

# COMUNE DI CORTE DE' FRATI

PROVINCIA DI CREMONA

## RELAZIONE GEOLOGICA

A SUPPORTO DELLA VARIANTE AL PGT DI CORTE DE' FRATI  
- AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVA ATP1 -

### PROGETTO DI AMPLIAMENTO DELLO STABILIMENTO ROTA GUIDO SRL



Data :  
agosto 2017

A cura di :

**STUDIO GEOLOGICO**

**Dr.Geol. Raffaello Zanardi**

Via Monte Gottero, 34  
43124 - Parma  
Tel. 347/0013534  
mail: raf.geo@hotmail.it

**Collaboratore: Dott.ssa Margherita Raffaini**

Committente :



**Rota Guido s.r.l.**

Via F.lli Bandiera  
Corte de' Frati (CR)

## SOMMARIO

<b>1 – PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO-IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>2</b>
<i>Geologia e geomorfologia.....</i>	<i>3</i>
<i>Idrogeologia.....</i>	<i>4</i>
<i>Reticolo idrico e PGRA .....</i>	<i>5</i>
<b>3 – INQUADRAMENTO SISMICO.....</b>	<b>8</b>
<b>4 - METODOLOGIA E RISULTATI DELL'INDAGINE GEOTECNICA .....</b>	<b>13</b>
<i>La prova penetrometrica statica CPT.....</i>	<i>13</i>
<i>Valutazioni litologiche e geotecniche .....</i>	<i>14</i>
<b>5 – RISULTATI DELL'INDAGINE GEOFISICA .....</b>	<b>16</b>
<i>Indagine Masw+Hvsr .....</i>	<i>16</i>
<i>Risposta sismica locale.....</i>	<i>17</i>
<b>6 - VALUTAZIONE PRELIMINARE RESISTENZA DI PROGETTO (Rd) .....</b>	<b>23</b>
<b>7 – COMPATIBILITA' GEOLOGICA E SISMICA .....</b>	<b>24</b>
<i>Fattibilità geologica .....</i>	<i>24</i>
<i>Vincolistica.....</i>	<i>24</i>
<i>Pericolosità Sismica Locale .....</i>	<i>25</i>
<i>Liquefazione .....</i>	<i>26</i>
<b>8 – CONCLUSIONI.....</b>	<b>30</b>

Allegati:

- ALL. 1 – COROGRAFIA (scala 1 : 5.000)
- ALL. 2 – UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE (scala 1 : 1.500)
- ALL. 3 – DOCUMENTAZIONE PROVE PENETROMETRICHE
- ALL. 4 – DOCUMENTAZIONE INDAGINE GEOFISICA
- ALL. 5 – ASSEVERAZIONE AI SENSI DELLA DGR IX 2616/2011

## 1 – PREMESSA

Nella presente relazione sono riportati i risultati dell'indagine geologica, geotecnica e geofisica effettuata allo scopo di valutare le caratteristiche del substrato di un'area, sita nel comune di Corte dè Frati (CR), dove è previsto il progetto di ampliamento dello Stabilimento Rota Guido s.r.l. (Variante al PGT – Ambito di Trasformazione Produttiva ATP1).

L'indagine è stata condotta sulla base di quanto disposto dal D.M. 14/01/08 “Norme Tecniche per le Costruzioni” e dalla D.R.G. IX/2616/2011 “Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio”.

L'indagine è consistita inoltre nell' esecuzione di:

- n°4 prove penetrometriche statiche CPT finalizzate all'acquisizione delle caratteristiche litostratigrafiche e dei parametri geotecnici del terreno;
- n°1 indagine geofisica MASW + HVSR finalizzata ad ottenere il valore di  $V_{s30}$ , necessario per definire la categoria di suolo dell'area, e la frequenza di risonanza del terreno *fr*.

## 2 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO-IDROGEOLOGICO

L'area di studio è ubicata nel settore meridionale dell'abitato di Corte dè Frati immediatamente a sud dello Stabilimento esistente Rota Guido srl (Fig.1); cartograficamente essa ricade nell'elemento D7A3 in scala 1:10.000 della Carta Tecnica Regionale della Lombardia e si sviluppa alla quota di circa 49,50 m slm (All.1).



Figura 1 – Area oggetto di indagine (Google Earth)

Geologia e geomorfologia

Dal punto di vista geologico-geomorfologico si colloca su di un ripiano alluvionale impostato su depositi di origine fluviale riferibili, secondo la terminologia in uso presso il Servizio Geologico di Stato, al "Fluviale Wurm" la cui composizione litologica è, nella zona, essenzialmente costituita da depositi sabbioso-argillosi, con lenti ghiaiose a ciottoli minuti (Fig.2).

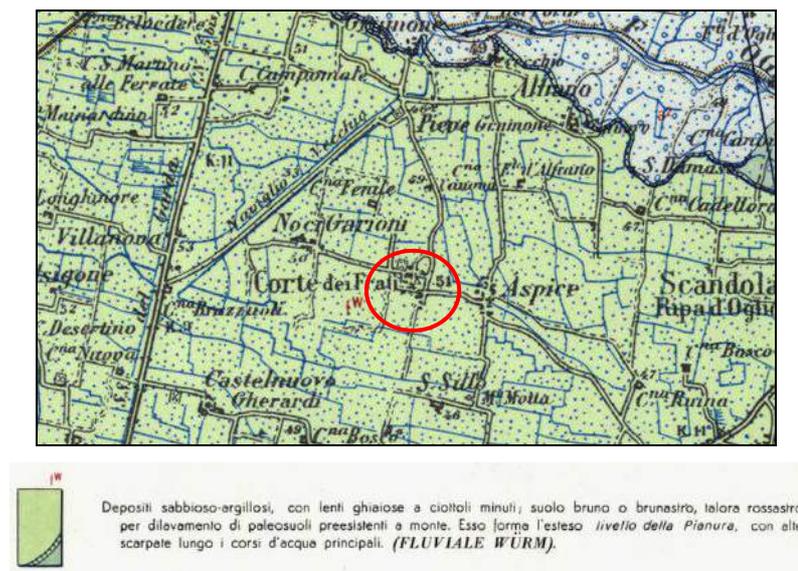


Figura 2 – Stralcio della “Carta Geologica d'Italia” in scala 1:100.000 (Foglio 68 – Cremona)

Osservando la Carta Geologica e Geomorfologica a corredo della variante generale del PRG comunale (Fig.3) si osserva come l'area, caratterizzata da depositi prevalentemente limoso-argillosi o sabbiosi, si colloca all'interno di un paleoalveo del Fiume Oglio; tali aree corrispondono al letto del corso d'acqua abbandonato e sono costituite da sedimenti di occlusione dell'alveo stesso ossia da materiale a granulometria più fine rispetto alle zone di argine.

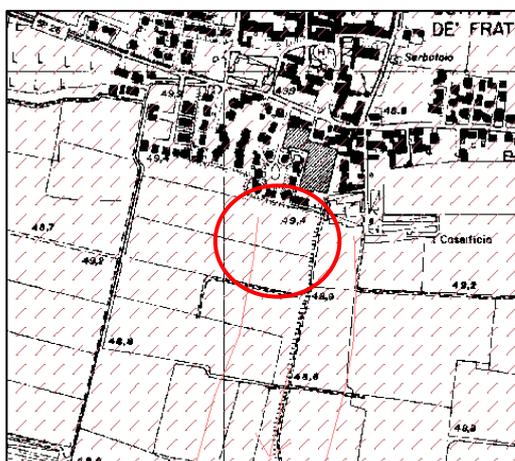
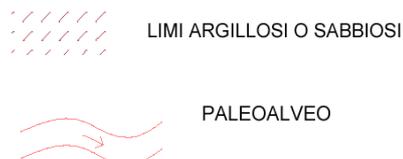


Figura 3 – Stralcio della TAV.1  
 Carta Geologica e Geomorfologica  
 (Variante Generale PRG comunale – 2001)



### Idrogeologia

Per quel che riguarda la circolazione idrica sotterranea, sulla base dei dati desunti dal PGT comunale, la soggiacenza della falda si attesta nella zona in esame a una profondità compresa tra 1,5 m e 2,5 m dal p.c. (Fig.4).

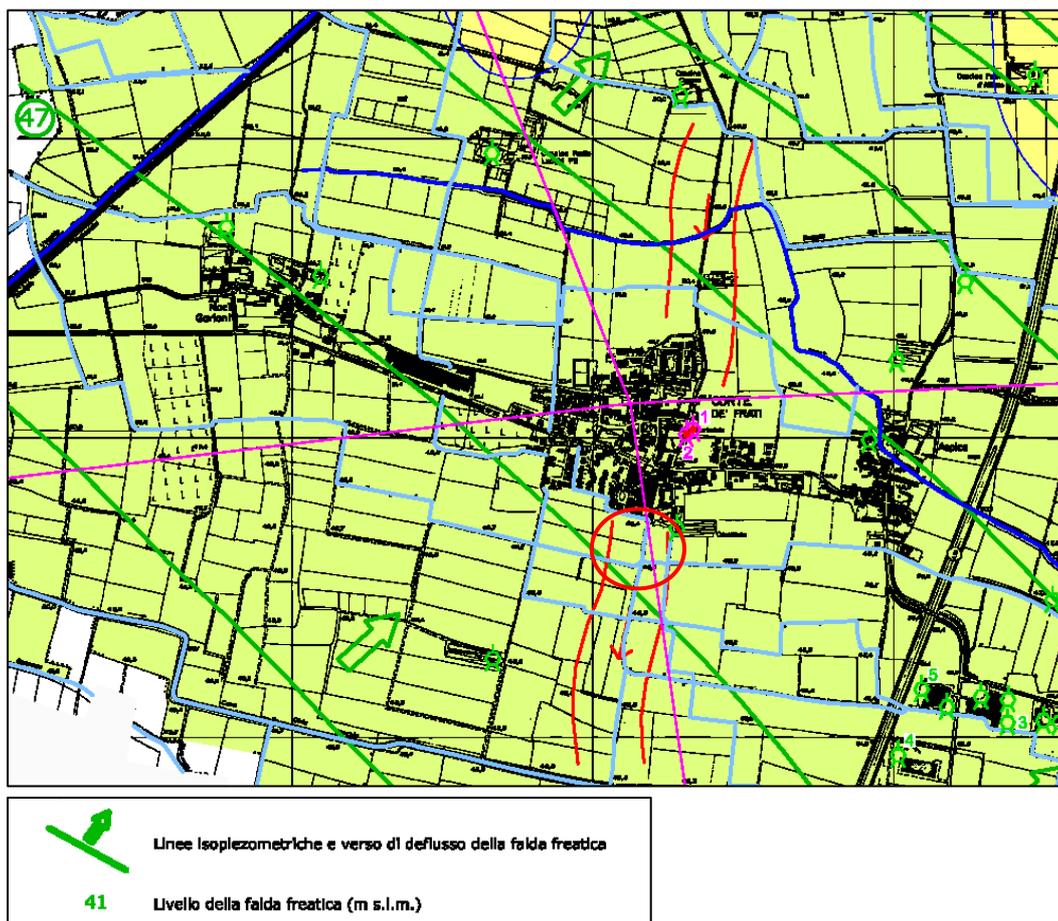
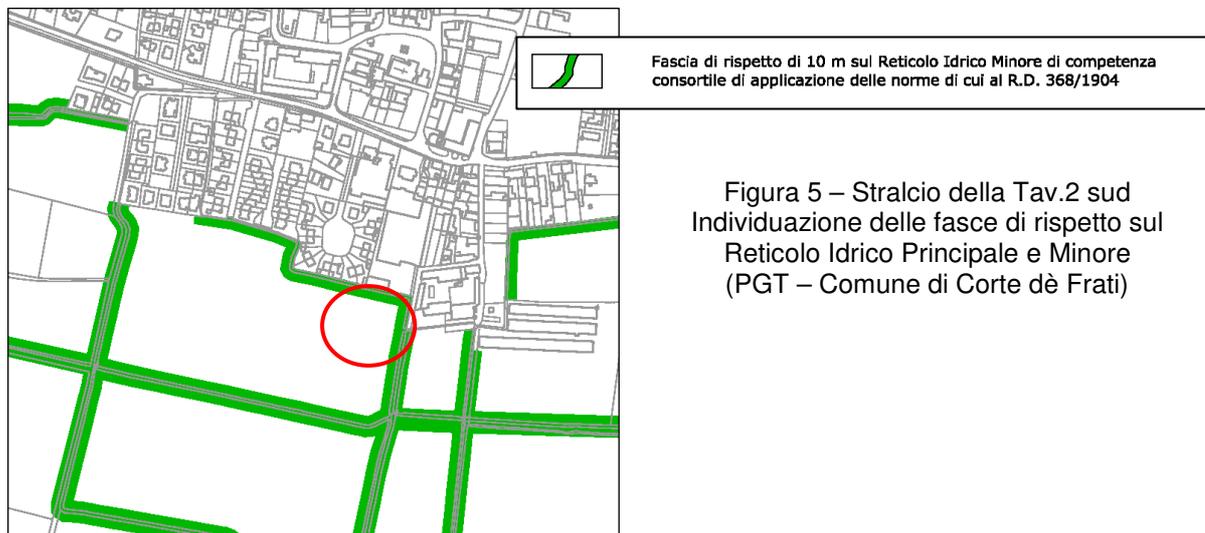


Figura 4 – Stralcio della Carta Idrogeologica e del sistema idrografico  
(PGT – Comune di Corte de' Frati)

Nel corso delle indagini effettuate è stata riscontrata la presenza di acqua di falda ad una profondità compresa tra 1,20 m e 1,50 m dal p.c.; la misura è stata rilevata tramite rilievo freaticometrico all'interno di micropiezometri (1") installati nei fori penetrometrici.

### Reticolo idrico e PGRA

L'area è perimetrata, in corrispondenza dei lati nord, est e sud, da rogge irrigue appartenenti al Reticolo Idrografico Minore di competenza consortile per le quali è prevista una fascia di rispetto di 10 m su entrambe le sponde (Fig.5).



La Direttiva europea 2007/60/CE, recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010, ha dato avvio ad una nuova fase della politica nazionale per la gestione del rischio di alluvioni.

La Direttiva 2007/60/CE o Direttiva alluvioni in quanto relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi da alluvioni, introduce per gli stati membri l'obbligo di dotarsi di un quadro coordinato per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvione e di un Piano di Gestione del rischio alluvioni (PGRA) per la salvaguardia della vita umana e dei beni esposti e la mitigazione dei danni derivanti dalle alluvioni.

Lo strumento per la valutazione e la gestione del rischio è rappresentato dalle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni che riportano l'estensione potenziale delle inondazioni causate dai corsi d'acqua (naturali e artificiali), dal mare e dai laghi, con riferimento a tre scenari (alluvioni rare, poco frequenti e frequenti)

Le mappe del rischio segnalano la presenza nelle aree allagabili di elementi potenzialmente esposti (popolazione, servizi, infrastrutture, attività economiche, etc.) e il corrispondente livello di rischio, distinto in 4 classi rappresentate mediante colori: giallo (R1-Rischio moderato o nullo), arancione (R2- Rischio medio), rosso (R3-Rischio elevato), viola (R4- Rischio molto elevato).

La rilevante estensione del bacino del fiume Po e la peculiarità e diversità dei processi di alluvione sul suo reticolo idrografico hanno reso necessario effettuare la mappatura della pericolosità secondo approcci metodologici differenziati per i diversi ambiti territoriali, di seguito definiti:

- Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP);
- Reticolo secondario collinare e montano (RSCM);
- Reticolo secondario di pianura (RSP);
- Aree costiere marine (ACM).

Tale mappatura individua i seguenti scenari di pericolosità:

- aree interessate da alluvione rara
- aree interessate da alluvione poco frequente
- aree interessate da alluvione frequente

La perimetrazione delle aree allagabili è stata effettuata con riferimento agli scenari di media ed elevata probabilità di piena 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.

Le mappe rappresentano quindi l'estensione massima degli allagamenti conseguenti al verificarsi degli scenari di evento riconducibili ad eventi di elevata, media e scarsa probabilità di accadimento.

Per il comune di Corte de' Frati sono definite le mappe di pericolosità e rischio riferite al Reticolo Secondario di Pianura (RSP).

Dall'analisi della suddette mappe (Fig.6-7) si evince che l'area interessata dal progetto in esame, relativamente al Secondario di Pianura (RSP), ricade in area non allagabile, a cui non è associato un livello di pericolosità né di rischio.

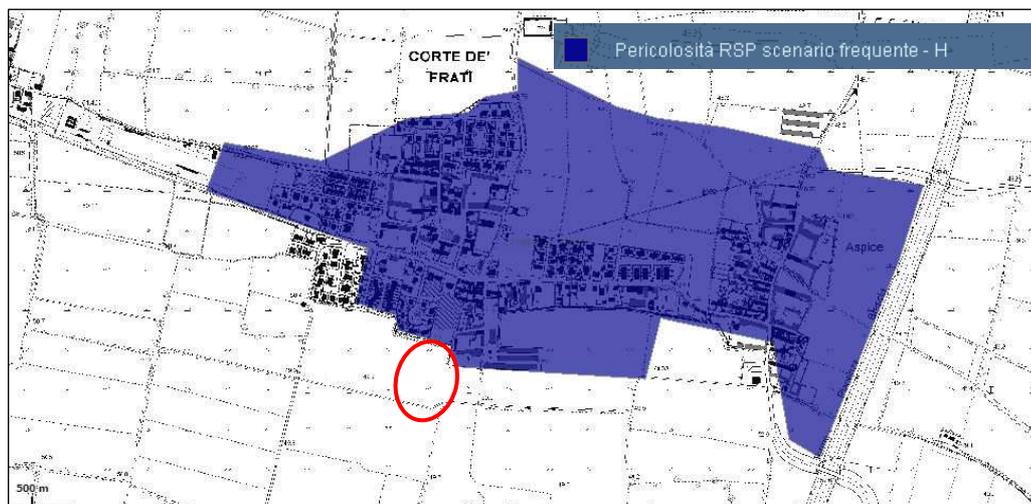


Figura 6 - Mappa della pericolosità del PGRA con evidenziata l'area di studio

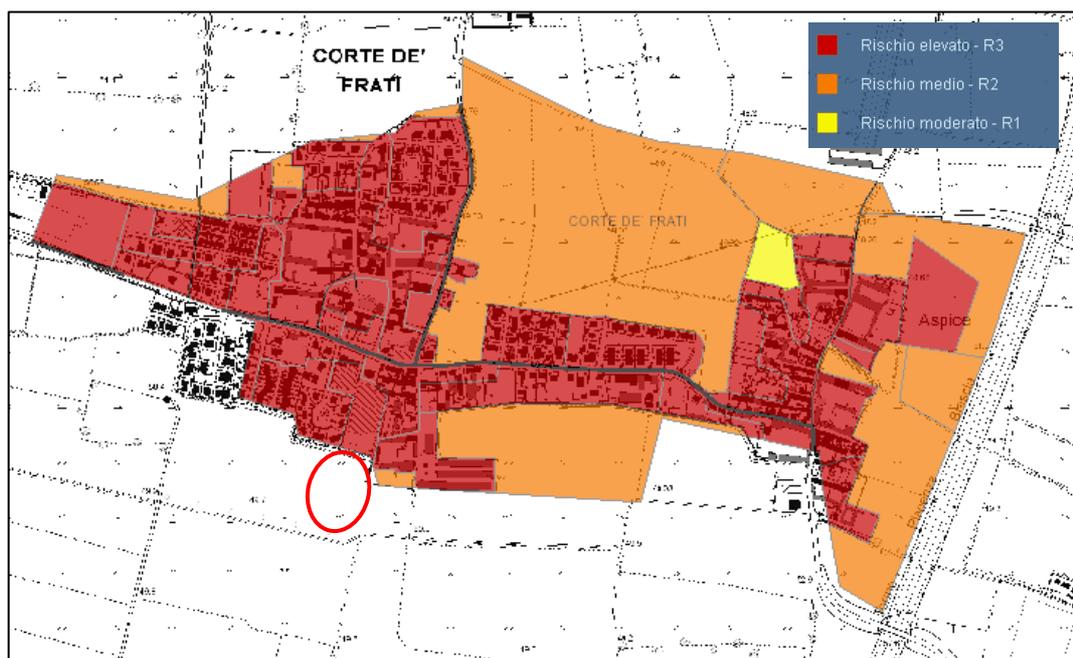


Figura 7 - Mappa del rischio del PGRA con evidenziata l'area di studio

### 3 – INQUADRAMENTO SISMICO

L'area in esame ricade nel contesto generale della Pianura Padana che costituisce nel Mesozoico l'avampaese comune delle catene (Alpi ed Appennini); dall'Oligocene in poi tale area si evolve in avanfossa, prima legata al Sudalpino e poi, dal Messiniano, alla catena appenninica.

L'avanzata delle opposte falde, sviluppatesi in due distinte fasi, ha indotto sprofondamenti flessurali nell'antistante avampaese padano e il formarsi di successivi bacini di avanfossa confinati al margine delle due catene in formazione (Fig.8).

Le due fosse a polarità opposta si accrescono quindi successivamente sullo stesso avampaese e vengono in parte a sovrapporsi.

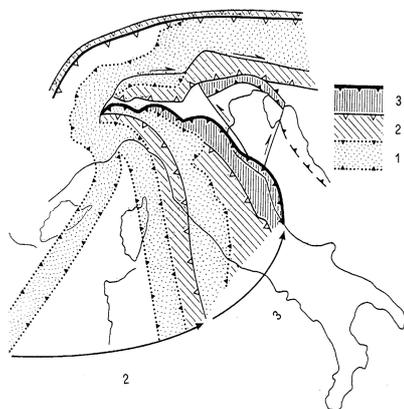


Figura 8 – Tappe dell'accrescimento tettonico delle Alpi Calcaree Meridionali e dell'Appennino dall'Oligocene al Pleistocene (Castellarin et al., 1992, modif.): 1 –presunto fronte delle catene nel pre-Oligocene; 2 –fronte delle catene nel Miocene medio; 3 – fronte delle catene nel Plio- Pleistocene

Spesse coltri di sedimenti plio-pleistocenici ricoprono i sistemi di thrusts appenninici e alpini (Fig.9). Il complesso sistema frontale di accavallamento degli edifici appenninico ed alpino è strutturato secondo faglie a cinematica inversa a basso angolo, che spesso si manifestano morfologicamente attraverso sistemi di pieghe.

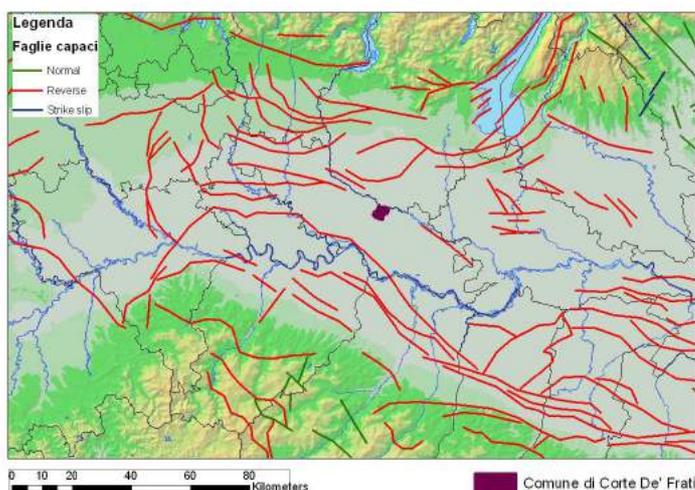


Figura 9 – Quadro sismotettonico della Pianura Padana

Al di sotto di questi sistemi, ad oltre 10 Km di profondità, è presente un basamento magnetico, interessato da sovrascorrimenti ed immergente al di sotto del fronte pedeappenninico, dove raggiunge la profondità di 14-15 Km.

La maggior parte degli ipocentri dei terremoti registrati nell'area è concentrata entro i primi 10-15 Km di profondità, con un approfondimento nel settore di Borgotaro-Pontremoli oltre il quale si hanno profondità decisamente maggiori per l'area della Garfagnana (da: *Guide Geologiche Regionali n°6 Appennino Ligure –Emiliano*).

La sismicità storica del Comune di Corte de' Frati è congrua con il quadro sismotettonico sopra descritto. Le informazioni ad essa relative sono state desunte dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani, redatto grazie all'INGV dal Gruppo di lavoro CPTI nel 2015 (CPTI15), che elenca tutti i terremoti avvenuti dal 1000 a.c. al 2014.

I terremoti più prossimi all'area in oggetto, estratti da questo catalogo, sono elencati nella Tabella 1 in ordine decrescente di Magnitudo (M<sub>sp</sub>) con epicentro a distanza inferiore ai 40 km dal sito in oggetto (Lat. 45,217 Long. 10,096) e indicati nella mappa riportata in Fig.10.

Year	Epicentral	LatM	LonM	Io	Imax	MwM
1951	Lodigiano	45,226	9,620	6-7	6-7	5,170
1065	Brescia	45,539	10,220	7	8	5,100
1738	Emilia occidentale	44,906	10,028	7	7	5,100
1799	Bresciano	45,404	10,270	6-7	6-7	5,040
1885	Pianura Padana	45,209	10,169	6	6	5,010
1894	Bresciano	45,563	10,123	6	6	4,890
1522	Pianura Padana	44,982	10,050	5	5	4,710
1774	Bresciano	45,552	10,111	5-6	6	4,400
1829	Cremona	45,135	10,023	5-6	6-7	4,400
1991	Emilia occidentale	44,940	10,007	5	5-6	4,170
1471	Brescia	45,539	10,220	5	5	4,160
1540	Brescia	45,539	10,220	5	5	4,160
1586	Parmense	44,866	10,061	5	5	4,160
1839	Brescia	45,539	10,220	5	5	4,160
1918	Mantovano	45,326	10,438	4	4	4,060
1471	Brescia	45,539	10,220	4	F	3,700
1912	Piacenza	45,052	9,693	4	5	3,700
1947	Brescia	45,539	10,220	4	5	3,700

Tabella 1 – Sismicità storica nell'area di studio

La sismicità è classificabile come bassa e la dimostrazione ci viene fornita dalle osservazioni storiche, dove gli unici eventi di rilievo di Magnitudo superiore a 5 ubicati nelle vicinanze della località in questione sono i primi 5 elencati in Tabella 1.

L'attività sismica storica e strumentale si presume legata a singole e limitate strutture sepolte (thrusts o elementi di svincolo trasversale di lunghezza ≤ 10 Km) appartenenti all'arco pavese ed al prospiciente arco alpino.

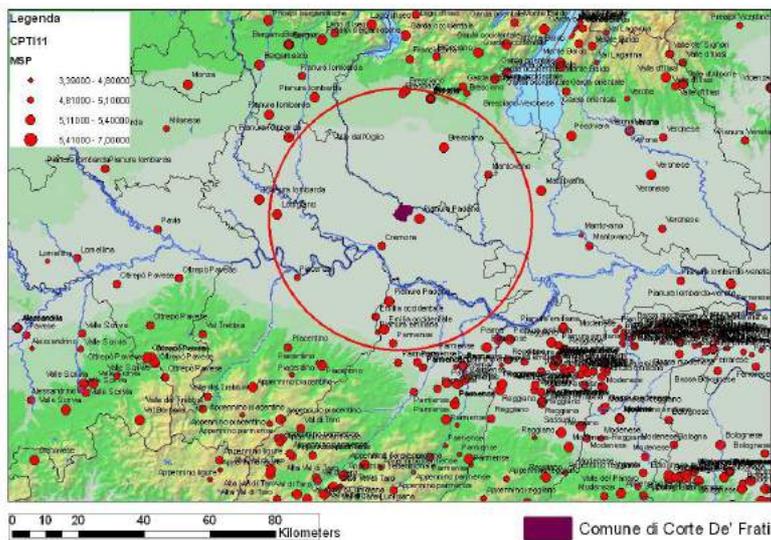


Figura 10 – Distribuzione degli eventi sismici estratta dal catalogo parametrico dei terremoti italiani del 2015 (CPTI 15) che mostra gli epicentri dei terremoti più significativi avvenuti nell'area interessata e zone limitrofe

La più recente Zonazione Sismogenetica realizzata è denominata ZS9 ed è stata elaborata da INGV (Meletti C. E Valensise G., 2004); tale zonazione è stata utilizzata per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica del territorio nazionale. In generale, le Zone Sismogenetiche (ZS), che vanno dalla 901 alla 910, sono legate all'interazione tettonica Adria-Europa.

L'area di studio non ricade in nessuna Zona sismogenetica (Fig. 11), è caratterizzata, infatti, dall'assenza di terremoti storici.

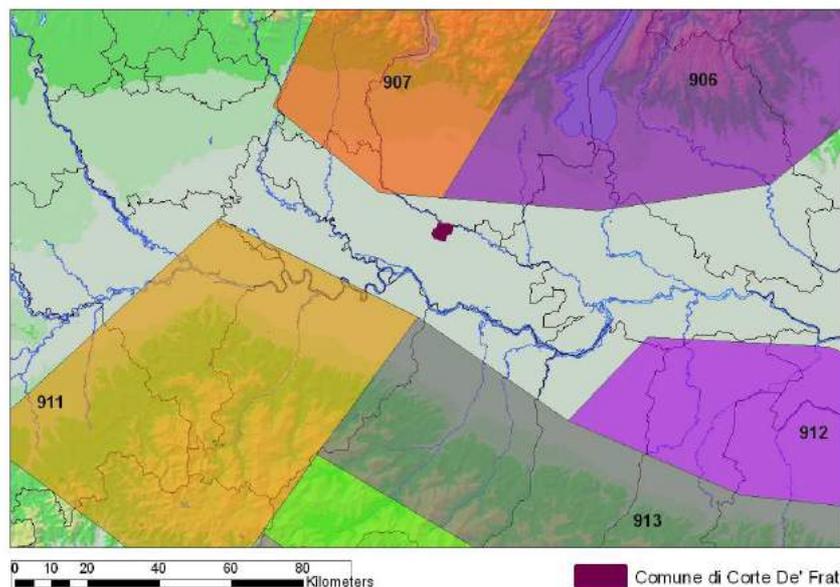


Figura 11 – Zonazione sismogenetica ZS9: l'Italia del Nord (da Meletti C. e Valensise G., 2004)

In generale, la valutazione della Pericolosità sismica di un sito si realizza attraverso quattro diverse fasi:

- 1) Identificazione e caratterizzazione di tutte le sorgenti di eventi sismici in grado di produrre uno scuotimento significativo al sito. La caratterizzazione delle sorgenti include la definizione di ogni geometria di sorgente e relativo potenziale sismico.
- 2) Individuazione della distribuzione di probabilità dei terremoti o relazione di ricorrenza delle sorgenti considerate, che specifica il tasso medio di superamento di un terremoto di definita magnitudo.
- 3) Valutazione dello scuotimento del suolo prodotto dagli eventi sismici attraverso le relazioni di attenuazione.
- 4) Combinazione delle incertezze per ottenere la probabilità che un parametro descrittivo dello scuotimento del terreno sia superato in un determinato intervallo temporale.

L'analisi di pericolosità, definita anche **PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Assessment)**, necessita quindi di:

- Sorgenti sismogenetiche
- Cataloghi sismici (storici e/o strumentali)
- Relazioni di attenuazione

Gli effetti di tutti i terremoti di differente magnitudo, a differente distanza, in differenti zone sismogenetiche e a differente probabilità di occorrenza sono integrati nelle curve di pericolosità sismica che mostrano la probabilità di eccedenza di differenti valori di un dato parametro descrittivo dello scuotimento, ad esempio l'accelerazione, durante uno specificato periodo di tempo.

Nuove carte sulla pericolosità sismica sono state recentemente prodotte dall' Istituto Nazionale di geofisica e Vulcanologia (INGV); tale cartografia, realizzata per tutto il territorio italiano, si basano quindi su studi accurati che prevedono l'utilizzo dei dati contenuti nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04), delle informazioni relative alla più recente Zonazione Sismogenetica ZS9 e dei relativi modelli cinematici di sviluppo della tettonica crostale, ed infine di una serie relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo.

Il valore del parametro di scuotimento fornito dall'analisi di pericolosità sismica non corrisponde quindi ad un particolare evento ma, deve essere considerato come il prodotto, espresso in termini probabilistici, degli effetti combinati di tutti gli eventi di differente magnitudo e distanza rappresentativi dell'intera storia sismica dell'area in esame.

La carta di riferimento per valutazioni di pericolosità sismica è rappresentata dalla distribuzione probabilistica dell'accelerazione massima al suolo, definita **PGA** (*Peak Ground Acceleration*) ed espressa come frazione dell'accelerazione di gravità "g", pari a **9,81 m/sec<sup>2</sup>**.

La carta che riveste una particolare importanza dal punto di vista progettuale è quella in cui il valore di **PGA** è caratterizzato da tempi di ritorno di 475 anni, corrispondente ad una probabilità di accadimento del 10% in 50 anni (Fig. 12).

Occorre tuttavia sottolineare che i valori di accelerazione massima vengono riferiti a suoli rigidi ( $V_s > 800$  m/sec; Cat. A); per tale motivo, le carte di pericolosità sismica non tengono conto dei possibili fenomeni di amplificazione dovuti a condizioni geologiche locali, che sono invece oggetto delle analisi di risposta sismica locale (RSL).

Per il Comune di Corte de' Frati, dalle carte di pericolosità sismica, è possibile ottenere un valore compreso tra **0,075/0,100 g** per un tempo di ritorno di 475 anni.

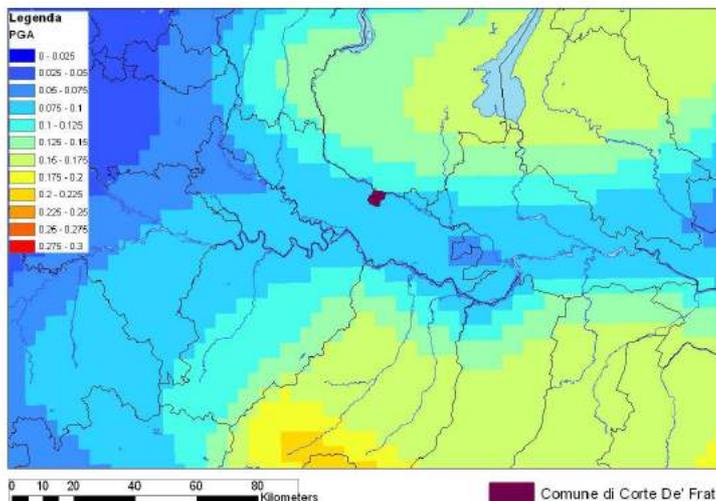


Figura 12 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in accelerazione massima riferita a suoli rigidi ( $V_s > 800$  m/sec; Cat.A) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

La valutazione sito-specifica per il comune di Corte de' Frati riportata nel tabulato allegato al D.G.R 2129/2014 fornisce un valore di ag max pari 0.097867.

03019029	CR	CHIEVE	3	0.080648
03019030	CR	CIOGGIOLO	3	0.084002
03019031	CR	CINGIA DE' BOTTI	3	0.07907
03019032	CR	CORTE DE' COTESLON/CIGNONE	3	0.103582
03019033	CR	CORTE DE' FRATI	3	0.097867
03019034	CR	CREDERA RUBBIANO	3	0.081074
03019035	CR	CREMA	3	0.100821
03019036	CR	CREMONA	3	0.08381

#### 4 - METODOLOGIA E RISULTATI DELL'INDAGINE GEOTECNICA

##### La prova penetrometrica statica CPT

La prova penetrometrica statica "C.P.T." consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standard, infissa nel terreno a velocità costante ( $v = 2 \text{ cm/s ca.}$ ), mediante un dispositivo di spinta idraulico, opportunamente ancorato al suolo, che agisce su di una batteria doppia di aste coassiali, alla cui estremità inferiore è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione viene rilevato per mezzo di un opportuno sistema di misura, coordinato al martinetto idraulico di spinta.

La punta conica, di tipo telescopico, è corredata da un manicotto per la misura dell'attrito laterale (punta-manicotto "Begemann") ed ha le seguenti dimensioni standard:

- diametro di base del cono = 35.7 mm.
- angolo del vertice del cono =  $60^\circ$
- sezione di base del cono =  $10 \text{ cm}^2$
- superficie del manicotto =  $150 \text{ cm}^2$

L'attrezzatura è predisposta in modo da agire separatamente sulla punta e sul manicotto, per cui vengono misurati, ad intervalli regolari di 20 cm. :

- la resistenza alla punta "Rp" ( $\text{Kg/cm}^2$ )
- la resistenza laterale "Rl" ( $\text{Kg/cm}^2$ )

Nei tabulati allegati, oltre all'elaborazione dei valori di resistenza, vengono fornite utili informazioni per il riconoscimento di massima dei terreni esplorati, sulla base dei valori di Fs e del rapporto Rp/Rl (Begemann 1965) oppure del rapporto  $Fr = Rl/Rp$  tra la resistenza laterale e la resistenza di punta del penetrometro (Schmertmann, 1978).

Nelle tavole allegate sono anche riportate indicazioni concernenti i principali parametri geotecnici necessari alla corretta valutazione della resistenza di progetto (Rd) e dei cedimenti del terreno (All. 3).

Valutazioni litologiche e geotecniche

Al fine di giungere ad una definizione delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche del substrato sono state effettuate quattro prove penetrometriche statiche CPT (Fig.13) spinte alla profondità massima di 14,60 m dal p.c. la cui ubicazione è riportata nella planimetria allegata (All.2).

Poiché, allo stato attuale, l'area di studio è risultata inaccessibile in quanto coltivata, le prove sono state effettuate in corrispondenza degli spigoli del lotto; ci si riserva, nel caso la Progettazione lo ritenesse necessario, di integrare le indagini in fase di progettazione esecutiva.

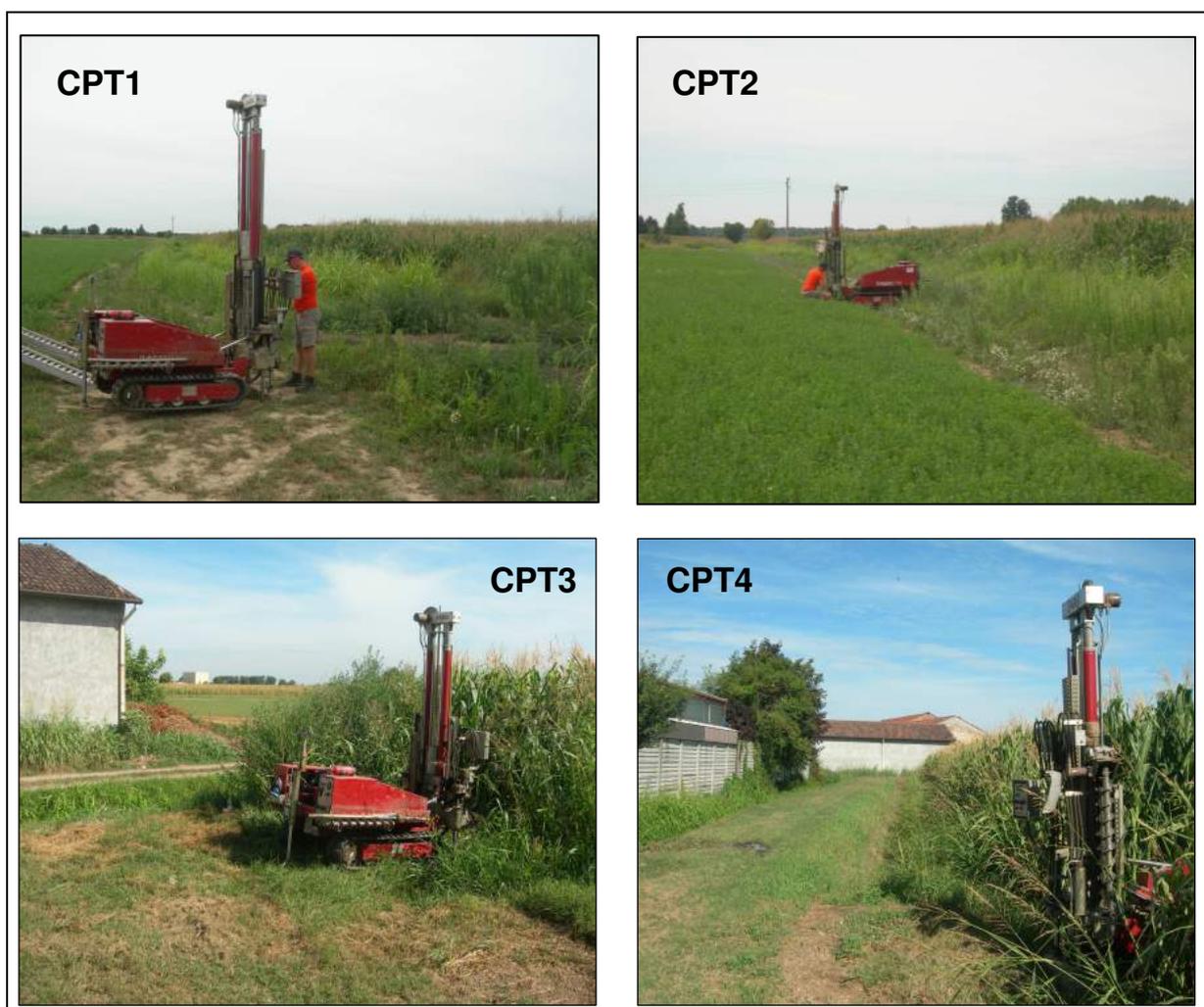


Figura 13 – Foto prove penetrometriche

Le prove hanno mostrato un eterogeneità litologica orizzontale e verticale del substrato caratterizzato dalla presenza depositi prevalentemente sabbioso-limosi alternati a depositi argilloso-limosi.

RELAZIONE GEOLOGICA A SUPPORTO DELLA VARIANTE AL PGT DI CORTE DE' FRATI  
- AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVA ATP1 -  
PROGETTO DI AMPLIAMENTO DELLO STABILIMENTO ROTA GUIDO SRL

La descrizione litostratigrafica e geotecnica delle prove eseguite viene riassunta nelle seguenti tabelle:

PROVA PENETROMETRICA CPT1					Comportamento geotecnico coesivo		Comportamento geotecnico attritivo			
Profondità m	spessore m	Litologia	Rp Kg/cm <sup>2</sup>	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	Cu Kg/cm <sup>2</sup>	Mo Kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ °	Dr %	E Kg/cm <sup>2</sup>	Mo Kg/cm <sup>2</sup>
0,00 - 0,60	0,60	terreno vegetale	/	1,85	/	/	/	/	/	/
0,60 - 2,20	1,60	limo argilloso moderatamente consistente	15 - 23	1,85	0,92	49	/	/	/	/
2,20 - 6,00	3,80	sabbia limosa moderatamente addensata a tratti addensata	43 - 76	1,90	/	/	27	46	125	56
6,00 - 12,20	6,20	sabbia limosa mediamente addensata	73 - 137	1,95	/	/	31	65	233	/
12,20 - 13,20	1,00	limo argilloso moderatamente consistente	14 - 19	1,85	0,75	46	/	/	/	/
13,20 - 14,60	1,40	sabbia limosa moderatamente addensata	69 - 115	1,95	/	/	28	50	218	/

PROVA PENETROMETRICA CPT2					Comportamento geotecnico coesivo		Comportamento geotecnico attritivo			
Profondità m	spessore m	Litologia	Rp Kg/cm <sup>2</sup>	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	Cu Kg/cm <sup>2</sup>	Mo Kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ °	Dr %	E Kg/cm <sup>2</sup>	Mo Kg/cm <sup>2</sup>
0,00 - 0,60	0,60	terreno vegetale	/	1,85	/	/	/	/	/	/
0,60 - 7,80	7,20	alternanze di sabbia limosa moderatamente addensata e strati sottili argilloso-limosi poco consistenti	(16 - 42) - (3 - 5)	1,85	0,25	30	27	45	75	/
7,80 - 12,00	4,20	sabbia limosa moderatamente addensata a tratti addensata	42 - 85	1,90	/	/	28	52	158	/
12,00 - 12,80	0,80	limo argilloso moderatamente consistente	7 - 12	1,85	0,48	35	/	/	/	/
12,80 - 14,60	1,80	sabbia limosa moderatamente addensata	49 - 97	1,90	/	/	28	38	243	/

PROVA PENETROMETRICA CPT3					Comportamento geotecnico coesivo		Comportamento geotecnico attritivo			
Profondità m	spessore m	Litologia	Rp Kg/cm <sup>2</sup>	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	Cu Kg/cm <sup>2</sup>	Mo Kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ °	Dr %	E Kg/cm <sup>2</sup>	Mo Kg/cm <sup>2</sup>
0,00 - 0,60	0,60	terreno vegetale	/	1,85	/	/	/	/	/	/
0,60 - 1,80	1,20	limo argilloso moderatamente consistente	12 - 18	1,85	0,60	43	/	/	/	/
1,80 - 6,20	4,40	sabbia limosa mediamente addensata	31 - 61	1,90	/	/	28	56	154	/
6,20 - 8,20	2,00	argilla limosa moderatamente consistente	6 - 17	1,85	0,48	35	/	/	/	/
8,20 - 11,60	3,40	sabbia limosa moderatamente addensata a tratti addensata	51 - 83	1,95	/	/	27	48	163	/

PROVA PENETROMETRICA CPT4					Comportamento geotecnico coesivo		Comportamento geotecnico attritivo			
Profondità m	spessore m	Litologia	Rp Kg/cm <sup>2</sup>	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	Cu Kg/cm <sup>2</sup>	Mo Kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ °	Dr %	E Kg/cm <sup>2</sup>	Mo Kg/cm <sup>2</sup>
0,00 - 0,60	0,60	terreno vegetale	/	1,85	/	/	/	/	/	/
0,60 - 3,40	2,80	alternanze di limo argilloso mediamente consistente e sabbia limosa moderatamente addensata	(14 - 22) - (24 - 47)	1,85	0,80	46	28	48	120	/
3,40 - 5,40	2,00	sabbia limosa mediamente addensata	52 - 91	1,90	/	/	29	65	186	/
5,40 - 8,00	2,60	limo argilloso mediamente consistente	13 - 27	1,85	0,60	42	/	/	/	/
8,00 - 11,60	3,60	sabbia limosa moderatamente addensata a tratti addensata	47 - 94	1,95	/	/	27	50	218	/

Rp = resistenza alla punta  
 $\gamma$  = peso di volume  
Cu = coesione non drenata (Lunne e Eide)  
Mo = modulo edometrico (Mitchell e Gardner)  
 $\phi$  = angolo d'attrito interno (Caquot)  
E = modulo di Young (Schmertmann)

Si precisa che la determinazione dei parametri geotecnici di riferimento dei terreni in esame è stata condotta mediante elaborazione statistica di tutti i dati disponibili, che ha permesso di determinare i principali elementi di statistica descrittiva della popolazione di dati, espressi da media, valore caratteristico e deviazione standard.

## 5 – RISULTATI DELL'INDAGINE GEOFISICA

### Indagine Masw+Hvsr

Il metodo geofisico utilizzato in questa sede per la caratterizzazione della sequenza stratigrafica del sottosuolo in base al valore delle  $V_s$ , è la MASW+HVSr (Multi channel Analysis of Surface Waves+Horizontal to Vertical Spectral Ratio); la modellazione del sottosuolo è effettuata mediante l'analisi delle onde di Rayleigh+Love+Microtremore (Fig.14).



Figura 14 – Foto indagine geofisica MASW+HVSr

I risultati dell'indagine, come dettagliatamente riportato nell' Allegato 4, hanno definito il seguente profilo di  $V_s$ :

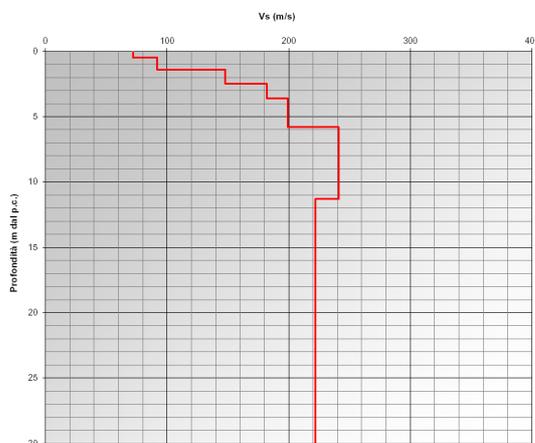


Figura 15 – Profilo di velocità ottenuto dall'analisi congiunta

Secondo il valore delle V30 calcolato per diverse profondità (Tab.2)

Profondità calcolo Vs30 (m dal p.c.)	Vs30 (m/s)
0,0	202
0,5	209
1,0	214
2,0	220
3,0	222
4,0	224
5,0	225

Tabella 2 – Valori di Vs30 in funzione della profondità di calcolo

è possibile classificare il suolo come appartenente alla:

**Categoria C:** depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < NSPT < 50$ ,  $70 < Cu < 250$  kPa).

Dall'analisi HVSR (Fig.16) si evidenzia una curva HVSR è essenzialmente piatta con picchi a frequenze molto alte al di fuori del range di interesse ingegneristico.

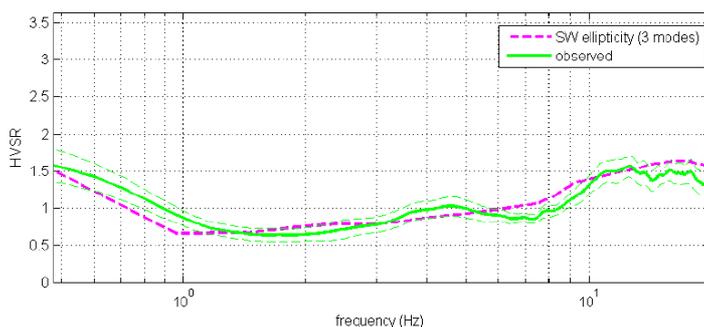


Figura 16 – Curva HVSR

### Risposta sismica locale

Il Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 recante “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, che recepisce quanto già riportato nell’Ordinanza 3274 del 20/03/2003 e successive modifiche, definisce i criteri antisismici generali, precisando le azioni che devono essere impiegate in fase progettuale per la sicurezza strutturale delle opere.

L’azione sismica sulle costruzioni è valutata partendo da una “pericolosità sismica di base”, derivata da studi eseguiti a livello nazionale e definita sulla base condizioni ideali in superficie di suolo rigido e topografia orizzontale.

L’Azione Sismica di base deve essere poi modificata, secondo i criteri definiti dal Decreto, per tener conto dell’influenza esercitata dalle condizioni stratigrafiche e morfologiche presenti nel sito di indagine in modo da definire quella che è la Risposta Sismica Locale.

Le informazioni necessarie per la definizione dell'Azione Sismica di base, definite da INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) in corrispondenza dei nodi di un fitto reticolo di riferimento disposto sull'intero territorio nazionale, sono tabulate nell'Allegato B delle Nuove Tecniche per le Costruzioni.

Le Azioni di progetto, per un suolo rigido orizzontale, vengono ricavate in funzione di tre parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima
- $F_0$  fattore di amplificazione massimo dello spettro in accelerazione orizzontale.
- $T_C^*$  periodo inizio tratto costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri vengono inoltre definiti secondo termini probabilistici differenti, con periodi di ritorno  $T_R$  di 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni; per tale motivo, ai fini progettuali, occorre fissare la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione e la probabilità di superamento associata a ciascuno degli stati limite considerati.

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  per la definizione dell'Azione Sismica possono essere calcolati in corrispondenza di ciascun punto del territorio eseguendo una media pesata rispetto alla distanza dei valori assunti nei quattro vertici della maglia del reticolo di riferimento che lo contiene.

I valori dei parametri sismici ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$ ) riferiti all'area in oggetto (Lat. 45,217 Long. 10,096) sono esplicitati nella seguente tabella:

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,033	2,536	0,209
50	0,040	2,567	0,236
72	0,046	2,522	0,255
101	0,053	2,544	0,262
140	0,059	2,560	0,274
201	0,067	2,537	0,283
475	0,090	2,546	0,296
975	0,116	2,528	0,307
2475	0,163	2,487	0,311

La vita nominale  $V_N$  di un'opera strutturale corrisponde al numero di anni durante i quali può essere utilizzata allo scopo per cui è stata realizzata. Essa dipende dal tipo di costruzione e deve essere specificata nei documenti di progetto.

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

In presenza di Azioni Sismiche, le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso, la cui definizione viene di seguito sinteticamente riportata:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso provochi conseguenze rilevanti
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente, reti viarie di tipo A o B (come definite nel D.M. 5 novembre 2001 n.6792) importanti per il mantenimento delle vie di comunicazione, dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Le Azioni Sismiche vengono definite in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N * C_U$$

Il valore di  $C_U$  varia a seconda della classe d'uso, come indicato nella seguente tabella:

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

Le Azioni Sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione per la valutazione del rispetto degli stati limite considerati, ultimi o di esercizio, da parte degli elementi strutturali delle costruzioni.

Gli stati limite di esercizio **SLE** sono:

- 1) Stato Limite di Operatività (**SLO**)
- 2) Stato Limite di Danno (**SLD**)

Gli stati limite ultimi (**SLU**) sono invece:

- 1) Stato Limite di salvaguardia della Vita (**SLV**)
- 2) Stato Limite di prevenzione del Collasso (**SLC**)

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  a cui riferirsi per individuare l'Azione Sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati sono riportati nella seguente tabella:

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

Ai fini della definizione dell'Azione Sismica di progetto occorre valutare gli effetti che le condizioni stratigrafiche locali hanno sulla **Risposta Sismica Locale**.

Gli effetti sull'azione sismica legati alla stratigrafia possono essere valutati seguendo un approccio semplificato basato sulla suddivisione dei suoli di fondazione in cinque distinte categorie:

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

Sulla base degli esiti dell'indagine geofisica effettuata, per i quali le  $V_{s30}$  assumono un valore di **202 m/sec**, il suolo di fondazione dell'area di studio ricade nella:

**Categoria C:** Depositati di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < NSPT < 50$ ,  $70 < Cu < 250$  kPa) oggetto di studio.

Per la determinazione dell'Azione Sismica occorre considerare anche il contributo derivante dalla morfologia superficiale. Per condizioni topografiche complesse occorre predisporre specifiche analisi di Risposta Sismica Locale; nel caso in cui la topografia non presenti particolare complessità, è possibile adottare la seguente classificazione:

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

Trattandosi di zona pianeggiante, l'area oggetto di indagine ricade nella categoria **T1**, a cui non è attribuibile alcun fenomeno di amplificazione sismica legato alle condizioni topografiche.

Dal punto di vista progettuale, lo spettro di risposta elastico in accelerazione riveste particolare importanza nella definizione delle Azioni Sismiche da adottare. Esso viene riferito ad uno smorzamento  $\eta$  convenzionale pari al 5% e la sua forma spettrale dipende dai fattori precedentemente citati (pericolosità di base  $a_g$ , stratigrafia, topografia, probabilità di superamento nel periodo di riferimento riferiti agli stati limite di progetto).

In Fig.17 vengono riportati gli Spettri in accelerazione orizzontale relativi agli stati limite per l'area oggetto di indagine, caratterizzati, come precedentemente osservato e riportato nella tabella seguente, da probabilità di superamento differenti nel periodo di riferimento  $V_R$ .

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	60	0,043	2,544	0,245
SLD	101	0,053	2,544	0,262
SLV	949	0,115	2,528	0,307
SLC	1950	0,149	2,497	0,310

Nel caso specifico, tali spettri si riferiscono a costruzioni di importanza strategica **Tipo 2** con vita nominale  $V_N$  di **50** anni e classe d'uso **II** (coefficiente CU uguale a **1.0**).

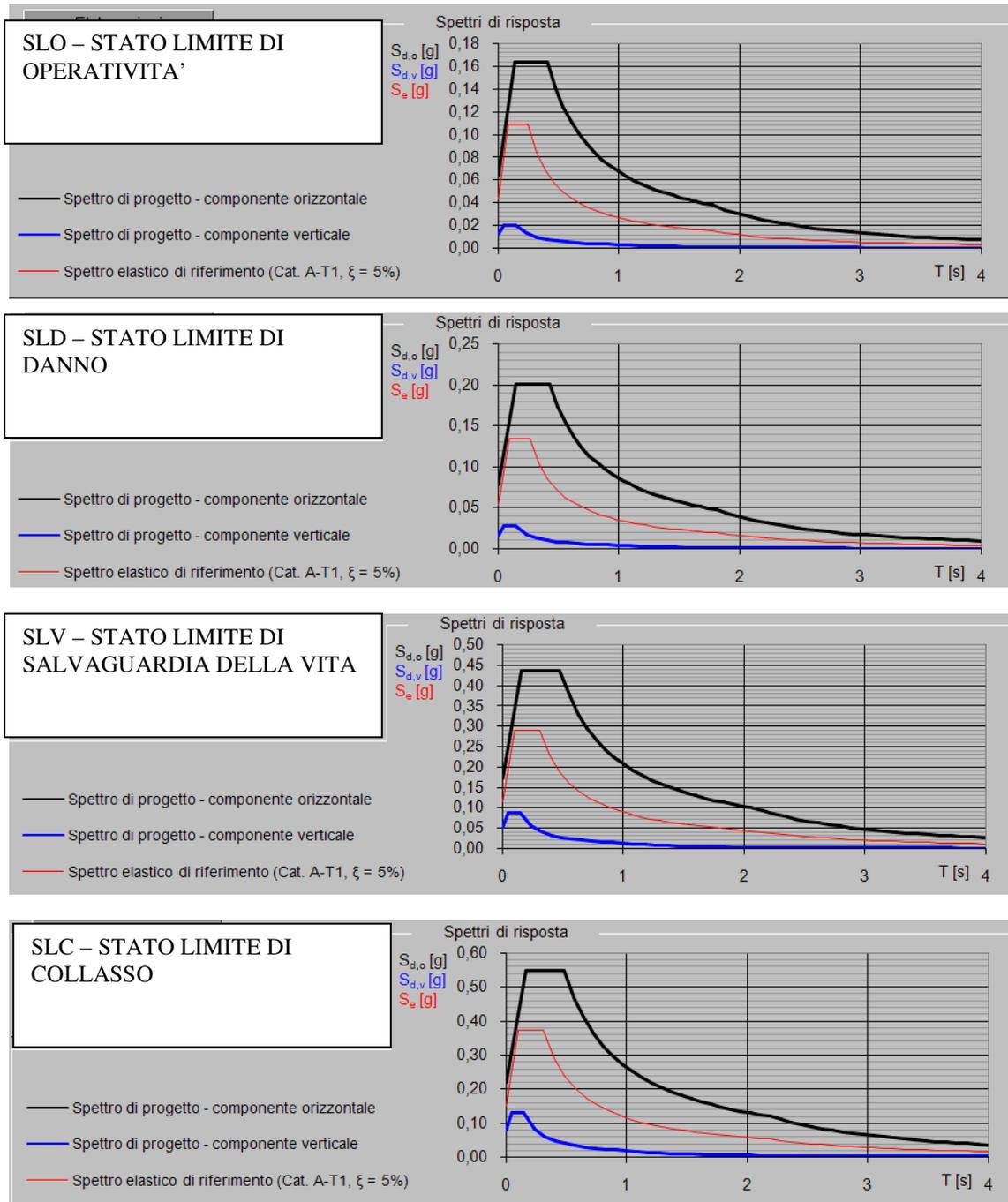


Figura 17 - Spettri di risposta in accelerazione orizzontale e verticale corrispondenti agli stati limite di esercizio e ultimi. Stato Limite di operatività (SLO), stato limite di danno (SLD), stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e stato limite di collasso (SLC)

## 6 - VALUTAZIONE PRELIMINARE RESISTENZA DI PROGETTO (Rd)

Il calcolo preliminare della resistenza **Rd** sarà effettuato (ai sensi delle NTC 2008) seguendo i due approcci:

**Approccio 1:**

**Combinazione 2: (A2+M2+R2)**

**Approccio 2:**

**(A1+M1+R3)**

Per i calcoli della pressione limite ( $q_{lim.}$ ), si è fatto riferimento alla seguente espressione di Brinch-Hansen (1970) :

$$q_{lim} = 0,5 y' B N_y s_y d_y i_y + C' N_c s_c d_c i_c + q' N_q s_q d_q i_q$$

nella quale:

$y'$  = peso di volume del terreno

$C'$  = coesione del terreno in termini di sforzi efficaci

$q'$  = sovraccarico del terreno al di sopra del piano di fondazione

$N_y, N_c, N_q$  = fattori di capacità portante

$s_y, s_c, s_q$  = fattori di forma della fondazione

$d_y, d_c, d_q$  = fattori di profondità

$i_y, i_c, i_q$  = fattori di inclinazione del carico

Non avendo avuto indicazioni dalla Progettazione è stata ipotizzata una fondazione con le seguenti caratteristiche:

PLINTO

L (lunghezza) = 2,00 m

B (larghezza) = 2,00 m

H (spessore) = 0,50 m

D (profondità di posa) = - 1,60 m da p.c.

**APPROCCIO 1 (Combinazione 2) (M2+R2)**

**$R_{d1} = 0,67 \text{ Kg/cm}^2$**

**APPROCCIO 2 (M1+R3)**

**$R_{d2} = 1,00 \text{ Kg/cm}^2$**

L'applicazione del sovraccarico della fondazione e della struttura soprastante in progetto conduce ad una variazione dello stato tensionale del terreno e il carico applicato tende a diffondersi in profondità fino al suo completo assorbimento; l'applicazione del carico porta quindi allo sviluppo di cedimenti immediati e di consolidazione nei terreni al di sotto del piano di posa che è necessario verificare in funzione delle reali condizioni geometriche delle fondazioni e delle sollecitazioni da esse effettivamente trasmesse al terreno.

## 7 – COMPATIBILITA' GEOLOGICA E SISMICA

### Fattibilità geologica

Secondo quanto redatto nel P.G.T. del Comune di Corte de' Frati, l'area oggetto di indagine ricade completamente in Casse di Fattibilità 2 ovvero fattibilità con modeste limitazioni (Fig.18)

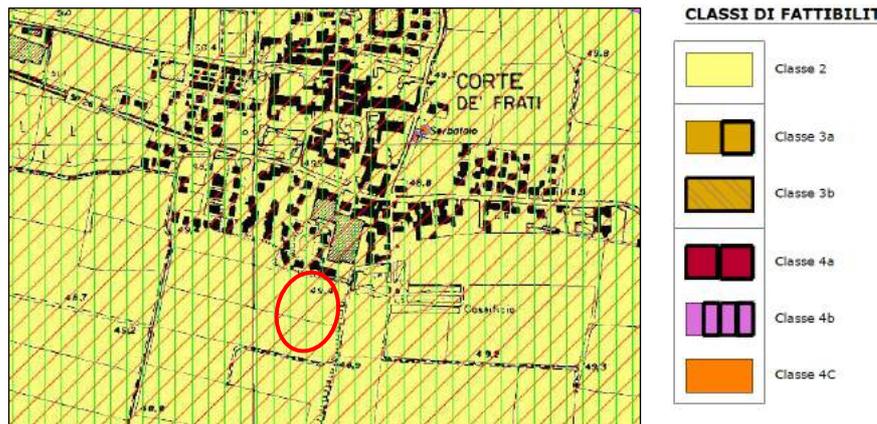


Figura 18 – Stralcio della Tav.6 - Carta della Fattibilità Geologica per le azioni di piano (PGT Corte de' Frati)

La classe comprende quelle zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa.

### Vincolistica

Come si deduce dall'elaborato cartografico annesso al vigente PGT (Fig.19) l'area in esame non è interessata da alcuna vincolistica di sorta.

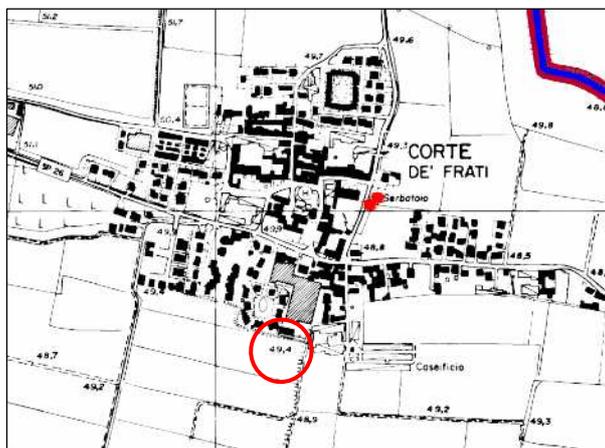


Figura 19 – Stralcio della Tav.4 - Carta dei Vincoli (PGT Corte de' Frati)

### Pericolosità Sismica Locale

Il primo livello di analisi, attuato in fase pianificatoria, è caratterizzato da un approccio di tipo qualitativo alle problematiche sismiche, ossia attraverso i dati di tipo geologico, morfologico e geotecnico esistenti, conosciuti ed eventualmente provenienti dalle altre cartografie d'inquadramento, viene eseguita una prima valutazione della pericolosità sismica locale.

Dalla Tavola 3-Carta della Pericolosità Sismica Locale, allegata al PGT comunale, si evince come l'area di studio, come del resto tutto il territorio comunale, sia classificata come zona Z2 e zona Z4a (Fig.20).

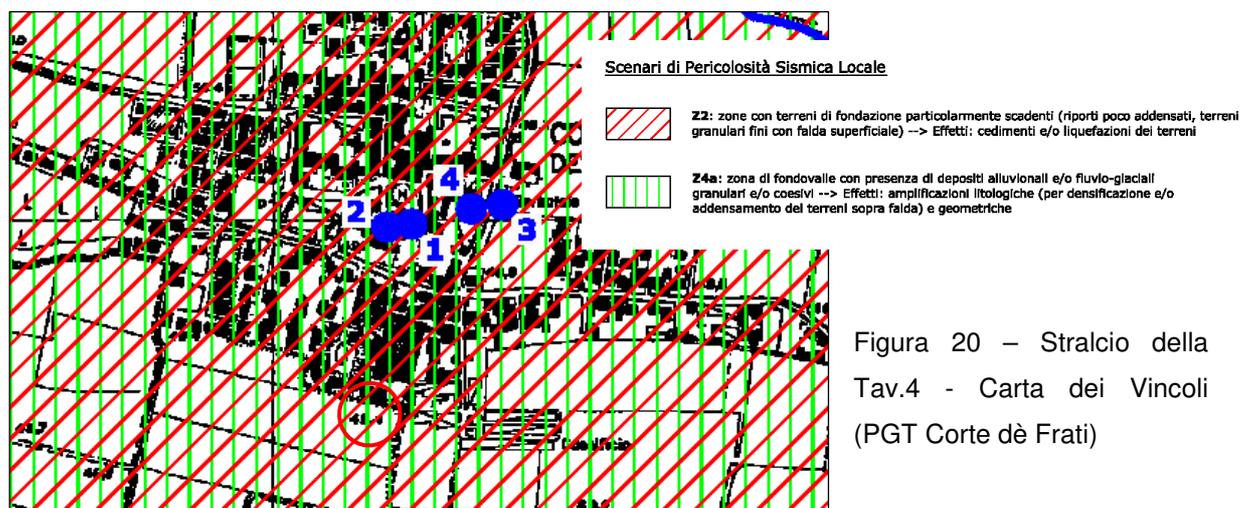


Figura 20 – Stralcio della Tav.4 - Carta dei Vincoli (PGT Corte de' Frati)

**Scenario Z2:** zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (terreni granulari fini con falda superficiale), appartenenti al Livello Fondamentale della Pianura e alla valle alluvionale del Fiume Oglio, presenti nell'intero territorio comunale. A seguito di un sisma è possibile l'innescio di fenomeni di instabilità consistenti in spostamenti del terreno incompatibili con la stabilità delle strutture. In particolare nel caso di terreni particolarmente scadenti dal punto di vista meccanico a causa dello scarso grado di addensamento si possono verificare fenomeni di scivolamento e rottura connessi a deformazioni permanenti del suolo, mentre per terreni granulari fini (sabbiosi) saturi d'acqua sono possibili fluimenti e colamenti parziali o generalizzati a causa dei fenomeni di liquefazione.

**Scenario Z4a:** zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi: tale scenario è stato riconosciuto in tutto il territorio comunale. L'effetto di un'eventuale sisma è quello di una generalizzata amplificazione litologica in grado di generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse al terreno, mentre per terreni granulari asciutti sono possibili fenomeni di densificazione e addensamento del materiale.

### Liquefazione

Il fenomeno della liquefazione interessa depositi sabbiosi e sabbioso-limosi saturi che durante e immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio, a seguito della quale le condizioni di stabilità non sono più garantite e la massa di terreno interessata dal fenomeno comincia ad assestarsi fino a che la nuova configurazione del terreno non è compatibile con la diminuita resistenza al taglio.

I parametri che governano il fenomeno sono rappresentati in generale da:

- condizioni di drenaggio e grado di saturazione del deposito;
- granulometria del deposito;
- stato di addensamento;
- intensità, forma spettrale e durata delle sollecitazioni cicliche;
- stato tensionale iniziale;
- storia tensionale e deformativa del deposito;
- fenomeni di aging.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

Nel D.M. 14/01/08 – Norme tecniche per le costruzioni –, la materia è trattata approfonditamente al punto 7.11.3.3, in cui si stabilisce che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
- 2) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
- 3) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 4) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 5) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 20(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Fig. 20(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

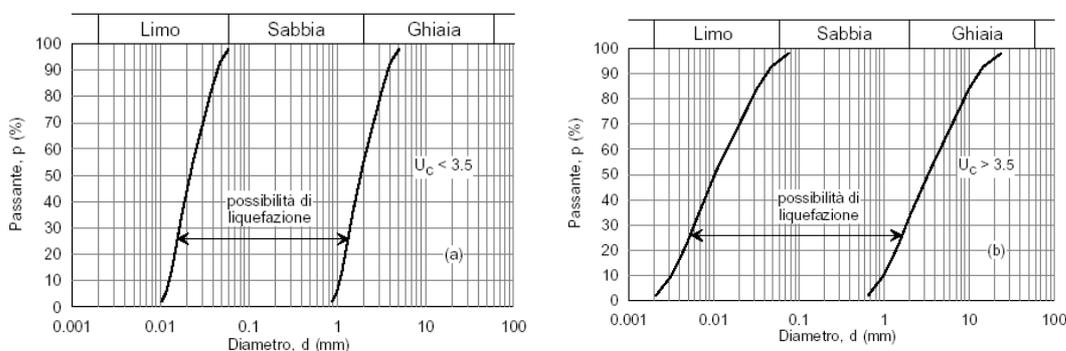


Figura 20a/b – Fusi granulometrici suscettibili di liquefazione

La magnitudo di un terremoto è una grandezza a carattere aleatorio e come tale deve essere tratta sia negli studi di microzonazione sismica che negli studi finalizzati alla progettazione di un'opera; il suo valore fornisce indicazioni sulla quantità di energia rilasciata durante un evento sismico, quindi sulla capacità di generare cicli di deformazione del terreno di numero ed ampiezza tali da produrre sovrappressioni neutre e fenomeni di liquefazione.

Per la valutazione della magnitudo del sisma atteso, come riportato negli “Indirizzi e criteri di Microzonazione Sismica”, si possono utilizzare diversi metodi, basati sulla zonazione sismogenetica del territorio italiano (ZS9), suddiviso in 36 zone a ciascuna delle quali è associata una magnitudo momento massima  $M_{wmax}$ , o sulla mappa di pericolosità sismica dell'INGV, realizzata considerando un periodo di riferimento di 50 anni.

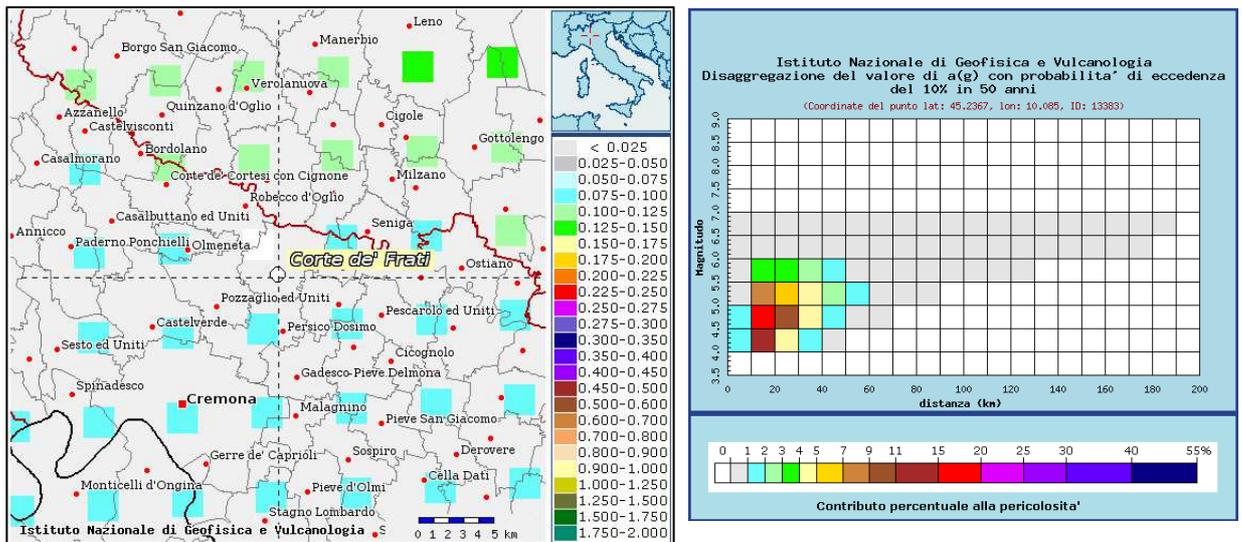
Nel presente studio si è ritenuto opportuno utilizzare il metodo della disaggregazione della pericolosità sismica, sulla base delle mappe interattive di pericolosità sismica pubblicate nel sito del Progetto S1 dell'I.N.G.V., condotto nell'ambito della Convenzione D.P.C. – I.N.G.V. 2004 – 2006.

Tale procedura permette di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità del sito in termini di magnitudo ( $M$ ) e distanza ( $R$ ); in altri termini, il processo di disaggregazione in  $M$ - $R$  fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità sismica (terremoto di scenario), inteso come l'evento di magnitudo  $M$  a distanza  $R$  dal sito d'intervento che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

Il metodo della disaggregazione è quello più sofisticato e concettualmente più corretto ai fini di una valutazione della magnitudo di progetto coerente con l'impostazione probabilistica delle NTC08 (stati limite), poiché è un procedimento di tipo probabilistico che fornisce risultati per 9 periodi di ritorno, relativi alla disaggregazione dei valori medi di accelerazione orizzontale massima del suolo ag su suolo rigido di categoria A e superficie topografica orizzontale; i risultati sono espressi in termini di valori medi e modali dei parametri  $M$  (magnitudo),  $R$  (distanza epicentrale),  $\epsilon$  (numero di deviazioni standard per cui un dato valore di  $ag$  si discosta dal valore mediano predetto dalla legge di attenuazione).

Considerando all'interno della mappa interattiva di pericolosità sismica un  $TR = 475$  anni, dall'analisi della disaggregazione si ottengono i valori medi (media pesata) di magnitudo  $M_W$  del terremoto di scenario, di distanza  $R$  tra epicentro e sito d'intervento e di deviazione standard  $\epsilon$  di seguito riportati.

**RELAZIONE GEOLOGICA A SUPPORTO DELLA VARIANTE AL PGT DI CORTE DE' FRATI  
- AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVA ATP1 -  
PROGETTO DI AMPLIAMENTO DELLO STABILIMENTO ROTA GUIDO SRL**



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.2367, lon: 10.085, ID: 13383)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	1.460	1.930	0.655	0.176	0.027	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	12.200	19.600	8.910	3.140	0.702	0.072	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	4.890	10.400	6.750	3.110	0.904	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	1.390	4.600	4.290	2.450	0.781	0.105	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.099	1.420	2.240	1.600	0.595	0.089	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.222	1.010	0.954	0.409	0.067	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.008	0.334	0.563	0.300	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.072	0.315	0.254	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.009	0.146	0.194	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054	0.119	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.057	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.024	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.990	24.300	1.230

Figura 21 – Valori medi di magnitudo attesa (INGV)

Poiché il valore medio di magnitudo del terremoto di scenario previsto in corrispondenza del sito di intervento (MW = 4.990) risulta inferiore, anche se di poco, alla magnitudo minima (MW = 5) la verifica è stata omessa.

## 8 – CONCLUSIONI

Lo studio geologico, geotecnico e geofisico effettuata in un'area sita nel comune di Corte de' Frati (CR), dove è previsto il progetto di ampliamento dello Stabilimento Rota Guido SRL. (Variante al PGT – Ambito di Trasformazione Produttiva ATP1), ha permesso di giungere ad una caratterizzazione del terreno di fondazione.

Sulla base dei risultati delle indagini geotecniche effettuate è stata riscontrata la presenza di un substrato eterogeneo caratterizzato da depositi prevalentemente sabbioso-limosi alternati a depositi argilloso-limosi; durante le prove è stata rilevata all'interno dei fori penetrometrici la presenza di acqua di falda ad una profondità compresa tra i 1,20 m e 1,50 m dal p.c.. Poiché, allo stato attuale, l'area di studio è risultata inaccessibile in quanto coltivata, le prove penetrometriche sono state effettuate in corrispondenza degli spigoli del lotto; ci si riserva, nel caso la Progettazione lo ritenesse necessario, di integrare le indagini in fase di progettazione esecutiva

Dall'indagine geofisica effettuata tramite metodo MASW+HVSr, è stata fornita la categoria di suolo del sito indagato (**Suolo tipo C**) sulla base del valore di Vs30, necessaria per definire le azioni sismiche di progetto da considerare nella progettazione antisismica delle strutture.

E' stata fatta inoltre una valutazione preliminare della resistenza di progetto (Rd), ai sensi delle N.T.C. 2008, pur rimandando ad una verifica da parte della progettazione in funzione delle reali condizioni geometriche delle fondazioni e delle sollecitazioni da esse effettivamente trasmesse al terreno.

L'assetto stratigrafico rilevato nel corso delle indagini sembra indicare condizioni favorevoli al potenziale insorgere di cedimenti differenziali, che potrebbero influire nel tempo sulla stabilità e funzionalità di porzioni della struttura in progetto; si ritiene opportuno consigliare l'attenta valutazione della distribuzione dei carichi in funzione dell'assetto litostratigrafico rilevato e delle eventuali possibili soluzioni per prevenire le conseguenze legate a tale fenomeno.

Tenendo presente la variabilità litostratigrafica tipica dei terreni alluvionali e in considerazione del fatto che l'area si colloca in una zona di paleoalveo si raccomanda in ogni caso, in fase di apertura degli scavi di fondazione, di accertare la presenza o meno di disomogeneità del substrato.

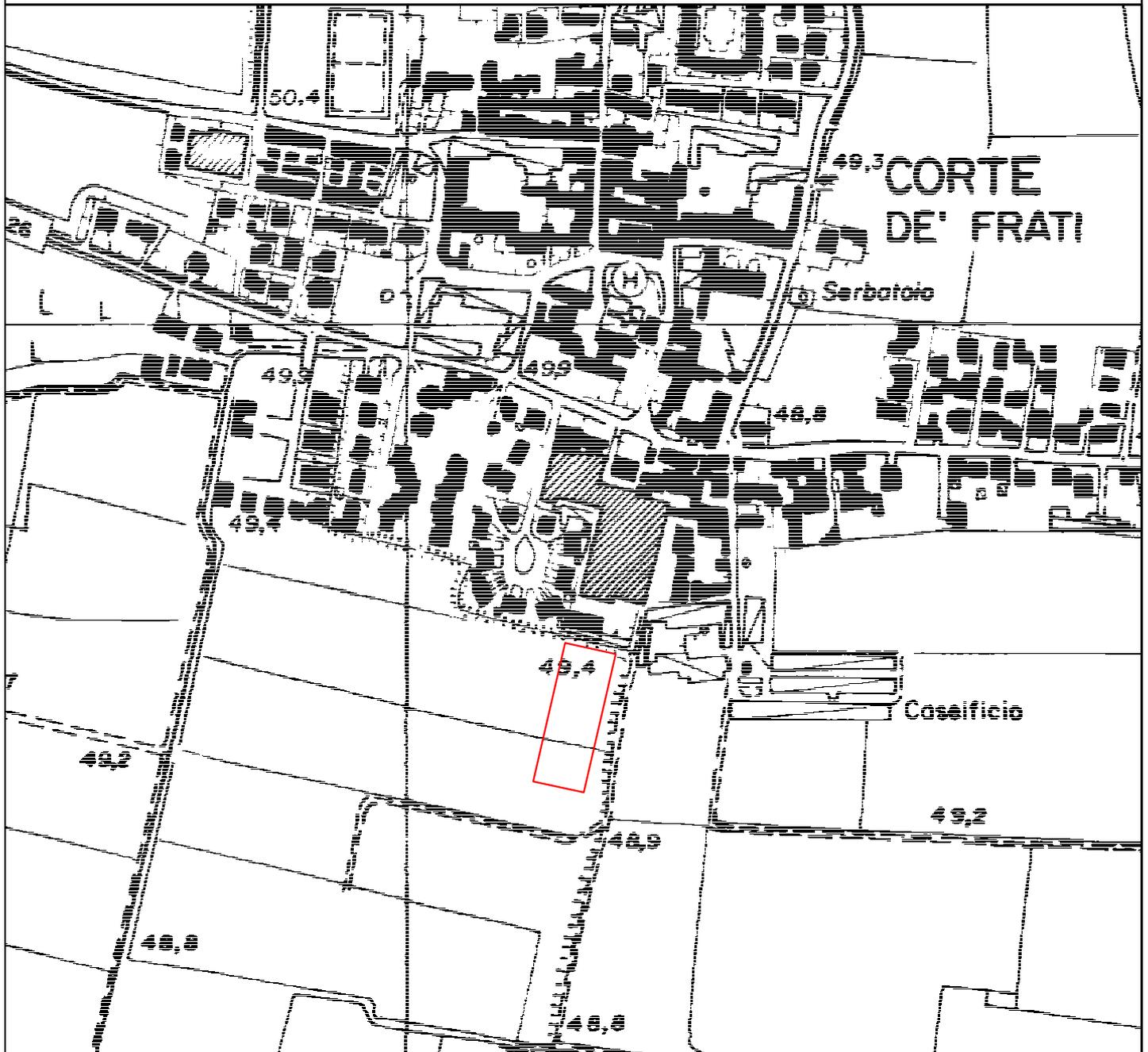
Parma, 08/08/2017



Dott. Geol. Raffaello Zanardi

# COMUNE DI CORTE DE' FRATI

PROVINCIA DI CREMONA



Legenda

scala 1:5.000



Perimetro intervento in progetto

Elaborato :

**COROGRAFIA**

Committente :

**Rota Guido s.r.l.**  
Via F.lli Bandiera  
Corte de' Frati (CR)

A cura di :

**STUDIO GEOLOGICO**  
**Dr. Geol. Raffaello Zanardi**  
Via Monte Gottero, 34 43124 - Parma  
Tel. 347/0013534  
mail: raf.geo@hotmail.it

## RELAZIONE GEOLOGICA

A SUPPORTO DELLA VARIANTE AL PGT DI CORTE DE' FRATI  
- AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVA ATP1 -

PROGETTO DI AMPLIAMENTO  
DELLO STABILIMENTO ROTA GUIDO SRL

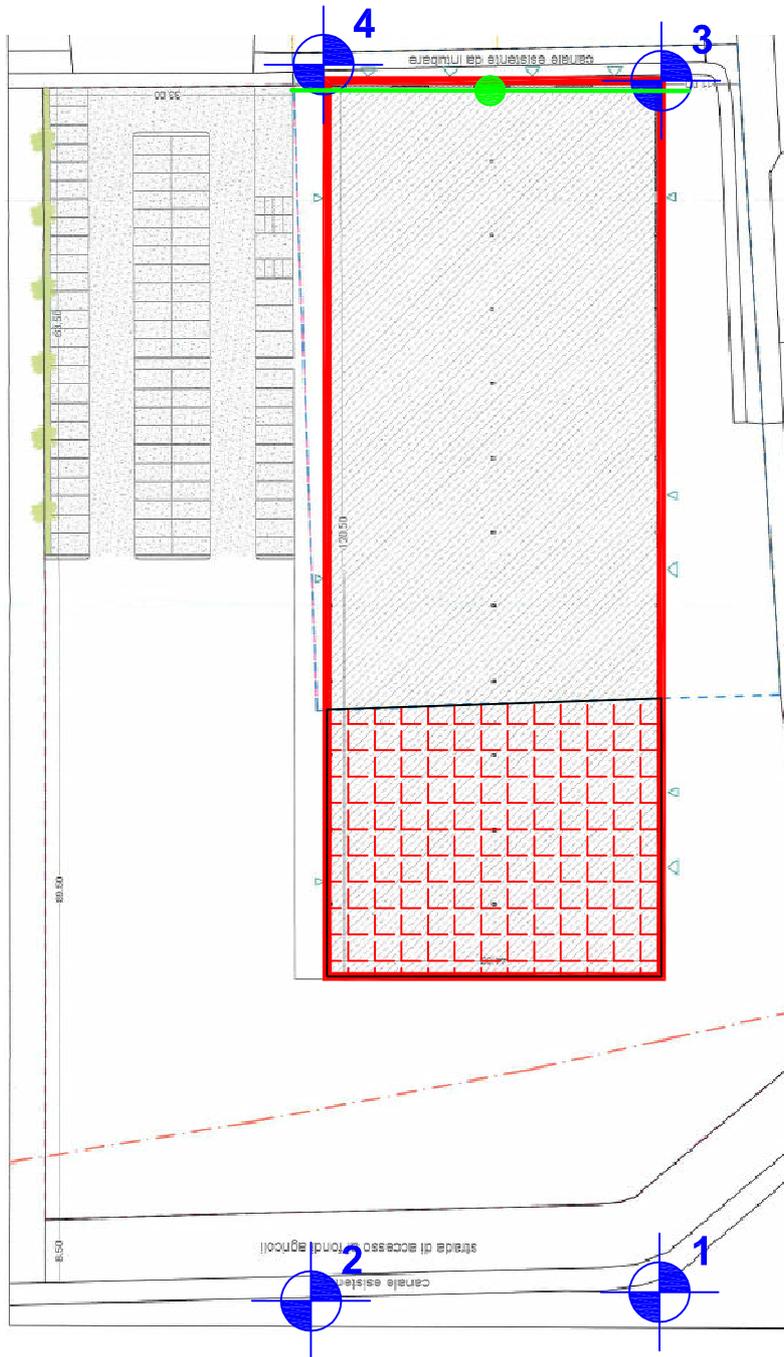
data:

agosto 2017

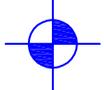
**All.1**

# COMUNE DI CORTE DE' FRATI

## PROVINCIA DI CREMONA



### Legenda

-  Perimetro intervento in progetto
-  Area intervento oltre APT1
-  Prova penetrometrica statica CPT
-  Indagine geofisica MASW+HVSr

scala 1:1.500

Elaborato :  
**UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE**

Committente :  
**Rota Guido s.r.l.**  
 Via F.lli Bandiera  
 Corte de' Frati (CR)

A cura di :  
**STUDIO GEOLOGICO**  
**Dr. Geol. Raffaello Zanardi**  
 Via Monte Gottero, 34 43124 - Parma  
 Tel. 347/0013534  
 mail: raf.geo@hotmail.it

**RELAZIONE GEOLOGICA**  
 A SUPPORTO DELLA VARIANTE AL PGT DI CORTE DE' FRATI  
 - AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVA ATP1 -

PROGETTO DI AMPLIAMENTO  
 DELLO STABILIMENTO ROTA GUIDO SRL

data:  
 agosto 2017

**All.2**

# COMUNE DI CORTE DE' FRATI

PROVINCIA DI CREMONA

## RELAZIONE GEOLOGICA

A SUPPORTO DELLA VARIANTE AL PGT DI CORTE DE' FRATI  
- AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVA ATP1 -

PROGETTO DI AMPLIAMENTO  
DELLO STABILIMENTO ROTA GUIDO SRL

Elaborato :

DOCUMENTAZIONE PROVE PENETROMETRICHE

A cura di :

**STUDIO GEOLOGICO**  
**Dr.Geol. Raffaello Zanardi**  
Via Monte Gottero, 34 43124 - Parma  
Tel. 347/0013534  
mail: raf.geo@hotmail.it

Committente :

**Rota Guido s.r.l.**  
Via F.lli Bandiera  
Corte dè Frati (CR)

Data :

agosto 2017

**All.3**

# PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT1

Caratteristiche strumetali :

Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

## TABELLA VALORI DI RESISTENZA

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio : p.c.  
Profondità falda : 1,2 da p.c.

Data : 27/07/2017

Profondità ml	Letture di campagna		Rp (kg/cmq)	RI (kg/cmq)
	punta (kg/cmq)	laterale (kg/cmq)		
0,2	55	72	55	1,13
0,4	55	72	55	1,13
0,6	23	35	23	0,80
0,8	50	80	50	2,00
1	23	40	23	1,13
1,2	19	35	19	1,07
1,4	19	28	19	0,60
1,6	36	55	36	1,27
1,8	44	63	44	1,27
2	18	40	18	1,47
2,2	15	32	15	1,13
2,4	45	60	45	1,00
2,6	43	62	43	1,27
2,8	58	72	58	0,93
3	123	160	123	2,47
3,2	139	187	139	3,20
3,4	154	183	154	1,93
3,6	103	132	103	1,93
3,8	43	67	43	1,60
4	76	98	76	1,47
4,2	60	72	60	0,80
4,4	38	63	38	1,67
4,6	41	59	41	1,20
4,8	55	76	55	1,40
5	47	73	47	1,73
5,2	53	70	53	1,13
5,4	49	64	49	1,00
5,6	44	62	44	1,20
5,8	48	67	48	1,27
6	45	70	45	1,67
6,2	101	120	101	1,27
6,4	101	129	101	1,87
6,6	58	80	58	1,47
6,8	67	87	67	1,33
7	118	140	118	1,47
7,2	95	127	95	2,13
7,4	122	146	122	1,60
7,6	140	188	140	3,20
7,8	120	143	120	1,53
8	136	163	136	1,80
8,2	77	109	77	2,13
8,4	114	132	114	1,20
8,6	112	134	112	1,47
8,8	44	68	44	1,60
9	67	93	67	1,73
9,2	137	159	137	1,47
9,4	155	189	155	2,27
9,6	116	158	116	2,80
9,8	149	153	149	0,27
10	116	151	116	2,33

Prof. ml	Letture di campagna		Rp (kg/cmq)	RI (kg/cmq)
	punta (kg/cmq)	laterale (kg/cmq)		
10,2	120	151	120	2,07
10,4	72	106	72	2,27
10,6	74	103	74	1,93
10,8	101	126	101	1,67
11	96	101	96	0,33
11,2	58	85	58	1,80
11,4	63	89	63	1,73
11,6	73	97	73	1,60
11,8	96	127	96	2,07
12	98	120	98	1,47
12,2	61	84	61	1,53
12,4	14	35	14	1,40
12,6	19	31	19	0,80
12,8	17	33	17	1,07
13	16	33	16	1,13
13,2	34	63	34	1,93
13,4	69	94	69	1,67
13,6	86	121	86	2,33
13,8	90	124	90	2,27
14	115	142	115	1,80
14,2	116	152	116	2,40
14,4	95	124	95	1,93
14,6	98	132	98	2,27
14,8				
15				
15,2				
15,4				
15,6				
15,8				
16				
16,2				
16,4				
16,6				
16,8				
17				
17,2				
17,4				
17,6				
17,8				
18				
18,2				
18,4				
18,6				
18,8				
19				
19,2				
19,4				
19,6				
19,8				
20				

# PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT1

Caratteristiche strumetali :

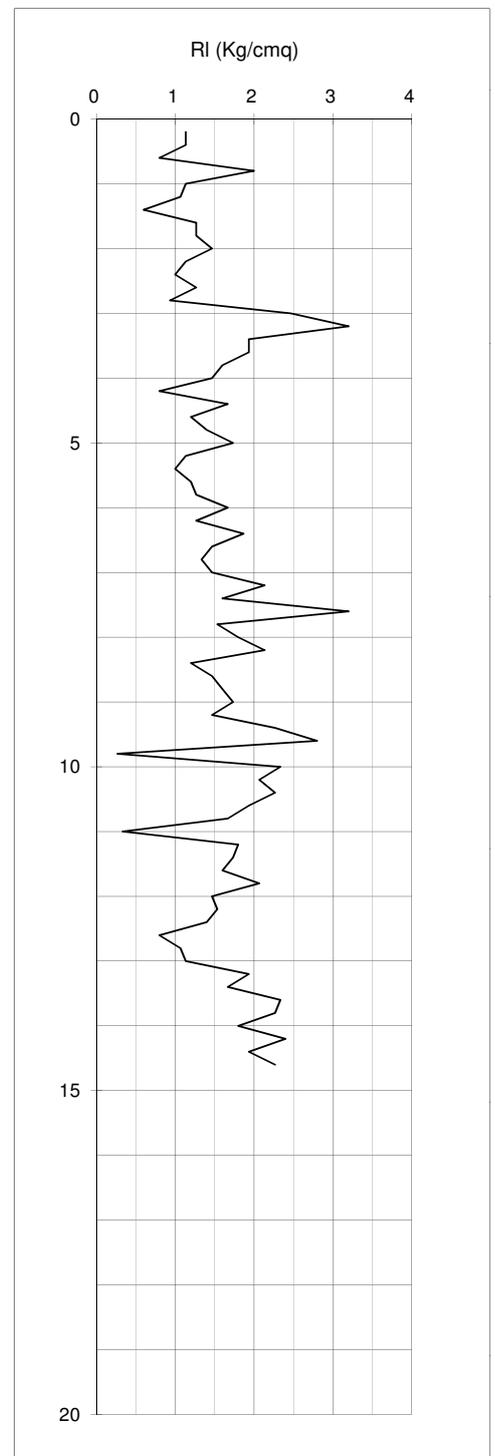
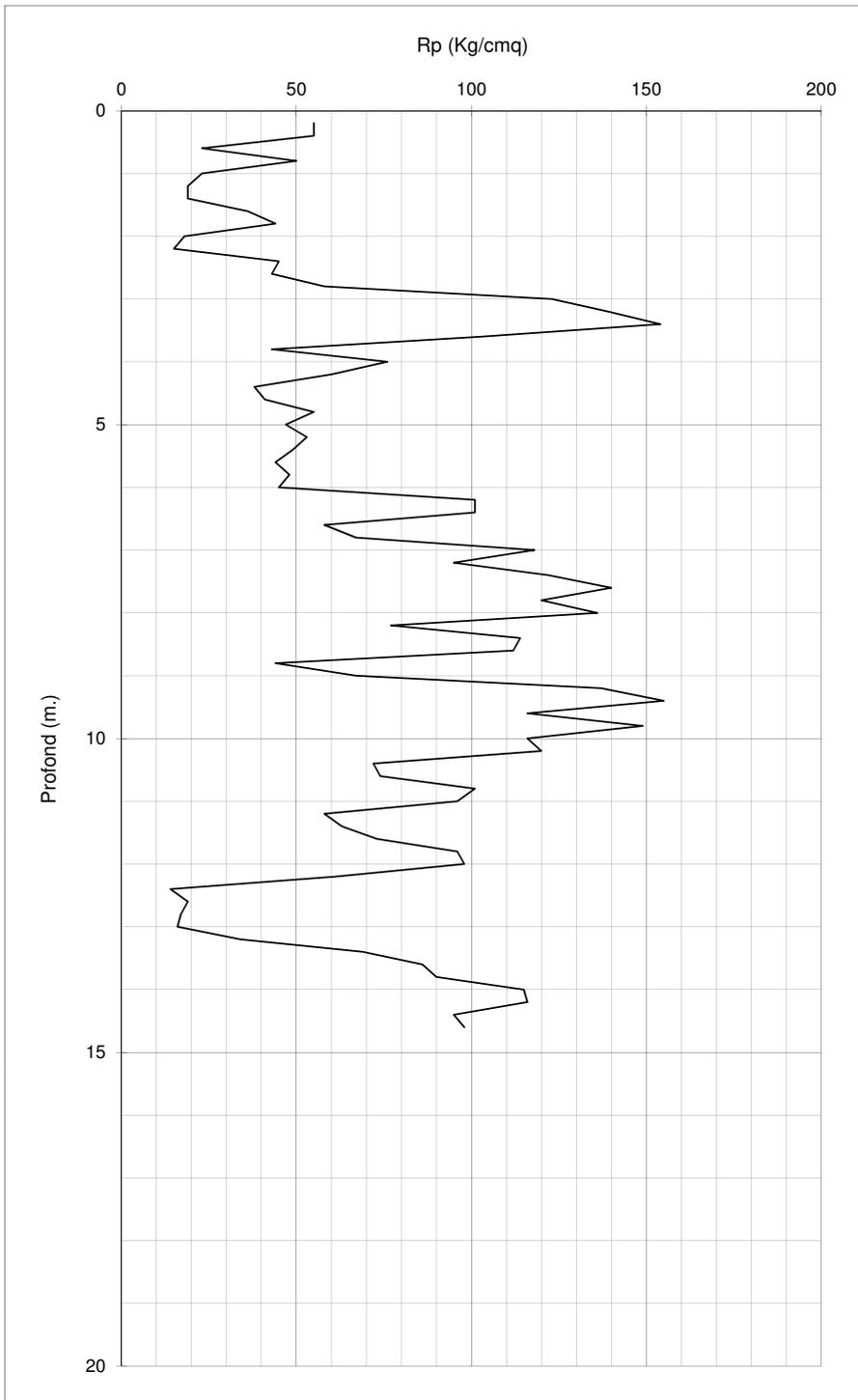
Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio : p.c.  
Profondità falda : 1,2 da p.c.

Data : 27/07/2017



# PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT1

Caratteristiche strumetali :

Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

## VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio :  
Profondità falda : p.c.  
1,2 da p.c.

Data : 27/07/2017

Profondità ml	Stratigrafia
0,2	.....
0,4	.....
0,6	.....
0,8	.....
1	.....
1,2	.....
1,4	.....
1,6	.....
1,8	.....
2	=====
2,2	=====
2,4	.....
2,6	.....
2,8	.....
3	.....
3,2	.....
3,4	.....
3,6	.....
3,8	.....
4	.....
4,2	.....
4,4	.....
4,6	.....
4,8	.....
5	.....
5,2	.....
5,4	.....
5,6	.....
5,8	.....
6	.....
6,2	.....
6,4	.....
6,6	.....
6,8	.....
7	.....
7,2	.....
7,4	.....
7,6	.....
7,8	.....
8	.....
8,2	.....
8,4	.....
8,6	.....
8,8	.....
9	.....
9,2	.....
9,4	.....
9,6	.....
9,8	.....
10	.....

Begemann	
Rp/Rl	Litologia
49	limo sabbioso / sabbia limosa
49	limo sabbioso / sabbia limosa
29	limo argilloso / argilla
25	limo argilloso / argilla
20	limo argilloso / argilla
18	limo argilloso / argilla
32	limo sabbioso / sabbia limosa
28	limo argilloso / argilla
35	limo sabbioso / sabbia limosa
12	argilla organica / torba
13	argilla organica / torba
45	limo sabbioso / sabbia limosa
34	limo sabbioso / sabbia limosa
62	sabbie / sabbia più ghiaia
50	limo sabbioso / sabbia limosa
43	limo sabbioso / sabbia limosa
80	sabbie / sabbia più ghiaia
53	limo sabbioso / sabbia limosa
27	limo argilloso / argilla
52	limo sabbioso / sabbia limosa
75	sabbie / sabbia più ghiaia
23	limo argilloso / argilla
34	limo sabbioso / sabbia limosa
39	limo sabbioso / sabbia limosa
27	limo argilloso / argilla
47	limo sabbioso / sabbia limosa
49	limo sabbioso / sabbia limosa
37	limo sabbioso / sabbia limosa
38	limo sabbioso / sabbia limosa
27	limo argilloso / argilla
80	sabbie / sabbia più ghiaia
54	limo sabbioso / sabbia limosa
40	limo sabbioso / sabbia limosa
50	limo sabbioso / sabbia limosa
80	sabbie / sabbia più ghiaia
45	limo sabbioso / sabbia limosa
76	sabbie / sabbia più ghiaia
44	limo sabbioso / sabbia limosa
78	sabbie / sabbia più ghiaia
76	sabbie / sabbia più ghiaia
36	limo sabbioso / sabbia limosa
95	sabbie / sabbia più ghiaia
76	sabbie / sabbia più ghiaia
28	limo argilloso / argilla
39	limo sabbioso / sabbia limosa
93	sabbie / sabbia più ghiaia
68	sabbie / sabbia più ghiaia
41	limo sabbioso / sabbia limosa
559	sabbie / sabbia più ghiaia
50	limo sabbioso / sabbia limosa

Schmertmann		
Rp	Rf (%)	Litologia
55	2,06	sabbia limosa mod. add.
55	2,06	sabbia limosa mod. add.
23	3,48	limo argi. molto consist.
50	4,00	limo argi. molto consist.
23	4,93	argilla lim. molto cons.
19	5,61	argilla limosa consist.
19	3,16	limo sabbioso consistente
36	3,52	limo argi. molto consist.
44	2,88	limo sabb. molto consist.
18	8,15	argilla consistente
15	7,56	argilla consistente
45	2,22	sabbia limosa mod. add.
43	2,95	limo sabb. molto consist.
58	1,61	sabbia limosa mod. add.
123	2,01	sabbia limosa addensata
139	2,30	limo sabb. molto consist.
154	1,26	sabbia addensata
103	1,88	sabbia limosa mod. add.
43	3,72	limo argi. molto consist.
76	1,93	sabbia limosa mod. add.
60	1,33	sabbia mod. addensata
38	4,39	limo argi. molto consist.
41	2,93	limo sabb. molto consist.
55	2,55	limo sabb. molto consist.
47	3,69	limo argi. molto consist.
53	2,14	sabbia limosa mod. add.
49	2,04	sabbia limosa mod. add.
44	2,73	limo sabb. molto consist.
48	2,64	limo sabb. molto consist.
45	3,70	limo argi. molto consist.
101	1,25	sabbia mod. addensata
101	1,85	sabbia limosa mod. add.
58	2,53	limo sabb. molto consist.
67	1,99	sabbia limosa mod. add.
118	1,24	sabbia mod. addensata
95	2,25	sabbia limosa mod. add.
122	1,31	sabbia addensata
140	2,29	limo sabb. molto consist.
120	1,28	sabbia mod. addensata
136	1,32	sabbia addensata
77	2,77	limo sabb. molto consist.
114	1,05	sabbia ghiaiosa mod. add.
112	1,31	sabbia mod. addensata
44	3,64	limo argi. molto consist.
67	2,59	limo sabb. molto consist.
137	1,07	sabbia ghiaiosa addensata
155	1,46	sabbia addensata
116	2,41	limo sabb. molto consist.
149	0,18	ghiaia addensata
116	2,01	sabbia limosa mod. add.



# PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT1

Caratteristiche strumetali :

Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

## PARAMETRI GEOTECNICI

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio : p.c.  
Profondità falda : 1,2 da p.c.

Data : 27/07/2017

Profondità ml	Rp (kg/cmq)	$\gamma$ (t/mc)	$\sigma$ (kg/cmq)	NATURA COESIVA		NATURA GRANULARE			
				Cu (kg/cmq)	Mo1 (kg/cmq)	Dr (%)	$\phi$ (°)	E (kg/cmq)	Mo2 (kg/cmq)
0,2	55	1,90	0,038	-	-	100	46	138	81
0,4	55	1,90	0,056	-	-	100	44	138	81
0,6	23	1,85	0,073	1,26	50,23	-	-	-	-
0,8	50	1,85	0,110	2,74	75,00	-	-	-	-
1	23	1,85	0,147	1,26	50,23	-	-	-	-
1,2	19	1,85	0,164	1,03	49,98	-	-	-	-
1,4	19	1,90	0,202	-	-	53	32	48	45
1,6	36	1,85	0,239	1,96	56,40	-	-	-	-
1,8	44	1,90	0,277	-	-	75	35	110	64
2	18	1,80	0,313	0,97	49,77	-	-	-	-
2,2	15	1,80	0,349	0,81	48,00	-	-	-	-
2,4	45	1,90	0,387	-	-	67	33	113	59
2,6	43	1,90	0,425	-	-	63	33	108	56
2,8	58	2,00	0,465	-	-	71	34	145	-
3	123	1,90	0,503	-	-	97	37	308	86
3,2	139	1,90	0,541	-	-	99	37	348	89
3,4	154	2,00	0,581	-	-	100	37	385	-
3,6	103	1,90	0,619	-	-	85	35	258	77
3,8	43	1,85	0,656	2,33	64,50	-	-	-	-
4	76	1,90	0,694	-	-	71	33	190	66
4,2	60	2,00	0,734	-	-	60	32	150	-
4,4	38	1,85	0,771	2,05	58,10	-	-	-	-
4,6	41	1,90	0,809	-	-	44	29	103	45
4,8	55	1,90	0,847	-	-	53	31	138	54
5	47	1,85	0,884	2,53	70,50	-	-	-	-
5,2	53	1,90	0,922	-	-	50	30	133	52
5,4	49	1,90	0,960	-	-	46	29	123	49
5,6	44	1,90	0,998	-	-	41	29	110	45
5,8	48	1,90	1,036	-	-	43	29	120	47
6	45	1,85	1,073	2,41	67,50	-	-	-	-
6,2	101	2,00	1,113	-	-	68	32	253	-
6,4	101	1,90	1,151	-	-	67	32	253	70
6,6	58	1,90	1,189	-	-	46	29	145	52
6,8	67	1,90	1,227	-	-	51	30	168	56
7	118	2,00	1,267	-	-	70	32	295	-
7,2	95	1,90	1,305	-	-	62	31	238	67
7,4	122	2,00	1,345	-	-	70	32	305	-
7,6	140	1,90	1,383	-	-	74	33	350	79
7,8	120	2,00	1,423	-	-	68	32	300	-
8	136	2,00	1,463	-	-	72	32	340	-
8,2	77	1,90	1,501	-	-	50	29	193	60
8,4	114	2,00	1,541	-	-	64	31	285	-
8,6	112	2,00	1,581	-	-	63	31	280	-
8,8	44	1,85	1,618	2,33	66,00	-	-	-	-
9	67	1,90	1,656	-	-	43	28	168	55
9,2	137	2,00	1,696	-	-	68	32	343	-
9,4	155	2,00	1,736	-	-	72	32	388	-
9,6	116	1,90	1,774	-	-	61	31	290	72
9,8	149	2,00	1,814	-	-	69	32	373	-
10	116	1,90	1,852	-	-	60	30	290	72

Rp = resistenza alla punta  
 $\gamma$  = peso di volume  
 $\sigma$  = pressione verticale

Cu = coesione non drenata (Lunne e Eide)  
Mo1 = modulo edometrico (Mitchell e Gardner)  
Dr = densità relativa (Schmertmann)  
 $\phi$  = angolo d'attrito interno (Caquot)  
E = modulo di Young (Schmertmann)  
Mo2 = modulo edometrico (Robertson e Campanella)



## PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT2

Caratteristiche strumetali :

Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

### TABELLA VALORI DI RESISTENZA

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio : p.c.  
Profondità falda : 1,2 da p.c.

Data : 27/07/2017

Profondità ml	Letture di campagna		Rp (kg/cmq)	RI (kg/cmq)
	punta (kg/cmq)	laterale (kg/cmq)		
0,2	60	85	60	1,67
0,4	60	85	60	1,67
0,6	38	51	38	0,87
0,8	16	52	16	2,40
1	22	36	22	0,93
1,2	22	29	22	0,47
1,4	16	22	16	0,40
1,6	16	22	16	0,40
1,8	32	50	32	1,20
2	40	46	40	0,40
2,2	30	40	30	0,67
2,4	39	54	39	1,00
2,6	31	37	31	0,40
2,8	32	38	32	0,40
3	14	18	14	0,27
3,2	8	15	8	0,47
3,4	31	40	31	0,60
3,6	24	33	24	0,60
3,8	5	15	5	0,67
4	4	10	4	0,40
4,2	33	46	33	0,87
4,4	32	39	32	0,47
4,6	38	54	38	1,07
4,8	30	42	30	0,80
5	11	26	11	1,00
5,2	3	7	3	0,27
5,4	4	8	4	0,27
5,6	25	32	25	0,47
5,8	38	54	38	1,07
6	52	66	52	0,93
6,2	54	71	54	1,13
6,4	40	64	40	1,60
6,6	17	36	17	1,27
6,8	25	47	25	1,47
7	8	13	8	0,33
7,2	14	22	14	0,53
7,4	22	30	22	0,53
7,6	30	44	30	0,93
7,8	42	59	42	1,13
8	91	113	91	1,47
8,2	79	101	79	1,47
8,4	73	100	73	1,80
8,6	68	92	68	1,60
8,8	68	89	68	1,40
9	49	74	49	1,67
9,2	48	67	48	1,27
9,4	53	71	53	1,20
9,6	73	103	73	2,00
9,8	51	73	51	1,47
10	101	115	101	0,93

Prof. ml	Letture di campagna		Rp (kg/cmq)	RI (kg/cmq)
	punta (kg/cmq)	laterale (kg/cmq)		
10,2	50	71	50	1,40
10,4	58	79	58	1,40
10,6	93	124	93	2,07
10,8	136	173	136	2,47
11	85	108	85	1,53
11,2	58	78	58	1,33
11,4	86	112	86	1,73
11,6	86	119	86	2,20
11,8	105	136	105	2,07
12	67	87	67	1,33
12,2	11	48	11	2,47
12,4	7	13	7	0,40
12,6	11	16	11	0,33
12,8	12	20	12	0,53
13	49	61	49	0,80
13,2	66	92	66	1,73
13,4	99	122	99	1,53
13,6	97	127	97	2,00
13,8	95	125	95	2,00
14	84	120	84	2,40
14,2	82	122	82	2,67
14,4	94	136	94	2,80
14,6	82	118	82	2,40
14,8				
15				
15,2				
15,4				
15,6				
15,8				
16				
16,2				
16,4				
16,6				
16,8				
17				
17,2				
17,4				
17,6				
17,8				
18				
18,2				
18,4				
18,6				
18,8				
19				
19,2				
19,4				
19,6				
19,8				
20				

# PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT2

Caratteristiche strumetali :

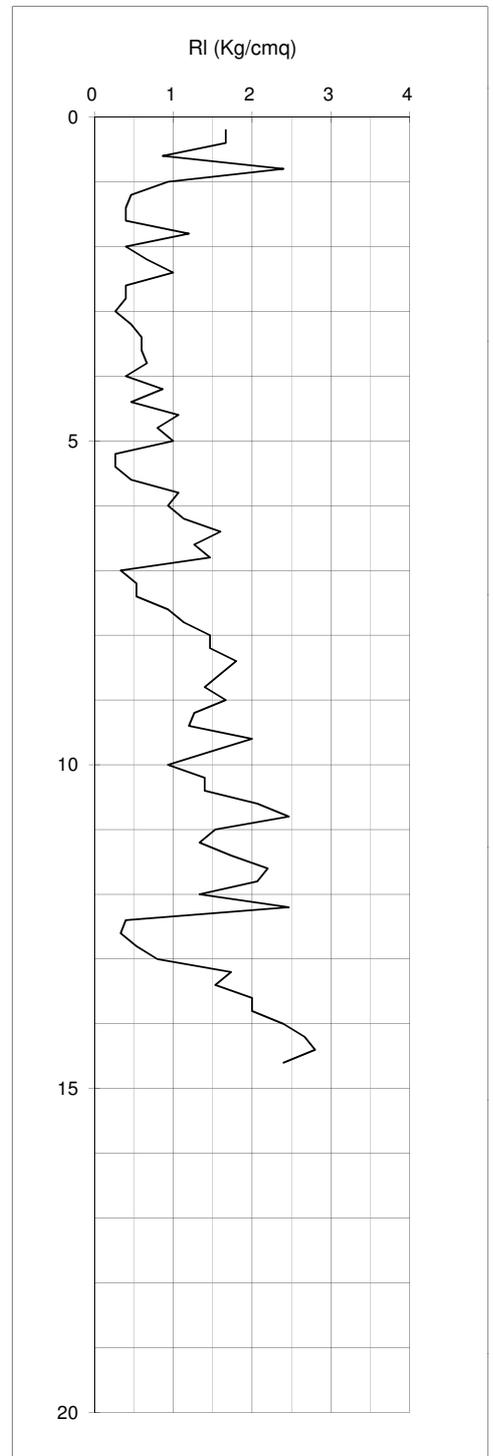
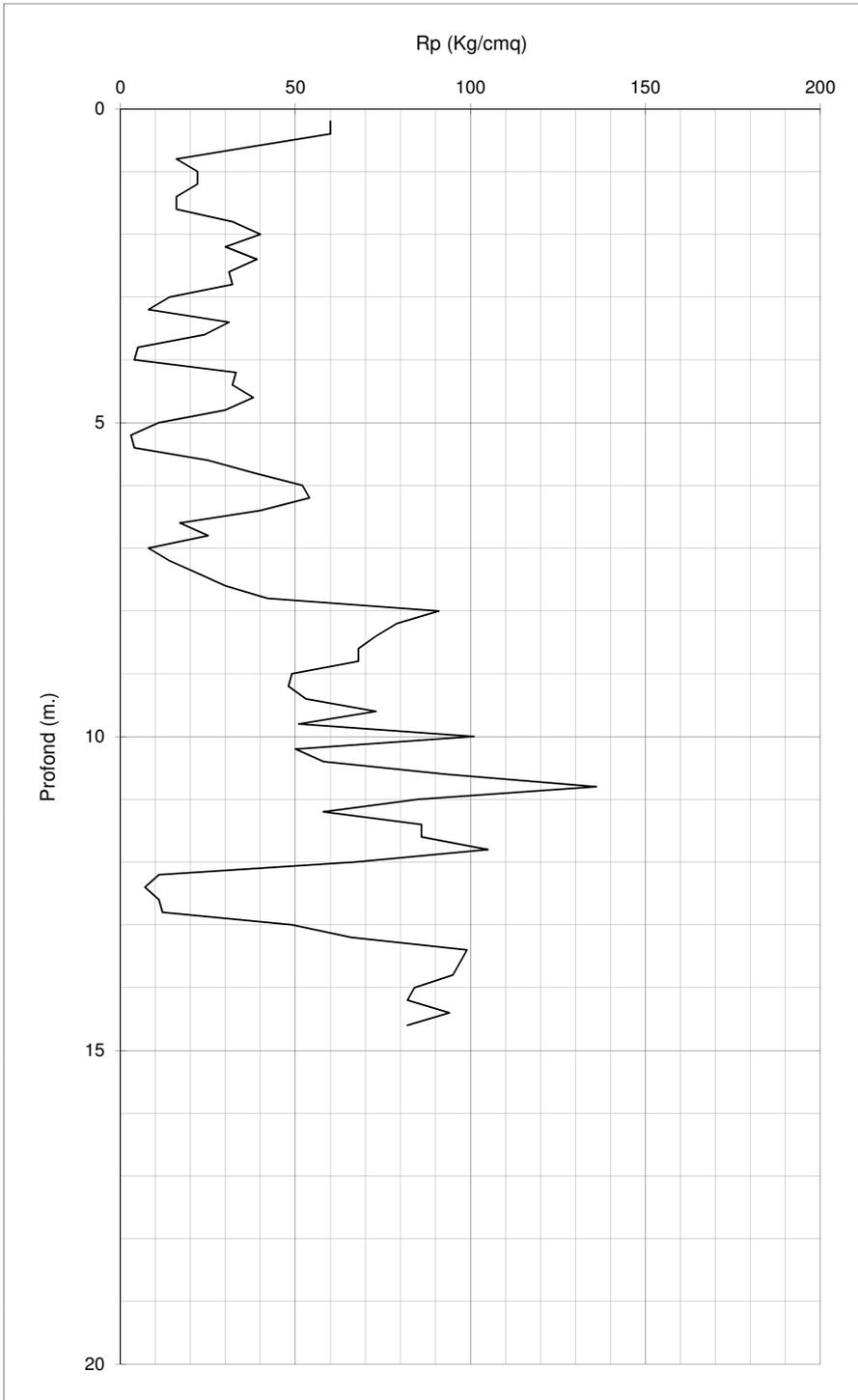
Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio : p.c.  
Profondità falda : 1,2 da p.c.

Data : 27/07/2017



## PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT2

Caratteristiche strumetali :

Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

### VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio :  
Profondità falda :

p.c.  
1,2 da p.c.

Data : 27/07/2017

Profondità ml	Stratigrafia
0,2	~.~.~.~.~.
0,4	~.~.~.~.~.
0,6	~.~.~.~.~.
0,8	V=V=V=V
1	~.~.~.~.~.
1,2	~.~.~.~.~.
1,4	~.~.~.~.~.
1,6	~.~.~.~.~.
1,8	~.~.~.~.~.
2	°:0:~.~.
2,2	~.~.~.~.~.
2,4	~.~.~.~.~.
2,6	~.~.~.~.~.
2,8	~.~.~.~.~.
3	~.~.~.~.~.
3,2	=~.~.~.~.
3,4	~.~.~.~.~.
3,6	~.~.~.~.~.
3,8	V=V=V=V
4	=====
4,2	~.~.~.~.~.
4,4	~.~.~.~.~.
4,6	~.~.~.~.~.
4,8	~.~.~.~.~.
5	=====
5,2	=====
5,4	=====
5,6	~.~.~.~.~.
5,8	~.~.~.~.~.
6	~.~.~.~.~.
6,2	~.~.~.~.~.
6,4	~.~.~.~.~.
6,6	=====
6,8	=~.~.~.~.
7	~.~.~.~.~.
7,2	~.~.~.~.~.
7,4	~.~.~.~.~.
7,6	~.~.~.~.~.
7,8	~.~.~.~.~.
8	~.~.~.~.~.
8,2	~.~.~.~.~.
8,4	~.~.~.~.~.
8,6	~.~.~.~.~.
8,8	~.~.~.~.~.
9	~.~.~.~.~.
9,2	~.~.~.~.~.
9,4	~.~.~.~.~.
9,6	~.~.~.~.~.
9,8	~.~.~.~.~.
10	°:0:~.~.

Begemann	
Rp/Rl	Litologia
36	limo sabbioso / sabbia limosa
36	limo sabbioso / sabbia limosa
44	limo sabbioso / sabbia limosa
7	argilla organica / torba
24	limo argilloso / argilla
47	limo sabbioso / sabbia limosa
40	limo sabbioso / sabbia limosa
40	limo sabbioso / sabbia limosa
27	limo argilloso / argilla
100	sabbie / sabbia più ghiaia
45	limo sabbioso / sabbia limosa
39	limo sabbioso / sabbia limosa
78	sabbie / sabbia più ghiaia
80	sabbie / sabbia più ghiaia
53	limo sabbioso / sabbia limosa
17	limo argilloso / argilla
52	limo sabbioso / sabbia limosa
40	limo sabbioso / sabbia limosa
8	argilla organica / torba
10	argilla organica / torba
38	limo sabbioso / sabbia limosa
69	sabbie / sabbia più ghiaia
36	limo sabbioso / sabbia limosa
38	limo sabbioso / sabbia limosa
11	argilla organica / torba
11	argilla organica / torba
15	argilla organica / torba
54	limo sabbioso / sabbia limosa
36	limo sabbioso / sabbia limosa
56	limo sabbioso / sabbia limosa
48	limo sabbioso / sabbia limosa
25	limo argilloso / argilla
13	argilla organica / torba
17	limo argilloso / argilla
24	limo argilloso / argilla
26	limo argilloso / argilla
41	limo sabbioso / sabbia limosa
32	limo sabbioso / sabbia limosa
37	limo sabbioso / sabbia limosa
62	sabbie / sabbia più ghiaia
54	limo sabbioso / sabbia limosa
41	limo sabbioso / sabbia limosa
43	limo sabbioso / sabbia limosa
49	limo sabbioso / sabbia limosa
29	limo argilloso / argilla
38	limo sabbioso / sabbia limosa
44	limo sabbioso / sabbia limosa
37	limo sabbioso / sabbia limosa
35	limo sabbioso / sabbia limosa
108	sabbie / sabbia più ghiaia

Schmertmann		
Rp	Rf (%)	Litologia
60	2,78	limo sabb. molto consist.
60	2,78	limo sabb. molto consist.
38	2,28	limo sabb. molto consist.
16	15,00	torba argillosa consist.
22	4,24	limo argi. molto consist.
22	2,12	sabbia limosa poco add.
16	2,50	limo sabbioso consistente
16	2,50	limo sabbioso consistente
32	3,75	limo argi. molto consist.
40	1,00	sabbia ghiaiosa poco add.
30	2,22	sabbia limosa poco add.
39	2,56	limo sabb. molto consist.
31	1,29	sabbia poco addensata
32	1,25	sabbia poco addensata
14	1,90	sabbia limosa sciolta
8	5,83	argilla limosa mod. cons.
31	1,94	sabbia limosa poco add.
24	2,50	limo sabb. molto consist.
5	13,33	torba argill. poco cons.
4	10,00	argilla poco consistente
33	2,63	limo sabb. molto consist.
32	1,46	sabbia poco addensata
38	2,81	limo sabb. molto consist.
30	2,67	limo sabb. molto consist.
11	9,09	argilla consistente
3	8,89	argilla poco consistente
4	6,67	argilla poco consistente
25	1,87	sabbia limosa poco add.
38	2,81	limo sabb. molto consist.
52	1,79	sabbia limosa mod. add.
54	2,10	sabbia limosa mod. add.
40	4,00	limo argi. molto consist.
17	7,45	argilla consistente
25	5,87	argilla lim. molto cons.
8	4,17	limo argilloso mod. cons.
14	3,81	limo argilloso consist.
22	2,42	limo sabb. molto consist.
30	3,11	limo sabb. molto consist.
42	2,70	limo sabb. molto consist.
91	1,61	sabbia limosa mod. add.
79	1,86	sabbia limosa mod. add.
73	2,47	limo sabb. molto consist.
68	2,35	limo sabb. molto consist.
68	2,06	sabbia limosa mod. add.
49	3,40	limo argi. molto consist.
48	2,64	limo sabb. molto consist.
53	2,26	limo sabb. molto consist.
73	2,74	limo sabb. molto consist.
51	2,88	limo sabb. molto consist.
101	0,92	sabbia ghiaiosa mod. add.



# PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT2

Caratteristiche strumetali :

Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

## PARAMETRI GEOTECNICI

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio : p.c.  
Profondità falda : 1,2 da p.c.

Data : 27/07/2017

Profondità ml	Rp (kg/cmq)	$\gamma$ (t/mc)	$\sigma$ (kg/cmq)	NATURA COESIVA		NATURA GRANULARE			
				Cu (kg/cmq)	Mo1 (kg/cmq)	Dr (%)	$\phi$ (°)	E (kg/cmq)	Mo2 (kg/cmq)
0,2	60	1,90	0,038	-	-	100	46	150	81
0,4	60	1,90	0,056	-	-	100	44	150	81
0,6	38	1,90	0,074	-	-	100	41	95	81
0,8	16	1,80	0,110	0,87	48,78	-	-	-	-
1	22	1,85	0,147	1,20	50,10	-	-	-	-
1,2	22	1,90	0,165	-	-	64	34	55	53
1,4	16	1,90	0,203	-	-	47	31	40	40
1,6	16	1,90	0,241	-	-	42	31	40	36
1,8	32	1,85	0,278	1,74	53,60	-	-	-	-
2	40	2,00	0,318	-	-	68	34	100	-
2,2	30	1,90	0,356	-	-	54	32	75	48
2,4	39	1,90	0,394	-	-	61	33	98	54
2,6	31	2,00	0,434	-	-	50	31	78	-
2,8	32	2,00	0,474	-	-	49	31	80	-
3	14	1,90	0,512	-	-	17	26	35	20
3,2	8	1,85	0,549	0,41	37,28	-	-	-	-
3,4	31	1,90	0,587	-	-	42	29	78	41
3,6	24	1,90	0,625	-	-	31	28	60	33
3,8	5	1,80	0,661	0,24	30,00	-	-	-	-
4	4	1,80	0,697	0,18	26,00	-	-	-	-
4,2	33	1,90	0,735	-	-	38	29	83	40
4,4	32	2,00	0,775	-	-	36	28	80	-
4,6	38	1,90	0,813	-	-	41	29	95	43
4,8	30	1,90	0,851	-	-	31	27	75	35
5	11	1,80	0,887	0,56	43,01	-	-	-	-
5,2	3	1,80	0,923	0,11	21,00	-	-	-	-
5,4	4	1,80	0,959	0,17	26,00	-	-	-	-
5,6	25	1,90	0,997	-	-	20	26	63	28
5,8	38	1,90	1,035	-	-	34	28	95	40
6	52	1,90	1,073	-	-	45	29	130	50
6,2	54	1,90	1,111	-	-	45	29	135	50
6,4	40	1,85	1,148	2,13	60,00	-	-	-	-
6,6	17	1,80	1,184	0,87	49,37	-	-	-	-
6,8	25	1,85	1,221	1,31	50,63	-	-	-	-
7	8	1,85	1,258	0,37	37,28	-	-	-	-
7,2	14	1,85	1,295	0,70	47,03	-	-	-	-
7,4	22	1,90	1,333	-	-	8	24	55	22
7,6	30	1,90	1,371	-	-	18	25	75	31
7,8	42	1,90	1,409	-	-	30	27	105	41
8	91	2,00	1,449	-	-	57	30	228	-
8,2	79	1,90	1,487	-	-	51	30	198	60
8,4	73	1,90	1,525	-	-	48	29	183	58
8,6	68	1,90	1,563	-	-	45	29	170	56
8,8	68	1,90	1,601	-	-	44	28	170	56
9	49	1,85	1,638	2,60	73,50	-	-	-	-
9,2	48	1,90	1,676	-	-	30	26	120	45
9,4	53	1,90	1,714	-	-	33	27	133	48
9,6	73	1,90	1,752	-	-	44	28	183	58
9,8	51	1,90	1,790	-	-	30	26	128	47
10	101	2,00	1,830	-	-	55	30	253	-

Rp = resistenza alla punta

$\gamma$  = peso di volume

$\sigma$  = pressione verticale

Cu = coesione non drenata (Lunne e Eide)

Mo1 = modulo edometrico (Mitchell e Gardner)

Dr = densità relativa (Schmertmann)

$\phi$  = angolo d'attrito interno (Caquot)

E = modulo di Young (Schmertmann)

Mo2 = modulo edometrico (Robertson e Campanella)



## PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT3

Caratteristiche strumetali :

Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

### TABELLA VALORI DI RESISTENZA

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio : p.c.  
Profondità falda : 1,5 da p.c.

Data : 27/07/2017

Profondità ml	Letture di campagna		Rp (kg/cmq)	RI (kg/cmq)
	punta (kg/cmq)	laterale (kg/cmq)		
0,2	39	70	39	2,07
0,4	39	70	39	2,07
0,6	56	78	56	1,47
0,8	38	42	38	0,27
1	20	39	20	1,27
1,2	12	24	12	0,80
1,4	11	22	11	0,73
1,6	23	35	23	0,80
1,8	18	32	18	0,93
2	48	60	48	0,80
2,2	32	42	32	0,67
2,4	36	51	36	1,00
2,6	43	60	43	1,13
2,8	35	50	35	1,00
3	35	50	35	1,00
3,2	68	94	68	1,73
3,4	99	121	99	1,47
3,6	48	67	48	1,27
3,8	109	128	109	1,27
4	75	90	75	1,00
4,2	54	79	54	1,67
4,4	78	100	78	1,47
4,6	73	92	73	1,27
4,8	71	90	71	1,27
5	107	143	107	2,40
5,2	119	140	119	1,40
5,4	61	84	61	1,53
5,6	40	65	40	1,67
5,8	43	62	43	1,27
6	45	62	45	1,13
6,2	48	71	48	1,53
6,4	11	27	11	1,07
6,6	6	12	6	0,40
6,8	10	18	10	0,53
7	35	40	35	0,33
7,2	12	21	12	0,60
7,4	7	14	7	0,47
7,6	46	52	46	0,40
7,8	34	49	34	1,00
8	22	35	22	0,87
8,2	17	28	17	0,73
8,4	51	66	51	1,00
8,6	88	109	88	1,40
8,8	108	143	108	2,33
9	166	204	166	2,53
9,2	108	147	108	2,60
9,4	71	102	71	2,07
9,6	133	154	133	1,40
9,8	143	171	143	1,87
10	133	165	133	2,13

Prof. ml	Letture di campagna		Rp (kg/cmq)	RI (kg/cmq)
	punta (kg/cmq)	laterale (kg/cmq)		
10,2	83	110	83	1,80
10,4	57	84	57	1,80
10,6	57	82	57	1,67
10,8	65	94	65	1,93
11	82	106	82	1,60
11,2	102	134	102	2,13
11,4	112	143	112	2,07
11,6	124	163	124	2,60
11,8				
12				
12,2				
12,4				
12,6				
12,8				
13				
13,2				
13,4				
13,6				
13,8				
14				
14,2				
14,4				
14,6				
14,8				
15				
15,2				
15,4				
15,6				
15,8				
16				
16,2				
16,4				
16,6				
16,8				
17				
17,2				
17,4				
17,6				
17,8				
18				
18,2				
18,4				
18,6				
18,8				
19				
19,2				
19,4				
19,6				
19,8				
20				

# PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT3

Caratteristiche strumetali :

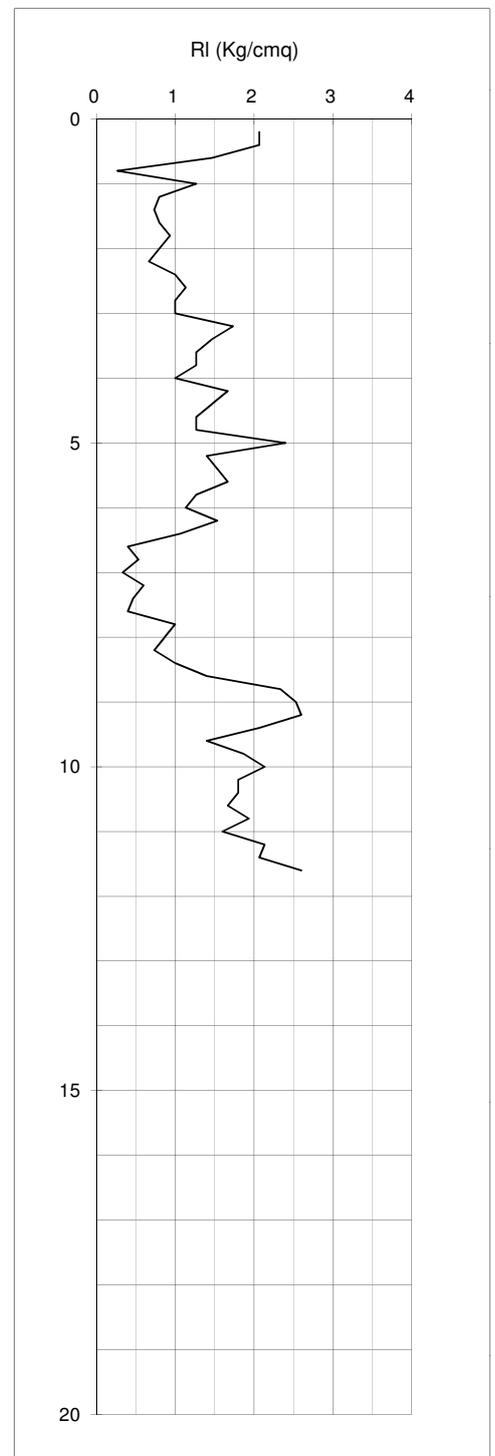
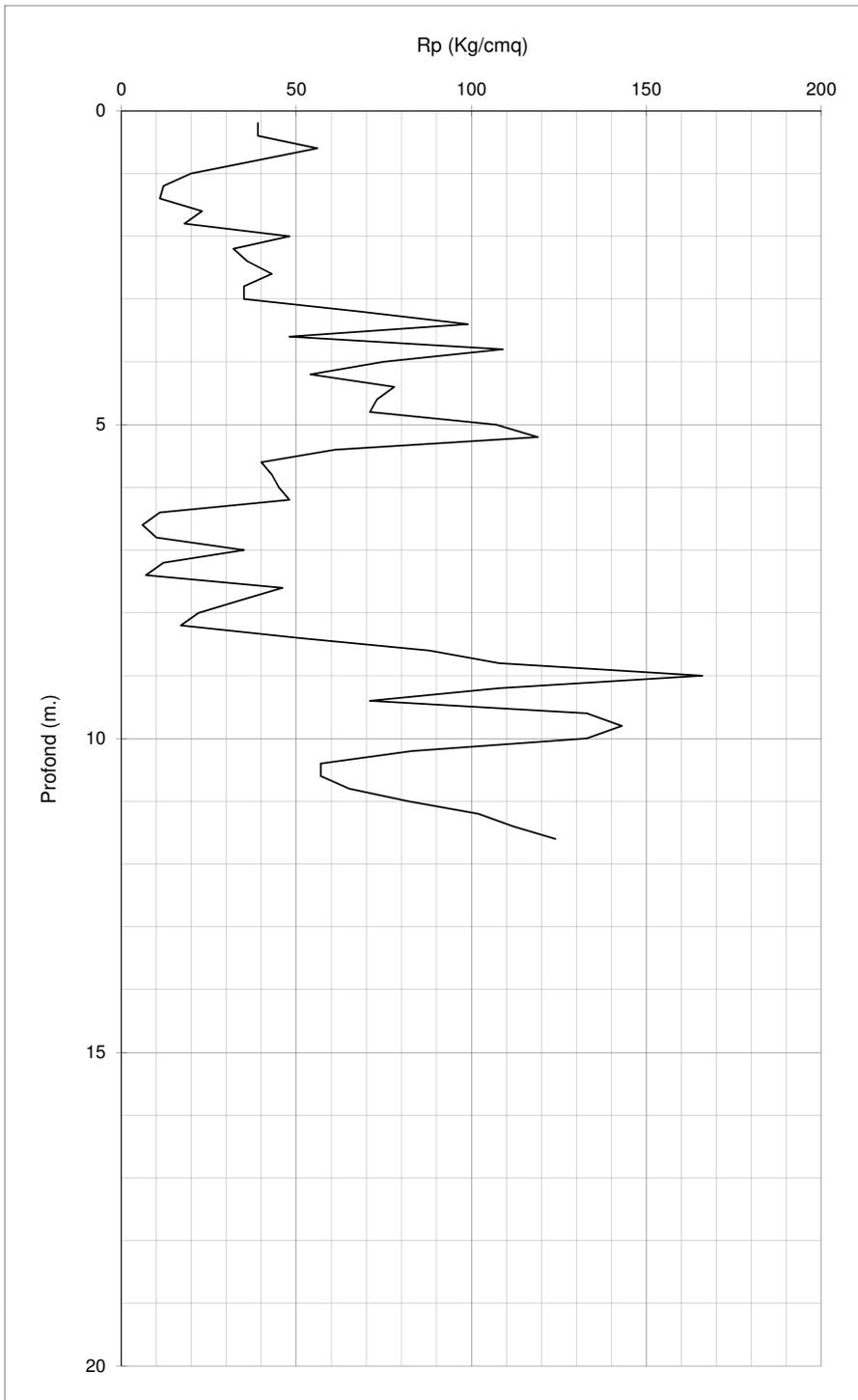
Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio : p.c.  
Profondità falda : 1,5 da p.c.

Data : 27/07/2017



## PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT3

Caratteristiche strumetali :

Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

### VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio :  
Profondità falda : p.c.  
1,5 da p.c.

Data : 27/07/2017

Profondità ml	Stratigrafia
0,2	~::~~::~~
0,4	~::~~::~~
0,6	~::~~::~~
0,8	o.°o.°o
1	=====
1,2	=====
1,4	=====
1,6	~::~~::~~
1,8	~::~~::~~
2	~::~~::~~
2,2	~::~~::~~
2,4	~::~~::~~
2,6	~::~~::~~
2,8	~::~~::~~
3	~::~~::~~
3,2	~::~~::~~
3,4	~::~~::~~
3,6	~::~~::~~
3,8	°o:°o:
4	~::~~::~~
4,2	~::~~::~~
4,4	~::~~::~~
4,6	~::~~::~~
4,8	~::~~::~~
5	~::~~::~~
5,2	°o:°o:
5,4	~::~~::~~
5,6	~::~~::~~
5,8	~::~~::~~
6	~::~~::~~
6,2	~::~~::~~
6,4	=====
6,6	=====
6,8	~::~~::~~
7	°o:°o:
7,2	~::~~::~~
7,4	=====
7,6	°o:°o:
7,8	~::~~::~~
8	~::~~::~~
8,2	~::~~::~~
8,4	~::~~::~~
8,6	~::~~::~~
8,8	~::~~::~~
9	~::~~::~~
9,2	~::~~::~~
9,4	~::~~::~~
9,6	°o:°o:
9,8	~::~~::~~
10	~::~~::~~

Begemann	
Rp/Rl	Litologia
19	limo argilloso / argilla
19	limo argilloso / argilla
38	limo sabbioso / sabbia limosa
143	sabbie / sabbia più ghiaia
16	limo argilloso / argilla
15	argilla organica / torba
15	argilla organica / torba
29	limo argilloso / argilla
19	limo argilloso / argilla
60	sabbie / sabbia più ghiaia
48	limo sabbioso / sabbia limosa
36	limo sabbioso / sabbia limosa
38	limo sabbioso / sabbia limosa
35	limo sabbioso / sabbia limosa
35	limo sabbioso / sabbia limosa
39	limo sabbioso / sabbia limosa
68	sabbie / sabbia più ghiaia
38	limo sabbioso / sabbia limosa
86	sabbie / sabbia più ghiaia
75	sabbie / sabbia più ghiaia
32	limo sabbioso / sabbia limosa
53	limo sabbioso / sabbia limosa
58	limo sabbioso / sabbia limosa
56	limo sabbioso / sabbia limosa
45	limo sabbioso / sabbia limosa
85	sabbie / sabbia più ghiaia
40	limo sabbioso / sabbia limosa
24	limo argilloso / argilla
34	limo sabbioso / sabbia limosa
40	limo sabbioso / sabbia limosa
31	limo sabbioso / sabbia limosa
10	argilla organica / torba
15	argilla organica / torba
19	limo argilloso / argilla
105	sabbie / sabbia più ghiaia
20	limo argilloso / argilla
15	argilla organica / torba
115	sabbie / sabbia più ghiaia
34	limo sabbioso / sabbia limosa
25	limo argilloso / argilla
23	limo argilloso / argilla
51	limo sabbioso / sabbia limosa
63	sabbie / sabbia più ghiaia
46	limo sabbioso / sabbia limosa
66	sabbie / sabbia più ghiaia
42	limo sabbioso / sabbia limosa
34	limo sabbioso / sabbia limosa
95	sabbie / sabbia più ghiaia
77	sabbie / sabbia più ghiaia
62	sabbie / sabbia più ghiaia

Schmertmann		
Rp	Rf (%)	Litologia
39	5,30	argilla lim. molto cons.
39	5,30	argilla lim. molto cons.
56	2,62	limo sabb. molto consist.
38	0,70	ghiaia sabbiosa poco add.
20	6,33	argilla consistente
12	6,67	argilla consistente
11	6,67	argilla consistente
23	3,48	limo argi. molto consist.
18	5,19	argilla limosa consist.
48	1,67	sabbia limosa mod. add.
32	2,08	sabbia limosa poco add.
36	2,78	limo sabb. molto consist.
43	2,64	limo sabb. molto consist.
35	2,86	limo sabb. molto consist.
35	2,86	limo sabb. molto consist.
68	2,55	limo sabb. molto consist.
99	1,48	sabbia mod. addensata
48	2,64	limo sabb. molto consist.
109	1,16	sabbia ghiaiosa mod. add.
75	1,33	sabbia mod. addensata
54	3,09	limo sabb. molto consist.
78	1,88	sabbia limosa mod. add.
73	1,74	sabbia limosa mod. add.
71	1,78	sabbia limosa mod. add.
107	2,24	sabbia limosa mod. add.
119	1,18	sabbia ghiaiosa mod. add.
61	2,51	limo sabb. molto consist.
40	4,17	limo argi. molto consist.
43	2,95	limo sabb. molto consist.
45	2,52	limo sabb. molto consist.
48	3,19	limo argi. molto consist.
11	9,70	argilla consistente
6	6,67	argilla mod. consistente
10	5,33	argilla limosa mod. cons.
35	0,95	sabbia ghiaiosa poco add.
12	5,00	argilla limosa consist.
7	6,67	argilla mod. consistente
46	0,87	sabbia ghiaiosa mod. add.
34	2,94	limo sabb. molto consist.
22	3,94	limo argi. molto consist.
17	4,31	limo argilloso consist.
51	1,96	sabbia limosa mod. add.
88	1,59	sabbia limosa mod. add.
108	2,16	sabbia limosa mod. add.
166	1,53	sabbia addensata
108	2,41	limo sabb. molto consist.
71	2,91	limo sabb. molto consist.
133	1,05	sabbia ghiaiosa addensata
143	1,31	sabbia addensata
133	1,60	sabbia limosa addensata



# PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT3

Caratteristiche strumetali :

Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

## PARAMETRI GEOTECNICI

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio : p.c.  
Profondità falda : 1,5 da p.c.

Data : 27/07/2017

Profondità ml	Rp (kg/cmq)	$\gamma$ (t/mc)	$\sigma$ (kg/cmq)	NATURA COESIVA		NATURA GRANULARE			
				Cu (kg/cmq)	Mo1 (kg/cmq)	Dr (%)	$\phi$ (°)	E (kg/cmq)	Mo2 (kg/cmq)
0,2	39	1,85	0,037	2,14	59,03	-	-	-	-
0,4	39	1,85	0,054	2,14	59,03	-	-	-	-
0,6	56	1,90	0,072	-	-	100	43	140	82
0,8	38	2,00	0,112	-	-	94	39	95	-
1	20	1,85	0,149	1,09	50,00	-	-	-	-
1,2	12	1,80	0,165	0,65	44,54	-	-	-	-
1,4	11	1,80	0,201	0,59	43,01	-	-	-	-
1,6	23	1,85	0,238	1,25	50,23	-	-	-	-
1,8	18	1,85	0,275	0,97	49,77	-	-	-	-
2	48	2,00	0,315	-	-	75	35	120	-
2,2	32	1,90	0,353	-	-	57	32	80	50
2,4	36	1,90	0,391	-	-	59	32	90	52
2,6	43	1,90	0,429	-	-	63	33	108	56
2,8	35	1,90	0,467	-	-	53	31	88	48
3	35	1,90	0,505	-	-	51	31	88	47
3,2	68	1,90	0,543	-	-	73	34	170	66
3,4	99	2,00	0,583	-	-	85	35	248	-
3,6	48	1,90	0,621	-	-	57	31	120	54
3,8	109	2,00	0,661	-	-	85	35	273	-
4	75	2,00	0,701	-	-	70	33	188	-
4,2	54	1,90	0,739	-	-	56	31	135	55
4,4	78	1,90	0,777	-	-	68	33	195	66
4,6	73	1,90	0,815	-	-	65	32	183	63
4,8	71	1,90	0,853	-	-	62	32	178	61
5	107	1,90	0,891	-	-	76	34	268	74
5,2	119	2,00	0,931	-	-	79	34	298	-
5,4	61	1,90	0,969	-	-	54	30	153	55
5,6	40	1,85	1,006	2,14	60,00	-	-	-	-
5,8	43	1,90	1,044	-	-	39	28	108	44
6	45	1,90	1,082	-	-	39	28	113	45
6,2	48	1,90	1,120	-	-	41	28	120	47
6,4	11	1,80	1,156	0,54	43,01	-	-	-	-
6,6	6	1,80	1,192	0,26	33,00	-	-	-	-
6,8	10	1,85	1,229	0,48	41,29	-	-	-	-
7	35	2,00	1,269	-	-	26	26	88	-
7,2	12	1,85	1,306	0,59	44,54	-	-	-	-
7,4	7	1,80	1,342	0,31	35,00	-	-	-	-
7,6	46	2,00	1,382	-	-	34	27	115	-
7,8	34	1,90	1,420	-	-	22	26	85	35
8	22	1,85	1,457	1,13	50,10	-	-	-	-
8,2	17	1,85	1,494	0,85	49,37	-	-	-	-
8,4	51	1,90	1,532	-	-	35	27	128	47
8,6	88	2,00	1,572	-	-	54	30	220	-
8,8	108	1,90	1,610	-	-	61	31	270	70
9	166	2,00	1,650	-	-	76	33	415	-
9,2	108	1,90	1,688	-	-	59	30	270	70
9,4	71	1,90	1,726	-	-	44	28	178	57
9,6	133	2,00	1,766	-	-	66	31	333	-
9,8	143	2,00	1,806	-	-	68	31	358	-
10	133	2,00	1,846	-	-	65	31	333	-

Rp = resistenza alla punta

$\gamma$  = peso di volume

$\sigma$  = pressione verticale

Cu = coesione non drenata (Lunne e Eide)

Mo1 = modulo edometrico (Mitchell e Gardner)

Dr = densità relativa (Schmertmann)

$\phi$  = angolo d'attrito interno (Caquot)

E = modulo di Young (Schmertmann)

Mo2 = modulo edometrico (Robertson e Campanella)



# PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT4

Caratteristiche strumetali :

Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

## TABELLA VALORI DI RESISTENZA

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio : p.c.  
Profondità falda : 1,5 da p.c.

Data : 27/07/2017

Profondità ml	Letture di campagna		Rp (kg/cmq)	RI (kg/cmq)
	punta (kg/cmq)	laterale (kg/cmq)		
0,2	80	100	80	1,33
0,4	80	100	80	1,33
0,6	107	140	107	2,20
0,8	71	114	71	2,87
1	48	84	48	2,40
1,2	21	51	21	2,00
1,4	19	50	19	2,07
1,6	24	35	24	0,73
1,8	22	39	22	1,13
2	21	35	21	0,93
2,2	17	25	17	0,53
2,4	29	41	29	0,80
2,6	46	72	46	1,73
2,8	47	67	47	1,33
3	41	49	41	0,53
3,2	17	42	17	1,67
3,4	14	26	14	0,80
3,6	64	80	64	1,07
3,8	72	103	72	2,07
4	91	134	91	2,87
4,2	153	187	153	2,27
4,4	50	72	50	1,47
4,6	10	32	10	1,47
4,8	18	36	18	1,20
5	48	63	48	1,00
5,2	52	66	52	0,93
5,4	43	63	43	1,33
5,6	23	42	23	1,27
5,8	18	28	18	0,67
6	13	32	13	1,27
6,2	27	53	27	1,73
6,4	32	63	32	2,07
6,6	13	30	13	1,13
6,8	12	20	12	0,53
7	10	18	10	0,53
7,2	12	20	12	0,53
7,4	39	54	39	1,00
7,6	20	35	20	1,00
7,8	12	26	12	0,93
8	10	21	10	0,73
8,2	34	48	34	0,93
8,4	47	62	47	1,00
8,6	19	39	19	1,33
8,8	26	43	26	1,13
9	47	69	47	1,47
9,2	96	115	96	1,27
9,4	118	155	118	2,47
9,6	106	127	106	1,40
9,8	136	173	136	2,47
10	145	184	145	2,60

Prof. ml	Letture di campagna		Rp (kg/cmq)	RI (kg/cmq)
	punta (kg/cmq)	laterale (kg/cmq)		
10,2	155	204	155	3,27
10,4	80	131	80	3,40
10,6	87	129	87	2,80
10,8	90	128	90	2,53
11	94	130	94	2,40
11,2	112	156	112	2,93
11,4	122	148	122	1,73
11,6	118	154	118	2,40
11,8				
12				
12,2				
12,4				
12,6				
12,8				
13				
13,2				
13,4				
13,6				
13,8				
14				
14,2				
14,4				
14,6				
14,8				
15				
15,2				
15,4				
15,6				
15,8				
16				
16,2				
16,4				
16,6				
16,8				
17				
17,2				
17,4				
17,6				
17,8				
18				
18,2				
18,4				
18,6				
18,8				
19				
19,2				
19,4				
19,6				
19,8				
20				

# PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT4

Caratteristiche strumetali :

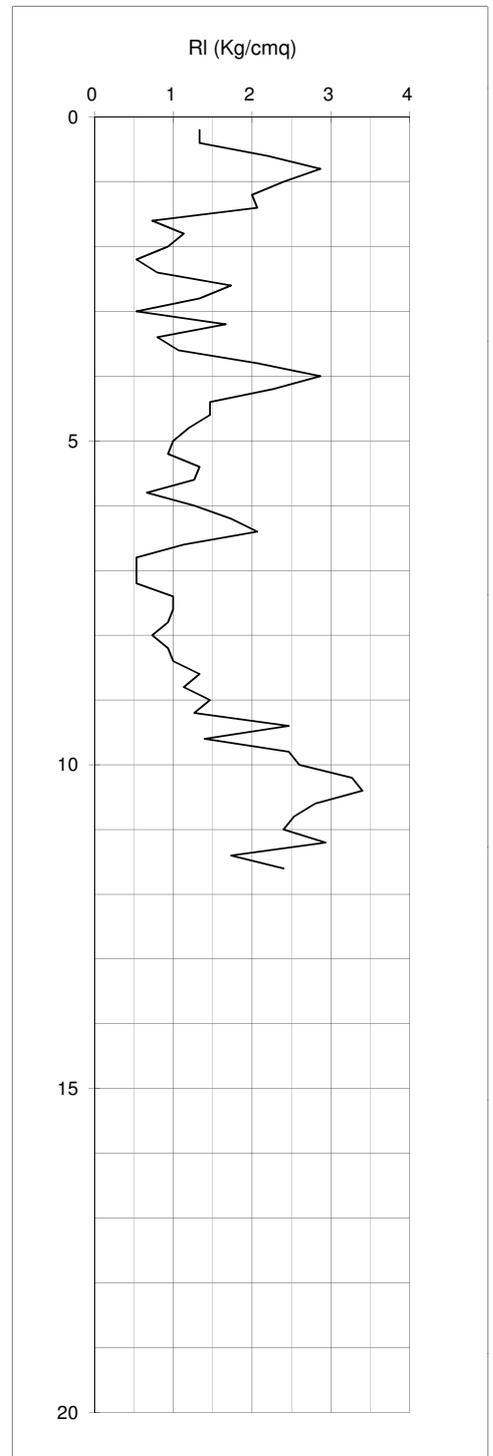
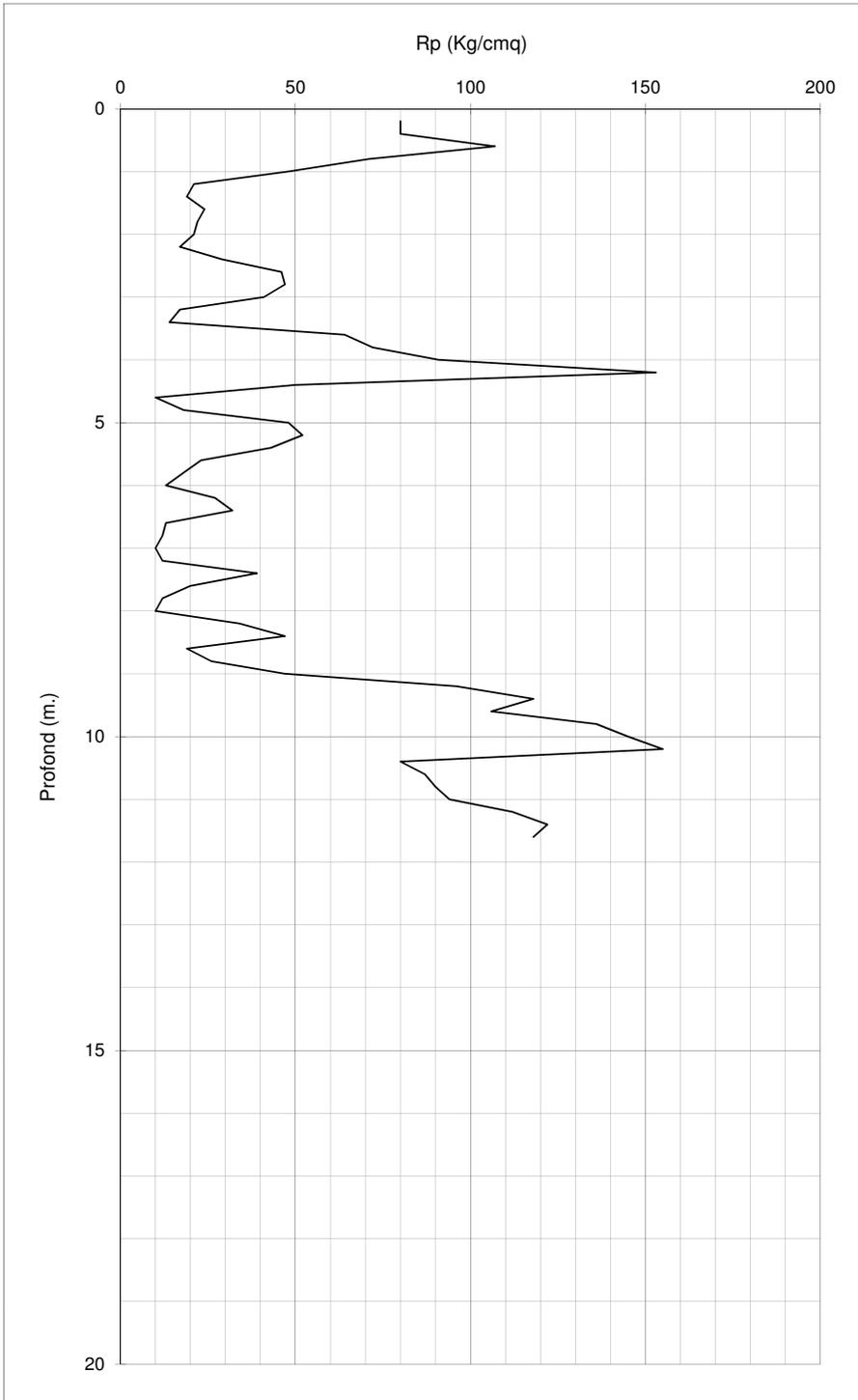
Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio : p.c.  
Profondità falda : 1,5 da p.c.

Data : 27/07/2017



**PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT4**

Caratteristiche strumetali :

Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

**VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio :  
Profondità falda :

p.c.  
1,5 da p.c.

Data : 27/07/2017

Profondità ml	Stratigrafia
0,2	.....
0,4	.....
0,6	.....
0,8	.....
1	.....
1,2	.....
1,4	.....
1,6	.....
1,8	.....
2	.....
2,2	.....
2,4	.....
2,6	.....
2,8	.....
3	.....
3,2	.....
3,4	.....
3,6	.....
3,8	.....
4	.....
4,2	.....
4,4	.....
4,6	V=V=V=V
4,8	.....
5	.....
5,2	.....
5,4	.....
5,6	.....
5,8	.....
6	.....
6,2	.....
6,4	.....
6,6	.....
6,8	.....
7	.....
7,2	.....
7,4	.....
7,6	.....
7,8	.....
8	.....
8,2	.....
8,4	.....
8,6	.....
8,8	.....
9	.....
9,2	.....
9,4	.....
9,6	.....
9,8	.....
10	.....

Begemann	
Rp/Rl	Litologia
60	sabbie / sabbia più ghiaia
60	sabbie / sabbia più ghiaia
49	limo sabbioso / sabbia limosa
25	limo argilloso / argilla
20	limo argilloso / argilla
11	argilla organica / torba
9	argilla organica / torba
33	limo sabbioso / sabbia limosa
19	limo argilloso / argilla
23	limo argilloso / argilla
32	limo sabbioso / sabbia limosa
36	limo sabbioso / sabbia limosa
27	limo argilloso / argilla
35	limo sabbioso / sabbia limosa
77	sabbie / sabbia più ghiaia
10	argilla organica / torba
18	limo argilloso / argilla
60	sabbie / sabbia più ghiaia
35	limo sabbioso / sabbia limosa
32	limo sabbioso / sabbia limosa
68	sabbie / sabbia più ghiaia
34	limo sabbioso / sabbia limosa
7	argilla organica / torba
15	argilla organica / torba
48	limo sabbioso / sabbia limosa
56	limo sabbioso / sabbia limosa
32	limo sabbioso / sabbia limosa
18	limo argilloso / argilla
27	limo argilloso / argilla
10	argilla organica / torba
16	limo argilloso / argilla
15	limo argilloso / argilla
11	argilla organica / torba
23	limo argilloso / argilla
19	limo argilloso / argilla
23	limo argilloso / argilla
39	limo sabbioso / sabbia limosa
20	limo argilloso / argilla
13	argilla organica / torba
14	argilla organica / torba
36	limo sabbioso / sabbia limosa
47	limo sabbioso / sabbia limosa
14	argilla organica / torba
23	limo argilloso / argilla
32	limo sabbioso / sabbia limosa
76	sabbie / sabbia più ghiaia
48	limo sabbioso / sabbia limosa
76	sabbie / sabbia più ghiaia
55	limo sabbioso / sabbia limosa
56	limo sabbioso / sabbia limosa

Schmertmann		
Rp	Rf (%)	Litologia
80	1,67	sabbia limosa mod. add.
80	1,67	sabbia limosa mod. add.
107	2,06	sabbia limosa mod. add.
71	4,04	limo argi. molto consist.
48	5,00	argilla lim. molto cons.
21	9,52	argilla molto consistente
19	10,88	argilla consistente
24	3,06	limo sabb. molto consist.
22	5,15	argilla lim. molto cons.
21	4,44	limo argi. molto consist.
17	3,14	limo sabbioso consistente
29	2,76	limo sabb. molto consist.
46	3,77	limo argi. molto consist.
47	2,84	limo sabb. molto consist.
41	1,30	sabbia mod. addensata
17	9,80	argilla consistente
14	5,71	argilla limosa consist.
64	1,67	sabbia limosa mod. add.
72	2,87	limo sabb. molto consist.
91	3,15	limo sabb. molto consist.
153	1,48	sabbia addensata
50	2,93	limo sabb. molto consist.
10	14,67	torba argill. mod. cons.
18	6,67	argilla consistente
48	2,08	sabbia limosa mod. add.
52	1,79	sabbia limosa mod. add.
43	3,10	limo sabb. molto consist.
23	5,51	argilla lim. molto cons.
18	3,70	limo argilloso consist.
13	9,74	argilla consistente
27	6,42	argilla molto consistente
32	6,46	argilla molto consistente
13	8,72	argilla consistente
12	4,44	limo argilloso consist.
10	5,33	argilla limosa mod. cons.
12	4,44	limo argilloso consist.
39	2,56	limo sabb. molto consist.
20	5,00	argilla limosa consist.
12	7,78	argilla consistente
10	7,33	argilla mod. consistente
34	2,75	limo sabb. molto consist.
47	2,13	sabbia limosa mod. add.
19	7,02	argilla consistente
26	4,36	limo argi. molto consist.
47	3,12	limo sabb. molto consist.
96	1,32	sabbia mod. addensata
118	2,09	sabbia limosa mod. add.
106	1,32	sabbia mod. addensata
136	1,81	sabbia limosa addensata
145	1,79	sabbia limosa addensata



# PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT4

Caratteristiche strumetali :

Penetrometro statico PAGANI TG 63 (200KN)  
Punta meccanica tipo Begemann

## PARAMETRI GEOTECNICI

Cantiere : Rota Guido s.r.l.  
Località : Corte di Frati (CR)

Quota inizio : p.c.  
Profondità falda : 1,5 da p.c.

Data : 27/07/2017

Profondità ml	Rp (kg/cmq)	$\gamma$ (t/mc)	$\sigma$ (kg/cmq)	NATURA COESIVA		NATURA GRANULARE			
				Cu (kg/cmq)	Mo1 (kg/cmq)	Dr (%)	$\phi$ (°)	E (kg/cmq)	Mo2 (kg/cmq)
0,2	80	2,00	0,040	-	-	100	48	200	-
0,4	80	2,00	0,060	-	-	100	45	200	-
0,6	107	1,90	0,078	-	-	100	46	268	83
0,8	71	1,85	0,115	3,89	106,50	-	-	-	-
1	48	1,85	0,152	2,63	72,00	-	-	-	-
1,2	21	1,80	0,168	1,14	50,03	-	-	-	-
1,4	19	1,80	0,204	1,03	49,98	-	-	-	-
1,6	24	1,90	0,242	-	-	57	33	60	48
1,8	22	1,85	0,279	1,19	50,10	-	-	-	-
2	21	1,85	0,316	1,14	50,03	-	-	-	-
2,2	17	1,90	0,354	-	-	34	29	43	31
2,4	29	1,90	0,392	-	-	51	31	73	45
2,6	46	1,85	0,429	2,50	69,00	-	-	-	-
2,8	47	1,90	0,467	-	-	64	33	118	57
3	41	2,00	0,507	-	-	56	32	103	-
3,2	17	1,80	0,543	0,90	49,37	-	-	-	-
3,4	14	1,85	0,580	0,74	47,03	-	-	-	-
3,6	64	2,00	0,620	-	-	67	33	160	-
3,8	72	1,90	0,658	-	-	70	33	180	65
4	91	1,90	0,696	-	-	77	34	228	72
4,2	153	2,00	0,736	-	-	95	36	383	-
4,4	50	1,90	0,774	-	-	52	30	125	52
4,6	10	1,80	0,810	0,50	41,29	-	-	-	-
4,8	18	1,80	0,846	0,94	49,77	-	-	-	-
5	48	1,90	0,884	-	-	47	30	120	49
5,2	52	1,90	0,922	-	-	49	30	130	51
5,4	43	1,90	0,960	-	-	41	29	108	45
5,6	23	1,85	0,997	1,21	50,23	-	-	-	-
5,8	18	1,85	1,034	0,93	49,77	-	-	-	-
6	13	1,80	1,070	0,66	45,88	-	-	-	-
6,2	27	1,85	1,107	1,42	51,23	-	-	-	-
6,4	32	1,85	1,144	1,70	53,60	-	-	-	-
6,6	13	1,80	1,180	0,65	45,88	-	-	-	-
6,8	12	1,85	1,217	0,59	44,54	-	-	-	-
7	10	1,85	1,254	0,48	41,29	-	-	-	-
7,2	12	1,85	1,291	0,59	44,54	-	-	-	-
7,4	39	1,90	1,329	-	-	29	27	98	39
7,6	20	1,85	1,366	1,02	50,00	-	-	-	-
7,8	12	1,80	1,402	0,58	44,54	-	-	-	-
8	10	1,80	1,438	0,47	41,29	-	-	-	-
8,2	34	1,90	1,476	-	-	21	25	85	35
8,4	47	1,90	1,514	-	-	32	27	118	44
8,6	19	1,80	1,550	0,96	49,98	-	-	-	-
8,8	26	1,85	1,587	1,34	50,90	-	-	-	-
9	47	1,90	1,625	-	-	30	26	118	44
9,2	96	2,00	1,665	-	-	56	30	240	-
9,4	118	1,90	1,703	-	-	62	31	295	73
9,6	106	2,00	1,743	-	-	58	30	265	-
9,8	136	1,90	1,781	-	-	66	31	340	77
10	145	1,90	1,819	-	-	68	32	363	80

Rp = resistenza alla punta

$\gamma$  = peso di volume

$\sigma$  = pressione verticale

Cu = coesione non drenata (Lunne e Eide)

Mo1 = modulo edometrico (Mitchell e Gardner)

Dr = densità relativa (Schmertmann)

$\phi$  = angolo d'attrito interno (Caquot)

E = modulo di Young (Schmertmann)

Mo2 = modulo edometrico (Robertson e Campanella)



# COMUNE DI CORTE DE' FRATI

PROVINCIA DI CREMONA

## RELAZIONE GEOLOGICA

A SUPPORTO DELLA VARIANTE AL PGT DI CORTE DE' FRATI  
- AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVA ATP1 -

PROGETTO DI AMPLIAMENTO  
DELLO STABILIMENTO ROTA GUIDO SRL

Elaborato :

DOCUMENTAZIONE INDAGINE GEOFISICA

A cura di :

**STUDIO GEOLOGICO**  
**Dr.Geol. Raffaello Zanardi**  
Via Monte Gottero, 34 43124 - Parma  
Tel. 347/0013534  
mail: raf.geo@hotmail.it

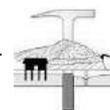
Committente :

**Rota Guido s.r.l.**  
Via F.lli Bandiera  
Corte dè Frati (CR)

Data :

agosto 2017

**All.4**



## A. METODOLOGIA MASW

La tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) consiste nell'analisi della dispersione delle onde di superficie al fine di definire il profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio S (Park et al., 1999).

Nella tabella C6.2.I della CIRCOLARE 2 Febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP., dove si elencano le indagini di tipo geofisico con strumentazione in superficie, si parla di prova SASW (*Spectral Analysis of Surface Waves*). La procedura MASW non è altro che una prova SASW multicanale ed è pertanto più completa ed affidabile; di conseguenza risulta in accordo con le NTC08.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo, eseguito nel seguente sito in studio, le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Si ottiene una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel *range* di frequenze compreso tra 5 Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sui primi 30-50 m di profondità.

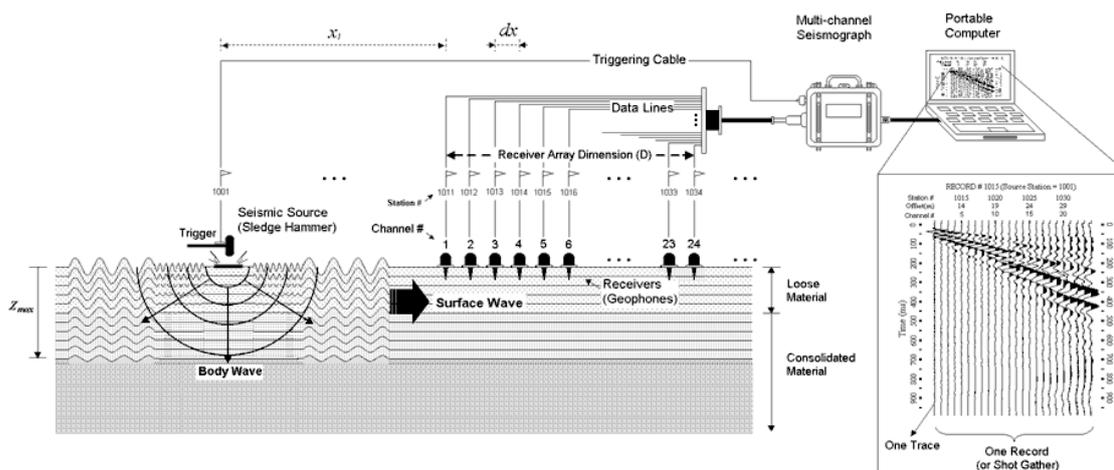
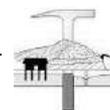


Figura 1. Metodo MASW attivo.

Quando si energizza il sito in un punto della sua superficie libera si generano diversi tipi di onde: se la sorgente è perpendicolare alla superficie libera si originano onde appartenenti al piano verticale (onde P, onde Sv, onde di Rayleigh e onde rifratte), se la sorgente è parallela alla superficie libera si generano onde appartenenti al piano orizzontale (onde Sh e onde di Love).

La MASW classica/standard consiste nella registrazione della propagazione di una classe di onde di superficie e specificatamente delle onde di Rayleigh: queste ultime vengono generate da una sorgente ad impatto verticale. Due sono gli aspetti che rendono il contributo delle onde di Rayleigh prevalente sul contributo delle onde P e Sv. Il primo aspetto è che le onde di Rayleigh trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che allontanandosi dalla sorgente le onde di Rayleigh subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e Sv, in quanto si



propagano secondo fronti d'onda cilindrici e non sferici (come le altre onde) viaggiando con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase (Achenbach, 1999, Aki e Richards, 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del sottosuolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano la porzione più profonda del sottosuolo.

In questa indagine accanto all'acquisizione MASW in Rayleigh viene proposta anche l'analisi della dispersione delle onde di Love, da analizzare congiuntamente alle Rayleigh, per meglio definire il substrato e superare talune ambiguità interpretative che possono presentarsi sugli spettri di velocità riferiti solo alle onde di Rayleigh. Le acquisizioni in onde di Love non possono sostituire completamente quelle in onde di Rayleigh ma la chiarezza dei loro spettri di velocità risulta di estrema utilità allorché gli spettri delle onde di Rayleigh risultino di ardua interpretazione in relazione alla presenza di forti segnali *scatterati* e all'intrecciarsi di diversi modi. L'unica grossa differenza tra le onde di Rayleigh e quelle di Love sta nel fatto che queste ultime si formano solo in caso di gradiente di velocità "positivo".

Sono inoltre state eseguite misure di microtremori atte ad analizzare il rapporto spettrale H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - HVSR) utile a definire eventuali risonanze di sito e, unitamente a misure di dispersione delle onde di superficie, a meglio vincolare il profilo  $V_s$  (Dal Moro, 2010; 2011). A causa della pesante non-univocità della soluzione una modellazione del solo HVSR senza quantitative informazioni sulle  $V_s$  da parte di misure MASW non risulta sufficientemente affidabile.

## **B. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI**

### *STRUMENTAZIONE*

L'acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 12 canali (modello Echo 2002) collegato a geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz.

È stato realizzato uno stendimento sismico lineare di lunghezza pari a 55 metri con spaziatura di 5 metri tra i 12 geofoni e tempo di acquisizione pari a 1 secondo.

L'acquisizione delle onde di Love è del tutto analoga a quelle di Rayleigh, cambia solo il tipo di sorgente e l'orientazione dei geofoni orizzontali (asse perpendicolare allo stendimento per le Love e asse parallelo per le Rayleigh, vedi figura seguente).

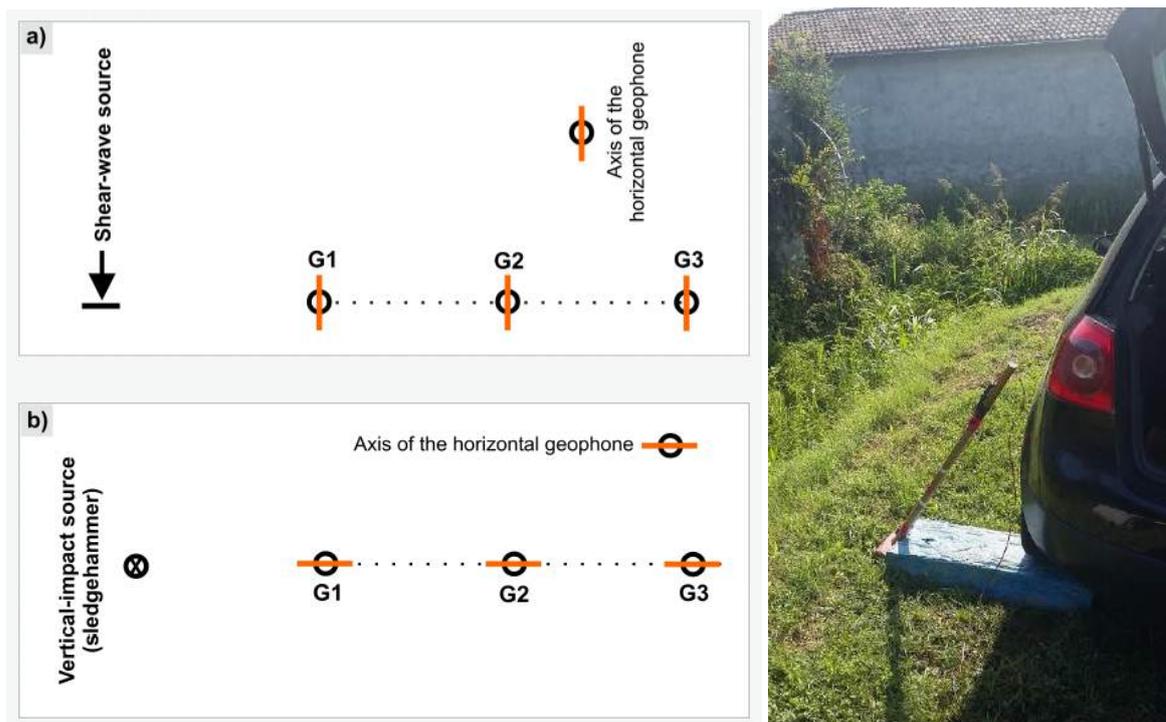
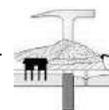


Figura 2. Acquisizione di dati: a) stendimento per acquisizione dati utili ad analizzare la dispersione delle onde di Love; b) stendimento per acquisizione dati utili ad analizzare la dispersione delle onde di Rayleigh (componente radiale). Nella fotografia a destra la predisposizione alla battuta di taglio su piastra in polipropilene.



Figura 3. Stendimento sismico (a sinistra) e acquisizione HVSR (a destra).

L'energizzazione è stata effettuata in posizione esterna rispetto al geofono 1 con offset pari a 5.0 m; per le onde di Rayleigh si è utilizzata una mazza battente di 8 kg ad impatto verticale su piastra metallica, per quelle di Love una mazza battente ad impatto di taglio su piastra in polipropilene.



Le acquisizioni utili ad analizzare il rapporto spettrale H/V (HVSr) sono state eseguite utilizzando lo strumento SR04-GEOBOX, dotato di sensore a 2.0 Hz (Sara electronic instruments). L'analisi dei dati acquisiti è stata eseguita utilizzando il software WINMASW 6.0 versione Professional.

### ANALISI RAYLEIGH + LOVE

Dai sismogrammi acquisiti nel dominio spazio-tempo si determinano mediante la trasformata di Fourier gli spettri nel dominio frequenza-ampiezza e successivamente attraverso il metodo denominato *phase shift* gli spettri nel dominio frequenza-velocità.

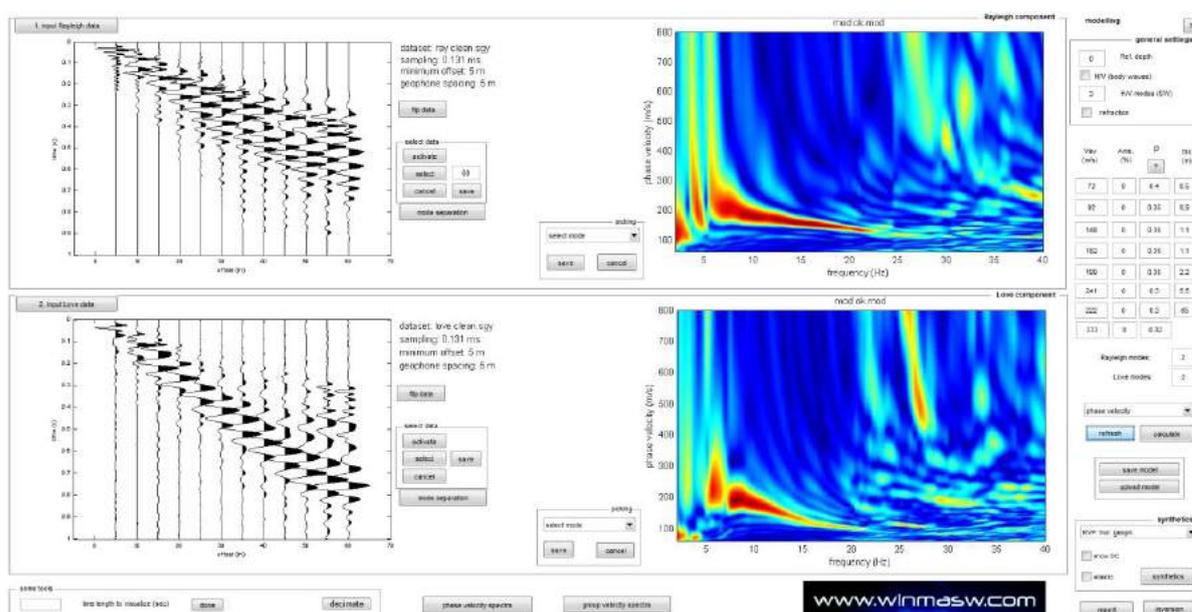


Figura 4. Acquisizione della componente radiale delle onde di Rayleigh (RVF)\_in alto e delle onde di Love (THF)\_in basso. Sulla sinistra le tracce sismiche acquisite (sismogramma), sulla destra gli spettri di velocità.

Successivamente alla pulizia del dato si è proceduto alla modellazione diretta delle curve di dispersione. Ad entrambi gli spettri sono stata sovrapposte le curve di dispersione del modo fondamentale, nettamente dominante in entrambi i casi, e del primo superiore, di cui sono visibili piccoli frammenti ad alte frequenze.

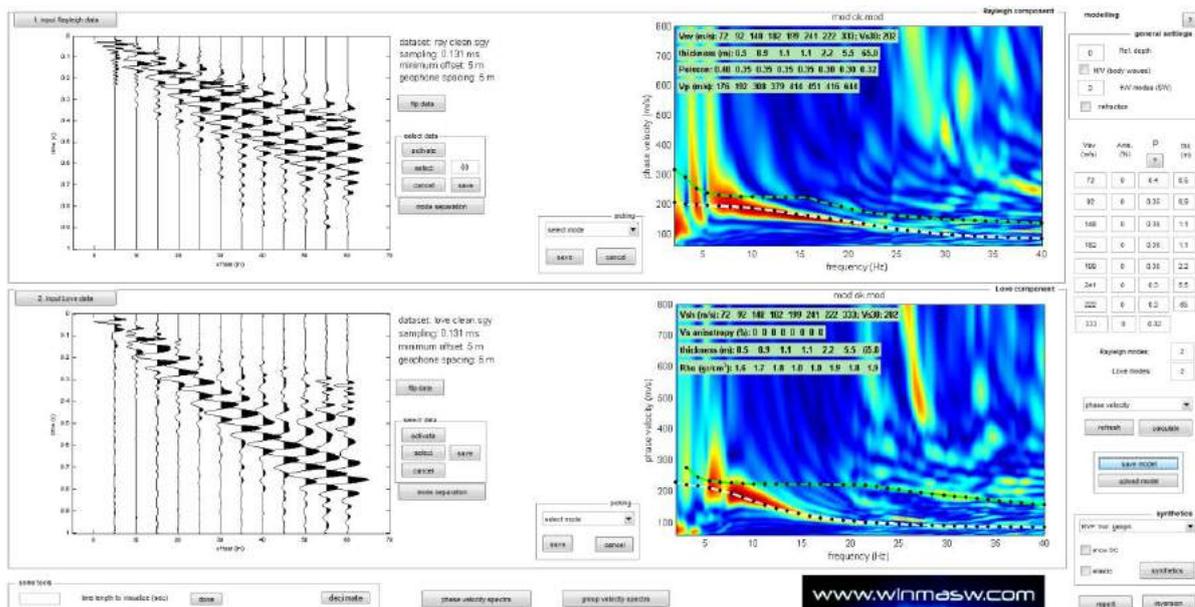
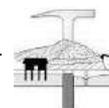


Figura 5. Spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei principali modi riconosciuti per la componente radiale delle onde Rayleigh (RVF) e per le onde di Love (THF).

RAPPORTI SPETTRALI H/V

Allo scopo di definire il periodo di risonanza di sito e migliorare (tramite analisi congiunta MASW+HVSR) la definizione del profilo verticale VS nelle porzioni più profonde, si è effettuata una misurazione di microtremore utile a definire il rapporto H/V lungo lo stendimento.

Nelle figure successive si riportano lo spettro d'ampiezza medio delle 3 componenti (NS, EW e verticale), le caratteristiche dei dati acquisiti e i valori HVSR per la misurazione eseguita.

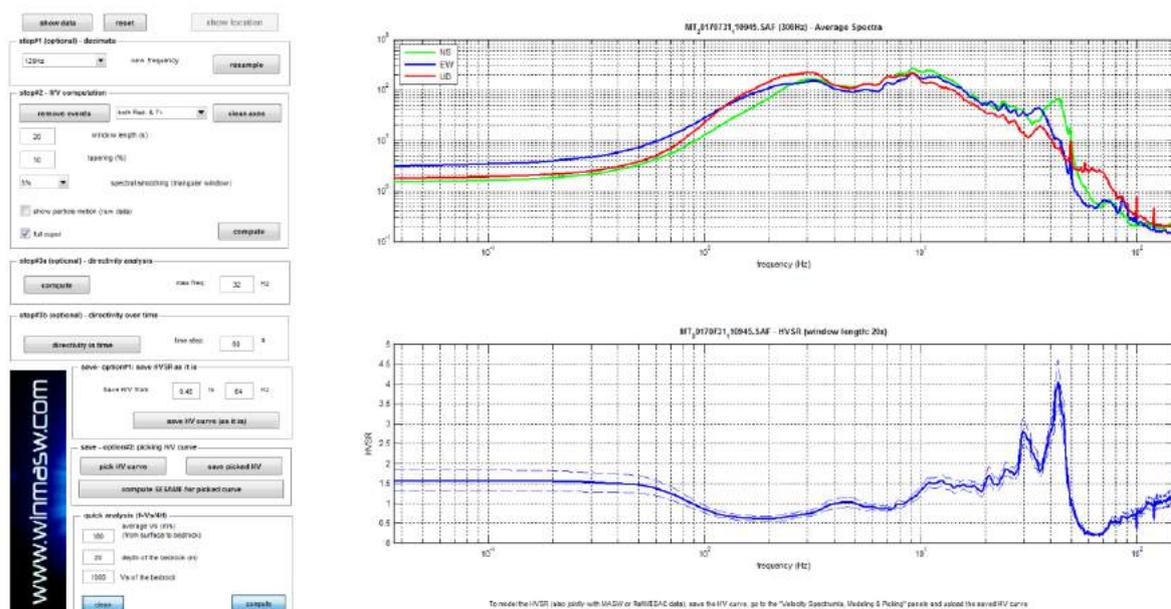


Figura 6. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

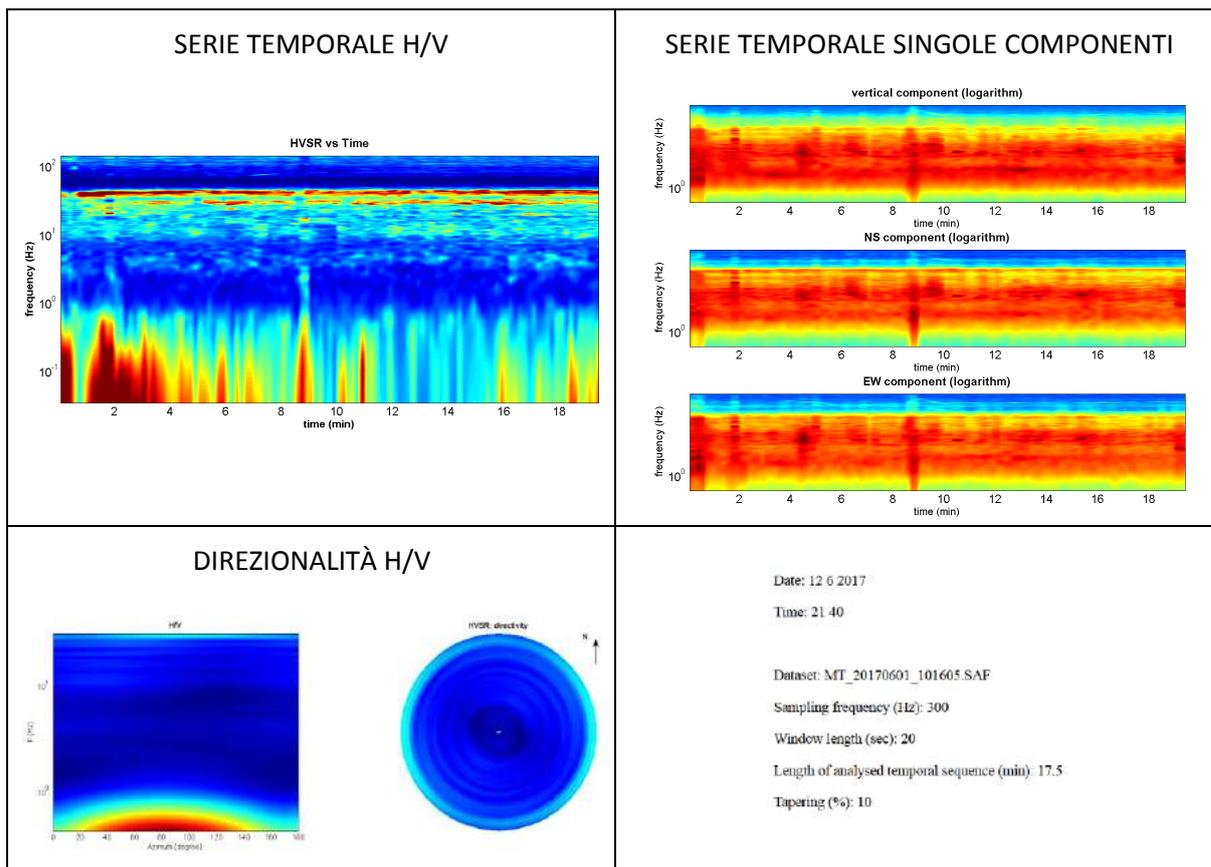
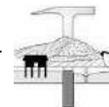


Figura 7. Caratteristiche dati acquisiti.

I criteri SESAME definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti. La curva HVSR è essenzialmente piatta, si segnalano soltanto dei picchi a frequenze molto alte, al di fuori del range di interesse ingegneristico.

La modellazione dell'HV realizzato è stata eseguita applicando lo schema geologico dato dall'analisi delle onde di superficie (figura successiva).

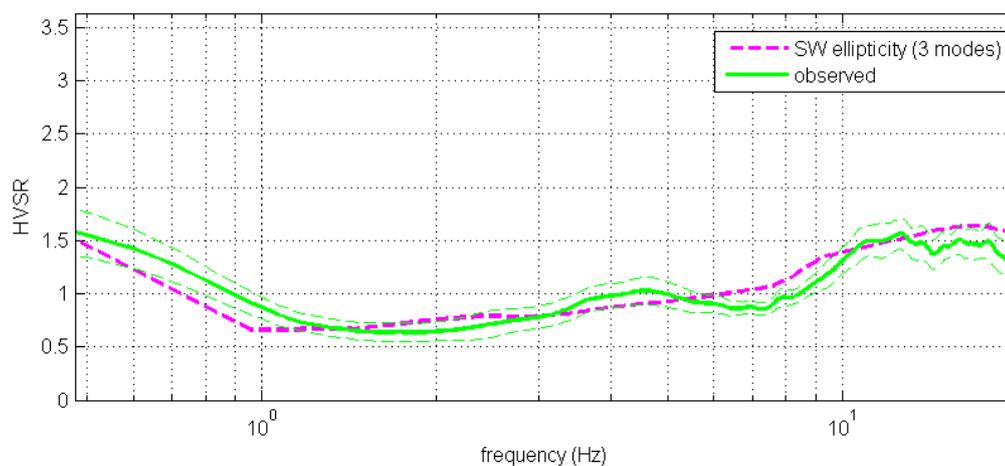
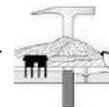


Figura 8. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.



## ANALISI CONGIUNTA

L'analisi congiunta dei dati ha restituito il modello finale di seguito riportato.

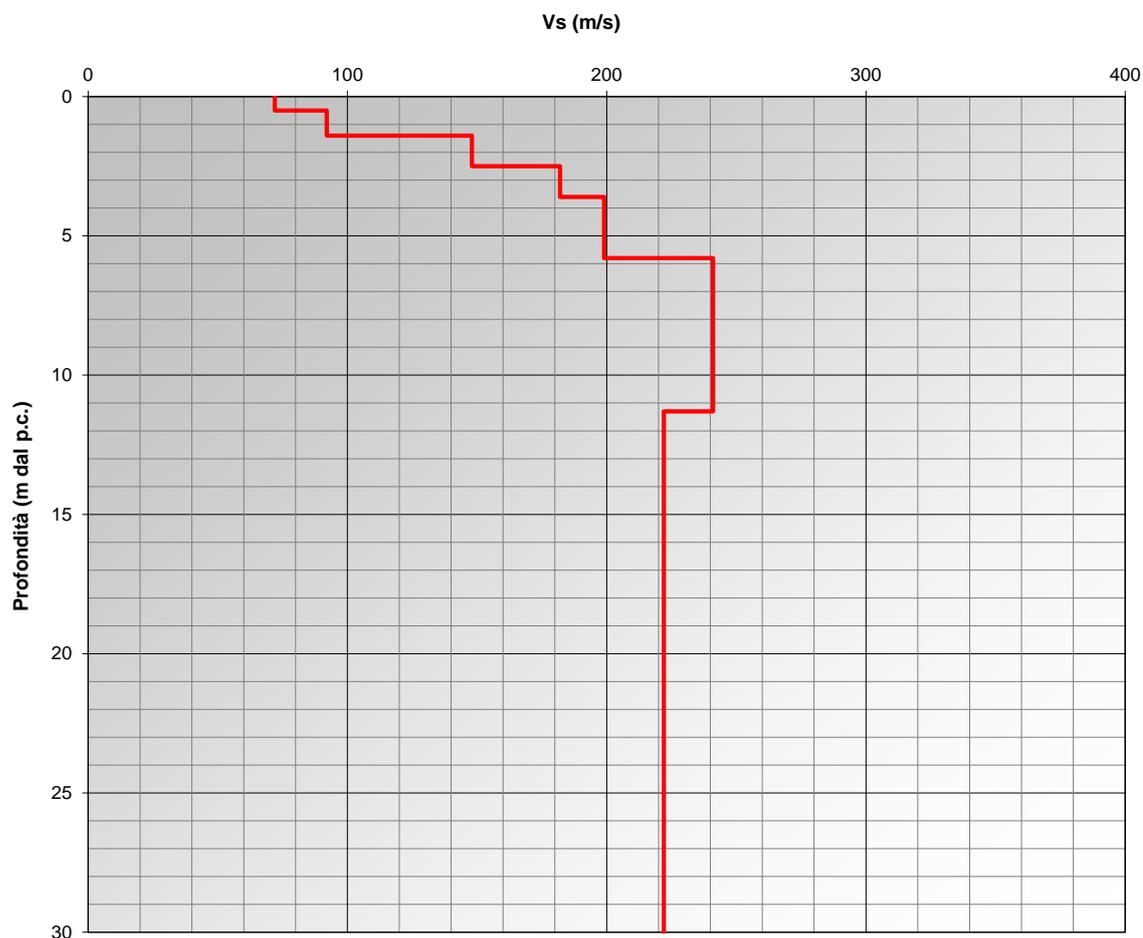
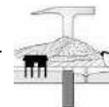


Figura 9. Profilo di velocità ottenuto dall'analisi congiunta.

Spessore (m)	Vs (m/s)
0,5	72
0,9	92
1,1	148
1,1	182
2,2	199
5,5	241
65,0	222
Inf.	333

Tabella 1. Modello di sottosuolo determinato mediante analisi congiunta.



## C. RISULTATI

La prova MASW unitamente all'analisi HVSR ha consentito di determinare, tramite la relazione riportata di seguito (NTC08), un valore di Vs30 al piano campagna pari a 202 m/s.

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

hi: spessore in metri dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

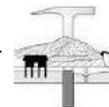
Vs,i: velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato.

Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)	Hi/Vs <sub>i</sub>
0,0 – 0,5	72	0,00694
0,5 – 1,4	92	0,00978
1,4 – 2,5	148	0,00743
2,5 – 3,6	182	0,00604
3,6 – 5,8	199	0,01106
5,8 – 10,8	241	0,02282
10,8 – 30,0	222	0,08423

Tabella 2. Modello per calcolo Vs30.

Profondità calcolo Vs30 (m dal p.c.)	Vs30 (m/s)
0,0	202
0,5	209
1,0	214
2,0	220
3,0	222
4,0	224
5,0	225

Tabella 3. Valori di Vs30 in funzione della profondità di calcolo.



## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Dziewonski A., Bloch S., and Landisman M., 1969. *A technique for the analysis of transient seismic signals*. Bulletin of the Seismological Society of America, 59, No. 1, 427-444
- Levshin A.L., Pisarenko V., Pogrebinsky G., 1972. *On a frequency-time analysis of oscillations*. Annales Geophys.; 28, 211-218.
- Aki K. and Richards P.G., 1980. *Quantitative Seismology, Theory and Methods*, Vol. 1-2, W.H. Freeman & Co., New York.
- Tokimatsu K., Tamura S., Kojima H., 1992. *Effects of Multiple Modes on Rayleigh Wave Dispersion Characteristics*. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 118 (10), 1529-1543.
- Achenbach J.D., 1999. *Wave Propagation in Elastic Solids*, North-Holland, Amsterdam, Netherlands.
- Park C. B., Miller R. D. & Xia J., 1999. *Multichannel analysis of surface waves*, Geophysics, 64, 3; 800-808.
- Zywicki D.J., 1999. *Advanced Signal Processing Methods Applied to Engineering Analysis of Seismic Surface Waves*, Ph.D. Dissertation, Georgia Institute of Technology.
- Herrmann R.B. 2003. *Computer Programs in Seismology*.
- O'Neill A., Dentith M., List R., 2003. *Full-waveform P-SV reflectivity inversion of surface waves for shallow engineering applications*, Exploration Geophysics, 34, 158-173.
- Arai H., Tokimatsu K., 2004. *S-wave velocity profiling by inversion of microtremor H/V spectrum*, Bull. Seism. Soc. Am: 94, 53-63.
- Safari J., O'Neill A., Matsuoka T., Sanada Y. (2005). *Applications of Love Wave Dispersion for Improved Shear-wave Velocity Imaging*, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 10, 135-150.
- Dal Moro G., Pipan M. & Gabrielli P., 2007. *Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probability Density Evaluation*, J. Appl. Geophysics, 61, 39-55.
- Herak M., 2008. *Model HVSR - A Matlab tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise*, Computers & Geosciences, 34, 1514-1526.
- Lunedei E. and Albarello D.; 2009. *On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth*, Geophys. J. Int., 177, 1001-1014.
- Software *Microtremor* (<http://nato.gfz.hr/SW.zip>) di Albarello D. & Lunedei E. (vedi Lunedei E., Albarello D., 2009, *On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth*, *Geophys. J. Int.*, 177, 1001-1014).
- Dal Moro G., 2010. *Insights on Surface-Wave Dispersion Curves and HVSR: Joint Analysis via Pareto Optimality*, J. Appl. Geophysics, 72, 29-140.
- Dal Moro G. & Ferigo F., 2011. *Joint Analysis of Rayleigh - and Love-Wave Dispersion for Near-Surface Studies: Issues, Criteria and Improvements*, J. Appl. Geophysics, in stampa.
- Dal Moro G., 2011. *Some Aspects about Surface Wave and HVSR Analyses: an Short Overview and a Case Study*, BGTA (Bollettino Geofisica Teorica e Applicata), Vol. 52, in stampa.
- Luo Y., Xia J., Xu Y. & Zeng C., 2011, *Analysis of group-velocity dispersion of high-frequency Rayleigh waves for near-surface applications*. Journal of Applied Geophysics, 74, 157-165.

## RIFERIMENTI NORMATIVI

- D.M. 14 Gennaio 2008. *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*.
- CIRCOLARE 2 Febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP. *Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008*.

COMUNE DI CORTE DE' FRATI  
PROVINCIA DI CREMONA

**RELAZIONE GEOLOGICA**

A SUPPORTO DELLA VARIANTE AL PGT DI CORTE DE' FRATI  
- AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVA ATP1 -

PROGETTO DI AMPLIAMENTO  
DELLO STABILIMENTO ROTA GUIDO SRL

Elaborato :

**ASSEVERAZIONE AI SENSI DELLA DGR IX 2616/2011**

A cura di :

**STUDIO GEOLOGICO**  
**Dr.Geol. Raffaello Zanardi**  
Via Monte Gottero, 34 43124 - Parma  
Tel. 347/0013534  
mail: raf.geo@hotmail.it

Committente :

**Rota Guido s.r.l.**  
**Via F.lli Bandiera**  
**Corte dè Frati (CR)**

Data :

agosto 2017

**All.5**



1.1 VERIFICA SISMICA DI SECONDO LIVELLO PSL 2 LIV – DGR IX 2616/2011 all. 5 p.to 2.2

- Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) > Soglia comunale (FAS)\*
- Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) <= Soglia comunale (FAS)\*
- Analisi di secondo livello non effettuata

\* tenuto conto delle tolleranze ammesse nell'Allegato 5 della D.G.R. IX/2616/2011

2. CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR IX 2616/2011 p.to 3.1

- 1 senza particolari limitazioni
- 2 con modeste limitazioni
- 3 con consistenti limitazioni
- 4 con gravi limitazioni

2.1 TIPO DI LIMITAZIONE ALLA FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR IX 2616/2011 p.to 3.2

- a) Instabilità dei versanti dal punto di vista statico
- b) Vulnerabilità idrogeologica
- c) Vulnerabilità idraulica
- d) Scadenti caratteristiche geotecniche
- nessuna particolare limitazione

**DICHIARA INOLTRE**

- C. di aver seguito tutte le prescrizioni previsti dalle norme geologiche di piano vigenti riportate nel piano delle regole del PGT del Comune di .....CORTE DE' FRATI.....
- D. di aver eseguito ai sensi degli allegati alla DGR IX/2616 del 30 novembre 2011:
  - Approfondimento relativo all'instabilità dei versanti dal punto di vista statico (App1)
  - Approfondimento relativo alla vulnerabilità idrogeologica (App2)
  - Approfondimento relativo alla vulnerabilità idraulica (App3)
  - Approfondimento relativo alle scadenti caratteristiche geotecniche (App4)
  - Approfondimento relativo agli aspetti sismici (App5), la cui tipologia e grado sono dettagliatamente descritte nelle successive schede
  - Nessun particolare approfondimento
- E. di aver redatto il modello geologico del sito sulla base di:
  - indagini appositamente eseguite nel sito d'interesse o nel suo immediato intorno, del tipo .....N° 4 PROVE PENNETROMETRICHE STATICHE CPT SPINTE FINO ALLA PROFONDITA' MASSIMA DI 14,60 M DAL P.C. ....
  - indagini pregresse, la cui estendibilità al sito d'interesse è stata adeguatamente motivata in relazione, del tipo .....

- F. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico attraverso:
- analisi di risposta sismica locale
  - procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria di sottosuolo, di cui al punto 3.2.2 delle NTC, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione :
    - A       B       C       D       E
 mediante la seguente tipologia d'indagine .....  
MASW+HVSr  
 la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione
- G. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo topografico attraverso:
- analisi di risposta sismica locale
  - procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria topografica, di cui al punto 3.2.2 delle NTC, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione:
    - T1       T2       T3       T4
 mediante analisi morfologica condotta su base topografica a scala .....  
 la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione
- H. di aver adeguatamente considerato la sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione, mediante:
- esclusione della verifica (punto 7.11.3.4.2 NTC), opportunamente motivata in relazione
  - verifica di stabilità (punto 7.11.3.4.3 NTC) mediante la seguente metodologia .....
- I. che l'intervento previsto risulta fattibile e compatibile con l'assetto geologico del sito:
- senza esecuzione di opere e/o interventi specifici per la mitigazione del rischio
  - previa esecuzione di opere e/o accorgimenti costruttivi da eseguirsi durante i lavori relativi all'intervento in oggetto
  - previa esecuzione di specifiche opere e/o interventi per la mitigazione del rischio da eseguirsi prima dei lavori relativi all'intervento in oggetto; in relazione a questo si specifica che tali lavori:
    - non sono stati eseguiti o sono stati eseguiti solo parzialmente
    - sono stati eseguiti nel rispetto delle prescrizioni contenute nello studio specifico e con il quale risultano compatibili

**ASSEVERA**

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale e regionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti di cui all'art. 10 della legge 675/96 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

Data 08/08/2017 .....

