Comune di Casalecchio di Reno
Città Metropolitana di Bologna

VARIANTE AL PIANO DI RECUPERO NSR14 - OSTERIA SAN BIAGIO

APPROVATO CON D.C.C. N. 12 DEL 15 MARZO 2012 - CONVENZIONE URBANISTICA DEL 11 MAGGIO 2012

PROPRIETA'	SMIRNE S.P.A. VIA ISONZO 65, 40033 CASALECCHIO DI RENO (BO) CODICE FISCALE/P.IVA 00312520372
PROGETTISTI	Arch. Claudia Orlandi Arch. Lothar Herrmann COLLABORATORI: Ing. Stefano Colonna
OGGETTO ELABORATO	**RELAZIONE GEOLOGICA** Dott. Geol. Raffaele Sandrelli

ELABORATO	DATA	SCALA	TAVOLA N.
REV. 0	30/11/2018		F6

COORDINAMENTO E SERVIZI
ARCHSTUDIO
Via IV Novembre 4, Castel Maggiore (BO)
Tel. +39 051 714385 www.archstudio.bo.it
Architettura, Urbanistica e Servizi per l'edilizia

E' vietata la riproduzione e la divulgazione anche parziale del presente elaborato ai sensi degli artt. 2575 e successivi del C.C.

Via A. Costa 82/c
40067 Pianoro-Bologna
+39 335 7001039

CASALECCHIO di RENO [Bo]

LOCALITÀ SAN BIAGIO

Relazione geologica a supporto del PUA

Tecnico incaricato:

dott. geol. Raffaele Sandrelli

Committente: SMIRNE S.p.a.

Pianoro (Bo) maggio 2018

1. PREMESSA

Su incarico ricevuto dalla proprietà la società SMIRNE s.p.a. e sulla base degli elaborati grafici forniti allo scrivente dal progettista dott.ssa arch. Claudia Orlandi, si è provveduto ad eseguire una campagna d'indagini geognostiche, per l'inserimento nel Piano Urbanistico Attuativo (PUA) un'area sita in località San Biagio Comune di Casalecchio di Reno, Bologna.

Figura 1: coorografia generale fuori scala

L'area, è osservabile sull'elemento n° 220123 del C.T.R. (Carta Tecnica Regionale) in scala 1:5.000, stralcio del quale sarà utilizzato anche come base topografica.

La campagna geognostica realizzata è consistita in:

- due prove penetrometriche statiche (CPT) spinte ad una profondità massima di progetto di -12.0m dal piano campagna attuale;
- uno stendimento sismico, con metodologia attiva, per la valutazione della categoria di suolo;
- un sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di due campioni, da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico;
- prove di laboratorio per la determinazione dell'indice di plasticità dei terreni e granulometria.

A temine delle prove penetrometriche con l'ausilio di un freatimetro elettronico è stata verificata l'assenza di acqua di falda all'interno dei fori di prova. Per poter monitorare nel tempo l'eventuale presenza di falda, all'interno del foro di sondaggio è stato installato un piezometro Tipo Norton.

Il seguente studio, sulla base della campagna geognostica, si articola sui seguenti punti:

- analisi della bibliografica della natura geo-litologica generale e geomorfologica;
- natura dei terreni costituenti il primo sottosuolo;
- caratteristiche meccaniche e fisiche dei terreni, desunte dalle indagini di sito e modellazione geologica media di sito;
- caratterizzazione dal punto di vista sismico dell'area (modellazione sito dipendente);

- valutazione di massima delle caratteristiche di resistenza dei terreni di fondazione.

1.1 BREVE DESCRIZIONE DEI LUOGHI

Allo stato attuale all'interno dell'area sono presenti due fabbricati, uno di ampie dimensioni che si affaccia sulla via Porrettana, composto da due piani fuori terra e una porzione seminterrata; l'altro fabbricato che originariamente era adibito a stalla e fienile è di più piccole dimensioni e si trova più all'interno dell'area da inserire nel PUA. Tutti e due i fabbricati si presentano in condizioni di abbandono.

2. INQUADRAMENTO GEO-LITOLOGICO

L'area da inserire nel PUA si trova geograficamente in posizione sud-occidentale rispetto alla città di Bologna all'interno prima fascia collinare che borda a sud la stessa città, ad una quota media sul livello del mare di circa 94.0m.

I terreni di questa zona sono superficialmente formati da depositi alluvionali di età Quaternaria, come sabbie, limi e ghiaie, strutturati in strati lenticolari che spesso s'interdigitano tra loro in passaggi laterali. In particolare i terreni su cui insiste l'area in oggetto sono terreni caratterizzati da una conoide torrentizia, caratterizzati principalmente da depositi ghiaiosi (**i2** - Conoide torrentizia inattiva Depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallecole trasvesali ai corsi d'acqua principali ove la diminuzione di pendenza provoca la sedimentazione del materiale trasportato dall'acqua, attualmente non soggetti ad evoluzione).

SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA:

Subsistema di Ravanne (AES8): nei settori intravallivi ghiaie passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille. Limite superiore dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unita' AES8a. Limite inferiore erosivo sui depositi marini e alluvionali sottostanti. Subsintema contenente una unità a limiti inconformi di rango gerarchico inferiore (AES8a) che, dove presente, ne costituisce il tetto stratigrafico. Spessore massimo in pianura di 25 metri circa. Pleistocene sup. - Olocene (14 ka - attuale; datazione 14C).

Unità di Modena (AES8a): nei settori intravallivi ghiaie prevalenti organizzate in due ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille. Limite superiore sempre affiorante dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro privo di reperti archeologici romani, o piu' antichi, non rimaneggiati. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale

nelle aree intra. Spessore massimo in pianura 7 metri, nel sottosuolo circa 10m. Età post-romana (IV-VI sec. d.C. - Attuale; datazione archeologica).

Unità di Vignola (AES7b): Nei settori intravallivi ghiaie passanti a sabbie e limi organizzati in alcuni ordini di terrazzi alluvionali. Limite superiore dato da un suolo non calcareo di colore bruno scuro. Negli sbocchi vallivi prevalenti ghiaie caratterizzate da un suolo non calcareo di colore bruno scuro rossastro spesso sino a 2 m circa. Limite inferiore erosivo. (Pleistocene sup. (per posizione stratigrafica).

I depositi quaternari si trovano poggianti sulla successione epiligure, in forma discordante.

SUCCESSIONE EPILIGURE:

Marne di Antognola (ANT): marne argillose e marne siltose verdognole o grigie con patine manganesifere; fratturazione concoide o con tipiche superfici concentriche; frequenti i microfossili e talora i bioclasti. Stratificazione da molto sottile a media, talora difficilmente percepibile, sia per scarsa classazione granulometrica che per bioturbazione. Sono presenti rari livelli torbiditici di arenarie vulcanoclastiche, arcosiche e quarzoso-feldspatiche, da sottili a medi, e strati sottili e sottilissimi, discontinui, di cineriti biancastre, tipicamente alterate in giallo o giallo ocra. Localmente si osservano anche orizzonti caotici (sl) e livelli di brecce con clasti extraformazionali. Localmente è stata distinta una litofacies arenacea (ANTa), potente fino a qualche decina di metri, caratterizzata dalla presenza di torbiditi sottili con base arenitica centimetrica. Il limite inferiore è netto, discordante, su MMP, sfumato su RAN; in eteropia con MVT. Ambiente di sedimentazione di piattaforma esterna, scarpata e base scarpata con apporti torbiditici. La potenza totale della formazione raggiunge alcune centinaia di metri. (Rupeliano terminale - Burdigaliano?)

Formazione di Cigarello (CIG): marne siltoso-sabbiose, talora argillose, grigie, grigio scure o beiges se alterate, bioturbate e fossilifere; sono presenti sia bioclasti che biosomi (Lamellibranchi, Gasteropodi, talora Echinidi). Stratificazione generalmente poco evidente per l'assenza di livelli grossolani e per la bioturbazione. Localmente affiorano intervalli di slump e di strati sottili arenaceo-pelitici tabulari con A/P < 1. Localmente, verso la base, possono esser presenti livelli discontinui di vulcanoclastiti ricche di cristalli millimetrici di biotite, o calcareniti grossolane giallastre in strati spessi. Ambiente di sedimentazione di piattaforma esterna e scarpata-bacino.

Il limite inferiore è per alternanza o sfumato con PAT. Lo potenza varia da qualche decina di metri a circa 500 metri. (Langhiano - Serravalliano)

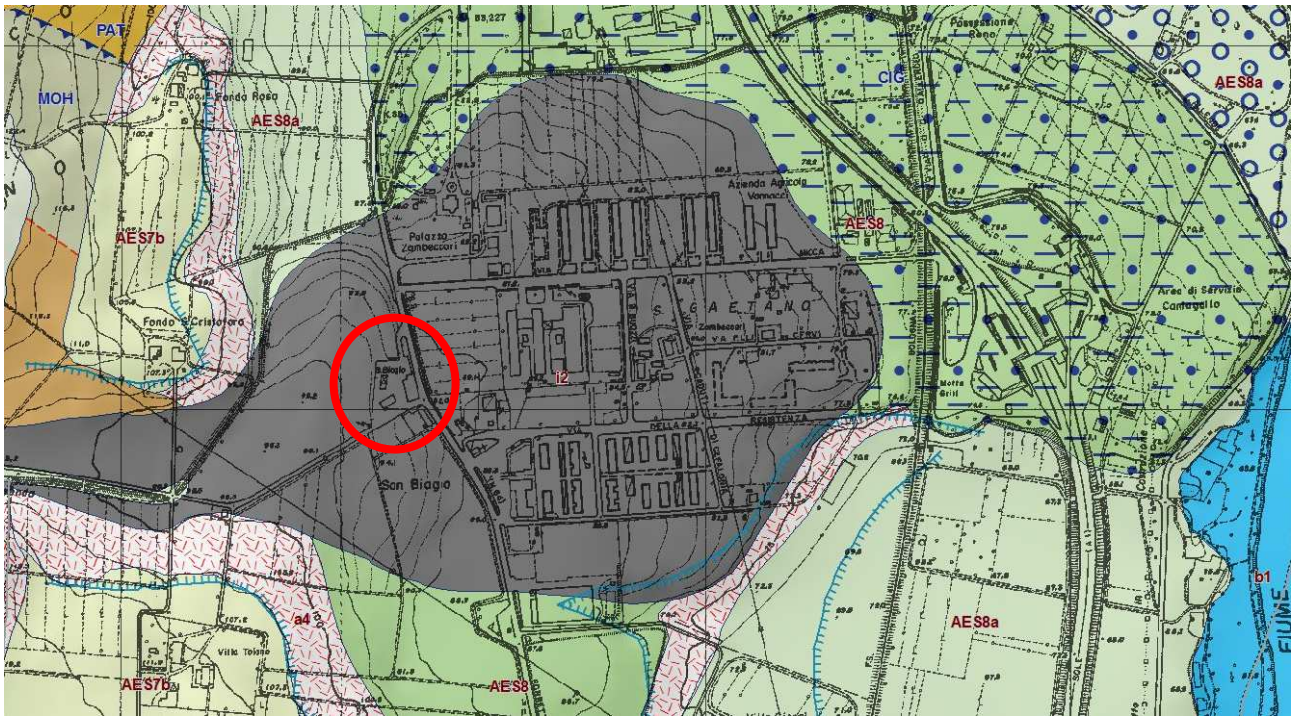


Figura 2: stralcio carta geologica della pianura

L'idrografia principale è caratterizzata dal corso d'acqua più importante: il Fiume Reno. Che scorre poco più ad est, ad una quota di circa 60.0m slm.

La conoide torrentizia di cui si parlava sopra è stata formata dal corso d'acqua Rio Bolseda, che proprio allo sbocco in valle viene regimato e immesso nel fiume Reno più a valle dell'area in oggetto.

2.1 VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO

All'interno della carta PSC comunale, l'area si trova soggetta come zona di protezione delle acque sotterranee nel territorio collinare e montano (art. 47 PTA e art. 5.2 e 5.3 del PTCP) di cui se ne fornisce di seguito stralcio della Tavola 2, riguardante i vincoli del paesaggio e dell'ambiente delle acque.

Si rammenta che l'area di conoide torrentizia è classificata come inattiva, perché come già accennato il rio Bolsenda allo sbocco della valle, viene regimato fino al suo immettersi nel Fiume Reno.

Nel nostro caso la protezione dell'acquifero è garantita dalla natura litologica riscontrata nei primi metri indagati, dove si rilevano materiali principalmente di natura argilloso limosa, intercalati solo localmente da livelli più grossolani che però non presentano una continuità laterale scarsa e dove non è stata riscontrata presenza di acqua di falda.

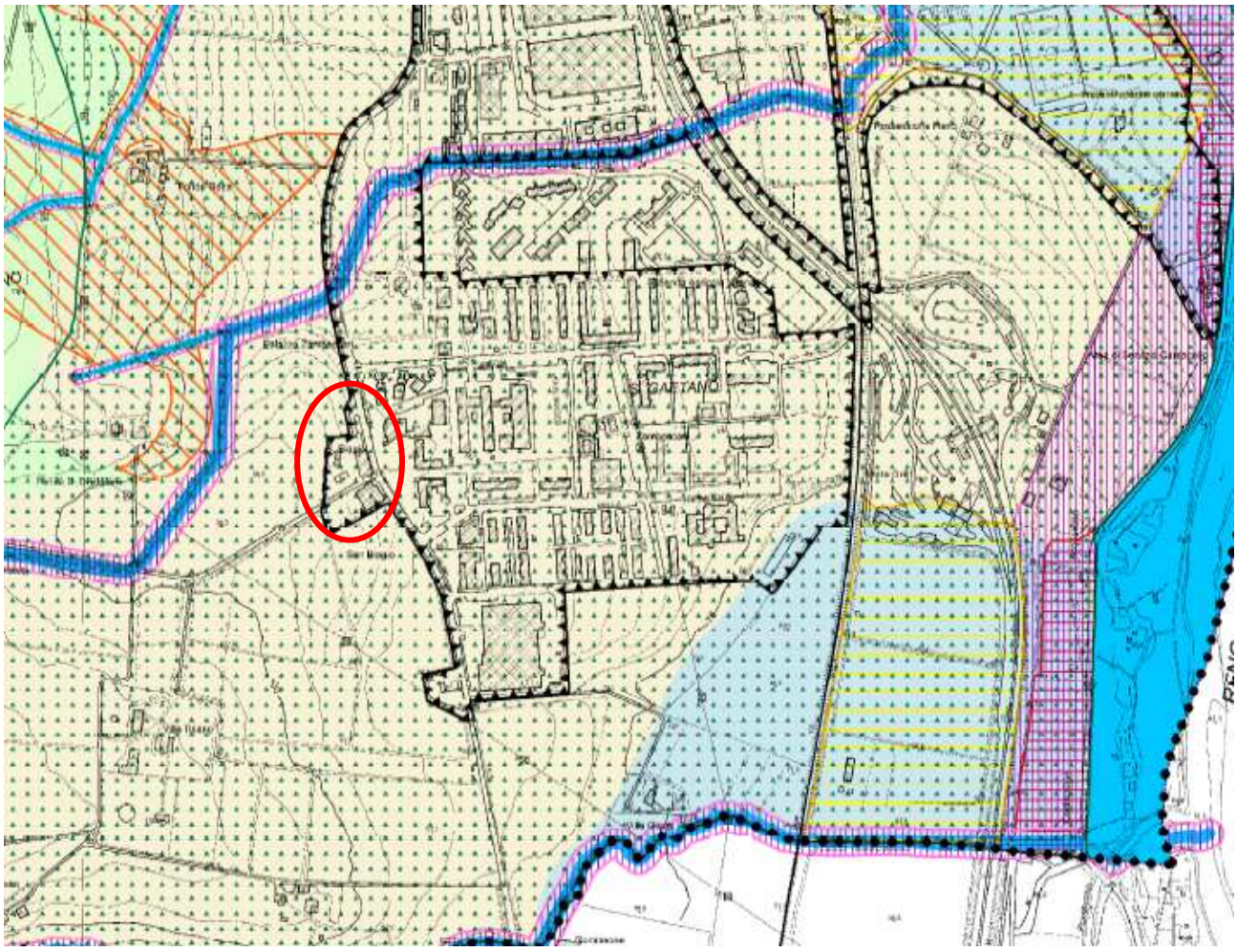


Figura 3: stralcio PSC

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Come già detto al paragrafo precedente l'area di inserimento al PUA si trova su una conoide torrentizia, dove le forme morfologiche sono praticamente mitigate dalla forte antropizzazione dovuta alle coltivazioni per la parte verso ovest e per la presenza dell'area industriale verso Est. Percorrendo da nord a sud la porrettana, ci si accorge della presenza del dosso di conoide, perché la strada sale di quota per riscendere alle stesse quote una volta superato lo stesso dosso.

Sulla fondovalle, nelle porzioni di colmata del fiume Reno, in sinistra idrografica sono presenti due ordini di terrazzo alluvionale molto ampi e immergenti verso l'alveo fluviale, mentre in destra idrografica vi è presenza di un solo ordine di terrazzo e molto stretto se non a tratti assente. In questa porzione di territorio i terrazzi sono più ampi perché prossimi allo sbocco della pianura. Risalendo la valle, cioè dirigendosi verso sud, questa si stringe e i terrazzamenti tendono a restringersi se non addirittura ad assenti, in prossimità degli affioramenti arenacei a pareti sub verticali, facenti parte della Formazione di Monte Adone.

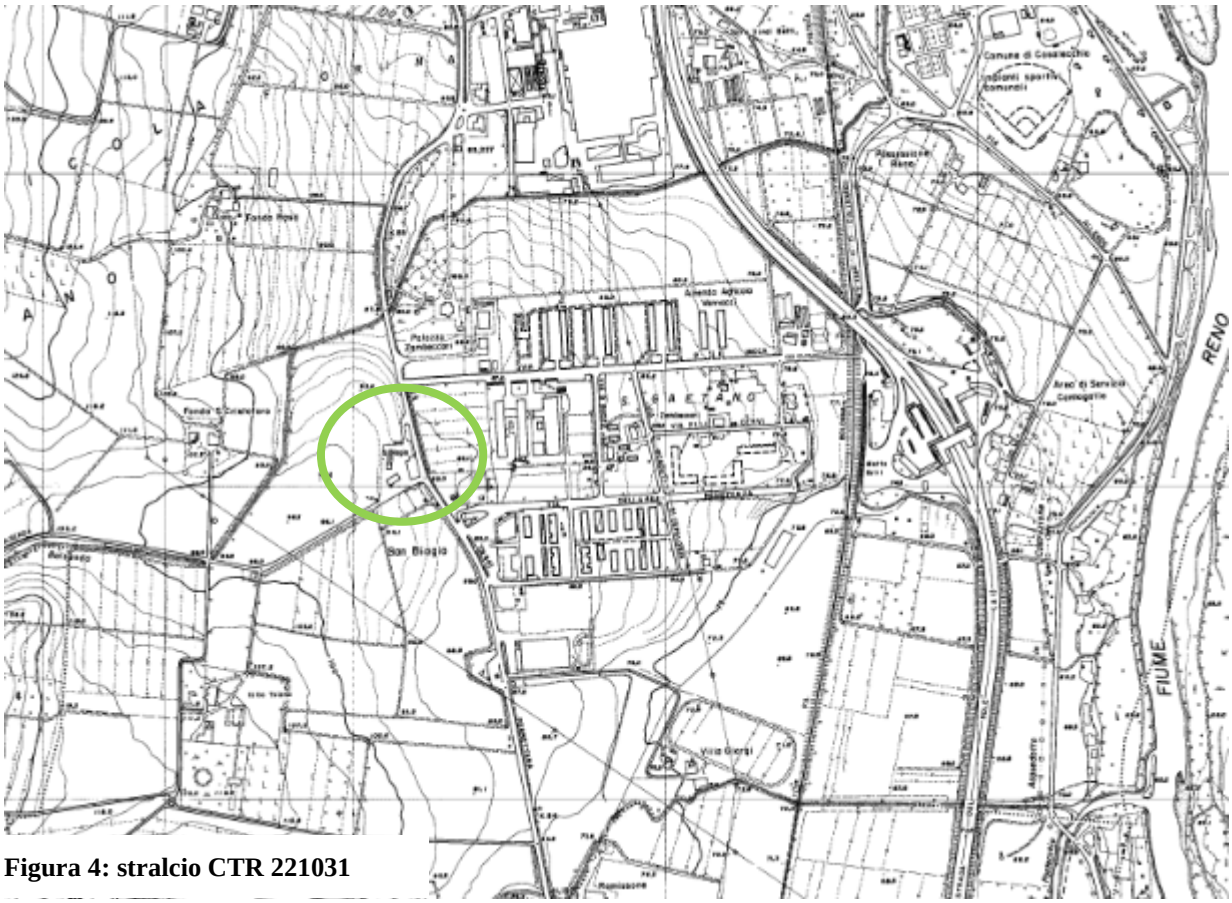


Figura 4: stralcio CTR 221031

Geomorfologicamente ci si trova quindi in un'area di transazione: ad est sono presenti le prime pendici collinari a basso angolo interrotte localmente da scarpate verticali, dovute agli affioramenti e, la zona di pianura complicata dalla conoide del rio Bolsenda, che si estende sui terrazzi del Fiume Reno.

Nella zona collinare ma in zona distale rispetto all'area di studio sono presenti alcuni movimenti gravitativi presenti nella Carta Inventario delle frane dell'Emilia Romagna, di cui si allega di seguito stralcio.

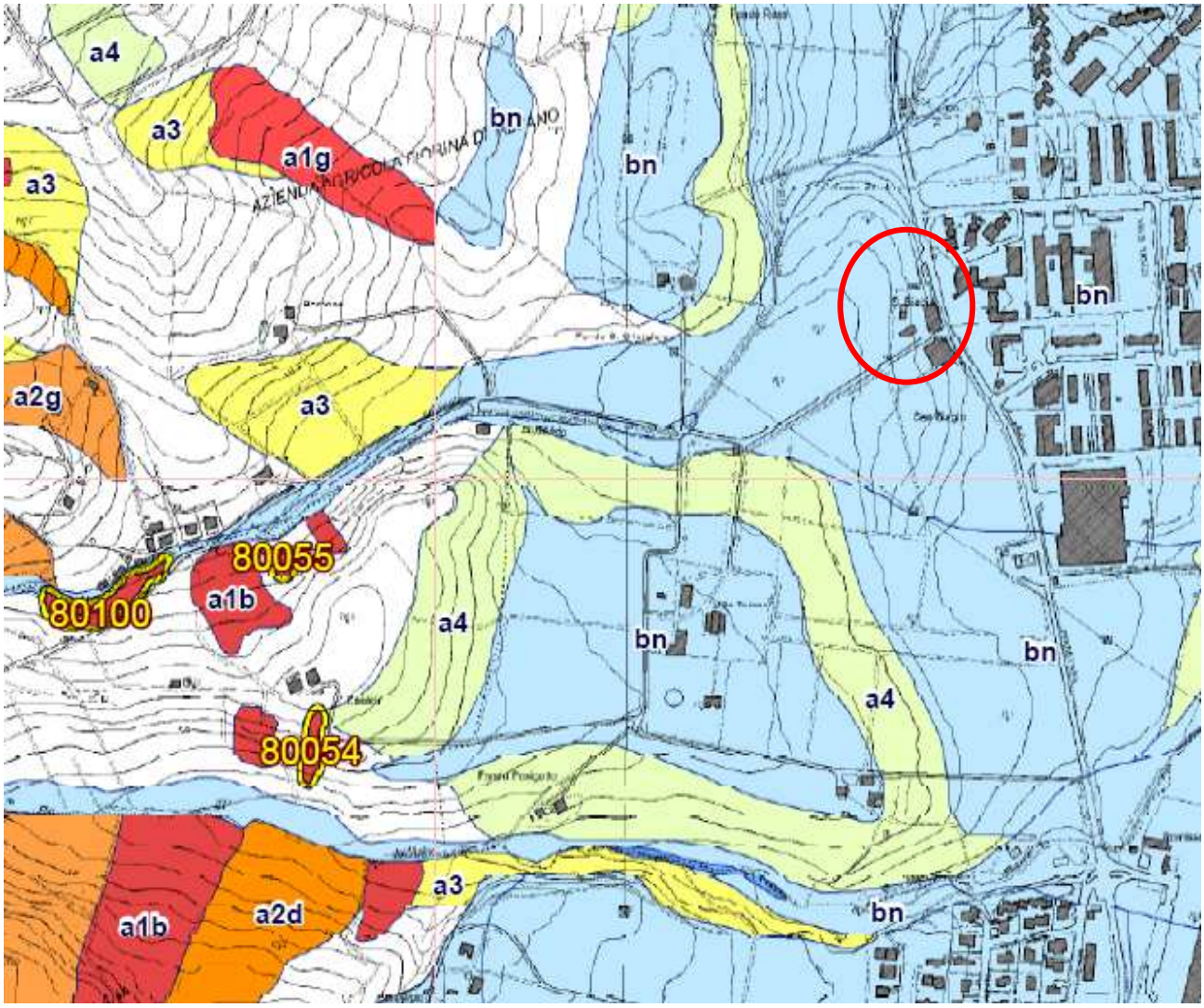


Figura 5: stralcio Carta Inventario delle Frane dell'Emilia Romagna TAVOLA1

Anche nella carta del PSAI (Piano Stralcio dell'Assetto Idrogeologico) di cui di seguito si allega uno stralcio, l'area non viene sottoposta a verifica, essendo inglobata all'interno delle aree costituite dai terrazzi alluvionali.

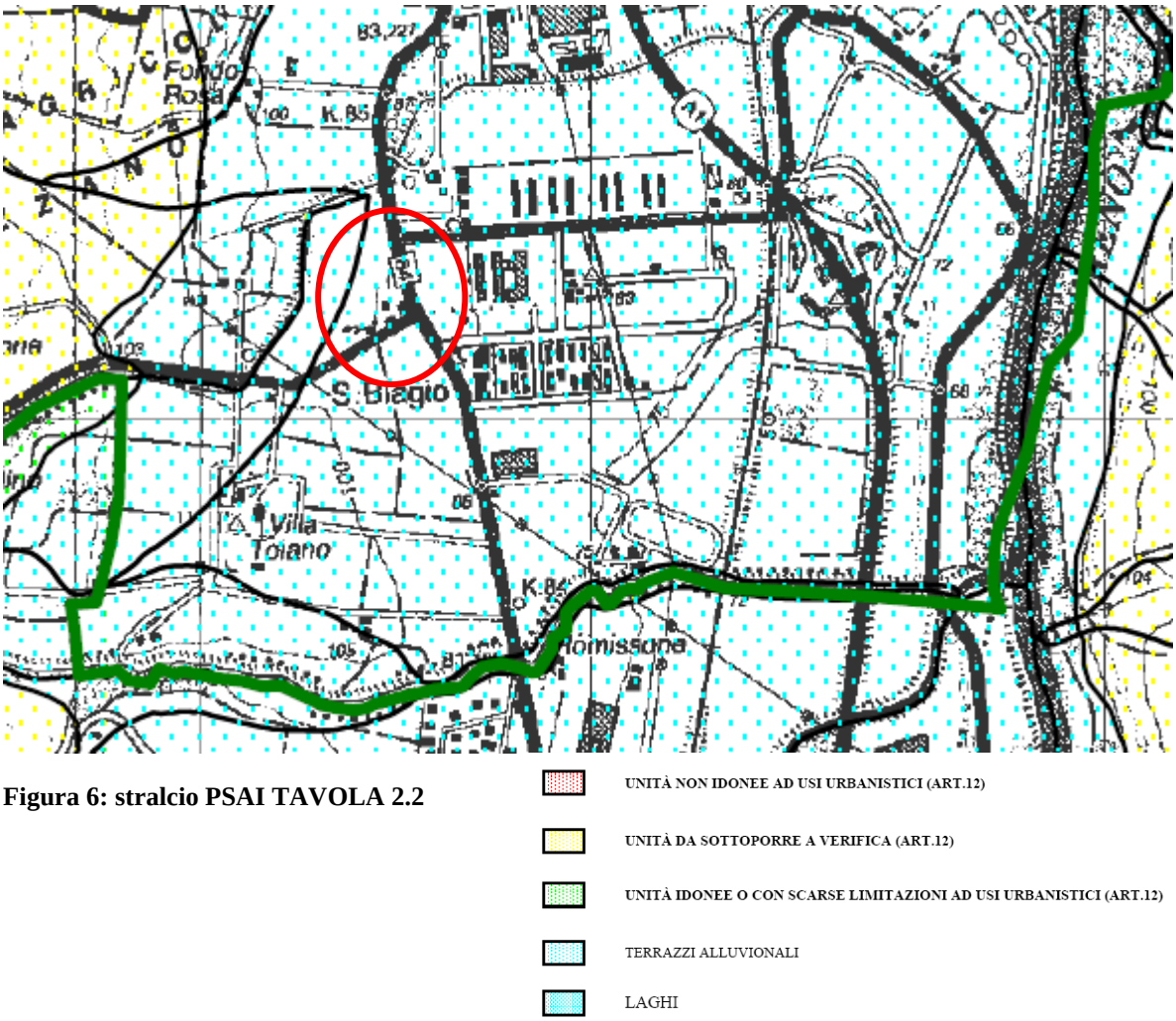


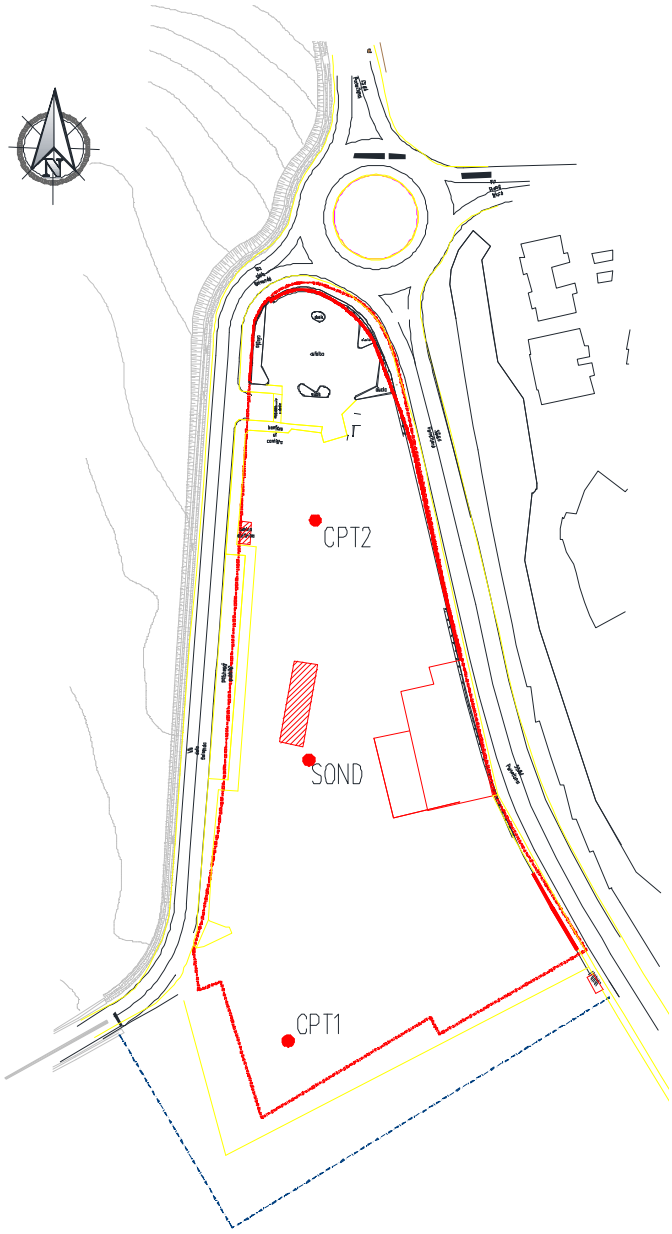
Figura 6: stralcio PSAI TAVOLA 2.2

4. INDAGINE GEOGNOSTICA DI CAMPAGNA PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

L'indagine geognostica è consistita in:

- due prove penetrometriche statiche (CPT);
- uno stendimento sismico, che verrà valutato più avanti:
- un sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di due campioni da sottoporre a prove di laboratorio.

Le prove penetrometriche, come indicato dalla planimetria sotto allegata, sono state realizzate una a Nord dell'area e una a Sud e tra le due CPT è stato realizzato il sondaggio a carotaggio continuo.



Le due Cone Penetration Test (CPT) sono state realizzate con un penetrometro statico PAGANI da 20 tonn. Lo strumento è munito di punta meccanica tipo Begemann con le seguenti caratteristiche: apertura conica di 60° e superficie di 10 cmq per la misurazione della resistenza alla punta; manicotto di frizione ("friction jacket") con superficie di 150 cmq per la misurazione dell'attrito locale laterale.

La punta viene infissa nel terreno ad una velocità costante per mezzo di aste cave del diametro di ø 36 mm. I punti in cui sono state eseguite le prove sono ubicati sulla planimetria presente a pagina 10.

La distribuzione delle prove penetrometriche e la profondità raggiunta contribuiscono ad un buon inquadramento dell'area di

progetto, per l'inserimento nel PUA dell'area.

Le profondità massime raggiunte dalle CPT rispetto al piano campagna attuale sono le seguenti:

	Profondità:
CPT n° 1	12,00 m
CPT n° 2	12,00 m

Dai risultati ottenuti in campagna si può osservare certa disomogeneità laterale dovuta anche al contesto deposizionale in cui ci si trova e che sicuramente dipendeva dai materiali trasportati dal Rio Bolsenda, nei vari periodi di magra e di piena.

All'interno dei fori di prova, limitatamente al periodo di esecuzione delle CPT, con l'ausilio di un freatimetro elettronico è stato possibile verificare l'assenza di acqua di falda:

data	***Rif. CPT***	***Q. acqua*** *riferita al p.c.*	***Q. chius. Foro*** *riferita al p.c.*
12 - 04 - 2018	p.to 1	assente	foro aperto
12 - 04 - 2018	p.to 2	assente	foro aperto

Dalla lettura dei dati ottenuti con le CPT, riportati negli Allegati, è stato possibile ricostruire l'andamento delle curve della resistenza alla punta (curva "qc" = Kg/cm2) e della resistenza all'attrito laterale locale (curva "fs" = Kg/cm2).

La rappresentazione grafica di queste curve è riportata in apposite tabelle. Dal rapporto tra i valori di "qc" ed "fs", mediante l'applicazione della teoria di Schmertmann, si è quindi giunti ad una classificazione dei terreni.

4.1 SONDAGGIO

Il sondaggio è stato realizzato 16-04-2018 in zona centrale tra le due prove penetrometriche, spingendolo fino alla profondità di oltre i 12.0m rispetto al piano campagna.

Lo strumentazione utilizzata è una perforatrice CMV MK900 D1 munita di carotiere semplice del diametro ∅100mm e per il campionamento indisturbato, è stato

utilizzato un campionatore tipo shelby, dove il campione una volta prelevato viene paraffinato per mantenere inalterate le caratteristiche di umidità naturale.

I due campioni sono stati prelevati alle seguenti profondità:

- campione C1 2.0-2.5m
- campione C2 5.0-5.5m

Al termine del sondaggio all'interno del foro è stato installato un piezometro tipo Norton, per poter misurare nel tempo la possibile presenza di una falda. In tal senso in data 10-05-2018 è stato controllato il piezometro che risulta vuoto.

Figura 7: sondaggio

4.2 PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

Il campione C1 prelevato con il sondaggio a carotaggio continuo, è stato sottoposto a prove di laboratorio per determinarne le caratteristi sedimentarie (granulometria) e per ottenere il parametro geotecnico dell'indice di plasticità dai limiti di Atterberg.

I limiti di Atterberg o limiti di consistenza vengono effettuati su terreni a grana fine (limi, argille). I limiti di consistenza sono dei contenuti d'acqua (w) corrispondenti ai

limiti di separazione tra due stati fisici del terreno contigui. I terreni sono caratterizzati da tre limiti: Limite Liquido (wl): minimo contenuto d'acqua per il quale il terreno scorre per effetto di una piccola pressione e si comporta come un fluido viscoso. Limite Plastico (wp): minimo contenuto d'acqua per il quale il terreno può essere deformato plasticamente senza frantumarsi. Limite di Ritiro (wr): contenuto d'acqua al di sotto del quale il terreno non subisce più riduzione di volume se viene essiccato. Dalla conoscenza dei limiti di Atterberg si possono ricavare una serie di indici come:

- Indice di plasticità PI = Wl-Wp
- Indice di attività A = PI/CF, CF=% in peso della frazione argillosa.
- Indice di liquidità LI = (Wn-Wp)/PI ; Wn contenuto d'acqua naturale.
- Indice di consistenza IC = (Wl-Wn)/PI

Nel nostro caso per lo studio della sismicità di sito, interessa l'indice di plasticità. Gli indici vengono usati per classificare i terreni a grana fina (sistema di classificazione di Casagrande, Skempton etc).

5. MODELLO GEOLOGICO

Come riportato dalle prove CPT eseguite in loco e dal sondaggio, si può desumere un modello geologico così descritto:

- 0.0-1.0/2.4m argille limose mediamente consistenti di colore marrone con presenza di calcinelli
- 1.0/2.4-6.2m limi argillosi debolmente sabbiosi; andando verso sud (verso CPT1) lo strato scompare mentre verso Nord (CPT2) si assottiglia;
- 6.2-7.2m limi argillosi. In corrispondenza della CPT1 si trova tra -1.2m e 4.2m in sostituzione dello strato più sabbioso;
- 7.2-8.5 sabbie limose con presenza all'interno di ciottoli a spigoli vivi e arrotondati. In corrispondenza della CPT2 lo strato tende a scomparire, si registrano solo dei picchi per l'aumento di resistenza alla punta, dovuta alla presenza di qualche ciottolo sparso;
- 8.5-12.0m limi argillosi mediamente consistenti di colore bruno.

Per un maggior dettaglio si veda la stratigrafia allegata del sondaggio.

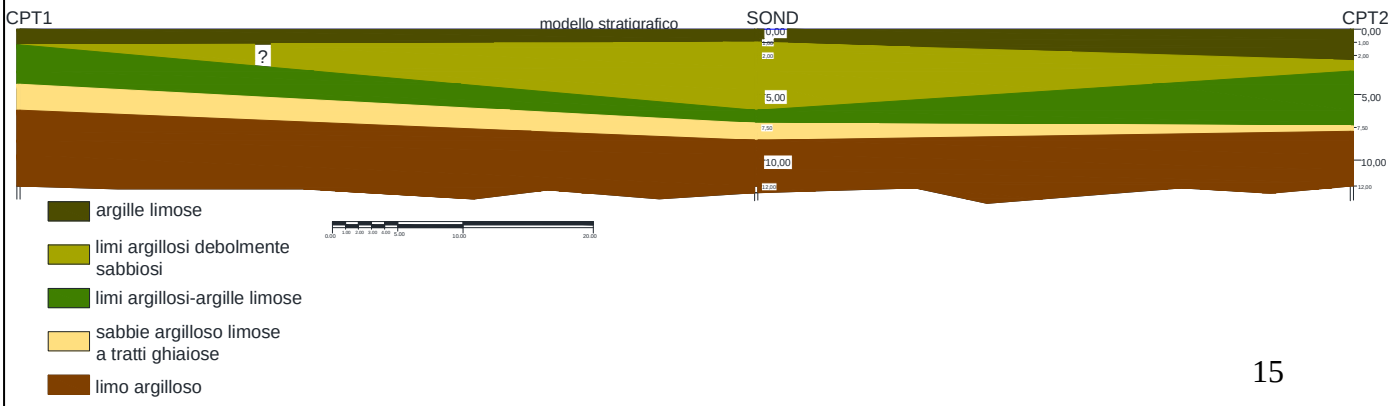
I parametri medi desunti dalle prove CPT, sono:

CPT 1

profondità	Descrizione litologica	γ t/m^3	Cum kg/cm^2	φ°
0.00-1.20	argille limose	1.85	0.80	-
1.20-4.20	limi argillosi	1.90	1.04	-
4.20-6.20	sabbie limose (pesenza di ghiaiae)	1.90	-	30
6.20-12.00	argille argilla limosa	1.95	0.85	-

CPT 2

profondità	Descrizione litologica	γ t/m^3	Cum kg/cm^2	φ°
0.00-2.40	argille limose	1.85	1.00	-
2.40-3.20	argille lomose debolm. sabbiose	1.90	-	30
3.20-12.00	argille limose (presenza di ciottoli)	1.95	0.92	-



7. SISMICITÀ

L'Emilia-Romagna è quasi interamente incorporata nel dominio strutturale della catena appenninica esterna e presenta nel complesso, una sismicità frequente che, rispetto alla sismicità nazionale, può essere definita media attività e intensità, con eventi storici contraddistinti da una magnitudo massima compresa mediamente tra 5.5 e 6.0 della scala Richter ed intensità del IX°-X° grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS).

La distribuzione spaziale dei terremoti rispecchia la distribuzione e la frequenza delle principali strutture attive riconosciute sul territorio che risultano essere localizzate in corrispondenza di tre distinti settori:

- il settore di crinale appenninico, coincidente grossomodo con il fronte di accavallamento delle unità tettoniche di Cervarola e Falterona sulle Liguridi (settore emiliano) e sulla Marnoso-Arenacea (settore romagnolo);

- il margine appenninico-padano;

- le Pieghe Emiliane, Ferraresi e Romagnole.

La Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna alla scala 1:250.000, oltre alla definizione della pericolosità sismica locale e all'individuazione di strutture potenzialmente sismogenetiche, offre anche un quadro delle relazioni fra attività tettonica attuale e i rischi naturali. In detto lavoro, infatti, l'analisi comparata della sismicità e delle strutture attive, evidenti per la loro espressione sia morfologica che geologica, unitamente ad una riconsiderazione dei dati disponibili sui movimenti verticali del suolo (sollevamento dei terrazzi alluvionali, subsidenza, evoluzione del reticolo idrografico) e alla ricostruzione delle isobate delle 2 principali e più recenti superfici di discontinuità del sottosuolo (rispettivamente 450.000 anni, base del SERS, e 10.000 anni, base dell'Olocene), ha permesso di ottenere un quadro neotettonico e sismotettonico ben definito del territorio regionale e locale.

La sismicità legata alle strutture superficiali, con ipocentri posti mediamente a profondità inferiore a 15Km, risulta molto diffusa nei settori di catena, mentre appare più localizzata nelle aree di pianura, come in corrispondenza degli archi emiliano-ferraresi. Analoga distribuzione, ma con una densità minore, presenta la sismicità crostale, cioè caratterizzata da ipocentri mediamente compresi tra 15 e 35Km di

profondità. Per quanto riguarda la sismicità questa è legata alle strutture più profonde, caratterizzata da sismi con ipocentri posti tra 35 e 50 km, i settori più attivi sono quelli di catena e del margine appenninico-padano.

Riferendosi ai territori più colpiti dagli eventi sismici del 2012 sono state rilevate intensità macrosismiche mediamente pari o superiori al VI grado della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), con punte pari al VII-VIII grado. Nell'area di studio, le massime intensità macrosismiche rilevate sono state generalmente inferiori al IV grado. Per quanto riguarda i sismi che hanno interessato l'area in esame, o che hanno prodotto effetti significativi nella stessa, prima degli eventi del 2012, dall'esame della Carta Sismo-tettonica della Regione Emilia-Romagna, figura 8, si può evidenziare, sulla base dei rilievi dei dati macrosismici, come gli epicentri dei principali terremoti, caratterizzati da valori massimi di magnitudo compresi tra 5.0 e 5.5, risultino essere distribuiti, prevalentemente, lungo il sistema di strutture tettoniche associate al Sovrascorrimento Frontale Pede-appenninico.

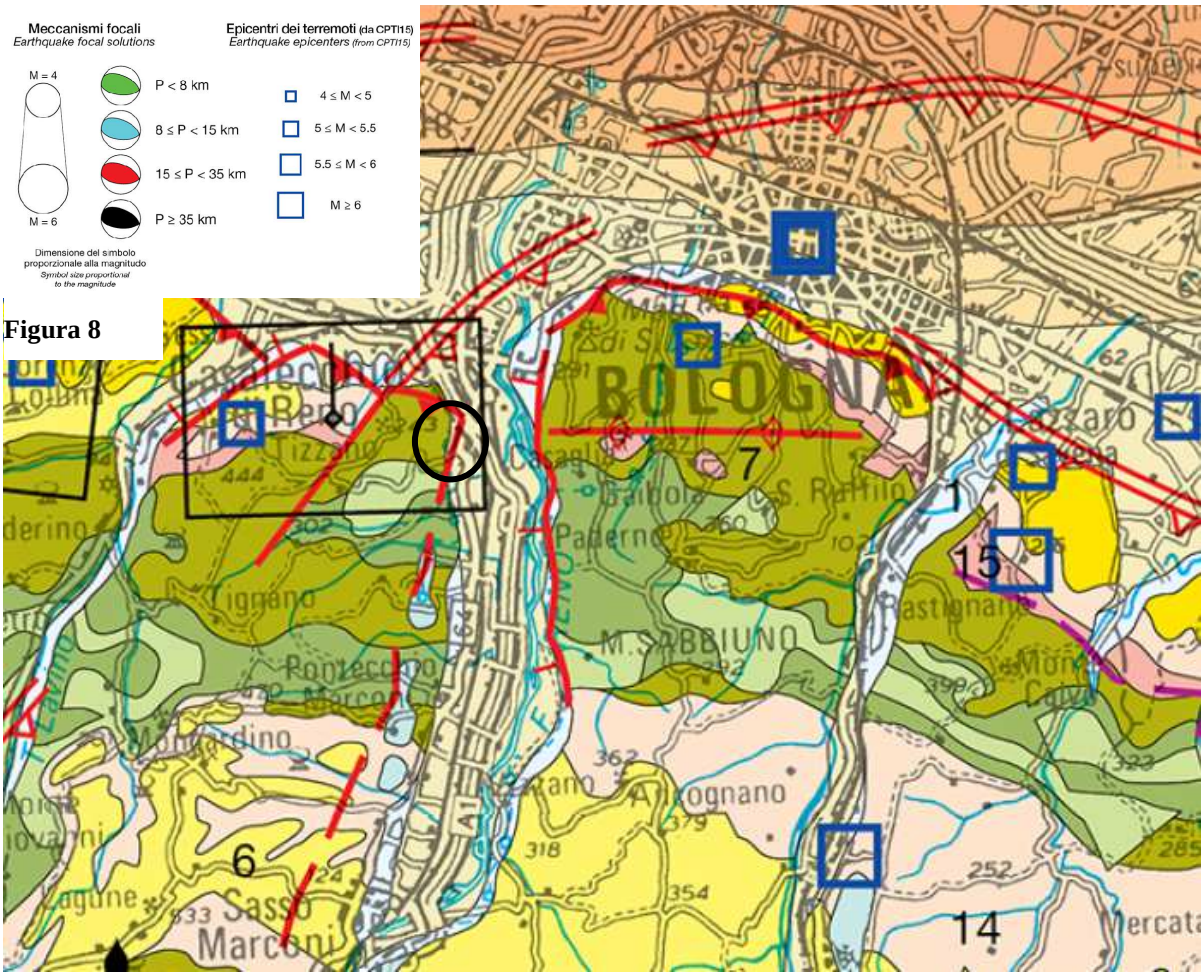
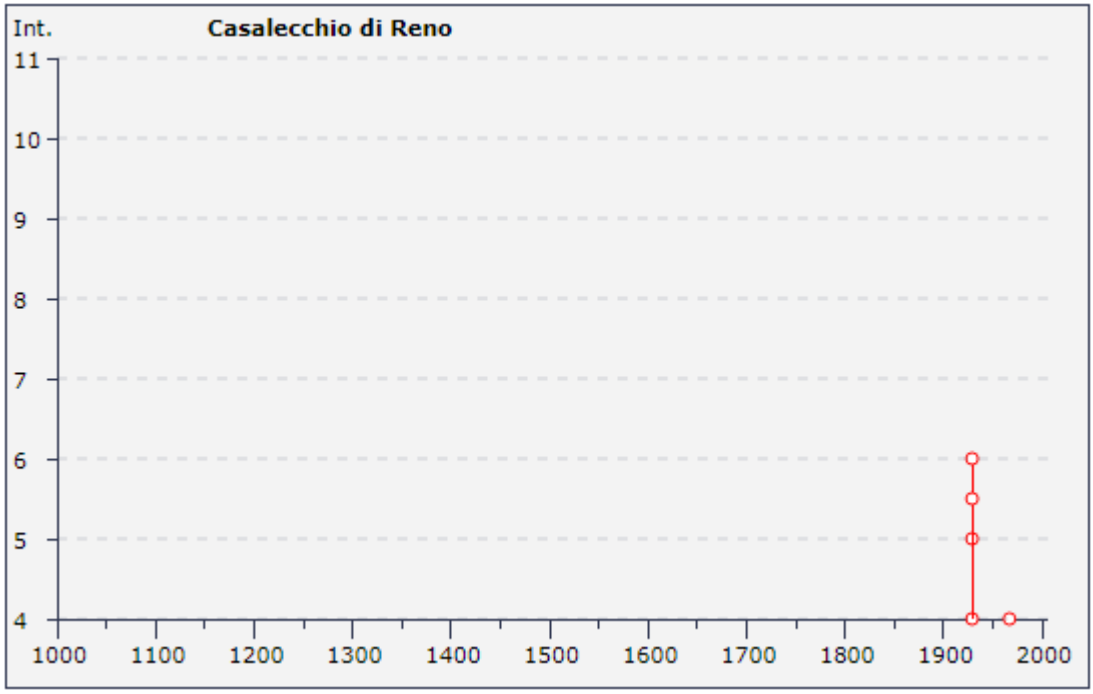


Figura 8

7.1 SISMICITÀ DEL TERRITORIO

Risalendo alla legge 02-02 del 1974 la n. 64, secondo quello che era il DM del 03-06 del 1981, si evidenzia che in base all'Elenco dei Comuni ad alto rischio sismico (Legge 22-12-1997 n. 449, art. 12) allegato all'Ordinanza P.C.M.12.06.1998 il territorio comunale di Casalecchio di Reno non era classificato.

La nuova normativa sismica, con l'entrata in vigore del O.P.C.M 3274 del 20 marzo 2003 ed in relazione alle emanazioni delle delibere della Giunta regionale 2329/2004 e 1677/2005, il territorio comunale diventa "zona sismica 3" e nello specifico alla zona 3 corrisponde un grado si sismicità S = 6 (basso grado). La storia sismica del comune di Casalecchio di Reno viene ricavata dal link dell'INGV (DBMI11), dove si trovano le macrosismiche di terremoti italiani utilizzati per la compilazione del catalogo parametrico CPTI11.



Il diagramma sopra riportato mette in evidenza i eventi censiti, la tabella che segue vengono elencati gli eventi di maggior intensità del sito.

Seismic history of Casalecchio di Reno [44.478, 11.277]					
Total number of earthquakes: 12					
Effects	Earthquake occurred:				
I[MCS]	**DATA**	**EPICENTRO**	**Np**	**Io**	**Mw**
5	1929 04 10 05:43:12	Bolognese	87	7	5.03 ±0.13
4	1929 04 12 00:32:12	Bolognese	7		5.09 ±0.37
6	1929 04 19 04:15:22	Bolognese	82		
5-6	1929 04 20 01:09:46	Bolognese	109	7	5.34 ±0.13
NF	1965 11 09 15:35:01	ALTA V. SECCHIA	32	5	4.74 ±0.25
4	1967 12 30 04:19:20	BASSA PADANA	40	6	5.24 ±0.19
3-4	1971 07 15 01:33:23	Parmense	229	8	5.64 ±0.09
NF	1986 12 06 17:07:20	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
NF	1987 05 02 20:43:53	Reggiano	802	6	4.74 ±0.09
3-4	1992 04 17 11:59:09	Monteveglio	56	4-5	4.32 ±0.18
NF	2000 05 10 16:52:12	Emilia Romagna	151	5-6	4.86 ±0.09
NF	2000 06 18 07:42:08	Parmense	300	5-6	4.43 ±0.09

Dalla tabella si nota che il massimo evento sismico censito si è verificato il 10 maggio 2000. L'epicentro è indicato genericamente in Emilia Romagna. Il terremoto è stato caratterizzato da una magnitudo momento, calcolata sulle onde di superficie (Mw) pari a 4,86 con un'intensità epicentrale pari a 5-6. Nell'elenco di tabella non sono ancora stati riportati gli eventi più recenti.

7.2 ZONAZIONE SISMOGENETICA

L'area del comune di Casalecchio di Reno risulta essere a margine dalla zona sismogenetica 913 denominata "Appennino Emiliano Romagnolo". La figura sotto riportata (Zonazione sismogenetica ZS9) mostra il comportamento cinematico atteso delle strutture sismogenetiche nelle varie zone del territorio nazionale. La carta propone la suddivisione del territorio nazionale in fasce che presentano al loro interno requisiti di omogeneità in relazione alle caratteristiche geo-strutturali, cinematiche e sismiche.

L'area di studio pur essendo a confine con la zona sismogenetica 913 i valori di massima magnitudo attesa sono pari a Mwmax = 6,14. aumentando il dettaglio delle informazioni disponibili dal catalogo delle sorgenti sismogenetiche italiane DISS 3.1.1 si arriva ad ottenere che l'area di studio si colloca a ridosso della fascia sismogenetica ITCS047 "Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme" a cui viene attribuita una magnitudo momento massima pari a Mwmax = 5,60. È stata individuata una faglia sismogenetica rappresentativa dell'area identificata ITIS091 "Casalecchio

di Reno" con una magnitudo momento massima attribuita pari a Mwmax = 5,50. Si ricorda in breve che una sorgente sismogenetica composita è una regione allungata, contenente un numero imprecisato di sorgenti sismogenetiche allineate che non possono essere individuate singolarmente. Pertanto il territorio sismicamente è stato interessato da eventi significativi di cui bisognerà tenere conto in fase progettuale.

La mappatura comunque non introduce grandi novità rispetto alle precedenti zonazioni.

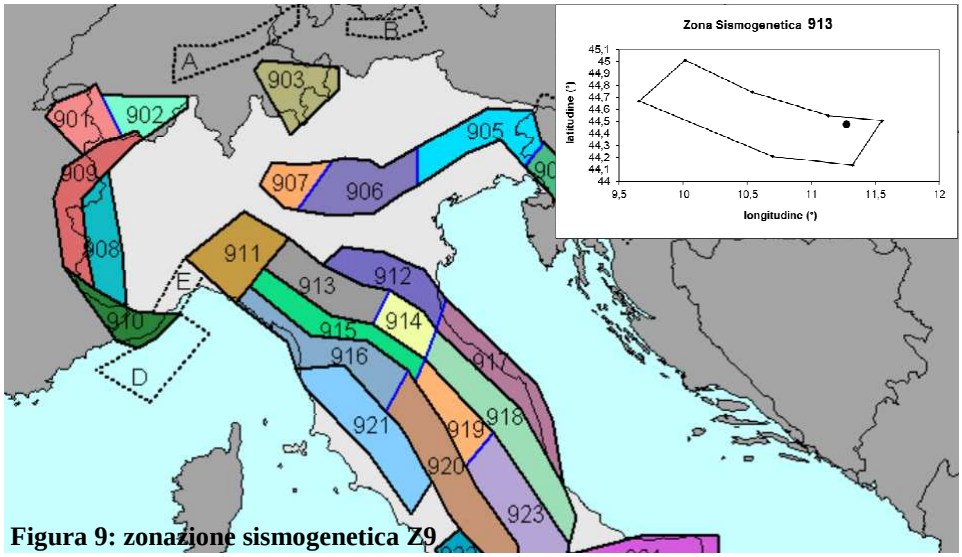


Figura 9: zonazione sismogenetica Z9

Di seguito si riporta la mappa delle faglie attive per quanto riguarda la bassa valle del Reno.

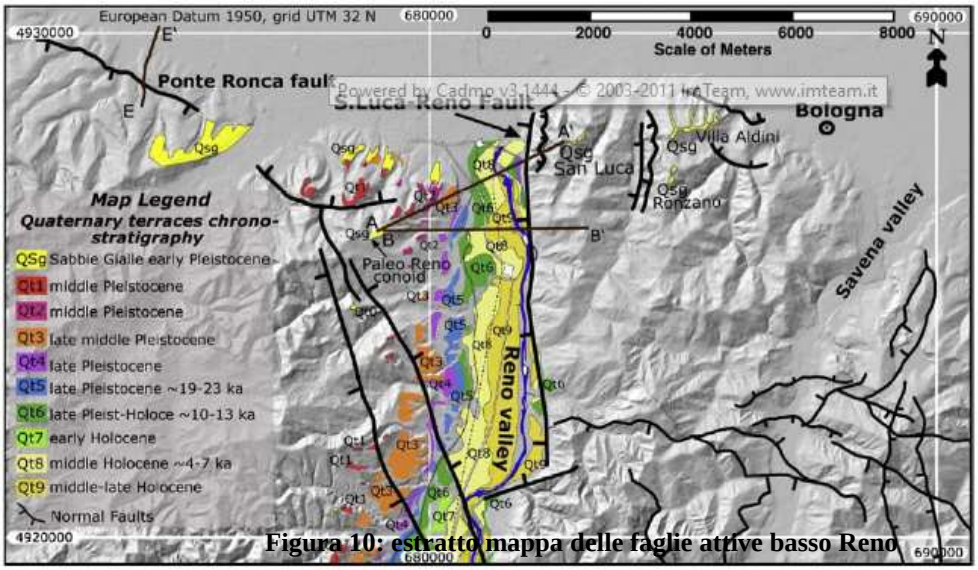


Figura 10: estratto mappa delle faglie attive basso Reno

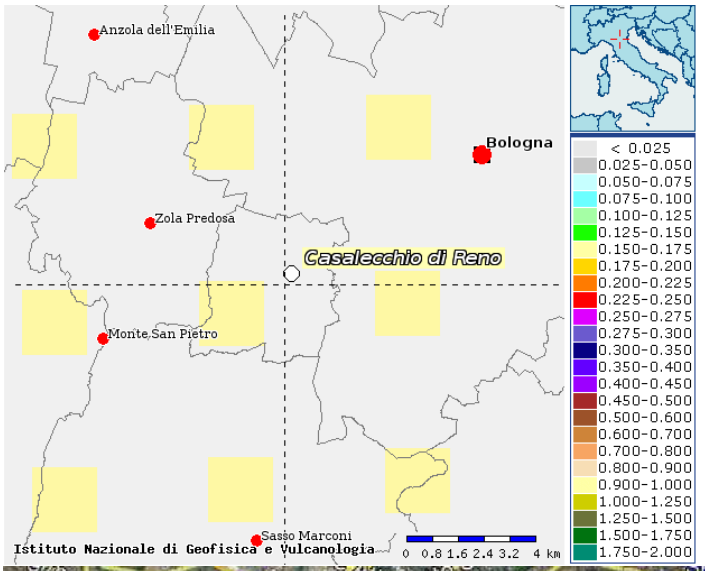
7.3 PERICOLOSITÀ SISMICA

La pericolosità sismica di un territorio è rappresentata, genericamente, dalla frequenza e dalla forza dei terremoti che lo interessano.

Con l'approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008 (di seguito NTC08 e NTC2018), riferite ad un ambito più strettamente progettuale, e stato modificato l'impianto concettuale di attribuzione del grado di sismicità per i comuni. Infatti, se all'origine della classificazione sismica vi era la necessità di suddividere i comuni per attribuire loro una zona, ovvero per attribuirvi l'azione sismica associata a quella zona, con la nuova normativa l'azione sismica viene direttamente attribuita a partire dai dati di sito, sulla base delle relative coordinate. Pertanto la necessità normativa di attribuire ai comuni una zona sismica resta solamente in essere per procedure di tipo amministrativo (controlli sulla progettazione edilizia) e in parte per fini progettuali (limitazioni sull'uso di determinate tecnologie).

L'NTC18 prescrive, come già era presente nell'NTC08, come l'azione sismica sulle costruzioni sia valutata a partire dai dati di sito. In tal senso, sulla base della nuova zonazione sismogenetica "ZS9", più coerente con il quadro sismo-tettonico attualmente disponibile, e con le nuove conoscenze acquisite sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche, che hanno portato alla compilazione della "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" (come da figura sotto riportata), i valori di pericolosità sismica, espressi in termini di accelerazione massima ag su suolo rigido con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, sono stati calcolati su una griglia (reticolo di riferimento) costituita da oltre 16.000 nodi (nelle NTC i nodi sono poco più di 10.000 essendo state ridotte le aree in mare). L'esame della mappa probabilistica di pericolosità sismica del territorio comunale mette in luce valori di accelerazione massima al suolo, calcolati per probabilità di superamento in 50 anni del 10%, variabili tra 0.150 e 0.175. Le stime di pericolosità calcolate per i nodi sono poi state elaborate per la stesura delle NTC18, al fine di ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica, cosi come contenuti nell'Allegato A delle NTC18 stesse. Per qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

contenente il punto in esame. Per il sito oggetto i nodi di riferimento sono quelli riportati nella figura satellitare sotto riportata.



8. ANALISI SISMICA SITO DIPENDENTE

Come già accennato per l'analisi sismica sito dipendente è stato realizzato uno stendimento sismico per l'acquisizione delle onde di taglio, nei primi trenta metri di spessore dei terreni in loco, con denominazione dello stendimento: Vs30 SMIRNE 1NE-24SW.

Figura 11: ubicazione stendimento sismico

8.1 CATEGORIA DI SUOLO

Lo stendimento (SMIRNE 1NE-24SW) è composto da 24 geofoni con spaziatura tra geofono e geofono di 5,00 m, per una lunghezza complessiva di 115,00 m. I dati sono stati registrati mediante un sismografo RAS della SEISTRONIX con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 2 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di circa 32 secondi; i collegamenti elettrici sono stati realizzati mediante cavi De Regt; i geofoni utilizzati sono del tipo verticale SM-4 con frequenza propria di 10Hz.

Complessivamente sono stati registrati 10 files ad intervalli irregolari nell'arco di circa 1 ora di tempo. La metodologia teorica utilizza è che le onde superficiali di Raylegh per la determinazione dei parametri di comportamento meccanico dei terreni a bassi livelli di deformazione, modulo di taglio e coefficiente di smorzamento si basa sulle proprietà dispersive che queste onde subiscono durante l'attraversamento dei terreni.

Le onde superficiali sono onde sismiche che si propagano parallelamente alla superficie del terreno, la cui ampiezza diminuisce esponenzialmente con la profondità e la cui energia si propaga in una fascia superficiale corrispondente a circa una lunghezza d'onda λ. In un mezzo reale, caratterizzato da proprietà meccaniche variabili con la profondità, le onde superficiali, in funzione di λ, penetrano strati con diverse caratteristiche e quindi la loro propagazione ne risulta influenzata in termini di velocità e tempi di arrivo, conseguentemente le onde con λ differente si propagano a velocità di fase (cf) differente e pertanto si separano lungo il loro tragitto. Tale fenomeno è noto come dispersione. Il metodo REMI pertanto, così come altre metodologie che analizzano le onde superficiali, utilizza il fenomeno della dispersione per ottenere informazioni indirette sulle proprietà fisiche e reologiche del terreno, tra cui la densità, i parametri elastici e le velocità delle onde di taglio. L'acquisizione in campagna si avvale di un numero variabile di geofoni (da 12 a 24) allineati e spaziati, come abbiamo già detto, tra loro in modo regolare.

Il metodo è di ottenere, dall'elaborazione, una curva di dispersione sperimentale velocità di fase – frequenza (cf -f), la cui forma è associata alle proprietà meccaniche del terreno da indagare. Tale curva si può ottenere seguendo differenti metodologie di elaborazione del campo d'onda (trasformata tempo di ritardo-slowness τ-p, trasformata f-k). Il risultato è una nuova rappresentazione del campo d'onda dal dominio spazio-tempo a quello frequenza-slowness o frequenza-velocità di fase (la slowness è infatti il reciproco della velocità). Dato che le onde superficiali mostrano le ampiezze e le durate maggiori nel dominio spazio-tempo, anche nel dominio frequenza-velocità di fase, i massimi dello spettro saranno relativi alle differenti frequenze con cui si propagano le onde superficiali stesse.

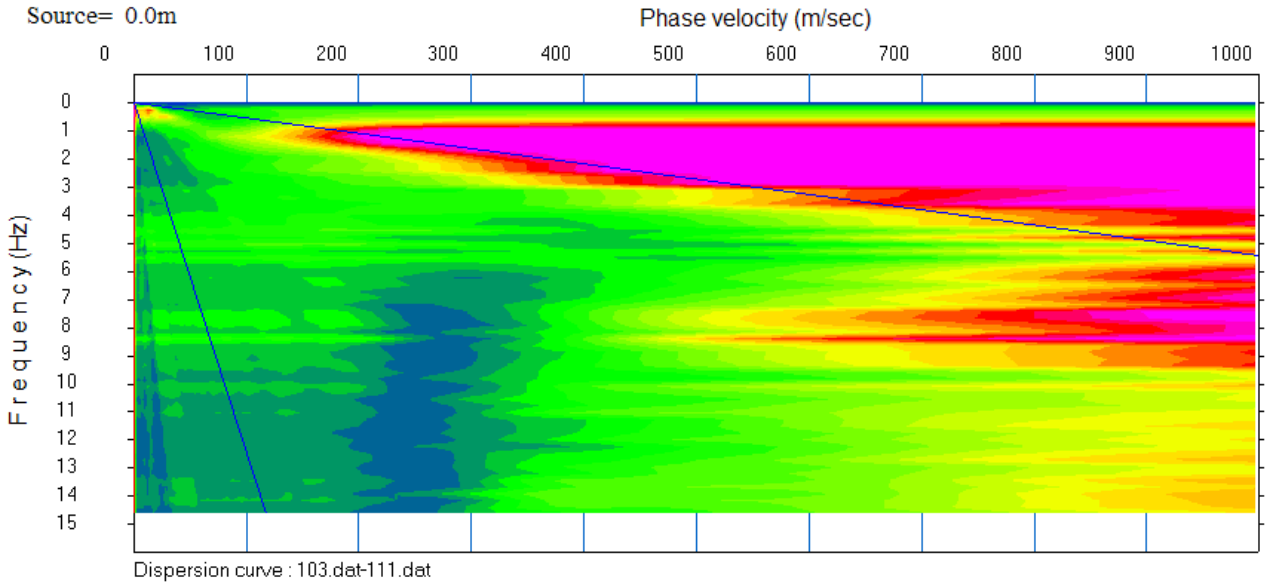
Dall'estrazione delle coppie frequenza-velocità di fase corrispondenti ai massimi d'intensità dello spettro si deriva la curva di dispersione sperimentale. In realtà, l'interpretazione degli spettri risulta spesso complicata dall'intrecciarsi dei modi

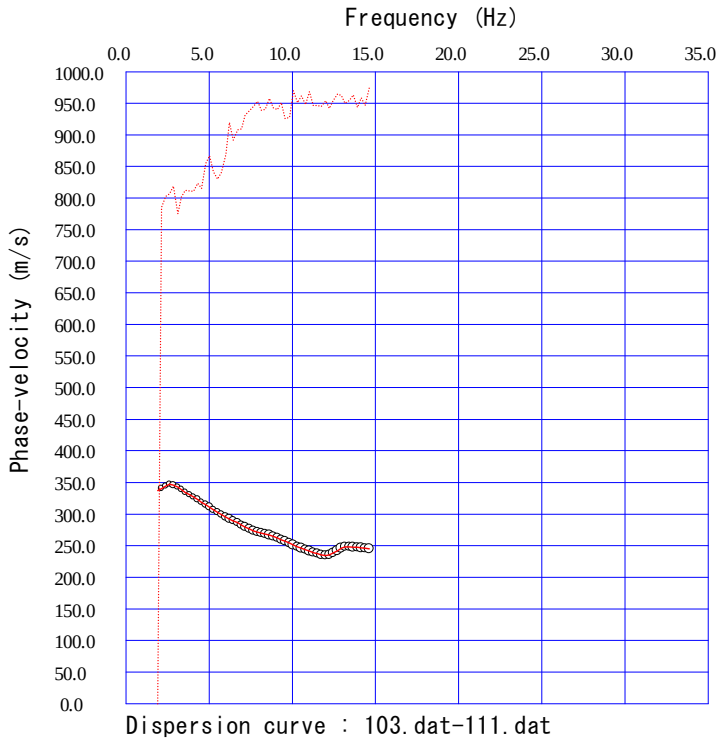
superiori rispetto a quello fondamentale e/o alla generazione e propagazione di onde guidate.

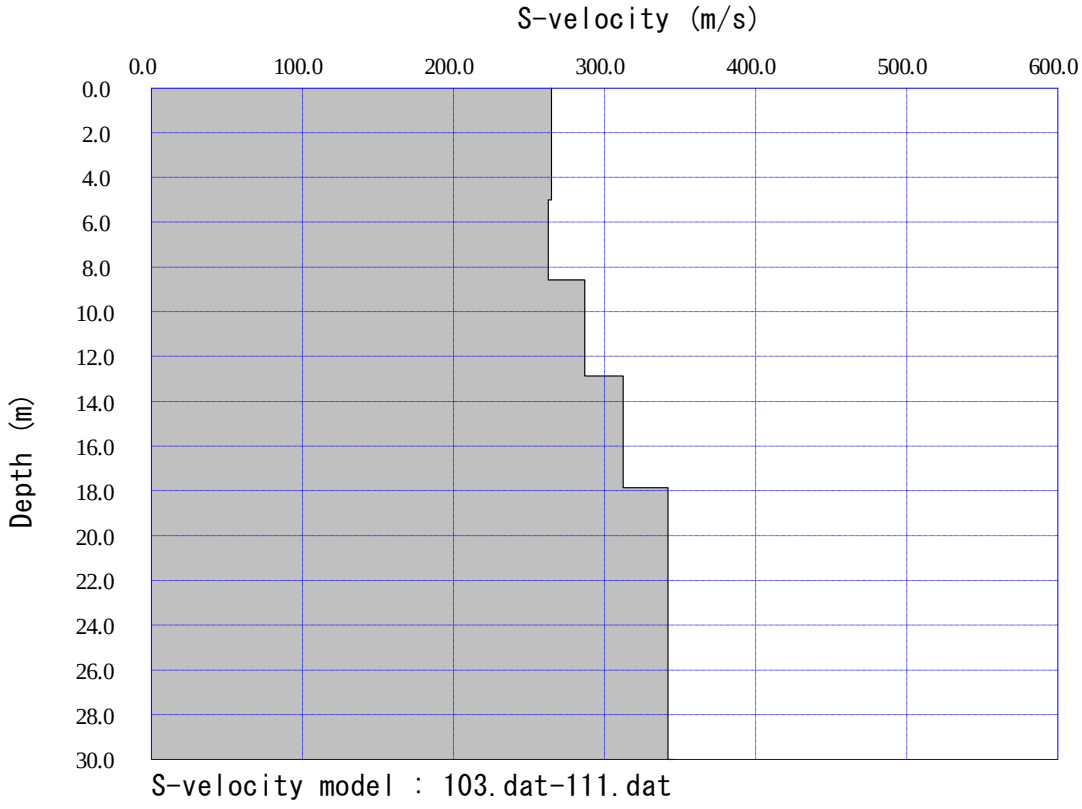
Per l'acquisizione dei dati si è quindi proceduto alla registrazione dei 10 files di acquisizioni con *Noise di Fondo*, cioè il naturale rumore di fondo, implementate con energizzazione manuale tramite massa battente. Con appropriate modellazioni si è arrivati a produrre il profilo di velocità delle onde S, da cui si è calcolato il valore medio espresso dalla Vs30.

L'interpretazione degli spettri può essere ottenuta dalla comparazione tra spettro osservato, sovrapponendolo a delle curve di dispersione teoriche per i diversi modi di un modello ritenuto plausibile per l'area in esame (Dal Moro, 2008). Dalla definizione del profilo di velocità delle onde di taglio è poi necessario procedere alla fase d'inversione della curva di dispersione ottenendo così il modello delle proprietà fisiche del sottosuolo.

Il valore medio per la classificazione nei primi trenta metri dei terreni, ottenuto dal lineamento SMIRNE 1NE-24SW è di 300 m/sec, quindi con una classificazione dei terreni di fondazione di tipo C. Si tratta di depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 ÷ 360 m/sec (15<NSPT<50 ÷ 70>Cu>250kPa).




Frequency (Hz)
0.0
5.0
10.0
15.0
20.0
25.0
30.0
35.0
Phase-velocity (m/s)
1000.0
950.0
900.0
850.0
800.0
750.0
700.0
650.0
600.0
550.0
500.0
450.0
400.0
350.0
300.0
250.0
200.0
150.0
100.0
50.0
0.0
Dispersion curve : 103.dat-111.dat


S-velocity (m/s)
0.0
100.0
200.0
300.0
400.0
500.0
600.0
Depth (m)
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
14.0
16.0
18.0
20.0
22.0
24.0
26.0
28.0
30.0
S-velocity model : 103.dat-111.dat

I tre grafici sopra riportati rappresentano, lo spettro di frequenza/fase di velocità, la curva di dispersione e il profilo di velocità Vs, desunti ed elaborati dalle registrazioni dei microtremori acquisiti in campagna secondo un modello predefinito che vede i ricevitori (geofoni) posizionati in modo equidistante lungo una linea retta, come citato sopra.

6.2 PARAMETRI SISMICI

Di seguito vengono riportati i parametri sismici, riferiti ad una classe d'uso II, come comunicato allo scrivente dal progettista delle opere, riguardante opere il cui uso preveda una normale presenza di persone. Come già assunto in precedenza la categoria di suolo, nei primi trenta metri di profondità è la C e come fattore topografico si adotta T1 trovandoci in zona di piana alluvionale:

Parametri sismici
Tipo di elaborazione: opere di fondazione

Sito in esame.
latitudine: 44,456959
longitudine: 11,270272
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 16951	Lat: 44,4637	Lon: 11,2493	Distanza: 1825,870
Sito 2	ID: 16952	Lat: 44,4650	Lon: 11,3193	Distanza: 3991,639
Sito 3	ID: 17174	Lat: 44,4150	Lon: 11,3211	Distanza: 6165,034
Sito 4	ID: 17173	Lat: 44,4137	Lon: 11,2512	Distanza: 5041,259

Parametri sismici
Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
ag:	0,055	g
Fo:	2,485	
Tc*:	0,257	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	50	[anni]
ag:	0,068	g
Fo:	2,481	
Tc*:	0,270	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,165	g
Fo:	2,406	
Tc*:	0,303	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,208	g
Fo:	2,425	
Tc*:	0,314	[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss:	1,500
Cc:	1,640
St:	1,000
Kh:	0,016
Kv:	0,008
Amax:	0,808
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,460
Cc:	1,560
St:	1,000
Kh:	0,058
Kv:	0,029
Amax:	2,364
Beta:	0,240

SLD:

Ss:	1,500
Cc:	1,620
St:	1,000
Kh:	0,020
Kv:	0,010
Amax:	1,004
Beta:	0,200

SLC:

Ss:	1,400
Cc:	1,540
St:	1,000
Kh:	0,082
Kv:	0,041
Amax:	2,856
Beta:	0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Coordinate WGS84

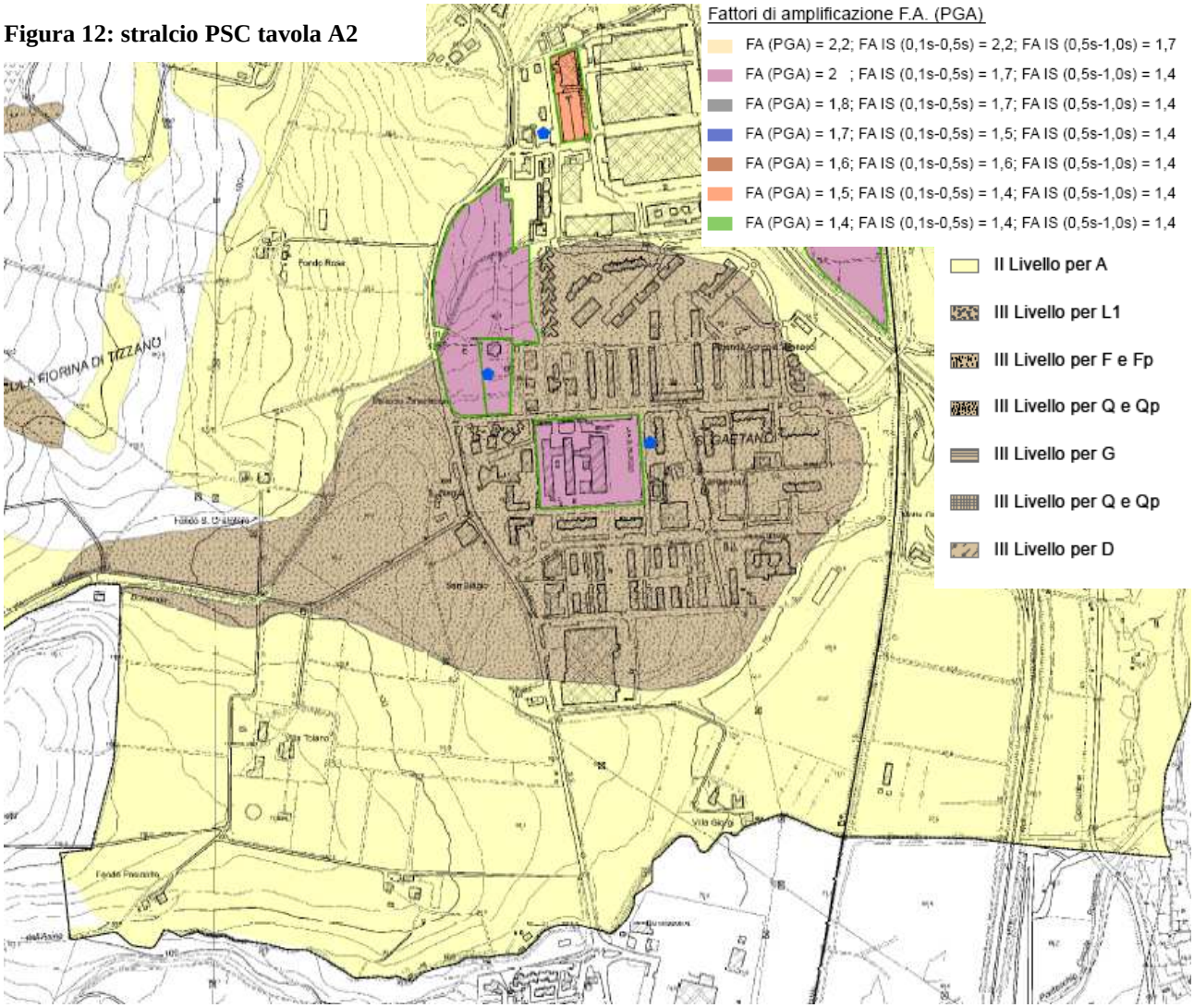
latitudine: 44.456018

longitudine: 11.269278

9. ANALISI SISMICA

Dalla cartografia disponibile sul sito tematico del Comune di Casalecchio di Reno, l'area oggetto di studio rientra in uno studio di terzo livello, stralcio della quale viene riportato di seguito.

Figura 12: stralcio PSC tavola A2



Qui di seguito quindi verrà completato lo studio di risposta sismica locale al fine di determinare i coefficienti di amplificazione sismica rispetto a un suolo di riferimento, in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0). Questo studio rientra in una analisi di III livello per la pianificazione territoriale e

urbanistica, come richiesto dall'organo competente. L'input sismico viene dato dai dati forniti dalla Regione Emilia-Romagna per il territorio di Casalecchio di Reno.

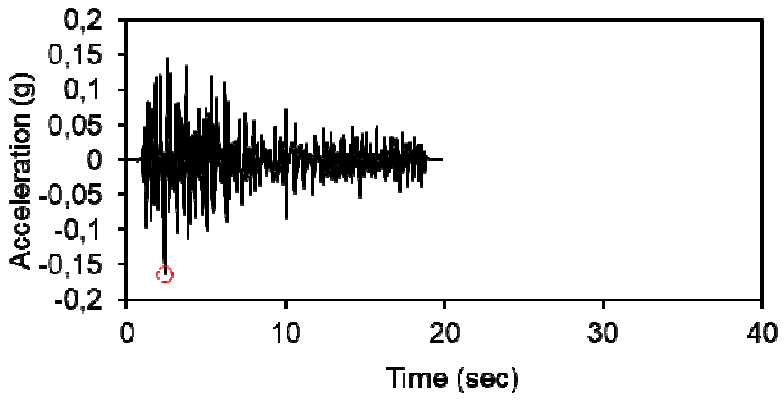
9.1 ANALISI III LIVELLO

Il substrato sismico viene definito come lo strato sismico in cui le V_S raggiungono una velocità maggiore o uguale a 800 m/s.

Nel caso in esame la profondità del substrato sismico è stata ricavata per interpolazione con l'analisi delle Vs30 effettuata in campo con metodologia REMI, ottenendo così come risultato, una profondità stimata di circa 200.0m.

Per la seguente analisi sono stati utilizzati i tre segnali riferiti al Comune di Casalecchio di Reno, forniti dalla Regione Emilia-Romagna reperibili nel proprio sito internet, e di seguito riportati:

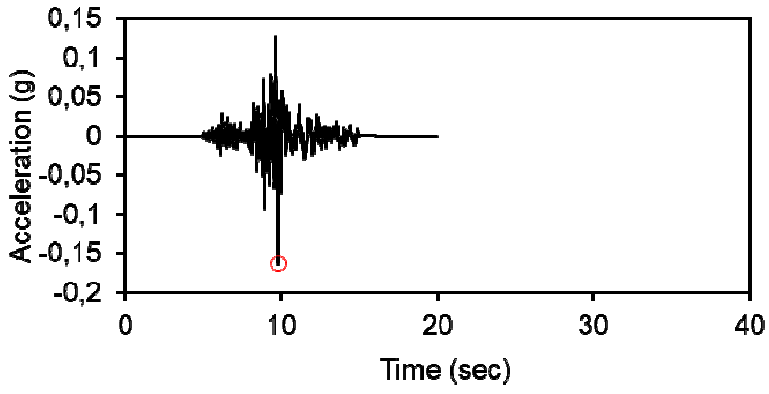
000046xa_037008 Casalecchio di Reno



Peak Acceleration in input file (g) = -0.1668

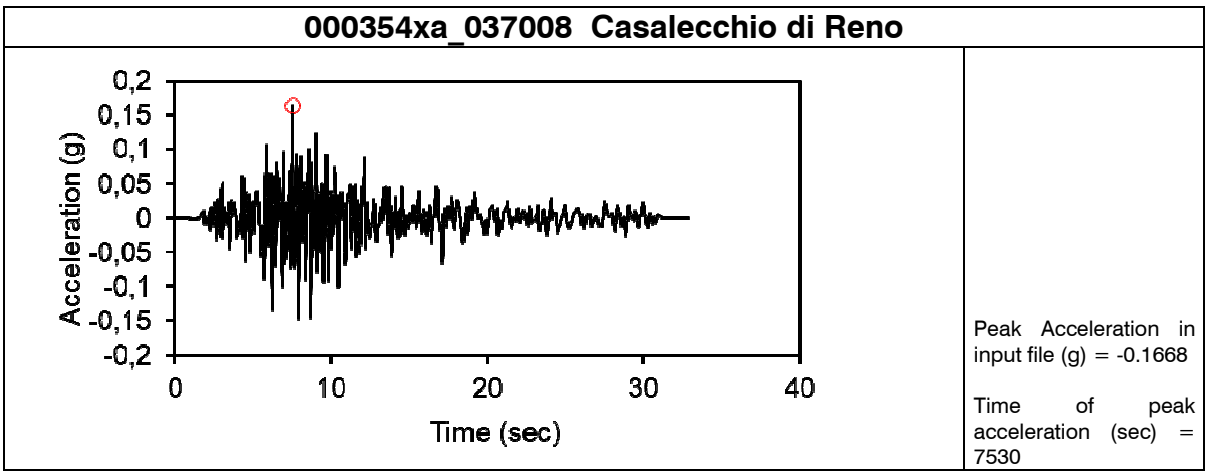
Time of peak acceleration (sec) = 2.415

000126xa_037008 Casalecchio di Reno



Peak Acceleration in input file (g) = -0.1668

Time of peak acceleration (sec) = 9.825

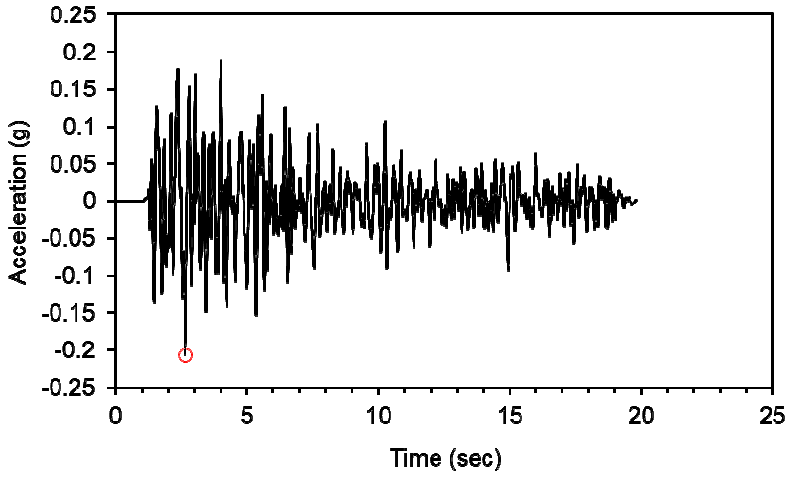


9.2 PROCEDURA DI CALCOLO

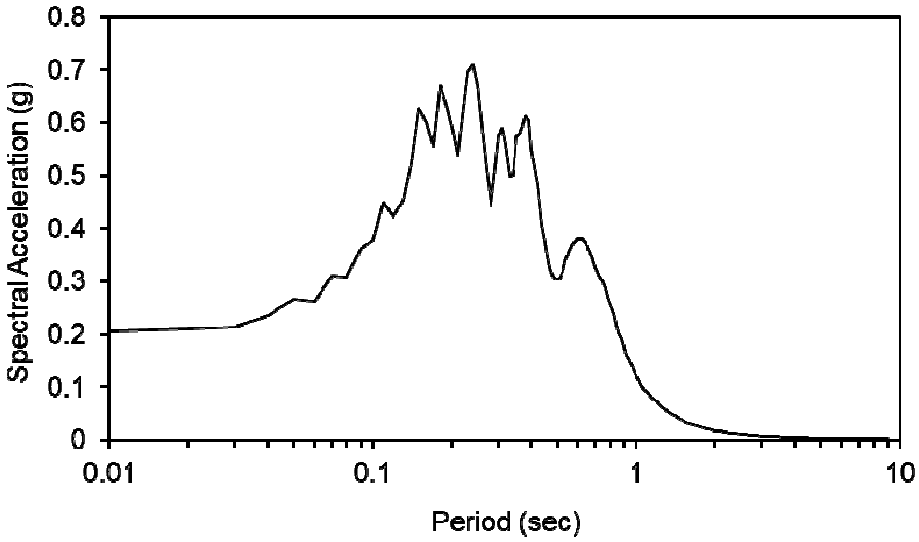
Nella procedura di calcolo del III livello si è fatto uso del codice di calcolo EERA (*Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposit*) utilizzando come segnale di imput gli accellerogrammi precedenti. Sulla base della caratterizzazione sismica ottenuta dall'acquisizione REMI, sono stati discretizzati tre sismostrati più il bedrock, estrapolato dal profilo di Vs fino a raggiungimento, in profondità, i valori di Vs=800m/sec mantenendo lo stesso gradiente dell'ultimo tratto della curva ottenuto dalle analisi simiche sopra citate.

9.2.1 ACCELEROGRAMMA 000046XA_037008 CASALECCHIO DI RENO

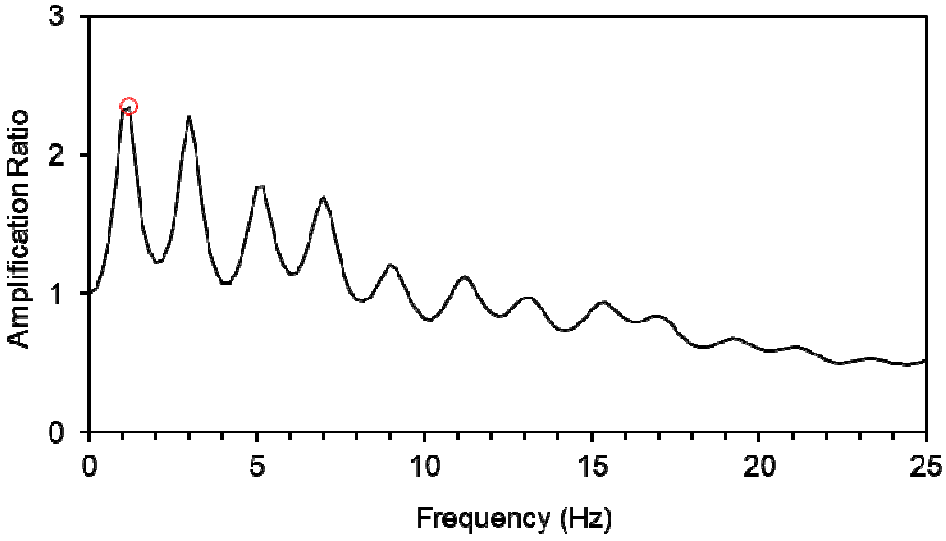
L'accelerogramma ottenuto dall'elaborazione dei dati presenta come massima accelerazione alla base della fondazione (PGA) pari a 0.206g in corrispondenza di 2.49 sec.



Lo spettro in accelerazione con smorzamento ζ = 5% risulta essere:

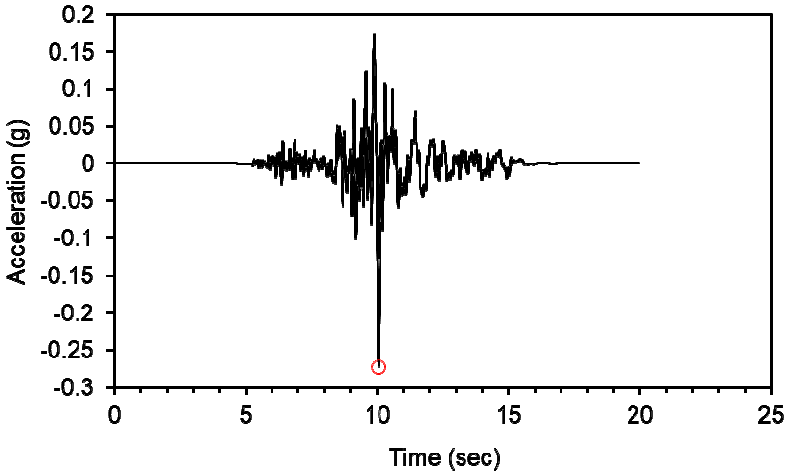


La funzione di trasferimento, intesa come il rapporto tra lo spettro dell'accelerogramma in superficie e lo spettro dell'accelerogramma al bedrock, rappresenta il valore di amplificazione del moto del suolo alle varie frequenze e viene di seguito mostrato:

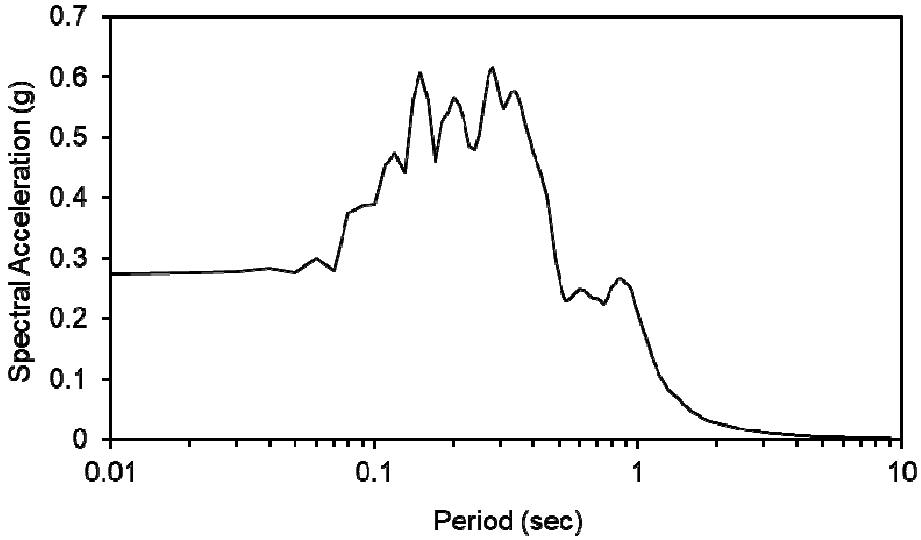


9.2.2 ACCELEROGRAMMA 000126XA_037008 CASALECCHIO DI RENO

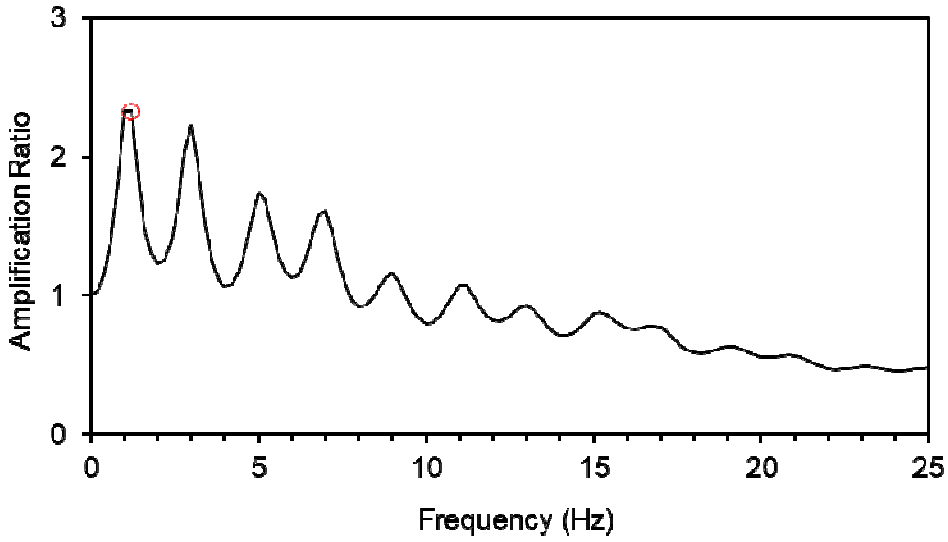
L'accelerogramma ottenuto dall'elaborazione dei dati presenta come massima accelerazione alla base della fondazione (PGA) pari a 0.273g in corrispondenza di 10.00 sec.



Lo spettro in accelerazione con smorzamento ζ = 5% risulta essere:

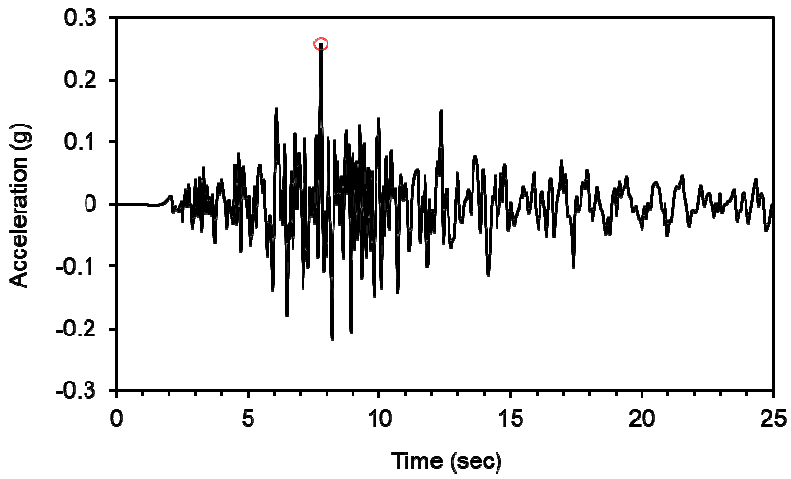


La funzione di trasferimento alle varie frequenze e viene di seguito mostrato:

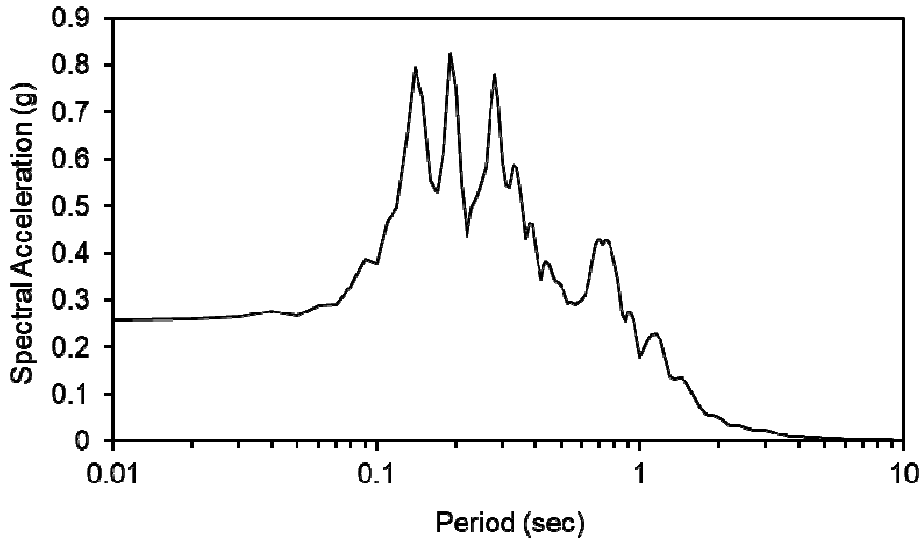


9.2.3 ACCELEROGRAMMA 000354XA_037008 CASALECCHIO DI RENO

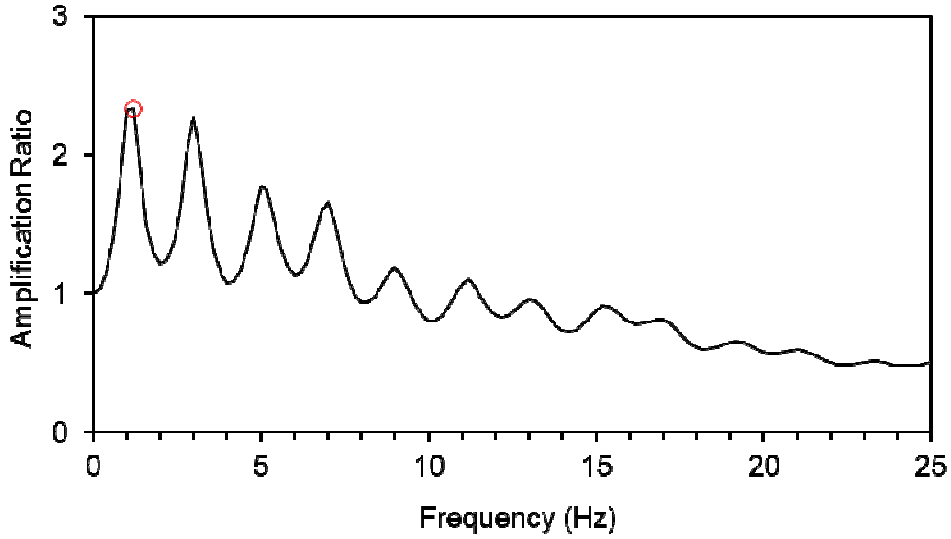
L'accelerogramma ottenuto dall'elaborazione dei dati presenta come massima accelerazione alla base della fondazione (PGA) pari a 0.258g in corrispondenza di 5.99 sec.



Lo spettro in accelerazione con smorzamento ζ = 5% risulta essere:

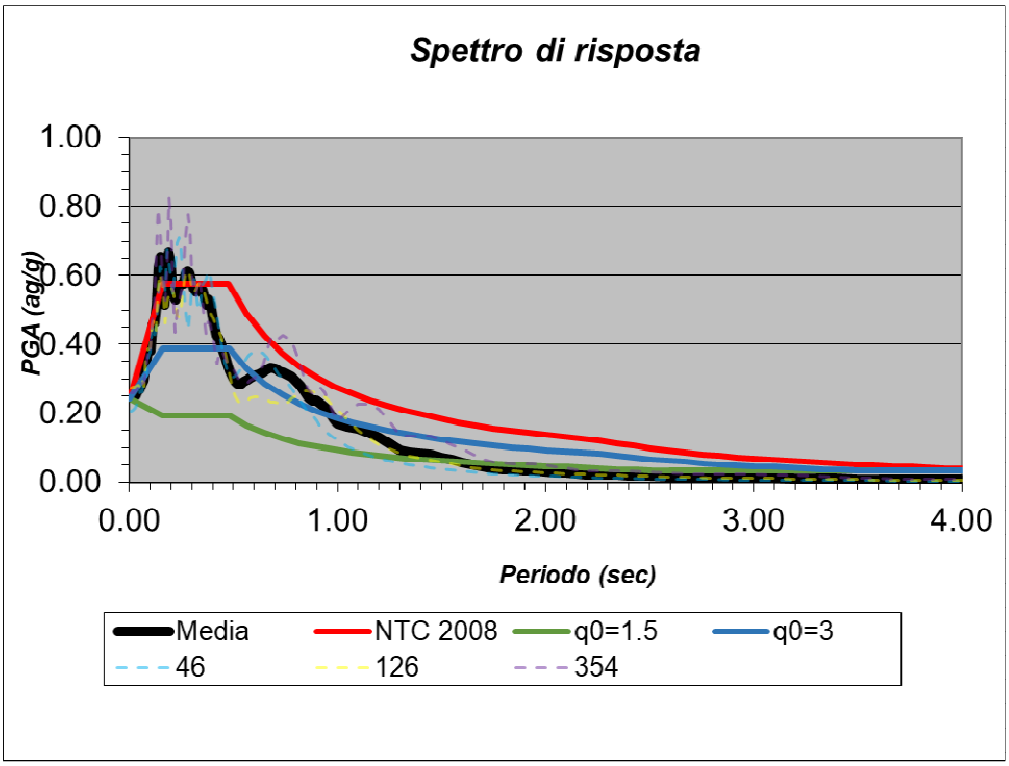


La funzione di trasferimento alle varie frequenze e viene di seguito mostrato:



9.3 SPETTRI DI RISPOSTA

Dall'elaborazione degli accelerogrammi riportati nei paragrafi precedenti, si ottiene il grafico seguente agli SLV:



Dal grafico riportato sopra, che rappresenta la Risposta Sismica Locale (RSL) si notano i tre spettri ottenuti dagli accelerogrammi che la curva nera continua, che rappresenta la media dei valori dei tre spettri calcolati, quest'ultima fornisce una PGA di 0.245, leggermente più alta di quella dello spettro della normativa riferita ad un suolo C.

Nella tabella di seguito riportata vengono forniti i valori del Fattore di Amplificazione (F.A.) ricavati dall'analisi numerica eseguita sui tre accelerogrammi prelevati dalla banca dati della Regione Emilia-Romagna.

	PGA	PGA0	F.A.=PGA/PGA0
Media: 046-126-354 Budrio	0,245	0,174	**1,47**

Di seguito vengono riportati, in tabella, i fattori di amplificazione ottenuti dal rapporto tra la SI calcolata e la SI0, che risulta essere il rapporto di intensità di Housner.

INTENSITA' DI HOUSNER					
(tra 0,10 e 0,50 sec)			(tra 0,50 e 1,00 sec)		
SI_0	[cm]	6,11	SI_0	[cm]	8,4
SI	[cm]	9,16	SI	[cm]	15,89
SI/SI_0	[cm]	1,50	SI/SI_0	[cm]	1,89

9. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Il fenomeno della liquefazione interessa quei depositi sabbiosi saturi che, nel corso di un terremoto, associando il terremoto ad una sollecitazione di tipo ciclico, subiscono una riduzione della resistenza al taglio, conseguentemente le condizioni di stabilità e le proprie caratteristiche fisiche non sono più garantite e la massa di terreno attraversata dal fenomeno comincia ad assestarsi (nel caso di un deposito orizzontale) fino a che la nuova struttura del terreno non è compatibile con la nuova diminuita resistenza al taglio. In condizioni di sisma, vi è anche la possibilità di cedimenti significativi e che possono coinvolgere sia i depositi granulari poco addensati e recenti, ma anche i sedimenti più fini e poco coesivi.

Per quanto riguarda l'area oggetto di studio i risultati ottenuti dalle indagini in sito, litologicamente, per le profondità indagate, i terreni sono caratterizzati principalmente da limi argillosi a tratti debolmente sabbiosi, a parte lo strato compreso tra i 7.0m e 8.0m prevalentemente costituito da ghiaie in abbondante matrice limoso sabbiosa. L'assenza di una falda fa comunque ricadere questi terreni di fondazione nel campo del non liquefacibile.

Anche per i terreni prevalentemente fini e, per quanto riguarda i cedimenti post sismici, le condizioni al contorno ne eliminano il verificarsi. Dalle prove di laboratorio infatti l'indice di plasticità che si ottiene è di I_p=28% e il valore della coesione non drenata che si calcola dalle CPT è maggiore di 70kPa.

10. RESISTENZE DI PROGETTO

Come previsto dall'NTC2018 i calcoli di resistenza allo stato limite ultimo (SLU) vanno approcciati una volta ottenuti, dalle indagini in loco, i valori caratteristici (k) da quelli nominali(n). Per la valutazione delle resistenze geotecniche Rd, ci si riferirà ai valori k, dei parametri geotecnici, divisi per un coefficiente correttivo γ_m, ottenendo quindi un valore di progetto (d). Per valore caratteristico si intende quel valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento del 5%; pertanto rappresenta la soglia al disotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove.

Secondo la normativa (NTC2018) il grado di sicurezza a cui bisogna tendere è quello del metodo semiprobabilistico dei coefficienti parziali e verificando la relazione:

$Ed \leq Rd$

dove:

- Ed è il valore di progetto dell'azione o degli effetti dell'azione, nelle combinazioni di calcolo;
- Rd è il valore di progetto della resistenza del terreno.

Sulla base dei dati di resistenza ottenuti dalle indagini geognostiche è possibile valutare, in questa fase di inserimento nel PUA dell'area, la resistenza di progetto dei terreni del primo sottosuolo.

Dalle indagini svolte la successione geotecnica media che se ne ricava, ad eslusione del terreno di riporto, sono:

unità geotecnica A: argille mediamente consistenti;

unità geotecnica B: limi argillosi a tratti debolmente sabbiosi;

unità geotecnica C: sabbie limose con presenza di ghiaia a spigoli vivi e/o arrotondati

unità geotecnica D: argille, argille limose mediamente consistenti.

UNITÀ GEOTECNICA A (SPESSORE ≅ 2.0m)

PARAMETRO	VALORE DI RESISTENZA	DESCRIZIONE DEL VALORE
Cu	0.72 Kg/cmq	coesione non drenata
C’	-	coesione drenata
φ	-	angolo d’attrito
E	49	Modulo di deformazione non drenato
γ	1.85 t/mc	peso di volume

UNITÀ GEOTECNICA B (SPESSORE ≅ 3.0m)

PARAMETRO	VALORE DI RESISTENZA	DESCRIZIONE DEL VALORE
Cu	1.04 Kg/cmq	coesione non drenata
C’	-	coesione drenata
φ	-	angolo d’attrito
E	63	Modulo di deformazione non drenato
γ	1.90 t/mc	peso di volume

UNITÀ GEOTECNICA C (SPESSORE ≅ 2.0m)

PARAMETRO	VALORE DI RESISTENZA	DESCRIZIONE DEL VALORE
Cu	-	coesione non drenata
C’	-	coesione drenata
φ	30,0°	angolo d’attrito
E	108	Modulo di deformazione non drenato
γ	1.90 t/mc	peso di volume

UNITÀ GEOTECNICA D (SPESSORE ≅ 5.8m)

PARAMETRO	VALORE DI RESISTENZA	DESCRIZIONE DEL VALORE
Cu	0.88 Kg/cmq	coesione non drenata
C’	-	coesione drenata
φ	-	angolo d’attrito
E	56	Modulo di deformazione non drenato
γ	1.95 t/mc	peso di volume

I valori geotecnici sopra riportati sono dei dati medi desunti dalle indagini geologiche svolte in loco, pertanto non possono essere considerati caratteristici del modello geotecnico (in sede definitiva di progettazione) e pertanto della redazione della relativa relazione (par. 6.2.2 NTC08) geotecnica di progetto. Nella relazione geotecnica andranno anche inserite le verifiche agli SLE e SLU in campo statico e sismico.

Si ricorda pertanto che le interpretazioni dei parametri proposti andranno confutate ed eventualmente rivalutate dal progettista geotecnico responsabile delle verifiche anche e soprattutto nell'ottica eventuale di aumentare i punti di indagine in relazione alla comprensione del modello geotecnico all'atto della determinazione della progettazione definitiva.

10. CONCLUSIONI

Da quanto esposto nei paragrafi precedenti si può riassumere che l'area si presenta come un dosso morfologico dovuto ad una conoide torrentizia, ormai atrofizzata, costituita dai materiali trasportati dal Rio Bolsenda, che si sono deposti al disopra dei terrazzamenti del Fiume Reno, quest'ultimo che scorre altimetricamente più in basso rispetto al sito.

Dal punto di vista morfologico l'area si presenta comunque pianeggiante con un angolo di pendenza, verso il corso d'acqua principale, di pochi gradi.

Litologicamente i terreni attraversati dalle due prove penetrometriche statiche e dal sondaggio eseguito, sono caratterizzati principalmente da argille limose e/o limi argillosi mediamente consistenti, intercalati da un livello incoerente, alla profondità media di -7.0m. Questo livello, dello spessore massimo che si intercetta verso Sud dell'area, è di 2.0m ed ingloba ghiaie da grana media a fine con ciottoli sia a spigoli vivi che arrotondati.

Dall'indagine sismica, realizzata con lo stendimento Vs30 SMIRNE 1NE-24SW, si è arrivati a classificare i terreni come di Tipo C, come da NTC2018.

La carta dei vincoli del paesaggio, derivante dal PSC comunale indica che l'area è censita come area di ricarica indiretta della falda. Dalle letture del piezometro installato all'interno del foro di sondaggio, non si ravvisa la presenza di falda, pertanto si suppone che questa porzione di territori non contribuisca, anche se non si esclude che nei periodi più umidi dell'anno non vi sia la presenza di acqua in alcune porzioni di terreno attraversate.

Dalla carta delle prescrizioni sempre facente parte del PSC, l'area viene vincolata ad uno studio di terzo livello per gli effetti attesi al suolo in caso di sisma. Nella Tavola A2, del PSC, viene indicato anche il fattore di amplificazione (FA (PGA)) medio dell'area che risulta stimato di 1.8, mentre dal calcolo di III livello effettuato risulta un fattore di amplificazione medio di 1.47.

Il valore di accelerazione massima al sito per un tempo di ritorno di 475 anni risulta essere di 0.1668g, dalla modellazione calcolata la stima di accelerazione massima attesa in superficie è compresa tra 0.21g e 0.27g.

Per quanto riguarda il potenziale alla liquefazione e i cedimenti post sismici, non vi sono le condizioni al contorno perché tali fenomeni possano verificarsi, dato che

dalle letture effettuate al piezometro non risulta la presenza di acqua. In fase di progetto e quindi di approfondimento delle indagini geognostiche, sarà di fondamentale importanza verificare sempre l'assenza del livello freatico, vista la tessitura deposizionale del sito.

Nel presente lavoro vengono forniti anche i dati geotecnici medi dei terreni di fondazione, che in fase di progetto esecutivo andranno portati a valori caratteristici (K) e fattorizzati per ottenere quelli di progetto per le verifiche agli stati limite ultimi come previsto dall'NTC2018.

Per quanto finora riportato, si può concludere che l'area in esame è situata in una zona con scarsa pericolosità geologica e di conseguenza, nel complesso non vulnerabile, si dovrà porre attenzione in fase di progetto sulla quota di imposta delle opere di fondazione e il loro dimensionamento in base anche ai cedimenti (SLE).

Bologna, maggio 2018

In fede:

(Dott. Geol. Raffaele Sandrelli)

Via A. Costa 82/c
40067 Pianoro-Bologna
+39 051 74 26 11

ALLEGATI

Pianoro (Bo) maggio 2018

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

2.01PG05-101

- committente : SMIRNE spa
- lavoro : PUA San Biagio
- località : Loc. San Biagio-Casalecchio di Reno (Bo)
- note : Foro aperto
- data : 13/04/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna punta	laterale	qc kg/cm²	fs	qc/fs
0,20	70,0	----	70,0	------	----
0,40	120,0	----	120,0	4,87	25,0
0,60	12,0	85,0	12,0	1,27	9,0
0,80	17,0	36,0	17,0	1,33	13,0
1,00	20,0	40,0	20,0	1,53	13,0
1,20	22,0	45,0	22,0	3,07	7,0
1,40	25,0	71,0	25,0	1,93	13,0
1,60	26,0	55,0	26,0	2,00	13,0
1,80	27,0	57,0	27,0	1,53	18,0
2,00	25,0	48,0	25,0	1,53	16,0
2,20	30,0	53,0	30,0	1,67	18,0
2,40	30,0	55,0	30,0	1,60	19,0
2,60	29,0	53,0	29,0	1,73	17,0
2,80	29,0	55,0	29,0	1,67	17,0
3,00	31,0	56,0	31,0	1,80	17,0
3,20	27,0	54,0	27,0	1,60	17,0
3,40	21,0	45,0	21,0	1,33	16,0
3,60	20,0	40,0	20,0	1,27	16,0
3,80	21,0	40,0	21,0	4,53	5,0
4,00	50,0	118,0	50,0	4,27	12,0
4,20	56,0	120,0	56,0	3,67	15,0
4,40	60,0	115,0	60,0	1,53	39,0
4,60	21,0	44,0	21,0	2,47	9,0
4,80	87,0	124,0	87,0	1,53	57,0
5,00	54,0	77,0	54,0	1,87	29,0
5,20	19,0	47,0	19,0	1,20	16,0
5,40	80,0	98,0	80,0	0,80	100,0
5,60	78,0	90,0	78,0	2,00	39,0
5,80	15,0	45,0	15,0	0,60	25,0
6,00	19,0	28,0	19,0	0,67	28,0
6,20	33,0	43,0	33,0	1,07	31,0
6,40	19,0	35,0	19,0	1,60	12,0
6,60	19,0	43,0	19,0	1,33	14,0
6,80	26,0	46,0	26,0	1,73	15,0
7,00	19,0	45,0	19,0	1,33	14,0
7,20	18,0	38,0	18,0	1,33	13,0
7,40	20,0	40,0	20,0	1,33	15,0
7,60	22,0	42,0	22,0	1,47	15,0
7,80	22,0	44,0	22,0	1,80	12,0
8,00	20,0	47,0	20,0	1,40	14,0
8,20	17,0	38,0	17,0	1,27	13,0
8,40	19,0	38,0	19,0	1,13	17,0
8,60	20,0	37,0	20,0	1,13	18,0
8,80	19,0	36,0	19,0	1,40	14,0
9,00	19,0	40,0	19,0	1,27	15,0
9,20	19,0	38,0	19,0	1,33	14,0
9,40	15,0	35,0	15,0	1,40	11,0
9,60	17,0	38,0	17,0	1,47	12,0
9,80	25,0	47,0	25,0	1,80	14,0
10,00	28,0	55,0	28,0	1,93	14,0
10,20	26,0	55,0	26,0	2,07	13,0
10,40	27,0	58,0	27,0	2,07	13,0
10,60	30,0	61,0	30,0	2,00	15,0
10,80	30,0	60,0	30,0	1,67	18,0
11,00	28,0	53,0	28,0	1,80	16,0
11,20	27,0	54,0	27,0	1,73	16,0
11,40	32,0	58,0	32,0	1,87	17,0
11,60	24,0	52,0	24,0	2,07	12,0
11,80	26,0	57,0	26,0	2,00	13,0
12,00	25,0	55,0	25,0	-----	----

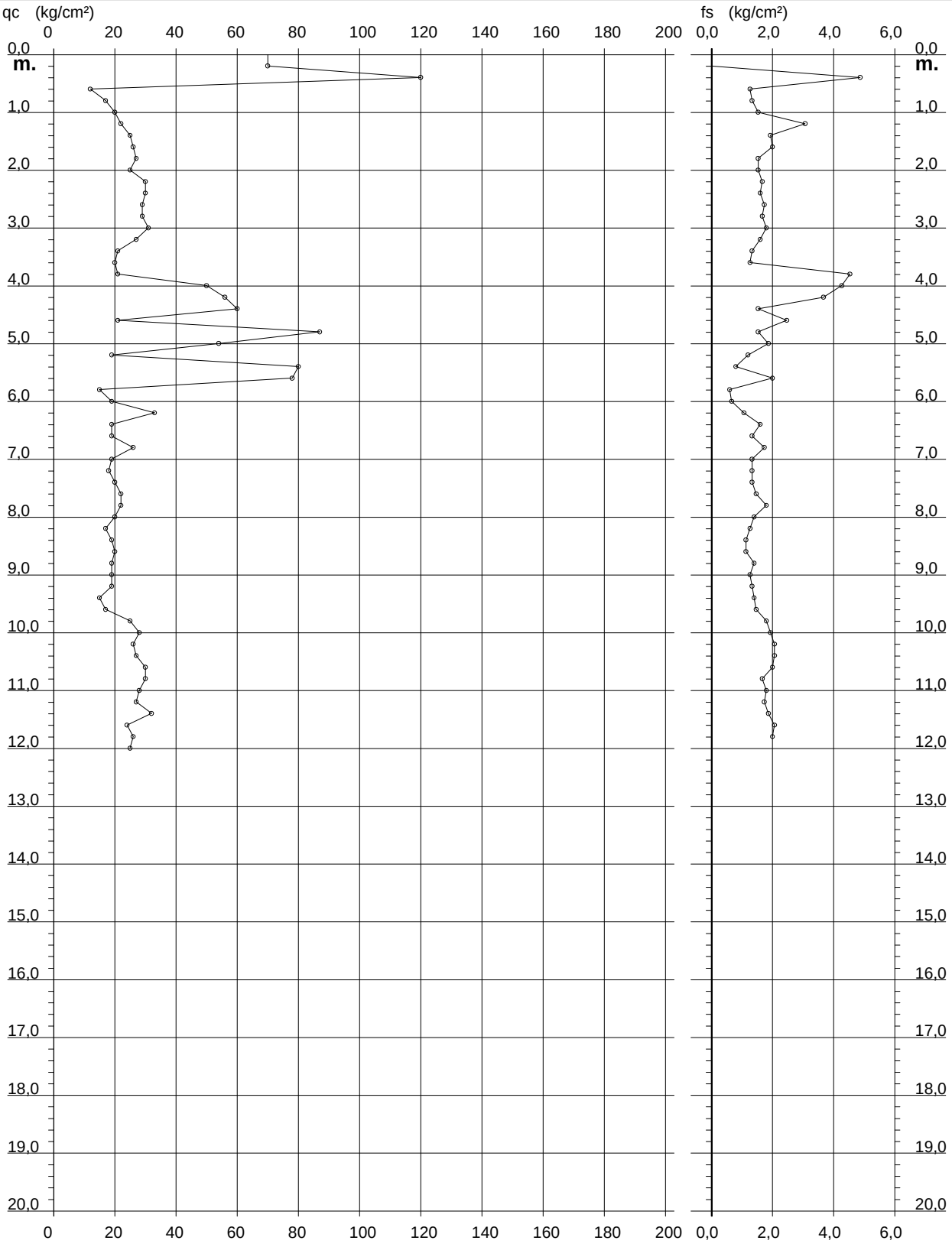
- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.01PG05-101

- committente :	SMIRNE spa	- data :	13/04/2018
- lavoro :	PUA San Biagio	- quota inizio :	Piano Campagna
- località :	Loc. San Biagio-Casalecchio di Reno (Bo)	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :	Foro aperto	- scala vert.:	1 : 100



PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 2
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

2.01PG05-101

- committente : SMIRNE spa
- lavoro : PUA San Biagio
- località : Loc. San Biagio-Casalecchio di Reno (Bo)
- note : Foro aperto
- data : 13/04/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna punta	laterale	qc kg/cm²	fs	qc/fs
0,20	12,0	----	12,0	1,47	8,0
0,40	50,0	72,0	50,0	2,27	22,0
0,60	26,0	60,0	26,0	1,93	13,0
0,80	11,0	40,0	11,0	1,07	10,0
1,00	14,0	30,0	14,0	0,93	15,0
1,20	21,0	35,0	21,0	1,20	17,0
1,40	22,0	40,0	22,0	1,53	14,0
1,60	24,0	47,0	24,0	1,53	16,0
1,80	28,0	51,0	28,0	2,00	14,0
2,00	30,0	60,0	30,0	1,93	16,0
2,20	29,0	58,0	29,0	3,13	9,0
2,40	77,0	124,0	77,0	7,33	10,0
2,60	110,0	220,0	110,0	3,47	32,0
2,80	55,0	107,0	55,0	5,13	11,0
3,00	103,0	180,0	103,0	2,93	35,0
3,20	148,0	192,0	148,0	5,07	29,0
3,40	23,0	99,0	23,0	2,00	12,0
3,60	25,0	55,0	25,0	1,53	16,0
3,80	25,0	48,0	25,0	1,53	16,0
4,00	22,0	45,0	22,0	1,47	15,0
4,20	27,0	49,0	27,0	1,87	14,0
4,40	24,0	52,0	24,0	1,80	13,0
4,60	24,0	51,0	24,0	1,60	15,0
4,80	25,0	49,0	25,0	1,73	14,0
5,00	26,0	52,0	26,0	1,67	16,0
5,20	25,0	50,0	25,0	1,80	14,0
5,40	21,0	48,0	21,0	1,40	15,0
5,60	23,0	44,0	23,0	1,60	14,0
5,80	24,0	48,0	24,0	1,73	14,0
6,00	20,0	46,0	20,0	1,47	14,0
6,20	19,0	41,0	19,0	1,40	14,0
6,40	17,0	38,0	17,0	1,13	15,0
6,60	21,0	38,0	21,0	1,33	16,0
6,80	22,0	42,0	22,0	1,53	14,0
7,00	25,0	48,0	25,0	2,47	10,0
7,20	19,0	56,0	19,0	1,20	16,0
7,40	74,0	92,0	74,0	3,27	23,0
7,60	23,0	72,0	23,0	5,53	4,0
7,80	64,0	147,0	64,0	0,40	160,0
8,00	24,0	30,0	24,0	1,67	14,0
8,20	20,0	45,0	20,0	0,87	23,0
8,40	21,0	34,0	21,0	1,13	19,0
8,60	21,0	38,0	21,0	1,73	12,0
8,80	23,0	49,0	23,0	2,07	11,0
9,00	27,0	58,0	27,0	2,20	12,0
9,20	27,0	60,0	27,0	2,40	11,0
9,40	24,0	60,0	24,0	2,13	11,0
9,60	50,0	82,0	50,0	1,80	28,0
9,80	24,0	51,0	24,0	1,40	17,0
10,00	18,0	39,0	18,0	0,87	21,0
10,20	20,0	33,0	20,0	1,13	18,0
10,40	23,0	40,0	23,0	1,13	20,0
10,60	21,0	38,0	21,0	1,27	17,0
10,80	20,0	39,0	20,0	1,33	15,0
11,00	24,0	44,0	24,0	1,47	16,0
11,20	27,0	49,0	27,0	1,20	22,0
11,40	26,0	44,0	26,0	2,00	13,0
11,60	24,0	54,0	24,0	1,87	13,0
11,80	23,0	51,0	23,0	1,73	13,0
12,00	22,0	48,0	22,0	-----	----

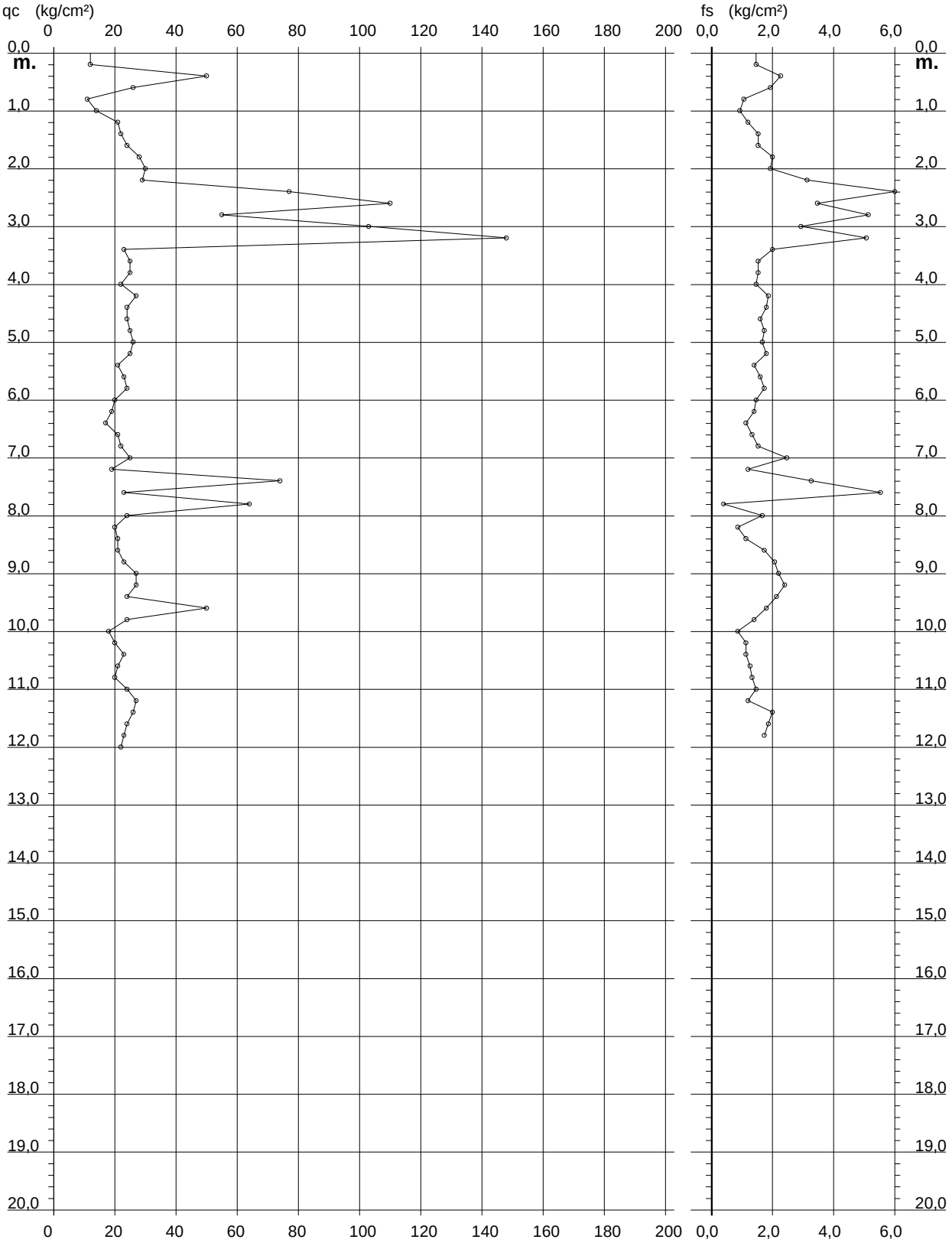
- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.01PG05-101

- committente :	SMIRNE spa	- data :	13/04/2018
- lavoro :	PUA San Biagio	- quota inizio :	Piano Campagna
- località :	Loc. San Biagio-Casalecchio di Reno (Bo)	- prof. falda :	Falda non rilevata
- note :	Foro aperto	- scala vert.:	1 : 100



SOGEO S.R.L.
INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI
Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di LUGO (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com
Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C
Decr. n. 005754 del 05/07/2010

	COMMITTENTE: Geologica di Gualandi Irene	SOND.N°: S.1 PROF.(m): 12.30
	CANTIERE: San Biagio di Casalecchio (BO)	QUOTA (m): p.d.c.
	PERFORATRICE: CMV MK900 D1	LATITUDINE (°):
	METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo	LONGITUDINE (°):
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm	ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø 101 mm	DATA INIZ-FINE: 16/04/2018-16/04/2018
PIEZOMETRO: Installato piezometro Norton Ø 2" a 12.30 m dal p.d.c. (fessurato da -5.80 a -12.30 m)		SCALA: 1:100
RIF.PREV.N°: 028-18	CERTIFICATO N°: C18-019-1	RAPPORTO N°: ---------- DATA DI EMISSIONE: 17/04/2018	PAGINA N°: 1 di 1

scala	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Falda	Pz.Norton	Inclinometro
			0.05		Manto asfaltato						
	4.4		0.20		Stabilizzato: ghiaia e sabbia						
			0.50		Limo argilloso di colore marrone, con radici						
1.00	4.9		1.00		Limo e limo argilloso di colore nocciola, con calcinelli e con radici						
	2.8				Limo debolmente sabbioso di colore nocciola, con piccoli calcinelli. A -1.80 m rari granuli di ghiaia fine						
	3.2										
	3.1										
2.00	2.8		2.00			2.00					
					Campione indisturbato	C.I.1					
			2.50			2.50					
	2.2										
3.00	2.5				Limo debolmente sabbioso di colore nocciola, con piccoli calcinelli						
	3.6										
4.00	3.4										
			4.20								
			4.30		Ghiaia media e fine, sia arrotondata che a spigoli vivi, in matrice limo sabbiosa di colore nocciola						
			4.70								
5.00	2.3	1.00	5.00		Sabbia fine limosa di colore nocciola, con rari bioclasti	5.00					
					Limo, a tratti debolmente sabbioso, di colore nocciola, con piccoli calcinelli	C.I.2					
			5.50		Campione indisturbato	5.50					
	2.0										
6.00	1.9				Limo, a tratti debolmente sabbioso, di colore nocciola, con piccoli calcinelli						
			6.20								
	3.1	1.00			Limo argilloso di colore marrone-bruno, con piccoli calcinelli						
7.00	3.0	1.20									
	2.5		7.20		Limo, debolmente ghiaioso, di colore nocciola						
			7.80		Ghiaia media e fine, sia arrotondata che a spigoli vivi, in matrice limo sabbiosa di colore grigio-nocciola						
8.00											
			8.50		Limo di colore nocciola						
	0.8										
9.00	1.0		9.00								
	2.3	1.10									
10.00	2.7	1.20			Limo argilloso di colore bruno passante ad argilla limosa di colore grigio-marrone, con calcinelli						
	4.2	1.60									
11.00	3.2	1.50									
	3.8	1.30									
			11.80								
12.00			12.00		Limo, debolmente ghiaioso, di colore nocciola, con livelli millimetrici di sabbia ocra						
			12.30		Manovra di pulizia del foro					12.30	
13.00											
14.00											
15.00											

C.I. = campioni indisturbati

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

SOGEO S.R.L.
INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI
Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di Lugo (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com

COMMITTENTE: Geologica di Gualandi Irene

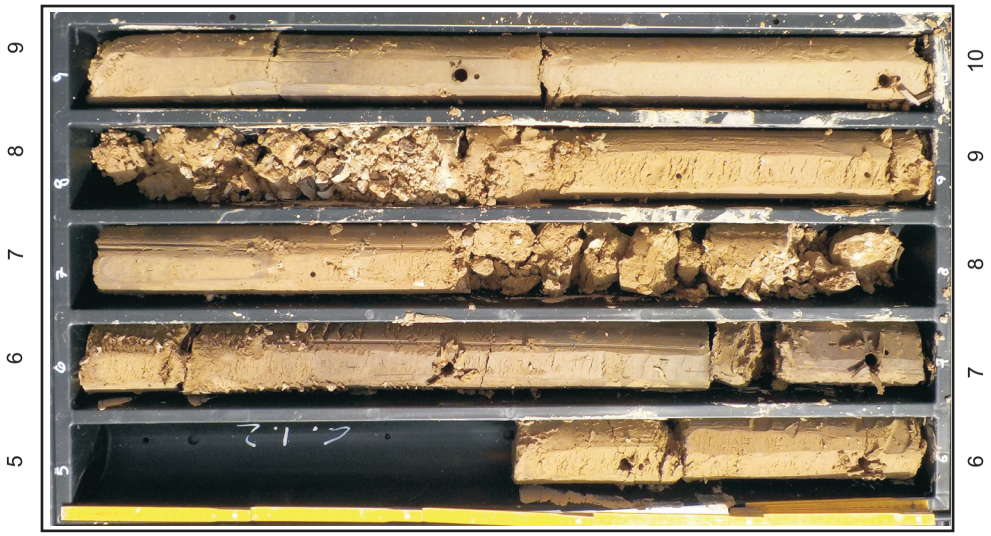
LOCALITA': San Biagio di Casalecchio (BO)

SONDAGGIO N: S.1

RIF. N° : 028-18

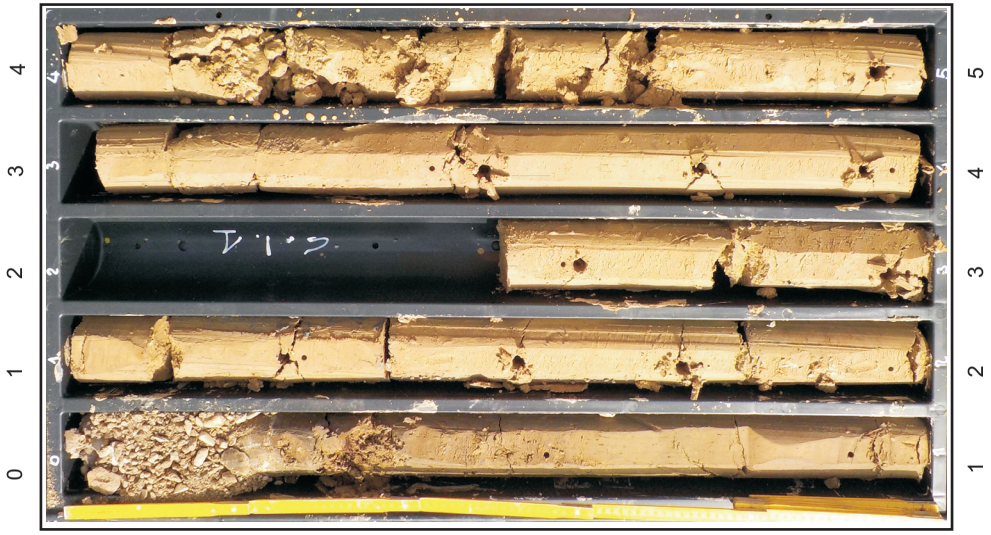
ALLEGATO A: C18-019-1

DATA: 16/04/2018

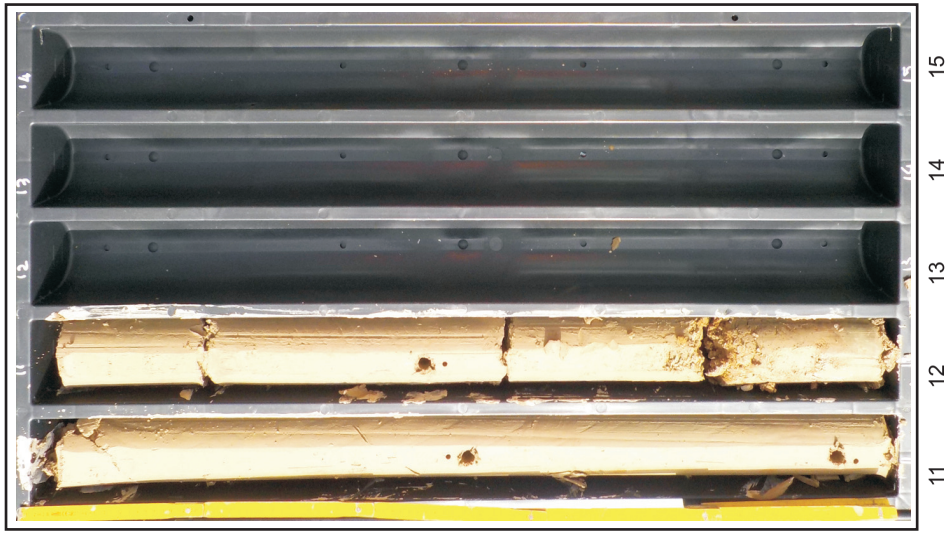


Cassa 2 da -5.0 a -10.0 m

Posizionamento



Cassa 1 da 0.0 a -5.0 m



Cassa 3 da -10.0 a -15.0 m

Verbale - *Acceptance report*	1556
Committente - *Commissioner*	GEOLOGICA DI GUALANDI IRENE
Località - *Locality*	CASALECCHIO DI RENO (BO)
Cantiere - *Investigation site*	SAN BIAGIO

DATI IDENTIFICATIVI DEI CAMPIONI E PROVE ESEGUITE
Samples identification and performed tests

Sondaggio *Borehole*	Campione *Sample*	Profondità *Depth*	Prove eseguite - *Performed tests*
S1	C1	2.00 - 2.50 m	Granulometria meccanica e con il metodo del densimetro, limiti di Atterberg.

Note - *Remarks:*

Il nostro laboratorio esegue le prove commissionate secondo le norme di riferimento riportate su ogni certificato; il laboratorio segue inoltre le raccomandazioni contenute nella norma UNI EN 17025 "Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura".
Questi risultati sono per uso esclusivo del cliente per il quale sono stati ottenuti. Essi sono applicabili solamente ai campioni testati e non sono indicativi di campioni apparentemente simili.
These results are for the exclusive use of the client for whom they were obtained. They apply only to the tested samples and are not indicative of apparently identical samples.

GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2008 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

ANALISI GRANULOMETRICA

PARTICLE SIZE ANALYSIS

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

Technical specification

Certificato - *Test report*	1556 - 18.130 - 001
Verbale - *Acceptance report*	1556
Committente - *Commissioner*	GEOLOGICA DI GUALANDI IRENE
Località - *Locality*	CASALECCHIO DI RENO (BO)
Cantiere - *Site*	SAN BIAGIO
Sondaggio - *Borehole*	**S1**
Campione - *Sample*	**C1**
Profondità - *Depth*	**2.00 - 2.50 m**
Data ricevimento - *Receiving date*	24/04/2018
Data inizio prove - *Test starting date*	24/04/2018
Data fine prove - *Test ending date*	04/05/2018
Data certificazione - *Report date*	04/05/2018
Data apertura campione - *Sample opening date*	24/04/2018

SETACCIATURA - *SIEVES TEST*

Massa campione (g) - *Specimen weight* 329.53

Setaccio (mm) *Sieve diameter*	Peso (g) *Mass retained*	Passante (%) *Percentage passing*
100	0.00	100.00
71	0.00	100.00
60	0.00	100.00
40	0.00	100.00
25	0.00	100.00
15	0.00	100.00
10	0.00	100.00
5	0.00	100.00
2	0.77	99.77
1	3.98	98.56
0.425	5.30	96.95
0.18	6.98	94.83
0.075	35.83	83.96

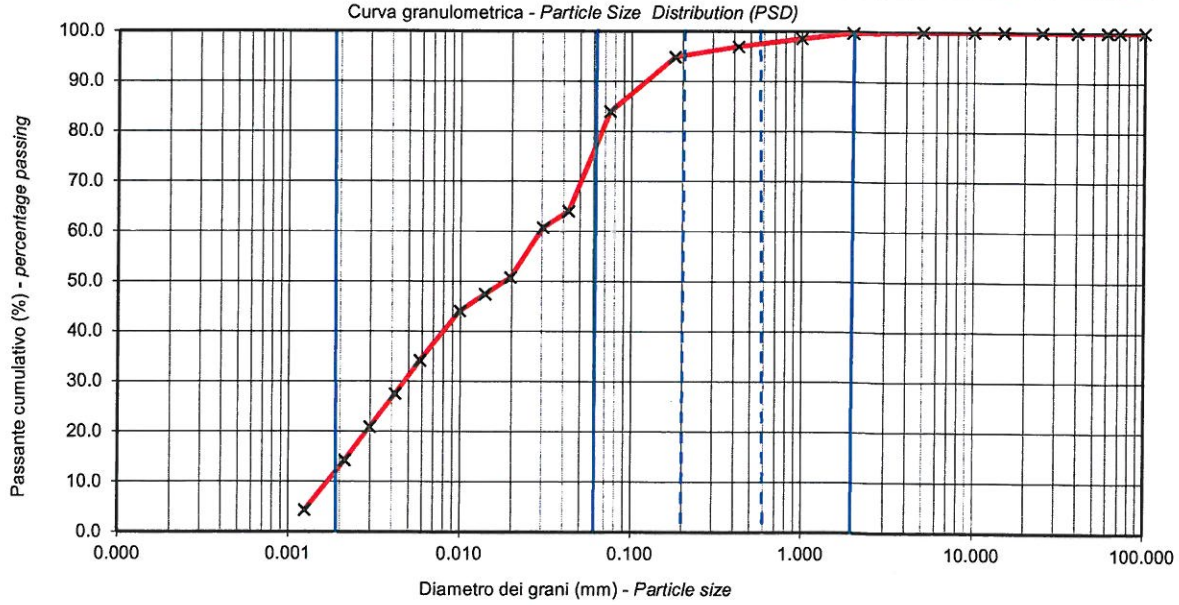
SEDIMENTAZIONE - *HYDROMETER TEST*

Massa campione (g) - *Specimen weight* 41.17

Diametro (mm) *Particle size*	Letture *Data*	Passante (%) *Percentage passing*
0.043	23.0	64.01
0.031	22.0	60.69
0.020	19.0	50.74
0.014	18.0	47.42
0.010	17.0	44.11
0.006	14.0	34.16
0.004	12.0	27.53
0.0030	10.0	20.89
0.0021	8.0	14.26
0.0013	5.0	4.31

Granulometria A.G.I. *PSD*	**Ghiaia (%)** *Gravel*	**0.23**	**Sabbia (%)** *Sand*	**25.15**	**Limo (%)** *Silt*	**61.90**	**Argilla (%)** *Clay*	**12.72**

Curva granulometrica - *Particle Size Distribution (PSD)*



D_{10} (mm) 0.002 D_{60} (mm) 0.031

Agente disperdente - *dispersing agent*: Sodium hexametaphosphate

temperatura di prova (°)- *temperature* 21

Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

GEOTEA s.r.l.
AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2008 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY
LABORATORIO ACCREDITATO DAL CONSIGLIO LAVORI PUBBLICI: SETTORE TERRE.

LIMITI DI ATTERBERG

ATTERBERG LIMITS

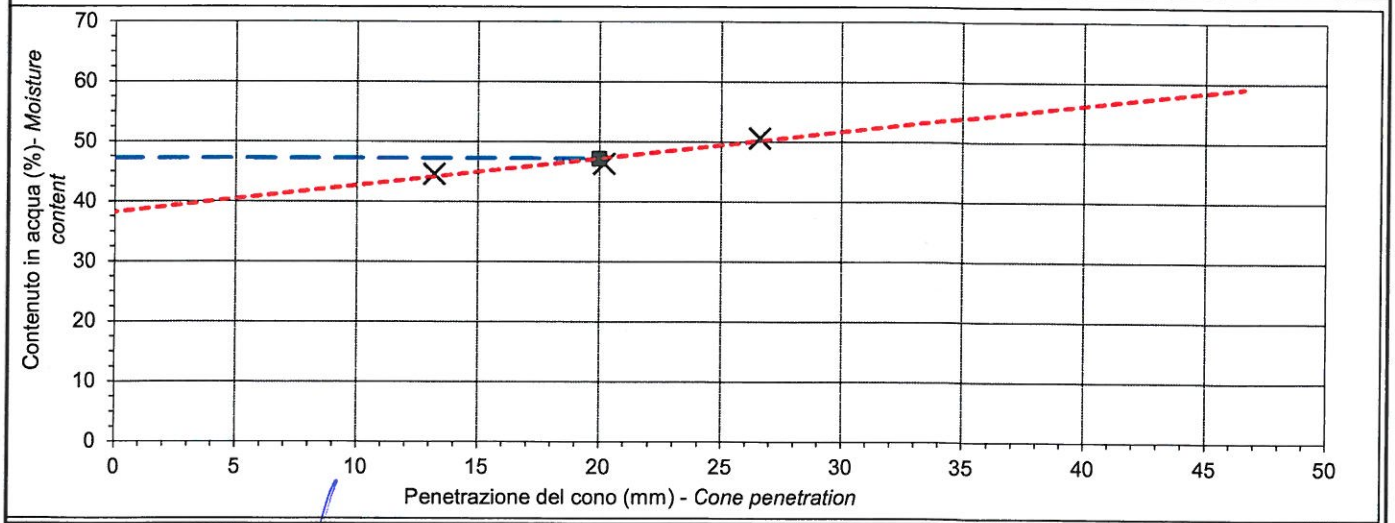
Normativa di riferimento: UNI EN ISO/TS 17892-12

Technical specification

Certificato - *Test report*	1556 - 18.130 - 002
Verbale - *Acceptance report*	1556
Committente - *Commissioner*	GEOLOGICA DI GUALANDI IRENE
Località - *Locality*	CASALECCHIO DI RENO (BO)
Cantiere - *Site*	SAN BIAGIO
Sondaggio - *Borehole*	**S1**
Campione - *Sample*	**C1**
Profondità - *Depth*	**2.00 - 2.50 m**
Data ricevimento - *Receiving date*	24/04/2018
Data inizio prove - *Test starting date*	24/04/2018
Data fine prove - *Test ending date*	04/05/2018
Data certificazione - *Report date*	04/05/2018
Data apertura campione - *Sample opening date*	24/04/2018
Classe campione - *Sample quality*	Q5

	Provino 1 - *Specimen 1*	Provino 2 - *Specimen 2*	Provino 3 - *Specimen 3*
Penetrazione del cono (mm) - *Cone penetration*	26.60	20.20	13.20
Massa tara (g) - *Tara weight*	71.32	72.03	71.54
Massa campione umido + tara (g) *Moist specimen + tara*	96.70	89.53	85.74
Massa campione secco + tara (g) *Dried specimen + tara*	88.17	83.99	81.36
Contenuto in acqua (%) - *Moisture content*	50.62	46.32	44.57
Limite liquido (%) - *Liquid limit*	**47.2**		

Massa tara (g) - *Tara weight*	70.44	72.96	
Moist specimen + tara	71.74	74.43	
Massa campione secco + tara (g) *Dried specimen + tara*	71.53	74.19	
Limite plastico (%) - *Plastic limit*	19.27	19.20	differenza percentuale 0.36
Limite plastico (%) - *Plastic limit*	**19.2**		



Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre