



C O M U N E D I N O N A N T O L A
P R O V I N C I A D I M O D E N A

VARIANTE SPECIFICA AL PIANO REGOLATORE GENERALE _N° 1_2019

ai sensi del combinato disposto dell'art.15 della L.R. 47/1978 e dell'art. 41 della L.R. 20/2000
in attuazione al regime transitorio della LR 24/2017 Articolo 4 comma4 lettera a

8d. RELAZIONI SPECIALISTICHE VARIANTE 3.6

ADOTTATA CON DCC N _____ DEL __/__/__

APPROVATA CON DCC N _____ DEL __/__/__

Progettista

ing. Francesco Bursi

Il Responsabile del Procedimento
Gianluigi Masetti

Il Sindaco
Federica Nannetti

VARIANTE AL PRG DI NONANTOLA
REALIZZAZIONE DI DUE LOTTI
RESIDENZIALI IN BAGAZZANO



RELAZIONE GEOLOGICA
E SISMICA

A cura di:
DOTT. GEOL. Valeriano Franchi
V.le Caduti in Guerra 1, 41121 Modena
TEL. 059-226540
e-mail: valerianofranchi@tin.it

Dott. Geol. Valeriano Franchi
V.le Caduti in Guerra, 1 – 41121 Modena
Tel: 059-226540
e-mail: valerianofranchi@tin.it

Modena, 11/03/2019

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

INDICE CONTENUTI

Premessa	2
1. Inquadramento geografico-fisico	3
2. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico	5
3. Indagini geognostiche e modello geologico-geotecnico	12
4. Indagine sismica	15
5. Microzonazione sismica	15
5.1. Suscettibilità alla liquefazione	18
6. Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni.....	24

ALLEGATI

PREMESSA

Nella presente relazione vengono trattati gli aspetti geologici e sismici inerenti l'area di Variante al PRG di Nonantola (MO) per cui è prevista la realizzazione di due lotti residenziali in località Bagazzano. L'area è ubicata nel settore meridionale del territorio comunale di Nonantola, circa 800 m dal confine con il territorio comunale di Castelfranco Emilia (MO), nella frazione di Bagazzano, lungo via Maestra di Bagazzano.

Lo studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti in materia, DM 11.03.1988, con riferimento specifico agli aspetti sismici come da DGR 2193/2015 e da DM 17.01.2018.

Per l'adempimento delle specifiche normative, è stato effettuato un sopralluogo sull'area in data 06/03/2019 al fine di verificarne l'idoneità geologica e geomorfologica.

Per la caratterizzazione litostratigrafia e geotecnica dei terreni di sottofondazione, in data 07/03/2019, sono state effettuate 2 prove penetrometriche statiche a punta meccanica (CPTm), spinte fino alla profondità di 20 m.

Per la classificazione sismica del terreno di sottofondazione sono stati utilizzati i dati ricavati da un'indagine a sismica attiva (MASW) da cui è stato possibile interpretare il profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) con la profondità, da cui si sono ricavati i fattori di amplificazione sismica come da DGR 2193/2015 e, in ultima analisi, il parametro di normativa V_{s30} .

La relazione si articola nel seguente modo:

- Inquadramento geografico - fisico
- Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico
- Indagini geognostiche e modello geologico-geotecnico
- Indagine sismica
- Definizione dell'azione sismica di base
- Effetti di sito
- Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni

ALLEGATI

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-FISICO

L'area esaminata, oggetto di Variante al PRG, è ubicata nel settore meridionale del territorio comunale di Nonantola (MO), circa 800 m a nord del confine con il territorio comunale di Castelfranco Emilia (MO), in frazione Bagazzano. Dal punto di vista topografico si trova in corrispondenza di un'ampia area pianeggiante, al passaggio tra l'alta e la media pianura, sub-orizzontale, con una debole pendenza verso NE, e con quote che, in corrispondenza dell'area, sono prossime a 29 m s.l.m. Gli elementi idrografici più prossimi sono rappresentati esclusivamente da aste di ordine minore del reticolo superficiale, ovvero dallo Scolo Canalino di Baganazzo, che scorre 140 m ad est dell'area, dal Fosso Zena (1,5 km a NE), che nasce in Comune di Castelfranco Emilia, attraversa il Capoluogo di Nonantola e devia verso est immettendosi nel Canale Collettore Acque Alte in Comune di Crevalcore, e dal Canale Diversivo di Gaggio Panzano Recovato, che qui coincide con il confine meridionale del territorio comunale. Il Fiume Panaro scorre 2,5 km ad ovest.

Il clima è caratterizzato, nel periodo 1991-2015, da precipitazioni totali annue, in media, di 639 mm e temperature medie annue di 14,2°C¹, pari, rispettivamente, ad una variazione di -2 mm e +1,2°C rispetto al periodo 1961-1990.

Nella cartografia regionale, l'area è compresa nella Tavola alla scala 1:25.000 nr. 202SO denominata "Nonantola" (Figura 1), nella Sezione alla scala 1:10.000 nr. 202090 denominata "Nonantola" e nell'Elemento alla scala 1:5.000 nr. 202093 denominato "Rubbiara" (Figura 2).

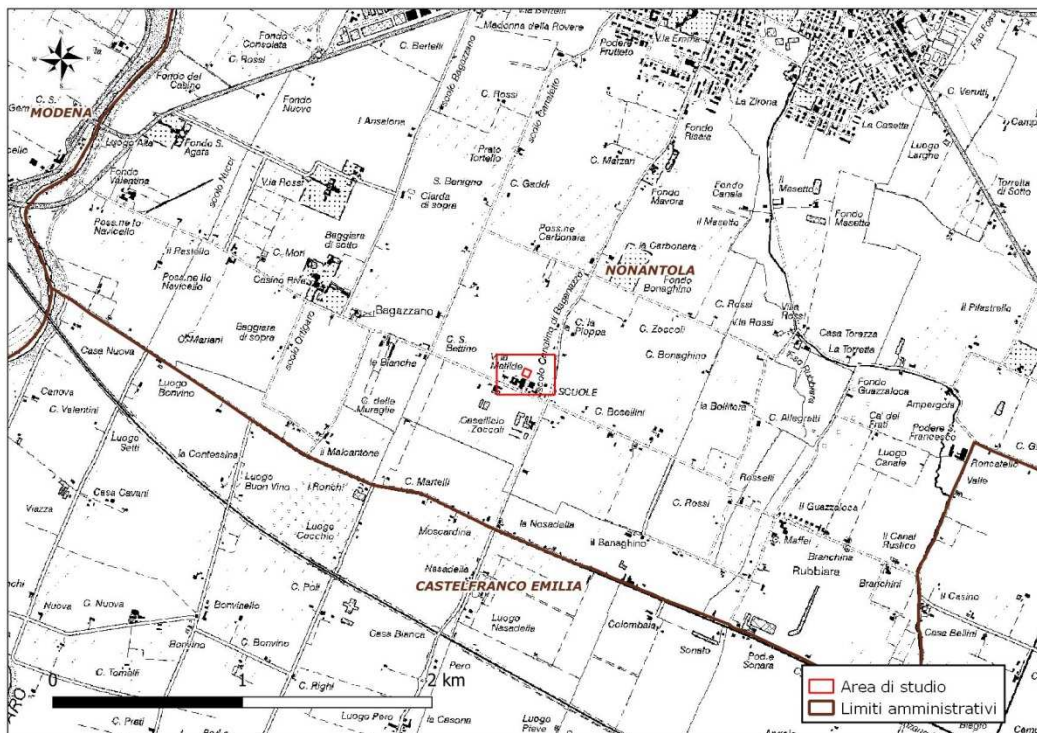


Figura 1 - Inquadramento geografico su C.T.R. con dettaglio topografico a scala 1:25.000 – Tavola nr. 202SO denominata "Nonantola".

¹ Atlante Idroclimatico dell'Emilia-Romagna - <https://goo.gl/E7ljSU>



Figura 2 - Ubicazione dell'area d'indagine su C.T.R. con dettaglio topografico a scala 1:5.000 - Elemento nr. 202093 denominato "Rubbiara".

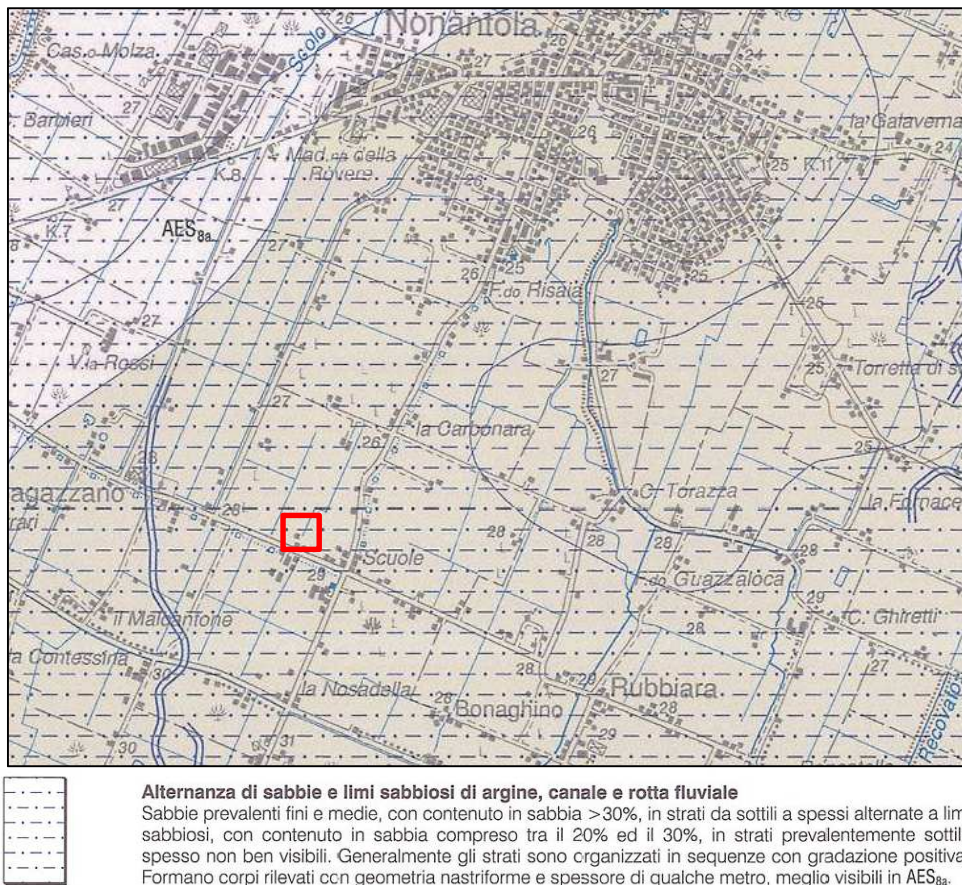


Figura 3 - Ubicazione dell'area d'indagine su ortofoto satellitare (fonte: Google Satellite - 2019-03-08).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Per quanto riguarda la litologia superficiale, l'esame del Foglio 202 "San Giovanni in Persiceto" della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000 (Figura 4) mostra come l'area in esame si trovi in una zona caratterizzata dalla presenza, in superficie, di terreni a componente prevalentemente sabbioso-limosa di argine, canale e rotta fluviale. Poco più a NE, in una stretta fascia che si estende ad est del Capoluogo, affiorano terreni più fini, costituiti da argille e limi di piana inondabile. Entrambe le litologie superficiali appartengono al Subsistema di Ravenna (AES₈ in carta), a sua volta unità sommitale del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore.

Sostanzialmente in accordo con il quadro delle litologie superficiali del Foglio 202 si può trovare nella Tavola 2a.5 del QC del PTCP della Provincia di Modena - "Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali" - (Figura 5) in cui, per l'area in esame, risulta prevalente la presenza di litotipi a componente granulometrica grossolana (sabbie di canale fluviale). La differenza principale tra le due cartografie è rappresentata dall'interpretazione morfologica delle forme legate alla paleo-dinamica fluviale: il Foglio 202 tende infatti ad estendere verso est la dimensione dell'area dominata da sabbie in superficie, molto di più di quanto faccia il PTCP, secondo la cui interpretazione il dosso fluviale che interseca l'area arrivando fino al Capoluogo ha una sezione trasversale molto più ristretta.



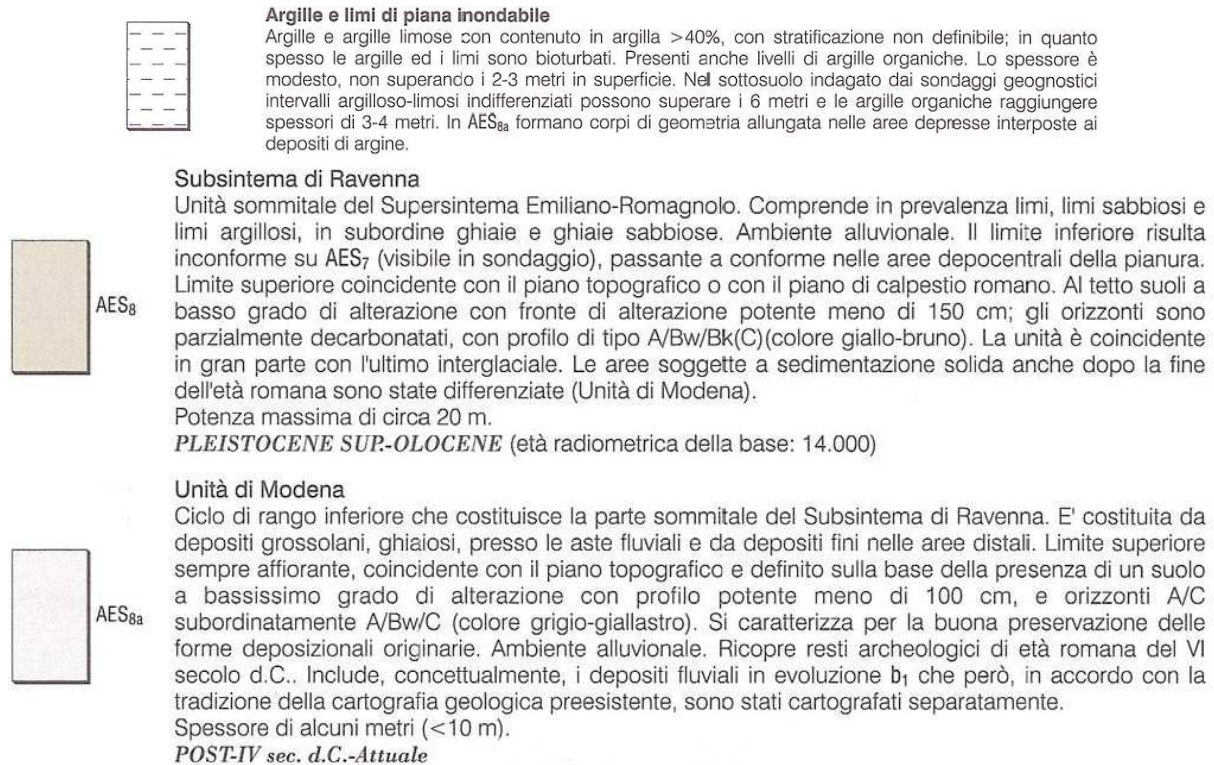


Figura 4 – Stralcio del Foglio 202 “San Giovanni in Persiceto” della Carta Geologica d’Italia a scala 1:50.000 (Fonte: ISPRA). Il quadrato rosso individua l’area di studio.

E’ pertanto ragionevole attendersi, per l’area, un ambiente deposizionale caratterizzato da ritmiche divagazioni dei corsi d’acqua minori (o, più probabilmente, del Fiume Panaro – si veda Figura 8), il cui risultato può essere una stratigrafia piuttosto variabile, sia nello spazio che verticalmente, con alternanze di livelli fini e a comportamento geomeccanico visco-plastico e di livelli incoerenti, sabbiosi, fino ad un tetto delle ghiaie che si può supporre piuttosto profondo rispetto alla superficie topografica.

A tal proposito, dalla stratigrafia dei pozzi per acqua del campo acquifero della Nosadella, circa 800 m a sud dell’area d’indagine, reperibili dal database geognostico della Regione Emilia-Romagna, il tetto delle ghiaie sarebbe all’incirca a 239 m dal piano campagna.

La stratigrafia del pozzo (codice 202090P656), riportata in Allegato 1, indica la presenza di argilla da piano campagna fino alla profondità di -5 m, seguita da sabbia fino a -7 m. La stratigrafia prosegue con continue alternanze tra terreni fini e terreni sabbiosi fino, appunto, al tetto del primo strato ghiaioso a -237 m; quest’ultimo ha uno spessore di circa 2 m.

Ancora, il PTCP della Provincia di Modena, nella Tavola 3.2 di QC - “Depositati del sottosuolo che influenzano il moto sismico in superficie” – individua una profondità del tetto del substrato marino a circa -370 m s.l.m., ovvero -400 m rispetto al piano campagna dell’area di studio), ed una profondità del tetto del ciclo alluvionale inferiore prossima a -250 m s.l.m. (ovvero -280 m rispetto al piano campagna dell’area di studio) (Figura 6).

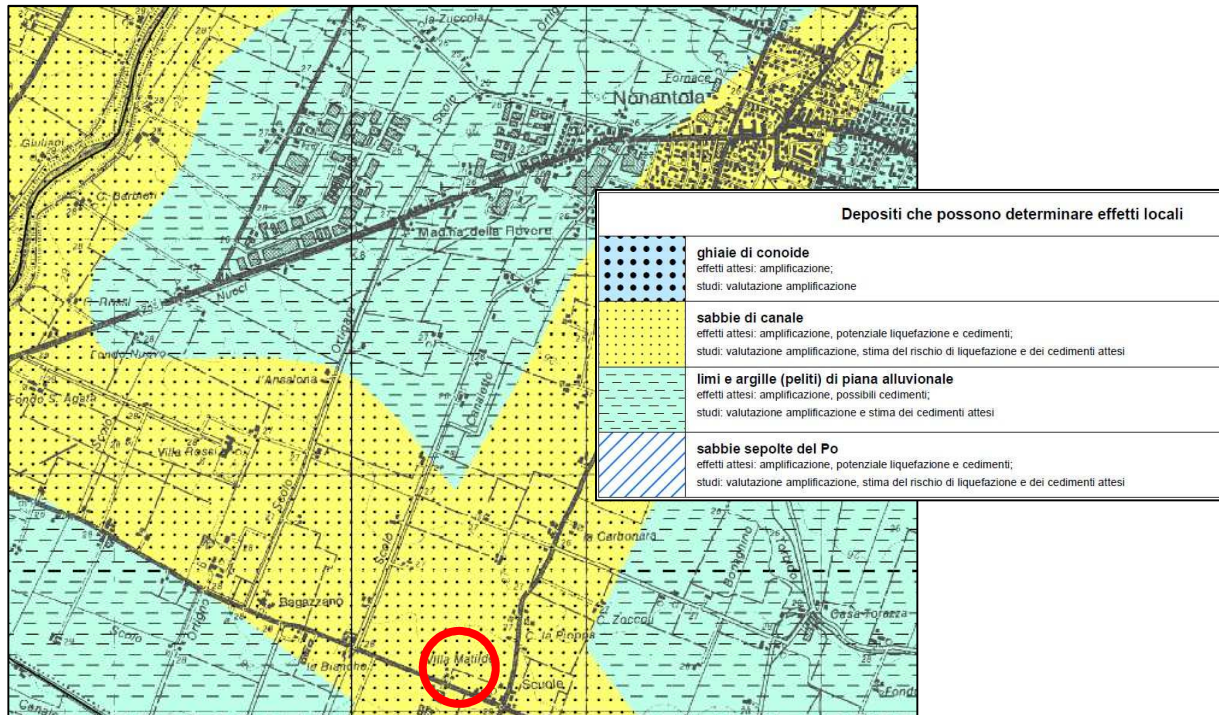


Figura 5 – Stralcio della Tavola 2a.5 “Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali” del QC del PTCP della Provincia di Modena (2009). Il cerchio rosso individua l’area di studio.

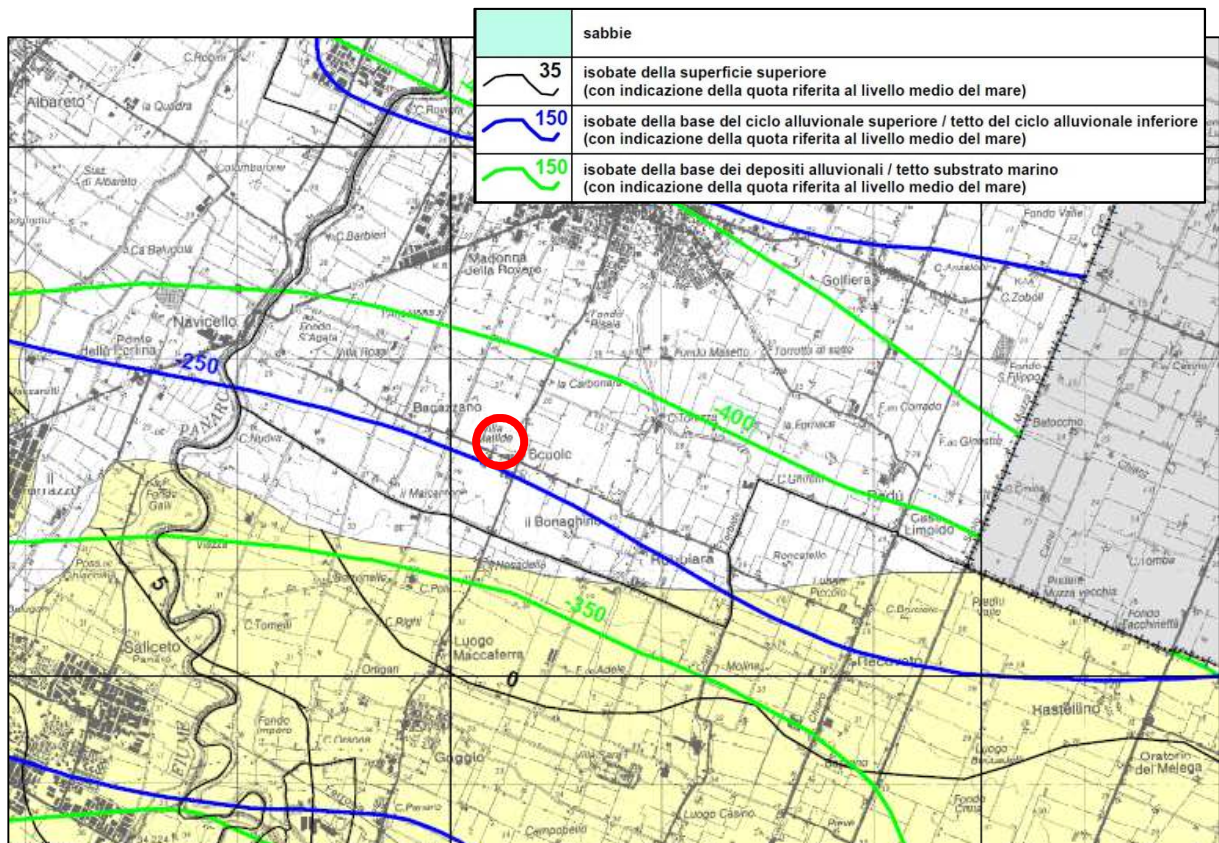


Figura 6 – Stralcio della Tavola 3.2 di QC del PTCP della Provincia di Modena – “Depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico in superficie”. Il cerchio rosso circonda l’area di studio.

Completamente differente dalle precedenti ricostruzioni litologiche è quella rappresentata nella "Carta geologico-tecnica" dello studio di microzonazione sismica di II livello eseguito per il Comune di Nonantola (Figura 7).

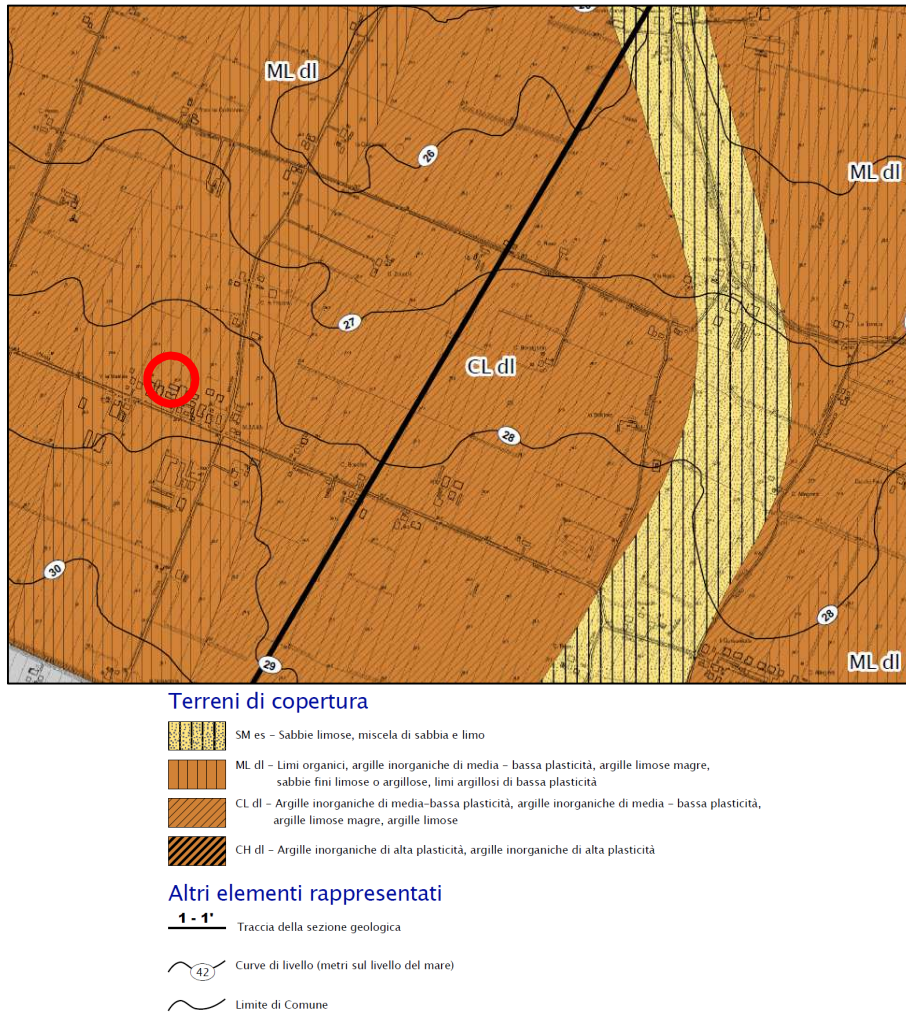


Figura 7 – Stralcio della Tavola 1.2 – Ovest "Microzonazione sismica – Carta geologico-tecnica" del Comune di Nonantola. Il cerchio rosso circonda l'area di studio.

L'area, infatti, ricadrebbe all'interno di una fascia di terreno orientata all'incirca S-N, costituita in superficie da limi organici, argille inorganiche di media - bassa plasticità, argille limose magre, sabbie fini limose o argillose e limi argillosi di bassa plasticità. La sezione geologica nr. 3, allegata alla Carta geologico-tecnica, interpreta, nel sottosuolo dell'area, una successione di terreni fini prevalenti, alternati ad almeno 9 strati sabbiosi, fino alla profondità di circa 300 m, ma non identifica la presenza del livello ghiaioso intercettato dai pozzi della Nosadella a circa - 237 m.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area in studio si sviluppa in un contesto caratterizzato dalla presenza di forme superficiali legate alla paleo-dinamica fluviale (Figura 8Figura 4).

In particolare, l'area è ubicata in una zona di transizione, come visibile in Figura 8², tra due paleoalvei del Fiume Panaro: quello più orientale, che attraversa S. Giovanni in Persiceto, abbandonato nell'età del Bronzo, e quello più occidentale, che passa di poco ad ovest di Castelfranco Emilia fino ad intersecare Nonantola, abbandonato in età Romana. Pertanto, è ragionevole ipotizzare una forte impronta del Fiume Panaro nella costruzione della sequenza stratigrafica più superficiale della zona.

Impronta che è messa ben in evidenza dalla carta geomorfologica della pianura modenese (Giusti, 2001), in Figura 9, in cui è intuibile la collocazione dell'area d'indagine all'interno di un dosso fluviale di altezza inferiore a 2 m. Il dosso, come anche quello più ad est, rappresentano lo stazionamento dell'alveo del Fiume Panaro nel suo progressivo spostamento verso ovest; la maggior altezza di queste forme rispetto alla pianura circostante ha di conseguenza determinato la presenza dell'area depressa, nella quale sono andati a depositarsi i sedimenti di rotta più fini.

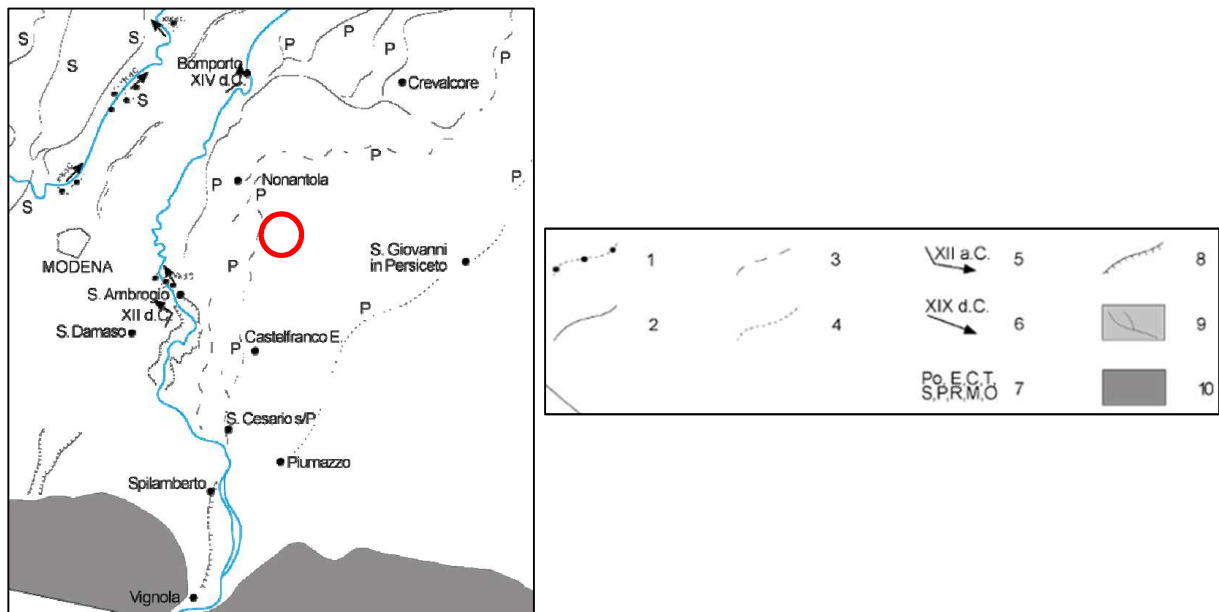


Figura 8 - Evoluzione della rete fluviale tra Mantova e Modena - Legenda: 1) idrografia abbandonata di età moderna, 2) idrografia abbandonata di età medioevale, 3) idrografia abbandonata di età romana, 4) idrografia abbandonata di età del Bronzo, 5) principale deviazione fluviale e indicazione della sua età, 6) principale taglio di meandro e indicazione della sua età, 7) indicazione di dominio fluviale: Po = Po, E = Enza, C = Crostolo, T = Tresinaro, S = Secchia, P = Panaro, M = Mincio, O = Oglio, 8) principale scarpata fluviale, 9) depositi fluvioglaciali e fluviali tardo pleistocenici con tracce di paleoalvei, 10) formazioni pre-quadernarie del margine appenninico. Il cerchio rosso individua l'area di studio.

² PANIZZA, M., CASTALDINI, D., PELLEGRINI, M., GIUSTI, C. & PIACENTINI, D. (2004) - Matrici geo-ambientali e sviluppo insediativo: un'ipotesi di ricerca - in Mazzeri, C. (a cura di): Per un Atlante Storico Ambientale Urbano, Edizioni APM, 31-51 pp.

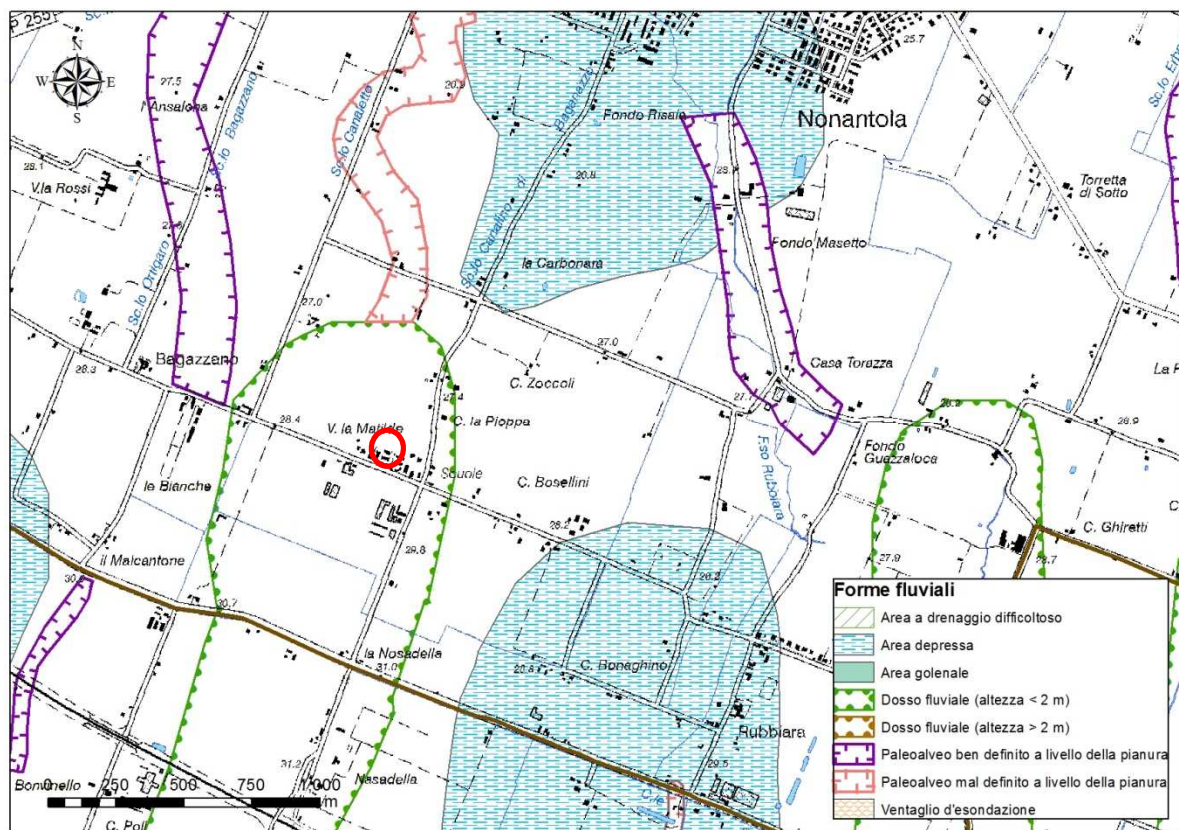


Figura 9 – Stralci della “Carta geomorfologica” della pianura modenese. Fonte: Giusti (2001) - Geomorfologia della pianura modenese e studio d’impatto ambientale del tracciato ferroviario ad alta velocità nel territorio di Castelfranco Emilia. Università degli studi di Modena e Reggio Emilia, Dipartimento di Scienze della Terra, 193 p. Il cerchio rosso individua l’area di studio.

In merito all’idrografia, gli elementi idrografici più prossimi sono rappresentati esclusivamente da aste di ordine minore del reticolo superficiale, ovvero dallo Scolo Canalino di Baganazzo, che scorre 140 m ad est dell’area, dal Fosso Zena (1,5 km a NE), che nasce in Comune di Castelfranco Emilia, attraversa il Capoluogo di Nonantola e devia verso est immettendosi nel Canale Collettore Acque Alte in Comune di Crevalcore, e dal Canale Diversivo di Gaggio Panzano Recovato, che qui coincide con il confine meridionale del territorio comunale. Il Fiume Panaro scorre 2,5 km ad ovest.

Per quanto riguarda le acque sotterranee, l’elaborazione della piezometria dei corpi idrici liberi e confinati superiori da parte di Arpae (Figura 10), per il Report 2016, i livelli piezometrici nell’intorno dell’area d’indagine possono variare tra 25 e 30 m s.l.m., corrispondenti a soggiacenze variabili tra 2 e 3 m.

Soggiacenza confermata, nei valori, anche dalla Tavola 1.4 – Ovest “Microzonazione sismica – Carta soggiacenza primo acquifero” dello studio di Microzonazione sismica di II livello del Comune di Nonantola.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

In data 07/03/2019 è stata eseguita un'indagine geognostica nell'area in oggetto al fine di analizzare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni che saranno interessati dall'intervento in progetto.

L'indagine è stata condotta mediante l'esecuzione di 2 prove penetrometriche statiche a punta meccanica (CPTm). L'ubicazione delle prove è mostrata nella planimetria riportata in Figura 11, mentre i diagrammi penetrometrici, unitamente ai tabulati di campagna, sono riportati in Allegato 2.

Le prove, che hanno entrambe raggiunto la profondità di 20 m dal piano di campagna, sono state eseguite utilizzando un penetrometro statico Gouda 100kN, con le seguenti caratteristiche tecniche:

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diámetro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	20

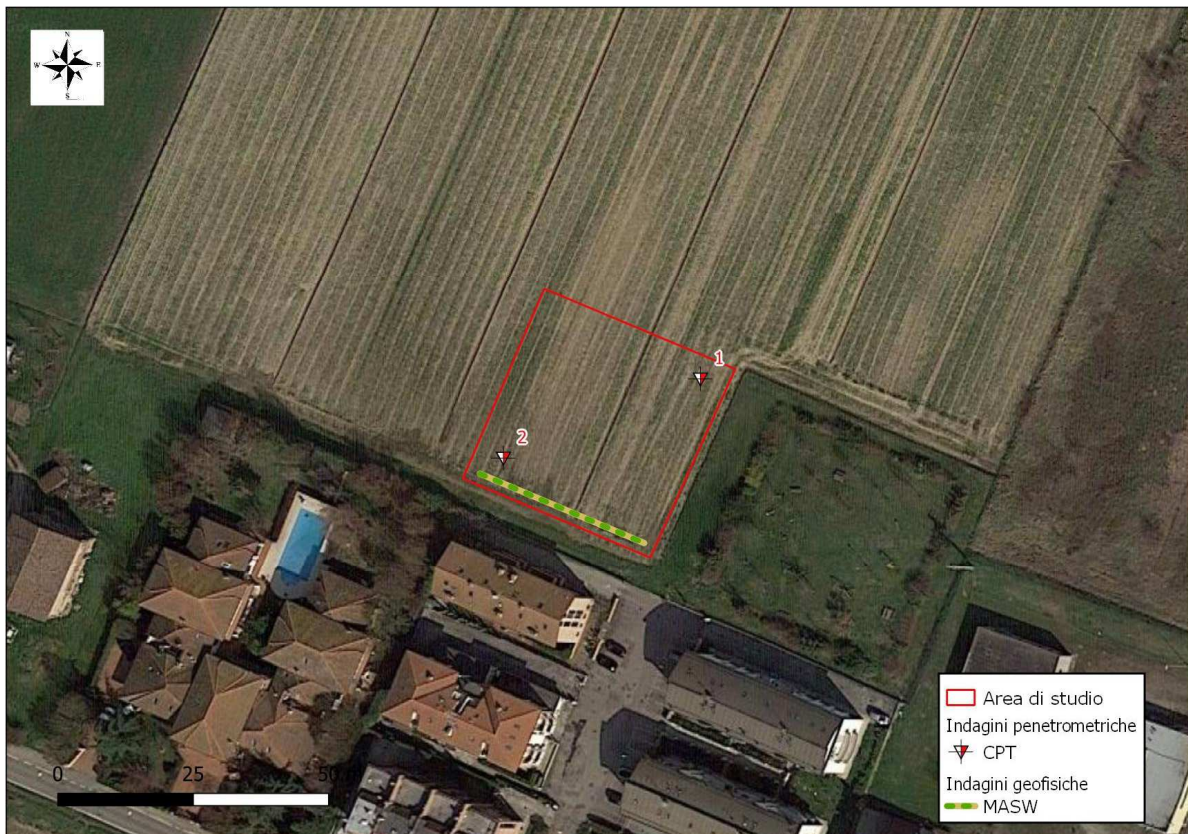


Figura 11 – Ubicazione dei sondaggi penetrometrici statici e dello stendimento MASW.

Dal punto di vista litostratigrafico, oltre il primo livello superficiale di suolo agricolo, le prove penetrometriche (Tabella 1 e Tabella 2) hanno evidenziato la presenza, nella porzione più superficiale della stratigrafia indagata, di terreni

incoerenti (sabbie), avvalorando l'interpretazione litologica del Foglio 202 e del PTCF.

Nr. Strato	Prof. da p.d.c.	Tipologia di terreno	q_c med.	c_u med.	OCR med.	γ_{nat} med.	D_r med.	φ' med.
	<i>m</i>	...	<i>Mpa</i>	<i>kPa</i>	...	<i>kN/m³</i>	<i>%</i>	<i>°</i>
1	0.4-0.8	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.2			17.4	25.4	32.4
2	0.8-1.2	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	1.2	73.2	32	18.2		
3	1.2-2.8	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.3			17.4	26.3	32.7
4	2.8-4	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	1.3	82.3	11	18.0		
5	4-4.6	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	1.6	107.7	13	17.8		
6	4.6-5.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.5	27.0	2	16.9		
7	5.2-5.6	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	1.0	81.2	8	17.1		
8	5.6-6.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.0	57.9	4	17.7		
9	6.4-7	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	1.8	108.5	9	18.2		
10	7.0-10	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	50.4	3	17.3		
11	10-12.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	68.1	3	17.6		
12	12.4-13.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	40.8	1	17.5		
13	13.2-13.6	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	1.3	76.9	3	17.7		
14	13.6-14.6	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	2.5	144.7	6	18.7		
15	14.6-15	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	3.6	241.8	11	18.7		
16	15-15.6	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	5.8			18.6	34.5	35.4
17	15.6-16.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.6	80.1	3	18.6		
18	16.6-17.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.5	141.1	5	18.8		
19	17.4-18	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	3.2	195.2	7	19.0		
20	18-20	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.2	112.2	3	18.8		

Tabella 1 – Modello geotecnico in corrispondenza della CPTm1.

Nr. Strato	Prof. da p.d.c.	Tipologia di terreno	q_c med.	c_u med.	OCR med.	γ_{nat} med.	D_r med.	φ' med.
	<i>m</i>	...	<i>Mpa</i>	<i>kPa</i>	...	<i>kN/m³</i>	<i>%</i>	<i>°</i>
1	0.4-0.8	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.4			18.0	28.2	33.5
2	0.8-2.6	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	1.0	63.0	15	17.8		
3	2.6-3.4	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	1.6	106.7	16	18.1		
4	3.4-4	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	1.2	80.0	10	17.8		
5	4.0-5	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	1.6	98.2	11	18.0		
6	5-6.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	64.3	5	17.9		
7	6.2-6.8	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	1.6	93.5	7	18.5		
8	6.8-7.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	55.3	3	17.9		
9	7.8-8.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.6	32.2	2	17.1		
10	8.4-13.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	56.1	2	18.0		
11	13.2-13.6	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	3.3	230.5	11	18.6		
12	13.6-14.6	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	4.6			18.5	30.7	34.2
13	14.6-15.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.0	44.7	1	17.8		
14	15.6-16.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.1	114.7	4	18.5		
15	16.8-17.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	3.2	185.0	7	19.1		
16	17.2-20	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	2.2	113.1	3	18.9		

Tabella 2 – Modello geotecnico in corrispondenza della CPTm2.

q_c	resistenza alla punta (MPa)
c_u	coesione non drenata (kPa)
OCR	grado di sovraconsolidazione (...)
γ_{nat}	peso di volume naturale (kN/m ³)
D_r	densità relativa (%)
φ'	angolo d'attrito interno (°)
med.	valore medio

Un secondo livello sabbioso è presente tra 15 e 15,6 m nella CPTm1 e tra 13,6 e 14,6 m nella CPTm2. Solo nella CPTm1 è presente un terzo livello sabbioso, di spessore superiore ai due precedenti, tra 1,2 e 2,8 m. Le litologie prevalenti sono le argille e le miscele limose.

Dal punto di vista geotecnico, i livelli sabbiosi risultano sciolti, le argille hanno mediocre consistenza, mentre le miscele limose presentano i valori di resistenza geomeccanica più alti.

Considerando i profili della resistenza alla punta media, le due verticali penetrometriche mostrano andamenti molto simili sia nella forma che nei valori (Figura 12); si nota in ogni caso un leggero sfasamento tra i due profili a partire da 13 a 18 m.

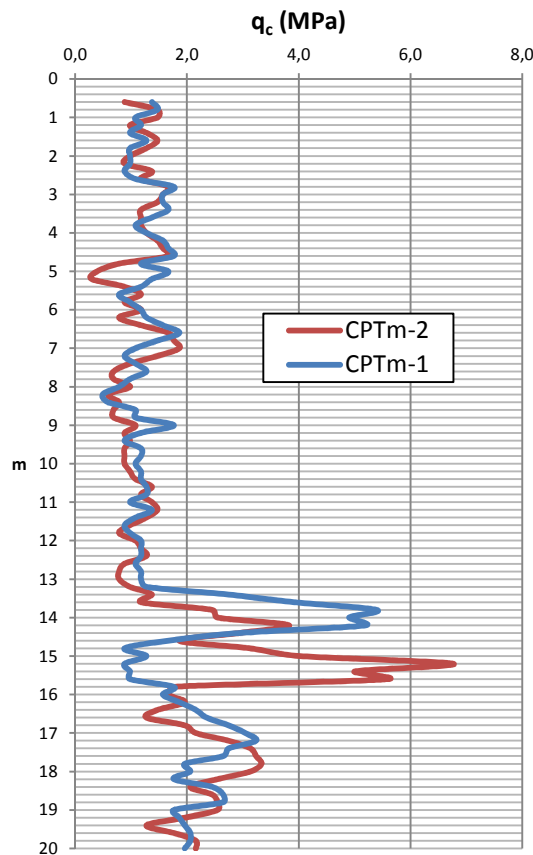


Figura 12 – Confronto dei profili di R_p con la profondità delle due verticali penetrometriche.

4. INDAGINE SISMICA

Per la classificazione sismica dei terreni, sono stati utilizzati i dati ricavati dall'esecuzione di una indagine a sismica attiva MASW (Allegato 3), eseguita in data 07/03/2019 nella fascia di terreno naturale lungo il confine meridionale dell'area (Figura 11). L'indagine geofisica ha permesso di interpretare il profilo della velocità delle onde sismiche V_s con la profondità e di ricavare il parametro di Normativa V_{s30} , risultato pari a **196** m/sec, che inserisce il terreno di fondazione all'interno della classe **C** - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
2.8	2.8	139
9.7	6.9	187
16.5	6.8	161
30.0	13.5	251

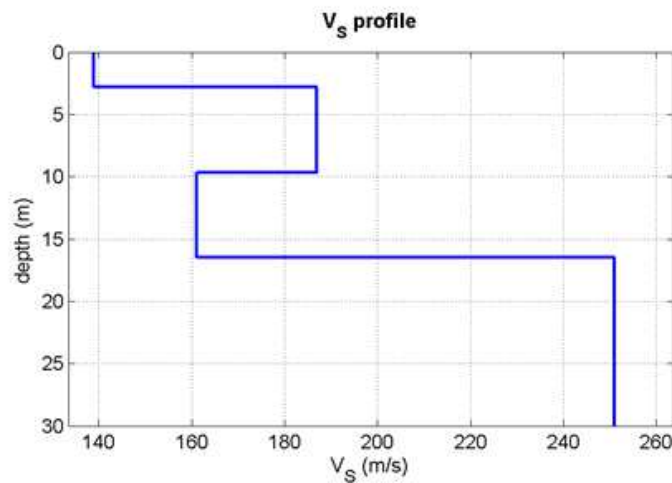
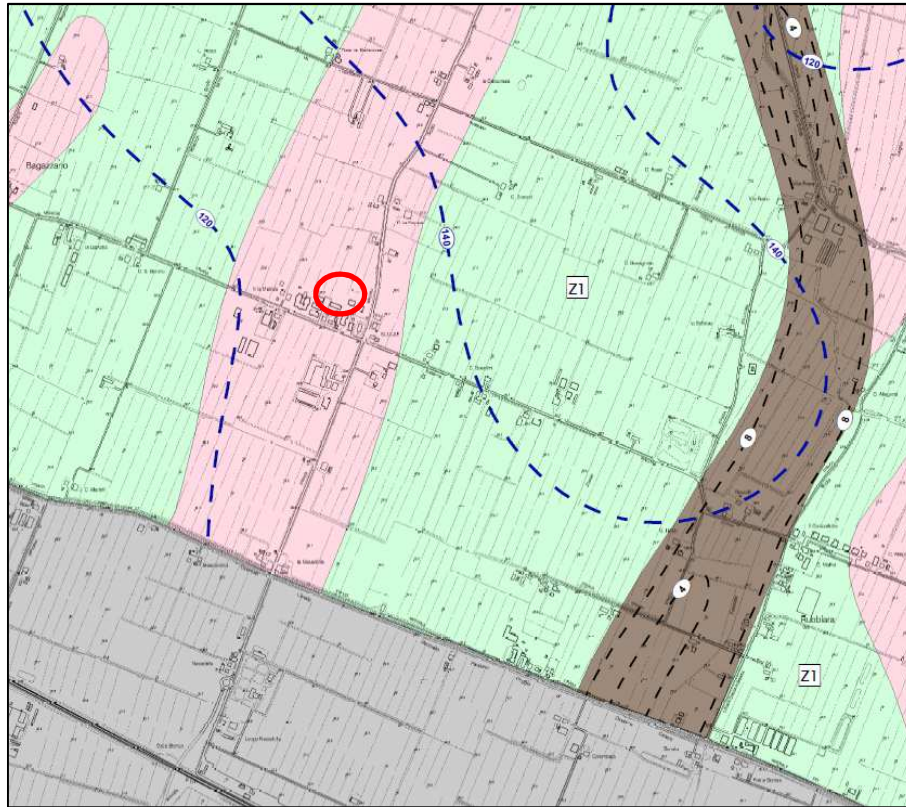


Figura 13 - Diagramma velocità V_s /profondità interpretato da prova MASW.

5. MICROZONAZIONE SISMICA

La carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) della microzonazione sismica di II livello del Comune di Nonantola (Figura 14) inserisce l'area in una zona stabile suscettibile di amplificazione litostratigrafica e di cedimenti differenziali, per la cui stima sono necessari approfondimenti di III livello.



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- ZONA 1 Limi - limi argillosi - argille limose, moderatamente consistenti (ML/CL-24) contenenti sottili corpi lentiformi sabbioso limosi argillosi con spessore tra 1,0 e 2,0 moderatamente addensati (SM-12).
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.
Approfondimenti di II° livello.
- ZONA 2 Argille limose - argille, moderatamente consistenti (CL-24) con intercalati subordinati corpi lentiformi limi argillosi - moderatamente consistenti (ML-24) e sabbioso limosi poco addensati (SM-13).
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.
Approfondimenti di II° livello.

Altri elementi rappresentati

- Isobate del substrato a comportamento rigido: bedrock sismico (metri dal piano campagna)
- Profondità tetto delle sabbie (metri dal piano di campagna)
- Limite di Comune

Zone stabili suscettibili di instabilità

- POTENZIALE LIQUEFAZIONE**
Sabbie e sabbie limose in strati con spessori tra 2 e 4/5 m, moderatamente addensate (SM-12) con intercalate alternanze limose - limoso argillose moderatamente consistenti (ML-24).
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, potenziale liquefazione.
Approfondimenti di III° livello per valutazione di suscettività alla liquefazione.
- POTENZIALI CEDIMENTI DIFFERENZIALI**
Limi - limi argillosi sabbiosi poco consistenti (CL/ML-25) con corpi sabbiosi lentiformi da poco addensati a moderatamente addensati (SM-13/12) nei primi 12 m dal pc.
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, cedimenti differenziali.
Approfondimenti di III° livello per stima dei cedimenti differenziali.
- POTENZIALI CEDIMENTI DIFFERENZIALI**
Argille limose - limi argillosi poco consistenti (ML/CL-25) con intercalati corpi lentiformi sabbioso limosi con spessori tra 1 e 2 m da moderatamente a poco addensati (SM-12/13) nei primi 12-13 m pc, con l'aumento della profondità argille limose - limi argillosi moderatamente consistenti (CL-24).
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, potenziali cedimenti differenziali per cedimenti di terreni poco consistenti e densificazione /liquefazione di sottili strati sabbioso limosi.
Approfondimenti di III° livello per stima dei cedimenti.
- ZONA SUSCETTIBILE DI SOVRAPPOSIZIONE DI INSTABILITÀ DIFFERENTI**
Sabbie limose e sabbie poco addensate (SM-13) e limi - limi argillosi poco consistenti (ML-25) nei primi 14 m pc, con l'incremento della profondità sabbie limose moderatamente addensate (SM-11) limi argillosi - argille limose moderatamente consistenti. (ML/CL-24).
Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, potenziale liquefazione e cedimenti differenziali.
Approfondimenti di III° livello per valutazione di suscettività alla liquefazione e stima dei cedimenti differenziali.

Figura 14 – Stralcio della Tavola 1.6 – Ovest “Carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica)” della microzonazione simica di II livello del Comune di Nonantola. Il cerchio rosso individua l’area di studio.

La carta delle velocità delle onde S nei primi 30 m (Figura 15), elaborata all’interno dello studio di microzonazione simica di II livello del Comune di Nonantola, mostra per l’area in esame valori variabili tra 190 m/s e 210 m/s, del tutto compatibili con il valore ricavato dall’indagine MASW eseguita per questo studio.

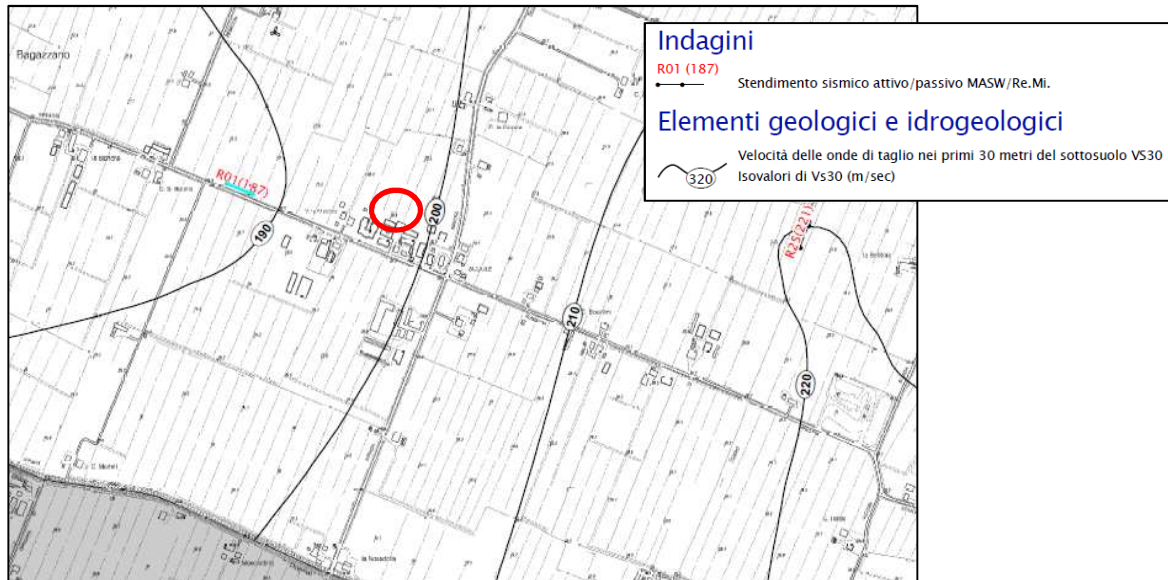


Figura 15 - Stralcio della Tavola 2.2 – Ovest “Carta delle velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m pc (Vs30)” della microzonazione sismica di II livello del Comune di Nonantola. Il cerchio rosso individua l’area di studio.

Sempre lo studio di microzonazione sismica di II livello del Comune di Nonantola stima per l’area i seguenti fattori di amplificazione sismica (sensu DAL/RER 112/2007):

F.A. PGA: 1,7-1,8
F.A. $I_{Housner 0,1-0,5}$: 1,9-2
F.A. $I_{Housner 0,5-1,0}$: **non classificabile**³

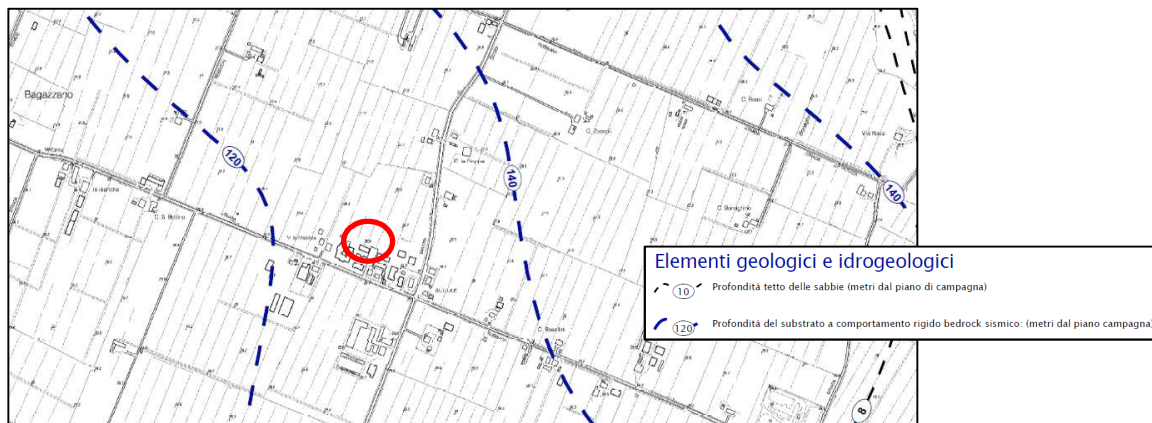


Figura 16 - Stralcio della Tavola 1.5 – Ovest “Carta del tetto delle sabbie e del substrato a comportamento rigido” della microzonazione sismica di II livello del Comune di Nonantola. Il cerchio rosso individua l’area di studio.

³ Nella Tavola 3.7 – Ovest “Carta di microzonazione sismica Livello 3 – F.a. I.S. 0,5-1,0” dello studio di microzonazione sismica di II livello del Comune di Nonantola, sono presenti due classi, con fattori di amplificazione differenti per $SI0.5-1.0$, ma rappresentate con lo stesso colore che, in mappa, copre anche l’area del presente studio: non è quindi possibile stabilire a quale delle due classi l’area in esame si riferisce.

Infine, sempre la microzonazione sismica di II livello individua la profondità del bedrock sismico, in corrispondenza dell'area di studio, a circa -130 m dal piano campagna. Adeguando, pertanto, la microzonazione sismica alla DGR 2193/2015 in base ai risultati delle prove geotecniche e geofisiche eseguite per questo studio ed alla profondità del bedrock sismico individuata dalla microzonazione di II livello, otterremo che l'ambito di appartenenza dell'area sarebbe quello di **PIANURA 2**: *settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.*, da cui i fattori di amplificazione divengono:

F.A. PGA: 1,7
F.A. SI1: 2
F.A. SI2: 3
F.A. SI3: 3,3

5.1. Suscettibilità alla liquefazione

Data la presenza di alcuni livelli con sabbie sciolte nei primi 20 m dal piano campagna, come evidenziato dalle indagini penetrometriche eseguite per questo studio, e vista anche la presenza di una falda piuttosto superficiale, si è ritenuto opportuno eseguire una verifica di suscettività a liquefazione in caso di evento sismico.

Oltre alle condizioni per così dire "statiche" necessarie allo sviluppo del fenomeno della liquefazione, ovvero la presenza di strati potenzialmente liquefacibili immersi in falda (come nel presente caso), l'attivazione del fenomeno necessita anche del contributo dinamico offerto dal sisma, ovvero l'intensità e la durata dello scuotimento. In letteratura sono state definite diverse metodologie per individuare, per ogni area, la soglia oltre la quale il fenomeno può attivarsi, recentemente richiamate, quali proposte operative, nell'Appendice 1 del documento "*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)*" redatto dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (ver. 1, 2017).

Nelle linee guida si sottolinea come "[...] La M_w (magnitudo momento), nell'ambito degli studi di liquefazione, è una grandezza legata al processo fisico del terremoto (durata) e al numero di cicli di carico e scarico dei depositi investiti dalla onde sismiche. Quindi è preferibile scegliere una magnitudo di riferimento molto vicina all'area in studio [...]".

Vengono poi elencati i metodi "classici" di calcolo della M_w ai fini della suscettività a liquefazione, evidenziandone vantaggi e criticità:

- Massima magnitudo dal catalogo DBMI11,
- Criteri del cut-off magnitudo-distanza

- Massima magnitudo delle zone sismogenetiche e disaggregazione (ICMS, 2008)

Viene poi proposta una metodologia originale per il calcolo della magnitudo per la verifica delle condizioni per la liquefazione, dal contributo originale del Prof. Dario Albarello (Università di Siena), in grado di superare, almeno in parte, alcune delle maggiori criticità dei metodi classici sopra elencati, basata sull'uso diretto delle osservazioni macrosismiche relative ai terremoti che in passato hanno interessato il sito di studio (storia sismica di sito).

I risultati della metodologia proposta presentano i seguenti aspetti fondamentali e che superano le criticità espresse precedentemente:

- Identificano una magnitudo soglia legata alla distanza tra l'epicentro di un evento sismico realmente accaduto e il sito in studio;
- Mantengono un legame diretto con le osservazioni effettivamente utilizzate per la loro determinazione, consentendo al contempo la corretta gestione delle incertezze inerenti questi dati che risulta coerente con il carattere discreto ed ordinale delle informazioni macrosismiche considerate per l'analisi;
- Legano strettamente i valori della M_w e della PGA (che sono i parametri che permetteranno di effettuare calcoli sul fattore di sicurezza o l'indice di liquefazione con i metodi semplificati) che devono riferirsi, per rispettare la natura fisica del problema, allo stesso evento sismico.

Per la definizione di un dato territorio comunale come potenzialmente soggetto a liquefazione (in termini di condizioni scatenanti ed al netto della possibile presenza di fattori predisponenti), il metodo propone due condizioni che costituiscono, **se verificate entrambe**, la condizione per la quale il sito in esame può essere considerato potenzialmente soggetto a liquefazione dinamica:

1. Un valore di I_{ref} (intensità di riferimento al sito) almeno pari a VII MCS; questa scelta è data dalla considerazione che nelle numerose leggi di conversione I_{MCS_PGA} , il grado VII MCS corrisponde a circa 0,1g; inoltre, si vede che solo dal VII grado della scala EMS98 sono presenti effetti di liquefazione fra quelli osservati nell'ambiente naturale in occasione di eventi con questa intensità;
2. La presenza nella lista degli eventi che contribuiscono a I_{ref} di almeno un evento con M_w e distanze $R(km)$ compatibile con la relazione di Galli (2000):

$$M_w = 2.75 + 2.0 * \log_{10} R$$

Nell'Allegato 1 del documento della Commissione sono riportate le mappe del territorio nazionale e la lista dei Comuni per i quali sono verificate le soglie 1 e 2 precedentemente definite e sussiste, dunque, la condizione di suscettibilità alla liquefazione rispetto alla M_w e alla distanza epicentrale dell'evento sismico.

Per il territorio comunale di Nonantola non risultano verificate le 2 soglie di cui sopra e, di conseguenza, la condizione di suscettibilità alla liquefazione rispetto alla M_w ed alla distanza epicentrale dell'evento sismico.

A titolo puramente speculativo, si è comunque scelto di verificare la suscettività a liquefazione utilizzando anche uno dei metodi classici, ovvero quello della massima M_w delle zone sismogenetiche. Il comune di Nonantola non è compreso all'interno di alcuna zona sismogenetica dell'ultimo catalogo DISS 3.2.1 dell'INGV (Figura 17).

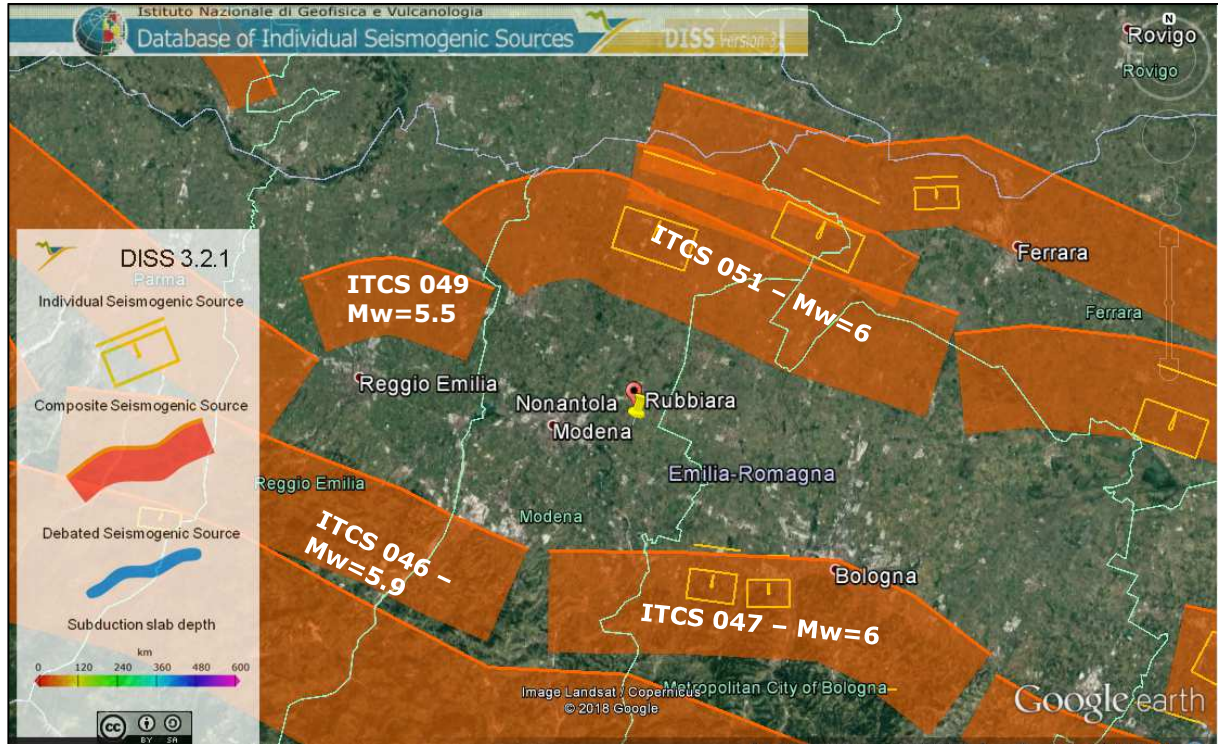


Figura 17 – Estratto del database DISS 3.2.1 dell'INGV. Il pin giallo identifica l'area d'indagine.

Come si può vedere da Tabella 3, le magnitudo di ogni zona sismogenetica prossima al sito è superiore al valore M_{si} calcolato. Pertanto, in base al criterio stabilito dal metodo, [...] nel caso in cui **almeno una** M_{si} calcolata per le zone sismogenetiche circostanti è inferiore alla M_w della stessa zona per la quale è stata calcolata M_{si} , si assume per M_w il **valore di magnitudo più alto** tra le magnitudo delle zone sismogenetiche circostanti. Nel caso in esame M_w sarebbe pari a **6**.

	M_w	R_i (km)	$M_{si} = 1 + 3\log(R_i)$
ITCS 051	6	12.37	4.3
ITCS 049	5.5	21	5.0
ITCS 046	5.9	21	5.0
ITCS 047	6	15	4.5

Tabella 3 – Magnitudo (M_{si}) calcolata al sito di Bagazzano in base alle coppie M_w -D delle 4 sorgenti sismogenetiche più prossime.

Per il valore di PGA si è scelto quello corrispondente agli eventi sismici del 20-29 maggio 2012 che hanno interessato la zona sismogenetica ITCS 051, caratterizzati da M_w pari a 5,8 e 5,9, quindi del tutto comparabili col valore massimo di 6 selezionato. Il valore di PGA è pari a 0,3g.

L'analisi di suscettività a liquefazione è stata quindi eseguita utilizzando l'algoritmo di calcolo sviluppato da Robertson & Wride (1998)⁴, nelle sue più recenti modifiche introdotte da Youd et al. (2001)⁵ e da Robertson (2009)⁶.

L'analisi di suscettività (si veda l'Allegato 4 per tutti i dettagli) ha restituito un Indice di Potenziale Liquefazione pari a **2** per la CPTm1 e pari a **1,7** per la CPTm2, entrambi corrispondenti a pericolosità per liquefazione "**bassa**" (in base alla classificazione di Sonmez, 2003).

Il calcolo dei cedimenti post- sismici dei livelli risultati liquefacibili è stato effettuato attraverso la procedura di calcolo proposta da Zhang et al. (2002)⁷, dove la deformazione volumetrica post-liquefazione (ε_v) è calcolata tramite apposite formule che combinano il fattore di sicurezza alla liquefazione (FSL) con la resistenza alla punta normalizzata, equivalente alle sabbie pulite, $(q_{c1N})_{CS}$. L'integrazione con la profondità dei singoli valori di assestamento verticale, mediante la formula:

$$S = \sum_{i=1}^j \varepsilon_{vi} \Delta z_i$$

dove: ε_{vi} è la deformazione volumetrica post-liquefazione dello strato i-esimo e Δz_i è lo spessore dello strato i-esimo, ha restituito valori dell'ordine di **5 cm** per la CPTm1 e di **2 cm** per la CPTm2 (Figura 18).

Il calcolo dei cedimenti post-sismici, relativamente agli strati a comportamento meccanico plastico ed a bassa consistenza, viene effettuato attraverso la procedura di calcolo proposta da Robertson (2009)⁸.

La deformazione volumetrica viene calcolata con:

$$\varepsilon_{vol} = [0.8 - 2.66 \log (FS)] / [0.33 A (Q_m)^3]$$

dove FS è il fattore di sicurezza rispetto al rammollimento ciclico (3% deformazione di taglio), a sua volta esprimibile con:

$$F_{S,\gamma=3\%} = \frac{CRR_{\gamma=3\%,M=7.5}}{CSR} \cdot MSF$$

Boulanger & Idriss (2007) hanno dimostrato che l'MSF per le argille è diverso da quello per le sabbie, ovvero:

⁴ Robertson, P.K. & Wride, C.E. (1998) – Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 35(3): 442-459.

⁵ Youd T.L., Idriss I.M., Andrus R.D., Arango A., Castro G., Christian J.T., Dobry R., Finn W.D.L., Harder L.F., Hynes M.E., Ishihara K., Koester J.P., Liao S.S.C., Marcuson W.F., Martin G.R., Mitchell J.K., Moriwaki Y., Power M.S., Robertson P.K., Seed R.B., Stoke K.H. (2001) - "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, October 2001, pp. 817-833.

⁵ Robertson, P.K. & Wride, C.E. (1998) - Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, 35(3): 442-459.

⁶ Robertson, P.K. (2009) – Interpretation of cone penetration tests – a unified approach. Canadian Geotechnical Journal, 46: 1337-1355.

⁷ Zhang, G., Robertson, P. & Brachman, R. (2002) - Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground Can. Geotech. J., 39, 1168-1180.

⁸ Robertson, P.K. (2009) – Performance based earthquake design using the CPT. Keynote Lecture at International Conference on Performance-based design in Earthquake Geotechnical Engineering, IS Tokyo, Tsukuba, Japan.

$$MSF = 1.12 \cdot \exp\left(\frac{-M}{4}\right) + 0.828$$

$$MSF \leq 1.13$$

Per il calcolo del $CRR_{7.5}$, Robertson raccomanda un approccio che contempli non solo i terreni puramente argillosi, ma anche quelli di transizione tra le argille e le sabbie. Se $I_c > 2.7$, il terreno è argilloso e:

$$CRR_{7.5} = 0.053 Q_{tn} K_{\alpha}$$

dove Q_{tn} è la resistenza alla punta normalizzata e K_{α} è il fattore correttivo della resistenza alla liquefazione (CRR) per valori elevati della tensione geostatica (si veda sopra).

Se $2.5 < I_c < 2.7$, ovvero si è nella zona di transizione, si dovrà usare il valore della resistenza normalizzata alla punta, sabbie-equivalente:

$$Q_{tn,cs} = K_c Q_{tn}$$

dove

$$K_c = 6 \times 10^{-7} (I_c)^{16.76}$$

Il parametro A è funzione di Q_{tn} , a sua volta funzione dell'OCR secondo le seguenti:

$$A = 10 - 9 \log(\text{OCR})$$

$$A = 10 - 9 \log(0.33 Q_{tn})$$

Robertson, infine, suggerisce di limitare $\varepsilon_{vol} \leq 1\%$ quando $FS \leq 0.84$.

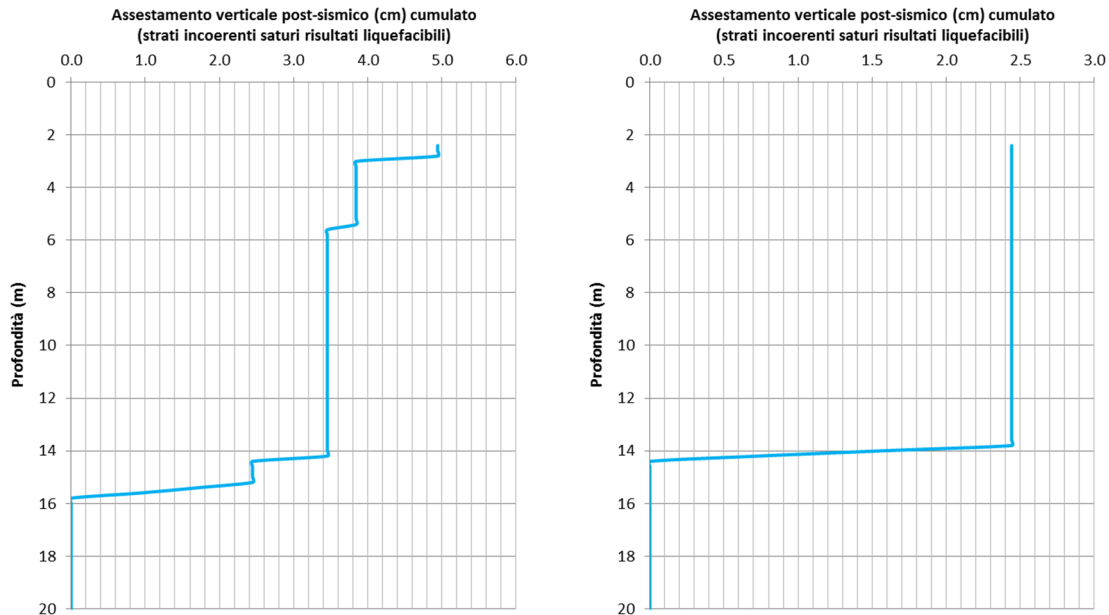


Figura 18 – Cedimenti post-sismici (in cm) nei livelli risultati liquefacibili calcolati nei primi 20 m dal p.d.c. – sinistra: CPTm1; destra: CPTm2.

Il cedimento post-sismico cumulato, nei livelli argillosi e limo-argillosi soffici è risultato nell'ordine di **4 e 5 cm**, rispettivamente nella CPTm1 e CPTm2 (Figura 19).

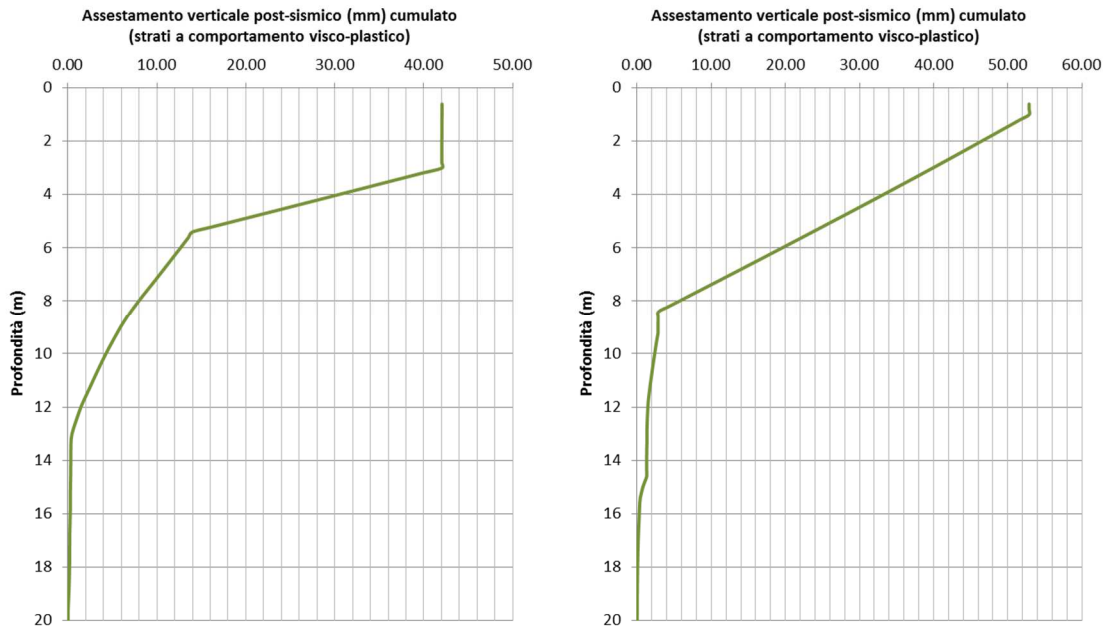


Figura 19 - Cedimenti post-sismici (in mm) nei livelli argillosi e limo-argillosi calcolati nei primi 20 m dal p.d.c. – sinistra: CPTm1; destra: CPTm.

6. SINTESI DELL'ANALISI DEI DATI RACCOLTI E CONCLUSIONI

Dall'analisi integrata dei dati scientifici disponibili in bibliografia, delle osservazioni di campagna effettuate durante il sopralluogo e dei dati acquisiti ed elaborati grazie ai sondaggi geognostici e geofisici eseguiti, è stato possibile caratterizzare il terreno in esame dai punti di vista litostratigrafico, geotecnico e sismico e dare un giudizio sulla fattibilità della Variante al PRG.

Giudizio che è risultato essere positivo e che ha permesso di dichiarare la **fattibilità della realizzazione dei due lotti residenziali in variante al PRG di Nonantola.**

Dallo studio eseguito emerge come l'area si collochi in una zona a debolissima inclinazione topografica, che permette uno sviluppo edilizio senza particolari problemi, con presenza, nei 20 m indagati, di terreni a prevalente componente fine, con argille e limi argillosi, e con sottili livelli sabbiosi, principalmente nei metri più superficiali, ma anche a circa 13-15 m di profondità.

Dal punto di vista geotecnico, i livelli sabbiosi risultano sciolti, le argille hanno mediocre consistenza, mentre le miscele limose presentano i valori di resistenza geomeccanica più alti.

Considerando i profili della resistenza alla punta media, le due verticali penetrometriche mostrano andamenti molto simili sia nella forma che nei valori, con picchi massimi in corrispondenza dei livelli sabbiosi e resistenze che aumentano sensibilmente da 15 a 20 m.

La soggiacenza della falda più superficiale, sulla scorta dei dati piezometrici elaborati dal Arpae, dovrebbe attestarsi tra 2 e 3 m dal p.d.c.; in occasione dell'esecuzione delle prove penetrometriche, il livello di falda non è stato intercettato a causa della chiusura del foro di sondaggio a seguito dell'estrazione delle aste.

Per la caratterizzazione sismica del terreno sono stati utilizzati i dati ricavati da un'indagine a sismica attiva (MASW) realizzata in data 07/03/2019 in corrispondenza dell'area d'indagine, che ha restituito un valore di V_{s30} pari a **196** m/s, permettendo di assegnare al terreno in esame la categoria di suolo **C** *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s"*.

La microzonazione sismica di II livello del Comune di Nonantola inserisce l'area in una zona stabile suscettibile di amplificazione litostratigrafica e di cedimenti differenziali, per la cui stima sono necessari approfondimenti di III livello. I fattori di amplificazione sismica (sensu DGR 2193/2015) sono risultati pari a:

F.A. PGA: 1,7
F.A. SI1: 2
F.A. SI2: 3

F.A. SI3: 3,3

In generale, la configurazione litostratigrafia, geotecnica e sismica, in relazione alle caratteristiche costruttive previste dalla Variante PRG, rende possibile ipotizzare l'adozione di fondazioni dirette superficiali, il cui dimensionamento strutturale dovrà tener conto dei parametri geotecnici e sismici in questa sede indicati, in relazione alle reali strutture fondali ed ai relativi carichi trasmessi al terreno. Si ritiene di dover mettere in evidenza, a tal proposito, i valori bassi di resistenza dei terreni argillosi e limo-argillosi in condizioni non drenate, nonché il bassissimo addensamento dei livelli sabbiosi più superficiali, in particolare in corrispondenza della CPTm1.

La sismicità di base del territorio comunale di Nonantola ha permesso di escludere la possibilità di superamento della magnitudo di soglia, oltre la quale può innescarsi il fenomeno della liquefazione.

A titolo puramente speculativo si è comunque proceduto ad una verifica del potenziale di liquefazione utilizzando il valore di magnitudo massimo della sorgente sismogenetica più prossima e la PGA registrata in occasione degli eventi sismici del 20-29 maggio 2012. L'analisi ha restituito valori dell'Indice di Potenziale Liquefazione pari a 2 e 1,7, con cedimenti post-sismici, nei livelli risultati liquefacibili, dell'ordine di 5 e 2 cm, mentre per quelli a comportamento meccanico plastico ed a bassa consistenza, pari a 4 e 5 cm.

Modena, 11/03/2019

Il Tecnico incaricato

Dott. Geol. Valeriano Franchi



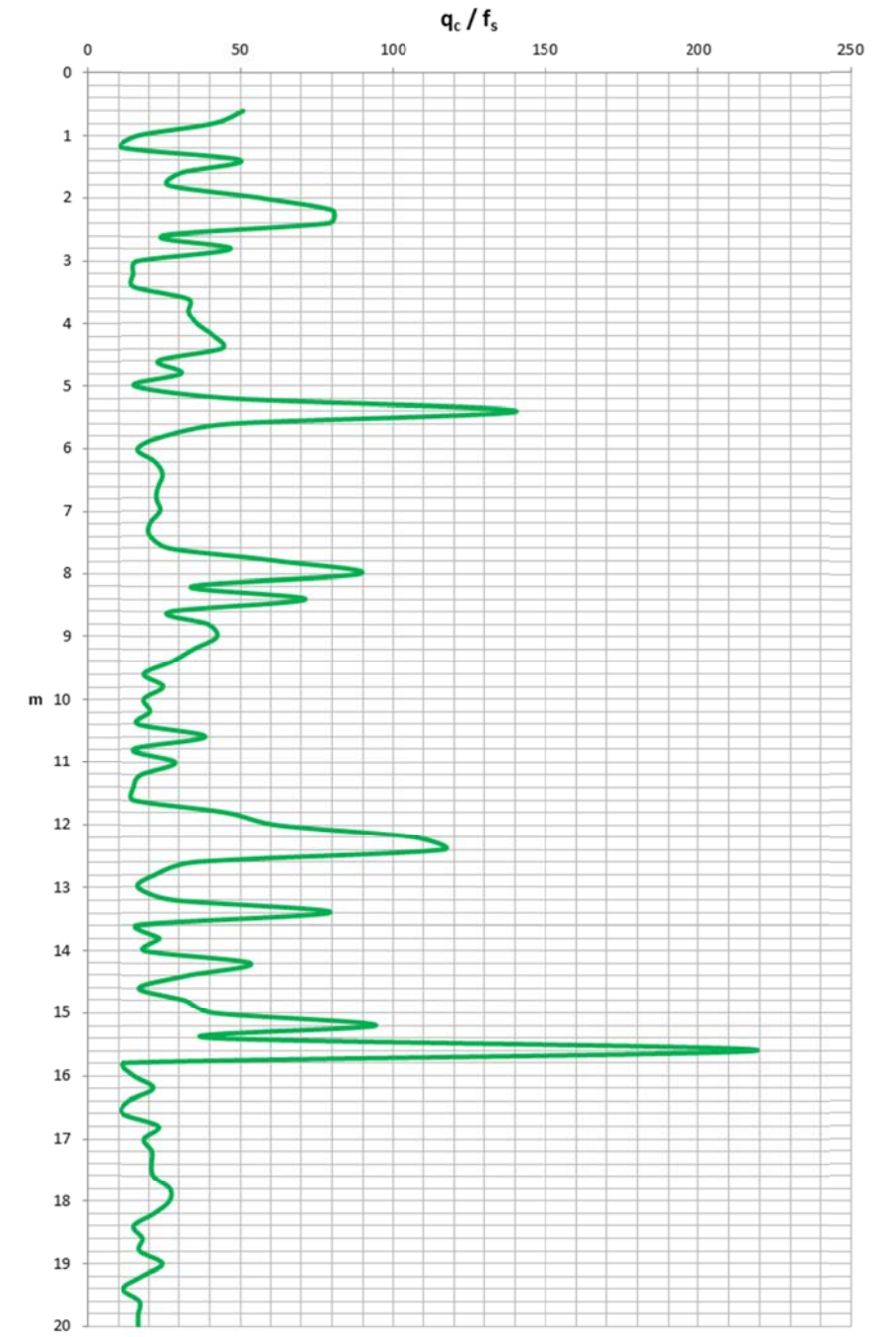
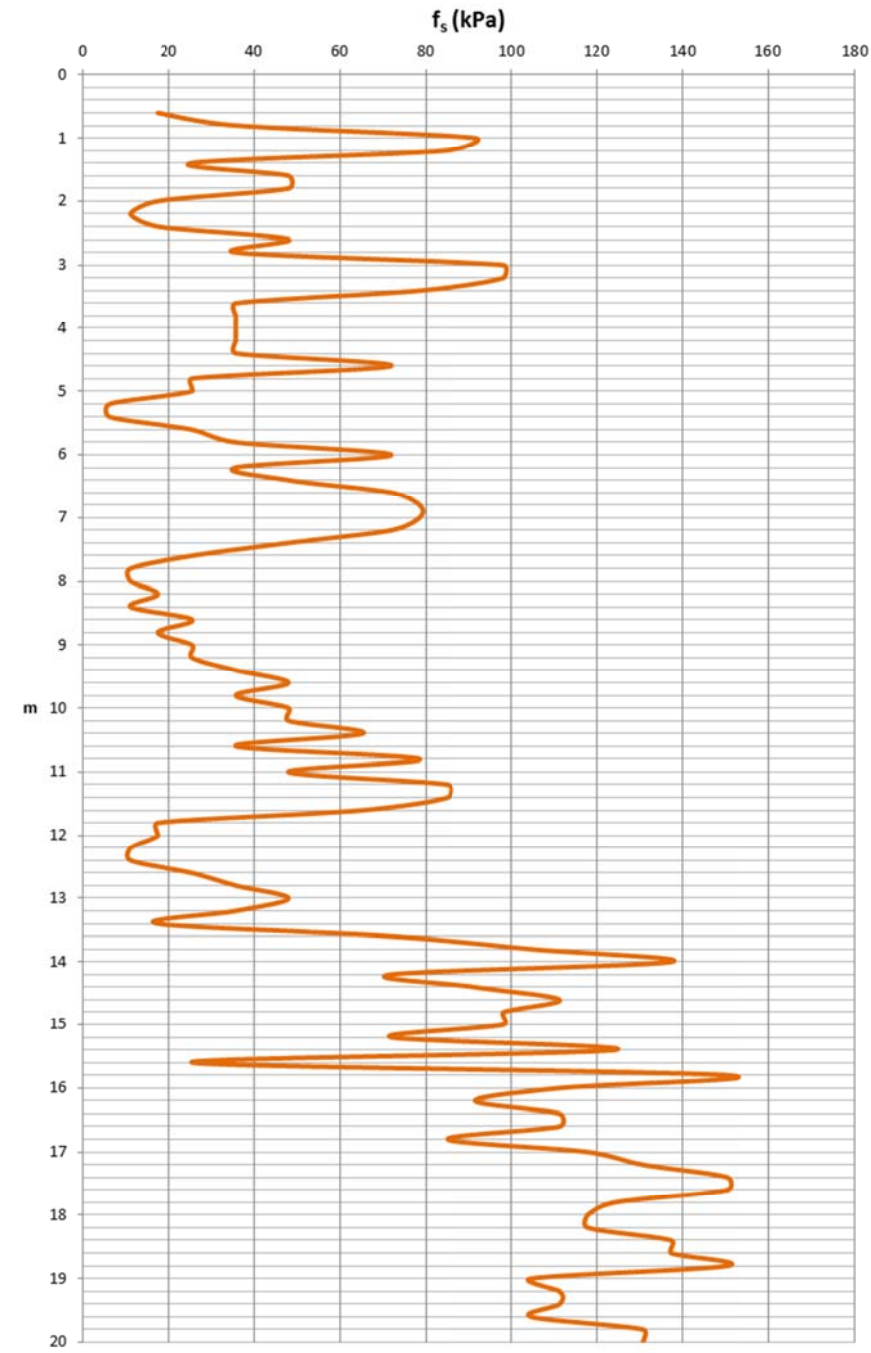
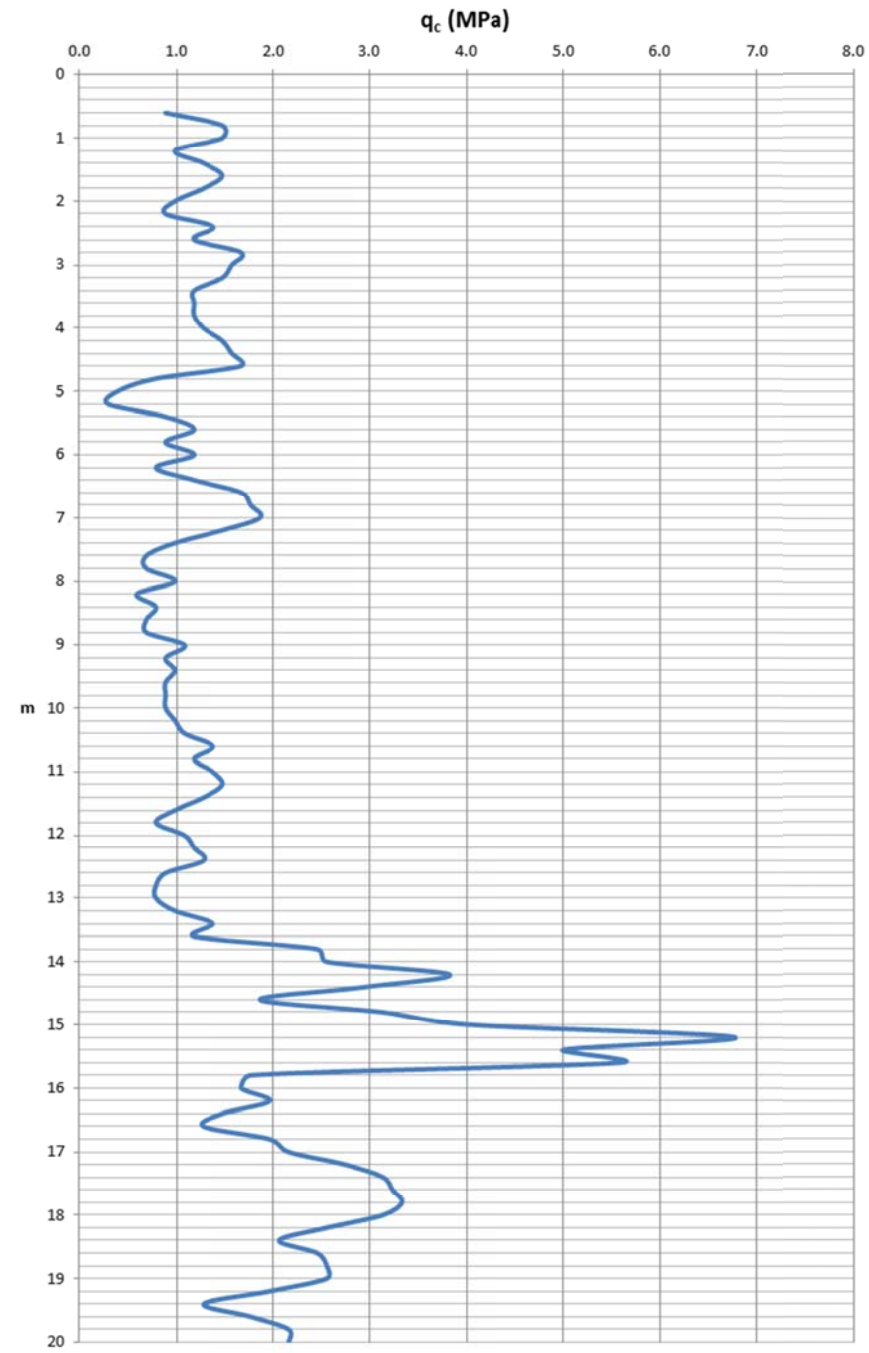
Allegato 1

Indagini geognostiche Archivio dati geognostici della Regione Emilia-Romagna

Allegato 2

Indagini geognostiche eseguite per questo studio (2 CPT)

Grafici penetrometrici – CPTm-1



Elaborazione parametri geotecnici per passo strumentale – CPTm-1

Prof. da p.d.c.	Tipologia di terreno	q_c	c_u	c'	OCR	FC	M	E_u	γ_{nat}	ψ	D_r	φ'	$\varphi'_{c.v.}$	E_y	G_0	ν'
m	...	Mpa	kPa	kPa	...	%	MPa	MPa	kN/m ³	...	%	°	°	MPa	MPa	...
0.6	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	0.9				2	5	6	17.2	0.2	32	31	38	4	4.95	0.30
0.8	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.5				4	10	11	17.7	0.1	41	34	37	8	9.67	0.29
1	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.5	90.3	15.4	44	36	20	21	18.3						35.87	0.45
1.2	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.0	56.0	8.1	19	49	13	14	18.1						31.86	0.45
1.4	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.3				5	9	11	17.5	0.1	37	33	38	7	9.09	0.29
1.6	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.5				8	13	15	17.8	0.1	39	34	37	10	12.70	0.28
1.8	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.3	85.1	12.3	19	38	17	18	17.8						32.09	0.45
2	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.0				6	7	9	17.2	0.1	30	32	38	6	7.48	0.30
2.2	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	0.9				6	6	7	17.0	0.2	29	31	38	5	6.33	0.30
2.4	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.4				6	10	12	17.3	0.1	37	33	38	8	9.90	0.29
2.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.2	76.0	10.0	12	44	16	16	17.7						33.99	0.50
2.8	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.7				8	14	17	17.7	0.0	41	34	37	11	14.27	0.27
3	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.6	93.7	12.7	14	47	21	21	18.4						48.69	0.50
3.2	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.5	86.3	11.4	12	50	20	20	18.4						48.32	0.50
3.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	68.0	8.4	9	55	16	16	18.1						42.20	0.50
3.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.2	79.3	10.1	10	43	16	16	17.6						32.73	0.50
3.8	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.2	79.0	9.9	10	44	16	16	17.6						33.06	0.50
4	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.3	87.2	11.2	11	42	17	17	17.6						34.21	0.50
4.2	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.5	104.6	13.9	13	38	20	20	17.7						36.07	0.50
4.4	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.6	113.4	15.3	14	36	21	21	17.7						37.12	0.50
4.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.7	105.0	13.8	12	45	22	22	18.1						48.07	0.50
4.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.8	48.5	5.2	4	58	8	8	17.3						27.70	0.50
5	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.4	17.9	1.5	1	100	2	2	17.0						23.12	0.50
5.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.3	14.5	1.1	1	91	1	1	16.3						13.80	0.50
5.4	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	0.9	80.3		8	38	9	9	16.7						20.27	0.50
5.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.2	82.2	9.9	8	44	15	15	17.4						32.29	0.50
5.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	51.6	5.5	4	62	9	9	17.5						33.39	0.50
6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	65.8	7.4	5	63	15	15	18.0						46.41	0.50
6.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.8	43.4	4.4	3	69	7	7	17.4						32.96	0.50
6.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	70.6	8.0	6	56	15	15	17.7						40.83	0.50
6.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.7	102.3	12.6	9	49	22	22	18.1						52.01	0.50
6.8	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.8	107.9	13.4	9	49	23	23	18.2						54.91	0.50
7	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.9	115.4	14.5	9	48	24	24	18.2						56.16	0.50
7.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.5	86.2	10.0	6	56	19	19	18.1						51.60	0.50
7.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.0	54.0	5.5	3	68	9	9	17.7						40.66	0.50
7.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.7	36.5	3.4	2	76	4	4	17.2						30.12	0.50
7.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.7	43.5	4.2	3	62	4	4	16.9						23.59	0.50
8	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.0	74.2	8.1	5	47	8	8	17.0						26.56	0.50
8.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.6	30.3	2.7	2	81	2	2	17.0						25.97	0.50
8.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.8	52.4	5.2	3	57	5	5	16.9						25.08	0.50
8.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.7	35.1	3.2	2	80	3	3	17.2						31.06	0.50
8.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.7	37.8	3.4	2	73	3	3	17.1						27.75	0.50
9	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	67.7	7.1	4	57	9	9	17.4						35.81	0.50
9.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	50.3	4.9	3	67	6	6	17.3						34.06	0.50

Elaborazione parametri geotecnici per passo strumentale – CPTm-1

Prof. da p.d.c.	Tipologia di terreno	q_c	c_u	c'	OCR	FC	M	E_u	γ_{nat}	ψ	D_r	ϕ'	$\phi'_{c.v.}$	E_y	G_0	ν'
m	...	Mpa	kPa	kPa	...	%	MPa	MPa	kN/m ³	...	%	°	°	MPa	MPa	...
9.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.0	54.4	5.4	3	69	7	7	17.5						39.28	0.50
9.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	43.9	4.1	2	82	5	5	17.6						42.34	0.50
9.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	46.1	4.3	2	76	5	5	17.5						38.60	0.50
10	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	43.3	4.0	2	83	5	5	17.6						42.83	0.50
10.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.0	50.3	4.8	2	77	6	6	17.7						44.38	0.50
10.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	54.2	5.2	3	79	8	8	17.8						51.00	0.50
10.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.4	85.8	9.3	4	55	14	14	17.7						44.73	0.50
10.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	58.9	5.8	3	79	9	9	18.1						56.32	0.50
11	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.4	80.1	8.4	4	61	13	13	17.8						49.83	0.50
11.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.5	78.5	8.2	4	69	15	15	18.2						62.17	0.50
11.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.3	64.2	6.3	3	78	11	11	18.2						60.23	0.50
11.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.0	45.9	4.2	2	89	5	5	17.8						51.36	0.50
11.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.8	41.9	3.7	2	76	3	3	17.1						31.60	0.50
12	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	69.2	6.9	3	59	7	7	17.2						35.13	0.50
12.2	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.2	88.7	9.4	4	49	8	8	17.1						32.17	0.50
12.4	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.3	100.0	10.9	5	46	10	10	17.1						33.13	0.50
12.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	45.6	4.1	2	78	4	4	17.3						37.49	0.50
12.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.8	35.1	2.9	1	95	3	3	17.4						40.27	0.50
13	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.8	33.0	2.7	1	100	3	3	17.6						44.56	0.50
13.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.0	49.6	4.5	2	80	5	5	17.5						43.58	0.50
13.4	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.4	97.2	10.3	4	50	10	10	17.3						39.21	0.50
13.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	56.6	5.2	2	85	7	7	18.0						58.53	0.50
13.8	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	2.5	145.6	17.0	7	54	31	31	18.7						81.39	0.50
14	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.6	145.1	16.9	6	58	32	32	19.0						91.18	0.50
14.2	Miscele sabbiose - da sabbie limose a limi sabbiosi	3.8				15	44	53	18.4	0.0	37	34	35	35	44.49	0.25
14.4	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	2.9	189.6	23.4	9	45	38	38	18.6						82.35	0.50
14.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.9	98.6	10.3	4	70	19	19	18.6						79.21	0.50
14.8	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	3.1	202.9	25.3	9	44	40	40	18.7						86.55	0.50
15	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	4.0	280.7	37.8	14	36	53	53	18.8						91.64	0.50
15.2	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	6.8				10	64	76	18.6	0.0	52	36	35	51	63.63	0.25
15.4	Miscele sabbiose - da sabbie limose a limi sabbiosi	5.0				17	65	79	19.2	0.0	42	35	34	52	65.19	0.24
15.6	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	5.6				6	42	50	18.0	0.0	47	35	36	34	42.22	0.27
15.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.8	85.4	8.4	3	82	15	15	19.0						89.68	0.50
16	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.7	82.9	8.1	3	79	13	13	18.6						79.51	0.50
16.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.0	107.7	11.2	4	66	19	19	18.4						77.90	0.50
16.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.5	68.9	6.4	2	88	9	9	18.6						77.50	0.50
16.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.3	55.5	4.9	2	99	6	6	18.5						74.73	0.50
16.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.0	108.5	11.2	4	66	18	18	18.4						76.96	0.50
17	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.2	116.0	12.2	4	68	22	22	18.8						88.76	0.50
17.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.8	157.3	17.8	6	58	34	34	19.0						98.45	0.50
17.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	3.2	182.5	21.3	7	55	40	40	19.2						107.53	0.50
17.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	3.2	189.8	22.3	7	54	41	41	19.2						108.84	0.50
17.8	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	3.3	204.9	24.5	7	50	42	42	19.0						102.88	0.50
18	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	3.2	190.8	22.3	7	52	40	40	18.9						99.88	0.50

Elaborazione parametri geotecnici per passo strumentale – CPTm-1

Prof. da p.d.c.	Tipologia di terreno	q_c	c_u	c'	OCR	FC	M	E_u	γ_{nat}	ψ	D_r	φ'	$\varphi'_{c.v.}$	E_y	G_0	ν'
m	...	Mpa	kPa	kPa	...	%	MPa	MPa	kN/m^3	...	%	°	°	MPa	MPa	...
18.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.6	144.0	15.7	5	62	30	30	18.8						95.16	0.50
18.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.1	104.0	10.4	3	76	18	18	18.9						95.46	0.50
18.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.5	132.0	14.0	4	67	27	27	19.0						100.32	0.50
18.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.6	136.7	14.6	4	67	29	29	19.1						105.14	0.50
19	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.6	146.3	15.8	5	61	28	28	18.7						92.89	0.50
19.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.0	100.0	9.8	3	76	15	15	18.7						88.83	0.50
19.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.3	52.4	4.4	1	100	5	5	18.5						78.80	0.50
19.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.8	86.4	8.1	2	82	11	11	18.6						85.11	0.50
19.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.2	110.3	11.0	3	75	18	18	18.9						97.57	0.50
20	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.2	110.0	10.9	3	76	18	18	18.9						97.94	0.50

q_c	resistenza alla punta (MPa)
c_u	coesione non drenata (kPa)
c'	coesione drenata (kPa)
OCR	grado di sovraconsolidazione (...)
FC	contenuto di fini, apparente (%)
M	modulo confinato (MPa)
E_u	modulo di deformazione non drenato (Mpa)
$\gamma_{nat.}$	peso di volume naturale (kN/m^3)
$\gamma_{sat.}$	peso di volume saturo (kN/m^3)
ψ	parametro di stato per le sabbie (...)
D_r	densità relativa (%)
φ'	angolo d'attrito di picco (°)
$\varphi'_{c.v.}$	angolo d'attrito a volume costante (°)
E_y	modulo elastico operativo (MPa)
G_0	modulo di taglio a piccole deformazioni (MPa)
ν	coefficiente di Poisson (...)

Modello stratigrafico-geotecnico – CPTm-1

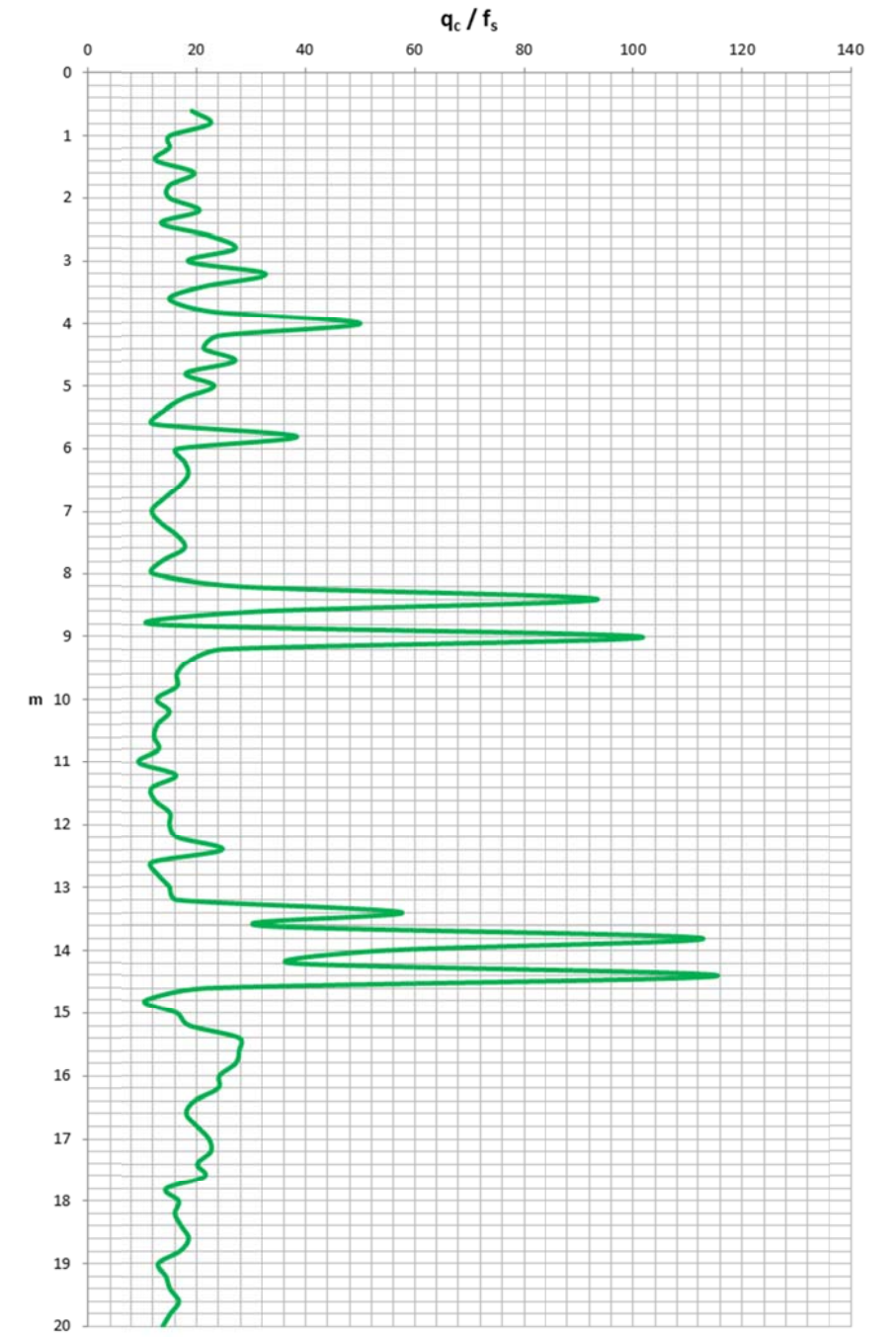
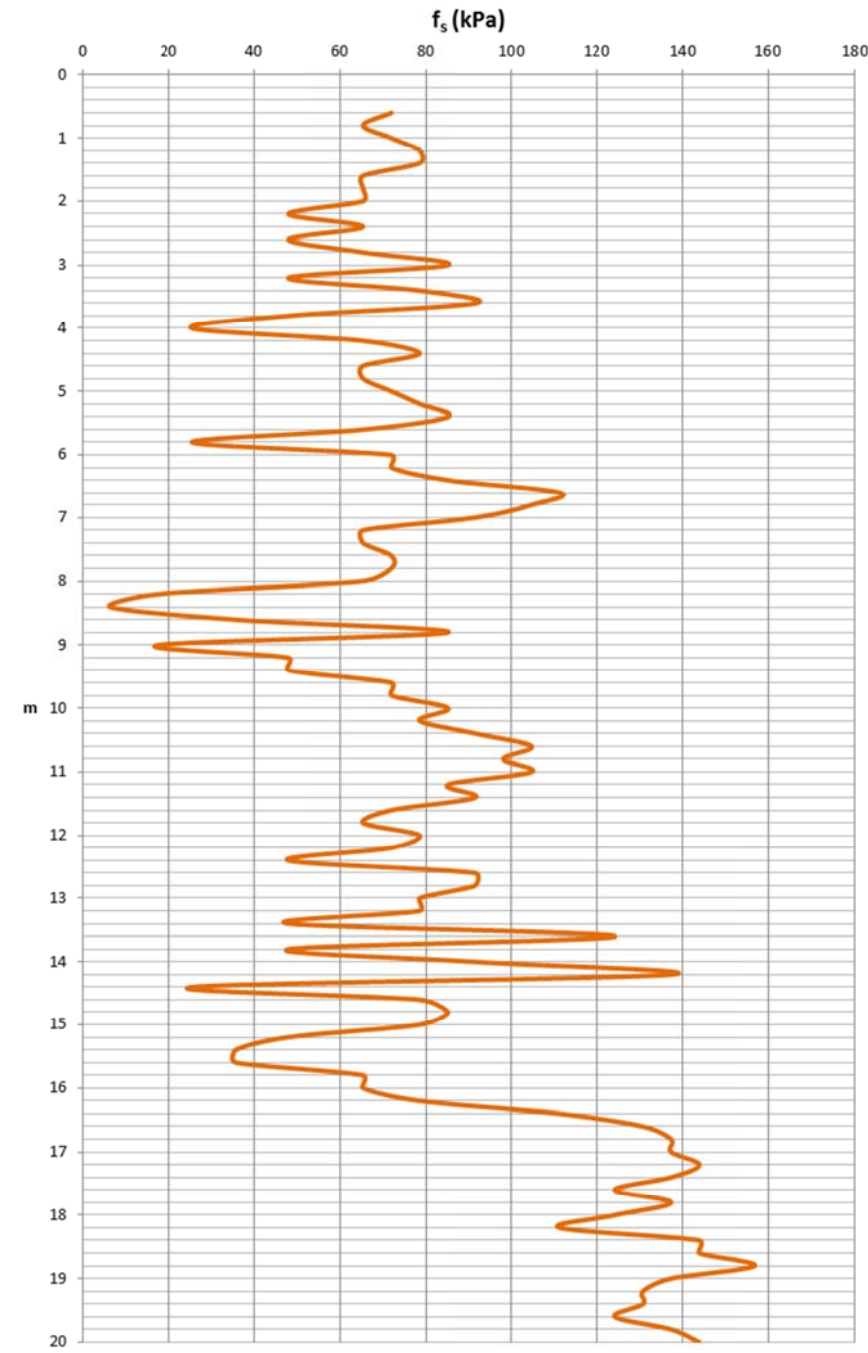
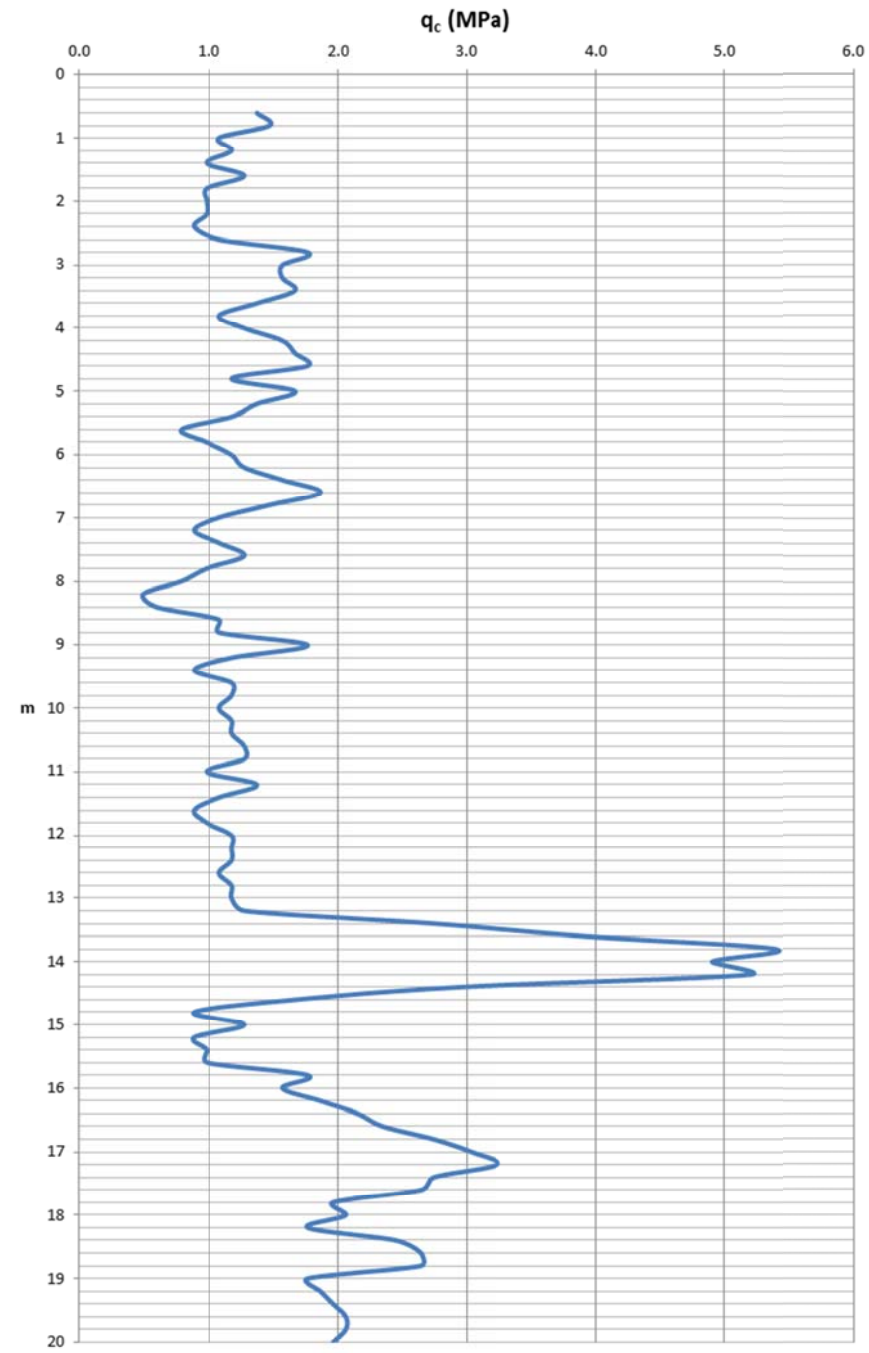
Nr. Strato	Prof. da p.d.c.	Tipologia di terreno	q_c med.	q_c min.	$\pm q_c$ dev.st.	c_u med.	c_u min.	$\pm c_u$ dev.st.	$c'_{med.}$	$c'_{min.}$	$\pm c'_{dev.st.}$	$OCR_{med.}$	$OCR_{min.}$	$\pm OCR_{dev.st.}$	$FC_{med.}$	$FC_{min.}$	$\pm FC_{dev.st.}$	$M_{med.}$	$M_{min.}$	$\pm M_{dev.st.}$
	<i>m</i>	...	MPa	MPa	MPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	...	...	...	%	%	%	MPa	MPa	MPa
1	0.4-0.8	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.2	0.9	0.4										3.1	2.2	1.3	7.3	5.0	3.3
2	0.8-1.2	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.2	1.0	0.3	73.2	56.0	24.3	11.7	8.1	5.2	32	19	18	42.5	36.1	9.1	16.9	13.4	4.9
3	1.2-2.8	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.3	0.9	0.3										6.5	5.2	1.3	10.0	6.3	3.0
4	2.8-4	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.3	1.2	0.2	82.3	68.0	8.9	10.6	8.4	1.5	11	9	2	47.0	41.9	5.1	17.4	15.5	2.5
5	4-4.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.6	1.5	0.1	107.7	104.6	4.9	14.3	13.8	0.8	13	12	1	39.7	36.4	4.4	20.9	19.6	1.3
6	4.6-5.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.5	0.3	0.3	27.0	14.5	18.7	2.6	1.1	2.3	2	1	2	82.9	57.7	22.3	3.5	0.7	4.2
7	5.2-5.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.0	0.9	0.2	81.2	80.3	1.4				8	8	0	40.9	37.7	4.5	12.2	9.3	4.1
8	5.6-6.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.0	0.8	0.2	57.9	43.4	12.5	6.3	4.4	1.7	4	3	1	62.5	56.0	5.5	11.4	6.6	4.2
9	6.4-7	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.8	1.7	0.1	108.5	102.3	6.6	13.5	12.6	0.9	9	9	0	48.7	47.6	1.0	23.0	21.7	1.3
10	7.0-10	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	0.6	0.2	50.4	30.3	15.4	5.0	2.7	2.0	3	2	1	69.0	46.6	11.2	6.3	2.3	4.1
11	10-12.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	0.8	0.2	68.1	41.9	18.6	6.9	3.7	2.3	3	2	1	68.1	46.0	13.7	9.0	3.0	3.6
12	12.4-13.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	0.8	0.1	40.8	33.0	8.0	3.5	2.7	0.9	1	1	0	88.2	78.3	10.7	3.4	2.6	1.0
13	13.2-13.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.3	1.2	0.1	76.9	56.6	28.7	7.8	5.2	3.6	3	2	1	67.5	50.4	24.2	8.7	7.0	2.4
14	13.6-14.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	2.5	1.9	0.4	144.7	98.6	37.2	16.9	10.3	5.3	6	4	2	56.5	45.0	10.3	30.1	19.2	7.8
15	14.6-15	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	3.6	3.1	0.6	241.8	202.9	55.0	31.6	25.3	8.9	11	9	3	39.9	35.6	6.1	46.5	40.4	8.7
16	15-15.6	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	5.8	5.0	0.9										11.3	6.5	5.6	57.0	42.2	12.8
17	15.6-16.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.6	1.3	0.3	80.1	55.5	19.5	7.8	4.9	2.4	3	2	1	82.9	66.3	11.9	12.6	6.4	4.9
18	16.6-17.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.5	2.0	0.5	141.1	108.5	35.0	15.6	11.2	4.8	5	4	1	61.9	55.3	6.0	28.6	18.1	10.2
19	17.4-18	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	3.2	3.2	0.1	195.2	189.8	8.4	23.1	22.3	1.2	7	7	0	52.0	49.9	2.2	41.0	39.6	1.4
20	18-20	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.2	1.3	0.4	112.2	52.4	29.1	11.5	4.4	3.6	3	1	1	74.2	60.5	11.4	19.9	5.0	8.3

Nr. Strato	Prof. da p.d.c.	E_u med.	E_u min.	E_u dev.st.	$\gamma_{nat.med.}$	$\psi_{med.}$	D_r med.	D_r min.	$\pm D_r$ dev.st.	$\varphi'_{med.}$	$\varphi'_{min.}$	$\pm \varphi'_{dev.st.}$	$\varphi'_{c.v.med.}$	$\varphi'_{c.v.min.}$	$\pm \varphi'_{c.v.dev.st.}$	E_y med.	E_y min.	$\pm E_y$ dev.st.	G_0 med.	G_0 min.	$\pm G_0$ dev.st.	$\nu'_{med.}$
	<i>m</i>	MPa	MPa	MPa	kN/m^3	...	%	%	%	°	°	°	°	°	°	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	...
1	0.4-0.8				17.4	0.12	25.4	22.2	4.6	32.4	31.2	1.7	38.0	37.4	0.8	5.8	4.0	2.7	7.3	5.0	3.3	0.29
2	0.8-1.2	17.5	13.9	5.1	18.2														33.9	31.9	2.8	0.45
3	1.2-2.8				17.4	0.10	26.3	21.8	3.2	32.7	31.0	1.2	37.5	36.5	0.7	7.9	5.1	2.4	10.0	6.3	3.0	0.29
4	2.8-4	17.4	15.5	2.5	18.0														39.9	32.7	7.5	0.50
5	4-4.6	20.9	19.6	1.3	17.8														40.4	36.1	6.6	0.50
6	4.6-5.2	3.5	0.7	4.2	16.9														21.5	13.8	7.1	0.50
7	5.2-5.6	12.2	9.3	4.1	17.1														26.3	20.3	8.5	0.50
8	5.6-6.4	11.4	6.6	4.2	17.7														38.4	33.0	6.5	0.50
9	6.4-7	23.0	21.7	1.3	18.2														54.4	52.0	2.1	0.50
10	7.0-10	6.3	2.3	4.1	17.3														34.4	23.6	8.1	0.50
11	10-12.4	9.0	3.0	3.6	17.6														46.0	31.6	11.0	0.50
12	12.4-13.2	3.4	2.6	1.0	17.5														41.5	37.5	3.2	0.50
13	13.2-13.6	8.7	7.0	2.4	17.7														48.9	39.2	13.7	0.50
14	13.6-14.6	30.1	19.2	7.8	18.7														83.5	79.2	5.3	0.50
15	14.6-15	46.5	40.4	8.7	18.7														89.1	86.6	3.6	0.50
16	15-15.6				18.6	0.00	34.5	31.4	3.2	35.4	34.5	0.9	35.2	34.0	1.2	45.5	33.7	10.2	57.0	42.2	12.8	0.25
17	15.6-16.6	12.6	6.4	4.9	18.6														79.9	74.7	5.8	0.50
18	16.6-17.4	28.6	18.1	10.2	18.8														92.9	77.0	13.1	0.50
19	17.4-18	41.0	39.6	1.4	19.0														103.9	99.9	4.6	0.50
20	18-20	19.9	5.0	8.3	18.8														93.7	78.8	7.7	0.50

Modello stratigrafico-geotecnico – CPTm-1

q_c	resistenza alla punta (MPa)
c_u	coesione non drenata (kPa)
c'	coesione drenata (kPa)
OCR	grado di sovraconsolidazione (...)
FC	contenuto di fini, apparente (%)
M	modulo confinato (MPa)
E_u	modulo di deformazione non drenato (Mpa)
$\gamma_{nat.}$	peso di volume naturale (kN/m ³)
$\gamma_{sat.}$	peso di volume saturo (kN/m ³)
ψ	parametro di stato per le sabbie (...)
D_r	densità relativa (%)
φ'	angolo d'attrito di picco (°)
$\varphi'_{c.v.}$	angolo d'attrito a volume costante (°)
E_y	modulo elastico operativo (MPa)
G_0	modulo di taglio a piccole deformazioni (MPa)
ν	coefficiente di Poisson (...)
<i>med.</i>	valore medio
<i>min.</i>	valore minimo
$\pm dev.st.$	deviazione standard

Grafici penetrometrici – CPTm-2



Elaborazione parametri geotecnici per passo strumentale – CPTm-2

Prof. da p.d.c.	Tipologia di terreno	q_c	c_u	c'	OCR	FC	M	E_u	γ_{nat}	ψ	D_r	φ'	$\varphi'_{c.v.}$	E_y	G_0	ν'
m	...	Mpa	kPa	kPa	...	%	MPa	MPa	kN/m ³	...	%	°	°	MPa	MPa	...
0.6	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.4				7	11	13	18.0	0.1	40	33	37	9	10.94	0.28
0.8	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.5				7	12	14	17.9	0.1	41	34	37	9	11.88	0.28
1	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.1	65.0	10.1	28	41	15	15	17.9						29.74	0.45
1.2	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.2	70.8	10.8	25	42	16	17	18.1						33.17	0.45
1.4	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.0	56.5	7.8	16	50	13	14	18.0						32.56	0.45
1.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.3	80.2	11.7	20	41	17	18	17.9						34.63	0.45
1.8	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.0	57.9	7.6	12	51	13	14	17.8						32.92	0.45
2	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.0	57.7	7.3	10	53	13	14	17.8						34.02	0.45
2.2	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.0	60.9	7.7	10	49	13	14	17.7						31.56	0.45
2.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	50.2	6.0	7	60	12	12	17.7						34.60	0.50
2.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.1	68.1	8.7	10	48	14	14	17.7						33.32	0.50
2.8	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.8	117.7	17.0	19	37	24	24	18.0						43.53	0.50
3	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.6	96.3	13.1	14	45	21	21	18.3						46.57	0.50
3.2	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.6	107.9	15.0	16	38	21	21	17.8						38.70	0.50
3.4	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.7	104.8	14.3	15	43	22	22	18.2						47.08	0.50
3.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.4	79.7	10.1	10	53	18	18	18.3						47.49	0.50
3.8	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.1	66.3	8.0	8	52	14	14	17.7						35.68	0.50
4	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.3	94.1	12.2	11	38	17	17	17.5						31.09	0.50
4.2	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.6	99.7	13.0	12	45	21	21	18.0						45.15	0.50
4.4	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.7	103.4	13.6	12	46	22	22	18.2						49.43	0.50
4.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.8	115.0	15.4	13	42	24	24	18.0						47.60	0.50
4.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	68.4	8.0	7	57	15	15	17.9						42.88	0.50
5	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.7	104.4	13.4	11	46	22	22	18.1						49.27	0.50
5.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.4	79.9	9.6	7	56	18	18	18.1						48.59	0.50
5.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	64.4	7.3	6	65	15	15	18.2						48.72	0.50
5.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.8	39.4	3.9	3	81	7	7	17.7						40.30	0.50
5.8	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.0	63.8	7.1	5	52	11	11	17.4						31.20	0.50
6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	65.6	7.3	5	63	15	15	18.0						46.99	0.50
6.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.3	72.6	8.2	6	60	16	16	18.0						48.34	0.50
6.4	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.6	91.6	11.0	7	55	20	20	18.3						54.55	0.50
6.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.9	108.2	13.4	9	53	24	24	18.6						63.43	0.50
6.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.5	80.6	9.2	6	63	19	19	18.5						59.07	0.50
7	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	54.8	5.7	4	77	12	12	18.2						52.45	0.50
7.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	44.1	4.3	3	81	7	7	17.7						44.36	0.50
7.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	57.7	6.0	4	71	11	11	17.8						47.07	0.50
7.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.3	70.7	7.7	5	65	15	15	18.0						51.20	0.50
7.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.0	49.4	4.9	3	79	8	8	17.9						48.21	0.50
8	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.8	36.5	3.3	2	92	5	5	17.7						44.18	0.50
8.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.5	22.2	1.8	1	96	1	1	16.9						24.82	0.50
8.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.6	37.8	3.4	2	66	2	2	16.5						20.06	0.50
8.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	63.3	6.5	4	62	9	9	17.6						39.85	0.50
8.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	53.4	5.3	3	81	9	9	18.1						54.16	0.50
9	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.8				10	16	18	17.4	0.1	28	31	37	12	15.64	0.29
9.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	66.5	6.9	4	65	11	11	17.7						45.88	0.50

Elaborazione parametri geotecnici per passo strumentale – CPTm-2

Prof. da p.d.c.	Tipologia di terreno	q_c	c_u	c'	OCR	FC	M	E_u	γ_{nat}	ψ	D_r	ϕ'	$\phi'_{c.v.}$	E_y	G_0	ν'
m	...	Mpa	kPa	kPa	...	%	MPa	MPa	kN/m ³	...	%	°	°	MPa	MPa	...
9.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	43.9	4.1	2	82	5	5	17.6						42.67	0.50
9.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	61.0	6.1	3	75	10	10	18.0						53.45	0.50
9.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	60.7	6.1	3	75	10	10	18.0						53.78	0.50
10	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	51.9	5.0	2	85	8	8	18.1						56.11	0.50
10.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	59.3	5.8	3	78	10	10	18.1						56.14	0.50
10.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	57.4	5.6	3	83	9	9	18.2						59.69	0.50
10.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.3	62.5	6.2	3	82	11	11	18.4						64.38	0.50
10.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.3	62.9	6.2	3	81	11	11	18.4						63.25	0.50
11	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.0	42.7	3.8	2	100	6	6	18.3						60.65	0.50
11.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.4	71.1	7.2	3	74	12	12	18.2						61.96	0.50
11.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	49.7	4.6	2	91	7	7	18.2						59.96	0.50
11.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	38.3	3.3	1	100	4	4	17.9						52.23	0.50
11.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.0	45.4	4.1	2	91	5	5	17.8						52.35	0.50
12	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	57.2	5.4	2	84	8	8	18.1						59.02	0.50
12.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	57.9	5.4	2	82	8	8	18.0						57.54	0.50
12.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	62.3	6.0	2	74	8	8	17.7						50.40	0.50
12.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	48.4	4.3	2	95	6	6	18.2						61.73	0.50
12.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	54.8	5.0	2	90	7	7	18.2						63.56	0.50
13	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.2	56.1	5.2	2	87	7	7	18.1						60.48	0.50
13.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.3	62.7	5.9	2	82	8	8	18.1						62.13	0.50
13.4	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	2.8	201.5	25.4	10	38	35	35	18.1						64.36	0.50
13.6	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	3.9	259.6	34.7	13	39	52	52	19.1						97.47	0.50
13.8	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	5.4				9	48	57	18.3	0.0	47	35	36	38	48.02	0.26
14	Miscela sabbiose - da sabbie limose a limi sabbiosi	4.9				14	57	68	18.8	0.0	43	35	35	45	56.60	0.25
14.2	Miscela sabbiose - da sabbie limose a limi sabbiosi	5.2				18	68	83	19.3	0.0	44	35	34	54	68.26	0.23
14.4	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	2.9				11	28	33	17.8	0.1	31	32	37	22	28.15	0.28
14.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.7	89.9	9.1	3	70	14	14	18.2						69.16	0.50
14.8	Argilla - suolo organico	0.9	33.9	2.7	1	100	3	3	18.1						59.42	0.50
15	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.3	60.6	5.5	2	87	7	7	18.1						64.79	0.50
15.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.9	36.9	3.0	1	100	3	3	17.6						49.26	0.50
15.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.0	46.3	3.9	1	88	3	3	17.5						46.55	0.50
15.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.0	46.0	3.9	1	89	3	3	17.5						46.72	0.50
15.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.8	99.4	10.1	3	65	15	15	18.0						67.77	0.50
16	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.6	83.7	8.2	3	72	11	11	18.0						65.88	0.50
16.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.9	103.0	10.5	3	67	16	16	18.2						73.72	0.50
16.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.2	117.7	12.4	4	66	23	23	18.7						86.80	0.50
16.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.4	128.2	13.8	4	66	27	27	18.9						94.47	0.50
16.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.8	156.0	17.6	5	59	34	34	19.0						100.41	0.50
17	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	3.1	178.3	20.7	6	55	38	38	19.1						103.46	0.50
17.2	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	3.2	191.7	22.6	7	54	41	41	19.2						107.33	0.50
17.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.8	155.2	17.3	5	60	34	34	19.0						101.76	0.50
17.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.7	150.4	16.6	5	60	33	33	18.9						97.72	0.50
17.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.0	97.6	9.6	3	79	16	16	18.9						94.06	0.50
18	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.1	106.1	10.7	3	74	18	18	18.8						92.31	0.50

Elaborazione parametri geotecnici per passo strumentale – CPTm-2

Prof. da p.d.c.	Tipologia di terreno	q_c	c_u	c'	OCR	FC	M	E_u	γ_{nat}	ψ	D_r	φ'	$\varphi'_{c.v.}$	E_y	G_0	ν'
m	...	<i>Mpa</i>	<i>kPa</i>	<i>kPa</i>	...	%	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>	<i>kN/m³</i>	...	%	°	°	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>	...
18.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.8	86.9	8.3	2	81	12	12	18.6						85.48	0.50
18.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.5	130.8	13.8	4	69	26	26	19.0						102.62	0.50
18.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.7	145.0	15.6	4	65	31	31	19.1						105.09	0.50
18.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.7	142.4	15.2	4	67	30	30	19.2						108.87	0.50
19	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.8	82.7	7.7	2	88	11	11	18.9						93.56	0.50
19.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.9	89.9	8.5	2	84	13	13	18.8						93.67	0.50
19.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.0	96.5	9.3	3	81	14	14	18.9						95.34	0.50
19.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.1	104.2	10.2	3	77	16	16	18.8						95.22	0.50
19.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.1	102.0	9.9	3	80	16	16	18.9						99.01	0.50
20	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.0	94.2	9.0	2	84	14	14	19.0						99.70	0.50

q_c	resistenza alla punta (MPa)
c_u	coesione non drenata (kPa)
c'	coesione drenata (kPa)
OCR	grado di sovraconsolidazione (...)
FC	contenuto di fini, apparente (%)
M	modulo confinato (MPa)
E_u	modulo di deformazione non drenato (Mpa)
$\gamma_{nat.}$	peso di volume naturale (kN/m ³)
$\gamma_{sat.}$	peso di volume saturo (kN/m ³)
ψ	parametro di stato per le sabbie (...)
D_r	densità relativa (%)
φ'	angolo d'attrito di picco (°)
$\varphi'_{c.v.}$	angolo d'attrito a volume costante (°)
E_y	modulo elastico operativo (MPa)
G_0	modulo di taglio a piccole deformazioni (MPa)
ν	coefficiente di Poisson (...)

Modello stratigrafico-geotecnico – CPTm-2

Nr. Strato	Prof. da p.d.c.	Tipologia di terreno	q_c med.	q_c min.	$\pm q_c$ dev.st.	c_u med.	c_u min.	$\pm c_u$ dev.st.	$c'_{med.}$	$c'_{min.}$	$\pm c'_{dev.st.}$	$OCR_{med.}$	$OCR_{min.}$	$\pm OCR_{dev.st.}$	$FC_{med.}$	$FC_{min.}$	$\pm FC_{dev.st.}$	$M_{med.}$	$M_{min.}$	$\pm M_{dev.st.}$
	<i>m</i>	...	MPa	MPa	MPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	...	...	...	%	%	%	MPa	MPa	MPa
1	0.4-0.8	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	1.4	1.4	0.1										6.8	6.7	0.2	11.4	10.9	0.7
2	0.8-2.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.0	0.9	0.1	63.0	50.2	9.0	8.6	6.0	1.9	15	7	7	48.4	40.9	6.2	14.2	11.8	1.7
3	2.6-3.4	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.6	1.6	0.1	106.7	96.3	8.9	14.9	13.1	1.6	16	14	2	40.8	37.2	4.1	22.2	21.2	1.3
4	3.4-4	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.2	1.1	0.1	80.0	66.3	13.9	10.1	8.0	2.1	10	8	2	47.7	37.9	8.5	16.4	14.1	2.1
5	4.0-5	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.6	1.2	0.2	98.2	68.4	17.6	12.7	8.0	2.8	11	7	2	47.1	41.7	6.0	20.8	15.3	3.2
6	5-6.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	0.8	0.2	64.3	39.4	13.7	7.2	3.9	1.9	5	3	1	62.9	52.2	10.2	13.7	7.0	4.0
7	6.2-6.8	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	1.6	1.5	0.2	93.5	80.6	13.9	11.2	9.2	2.1	7	6	2	57.1	53.3	5.3	21.2	18.9	2.9
8	6.8-7.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	0.9	0.1	55.3	44.1	10.0	5.7	4.3	1.3	3	3	1	74.6	64.7	6.8	10.7	7.1	3.3
9	7.8-8.4	Argille - da argilla ad argille siltosa	0.6	0.5	0.1	32.2	22.2	8.6	2.8	1.8	0.9	2	1	1	84.4	65.7	16.3	2.7	1.3	1.8
10	8.4-13.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.1	0.9	0.1	56.1	38.3	8.3	5.4	3.3	1.0	2	1	1	82.6	62.3	9.5	8.2	4.0	2.2
11	13.2-13.6	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	3.3	2.8	0.8	230.5	201.5	41.1	30.1	25.4	6.6	11	10	2	38.2	37.6	0.9	43.4	35.2	11.6
12	13.6-14.6	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	4.6	2.9	1.1										13.1	9.1	3.7	50.3	28.1	16.9
13	14.6-15.6	Argille - da argilla ad argille siltosa	1.0	0.9	0.2	44.7	33.9	10.4	3.8	2.7	1.1	1	1	0	92.8	86.7	6.7	3.9	2.6	1.9
14	15.6-16.8	Argille - da argilla ad argille siltosa	2.1	1.6	0.4	114.7	83.7	25.4	12.1	8.2	3.3	4	3	1	65.9	59.4	4.0	21.0	10.9	8.7
15	16.8-17.2	Argille - da argilla ad argille siltosa	3.2	3.1	0.1	185.0	178.3	9.4	21.6	20.7	1.3	7	6	0	54.3	53.5	1.1	39.8	38.4	1.9
16	17.2-20	Miscele limose - limi argillosi ed argille limose	2.2	1.8	0.4	113.1	82.7	25.8	11.6	7.7	3.4	3	2	1	75.0	60.4	9.1	20.3	11.5	8.5

Nr. Strato	Prof. da p.d.c.	E_u med.	E_u min.	E_u dev.st.	$\gamma_{nat.med.}$	$\psi_{med.}$	D_r med.	D_r min.	$\pm D_r$ dev.st.	$\varphi'_{med.}$	$\varphi'_{min.}$	$\pm \varphi'_{dev.st.}$	$\varphi'_{c.v.med.}$	$\varphi'_{c.v.min.}$	$\pm \varphi'_{c.v.dev.st.}$	E_y med.	E_y min.	$\pm E_y$ dev.st.	G_0 med.	G_0 min.	$\pm G_0$ dev.st.	$v'_{med.}$
	<i>m</i>	MPa	MPa	MPa	kN/m^3	...	%	%	%	°	°	°	°	°	°	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	...
1	0.4-0.8				18.0	0.08	28.2	27.7	0.7	33.5	33.3	0.2	37.1	37.0	0.1	9.1	8.7	0.5	11.4	10.9	0.7	0.28
2	0.8-2.6	14.6	11.8	1.9	17.8														32.9	29.7	1.6	0.46
3	2.6-3.4	22.2	21.2	1.3	18.1														44.0	38.7	3.8	0.50
4	3.4-4	16.4	14.1	2.1	17.8														38.1	31.1	8.5	0.50
5	4.0-5	20.8	15.3	3.2	18.0														46.9	42.9	2.8	0.50
6	5-6.2	13.7	7.0	4.0	17.9														44.0	31.2	7.1	0.50
7	6.2-6.8	21.2	18.9	2.9	18.5														59.0	54.5	4.4	0.50
8	6.8-7.8	10.7	7.1	3.3	17.9														48.7	44.4	3.2	0.50
9	7.8-8.4	2.7	1.3	1.8	17.1														29.7	20.1	12.8	0.50
10	8.4-13.2	8.2	4.0	2.2	18.0														56.1	39.9	6.7	0.50
11	13.2-13.6	43.4	35.2	11.6	18.6														80.9	64.4	23.4	0.50
12	13.6-14.6				18.5	0.02	30.7	24.0	4.6	34.2	31.9	1.5	35.3	33.8	1.3	40.1	22.5	13.5	50.3	28.1	16.9	0.25
13	14.6-15.6	3.9	2.6	1.9	17.8														53.3	46.6	8.3	0.50
14	15.6-16.8	21.0	10.9	8.7	18.5														81.5	65.9	14.5	0.50
15	16.8-17.2	39.8	38.4	1.9	19.1														105.4	103.5	2.7	0.50
16	17.2-20	20.3	11.5	8.5	18.9														97.5	85.5	6.0	0.50

Modello stratigrafico-geotecnico – CPTm-2

q_c	resistenza alla punta (MPa)
c_u	coesione non drenata (kPa)
c'	coesione drenata (kPa)
OCR	grado di sovraconsolidazione (...)
FC	contenuto di fini, apparente (%)
M	modulo confinato (MPa)
E_u	modulo di deformazione non drenato (Mpa)
$\gamma_{nat.}$	peso di volume naturale (kN/m ³)
$\gamma_{sat.}$	peso di volume saturo (kN/m ³)
ψ	parametro di stato per le sabbie (...)
D_r	densità relativa (%)
φ'	angolo d'attrito di picco (°)
$\varphi'_{c.v.}$	angolo d'attrito a volume costante (°)
E_y	modulo elastico operativo (MPa)
G_0	modulo di taglio a piccole deformazioni (MPa)
ν	coefficiente di Poisson (...)
<i>med.</i>	valore medio
<i>min.</i>	valore minimo
$\pm dev.st.$	deviazione standard

Allegato 3

Indagini geofisiche eseguite per questo studio (1 MASW)

REGIONE EMILIA ROMAGNA
PROVINCIA DI MODENA
COMUNE DI NONANTOLA

INDAGINE GEOFISICA MASW
VIA BAGAZZANO
RELAZIONE TECNICA

A cura di:
Dott. Geol. G. Vaccari

Marzo 2019

INDAGINE SISMICA

Su incarico del Dott. Geol. Valeriano Franchi, è stata eseguita nei pressi di un'area situata in Via Bagazzano a Bagazzano di Nonantola, un'indagine sismica a rifrazione con metodo MASW di tipo attivo. L'indagine è stata svolta con l'obiettivo di determinare la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri a partire da piano campagna (V_{s30}) NTC 2018 ("Norme tecniche per la costruzione")

Di seguito si riportano la metodologia della ricerca e i risultati delle indagini eseguite.

INDAGINE SISMICA MASW

Metodo d'Indagine

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "PASI 16S24-U", dotato di 24 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati.

Nella campagna di indagine del lavoro in oggetto è stato eseguito uno stendimento di 24 geofoni con spaziatura tra i geofoni di 2.0 metri per una lunghezza della linea sismica di 46 metri. L'energizzazione è stata eseguita a 2, 5 e 10 metri dal primo geofono.

L'elaborazione è stata effettuata con un software dedicato (*Winmasw 6.0 – Eliosoft*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi, modellizzazione e restituzione finale.

Risultati–Determinazione delle categoria del suolo di fondazione

L'analisi delle onde di taglio (V_s) tramite metodo MASW, ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, come riportato in tabella e relativo diagramma, permettendo di calcolare il valore V_{s30} per la sezione indagata.

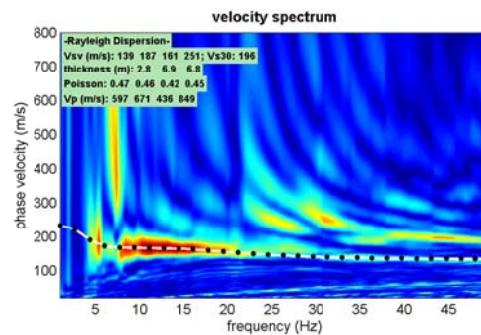
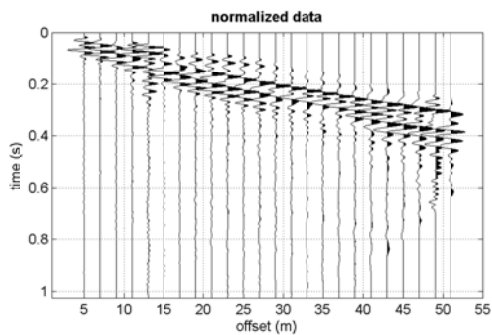
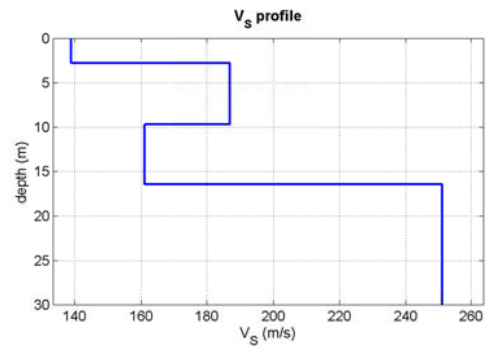
Per l'elaborazione è stata eseguita una correlazione tra i dati sismici e la prova CPT eseguita nell'area.

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti per la MASW eseguita.

Sismostratigrafia

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
2.8	2.8	139
9.7	6.9	187
16.5	6.8	161
30.0	13.5	251

Il valore delle Vs30 calcolato rispetto al piano campagna è uguale a 196 m/s

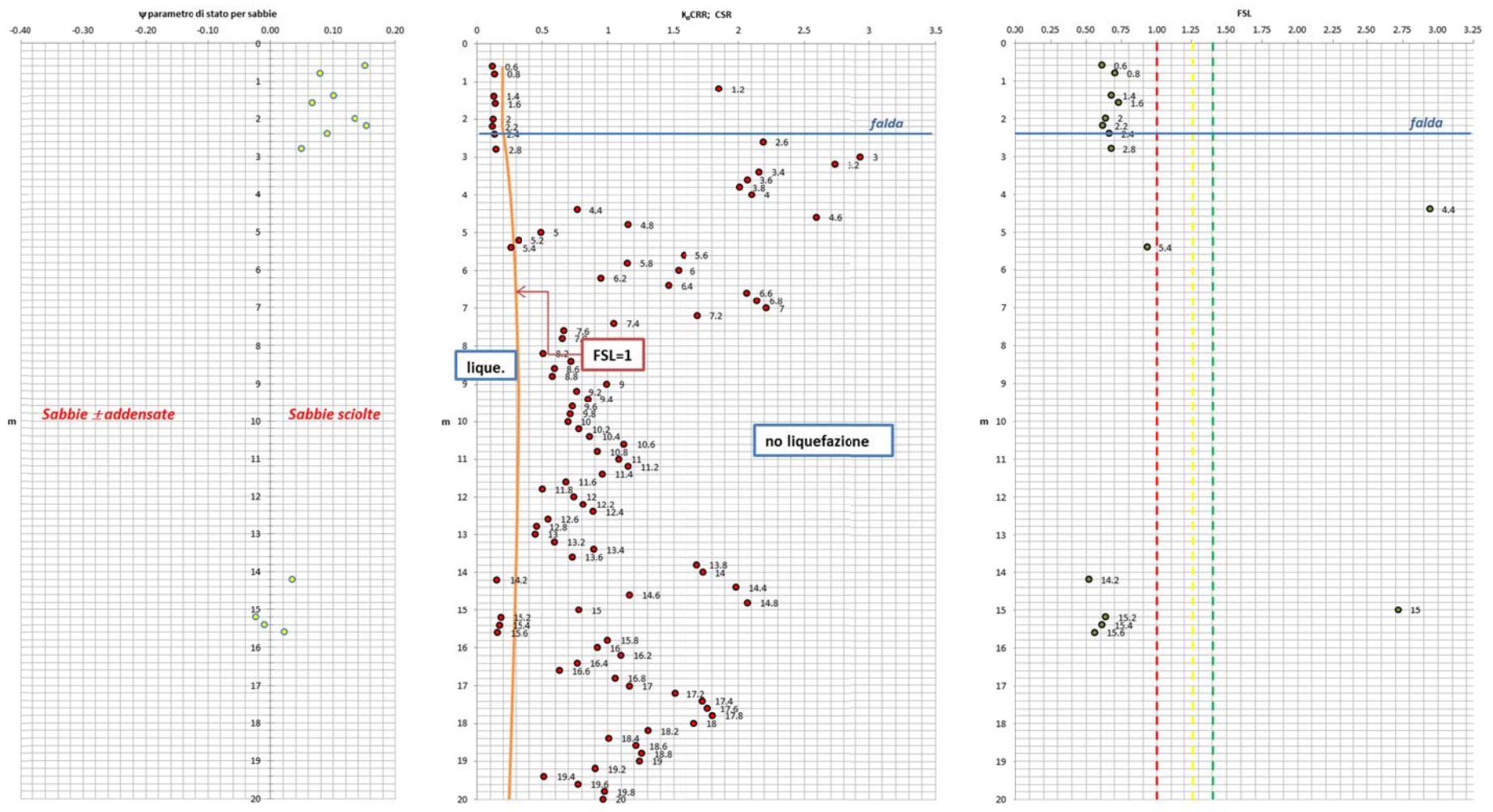


- Sismogramma acquisito, la curva di dispersione e il profilo Vs/profondità-

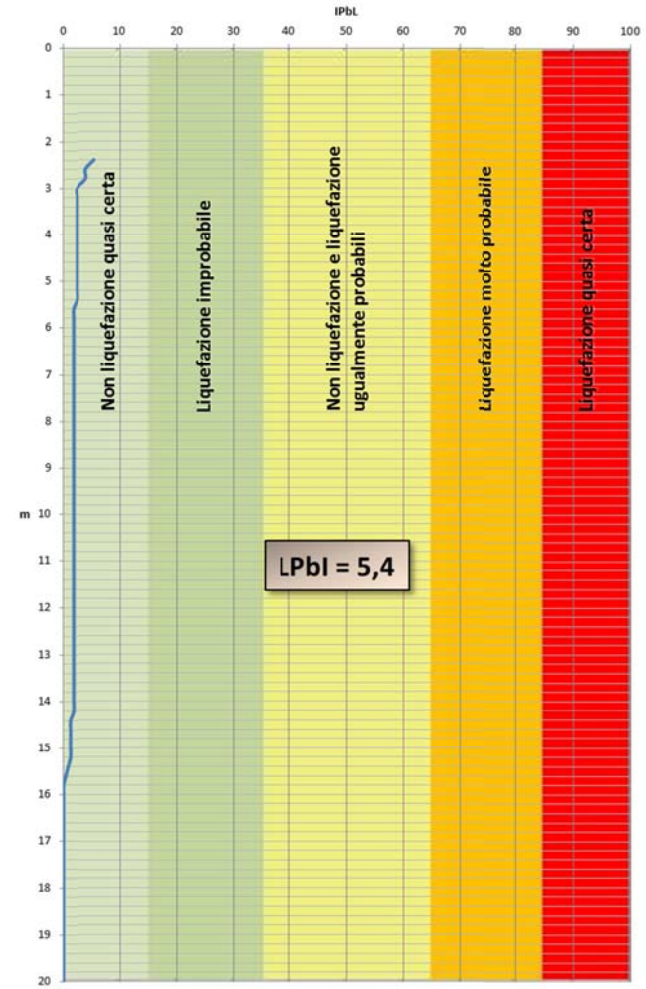
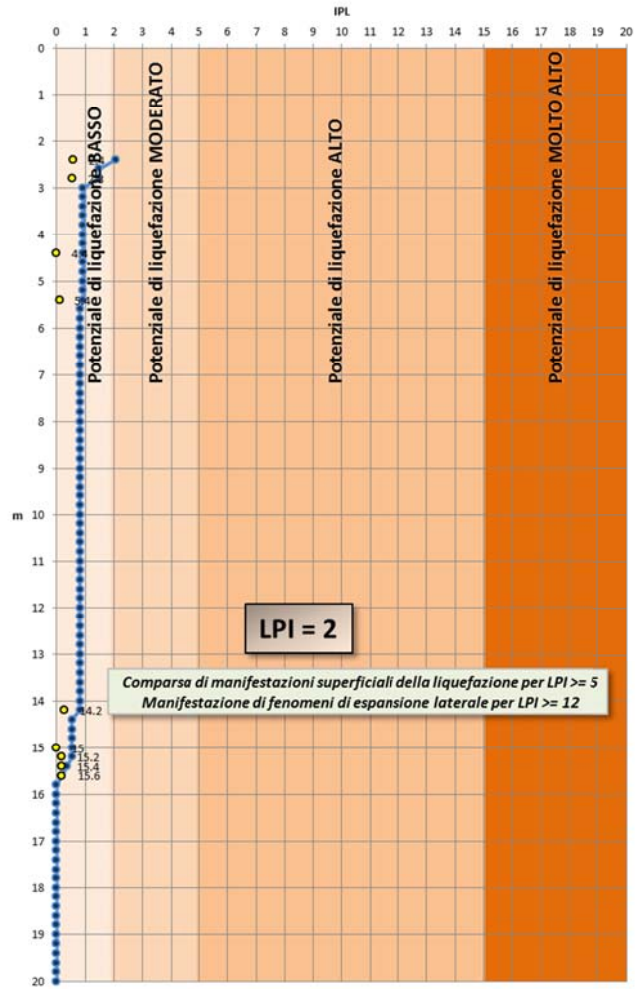


Allegato 4

Analisi suscettività a liquefazione tabulati e grafici



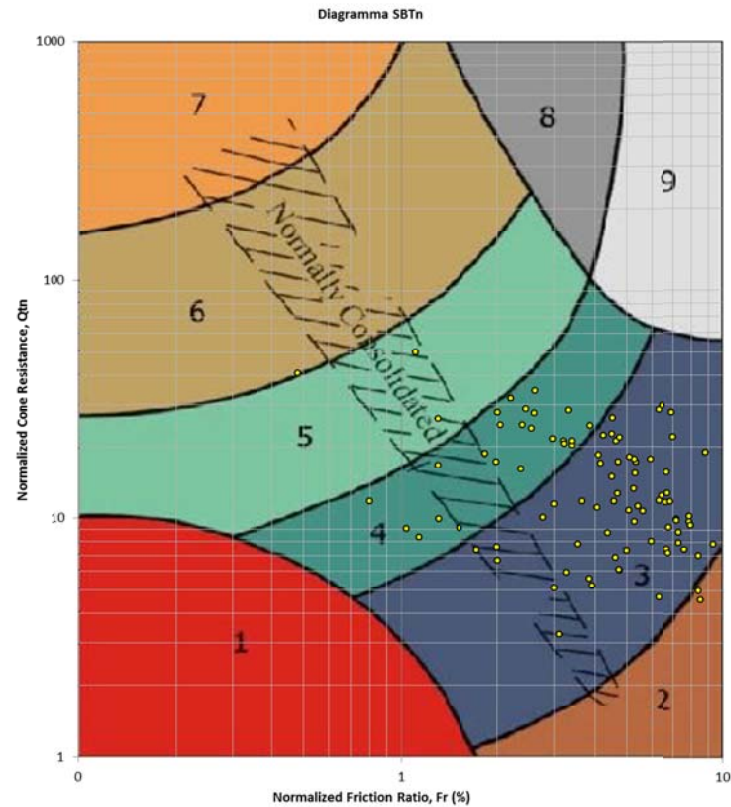
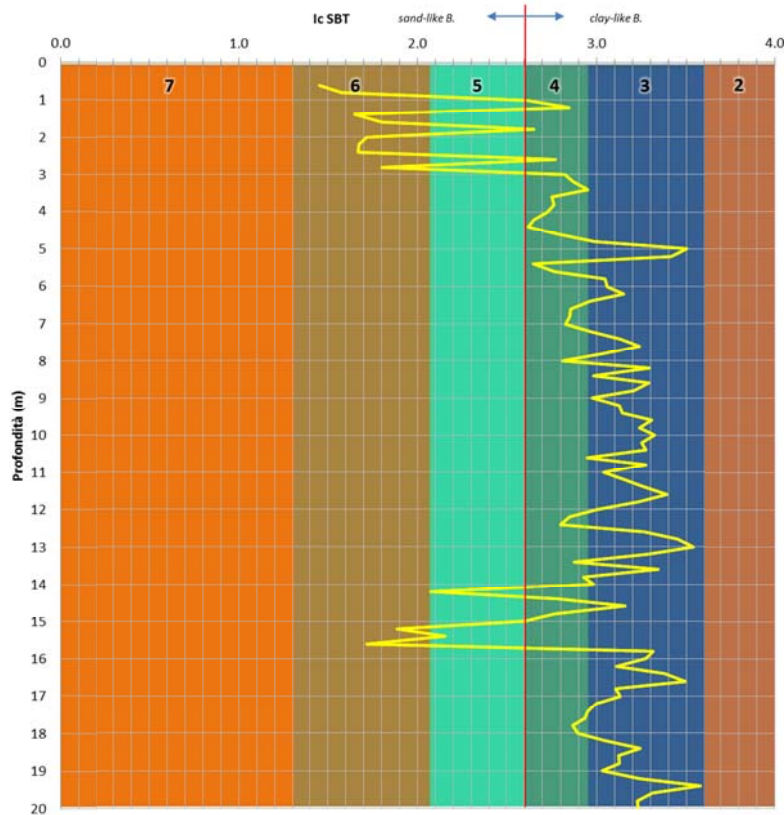
CPTm-1 – A sinistra: profilo del parametro di stato per gli strati a componente sabbiosa (ψ); in centro : profilo del rapporto CRR/CSR in relazione ad un valore soglia dell’FSL pari ad 1,0; a destra: profilo dei valori di FSL in rapporto alle soglie di 1, 1,25 e 1,4.



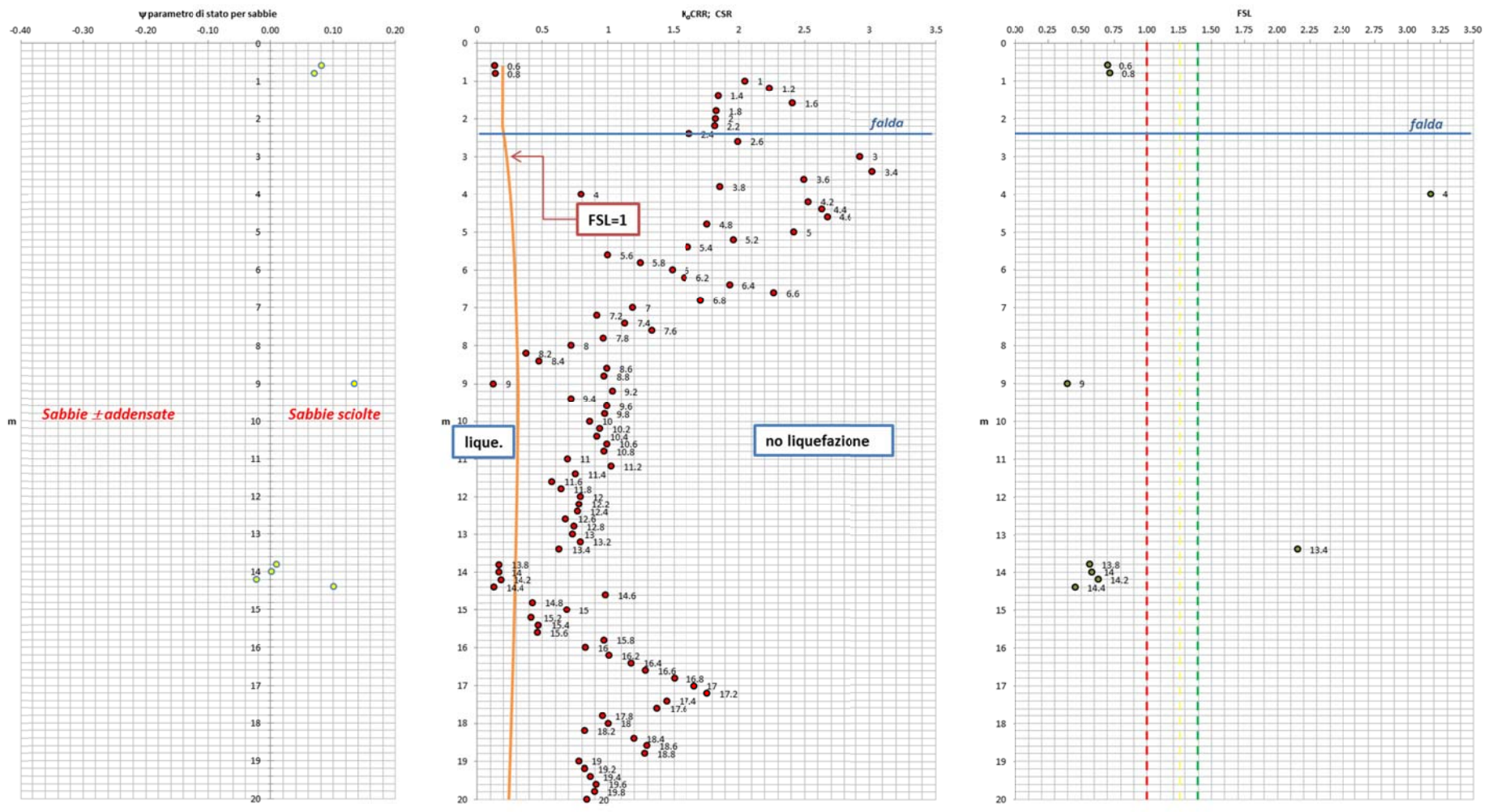
A sinistra: profilo dei valori cumulati dell'Indice di Potenziale Liquefazione per la CPTm-1; a destra: profilo dei valori cumulati dell'Indice di Probabilità di Liquefazione per la CPTm-1.

Strato nr.	Prof. da p.d.c. m	σ_{v0} KPa	σ'_{v0} KPa	q_t KPa	f_s KPa	q_t/f_s ...	Q_{t1} KPa	F_r ...	n	Q_{tn} %	I_c ...	K_c ...	$Q_{tn,ES}$...	$CRR_{7.5}$...	K_p ...	r_d ...	CSR	MSF	FSL	Tipologia di terreno	LPI	P_t (0+1)	Probabilità inizio liquefazione	LPbl %
10	2.4	42.03	40.07	1372.93	17.36	79.08	33.22	1.30	1	26	1.67	1.01	26.56	0.07	1.000	0.98164	0.200793	1.849985	0.66	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	0.590	0.861	Liquefazione quasi certa	1.515
12	2.8	49.12	43.24	1667.13	35.68	46.72	37.42	2.21	1	32	1.80	1.10	35.21	0.08	1.000	0.97858	0.2168	1.849985	0.68	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	0.556	0.847	Liquefazione molto probabile	1.456
20	4.4	77.75	56.17	1569.06	35.68	43.98	26.55	2.39	1	25	2.62	6.21	153.35	0.42	1.000	0.96634	0.260835	1.849985	2.95	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	0.000	0.001	Non liquefazione quasi certa	0.001
25	5.4	94.83	63.44	882.60	6.29	140.32	12.42	0.80	1	12	2.65	7.34	86.63	0.14	1.000	0.95869	0.279449	1.849985	0.93	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	0.102	0.451	ne e non liquefazione ugualment	0.659
69	14.2	250.00	132.28	3831.73	71.92	53.28	27.08	2.01	1	28	2.07	1.40	39.10	0.08	1.000	0.79486	0.29294	1.849985	0.52	Miscela sabbiose - da sabbie limose a limi sabbiosi	0.278	0.964	Liquefazione quasi certa	0.559
73	15	264.94	139.38	4029.23	98.07	41.09	27.01	2.61	1	28	2.60	5.55	154.31	0.42	1.000	0.7735	0.286722	1.849985	2.72	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	0.000	0.001	Non liquefazione quasi certa	0.001
74	15.2	268.67	141.14	6775.43	71.92	94.21	46.10	1.11	1	50	1.88	1.17	58.50	0.10	0.999	0.76816	0.285136	1.849985	0.64	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	0.173	0.886	Liquefazione quasi certa	0.425
75	15.4	272.50	143.01	5010.57	124.22	40.34	33.13	2.62	1	34	2.15	1.55	53.42	0.09	0.999	0.76282	0.283438	1.849985	0.61	Miscela sabbiose - da sabbie limose a limi sabbiosi	0.177	0.908	Liquefazione quasi certa	0.418
76	15.6	276.11	144.66	5599.31	25.54	219.24	36.80	0.48	1	41	1.72	1.05	42.67	0.09	0.999	0.75748	0.281935	1.849985	0.56	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	0.193	0.945	Liquefazione quasi certa	0.416

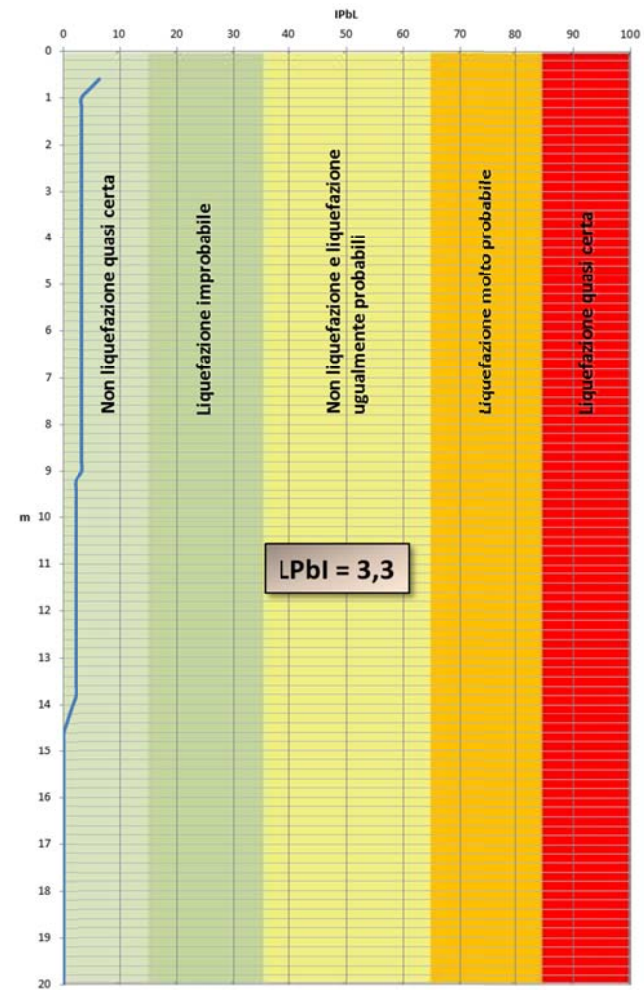
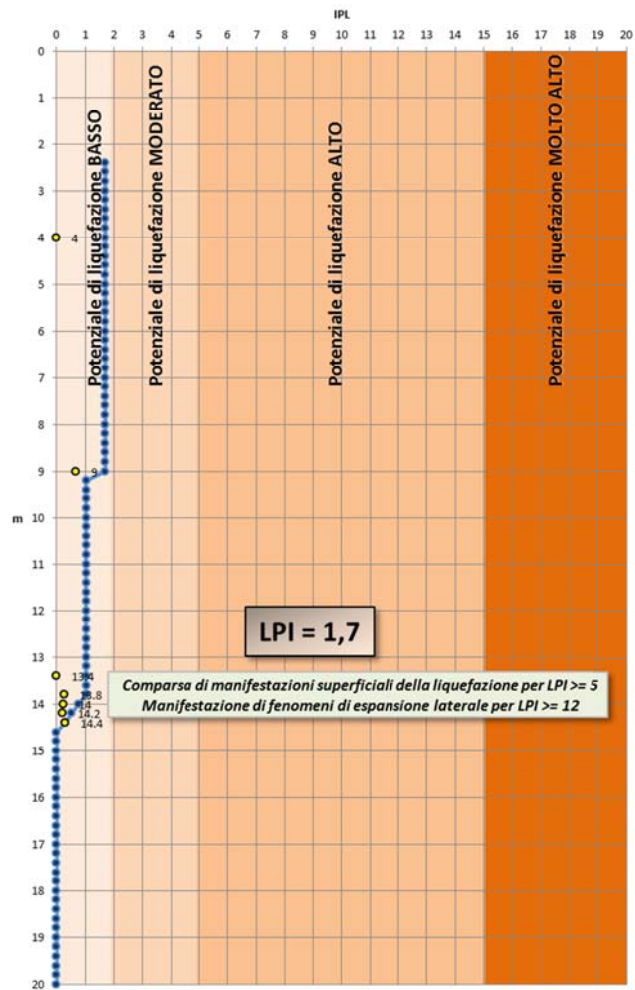
Calcolo dell'FSL, dell'LPI e dell'LPbl nei 20 m indagati dalla CPTm-1.



A sinistra: profilo dell'Indice di Comportamento del terreno con la profondità per la CPTm-1; a destra: diagramma dell'Indice di comportamento del terreno per la CPTm-1, da cui è possibile trarre indicazione anche del grado di consolidazione generale degli strati di terreno indagati (punti gialli).



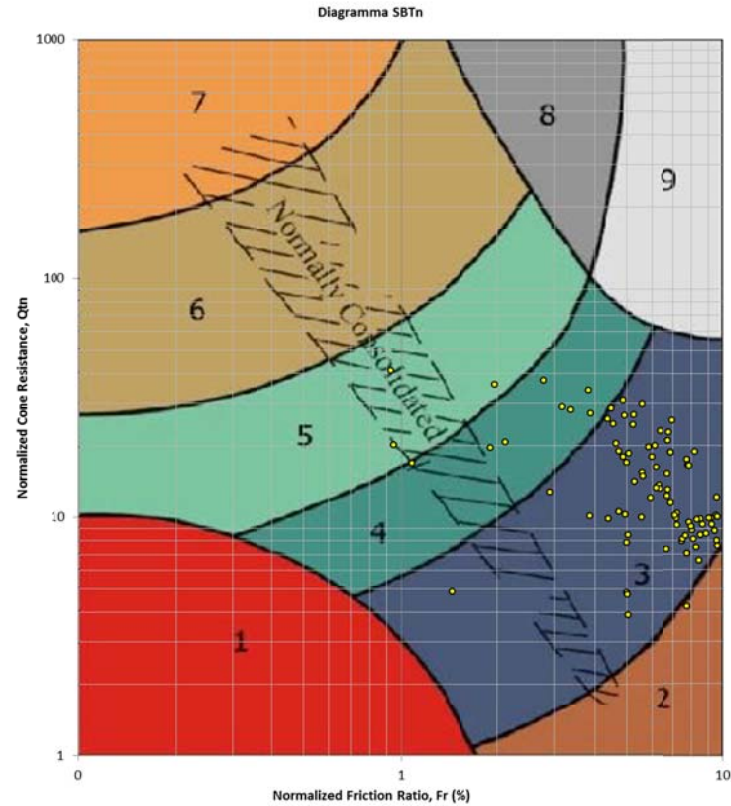
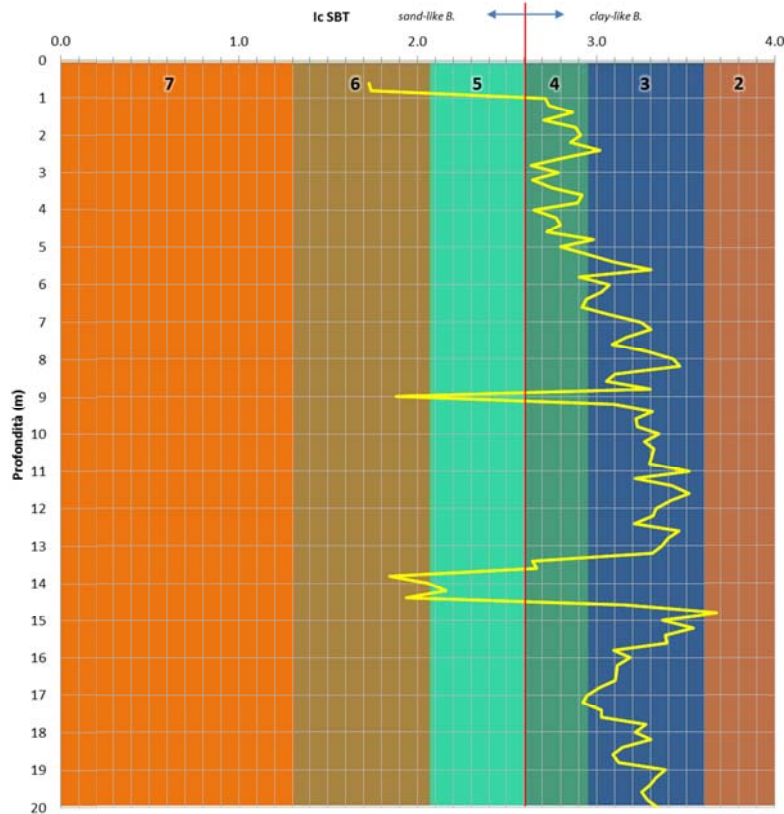
CPTm-2 – A sinistra: profilo del parametro di stato per gli strati a componente sabbiosa (ψ); in centro : profilo del rapporto CRR/CSR in relazione ad un valore soglia dell’FSL pari ad 1,0; a destra: profilo dei valori di FSL in rapporto alle soglie di 1, 1,25 e 1,4.



A sinistra: profilo dei valori cumulati dell'Indice di Potenziale Liquefazione per la CPTm-2; a destra: profilo dei valori cumulati dell'Indice di Probabilità di Liquefazione per la CPTm-2.

Strato nr.	Prof. da p.d.c. m	σ_{v0} KPa	σ'_{v0} KPa	q_t KPa	f_s KPa	q_t/f_s ...	Q_{t1} KPa	F_r ...	n	Q_{tn} %	I_c ...	K_c ...	$Q_{tn,cs}$...	$CRR_{7.5}$...	K_p ...	r_d ...	CSR	MSF	FSL	Tipologia di terreno	LPI	P_L (0÷1)	Probabilità inizio liquefazione	LPbl %
18	4	71.69	54.03	1274.86	25.54	49.92	22.27	2.12	1	21	2.65	7.50	155.60	0.43	1.000	0.9694	0.250812	1.849985	3.17	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	0.000	0.001	Non liquefazione quasi certa	0.001
43	9	161.06	94.35	1765.20	17.36	101.68	17.00	1.08	1	17	1.88	1.17	19.64	0.07	1.000	0.93115	0.309945	1.849985	0.40	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	0.664	0.993	Liquefazione quasi certa	1.092
65	13.4	240.55	130.67	2751.64	47.92	57.42	19.22	1.91	1	20	2.64	7.20	141.07	0.34	1.000	0.81622	0.292988	1.849985	2.15	Miscela limose - limi argillosi ed argille limose	0.000	0.005	Non liquefazione quasi certa	0.004
67	13.8	248.02	134.23	5400.12	47.92	112.69	38.38	0.93	1	41	1.85	1.14	46.68	0.09	1.000	0.80554	0.290251	1.849985	0.57	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	0.269	0.942	Liquefazione quasi certa	0.584
68	14	251.78	136.02	4910.13	91.53	53.65	34.25	1.96	1	36	2.06	1.37	49.10	0.09	1.000	0.8002	0.28883	1.849985	0.58	Miscela sabbiose - da sabbie limose a limi sabbiosi	0.251	0.932	Liquefazione quasi certa	0.559
69	14.2	255.64	137.92	5204.66	137.29	37.91	35.88	2.77	1	37	2.16	1.55	57.88	0.10	0.999	0.79486	0.287296	1.849985	0.63	Miscela sabbiose - da sabbie limose a limi sabbiosi	0.214	0.894	Liquefazione quasi certa	0.518
70	14.4	259.20	139.52	2949.48	25.54	115.49	19.28	0.95	1	20	1.94	1.22	24.56	0.07	1.000	0.78952	0.286025	1.849985	0.46	Sabbie - da sabbie pulite a sabbie limose	0.305	0.983	Liquefazione quasi certa	0.551

Calcolo dell'FSL, dell'LPI e dell'LPbl nei 20 m indagati dalla CPTm-2.



A sinistra: profilo dell'Indice di Comportamento del terreno con la profondità per la CPTm-2; a destra: diagramma dell'Indice di comportamento del terreno per la CPTm-2, da cui è possibile trarre indicazione anche del grado di consolidazione generale degli strati di terreno indagati (punti gialli).

PROVINCIA DI MODENA

COMUNE DI NONANTOLA

VARIANTE AL PRG DI NONANTOLA

REALIZZAZIONE DI DUE LOTTI

RESIDENZIALI IN BAGAZZANO



STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA
ai sensi della D.G.R. n. 1300 del 01/08/2016
della Regione Emilia Romagna

A cura di:
DOTT. GEOL. Valeriano Franchi
V.le Caduti in Guerra 1, 41121 Modena
TEL. 059-226540
e-mail: valerianofranchi@tin.it

MARZO 2019

INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	INDIVIDUAZIONE AREA D’INTERVENTO	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	7
3.1	IL PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI	7
3.2	VARIANTE PAI (AUTORITÀ DI BACINO FIUME PO)	9
3.3	D.G.R. RER n. 1300/2016	11
4	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	13
5	ANALISI DEL RISCHIO IDRAULICO.....	14

1 PREMESSA

La presente relazione tecnica di studio di compatibilità idraulica dell'area oggetto di Variante al PRG sita a Nonantola (MO) in località Bagazzano nella quale sono previsti due lotti edificabili, si rende necessaria poiché l'area in oggetto ricade nelle aree perimetrare a pericolosità P3 dell'ambito "Reticolo Secondario di Pianura (RSP)", ai sensi del progetto di variante al PAI e PAI Delta, adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, con deliberazione n.5 del 17/12/2015.

Il Piano di bacino è lo strumento di pianificazione territoriale, introdotto dalla legge 183/89, che ha lo scopo di assicurare la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi.

Per il fiume Po e i suoi principali affluenti, il PAI mira a raggiungere un assetto di progetto della regione fluviale, raggiungendo un equilibrio tra le componenti naturali e quelle antropiche, tra loro tendenzialmente conflittuali.

I due lotti in oggetto si trovano nella zona di bassa pianura ad est dell'alveo fluviale del fiume Panaro, posto tuttavia ad una certa distanza dall'area; l'idrografia è invece controllata dal tracciato del reticolo idrografico secondario di pianura, che spesso si configura in condizioni di sofferenza idraulica, risultando quindi necessario redigere uno studio di compatibilità dell'intervento edilizio relativamente alla gestione dei rischi alluvione.

Con la presente relazione si intende eseguire una valutazione che consenta di definire gli accorgimenti da assumere per rendere i futuri interventi compatibili con le criticità idrauliche rilevate, in base al tipo di pericolosità e al livello di esposizione e alle prescrizioni di cui al punto 5.2 punto a) dell'allegato all'atto della DGR n.1300 del 01/08/2016.

2 INDIVIDUAZIONE AREA D'INTERVENTO

L'area esaminata, sulla quale sono previsti i due lotti edificabili, è ubicata a Nonantola, circa 2 km a sud del centro abitato del capoluogo, più precisamente in località Bagazzano, lungo via Maestra di Bagazzano.

Dal punto di vista topografico si trova in corrispondenza di un'ampia area pianeggiante al passaggio tra la media e la bassa pianura, sub-orizzontale, e con quote che, in corrispondenza dell'area, sono prossime a 28-29 m s.l.m.

Il sistema idrografico dell'area è rappresentato esclusivamente dal reticolo di drenaggio della Bonifica Burana ed ha nel Cavo Canalino di Bagazzano l'elemento più prossimo, che scorre a poco meno di 150 m a est dell'area in esame, parallelo a via Mavora. Il Cavo Canalino di Bagazzano proviene dai quadranti meridionali e scorre in direzione nord verso il capoluogo comunale, prevalentemente a cielo aperto, tranne un piccolo tratto in cui attraversa la località Bagazzano (sezione DN600-DN800 in cemento), e si immette

nella Fossa Signora a sud del Capoluogo. Un secondo elemento idrografico importante del reticolo secondario che scorre nei dintorni dell'area in esame, è il Diversivo Gaggio-Panzano, canale irriguo di discrete dimensioni che scorre con direzione principale est-ovest circa 800 m sud dell'area in esame.

Sono poi presenti altri canali minori del reticolo di bonifica, tra cui il più vicino all'area in esame è il Cavo Canaletta di Bagazzano, che scorre 200 m ad ovest e raccoglie le acque meteoriche della località Bagazzano, per poi proseguire sempre a cielo aperto verso nord, fino all'ingresso nel centro abitato, che attraversa intubato sino ad immettersi nella Fossa Signora; un secondo canale che si individua nelle vicinanze è la Canaletta Nosadella, che scorre 500 m a sud in direzione est, utilizzata a scopi irrigui.

L'elemento idrografico principale è invece rappresentato dal corso del Fiume Panaro, che scorre circa 2,5 km a ovest dell'area in esame.

La temperatura media annuale di Nonantola nel periodo 1991-2015 è 14,2 °C, mentre la media annuale di piovosità è di 639 mm, con una variazione rispetto al periodo 1961-1990 rispettivamente di +1,2 °C e -2 mm.

Nella cartografia regionale, l'area è compresa nella Tavola alla scala 1:25.000 nr. 202SO denominata "Nonantola" (Figura 1), nella Sezione alla scala 1:10.000 nr. 202090 denominata "Nonantola" e nell'Elemento alla scala 1:5.000 nr. 202093 denominato "Rubbiara" (Figura 2).

L'area è identificata catastalmente al foglio n° 62, mappale n° 93 dell'NCT di Nonantola.

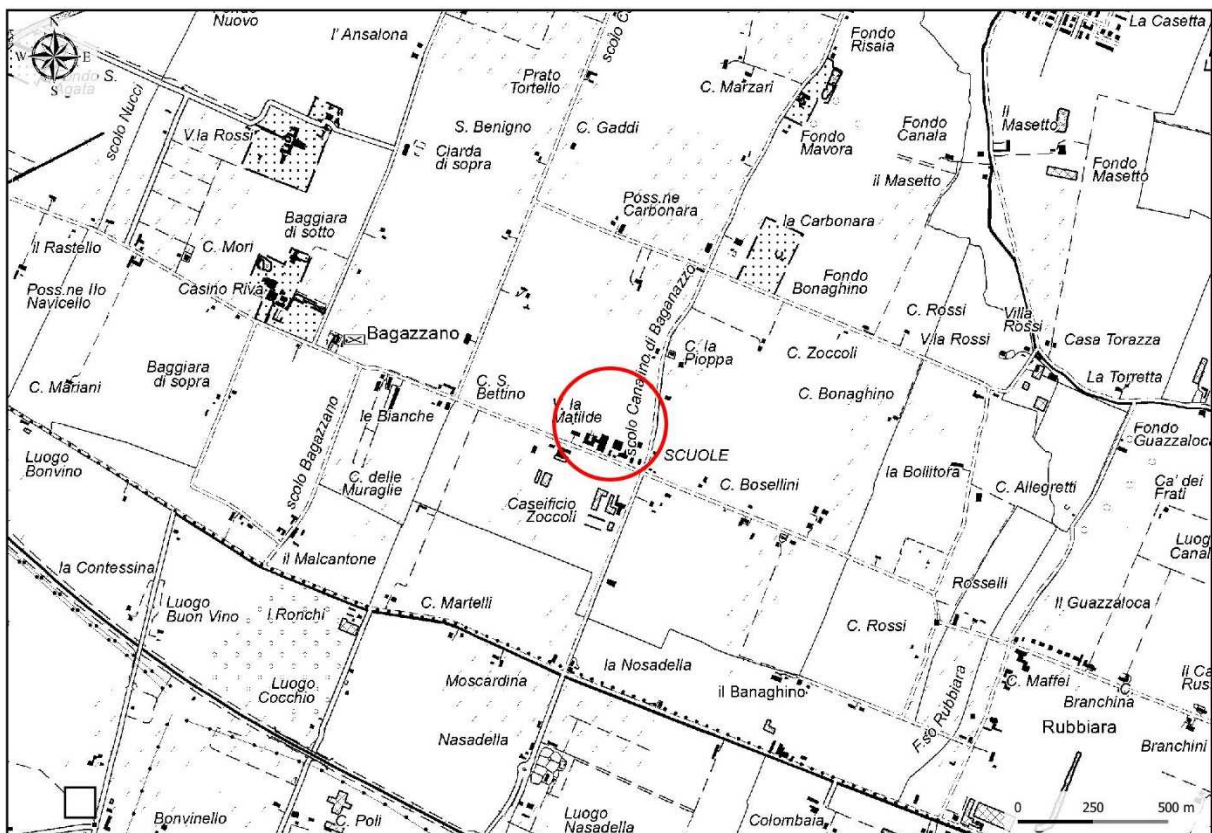


Figura 1 – Tavola nr. 202SO denominata "Nonantola" (scala originale 1:25.000)



Figura 2 – Inquadramento area d'intervento - Elemento C.T.R. nr. 202093 denominato "Rubbiara" (scala originale 1:5.000)

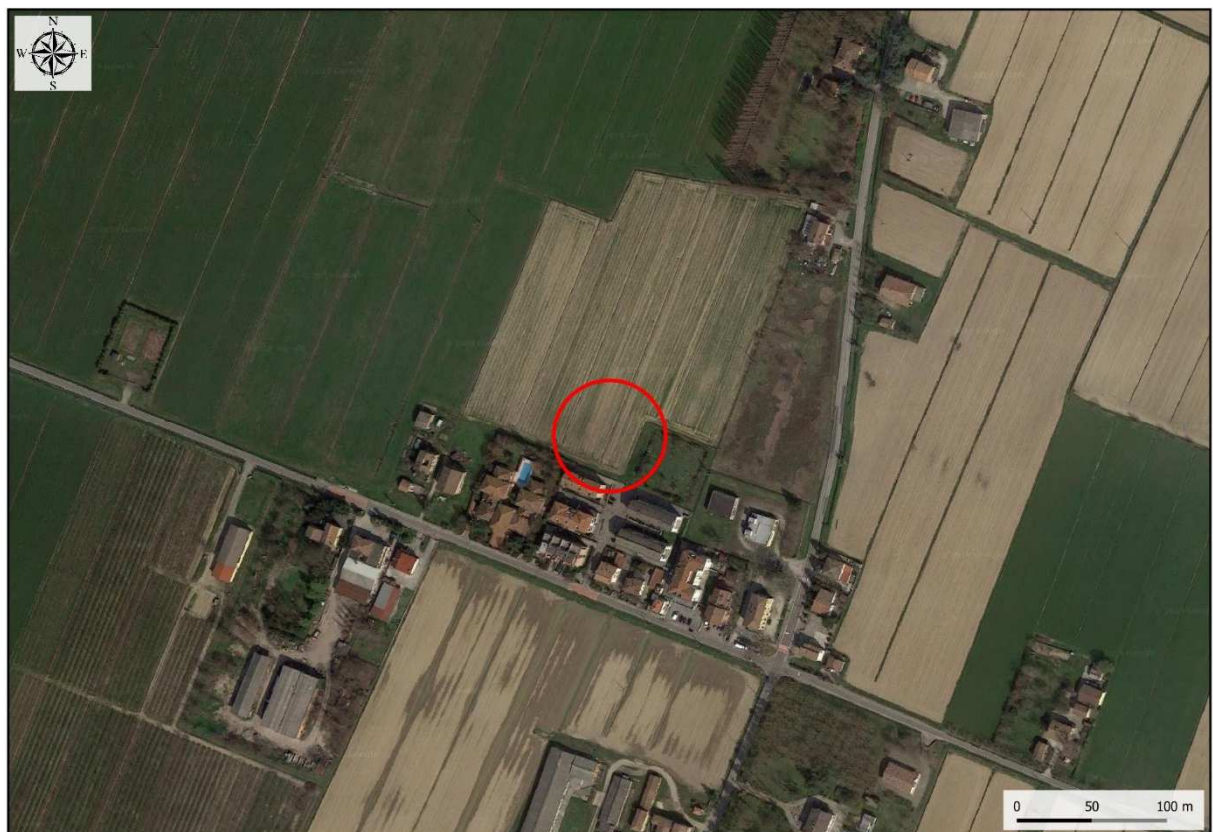


Figura 3 – Ubicazione dell'area d'indagine su ortofoto satellitare (fonte: Google Earth 2018).

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3.1 IL PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI

Il PGRA (Piano Gestione Rischio Alluvioni), approvato nella seduta di Comitato Istituzionale del 3 marzo 2016, con deliberazione n.2/201, definisce, in linea generale per l'intero bacino del fiume Po, la strategia per la riduzione del rischio di alluvioni, la tutela della vita umana e del patrimonio economico, culturale ed ambientale esposto a tale rischio incardinandola su 5 obiettivi operativi, fra i quali sono compresi il miglioramento delle conoscenze riguardanti la pericolosità ed il rischio di alluvioni e la riduzione dell'esposizione al rischio che si dovrà raggiungere anche con azioni volte ad assicurare maggior spazio ai fiumi.

Il PGRA è stato elaborato sulla base della diagnosi di criticità derivante dalle *Mappe della pericolosità* e del *Rischio di alluvioni* (che sono state a suo tempo elaborate, approvate e pubblicate in coerenza con quanto previsto dall'art. 6 del medesimo D. Lgs. n. 49/2010 e che costituiscono specifici elaborati di Piano).

La suddetta mappatura è stata redatta utilizzando tutte le conoscenze e gli studi idraulici disponibili presso l'Autorità di bacino, le Regioni del Distretto idrografico padano ed i Comuni che al momento di avvio dell'attività di mappatura (dicembre 2010) avevano già proceduto alla predisposizione degli Studi idrologici e idraulici per l'adeguamento degli strumenti urbanistici ai previgenti strumenti della pianificazione di bacino per l'assetto idrogeologico (PAI).

Con riferimento alla "*Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti*" si evidenzia che l'area in esame viene classificato nei seguenti scenari di pericolosità:

Ambito di riferimento: reticolo naturale principale e secondario

P1 – L (scarsa probabilità di alluvioni o eventi estremi); comprende tutto il territorio comunale; a tale scenario è associato un tempo di ritorno di 500 anni con grado di pericolosità basso.

Ambito di riferimento: Reticolo secondario di pianura (cfr. Figura 4)

P3 – H (Alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni – elevata probabilità); a tale scenario, che interessa un'ampia area che si sviluppa a sud-ovest della zona in esame, è associata una pericolosità tra media ed elevata.

Lo scenario associato al reticolo idrografico principale non definisce particolari problematiche, mentre quello associato al reticolo idrografico secondario di pianura, evidenzia una elevata probabilità di occorrenza di fenomeni alluvionali; di seguito si riporta pertanto un estratto della "*Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti*" relativa al reticolo secondario di pianura.

Si riporta di seguito un estratto della “Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti” relativa al reticolo secondario di pianura.



Figura 4 – Mappa della pericolosità di alluvioni “Tavola 202SO - Nonantola”. Ambito territoriale: Reticolo Secondario di Pianura (RSP)

Facendo riferimento alla “Mappa del rischio potenziale” si evidenzia che l’area in esame viene classificata nei seguenti scenari di pericolosità:

Ambito di riferimento: reticolo naturale principale e secondario

R1 (rischio moderato o nullo)

Ambito di riferimento: reticolo secondario di pianura (cfr. (cfr. Figura 5)

R2 (rischio medio)

Di seguito si riporta pertanto un estratto della “Mappa del rischio potenziale” relativa al reticolo secondario di pianura.

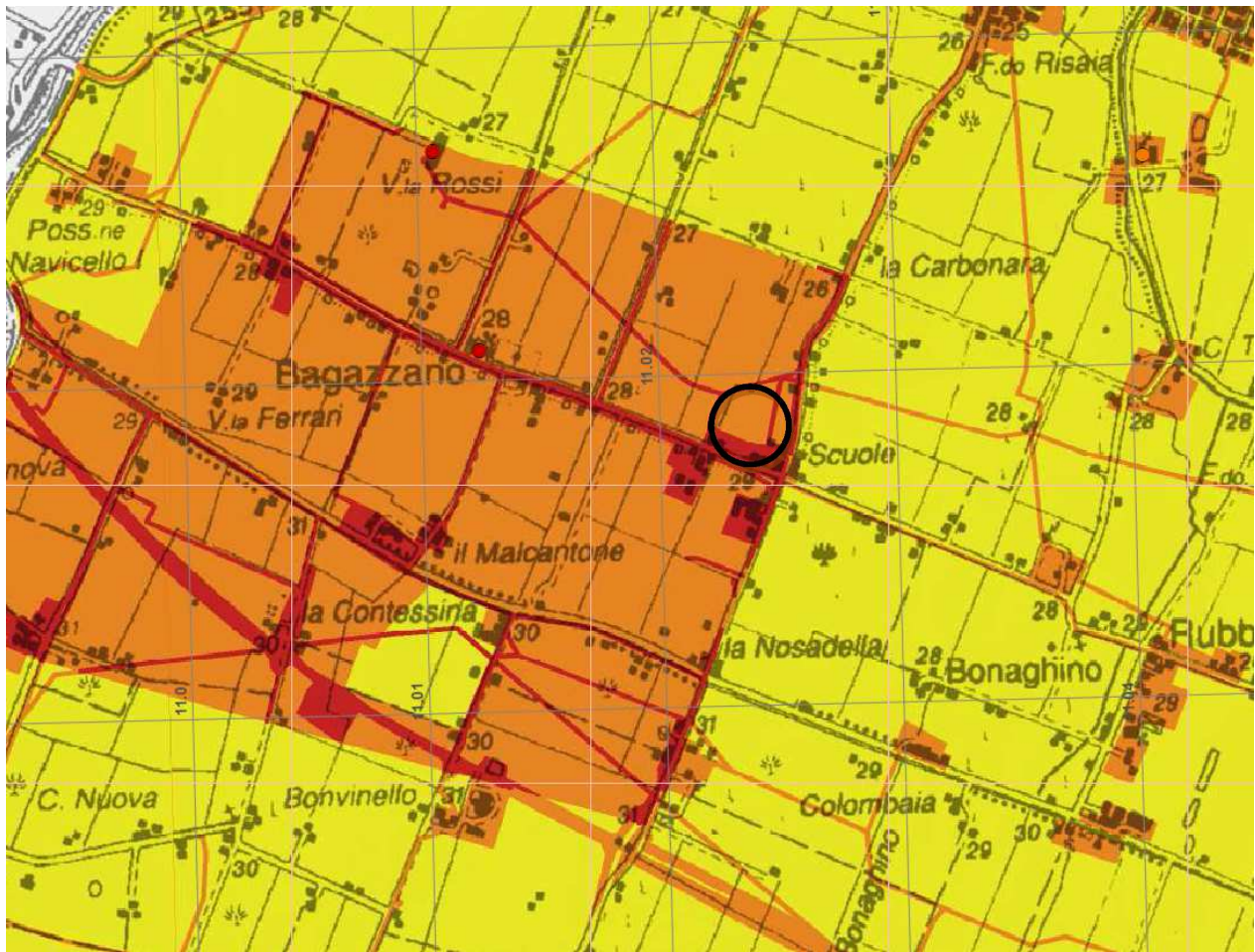


Figura 5 – Mappa del Rischio Potenziale “Tavola 202SO - Bagazzano”. Ambito territoriale: Reticolo Secondario di Pianura (RSP)

3.2 VARIANTE PAI (AUTORITÀ DI BACINO FIUME PO)

Con riferimento all’area d’interesse, in data 7 dicembre 2016, con Deliberazione n. 5 il Comitato Istituzionale dell’Autorità di bacino del fiume Po, ha adottato la “Variante al Piano Stralcio per l’assetto idrogeologico del bacino del fiume PO (PAI) – integrazione all’Elaborato 7 (Norme di Attuazione)”, finalizzata al coordinamento – in conformità all’art. 7, comma 3 lett. A del D. Lgs 23 febbraio 2010 n. 49 – tra tale Piano ed il “Piano di gestione del Rischio alluvioni del Distretto Idrografico Padano (PGRA)

approvato con Deli. C.I. n. 2 del 3 marzo 2016. Ai sensi dell'Art. 57 delle NA del Progetto di Variante PAI, *“Gli elaborati cartografici rappresentati dalle Mappe della Pericolosità e dalla Mappe del Rischio di alluvione, costituiscono integrazione al quadro conoscitivo del PAI”*. L'avviso di adozione della Variante è stato pubblicato in data 1 marzo 2017.

In seguito all'adozione della Variante al PAI dell'Autorità di bacino del Po, se da un lato le Mappe della pericolosità assunte a riferimento non hanno apportato modifiche alle perimetrazioni già esistenti per il reticolo idrografico principale, nel caso in esame costituito dai fiumi Secchia e Panaro, dall'altro lato hanno invece introdotto, per il territorio in esame, un nuovo ambito definito dal Reticolo secondario di pianura (RSP), nel quale la regolamentazione delle attività consentite, dei limiti e dei divieti, viene demandata alle Regioni e agli Enti locali del distretto, attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica.

Per quanto riguarda le aree di pericolosità connesse al reticolo idrografico principale, la Variante PAI all'art. 59 stabilisce che gli strumenti urbanistici comunali debbano adeguarsi al PTCP, essendo stata stipulata intesa tra Provincia di Modena ed Autorità di Bacino del PO; a tal riguardo, il PTCP della Provincia di Modena riporta nella Tavola 2.3.2 *“Rischio idraulico: carta della pericolosità e della criticità idraulica”* che l'area in esame si colloca su di un Paleodosso di accertato interesse (Art. 23A) che ricalca buona parte del tracciato di via Mavora, circondato da *“Aree depresse ad elevata criticità idraulica, a rapido scorrimento”* (Art. 11). Anche dalle mappe del PRG del Comune di Nonantola, risulta che l'area in esame ricade su Dosso di pianura.

Per quanto riguarda invece l'ambito definito dal Reticolo secondario di pianura (RSP), la Variante PAI, confermando quanto già espresso nella Delibera C.I. 5/2015 di adozione del *“Progetto di Variante PAI”*, non ha associate specifiche misure di salvaguardia entro tali aree, richiamando invece le misure previste dall'*“Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, D.L. 11 giugno 1998, n. 180”* adottato con DPCM 29 settembre 1998 per le aree di cui all'art. 1, comma 1, lett. b del D. L. n. 279/2000, convertito, con modificazioni, nella legge n. 365/2000”, valide fino all'entrata in vigore delle disposizioni regionali di attuazione di cui agli art. 58 e 59 delle NTA del PAI, introdotti con la Variante medesima. La Regione ha a disposizione 90 giorni per emanare tali disposizioni dalla data di pubblicazione del DPCM di approvazione della Variante; fino a tale momento restano valide le disposizioni di cui alla D.G.R. 1300 del 01/08/2016 *“Prime disposizioni regionali concernenti l'attuazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni con particolare riguardo alla pianificazione di emergenza, territoriale ed urbanistica, ai sensi dell'art. 58 dell'Elaborato n. 7 (Norme di Attuazione) e dell'art. 22 dell'Elaborato n. 5 (Norme di Attuazione) del “Progetto di Variante al Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) e al Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del Delta del fiume Po (PAI Delta)”*, adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino del fiume Po, con deliberazione

n. 5 del 17/12/2015”, emanate dalla RER in risposta alla necessità, configuratasi a seguito dell’adozione del “Progetto di Variante PAI”, di avere indicazioni operative in riferimento all’applicazione delle misure di salvaguardia alle aree individuate nell’ambito delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni del PGRA.

3.3 D.G.R. RER n. 1300/2016

Si riporta di seguito l’estratto degli articoli 5.1 e 5.2 della DGR n.1300/2016 *“Prime disposizioni regionali concernenti l’attuazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni con particolare riguardo alla pianificazione di emergenza, territoriale ed urbanistica, ai sensi dell’art. 58 dell’Elaborato n. 7 (Norme di Attuazione) e dell’art. 22 dell’Elaborato n. 5 (Norme di Attuazione) del “Progetto di Variante al Piano stralcio per l’assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) e al Piano stralcio per l’assetto idrogeologico del Delta del fiume Po (PAI Delta)”, adottato dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di bacino del fiume Po, con deliberazione n. 5 del 17/12/2015”* che riguarda nello specifico il Reticolo secondario di pianura.

5. Reticolo Secondario di Pianura (RSP)

5.1 Ambito di riferimento

Il Reticolo secondario di pianura (RSP) è costituito dai corsi d’acqua secondari di pianura gestiti dai Consorzi di bonifica e irrigui nella medio - bassa pianura padana.

La perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili è stata effettuata con riferimento agli scenari di alluvione frequente (P3) e poco frequente (P2) previsti dalla Direttiva.

Il metodo di individuazione delle aree soggette ad alluvioni è stato di tipo prevalentemente storico - inventariale e si è basato sugli effetti di eventi avvenuti generalmente negli ultimi 20-30 anni in quanto ritenuti maggiormente rappresentativi delle condizioni di pericolosità connesse con l’attuale assetto del reticolo di bonifica e del territorio.

A questa tipologia di aree si aggiungono limitate zone individuate mediante modelli idrologico – idraulici e aree delimitate sulla base del giudizio esperto degli enti gestori in relazione alla incapacità, più volte riscontrata, del reticolo a far fronte ad eventi di precipitazione caratterizzati da tempi di ritorno superiori (in media) a 50 anni (individuato come tempo di ritorno massimo relativo allo scenario P3). Stante le caratteristiche proprie del reticolo, nello scenario di alluvione poco frequente (P2), l’involuppo delle aree potenzialmente allagabili, coincidente con gran parte dei settori di pianura dei bacini idrografici, ha carattere indicativo e necessita di ulteriori approfondimenti di tipo conoscitivo. Ne deriva che l’estensione delle aree interessate da alluvioni rare (P1) è ricompresa, di fatto, nello scenario P2.

*Le alluvioni dovute ad esondazione del reticolo artificiale di bonifica, seppure caratterizzate da alta frequenza, presentano tiranti e velocità esigui che danno origine a **condizioni di rischio medio (R2)** e*

*moderato/nullo (R1) e in casi limitati, prevalentemente situati in zone urbanizzate e insediate interessate da alluvioni frequenti, a **condizioni di rischio elevato (R3)**.*

La mitigazione delle condizioni di rischio per il patrimonio edilizio esistente si fonda su azioni di protezione civile ed eventualmente di autoprotezione e di protezione passiva.

Per quanto riguarda gli interventi edilizi nel seguito dettagliati si fa riferimento alle disposizioni specifiche sotto riportate.

5.2 Disposizioni specifiche

In relazione alle caratteristiche di pericolosità e rischio descritte nel paragrafo precedente, nelle aree perimetrate a pericolosità P3 e P2 dell'ambito Reticolo Secondario di Pianura, laddove negli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica non siano già vigenti norme equivalenti, si deve garantire l'applicazione:

- di misure di riduzione della vulnerabilità dei beni e delle strutture esposte, anche ai fini della tutela della vita umana;*
- di misure volte al rispetto del principio dell'invarianza idraulica, finalizzate a salvaguardare la capacità ricettiva del sistema idrico e a contribuire alla difesa idraulica del territorio.*

Le successive indicazioni operative vanno considerate per il rilascio dei titoli edilizi relativi ai seguenti interventi edilizi definiti ai sensi delle vigenti leggi:

- a) ristrutturazione edilizia;*
- b) interventi di nuova costruzione;*
- c) mutamento di destinazione d'uso con opere.*

Nelle aree urbanizzabili/urbanizzate e da riqualificare soggette a POC/PUA ubicate nelle aree P3 e P2, nell'ambito della procedura di VALSAT di cui alla L.R. 20/2000 e s.m.i., la documentazione tecnica di supporto ai Piani operativi/attuativi deve comprendere uno studio idraulico adeguato a definire i limiti e gli accorgimenti da assumere per rendere l'intervento compatibile con le criticità rilevate, in base al tipo di pericolosità e al livello di esposizione locali.

Nell'ambito dei procedimenti inerenti richiesta/rilascio di permesso di costruire e/o segnalazione certificata di inizio attività, si riportano di seguito, a titolo di esempio e senza pretesa di esaustività, alcuni dei possibili accorgimenti che devono essere utilizzati per la mitigazione del rischio e che devono essere assunti in sede di progettazione al fine di garantire la compatibilità degli interventi con le condizioni di pericolosità di cui al quadro conoscitivo specifico di riferimento, demandando alle Amministrazioni Comunali la verifica del rispetto delle presenti indicazioni in sede di rilascio del titolo edilizio.

a. Misure per ridurre il danneggiamento dei beni e delle strutture:

a.1. *la quota minima del primo piano utile degli edifici deve essere all'altezza sufficiente a ridurre la vulnerabilità del bene esposto ed adeguata al livello di pericolosità ed esposizione;*

a.2. *é da evitare la realizzazione di piani interrati o seminterrati, non dotati di sistemi di autoprotezione, quali ad esempio:*

- *le pareti perimetrali e il solaio di base siano realizzati a tenuta d'acqua;*
- *vengano previste scale/rampe interne di collegamento tra il piano dell'edificio potenzialmente allagabile e gli altri piani;*
- *gli impianti elettrici siano realizzati con accorgimenti tali da assicurare la continuità del funzionamento dell'impianto anche in caso di allagamento;*
- *le aperture siano a tenuta stagna e/o provviste di protezioni idonee;*
- *le rampe di accesso siano provviste di particolari accorgimenti tecnico-costruttivi (dossi, sistemi di paratie, etc);*
- *siano previsti sistemi di sollevamento delle acque da ubicarsi in condizioni di sicurezza idraulica.*

Si precisa che in tali locali sono consentiti unicamente usi accessori alla funzione principale.

a.3. *favorire il deflusso/assorbimento delle acque di esondazione, evitando interventi che ne comportino l'accumulo ovvero che comportino l'aggravio delle condizioni di pericolosità/rischio per le aree circostanti.*

La documentazione tecnica di supporto alla procedura abilitativa deve comprendere una valutazione che consenta di definire gli accorgimenti da assumere per rendere l'intervento compatibile con le criticità idrauliche rilevate, in base al tipo di pericolosità e al livello di esposizione.

4 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

La Variante al PRG di cui all'oggetto, prevede la realizzazione di due nuovi edifici su due lotti di 725 mq posti sul lato nord di via Maestra di Bagazzano. I due lotti sono posti in continuità con l'edificato esistente, del quale sarà prolungata la viabilità verso nord, completando, con la presenza del parco pubblico nell'area antistante i due lotti stessi, l'urbanizzazione dell'area.

Nei due lotti si prevede la realizzazione di due edifici residenziali, la cui quota del primo piano utile (piano terra) sarà rialzata rispetto al piano campagna di almeno 50 cm, portandosi così alla quota degli edifici esistenti.



Figura 6 – In rosso sono tratteggiati i lotti edificabili di progetto

5 ANALISI DEL RISCHIO IDRAULICO

La zona in esame si trova in un'area rurale circa 2 km a sud del centro urbano di Nonantola, distante circa 2,5 km dal tracciato del Fiume Panaro, che scorre ad ovest.

Se la condizione di pericolosità idraulica connessa con il corso d'acqua del reticolo principale risulta essere bassa, diversa è la situazione per quanto riguarda il reticolo idrografico secondario di pianura, qui rappresentato dal Cavo Canalino di Bagazzano, canale promiscuo a cielo aperto, e dal canale irriguo Diversivo Gaggio-Panzano, entrambi cavi consortili in gestione alla Bonifica di Burana che scorrono rispettivamente 150 m ad est, sul lato orientale di via Mavora, e 800 m a sud parallelo a via Imperiale Ovest. Il Diversivo Gaggio-Panzano scorre con direzione principale est-ovest e, oltre a raccogliere le acque della zona, viene utilizzato prevalentemente ad usi irrigui, pregiudicandone l'utilizzo a scopi di scolo nel periodo estivo.

Circa 200 m ad ovest, lungo via Maestra di Bagazzano, inizia il corso del Cavo Canaletto di Bagazzano, che raccoglie le acque dell'omonima località.

Lo "Studio di compatibilità idraulica sulla rete fognaria di Nonantola" redatto per il Quadro Conoscitivo del PSC di Nonantola, attribuisce all'area dell'abitato di Bagazzano una criticità media, dovuta ad una non perfetta officiosità idraulica del Cavo Canaletto di Bagazzano.

Alla luce di tali criticità, si è ritenuto opportuno prevedere adeguate misure di prevenzione del rischio idraulico, potenzialmente connesso col reticolo idrografico secondario ed a tale scopo, è stata esclusa l'edificazione dei nuovi fabbricati al solo piano terra, prevedendo invece uno sviluppo su più piani collegati con una scala interna, per consentire alle persone di potersi eventualmente rifugiare nelle zone sopraelevate nel caso di un evento alluvionale; non sono stati inoltre previsti piani interrati o seminterrati a maggior rischio di allagamento.

La quota del primo piano utile (piano terra) degli edifici sarà rialzata di 50 cm rispetto alla quota del piano campagna circostante, al fine di contrastare eventuali allagamenti del piano terra.

L'edificio sarà inoltre costruito in muratura e la progettazione strutturale sarà predisposta tenendo conto anche delle azioni generate da eventi di carattere eccezionale come alluvioni, suscettibili di produrre azioni orizzontali.

Gli impianti elettrici e gli impianti meccanici saranno posizionati in condizioni di sicurezza tali da ridurre i danni in caso alluvione.

Lo scolo delle acque meteoriche insistenti sui lotti avverrà sfruttando la rete esistente posata sotto la strada di comparto, che si collega alla fogna di acque bianche, recentemente rifatta ed adeguata alle nuove esigenze, presente al di sotto della pista ciclabile su via Maestra di Bagazzano, che a sua volta si immette nel Cavo Canalino.

Modena, 11 Marzo 2019

Dott. Geol. Franchi Valeriano

A circular blue ink stamp from the "Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna" is overlaid with a handwritten signature in blue ink. The stamp contains the text "ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA", "VALERIANO FRANCHI", "Emilia-Romagna", "GEOLOGO", and "N. 559 ALBO. P. P.". The signature is a cursive script that loops around the stamp.

Dott. Michela Malagoli

Chimico, Ordine dei Chimici di Modena con n. 420
tecnico competente in acustica ambientale

VERIFICA CLIMA ACUSTICO NUOVA AREA DI ESPANSIONE IN LOCALITÀ BAGAZZANO NONANTOLA ART 8 COMMA 2 DELLA LEGGE 447/95

INDICE

1	Premessa.....	2
2	Analisi dei Limiti Vigenti.....	2
3	Metodologia e strumentazione utilizzata.....	3
4	Risultati della misura.....	4

Modena, marzo 2019

Dott. Michela Malagoli

Tecnico competente in acustica ambientale
Comunicazione Provincia di Modena
prot. n. 53955/3.3.5 del 21/04/2004



1 PREMESSA

Oggetto della presente indagine è l'esecuzione di una misura della durata di 24 ore al fine di verificare i livelli di rumore presenti in corrispondenza di un lotto di possibile futura espansione residenziale in località Bagazzano in comune di Nonantola in adiacenza alle residenze esistenti.

Nella figura 1, su base foto-area, il lotto è delimitato da un rettangolo di colore giallo, è inoltre indicato il punto in cui è stata eseguita la misura.



Figura n.1: Localizzazione dell'area oggetto di studio e foto del punto di misura

L'area è connotata da bassi livelli di rumore le principali fonti di generazione della zona sono il traffico sulla via Mavora e sulla via Maestra di Bagazzano.

2 ANALISI DEI LIMITI VIGENTI

I principali riferimenti normativi vigenti valutati nel corso dell'indagine sono i seguenti:

- ◆ Legge Quadro sull'inquinamento acustico del 26 ottobre 1995 n° 447;
- ◆ L.R. Emilia Romagna 09/05/2001 n°15 "Disposizioni in materia di inquinamento acustico".
- ◆ Il D.P.R. n. 142 del 30.03.04 riguardante il rumore generato dalle infrastrutture viarie
- ◆ D.P.C.M. 14 novembre 1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore"
- ◆ D.M. 16 marzo 1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico"
- ◆ La zonizzazione acustica vigente approvata dal Comune di Nonantola.

In figura n° 2 viene riportato stralcio della zonizzazione acustica nel quale viene indicata la zona di interesse in blu. L'area in oggetto risulta in parte assegnata alla III^a classe acustica come la maggior parte dell'area esterna inserita in zona agricola, i valori limite dei quali verificare il rispetto sono 60,0dB(A) in periodo diurno e di 50,0dB(A) in periodo notturno. La maggior parte della frazione risulta invece assegnata alla seconda classe acustica; la parte compresa nella fascia posta al bordo della strada Mavora per uno spessore di 50m, è assegnata alla terza classe.



Figura n°2: Stralcio zonizzazione acustica delle zona

3 METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Il rumore presente nell'area di indagine deriva in prevalenza del traffico su via Mavora e sulla via Maestra di Bagazzano.

La misura è avvenuta collocando il microfono del fonometro all'altezza di 4 metri dal piano campagna in ottemperanza all'allegato C del D.M. Ambiente 16/3/98 in presenza di buone condizioni meteorologiche, in assenza di pioggia, nebbia e neve e con velocità del vento inferiore a 5 m/s. In figura 1 è riportata la localizzazione del punto di misura e la foto scattate il giorno della esecuzione della misura che è iniziata alle ore 6.00 di venerdì 8 marzo 2019 e terminata alla stessa ora del giorno successivo. Di seguito viene specificata la strumentazione utilizzata.

Per la misura è stato utilizzato un fonometro Larson Davis modello 824 n° di serie 3684, classe 1 IEC 651, IEC 804 e IEC 1260 dotato di un microfono modello 2541 n° di serie 8504 classe 1 IEC 942; il fonometro ed il microfono sono stati tarati, in conformità a quanto prescritto dal comma 4 dell'art.2 del D.M. 16/3/1998, in data 20/03/2017 con certificato di taratura n° 12122 presso i laboratori SkyLab di via Belvedere, 42 Arcore(MB) Centro SIT n.16.

La linea di strumenti utilizzati per la misura risponde alle specifiche di classe 1 delle norme EN 61672-1 ed EN 61672-2; all'inizio e alla fine della misura è stata eseguita la calibrazione utilizzando un calibratore CAL 200 Matricola 3017 tarato il 12/12/2018 con certificato n. 19.378-A presso il centro SIT 163 Sky-Lab S.r.l. Via Belvedere, 42 Arcore (MB), la differenza tra le due calibrazioni effettuate è risultata minore di 0,1 dB(A).

In calce si riportano i link che consentono di verificare la taratura della strumentazione utilizzata ed il riconoscimenti della qualifica di tecnico competente in acustica.

4 RISULTATI DELLA MISURA

I risultati della misura eseguita sono riportati nella tabella 1, i valori riportati in neretto sono stati arrotondati a 0,5 dB(A) in conformità al punto 3 dell'allegato B del DM Ambiente 16/3/98. Oltre ai valori Leq dei due periodi diurno e notturno sono riportati anche i valori di alcuni livelli statistici, L_1 , L_{10} , L_{90} e L_{95} sia in periodo diurno che in periodo notturno.

Il valore di Leq in periodo diurno è pari a **47,5 dB(A)**, quello nel periodo notturno a **40,0 dB(A)** entrambi i valori sono inferiori al valore prescritto per la seconda classe acustica quella che stabilisce i valori di maggior tutela a fini residenziali.

Punto misura	Livelli di pressione sonora (FAST) (dBA)									
	Periodo diurno					Periodo notturno				
	Leq	L_1	L_{10}	L_{90}	L_{95}	Leq	L_1	L_{10}	L_{90}	L_{95}
P₀	47,5	54,8	47,7	36,3	34,8	40,0	49,6	43,8	29,9	29,0

Tabella n°1: Risultati della misura eseguita

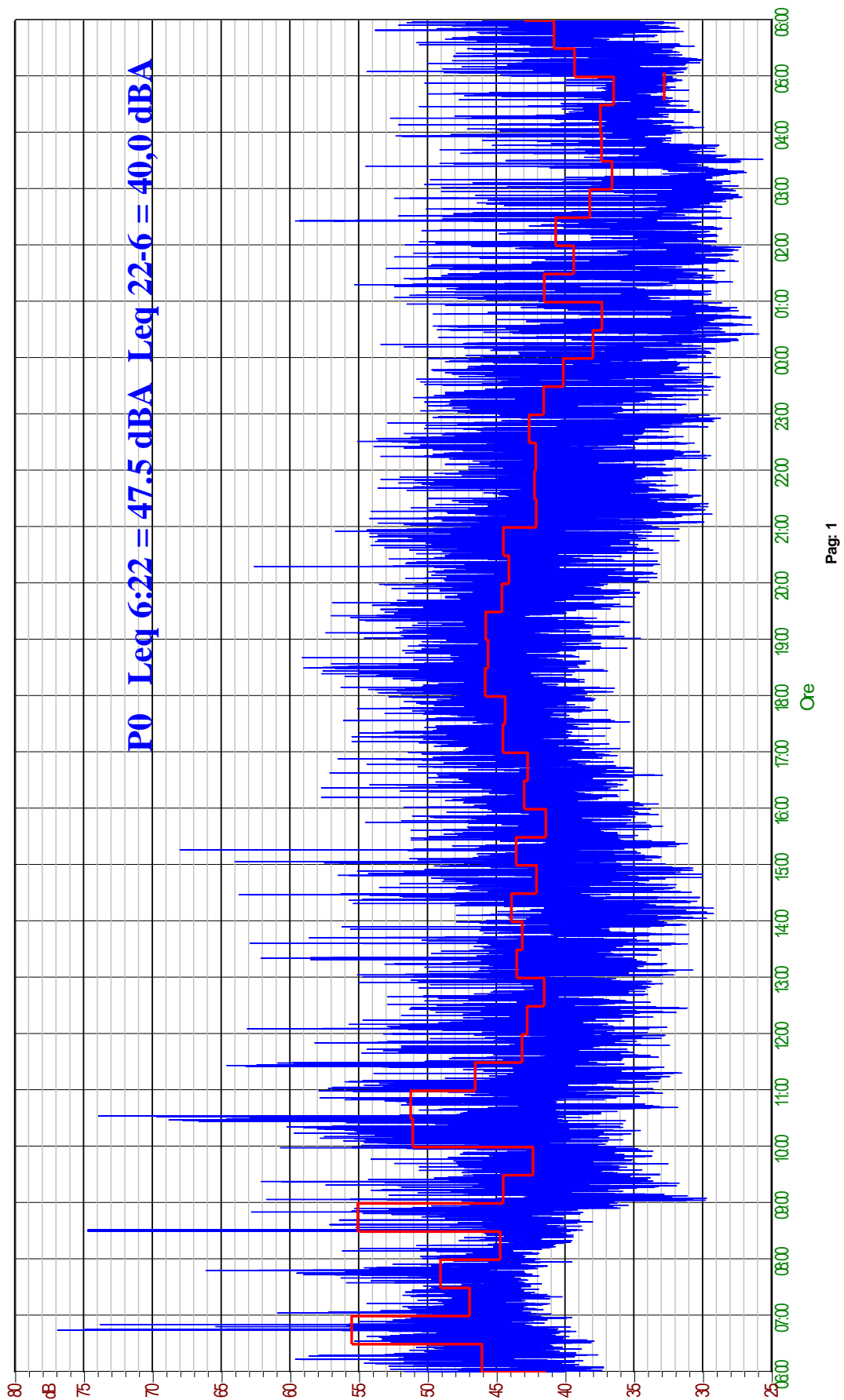
Nella tabella 2 sono riportati i valori Leq integrati su un periodo di 30 minuti della misura eseguita; in azzurro sono evidenziati i valori relativi al periodo notturno; di fatto per nessuno degli intervalli semiorari è stato rilevato il superamento dei valori limiti della seconda classe acustica.

Ora	Leq	Ora	Leq	Ora	Leq	Ora	Leq
06:00	46,0	12:00	42,8	18:00	45,8	00:00	38,0
06:30	55,5	12:30	41,5	18:30	45,6	00:30	37,3
07:00	46,9	13:00	43,5	19:00	45,8	01:00	41,5
07:30	49,1	13:30	43,1	19:30	44,6	01:30	39,4
08:00	44,7	14:00	43,9	20:00	44,1	02:00	40,7
08:30	55,1	14:30	42,1	20:30	44,5	02:30	38,2
09:30	44,5	15:00	43,5	21:00	42,1	03:00	36,6
10:00	42,3	15:30	41,4	21:30	42,2	03:30	37,4
10:30	51,1	16:00	43,0	22:00	42,1	04:00	37,4
10:30	51,2	16:30	42,7	22:30	42,6	04:30	36,5
11:00	46,5	17:00	44,5	23:00	41,5	05:00	39,3
11:30	43,1	17:30	44,4	23:30	40,1	05:30	40,8

Tabella n°2: Valori di Leq per tempi di 30minuti

In figura 3 viene riportato il grafico della misura eseguita, i valori di Leq sono stati integrati con tempi di 1 secondo (linea blu) e 30 minuti (linea rossa).

Il grafico presenta un andamento coerente con quello delle aree agricole lontane da sorgenti sonore significative; i valori elevati misurati sono da imputare ad eventi occasionali; in ogni caso i valori rilevati testimoniano elevati livelli di comfort acustico della zona che pertanto sono idonei ad ospitare nuovi insediamenti residenziali.



Pag: 1

Figura n°5: Grafico della misura eseguita

Allegato: (Certificati di taratura e Attestati)

Certificato di taratura fonometro L&D 824 Numero di serie 3684
www.praxisambiente.it/downloads/Fon-LD824-3684-2017.pdf

Certificato di taratura calibratore L&D CAL 200 Numero di serie 3017
www.praxisambiente.it/downloads/Cal-LD200-3017-2018.pdf

Attestato Attribuzione qualifica di Tecnico Competente in Acustica Dott. Michela Malagoli
www.praxisambiente.it/downloads/Tec-Com-Acu-Naz_MMalagoli.pdf