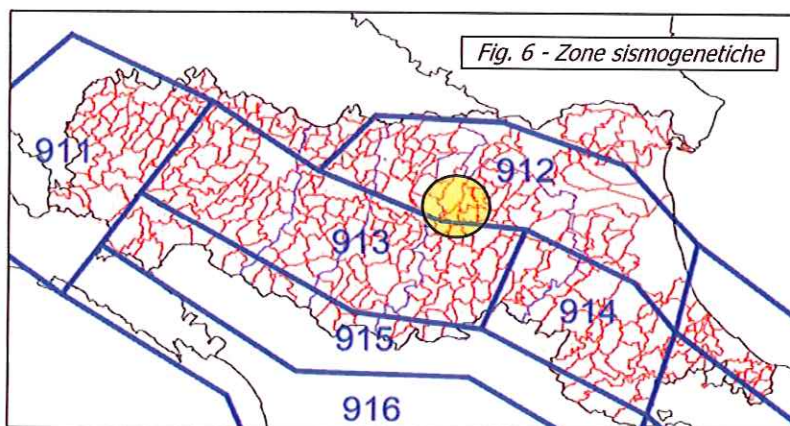


Figura 5 – Spettri di risposta in pseudo-velocità. In rosso: spettro mediato sui 3 terremoti atteso in superficie; in blu: spettro mediato sui 3 terremoti al bedrock sismico.

3.2 Verifica della suscettibilità alla liquefazione

GENERALITA'

L'area in esame appartiene alla Zona Sismogenetica n° 912 denominata "Dorsale Ferrarese" che rappresenta la zona più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale (fig. 6).



Il Catalogo parametrico dei terremoti italiani Edizione 2004 denominato CPTI04 registra valori massimi di magnitudo momento M_w per la zona sismogenetica n° 912 pari a 6.14.

In considerazione degli eventi sismici che hanno colpito l'area in esame nel maggio/giugno 2012 e delle prime indicazioni fornite dall'INGV, per le verifiche alla liquefazione si è fatto cautelativamente riferimento ad un valore di magnitudo massima attesa pari a 6.20.

Litologicamente i terreni del primo sottosuolo in tutta l'area di interesse risultano caratterizzati da una certa omogeneità e tipica di un ambiente di pianura alluvionale nel quale si alternano sia spazialmente che temporalmente ambienti deposizionali tra loro collegati.

Sostanzialmente si evidenzia la presenza nel sottosuolo di una sequenza limoso – argillosa con intercalazioni di lenti sabbioso – limose che tendono rapidamente a chiudersi lateralmente.

La verifica della suscettibilità alla liquefazione è stata eseguita pertanto considerando i risultati, sino alla profondità di 20 m dal p.c. come previsto dalle norme, delle indagini penetrometriche eseguite.

I livelli sabbiosi e limo-sabbiosi individuati risultano essere in falda e pertanto potenzialmente liquefacibili.

La falda è stata cautelativamente considerata alla profondità di 1,0 m dal p.d.c.

Di conseguenza è stata effettuata un'analisi per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione attraverso un'analisi semplificata in condizioni di free-field valutando, ad ogni quota z del deposito compresa nei primi 20 m, la suscettibilità alla liquefazione attraverso un coefficiente di sicurezza F_L dato dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione (CRR) e sollecitazione indotta dall'azione sismica (rapporto di tensione ciclica CSR) mediante i metodi riportati di seguito ed indicati dalle *“Linee Guida AGI – Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”*.

Per quanto concerne la magnitudo, come riportato nei capitoli precedenti, si è fatto riferimento ad un valore massimo pari a 6.20.

Per quel che concerne invece l'accelerazione massima attesa in superficie nell'area in esame, le analisi effettuate secondo quanto stabilito dalle NTC 2008 e dalla Circolare n°617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 2 febbraio 2009 (considerando una classe d'uso 2 e pertanto un Coefficiente C_u pari a 1 e un suolo di tipo C) hanno portato ad un valore dell'accelerazione attesa pari a 0.2503g.

Il coefficiente di sicurezza F_L è stato calcolato a partire dalla seguente formula:

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

Il rapporto di tensione ciclica CSR, ad una determinata profondità, può essere valutato attraverso l'espressione di Seed e Idriss, 1971 riportata di seguito:

$$CSR = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} R_d$$

Dove:

$a_{\max}$: accelerazione di picco al piano campagna del terremoto di progetto;

g : accelerazione di gravità;

σ_{v0} : tensione totale verticale alla profondità considerata;

σ'_{v0} : tensione efficace verticale alla profondità considerata;

R_d : coefficiente riduttivo dell'azione sismica per valutare la deformabilità del sottosuolo;

Il coefficiente riduttivo dell'azione sismica R_d si può ricavare, per profondità del piano campagna inferiori a 20 m, mediante la seguente espressione (Idriss e Boulanger, 2004):

$$R_d = \exp \left[\left(-1.012 - 1.126 \sin \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right) \right) + \left(0.106 + 0.118 \sin \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right) \right) M \right]$$

Essendo z la profondità dal piano campagna espressa in metri ed M la magnitudo di momento dell'evento sismico atteso.

Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo di momento M pari a 7.5, per eventi di magnitudo diversa occorre ridurre il carico sismico a quello equivalente di un terremoto di magnitudo 7.5 $(CSR)_{M=7.5}$ attraverso la seguente relazione:

$$(CSR)_{M=7.5} = \frac{CSR}{MSF}$$

In cui MSF è un fattore di scala per la magnitudo che si può ricavare dall'espressione riportata di seguito (Idriss e Boulanger, 2004):

$$MSF = 6.9 \exp \left(\frac{-M}{4} \right) - 0.058$$

Per quel che concerne invece la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR , la resistenza penetrometrica, q_c , ricavata dalle indagine penetrometriche statiche CPT, deve essere

ricondata ad un valore normalizzato, q_{c1N} , attraverso la seguente espressione:

$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_c}{p_a}$$

Dove p_a (pressione atmosferica pari a 100kPa) e q_c espressa nella stessa unità di misura.

Il coefficiente C_Q (fattore correttivo per tener conto dell'influenza della pressione verticale efficace) può essere ricavato per via iterativa dalla seguente espressione (Boulanger e Idriss, 2004):

$$C_Q = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{1.338 - 0.294(q_{c1N})^{0.264}}$$

Tale coefficiente non deve superare il valore di 1.7.

Dal valore di (q_{c1N}) è possibile ottenere la resistenza alla liquefazione, per eventi sismici di magnitudo di momento pari a $M=7.5$, mediante la seguente espressione valida per sabbie pulite (Idriss e Boulanger, 2004).

$$CRR = \exp \left[\frac{q_{c1N}}{540} + \left(\frac{q_{c1N}}{67} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1N}}{80} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1N}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

Per materiali con frazione fine non trascurabile invece, per ottenere la resistenza alla liquefazione CRR è stata utilizzata la seguente equazione (Robertson e Wride, 1997):

$$CRR = 0.883 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0.05 \quad \text{se } (q_{c1N})_{cs} < 50$$

$$\text{CRR} = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 \quad \text{se } (q_{c1N})_{cs} > 50$$

Nelle equazioni sopra riportate appare il valore $(q_{c1N})_{cs}$.

Infatti, nel caso di materiali con frazione fine non trascurabile la resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1N} deve essere ricondotta ad un valore per sabbie pulite $(q_{c1N})_{cs}$ mediante la seguente espressione (Robertson e Wride, 1998):

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c * q_{c1N}$$

Il fattore correttivo K_c è dato da:

$$K_c = 1.0 \quad \text{per } I_c \leq 1.64$$

$$K_c = -17.88 + 33.75I_c - 21.63I_c^2 + 5.581I_c^3 - 0.4031I_c^4$$

per $I_c > 1.64$

Il parametro di comportamento del terreno I_c da inserire nelle equazioni sopra riportate è una funzione della resistenza alla punta q_c e della resistenza laterale del manicotto f_s misurate dalle prove penetrometriche CPT.

In particolare:

$$I_c = \left[(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2 \right]^{0.5}$$

con:

$$Q = \left[\left(\frac{(q_c - \sigma_{v0})}{P_a} \right) \right] \left[\left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \right]$$

resistenza penetrometrica normalizzata

$$F = \left[\frac{f_s}{(q_c - \sigma_{vo})} \right] * 100\%$$

resistenza laterale normalizzata

Da quanto sopra, il primo dato da ottenere è l'Indice I_C e relativo esponente di sforzo (n), che si ottengono procedendo per steps successivi:

- 1) se $I_C > 2,6$ ed $n=1$ allora il terreno è classificabile coesivo quindi non liquefacibile ed il calcolo è terminato;
- 2) se $I_C < 2,6$ il suolo può essere di natura granulare e si ripete il calcolo con $n=0,5$;
- 3) se dal ricalcolo del punto 2 $I_C > 2,6$ il suolo è classificabile come non coesivo ed il valore di I_C sarà utilizzato nel calcolo di q_{cIN}
- 4) se dal ricalcolo del punto 3 $I_C > 2,6$ il suolo è classificabile come limoso ed eventualmente coesivo e si dovrà ripetere il calcolo con $n=0,7$ ed il valore del nuovo IC sarà utilizzato nel calcolo di q_{cIN}
- 5) se dal ricalcolo del punto 4 $I_C > 2,6$ si utilizzerà come q_{cIN} il valore di 2_{qc} .

Nel caso in esame sono stati considerati come sabbie pulite i depositi rilevati da 11,60 m a 14,80 m e da 18,80 m a 20,00 m per quanto riguarda la prova PS1 e da 3,40 m a 4,40 m per quanto riguarda la PS2.

In ottemperanza a quanto previsto dalla Del. Ass. Reg. n° 112 (All. A3, cap. 2), presa a riferimento, ottenuti i valori di CSR e di CRR è possibile valutare il coefficiente di sicurezza F_L .

Come previsto da tale normativa se $F_L > 1$ si possono escludere fenomeni di liquefazione mentre se $F_L < 1$ è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione.

Ottenuto il parametro F_L è possibile operare una stima probabilistica della possibilità che avvenga la liquefazione, utilizzando la seguente relazione proposta dalla normativa:

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

In cui z è la profondità dal piano campagna in metri e $w(z) = 10 - 0.5z$.

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

$$F = 1 - F_L \quad \text{se } F_L \leq 1$$

$$F = 0 \quad \text{se } F_L > 1$$

In particolare, come previsto dalla normativa suddetta, il valore dell'indice del potenziale di liquefazione I_L valutato porta alla definizione del rischio di liquefazione che è: basso se $0 < I_L \leq 5$; elevato se $5 < I_L \leq 15$; estremamente elevato se $I_L > 15$.

Come riassunto nelle tabelle seguenti si sono ottenuti valori dell'indice di potenziale di liquefazione I_L pari a 0, con il rischio di liquefazione che può essere considerato molto basso e quindi accettabile.

CALCOLO DELLA SUSCETTIBILITÀ DI LIQUEFAZIONE

PROVA P1

Dati generali

Numero di strati = 8
 Profondità della falda = 1 m
 Magnitudo del sisma = 6,2
 Accelerazione massima al suolo = 0,2503

Strato Nr.	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso di volume secco (KN/mc)	Peso di volume saturo (KN/mc)	Resistenz a qc (KPa)	Resistenz a all'attrito laterale fs (KPa)
1	0.60	3.60	19.4	20.2	1630	90
2	3.60	11.60	20.2	21.0	2670	60
3	11.60	14.80	19.0	22.0	14950	100
4	14.80	18.80	20.1	20.9	2650	120
5	18.80	21.00	19.0	22.0	8740	120
6	21.00	23.80	20.5	21.3	3470	130
7	23.80	25.60	19.0	22.0	14300	100
8	25.60	30.00	20.4	21.2	3340	160

Metodo di Robertson e Wride (1997)

Correzione per la magnitudo (MSF) = 1,63

Verifica Nr.	Profondità dal p. c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale efficace (KPa)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza (Fs)	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio di liquefazione
1	1,20	23,44	21,48				NL	0	Molto basso
2	1,40	27,48	23,56				NL	0	Molto basso
3	1,60	31,52	25,64				NL	0	Molto basso
4	1,80	35,56	27,71				NL	0	Molto basso
5	2,00	39,60	29,79				NL	0	Molto basso
6	2,20	43,64	31,87				NL	0	Molto basso
7	2,40	47,68	33,95				NL	0	Molto basso

Verifica Nr.	Profondità dal p. c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale efficace (KPa)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza (Fs)	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio di liquefazione
8	2,60	51,72	36,03				NL	0	Molto basso
9	2,80	55,76	38,11				NL	0	Molto basso
10	3,00	59,80	40,19				NL	0	Molto basso
11	3,20	64,00	42,43				NL	0	Molto basso
12	3,40	68,20	44,66				NL	0	Molto basso
13	3,60	72,40	46,90				NL	0	Molto basso
14	3,80	76,60	49,14				NL	0	Molto basso
15	4,00	80,80	51,38				NL	0	Molto basso
16	4,20	85,00	53,62				NL	0	Molto basso
17	4,40	89,20	55,86				NL	0	Molto basso
18	4,60	93,40	58,10				NL	0	Molto basso
19	4,80	97,60	60,33				NL	0	Molto basso
20	5,00	101,80	62,57				NL	0	Molto basso
21	5,20	106,00	64,81				NL	0	Molto basso
22	5,40	110,20	67,05				NL	0	Molto basso
23	5,60	114,40	69,29				NL	0	Molto basso
24	5,80	118,60	71,53				NL	0	Molto basso
25	6,00	122,80	73,77				NL	0	Molto basso
26	6,20	127,00	76,01				NL	0	Molto basso
27	6,40	131,20	78,24				NL	0	Molto basso
28	6,60	135,40	80,48				NL	0	Molto basso
29	6,80	139,60	82,72				NL	0	Molto basso
30	7,00	143,80	84,96				NL	0	Molto basso
31	7,20	148,00	87,20				NL	0	Molto basso
32	7,40	152,20	89,44				NL	0	Molto basso
33	7,60	156,40	91,68				NL	0	Molto basso
34	7,80	160,60	93,91				NL	0	Molto basso
35	8,00	164,80	96,15				NL	0	Molto basso
36	8,20	169,00	98,39				NL	0	Molto basso
37	8,40	173,20	100,63				NL	0	Molto basso
38	8,60	177,40	102,87				NL	0	Molto basso
39	8,80	181,60	105,11				NL	0	Molto basso
40	9,00	185,80	107,35				NL	0	Molto basso
41	9,20	190,00	109,59				NL	0	Molto basso
42	9,40	194,20	111,82				NL	0	Molto basso
43	9,60	198,40	114,06				NL	0	Molto basso
44	9,80	202,60	116,30				NL	0	Molto basso
45	10,00	206,80	118,54				NL	0	Molto basso
46	10,20	211,00	120,78				NL	0	Molto basso
47	10,40	215,20	123,02				NL	0	Molto basso
48	10,60	219,40	125,26				NL	0	Molto basso
49	10,80	223,60	127,49				NL	0	Molto basso
50	11,00	227,80	129,73				NL	0	Molto basso
51	11,20	232,20	132,17				NL	0	Molto basso
52	11,40	236,60	134,61				NL	0	Molto basso
53	11,60	241,00	137,05				NL	0	Molto basso

Verifica Nr.	Profondità dal p. c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale efficace (KPa)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza (Fs)	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio di liquefazione
54	11,80	245,40	139,49	0,30	0,15	2,01	NL	0	Molto basso
55	12,00	249,80	141,93	0,30	0,15	1,98	NL	0	Molto basso
56	12,20	254,20	144,37	0,29	0,15	1,95	NL	0	Molto basso
57	12,40	258,60	146,80	0,29	0,15	1,97	NL	0	Molto basso
58	12,60	263,00	149,24	0,29	0,15	1,94	NL	0	Molto basso
59	12,80	267,40	151,68	0,28	0,15	1,91	NL	0	Molto basso
60	13,00	271,80	154,12	0,28	0,15	1,93	NL	0	Molto basso
61	13,20	276,20	156,56	0,27	0,14	1,89	NL	0	Molto basso
62	13,40	280,60	159,00	0,27	0,14	1,86	NL	0	Molto basso
63	13,60	285,00	161,44	0,27	0,14	1,88	NL	0	Molto basso
64	13,80	289,40	163,87	0,26	0,14	1,85	NL	0	Molto basso
65	14,00	293,80	166,31	0,26	0,14	1,87	NL	0	Molto basso
66	14,20	298,20	168,75	0,26	0,14	1,84	NL	0	Molto basso
67	14,40	302,38	170,97	0,25	0,14	1,80	NL	0	Molto basso
68	14,60	306,56	173,19	0,25	0,14	1,82	NL	0	Molto basso
69	14,80	310,74	175,41	0,25	0,14	1,84	NL	0	Molto basso
70	15,00	314,92	177,63				NL	0	Molto basso
71	15,20	319,10	179,85				NL	0	Molto basso
72	15,40	323,28	182,06				NL	0	Molto basso
73	15,60	327,46	184,28				NL	0	Molto basso
74	15,80	331,64	186,50				NL	0	Molto basso
75	16,00	335,82	188,72				NL	0	Molto basso
76	16,20	340,00	190,94				NL	0	Molto basso
77	16,40	344,18	193,16				NL	0	Molto basso
78	16,60	348,36	195,38				NL	0	Molto basso
79	16,80	352,54	197,59				NL	0	Molto basso
80	17,00	356,72	199,81				NL	0	Molto basso
81	17,20	360,90	202,03				NL	0	Molto basso
82	17,40	365,08	204,25				NL	0	Molto basso
83	17,60	369,26	206,47				NL	0	Molto basso
84	17,80	373,44	208,69				NL	0	Molto basso
85	18,00	377,62	210,91				NL	0	Molto basso
86	18,20	381,80	213,13				NL	0	Molto basso
87	18,40	386,20	215,56				NL	0	Molto basso
88	18,60	390,60	218,00				NL	0	Molto basso
89	18,80	395,00	220,44				NL	0	Molto basso
90	19,00	399,40	222,88	0,16	0,12	1,36	NL	0	Molto basso
91	19,20	403,80	225,32	0,16	0,12	1,38	NL	0	Molto basso
92	19,40	408,20	227,76	0,16	0,12	1,37	NL	0	Molto basso
93	19,60	412,60	230,20	0,16	0,12	1,38	NL	0	Molto basso
94	19,80	417,00	232,64	0,16	0,12	1,40	NL	0	Molto basso
95	20,00	421,40	235,07	0,16	0,11	1,39	NL	0	Molto basso

PROVA P2

Dati generali

Numero di strati = 9
 Profondità della falda = 1 m
 Magnitudo del sisma = 6,2
 Accelerazione massima al suolo = 0,2503

Strato Nr.	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso di volume secco (KN/mc)	Peso di volume saturo (KN/mc)	Resistenz a qc (KPa)	Resistenz a all'attrito laterale fs (KPa)
1	0,6	3.40	19.0	19.8	1310	60
2	3.40	4.40	18.0	21.0	3900	70
3	4.40	16.00	20.1	20.9	2530	110
4	16.00	18.20	20.8	21.6	4040	130
5	18.20	20.00	19.9	20.7	2470	140
6	20.00	24.20	19.0	22.0	17590	130
7	24.20	25.60	20.3	21.1	3120	160
8	25.60	26.60	19.0	22.0	10210	130
9	26.60	30.00	20.5	21.3	3480	170

Metodo di Robertson e Wride (1997)

Correzione per la magnitudo (MSF) = 1,63

Verifica Nr.	Profondità dal p. c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale efficace (KPa)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza (Fs)	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio di liquefazione
1	1,20	22,96	21,00				NL	0	Molto basso
2	1,40	26,92	23,00				NL	0	Molto basso
3	1,60	30,88	25,00				NL	0	Molto basso
4	1,80	34,84	26,99				NL	0	Molto basso
5	2,00	38,80	28,99				NL	0	Molto basso
6	2,20	42,76	30,99				NL	0	Molto basso
7	2,40	46,72	32,99				NL	0	Molto basso
8	2,60	50,68	34,99				NL	0	Molto basso
9	2,80	54,64	36,99				NL	0	Molto basso
10	3,00	58,84	39,23				NL	0	Molto basso
11	3,20	63,04	41,47				NL	0	Molto basso

Verifica Nr.	Profondità dal p. c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale efficace (KPa)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza (Fs)	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio di liquefazione
12	3,40	67,24	43,70				NL	0	Molto basso
13	3,60	71,44	45,94	0,19	0,15	1,26	NL	0	Molto basso
14	3,80	75,64	48,18	0,19	0,15	1,22	NL	0	Molto basso
15	4,00	79,82	50,40	0,18	0,15	1,19	NL	0	Molto basso
16	4,20	84,00	52,62	0,18	0,15	1,17	NL	0	Molto basso
17	4,40	88,18	54,84	0,18	0,16	1,14	NL	0	Molto basso
18	4,60	92,36	57,06				NL	0	Molto basso
19	4,80	96,54	59,27				NL	0	Molto basso
20	5,00	100,72	61,49				NL	0	Molto basso
21	5,20	104,90	63,71				NL	0	Molto basso
22	5,40	109,08	65,93				NL	0	Molto basso
23	5,60	113,26	68,15				NL	0	Molto basso
24	5,80	117,44	70,37				NL	0	Molto basso
25	6,00	121,62	72,59				NL	0	Molto basso
26	6,20	125,80	74,81				NL	0	Molto basso
27	6,40	129,98	77,02				NL	0	Molto basso
28	6,60	134,16	79,24				NL	0	Molto basso
29	6,80	138,34	81,46				NL	0	Molto basso
30	7,00	142,52	83,68				NL	0	Molto basso
31	7,20	146,70	85,90				NL	0	Molto basso
32	7,40	150,88	88,12				NL	0	Molto basso
33	7,60	155,06	90,34				NL	0	Molto basso
34	7,80	159,24	92,55				NL	0	Molto basso
35	8,00	163,42	94,77				NL	0	Molto basso
36	8,20	167,60	96,99				NL	0	Molto basso
37	8,40	171,78	99,21				NL	0	Molto basso
38	8,60	175,96	101,43				NL	0	Molto basso
39	8,80	180,14	103,65				NL	0	Molto basso
40	9,00	184,32	105,87				NL	0	Molto basso
41	9,20	188,50	108,09				NL	0	Molto basso
42	9,40	192,68	110,30				NL	0	Molto basso
43	9,60	196,86	112,52				NL	0	Molto basso
44	9,80	201,04	114,74				NL	0	Molto basso
45	10,00	205,22	116,96				NL	0	Molto basso
46	10,20	209,40	119,18				NL	0	Molto basso
47	10,40	213,58	121,40				NL	0	Molto basso
48	10,60	217,76	123,62				NL	0	Molto basso
49	10,80	221,94	125,83				NL	0	Molto basso
50	11,00	226,12	128,05				NL	0	Molto basso
51	11,20	230,30	130,27				NL	0	Molto basso
52	11,40	234,48	132,49				NL	0	Molto basso
53	11,60	238,66	134,71				NL	0	Molto basso
54	11,80	242,84	136,93				NL	0	Molto basso
55	12,00	247,02	139,15				NL	0	Molto basso
56	12,20	251,20	141,37				NL	0	Molto basso
57	12,40	255,38	143,58				NL	0	Molto basso

Verifica Nr.	Profondità dal p. c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale efficace (KPa)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza (Fs)	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio di liquefazione
58	12,60	259,56	145,80				NL	0	Molto basso
59	12,80	263,74	148,02				NL	0	Molto basso
60	13,00	267,92	150,24				NL	0	Molto basso
61	13,20	272,10	152,46				NL	0	Molto basso
62	13,40	276,28	154,68				NL	0	Molto basso
63	13,60	280,46	156,90				NL	0	Molto basso
64	13,80	284,64	159,11				NL	0	Molto basso
65	14,00	288,82	161,33				NL	0	Molto basso
66	14,20	293,00	163,55				NL	0	Molto basso
67	14,40	297,18	165,77				NL	0	Molto basso
68	14,60	301,36	167,99				NL	0	Molto basso
69	14,80	305,54	170,21				NL	0	Molto basso
70	15,00	309,72	172,43				NL	0	Molto basso
71	15,20	313,90	174,65				NL	0	Molto basso
72	15,40	318,08	176,86				NL	0	Molto basso
73	15,60	322,40	179,22				NL	0	Molto basso
74	15,80	326,72	181,58				NL	0	Molto basso
75	16,00	331,04	183,94				NL	0	Molto basso
76	16,20	335,36	186,30				NL	0	Molto basso
77	16,40	339,68	188,66				NL	0	Molto basso
78	16,60	344,00	191,02				NL	0	Molto basso
79	16,80	348,32	193,37				NL	0	Molto basso
80	17,00	352,64	195,73				NL	0	Molto basso
81	17,20	356,96	198,09				NL	0	Molto basso
82	17,40	361,28	200,45				NL	0	Molto basso
83	17,60	365,60	202,81				NL	0	Molto basso
84	17,80	369,74	204,99				NL	0	Molto basso
85	18,00	373,88	207,17				NL	0	Molto basso
86	18,20	378,02	209,35				NL	0	Molto basso
87	18,40	382,16	211,52				NL	0	Molto basso
88	18,60	386,30	213,70				NL	0	Molto basso
89	18,80	390,44	215,88				NL	0	Molto basso
90	19,00	394,58	218,06				NL	0	Molto basso
91	19,20	398,72	220,24				NL	0	Molto basso
92	19,40	402,86	222,42				NL	0	Molto basso
93	19,60	407,26	224,86				NL	0	Molto basso
94	19,80	411,66	227,30				NL	0	Molto basso
95	20,00	416,06	229,73				NL	0	Molto basso

4. CONCLUSIONI

Sulla scorta dei dati ottenuti sia dal rilevamento diretto, sia dall'indagine in sito eseguita dall'Intergeo S.r.l. di Modena, nonché di altre indagini effettuate nelle vicinanze su terreni del tutto simili, si può concludere che l'area oggetto della presente relazione, identificata nella planimetria allegata, sita in Comune di Castenaso (Bologna) è idonea da un punto di vista geologico-geotecnico e sismico generale ad ospitare il progetto urbanistico POC-PUA che prevede la realizzazione di alcuni edifici di civile abitazione, che si svilupperanno in altezza per un massimo di cinque piani.

Si ritiene, infatti, del tutto fattibile l'intervento, avendo verificato la mancanza di controindicazioni da un punto di vista geologico, idrogeologico, idrologico, geotecnico e sismico.

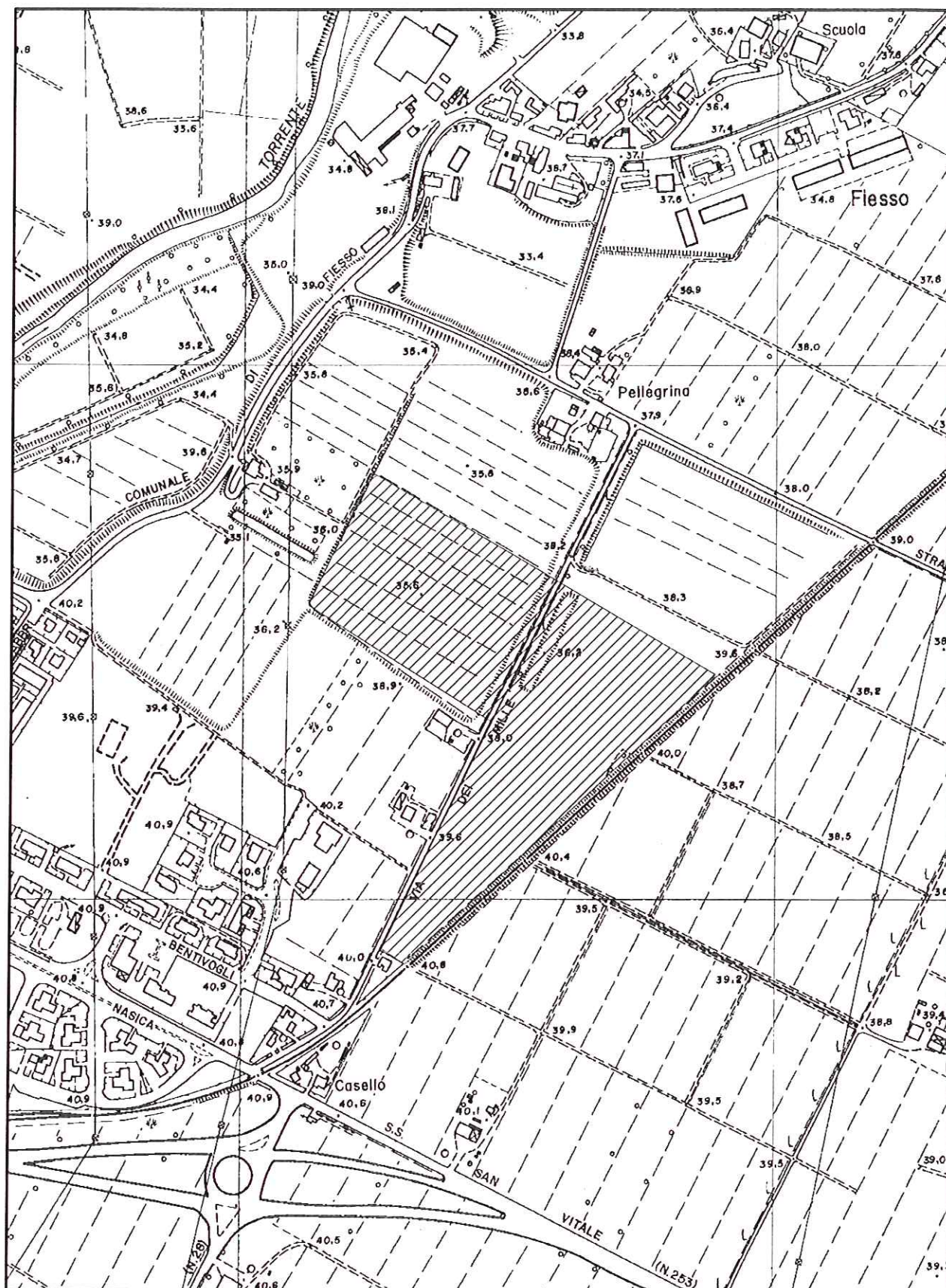
Agli effetti edificatori si possono prevedere, in linea di massima, di adottare fondazioni del tipo diretto superficiale facendo affidamento in linea generale e salvo verifiche a carichi unitari massimi dell'ordine di $1,0 \text{ kg/cm}^2$.

Da un punto di vista sismico, il Comune di Castenaso (BO) rientra in zona 3, quindi a bassa sismicità, alla quale fare riferimento nella progettazione esecutiva degli interventi edilizi; mediante apposita indagine sismica si è determinata, per l'area in oggetto, quale categoria di suolo di fondazione la categoria C e lo studio di microzonazione sismica ha permesso di definire i fattori di amplificazione stratigrafica in riferimento ai terreni presenti, evidenziando comunque una omogeneità dell'area in esame.

In conclusione quindi, tutto ciò premesso considerato, si conferma la fattibilità del progetto urbanistico POC-PUA ritenendo comunque necessario, in fase di progettazione esecutiva, un approfondimento dello studio eseguito sui singoli lotti di intervento secondo le specifiche del DM 11/03/1988 e successivo DD del 14/01/2008.

intergeo S.R.L.
41100 MODENA - VIA AUSTRIA, 24
TEL. 059/313999 - FAX 059/454827
E-MAIL: info@intergeo srl.it
C.C.I.A.A. 173472
RIVA e C. 00623030348





COMMITTENTE: C.C. CASE
 LOCALITA': VIA DEI MILLE CASTENASO (BO)
 ZONA D'INDAGINE

SCALA 1:5.000
 Elemento n. 221062

Schema di Massima
PLANIMETRIA GENERALE
Comparto Ans C2.2
SCALA 1:1000

DATI TECNICI GENERALI

PSC	ANS C2.2 Castenaso est
TOTALE ST = mq 47.506,09	UT = 0.15 mq/mq
TOTALE SU max = mq 47.506,09 x 0.15 = mq 7.129,91	
Totale SU ai privati (A 0.09)	SU = mq 4194,19
Totale SU al comune (A 0.09)	SU = mq 2931,72
quota ERS 25%	SU = mq 1781,48
quota Differenza	SU = mq 1150,24
SP min = 30% St = mq 14.252	
SP progetto = 11.700 + 2.600 = 14.300 mq (a + fascia d'asfalto)	
UF medio = 0.30 mq/mq	

SP progetto = 11.400 + 2.600 = 14.000 mq

DATI TECNICI LOTTI SUBCOMPARTO EST

n° lotto	Superficie Fondiaria mq	SU max mq	SAC max mq	n° max piani	Tipologia	n° alloggi presunto
Lotto 1 x OD	1459	734,89	70% su	5	linea	10-12
Lotto 2	1495	737,67	70% su	5	linea	10-12
Lotto 3 x ERS	2655	1138,19	70% su	5	linea	16-20
Lotto 4	897,55	317	70% su	3	quadri	4
Lotto 5	869,25	200	70% su	3	bifam	2
Lotto 6	869,25	200	70% su	3	bifam	2
Lotto 7	869,25	200	70% su	3	bifam	2
Lotto 8	869,25	200	70% su	3	bifam	2
Lotto 9	897,55	317	70% su	3	quadri	4
Lotto 10	1102,50	200	70% su	3	bifam	2
Lotto 11	1102,50	200	70% su	3	bifam	2
TOTALE	13.065,10	4.552,75	3.186,40			

UF = 0.348 mq/mq

STANDARD RICHIESTO : 4553 MQ

P1 min richiesto : 15 mq / 100 mq SU = 682 mq

P1 progetto : 680 + 125 = 805 mq circa n° 36 p.a.

U min richiesto : 4553 - 805 = 3871 mq

U progetto : 4500 mq circa

STANDARD di PROGETTO : 5305 MQ > 4553 MQ

DATI TECNICI LOTTI SUBCOMPARTO OVEST

n° lotto	Superficie Fondiaria mq	SU max mq	SAC max mq	su/f	n° max piani	Tipologia	n° alloggi presunto
Lotto 12 x ERS	1584,26	643,29	70% su	0.41	3	alloggi	9
Lotto 13	2325,07	700	70% su	0.30	3	alloggi	10
Lotto 14	1659,26	253,73	70% su	0.15	2	bifam	3
Lotto 15	1211,73	190,31	70% su	0.16	2	bifam	2
Lotto 16	1211,73	190,31	70% su	0.16	2	bifam	2
Lotto 17	1095,21	180	70% su	0.16	2	bifam	2
Lotto 18 x OD	1224,27	415,35	70% su	0.34	3	alloggi	6
TOTALE	10.311,53	2.572,99					

UF = 0.249 mq/mq

STANDARD RICHIESTO : 2573 MQ

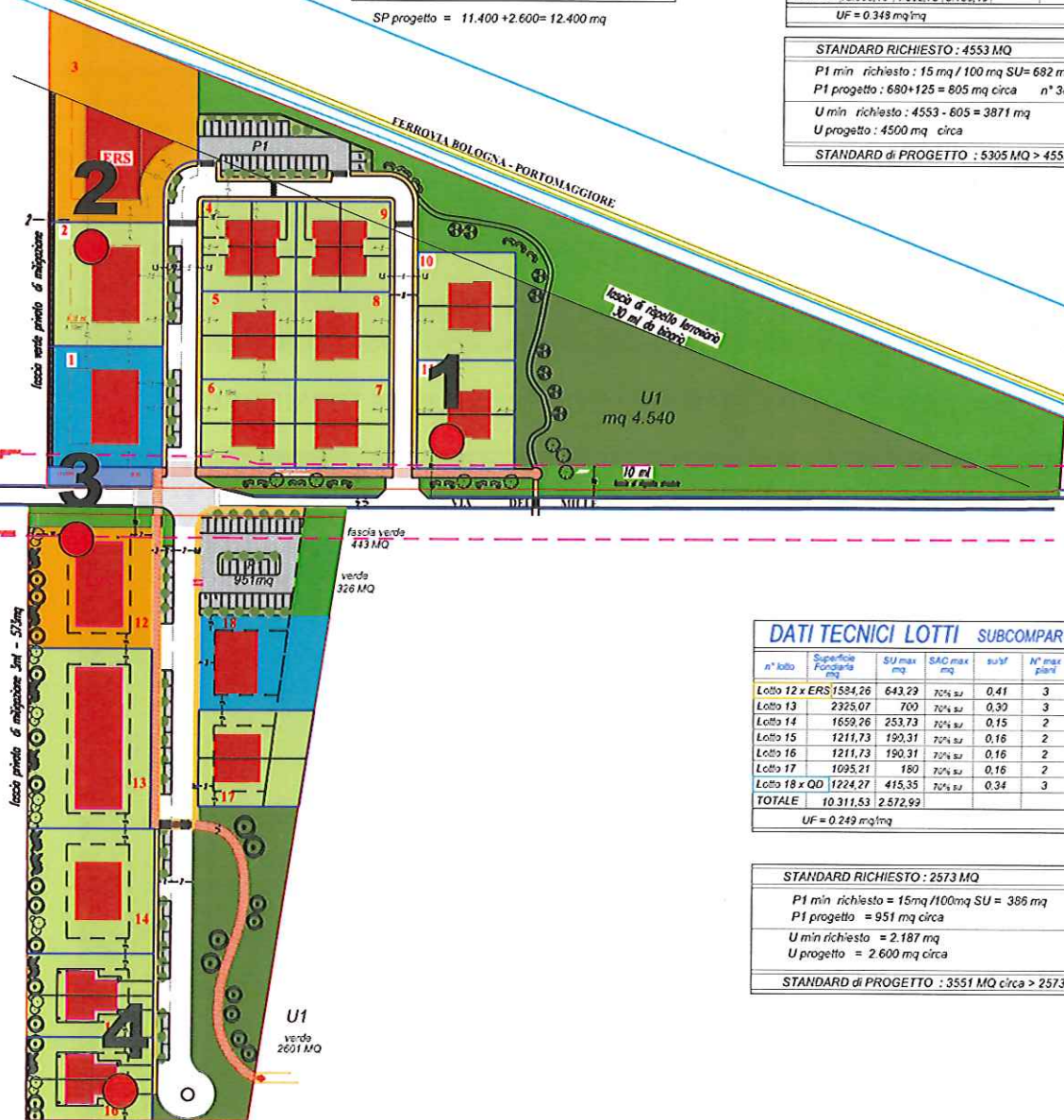
P1 min richiesto = 15 mq / 100 mq SU = 386 mq

P1 progetto = 951 mq circa

U min richiesto = 2.187 mq

U progetto = 2.600 mq circa

STANDARD di PROGETTO : 3551 MQ circa > 2573 MQ



COMMITTENTE: C.C. CASE
LOCALITA': VIA DEI MILLE CASTENASO (BO)
● UBICAZIONE PROVE PENETROMETRICHE



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVA PENETROMETRICA N. 1



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVA PENETROMETRICA N. 2



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVA PENETROMETRICA N. 3



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA PROVA PENETROMETRICA N. 4



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **298/13**

Data emissione: 16/04/13

Committente : C.C. CASE

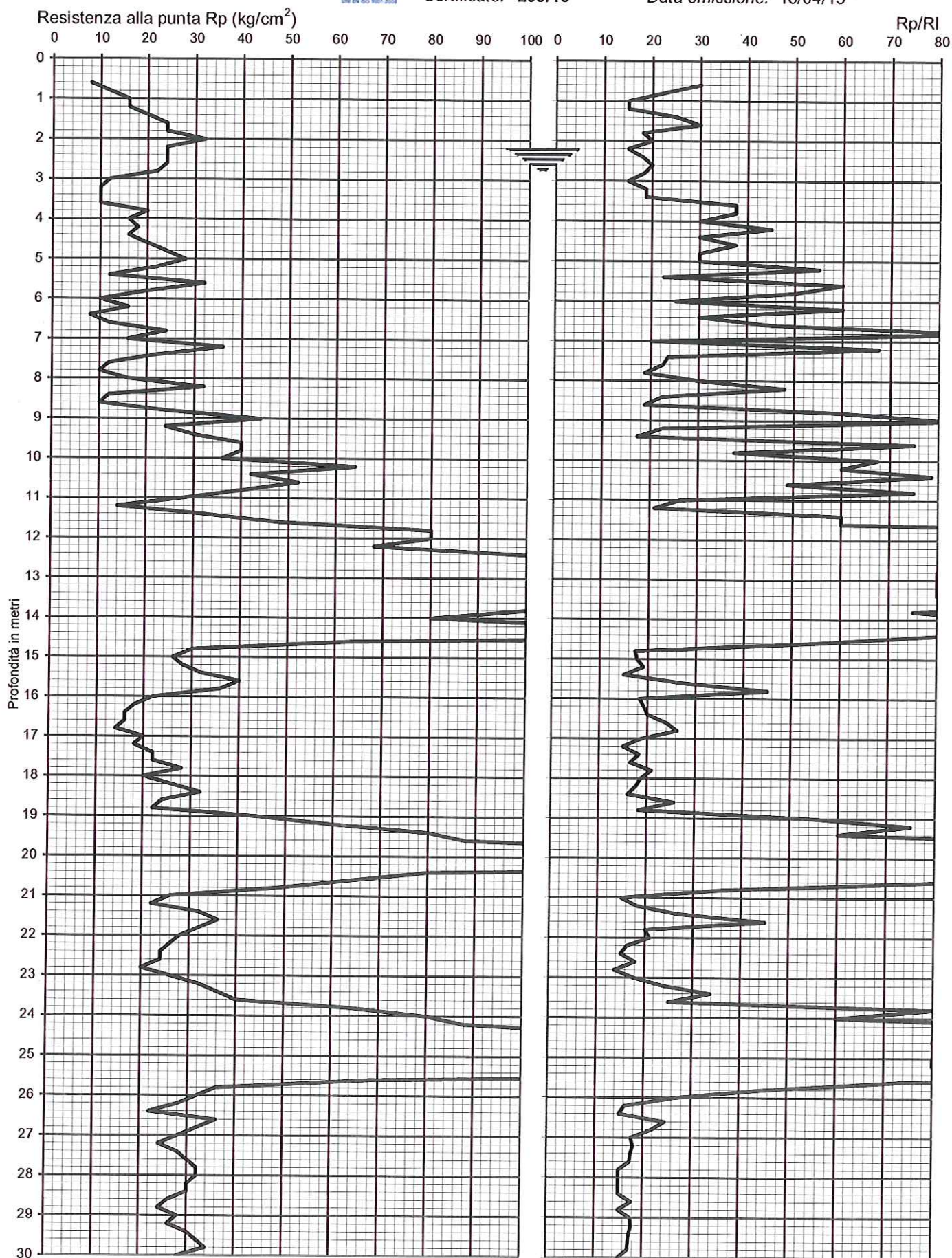
Località : VIA DEI MILLE - CASTENASO (BO)

Prova numero : 1

Data : 16/04/2013

Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	8	12	8	0,27	30,00
0,80	12	20	12	0,53	22,50
1,00	16	32	16	1,07	15,00
1,20	16	32	16	1,07	15,00
1,40	20	32	20	0,80	25,00
1,60	24	36	24	0,80	30,00
1,80	24	44	24	1,33	18,00
2,00	32	56	32	1,60	20,00
2,20	24	48	24	1,60	15,00
2,40	24	44	24	1,33	18,00
2,60	24	42	24	1,20	20,00
2,80	22	40	22	1,20	18,33
3,00	12	24	12	0,80	15,00
3,20	10	18	10	0,53	18,75
3,40	10	18	10	0,53	18,75
3,60	10	14	10	0,27	37,50
3,80	20	28	20	0,53	37,50
4,00	16	24	16	0,53	30,00
4,20	18	24	18	0,40	45,00
4,40	16	24	16	0,53	30,00
4,60	20	28	20	0,53	37,50
4,80	24	36	24	0,80	30,00
5,00	28	42	28	0,93	30,00
5,20	22	28	22	0,40	55,00
5,40	12	20	12	0,53	22,50
5,60	32	40	32	0,53	60,00
5,80	20	26	20	0,40	50,00
6,00	10	16	10	0,40	25,00
6,20	16	20	16	0,27	60,00
6,40	8	12	8	0,27	30,00
6,60	12	16	12	0,27	45,00
6,80	24	28	24	0,27	90,00
7,00	16	28	16	0,80	20,00
7,20	36	44	36	0,53	67,50
7,40	22	36	22	0,93	23,57
7,60	12	20	12	0,53	22,50
7,80	10	18	10	0,53	18,75
8,00	16	24	16	0,53	30,00
8,20	32	42	32	0,67	48,00
8,40	12	20	12	0,53	22,50
8,60	10	18	10	0,53	18,75
8,80	24	30	24	0,40	60,00
9,00	44	52	44	0,53	82,50
9,20	24	40	24	1,07	22,50
9,40	30	56	30	1,73	17,31
9,60	40	48	40	0,53	75,00
9,80	40	56	40	1,07	37,50
10,00	36	44	36	0,53	67,50
10,20	64	80	64	1,07	60,00
10,40	42	50	42	0,53	78,75
10,60	52	68	52	1,07	48,75
10,80	40	48	40	0,53	75,00
11,00	28	44	28	1,07	26,25
11,20	14	24	14	0,67	21,00
11,40	32	40	32	0,53	60,00
11,60	48	60	48	0,80	60,00
11,80	80	88	80	0,53	150,00
12,00	80	86	80	0,40	200,00
12,20	68	74	68	0,40	170,00
12,40	100	110	100	0,67	150,00
12,60	200	220	200	1,33	150,00
12,80	280		280		
13,00	260		260		
13,20	300		300		
13,40	240		240		
13,60	180	200	180	1,33	135,00
13,80	100	120	100	1,33	75,00
14,00	80	92	80	0,80	100,00
14,20	120	140	120	1,33	90,00
14,40	180		180		
14,60	64	82	64	1,20	53,33
14,80	30	56	30	1,73	17,31
15,00	26	48	26	1,47	17,73

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	28	50	28	1,47	19,09
15,40	32	64	32	2,13	15,00
15,60	40	62	40	1,47	27,27
15,80	36	48	36	0,80	45,00
16,00	22	40	22	1,20	18,33
16,20	18	32	18	0,93	19,29
16,40	16	28	16	0,80	20,00
16,60	16	26	16	0,67	24,00
16,80	14	22	14	0,53	26,25
17,00	20	36	20	1,07	18,75
17,20	18	36	18	1,20	15,00
17,40	22	40	22	1,20	18,33
17,60	22	42	22	1,33	16,50
17,80	28	48	28	1,33	21,00
18,00	20	36	20	1,07	18,75
18,20	26	48	26	1,47	17,73
18,40	32	62	32	2,00	16,00
18,60	24	38	24	0,93	25,71
18,80	22	40	22	1,20	18,33
19,00	44	56	44	0,80	55,00
19,20	60	72	60	0,80	75,00
19,40	80	100	80	1,33	60,00
19,60	88	100	88	0,80	110,00
19,80	140	160	140	1,33	105,00
20,00	120	140	120	1,33	90,00
20,20	180	200	180	1,33	135,00
20,40	80	92	80	0,80	100,00
20,60	64	76	64	0,80	80,00
20,80	48	68	48	1,33	36,00
21,00	26	52	26	1,73	15,00
21,20	22	40	22	1,20	18,33
21,40	32	50	32	1,20	26,67
21,60	36	48	36	0,80	45,00
21,80	32	56	32	1,60	20,00
22,00	28	48	28	1,33	21,00
22,20	26	50	26	1,60	16,25
22,40	24	48	24	1,60	15,00
22,60	24	44	24	1,33	18,00
22,80	20	42	20	1,47	13,64
23,00	26	48	26	1,47	17,73
23,20	32	52	32	1,33	24,00
23,40	36	52	36	1,07	33,75
23,60	40	64	40	1,60	25,00
23,80	64	76	64	0,80	80,00
24,00	80	100	80	1,33	60,00
24,20	88	100	88	0,80	110,00
24,40	120	140	120	1,33	90,00
24,60	180		180		
24,80	180	200	180	1,33	135,00
25,00	160		160		
25,20	200		200		
25,40	180	200	180	1,33	135,00
25,60	68	82	68	0,93	72,86
25,80	36	48	36	0,80	45,00
26,00	32	50	32	1,20	26,67
26,20	28	54	28	1,73	16,15
26,40	22	44	22	1,47	15,00
26,60	36	58	36	1,47	24,55
26,80	32	54	32	1,47	21,82
27,00	28	52	28	1,60	17,50
27,20	24	44	24	1,33	18,00
27,40	28	52	28	1,60	17,50
27,60	30	56	30	1,73	17,31
27,80	32	64	32	2,13	15,00
28,00	32	64	32	2,13	15,00
28,20	30	60	30	2,00	15,00
28,40	30	60	30	2,00	15,00
28,60	26	48	26	1,47	17,73
28,80	24	48	24	1,60	15,00
29,00	28	52	28	1,60	17,50
29,20	26	48	26	1,47	17,73
29,40	30	56	30	1,73	17,31
29,60	32	60	32	1,87	17,14
29,80	34	64	34	2,00	17,00
30,00	28	56	28	1,87	15,00



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

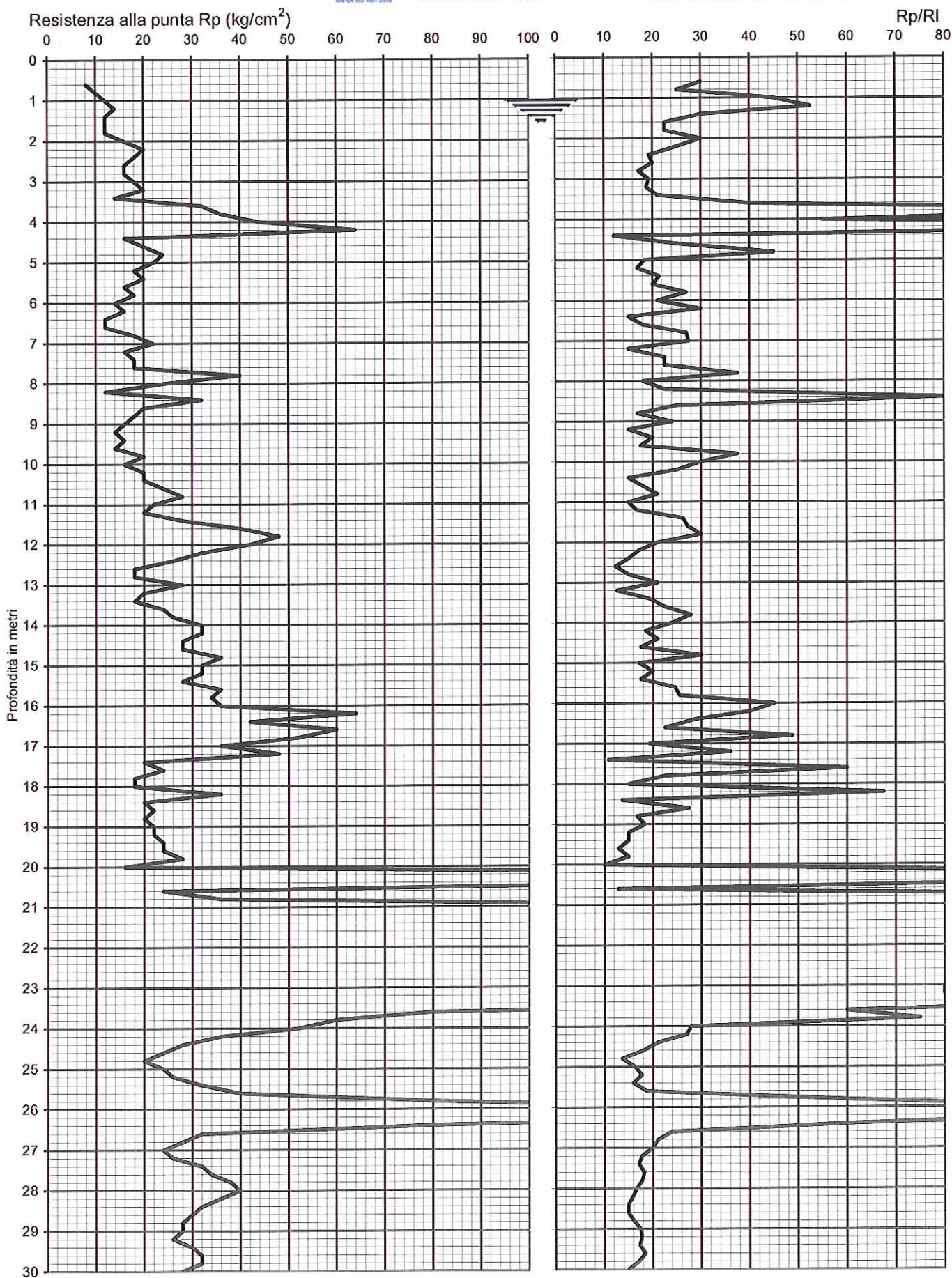
Telefono 059/313999
Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA
Penetrometro Gouda

Certificato n. : 299/13 Data emissione: 16/04/13

Committente : C.C. CASE
Località : VIA DEI MILLE - CASTENASO (BO)
Prova numero : 2
Data : 16/04/2013
Operatore : DR. REBECCHI
Quota : P.C.



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	8	12	8	0,27	30,00
0,80	10	16	10	0,40	25,00
1,00	12	16	12	0,27	45,00
1,20	14	18	14	0,27	52,50
1,40	12	18	12	0,40	30,00
1,60	12	20	12	0,53	22,50
1,80	12	20	12	0,53	22,50
2,00	16	24	16	0,53	30,00
2,20	20	32	20	0,80	25,00
2,40	18	32	18	0,93	19,29
2,60	16	28	16	0,80	20,00
2,80	16	30	16	0,93	17,14
3,00	18	32	18	0,93	19,29
3,20	20	36	20	1,07	18,75
3,40	14	24	14	0,67	21,00
3,60	32	44	32	0,80	40,00
3,80	36	40	36	0,27	135,00
4,00	44	56	44	0,80	55,00
4,20	64	70	64	0,40	160,00
4,40	16	36	16	1,33	12,00
4,60	20	32	20	0,80	25,00
4,80	24	32	24	0,53	45,00
5,00	22	40	22	1,20	18,33
5,20	18	34	18	1,07	16,88
5,40	20	34	20	0,93	21,43
5,60	16	28	16	0,80	20,00
5,80	18	28	18	0,67	27,00
6,00	14	24	14	0,67	21,00
6,20	16	24	16	0,53	30,00
6,40	12	24	12	0,80	15,00
6,60	12	22	12	0,67	18,00
6,80	18	28	18	0,67	27,00
7,00	22	34	22	0,80	27,50
7,20	16	32	16	1,07	15,00
7,40	18	30	18	0,80	22,50
7,60	18	30	18	0,80	22,50
7,80	40	56	40	1,07	37,50
8,00	24	44	24	1,33	18,00
8,20	12	20	12	0,53	22,50
8,40	32	38	32	0,40	80,00
8,60	20	32	20	0,80	25,00
8,80	18	34	18	1,07	16,88
9,00	16	26	16	0,67	24,00
9,20	14	28	14	0,93	15,00
9,40	16	28	16	0,80	20,00
9,60	14	26	14	0,80	17,50
9,80	20	28	20	0,53	37,50
10,00	16	24	16	0,53	30,00
10,20	20	32	20	0,80	25,00
10,40	20	40	20	1,33	15,00
10,60	24	44	24	1,33	18,00
10,80	28	48	28	1,33	21,00
11,00	22	44	22	1,47	15,00
11,20	20	38	20	1,20	16,67
11,40	28	44	28	1,07	26,25
11,60	40	62	40	1,47	27,27
11,80	48	72	48	1,60	30,00
12,00	42	72	42	2,00	21,00
12,20	32	60	32	1,87	17,14
12,40	26	52	26	1,73	15,00
12,60	18	40	18	1,47	12,27
12,80	18	36	18	1,20	15,00
13,00	28	48	28	1,33	21,00
13,20	20	44	20	1,60	12,50
13,40	18	32	18	0,93	19,29
13,60	24	40	24	1,07	22,50
13,80	26	40	26	0,93	27,86
14,00	32	52	32	1,33	24,00
14,20	32	58	32	1,73	18,46
14,40	28	48	28	1,33	21,00
14,60	28	52	28	1,60	17,50
14,80	36	54	36	1,20	30,00
15,00	32	60	32	1,87	17,14

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	32	56	32	1,60	20,00
15,40	28	52	28	1,60	17,50
15,60	36	58	36	1,47	24,55
15,80	34	54	34	1,33	25,50
16,00	36	48	36	0,80	45,00
16,20	64	88	64	1,60	40,00
16,40	42	64	42	1,47	28,64
16,60	60	100	60	2,67	22,50
16,80	52	68	52	1,07	48,75
17,00	36	64	36	1,87	19,29
17,20	48	68	48	1,33	36,00
17,40	20	48	20	1,87	10,71
17,60	24	30	24	0,40	60,00
17,80	18	30	18	0,80	22,50
18,00	18	36	18	1,20	15,00
18,20	36	44	36	0,53	67,50
18,40	20	42	20	1,47	13,64
18,60	22	34	22	0,80	27,50
18,80	20	38	20	1,20	16,67
19,00	22	40	22	1,20	18,33
19,20	22	44	22	1,47	15,00
19,40	24	48	24	1,60	15,00
19,60	24	52	24	1,87	12,86
19,80	28	56	28	1,87	15,00
20,00	16	40	16	1,60	10,00
20,20	160	180	160	1,33	120,00
20,40	160	180	160	1,33	120,00
20,60	24	52	24	1,87	12,86
20,80	36	40	36	0,27	135,00
21,00	140	160	140	1,33	105,00
21,20	120	140	120	1,33	90,00
21,40	120	140	120	1,33	90,00
21,60	260	280	260	1,33	195,00
21,80	300	320	300	1,33	225,00
22,00	180	200	180	1,33	135,00
22,20	280	300	280	1,33	210,00
22,40	340	360	340	1,33	255,00
22,60	320	340	320	1,33	240,00
22,80	340	380	340	2,67	127,50
23,00	200		200		
23,20	240		240		
23,40	180	200	180	1,33	135,00
23,60	80	100	80	1,33	60,00
23,80	60	72	60	0,80	75,00
24,00	52	80	52	1,87	27,86
24,20	36	56	36	1,33	27,00
24,40	28	48	28	1,33	21,00
24,60	24	44	24	1,33	18,00
24,80	20	42	20	1,47	13,64
25,00	24	46	24	1,47	16,36
25,20	26	48	26	1,47	17,73
25,40	32	62	32	2,00	16,00
25,60	40	72	40	2,13	18,75
25,80	80	100	80	1,33	60,00
26,00	140	160	140	1,33	105,00
26,20	160	180	160	1,33	120,00
26,40	80	100	80	1,33	60,00
26,60	32	52	32	1,33	24,00
26,80	28	48	28	1,33	21,00
27,00	24	42	24	1,20	20,00
27,20	26	48	26	1,47	17,73
27,40	32	60	32	1,87	17,14
27,60	34	62	34	1,87	18,21
27,80	38	70	38	2,13	17,81
28,00	40	76	40	2,40	16,67
28,20	36	70	36	2,27	15,88
28,40	32	64	32	2,13	15,00
28,60	30	60	30	2,00	15,00
28,80	28	54	28	1,73	16,15
29,00	28	52	28	1,60	17,50
29,20	26	48	26	1,47	17,73
29,40	30	56	30	1,73	17,31
29,60	32	58	32	1,73	18,46
29,80	32	60	32	1,87	17,14
30,00	28	56	28	1,87	15,00



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : 300/13

Data emissione: 16/04/13

Committente : C.C. CASE

Località : VIA DEI MILLE - CASTENASO (BO)

Prova numero : 3

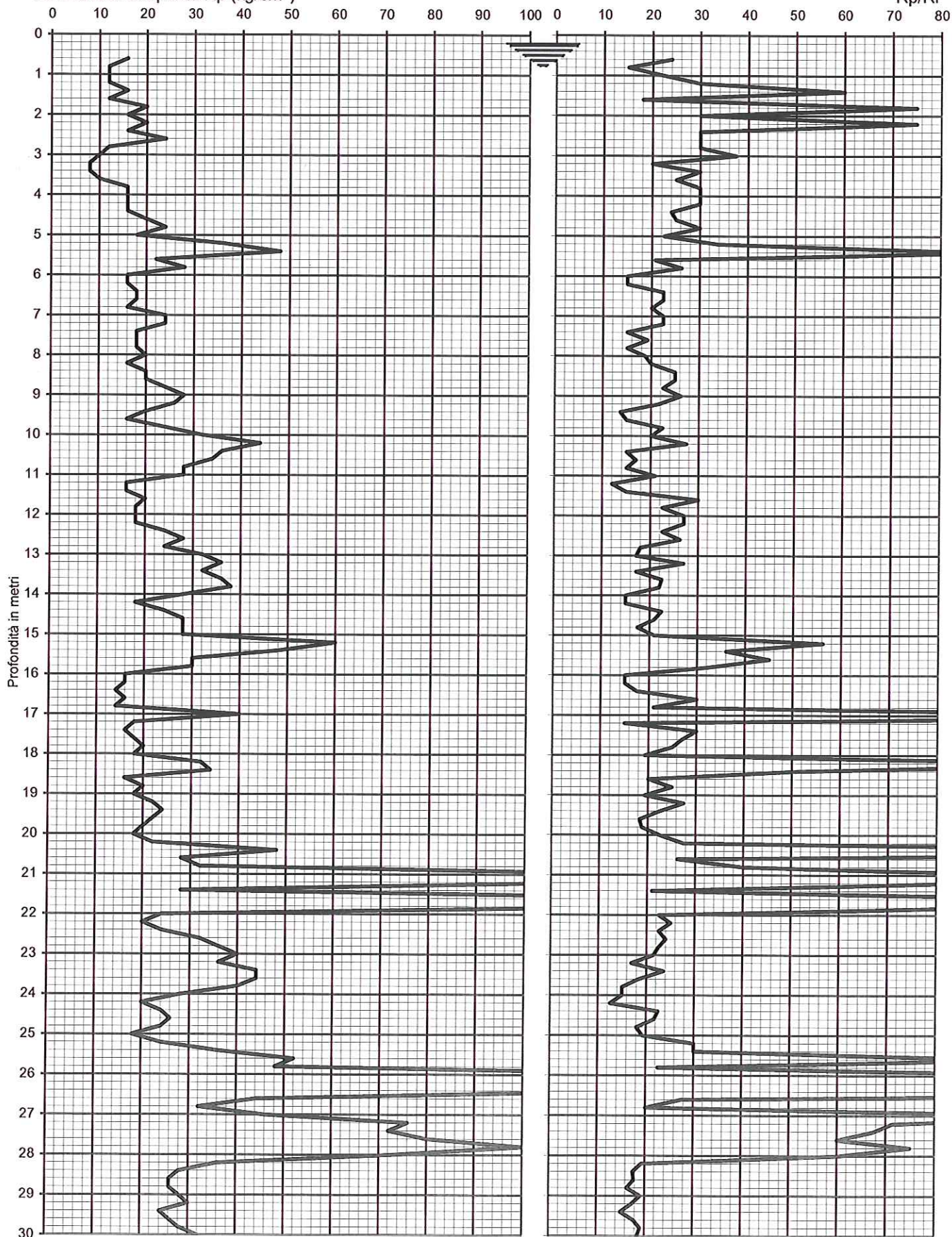
Data : 16/04/2013

Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta R_p (kg/cm²)

R_p/R_l



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	16	26	16	0,67	24,00
0,80	12	24	12	0,80	15,00
1,00	12	20	12	0,53	22,50
1,20	12	18	12	0,40	30,00
1,40	16	20	16	0,27	60,00
1,60	12	22	12	0,67	18,00
1,80	20	24	20	0,27	75,00
2,00	16	24	16	0,53	30,00
2,20	20	24	20	0,27	75,00
2,40	16	24	16	0,53	30,00
2,60	24	36	24	0,80	30,00
2,80	12	18	12	0,40	30,00
3,00	10	14	10	0,27	37,50
3,20	8	14	8	0,40	20,00
3,40	8	12	8	0,27	30,00
3,60	10	16	10	0,40	25,00
3,80	16	24	16	0,53	30,00
4,00	16	24	16	0,53	30,00
4,20	16	24	16	0,53	30,00
4,40	16	26	16	0,67	24,00
4,60	20	32	20	0,80	25,00
4,80	24	36	24	0,80	30,00
5,00	18	30	18	0,80	22,50
5,20	36	52	36	1,07	33,75
5,40	48	56	48	0,53	90,00
5,60	22	38	22	1,07	20,63
5,80	28	44	28	1,07	26,25
6,00	16	32	16	1,07	15,00
6,20	16	32	16	1,07	15,00
6,40	18	30	18	0,80	22,50
6,60	18	30	18	0,80	22,50
6,80	16	28	16	0,80	20,00
7,00	24	40	24	1,07	22,50
7,20	24	40	24	1,07	22,50
7,40	18	36	18	1,20	15,00
7,60	18	32	18	0,93	19,29
7,80	18	36	18	1,20	15,00
8,00	20	36	20	1,07	18,75
8,20	16	28	16	0,80	20,00
8,40	20	32	20	0,80	25,00
8,60	20	32	20	0,80	25,00
8,80	24	40	24	1,07	22,50
9,00	28	44	28	1,07	26,25
9,20	26	44	26	1,20	21,67
9,40	20	42	20	1,47	13,64
9,60	16	32	16	1,07	15,00
9,80	24	40	24	1,07	22,50
10,00	32	56	32	1,60	20,00
10,20	44	68	44	1,60	27,50
10,40	36	72	36	2,40	15,00
10,60	34	64	34	2,00	17,00
10,80	28	56	28	1,87	15,00
11,00	28	48	28	1,33	21,00
11,20	16	36	16	1,33	12,00
11,40	16	32	16	1,07	15,00
11,60	20	30	20	0,67	30,00
11,80	18	30	18	0,80	22,50
12,00	18	28	18	0,67	27,00
12,20	18	28	18	0,67	27,00
12,40	24	40	24	1,07	22,50
12,60	28	44	28	1,07	26,25
12,80	24	44	24	1,33	18,00
13,00	32	60	32	1,87	17,14
13,20	36	56	36	1,33	27,00
13,40	32	60	32	1,87	17,14
13,60	36	60	36	1,60	22,50
13,80	38	64	38	1,73	21,92
14,00	28	56	28	1,87	15,00
14,20	18	36	18	1,20	15,00
14,40	24	40	24	1,07	22,50
14,60	28	48	28	1,33	21,00
14,80	28	52	28	1,60	17,50
15,00	28	48	28	1,33	21,00

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	60	76	60	1,07	56,25
15,40	48	68	48	1,33	36,00
15,60	30	40	30	0,67	45,00
15,80	30	44	30	0,93	32,14
16,00	16	32	16	1,07	15,00
16,20	16	32	16	1,07	15,00
16,40	14	26	14	0,80	17,50
16,60	16	24	16	0,53	30,00
16,80	14	24	14	0,67	21,00
17,00	40	44	40	0,27	150,00
17,20	18	36	18	1,20	15,00
17,40	16	24	16	0,53	30,00
17,60	18	28	18	0,67	27,00
17,80	20	32	20	0,80	25,00
18,00	18	32	18	0,93	19,29
18,20	32	36	32	0,27	120,00
18,40	34	44	34	0,67	51,00
18,60	16	28	16	0,80	20,00
18,80	20	32	20	0,80	25,00
19,00	18	32	18	0,93	19,29
19,20	22	34	22	0,80	27,50
19,40	24	40	24	1,07	22,50
19,60	22	40	22	1,20	18,33
19,80	20	36	20	1,07	18,75
20,00	18	30	18	0,80	22,50
20,20	22	34	22	0,80	27,50
20,40	48	52	48	0,27	180,00
20,60	28	44	28	1,07	26,25
20,80	32	44	32	0,80	40,00
21,00	140	160	140	1,33	105,00
21,20	110	130	110	1,33	82,50
21,40	28	48	28	1,33	21,00
21,60	160	180	160	1,33	120,00
21,80	120	140	120	1,33	90,00
22,00	24	40	24	1,07	22,50
22,20	20	32	20	0,80	25,00
22,40	24	40	24	1,07	22,50
22,60	32	52	32	1,33	24,00
22,80	36	60	36	1,60	22,50
23,00	40	68	40	1,87	21,43
23,20	36	68	36	2,13	16,88
23,40	44	72	44	1,87	23,57
23,60	44	80	44	2,40	18,33
23,80	40	80	40	2,67	15,00
24,00	28	56	28	1,87	15,00
24,20	20	44	20	1,60	12,50
24,40	24	40	24	1,07	22,50
24,60	26	44	26	1,20	21,67
24,80	24	44	24	1,33	18,00
25,00	18	32	18	0,93	19,29
25,20	24	36	24	0,80	30,00
25,40	36	54	36	1,20	30,00
25,60	52	60	52	0,53	97,50
25,80	48	80	48	2,13	22,50
26,00	160	180	160	1,33	120,00
26,20	180	200	180	1,33	135,00
26,40	120	130	120	0,67	180,00
26,60	44	68	44	1,60	27,50
26,80	32	56	32	1,60	20,00
27,00	46	52	46	0,40	115,00
27,20	76	92	76	1,07	71,25
27,40	72	88	72	1,07	67,50
27,60	80	100	80	1,33	60,00
27,80	100	120	100	1,33	75,00
28,00	72	90	72	1,20	60,00
28,20	36	64	36	1,87	19,29
28,40	28	52	28	1,60	17,50
28,60	26	48	26	1,47	17,73
28,80	26	50	26	1,60	16,25
29,00	28	50	28	1,47	19,09
29,20	30	56	30	1,73	17,31
29,40	24	48	24	1,60	15,00
29,60	26	48	26	1,47	17,73
29,80	28	50	28	1,47	19,09
30,00	32	58	32	1,73	18,46



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : 301/13

Data emissione: 16/04/13

Committente : C.C. CASE

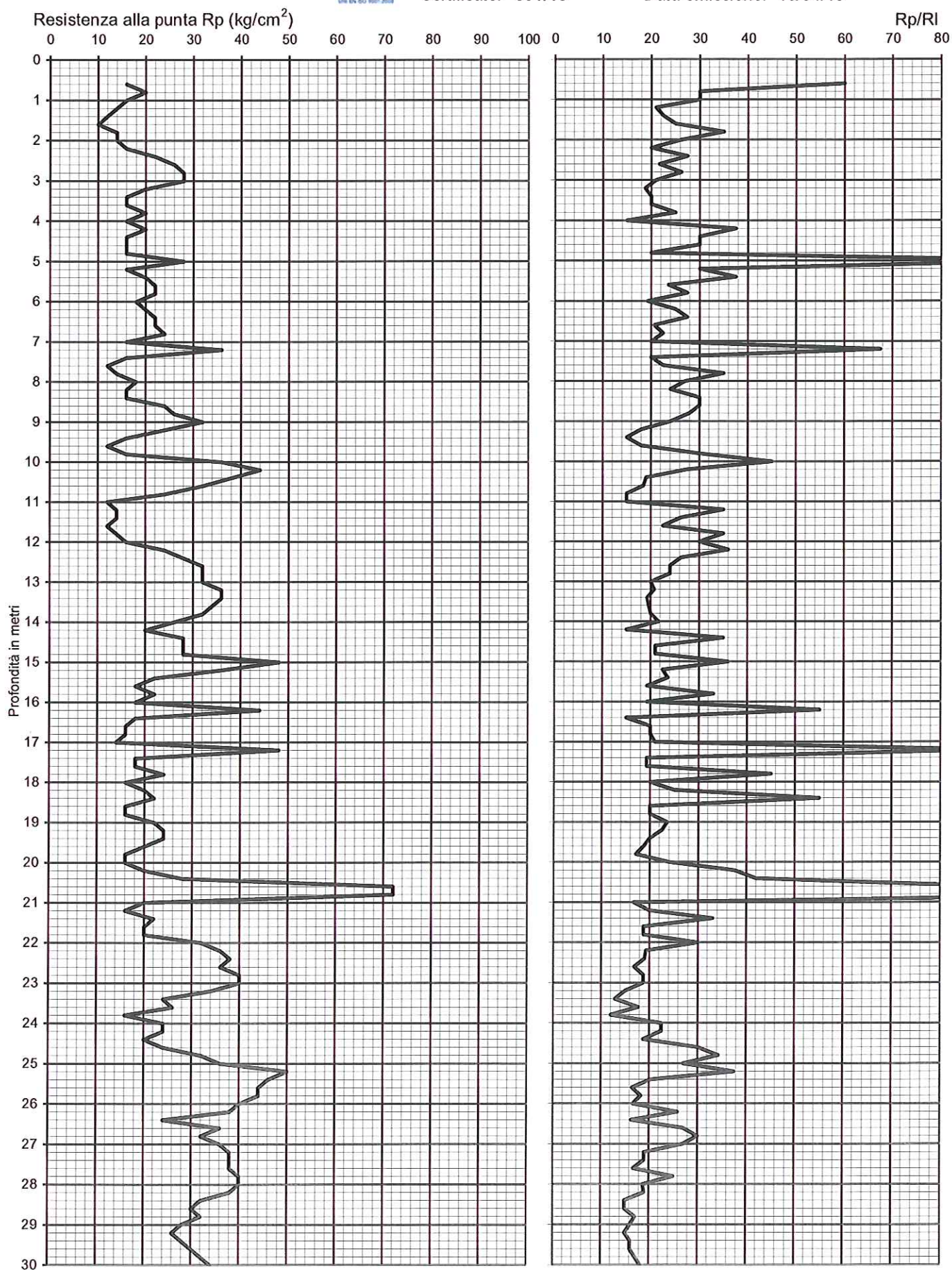
Località : VIA DEI MILLE - CASTENASO (BO)

Prova numero : 4

Data : 16/04/2013

Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.



Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	16	20	16	0,27	60,00
0,80	20	30	20	0,67	30,00
1,00	16	24	16	0,53	30,00
1,20	14	24	14	0,67	21,00
1,40	12	20	12	0,53	22,50
1,60	10	16	10	0,40	25,00
1,80	14	20	14	0,40	35,00
2,00	14	22	14	0,53	26,25
2,20	16	28	16	0,80	20,00
2,40	22	34	22	0,80	27,50
2,60	26	44	26	1,20	21,67
2,80	28	44	28	1,07	26,25
3,00	28	48	28	1,33	21,00
3,20	20	36	20	1,07	18,75
3,40	16	28	16	0,80	20,00
3,60	16	28	16	0,80	20,00
3,80	20	32	20	0,80	25,00
4,00	16	32	16	1,07	15,00
4,20	20	28	20	0,53	37,50
4,40	16	24	16	0,53	30,00
4,60	16	24	16	0,53	30,00
4,80	16	28	16	0,80	20,00
5,00	28	32	28	0,27	105,00
5,20	16	24	16	0,53	30,00
5,40	20	28	20	0,53	37,50
5,60	22	36	22	0,93	23,57
5,80	22	34	22	0,80	27,50
6,00	18	32	18	0,93	19,29
6,20	20	32	20	0,80	25,00
6,40	22	34	22	0,80	27,50
6,60	22	38	22	1,07	20,63
6,80	24	40	24	1,07	22,50
7,00	16	28	16	0,80	20,00
7,20	36	44	36	0,53	67,50
7,40	16	28	16	0,80	20,00
7,60	12	20	12	0,53	22,50
7,80	14	20	14	0,40	35,00
8,00	18	28	18	0,67	27,00
8,20	16	26	16	0,67	24,00
8,40	16	24	16	0,53	30,00
8,60	24	36	24	0,80	30,00
8,80	26	40	26	0,93	27,86
9,00	32	52	32	1,33	24,00
9,20	24	44	24	1,33	18,00
9,40	16	32	16	1,07	15,00
9,60	12	22	12	0,67	18,00
9,80	16	24	16	0,53	30,00
10,00	36	48	36	0,80	45,00
10,20	44	68	44	1,60	27,50
10,40	38	68	38	2,00	19,00
10,60	32	58	32	1,73	18,46
10,80	24	48	24	1,60	15,00
11,00	12	24	12	0,80	15,00
11,20	14	20	14	0,40	35,00
11,40	14	22	14	0,53	26,25
11,60	12	20	12	0,53	22,50
11,80	14	20	14	0,40	35,00
12,00	16	24	16	0,53	30,00
12,20	24	34	24	0,67	36,00
12,40	28	44	28	1,07	26,25
12,60	32	52	32	1,33	24,00
12,80	32	52	32	1,33	24,00
13,00	32	56	32	1,60	20,00
13,20	36	62	36	1,73	20,77
13,40	36	64	36	1,87	19,29
13,60	34	60	34	1,73	19,62
13,80	32	56	32	1,60	20,00
14,00	26	44	26	1,20	21,67
14,20	20	40	20	1,33	15,00
14,40	28	40	28	0,80	35,00
14,60	28	48	28	1,33	21,00
14,80	28	48	28	1,33	21,00
15,00	48	68	48	1,33	36,00

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	36	60	36	1,60	22,50
15,40	22	36	22	0,93	23,57
15,60	18	32	18	0,93	19,29
15,80	22	32	22	0,67	33,00
16,00	18	32	18	0,93	19,29
16,20	44	56	44	0,80	55,00
16,40	18	36	18	1,20	15,00
16,60	16	28	16	0,80	20,00
16,80	16	28	16	0,80	20,00
17,00	14	24	14	0,67	21,00
17,20	48	56	48	0,53	90,00
17,40	18	32	18	0,93	19,29
17,60	18	32	18	0,93	19,29
17,80	24	32	24	0,53	45,00
18,00	16	28	16	0,80	20,00
18,20	20	32	20	0,80	25,00
18,40	22	28	22	0,40	55,00
18,60	16	28	16	0,80	20,00
18,80	16	28	16	0,80	20,00
19,00	22	36	22	0,93	23,57
19,20	24	40	24	1,07	22,50
19,40	24	42	24	1,20	20,00
19,60	20	36	20	1,07	18,75
19,80	16	30	16	0,93	17,14
20,00	16	26	16	0,67	24,00
20,20	20	28	20	0,53	37,50
20,40	28	38	28	0,67	42,00
20,60	72	84	72	0,80	90,00
20,80	72	80	72	0,53	135,00
21,00	20	38	20	1,20	16,67
21,20	16	28	16	0,80	20,00
21,40	22	32	22	0,67	33,00
21,60	20	36	20	1,07	18,75
21,80	20	36	20	1,07	18,75
22,00	32	48	32	1,07	30,00
22,20	36	64	36	1,87	19,29
22,40	38	68	38	2,00	19,00
22,60	36	68	36	2,13	16,88
22,80	40	72	40	2,13	18,75
23,00	40	72	40	2,13	18,75
23,20	34	68	34	2,27	15,00
23,40	24	52	24	1,87	12,86
23,60	26	48	26	1,47	17,73
23,80	16	36	16	1,33	12,00
24,00	24	40	24	1,07	22,50
24,20	24	40	24	1,07	22,50
24,40	20	36	20	1,07	18,75
24,60	24	36	24	0,80	30,00
24,80	32	46	32	0,93	34,29
25,00	36	56	36	1,33	27,00
25,20	50	70	50	1,33	37,50
25,40	46	80	46	2,27	20,29
25,60	44	84	44	2,67	16,50
25,80	44	80	44	2,40	18,33
26,00	40	76	40	2,40	16,67
26,20	38	60	38	1,47	25,91
26,40	24	46	24	1,47	16,36
26,60	36	56	36	1,33	27,00
26,80	32	48	32	1,07	30,00
27,00	36	56	36	1,33	27,00
27,20	38	68	38	2,00	19,00
27,40	38	68	38	2,00	19,00
27,60	38	72	38	2,27	16,76
27,80	40	64	40	1,60	25,00
28,00	40	72	40	2,13	18,75
28,20	38	68	38	2,00	19,00
28,40	32	64	32	2,13	15,00
28,60	30	60	30	2,00	15,00
28,80	32	60	32	1,87	17,14
29,00	28	54	28	1,73	16,15
29,20	26	52	26	1,73	15,00
29,40	28	54	28	1,73	16,15
29,60	30	58	30	1,87	16,07
29,80	32	60	32	1,87	17,14
30,00	34	62	34	1,87	18,21

**REGIONE EMILIA-ROMAGNA
PROVINCIA DI BOLOGNA
COMUNE DI CASTENASO**

RELAZIONE DI INDAGINE GEOFISICA

RILIEVO SISMICO A RIFRAZIONE

LOC. VIA DEI MILLE

COMUNE DI CASTENASO (BO)

RIF. PRATICA: 3212

INDICE

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
3. NORMATIVA D.M. 14/01/2008	4
4. INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO A RIFRAZIONE	6
5. ELABORAZIONE ONDE SISMICHE – VS – METODO M.A.S.W.....	7
6. NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (D.M. 14.01.2008).....	12

INDICE DEGLI ALLEGATI

FIGURA 1: ESTRATTO DI CARTA TECNICA REGIONALE N. 221-NO "BOLOGNA NORD-EST" - SCALA 1:25.000	3
FIGURA 2: ESTRATTO DI CARTA TECNICA REGIONALE N. 221062 "CASTENASO" - SCALA 1:5.000	4
FIGURA 3: UBICAZIONE BASE SISMICA A RIFRAZIONE	6
FIGURA 4: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA.....	6
FIGURA 5: ANDAMENTO TRACCE SISMICHE RILEVATE	8
FIGURA 6: ANDAMENTO DELL'ANALISI SPETTRALE.....	8
FIGURA 7: TABELLA RIPORTANTE I VALORI DELLA CURVA DI DISPERSIONE	9
FIGURA 8: ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE	9
FIGURA 9: ANDAMENTO DELLA CURVA OTTENUTA CON IL PROCESSO DI INVERSIONE	10
FIGURA 10: ANDAMENTO IN PROFONDITA' DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO	10
FIGURA 11: ANDAMENTO DELLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO	11
FIGURA 12: ANDAMENTO DEL FATTORE DI DISATTAMENTO	11
FIGURA 13: TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA'.....	11

1. PREMESSA

Su incarico della Committenza, C.C. Case., abbiamo provveduto alla stesura della presente relazione, finalizzata alla elaborazione delle indagini geofisiche effettuate con il metodo sismico a rifrazione ai fini della determinazione della caratterizzazione sismica del terreno di fondazione ai sensi del testo unitario "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14.01.2008).

L'area interessata dall'indagine geofisica è ubicata in Comune di Castenaso (BO), Via dei Mille.

Allo scopo di determinare le caratteristiche geofisiche dei terreni presenti, è stata condotta un'indagine diretta in sito di tipo sismico a rifrazione eseguita in data 16/04/2013, con determinazione sperimentale mediante inversione (Metodo MASW) del valore di $V_{s,30}$.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Geograficamente l'area in esame risulta compresa all'interno della seguente documentazione cartografica:

Cartografia Regionale

- Tavoleta n. 221-NO denominata "BOLOGNA NORD-EST" – scala 1:25.000;
- Elemento n. 221062 denominato "CASTENASO" – scala 1:5.000.

Figura 1: ESTRATTO DI CARTA TECNICA REGIONALE N. 221-NO "BOLOGNA NORD-EST" - SCALA 1:25.000

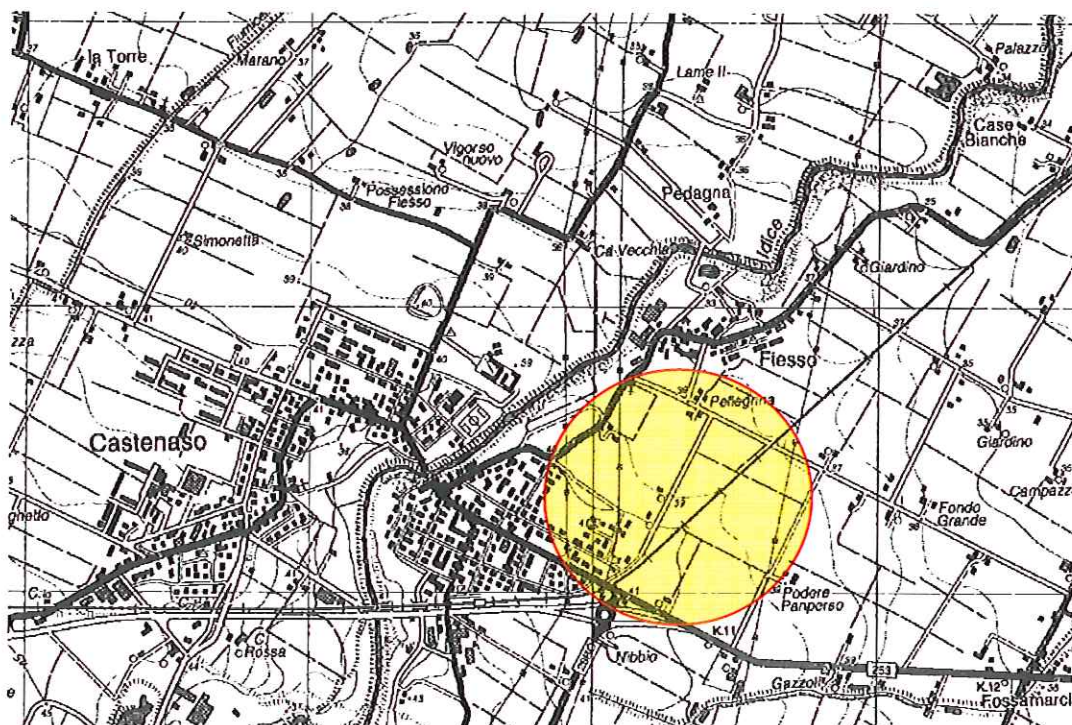
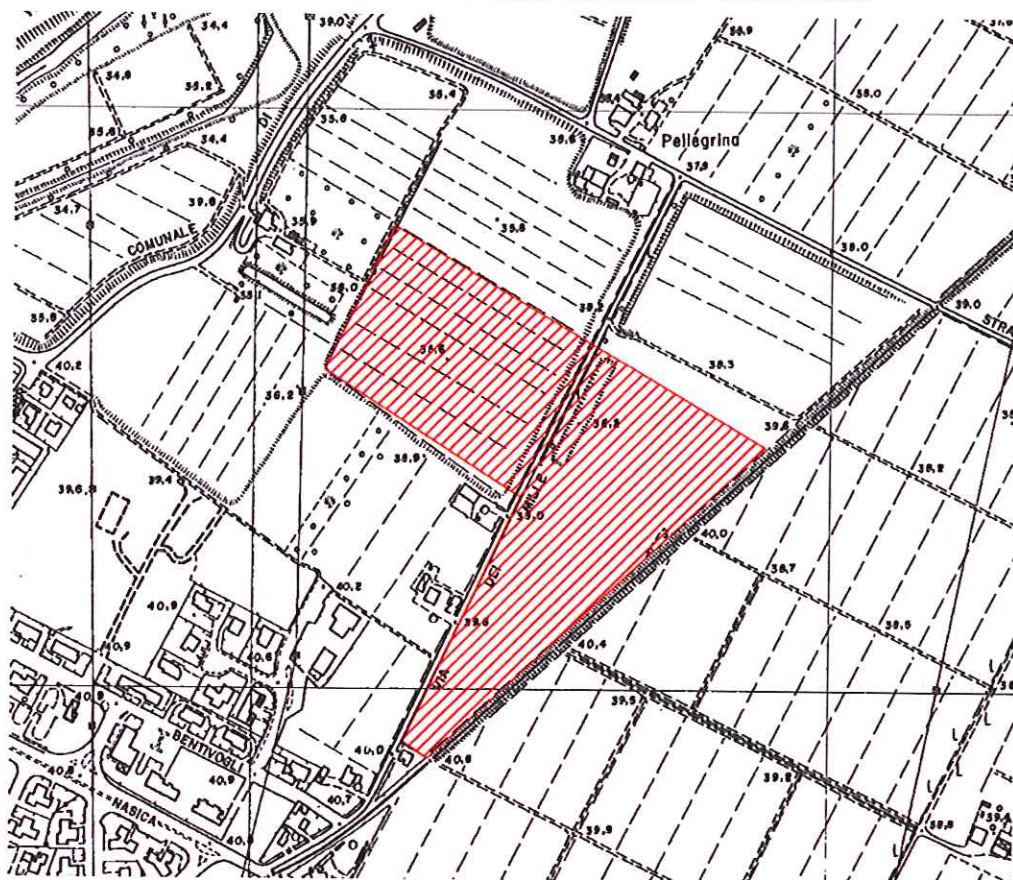


Figura 2: ESTRATTO DI CARTA TECNICA REGIONALE N. 221062 "CASTENASO" - SCALA 1:5.000



3. NORMATIVA D.M. 14/01/2008

Il D.M. 14.01.2008 prevede una classificazione dei terreni in base alla loro condizione topografica che deve essere considerata nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Il D.M. del 14.01.2008 prescrive che le azioni sismiche su ciascuna struttura sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_r , ricavato moltiplicando la vita nominale dell'opera V_N per il coefficiente d'uso C_u , definito al variare della classe d'uso dell'opera stessa.

La presente normativa stabilisce che gli stati limite, sia di esercizio sia ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso. Gli stati limite di esercizio sono lo Stato Limite di Operatività (SLO) e lo Stato Limite di Danno (SLD), mentre gli stati limite ultimi sono lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e lo Stato Limite di Collasso (SLC).

Il D.M. 14.01.2008 stabilisce che ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulle categorie di sottosuolo di riferimento e sulle condizioni topografiche del sito.

Ai fini dell'identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si essere effettua in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,30}$ entro i primi 30 m di profondità. Nei casi in cui tale determinazione non sia possibile, la classificazione può essere effettua in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test) $N_{SPT,30}$ nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ nei terreni prevalentemente a grana fina.

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita dall'espressione:

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

la resistenza penetrometrica dinamica equivalente $N_{SPT,30}$ è definita dall'espressione:

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}$$

la resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ è definita dall'espressione:

$$c_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,K} h_i}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{c_{u,i}}}$$

dove h_i , $V_{s,i}$, $N_{SPT,i}$ e $c_{u,i}$ sono rispettivamente lo spessore, la velocità delle onde di taglio V_s , il numero di colpi N_{SPT} e la resistenza non drenata c_u nell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità.

Le categorie di sottosuolo di riferimento sono:

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

La normativa prevede due categorie aggiuntive di sottosuolo per le quali è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno:

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

Per quanto riguarda le condizioni topografiche, per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

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

4. INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO A RIFRAZIONE

Al fine di determinare le caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dalle opere di progetto è stata eseguita in data 16/04/2013, nr. 1 base sismica a rifrazione con sistema di acquisizione a 24 canali.

Si riporta di seguito l'elaborazione condotta e le caratteristiche dello stendimento sismico effettuato.

Figura 3: UBICAZIONE BASE SISMICA A RIFRAZIONE



Figura 4: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



5. ELABORAZIONE ONDE SISMICHE – Vs – METODO M.A.S.W.

La determinazione della velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) è stata effettuata mediante elaborazione con il metodo MASW, allo scopo di determinare la categoria sismica del terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato dalla Nuova Normativa Sismica (Ordinanza P.C.M. 2003 e s.m.i.) e dagli Eurocodici 7 e 8.

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

Con riferimento al modello geotecnico sintetico determinato con le indagini in sito, è stata tracciata una curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

In seguito i parametri del modello geotecnico preliminare si sono apportate le modifiche necessarie al fine di ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale. Questa fase definita come processo di inversione consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi caratterizzati da valori di rigidità differente.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

L'elaborazione ha riguardato l'intero campionamento della registrazione avente durata 2048 mS e una frequenza di campionamento di 500 microS, per la quale si è tenuta in considerazione la traccia sismica rilevata a seguito dell'energizzazione effettuata mediante mazza battente a ml. 5,00 dal geofono n. 1 in posizione di sparo estremo SINISTRO rispetto alla base sismica, con uno stendimento avente un interasse geofonico pari a 2 ml.

Figura 5: ANDAMENTO TRACCE SISMICHE RILEVATE

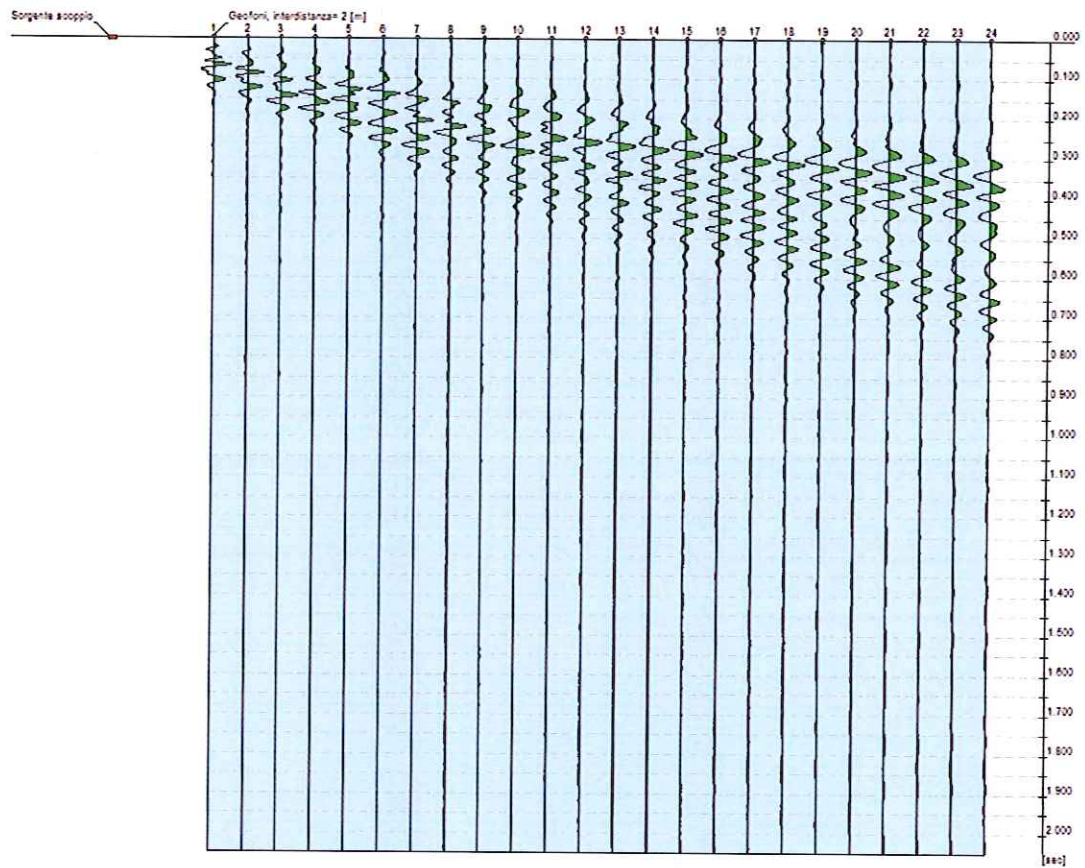


Figura 6: ANDAMENTO DELL'ANALISI SPETTRALE

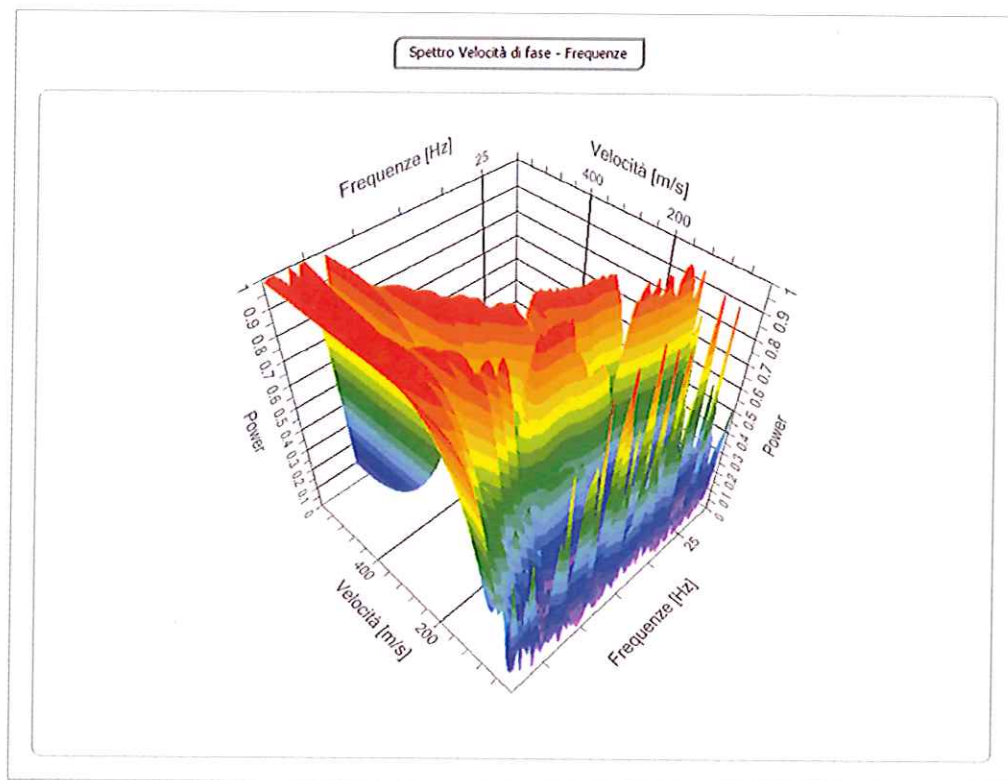


Figura 7: TABELLA RIPORTANTE I VALORI DELLA CURVA DI DISPERSIONE

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	3.9	496.4	0
2	5.2	299.7	0
3	6.5	207.4	0
4	7.8	174.4	0
5	9.0	170.2	0
6	10.3	173.0	0
7	11.6	175.5	0
8	12.9	175.5	0
9	14.2	172.9	0
10	15.5	167.0	0
11	16.8	157.5	0
12	18.1	149.5	0
13	19.4	144.4	0
14	20.7	142.2	0
15	22.0	141.9	0
16	23.3	141.4	0
17	24.6	138.7	0
18	25.9	132.8	0
19	27.2	125.2	0
20	28.5	121.8	0
21	11.2	332.8	1
22	12.5	292.4	1
23	13.5	260.2	1
24	15.5	257.1	1
25	17.1	243.0	1
26	18.5	219.8	1
27	19.7	213.8	1
28	20.9	211.8	1
29	22.1	200.7	1

Figura 8: ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE

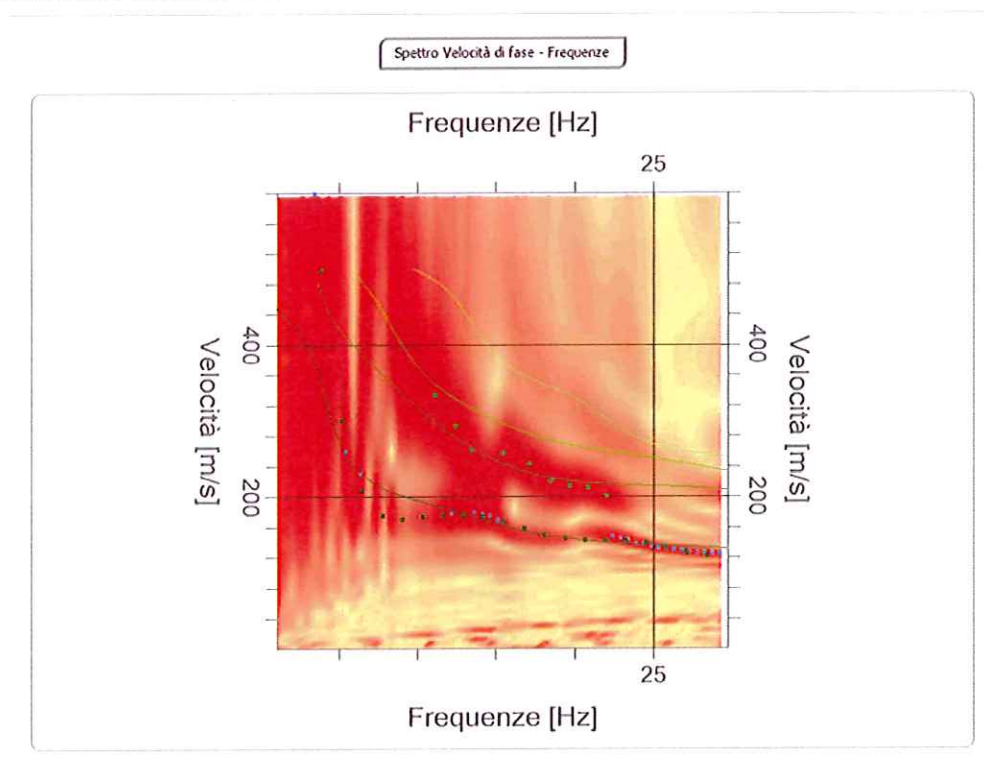


Figura 9: ANDAMENTO DELLA CURVA OTTENUTA CON IL PROCESSO DI INVERSIONE

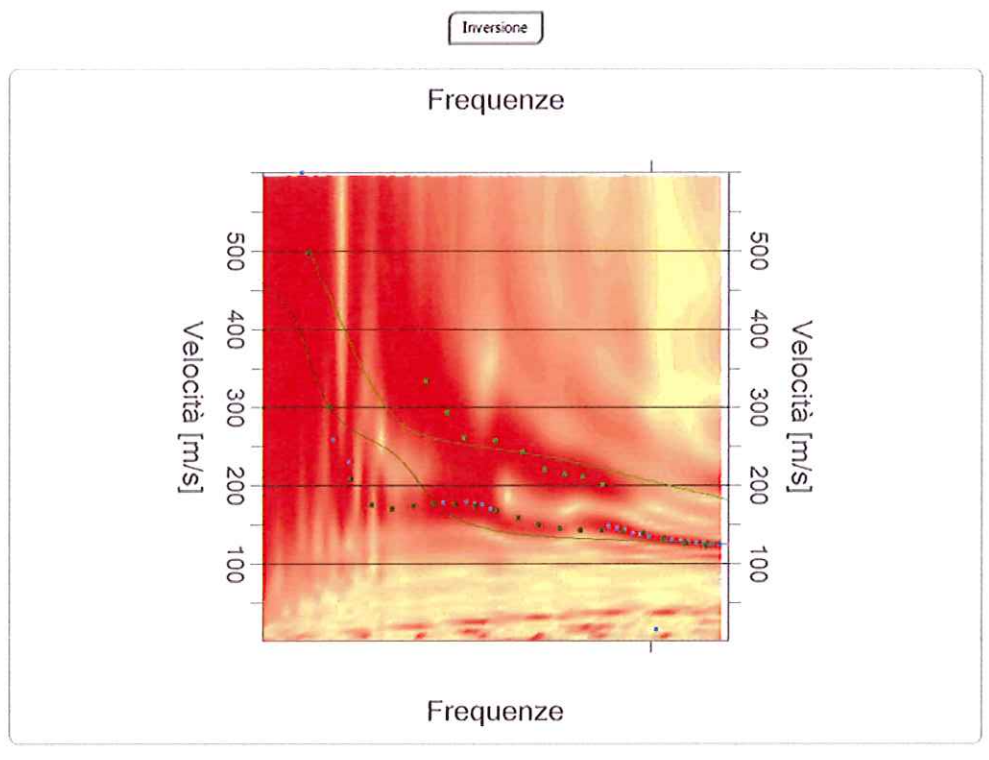


Figura 10: ANDAMENTO IN PROFONDITA' DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO

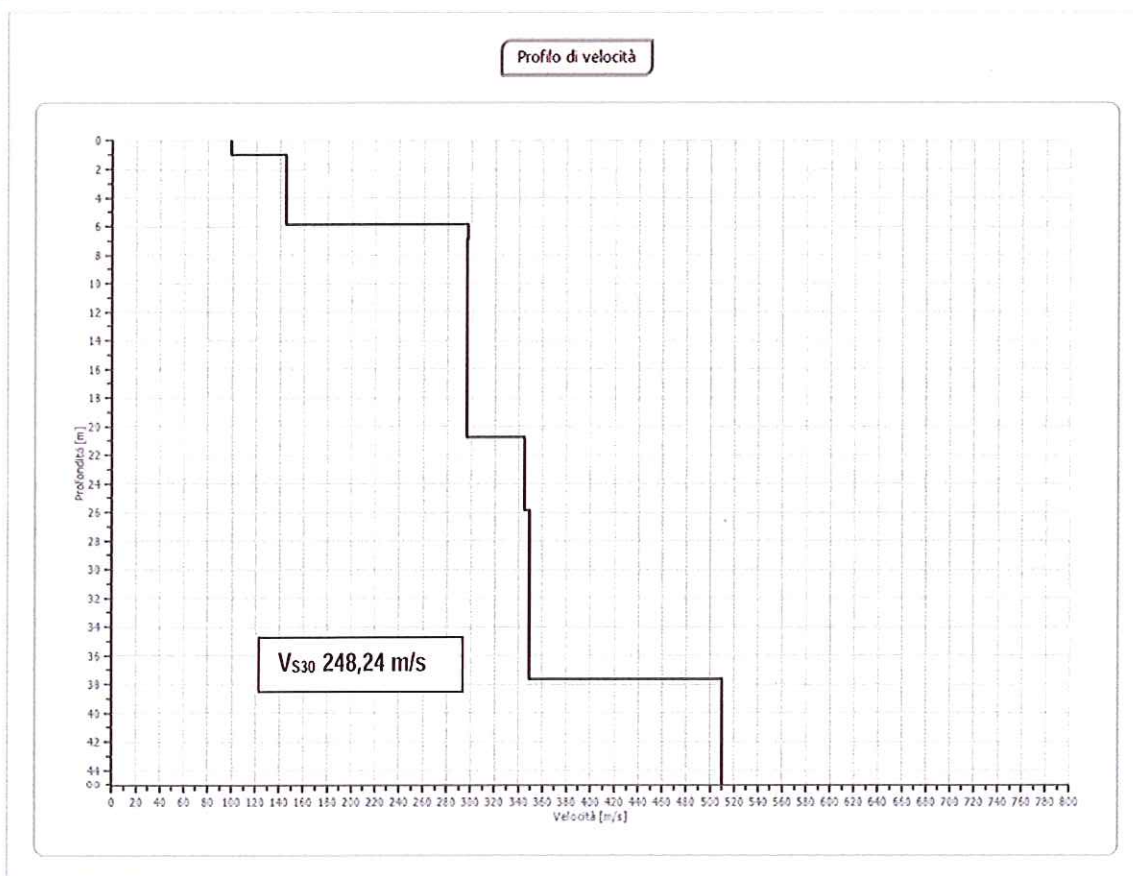


Figura 11: ANDAMENTO DELLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO

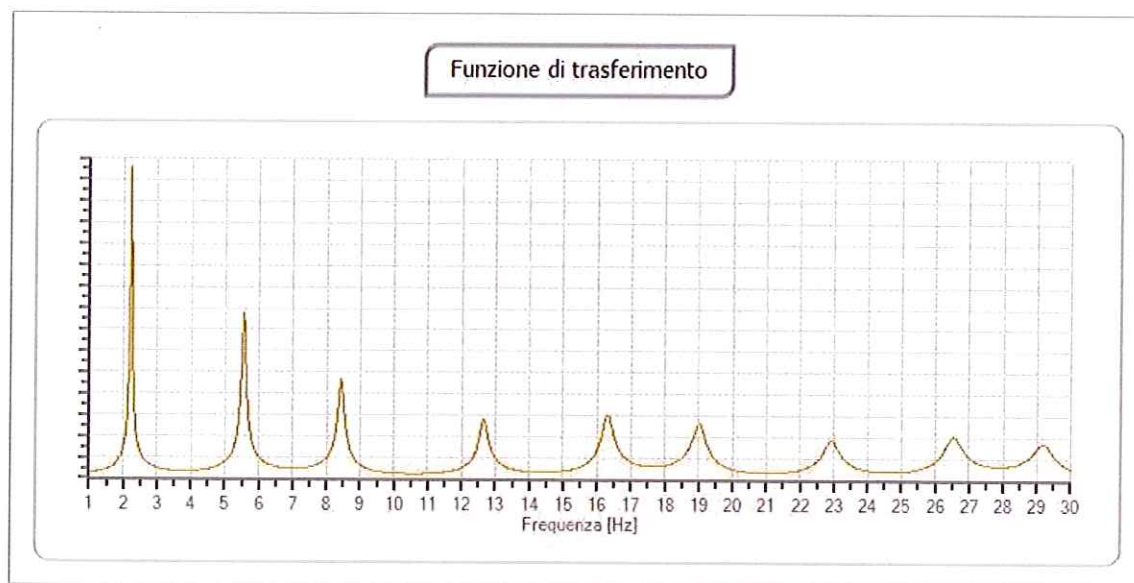
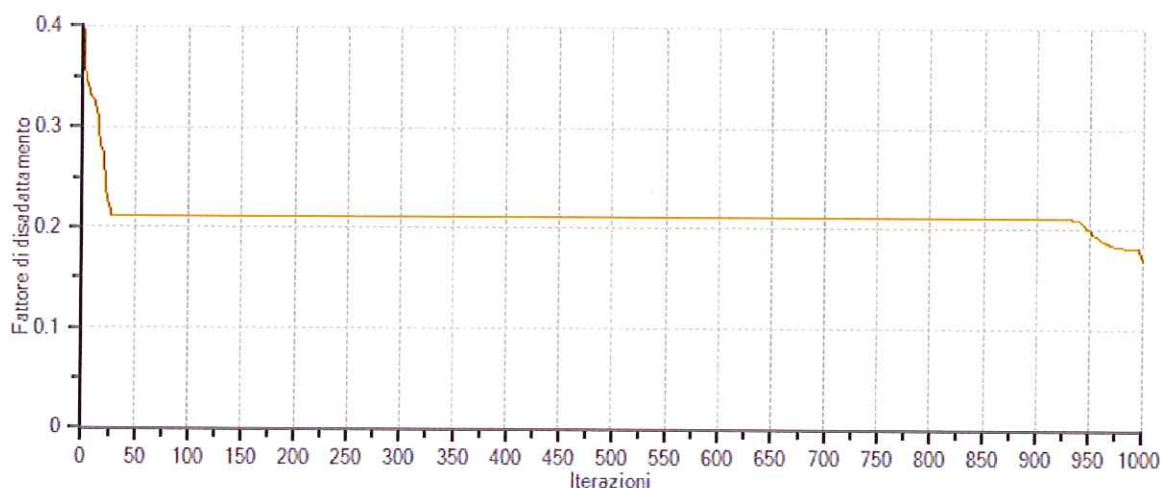


Figura 12: ANDAMENTO DEL FATTORE DI DISATTAMENTO



Al termine della elaborazione si è rilevato riscontrato una convergenza dei valori (Errore dell'elaborazione) pari a 3,422 %, con un fattore di disadattamento della soluzione pari a 0,170.

Figura 13: TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA'

N.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	densità [Kg/cm³]	Coefficiente di Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1	1	99.08	242.68	1800	0.4	17.67	106.01	82.45	49.47	18	22.29
2	5.91	4.91	144.67	479.81	1900	0.45	39.77	437.42	384.4	115.32	19	149.37
3	6.91	1	296.99	514.41	1950	0.25	172	516	286.66	430	N/A	N/A
4	11.27	4.36	296.27	982.61	1950	0.45	171.16	1882.78	1654.57	496.37	N/A	N/A
5	20.82	9.55	296.29	725.75	1950	0.4	171.18	1027.09	798.85	479.31	N/A	N/A
6	25.87	5.05	344.43	596.58	2000	0.25	237.27	711.81	395.45	593.18	N/A	N/A
7	37.63	11.76	348.64	1156.31	2050	0.45	249.18	2740.93	2408.7	722.61	N/A	N/A
8	∞	∞	510	1249.23	2100	0.4	546.2	3277.22	2548.95	1529.37	0	N/A

6. NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (D.M. 14.01.2008)

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine MASW ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali (V_s) fino a una profondità di circa 45,00 ml. dal piano campagna.

Ai sensi del DM 14.01.2008 (GU del 04.02.2008, n. 29 – S.O. n. 30), punto 3.2.2. "Categoria di suolo e condizioni topografiche", il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ($V_{s,30}$) di è riscontrato un valore di velocità delle onde di taglio variabile da 239,7 a 256,7 m/s come evidenziato nella tabella di seguito allegata:

Velocità onde V_s da elaborazione MASW							
Strato	Base strato [m]	h_i [m]	$V_{s,i}$ [m/s]	$h_i / V_{s,i}$ [s]			
1	1.00	1.00	99.08	0.010093			
2	5.91	4.91	144.67	0.033939			
3	6.91	1.00	296.99	0.003367			
4	11.27	4.36	296.27	0.014716			
5	20.82	9.55	296.29	0.032232			
6	25.87	5.05	344.43	0.014662			
7	37.63	4.13	348.64	0.011846			
8	0.00	0.00	0.00	0.000000			
9	0.00	0.00	0.00	0.000000			
10	0.00	0.00	0.00	0.000000			
11	0.00	0.00	0.00	0.000000			
12	0.00	0.00	0.00	0.000000			
13	0.00	0.00	0.00	0.000000			
14	0.00	0.00	0.00	0.000000			
15	0.00	0.00	0.00	0.000000			
16	0.00	0.00	0.00	0.000000			
17	0.00	0.00	0.00	0.000000			

$V_{s,30}$ calcolato	248.2	[m/s]
Errore strumentale	3.422	[%]
$V_{s,30}$ - Max	256.7	[m/s]
$V_{s,30}$ - Min	239.7	[m/s]

In base al valore di $V_{s,30}$ considerato anche l'errore dell'elaborazione, pertanto si può considerare l'area in esame di tipo C, Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Sulla base dell'effettiva profondità di posa delle fondazioni si riporta di seguito la classificazione dei terreni in base alla normativa sismica vigente:

Categoria di sottosuolo alla quota di posa delle fondazioni				
Quota di posa delle fondazioni			$V_{s,30}$ - Min	Categoria di Sottosuolo
Fondazioni posate ad una quota di	0.00	ml. da piano campagna	240	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	0.50	ml. da piano campagna	247	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	1.00	ml. da piano campagna	255	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	1.50	ml. da piano campagna	260	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	2.00	ml. da piano campagna	264	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	2.50	ml. da piano campagna	269	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	3.00	ml. da piano campagna	275	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	3.50	ml. da piano campagna	280	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	4.00	ml. da piano campagna	285	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	4.50	ml. da piano campagna	291	TIPO C
Fondazioni posate ad una quota di	5.00	ml. da piano campagna	297	TIPO C

Modena 17/04/2013

