



PROVINCIA DI VERONA



COMUNE DI SANGUINETTO

REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLABILE PER GARANTIRE L'ACCESSO IN SICUREZZA AL CENTRO URBANO DI SANGUINETTO

CUP: C21B18000120006

PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA SULLE INDAGINI E SISMICA

N. COMMESSA 20023		DATA: Maggio 2022	SCALA : -	ALLEGATO: R.02		
REDAZIONE: PROGETTI SERVIZI VERONA s.r.l.  Ing. Silvano Rossato Geol. Claudio Leoncini Geom. Giulio Zampini Geom. Nicola Cordioli SEDE LEGALE: Viale Cristoforo Colombo, 131 37138 Verona UFFICIO TECNICO: 37066 Sommacampagna (VR) Via Osteria Grande, 61 Tel. 045 510288 - Fax 045 510514 Codice Fiscale - P. IVA 03085450231 e-mail: info@psvsrl.com www.psvsrl.com DIRETTORE TECNICO: Dott. Ing. Silvano Rossato			IL GEOLOGO PROGETTI SERVIZI VERONA s.r.l. Dott. Geol. Claudio Leoncini 		IL COMMITTENTE: COMUNE DI SANGUINETTO Via Interno Castello, 2 37058 Sanguinetto (VR)	
C						
B						
A	Giu. 22	EMISSIONE PER APPROVAZIONE				
REV.	DATA	DESCRIZIONE			REDATTO	
					CONTROLL.	
					APPROV.	
Nome file:			SCALA DI PLOT.: -			
IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DI PSV srl. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE. THIS DOCUMENT MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF PSV srl, UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED BY LAW.						

Comune di Sanguinetto

Provincia di Verona

Committente:

Comune di Sanguinetto



Progetto:

**LAVORI DI REALIZZAZIONE PISTA CICLABILE PER GARANTIRE
L'ACCESSO IN SICUREZZA AL CENTRO URBANO**

Elaborato:

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA SULLE
INDAGINI E SISMICA**

D.M. 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni

Sommacampagna (VR), maggio 2022

INDICE

PREMESSA	3
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
1. OPERA IN PROGETTO	5
2. RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI.....	6
2.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
2.2. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI E GEOLOGICI.....	8
2.3. IDROGRAFIA SUPERFICIALE E IDROGEOLOGIA.....	11
2.4. PIANIFICAZIONE COMUNALE – PATI DEL COMUNE DI SANGUINETTO	13
2.5. INDAGINI GEOGNOSTICHE	16
2.5.1. Prove penetrometriche statiche (CPT)	18
2.5.2. Prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH)	21
2.5.3. Prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi.	22
2.5.4. Registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R.....	23
2.5.5. Trincee esplorative.....	24
2.6. MODELLO GEOLOGICO LOCALE	25
2.7. MODELLO GEOTECNICO LOCALE	26
3. RELAZIONE SISMICA.....	27
3.1. CARATTERI SISMOGENETICI DELL' AREA	27
3.2. SORGENTI SISMOGENETICHE	29
3.3. SISMICITÀ STORICA.....	32
3.4. ZONAZIONE SISMICA	33
3.5. AZIONE SISMICA	35
3.6. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	37
3.7. MAGNITUDO ATTESA	38
3.8. ACCELERAZIONE MASSIMA AL SITO	39
3.9. SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	40
3.9.1. Stabilità nei confronti della liquefazione.....	42
4. CONCLUSIONI.....	43
5. ALLEGATI.....	44

PREMESSA

La presente relazione, condotta su incarico del COMUNE DI SANGUINETTO, riguarda la caratterizzazione geologica, geomorfologia, idrogeologica e sismica dei luoghi riguardanti i *“Lavori di realizzazione pista ciclabile per garantire l'accesso in sicurezza al centro urbano”*, da eseguirsi nel territorio comunale di Sanguinetto.

Lo scopo è stato quello di definire il modello geologico del sito, oltre a *“costituire utile elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici”* in ottemperanza al **D.M. 17 gennaio 2018 “Norme tecniche per le costruzioni”**.

Lo studio si è articolato nei seguenti punti:

- ✓ raccolta ed analisi della Letteratura geologica esistente e delle indagini pregresse eseguite nei dintorni del sito in oggetto;
- ✓ analisi dei risultati ottenuti con la campagna geognostica eseguita dal Dott. Geol. Luca Bersani, nel corso della quale sono state realizzate le seguenti indagini:
 - n. 4 prove penetrometriche statiche (CPT), spinte a profondità variabili tra 6,4÷19,4 m da p.c.;
 - n. 1 prova penetrometrica dinamica (DPSH), spinta fino alla profondità di 12,4 m da p.c.;
 - n. 2 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor);
 - n. 2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio);
 - n. 2 prelievi di terreno con trivella a mano;
 - n. 2 scavi esplorativi;
- ✓ stesura della presente relazione tecnica.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella redazione della presente relazione ci si è attenuti alle prescrizioni della Normativa vigente, in particolare:

- **D.M. LL.PP. 11-3-1988:** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- **Circ. Min. LL.PP. 24-9-1988 n. 30483:** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce; la stabilità dei pendii e delle scarpate, e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione";
- **Circ. Min. LL.PP. 09-01-1996 n. 218/24/3:** "Legge 2 febbraio 1974 n. 64. Decreto Min. LL.PP. 11 marzo 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica.".
- **Circ. del Presidente della Giunta Regionale Veneto n. 9 del 05-04-2000:** "Indirizzi in materia di prescrizioni tecniche da osservare per la realizzazione di opere pubbliche e private. Obblighi derivanti dalla L. 02 Febbraio 1974, n.64 e dal D.M. 11 Marzo 1988."
- **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) n° 3274 del 20-03-2003,** riguardante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) n° 3519 del 28-04-2006,** Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.
- **D. Min. Infrastrutture e Trasporti del 14-9-2005,** Norme tecniche per le costruzioni "Testo Unico".
- **D.Min. Infrastrutture e trasporti del 14-1-2008:** Nuove norme tecniche per le costruzioni.
- **Circ. Cons. Sup. LL.PP. n. 617 del 2 febbraio 2009** - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- **D. Min. Infrastrutture e trasporti del 17.01.2018:** "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni (NTC)";
- **Min. Infrastrutture e trasporti - Circ. 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP:** "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".

1. OPERA IN PROGETTO

La pista ciclabile di progetto si sviluppa lungo un tracciato della lunghezza di circa 1 km su sede propria, sfruttando ove possibile il sedime demaniale dell'alveo dello scolo Boschetti, oggetto di tombamento e nuova alveazione.

La sezione prevista è di tipo bidirezionale e ha una larghezza di 2,50 m. Lungo il tracciato saranno realizzate aree di sosta.

La realizzazione della sede della pista ciclabile comprende:

- scotico preventivo di 30 cm;
- posa di geotessile tessuto trama e ordito;
- scavo per la realizzazione del cassonetto stradale/riporto di materiale per realizzazione di scarpata;
- costipazione del terreno;
- realizzazione di misto naturale tout-venant dello spessore di 20 cm;
- posa delle cordonate laterali singole di delimitazione o in forma di doppia cordonata di protezione per la realizzazione di aiuola piantumata;
- realizzazione di misto naturale stabilizzato dello spessore di 5 cm;
- posa di pavimentazione a finire per manto di usura superficiale dello spessore di 3 cm.

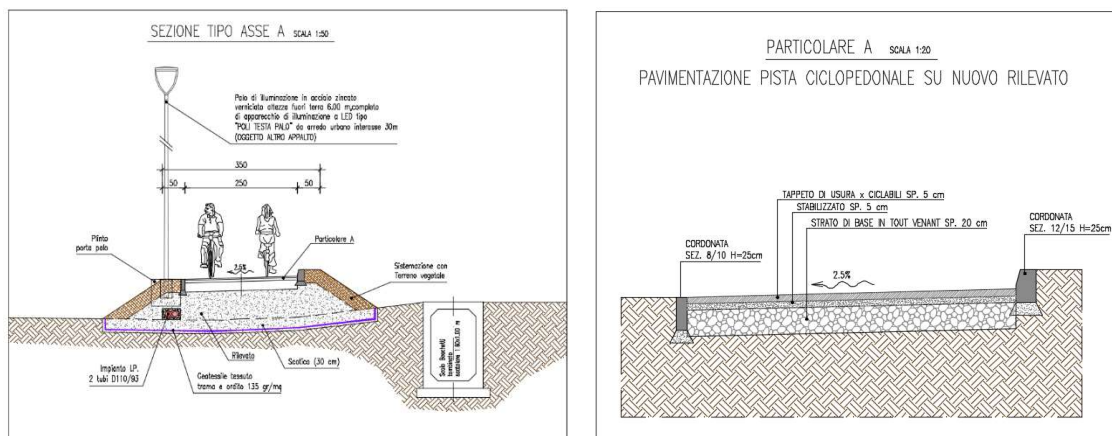


Figura 1: sezione tipologica di progetto

2. RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA SULLE INDAGINI

2.1. Inquadramento territoriale

Il tracciato della pista ciclabile si svolge, con direzione approssimativa N-S, ad est del centro abitato di Sanguinetto.

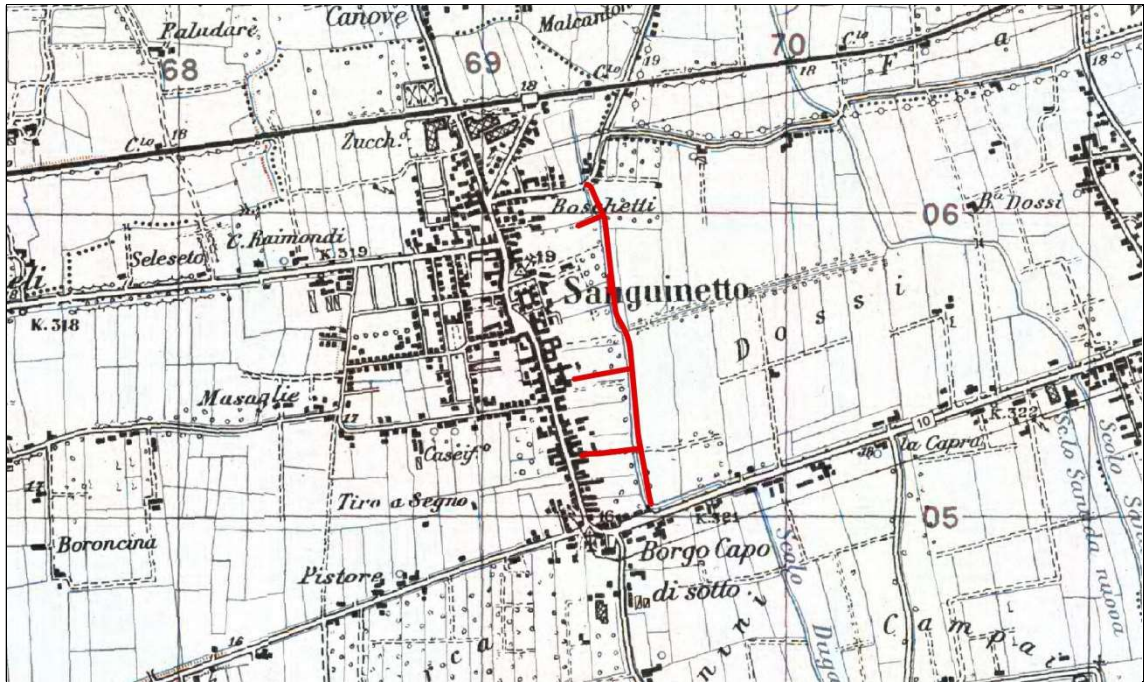


Figura 2: estratto della Carta Topografica d'Italia – scala 1:25000



Figura 3: immagine estratta da Google Earth

Comune di SANGUINETTO

La quota topografica è compresa tra circa 15÷16 m s.l.m.

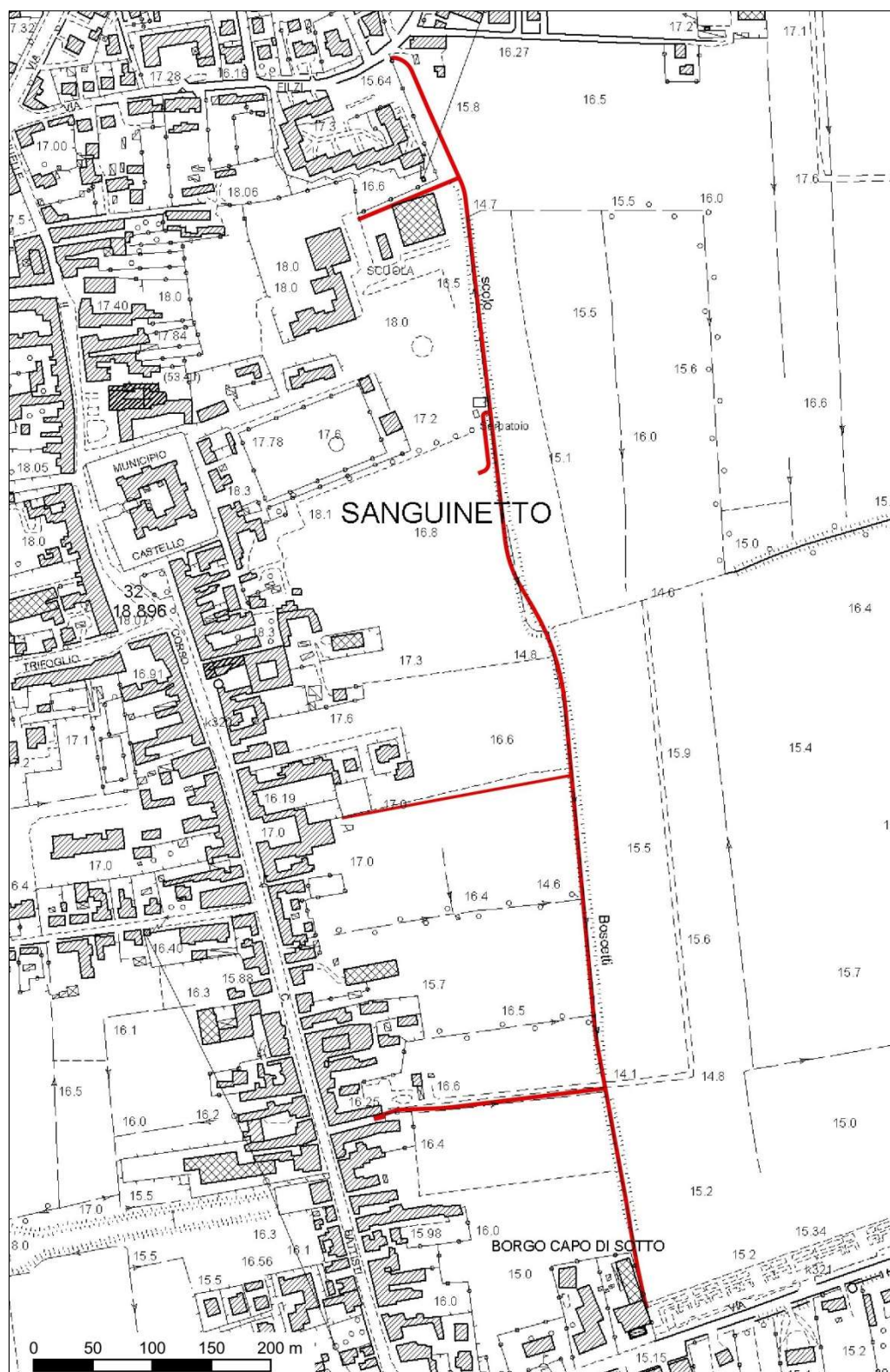


Figura 4: estratto della CTR – sezione n° 166020 “Sanguinetto”

2.2. Lineamenti geomorfologici e geologici

La morfologia del territorio comunale di Sanguinetto è caratterizzata da una vasta pianura con deboli pendenze degradanti verso sud.

L'area in oggetto è posta sul grande conoide fluvioglaciale dell'Adige che si apre a ventaglio sulla pianura veronese. Al termine delle glaciazioni, il fiume ha inciso il suo stesso conoide e lo ha rimodellato con ampie divagazioni. Il conoide atesino è stato ulteriormente modificato da corsi d'acqua di risorgiva, il cui divagare ha prodotto ampi terrazzamenti.

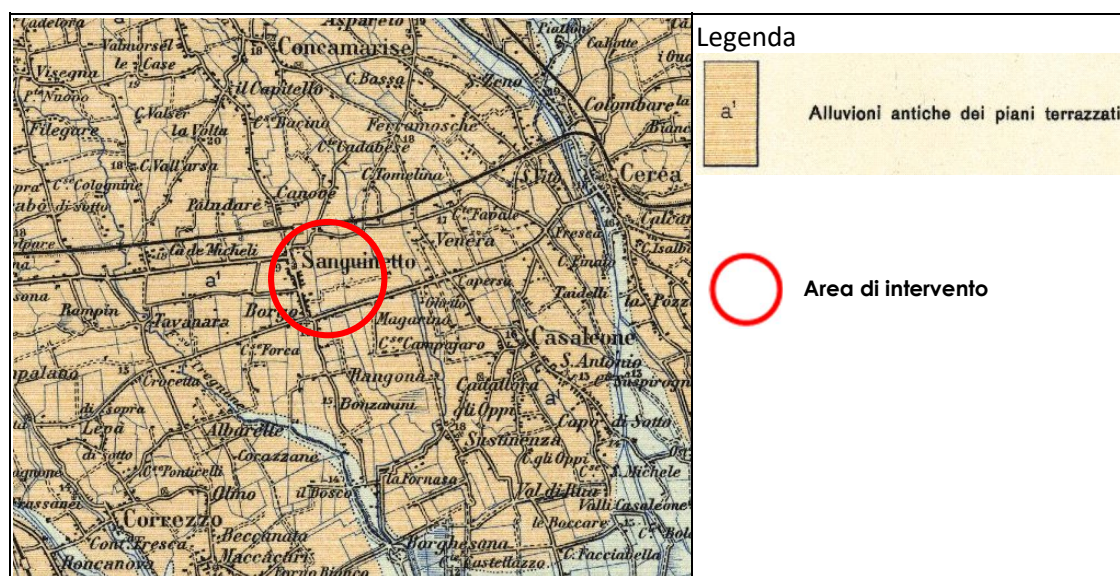


Figura 5: estratto della Carta Geologica d'Italia, foglio 63 Legnago

La pianura appare pertanto solcata da numerosi paleoalvei, i più evidenti dei quali sono quelli del Tregnone ad ovest e del Menago ad est. Altri paleoalvei, morfologicamente meno evidenti, sono stati utilizzati per la realizzazione di una rete di drenaggio artificiale, lungo i quali scorrono attualmente i fossi Sanuda e Boschetti.

In particolare, il fosso Boschetti rappresenta l'elemento idrografico in fregio o lungo il quale si svilupperà il tracciato della pista ciclabile in progetto.

Il Menago ha ereditato un alveo che appare sovradimensionato rispetto al suo attuale regime; esso occupa un relitto di paleoalveo dell'Adige würmiano. Sull'ampio letto fluviale si sono quindi venute a determinare le condizioni per

la formazione di acque stagnanti, con conseguente accumulo di potenti depositi torbosi noti come "Valli del Menago".

Tuttavia, all'interno dei paleoalvei presenti nell'area in oggetto non si rinvenivano materiali organici (torbe e/o argille organiche), come invece nelle stesse strutture geomorfologiche presenti ad est del territorio comunale di Sanguinetto.

I depositi affioranti sono rappresentati da sabbie o limi sabbiosi che in profondità si intercalano a sedimenti prevalentemente argillosi, limosi o sabbiosi che localmente presentano caratteristiche lenticolari.

Le stratigrafie dei pozzi che seguono, liberamente consultabili sul sito dell'ISPRA, confermano il continuo alternarsi di livelli sabbiosi, limosi e argillosi.

Codice pozzo: 164279

Dati generali	Ubicazione indicativa dell'area d'indagine
Codice: 164279 Regione: VENETO Provincia: VERONA Comune: SANGUINETTO Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 210,00 Quota pc slm (m): ND Anno realizzazione: 1990 Numero diametri: 3 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 42,000 Portata esercizio (l/s): 27,000 Numero falde: 3 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 8 Longitudine WGS84 (dd): 11,151239 Latitudine WGS84 (dd): 45,187411 Longitudine WGS84 (dms): 11° 09' 04,47" E Latitudine WGS84 (dms): 45° 11' 14,68" N	

(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	15,00	30,00	15,00
2	57,00	64,00	7,00
3	100,00	118,00	18,00

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	100,00	118,00	18,00	400

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
feb/1990	3,70	27,00	23,30	27,000

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	2,00	2,00		SUOLO
2	2,00	15,00	13,00		ARGILLA
3	15,00	30,00	15,00		SABBIA
4	30,00	57,00	27,00		ARGILLA LIMO E TORBA
5	57,00	64,00	7,00		SABBIA
6	64,00	100,00	36,00		ARGILLA LIMO E TORBA
7	100,00	118,00	18,00		SABBIA
8	118,00	120,00	2,00		ARGILLA

Codice pozzo: 164302

Dati generali	Ubicazione indicativa dell'area d'indagine
Codice: 164302 Regione: VENETO Provincia: VERONA Comune: SANGUINETTO Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 122,00 Quota pc slm (m): 18,00 Anno realizzazione: 1994 Numero diametri: 3 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 37,000 Portata esercizio (l/s): 27,000 Numero falde: 4 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 13 Longitudine WGS84 (dd): 11,148461 Latitudine WGS84 (dd): 45,190189 Longitudine WGS84 (dms): 11° 08' 54,46" E Latitudine WGS84 (dms): 45° 11' 24,68" N	

(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	15,00	20,00	5,00
2	57,00	65,00	8,00
3	68,00	71,00	3,00
4	100,00	119,00	19,00

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	100,00	119,00	19,00	400

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
set/1994	4,00	13,00	9,00	37,000

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,00	1,00		SUOLO
2	1,00	6,00	5,00		SABBIA
3	6,00	8,00	2,00		ARGILLA
4	8,00	15,00	7,00		SABBIA E ARGILLA
5	15,00	20,00	5,00		SABBIA
6	20,00	24,00	4,00		ARGILLA
7	24,00	57,00	33,00		SABBIA E ARGILLA
8	57,00	65,00	8,00		SABBIA MEDIA
9	65,00	68,00	3,00		ARGILLA
10	68,00	71,00	3,00		SABBIA
11	71,00	100,00	29,00		ARGILLA
12	100,00	119,00	19,00		SABBIA MEDIA
13	119,00	122,00	3,00		ARGILLA

Comune di SANGUINETTO

LAVORI DI REALIZZAZIONE PISTA CICLABILE PER GARANTIRE L'ACCESSO IN SICUREZZA AL CENTRO URBANO

Relazione geologica, geotecnica sulle indagini e sismica

Pag. 9

Codice pozzo: 164303

Dati generali

Codice: 164303
Regione: VENETO
Provincia: VERONA
Comune: SANGUINETTO
Tipologia: PERFORAZIONE
Opera: POZZO PER ACQUA
Profondità (m): 130,00
Quota pc slm (m): 19,00
Anno realizzazione: 1995
Numero diametri: 3
Presenza acqua: SI
Portata massima (l/s): 38,000
Portata esercizio (l/s): 27,000
Numero falde: 6
Numero filtri: 3
Numero piezometrie: 1
Stratigrafia: SI
Certificazione(*): NO
Numero strati: 21
Longitudine WGS84 (dd): 11,146800
Latitudine WGS84 (dd): 45,186850
Longitudine WGS84 (dms): 11° 08' 48.48" E
Latitudine WGS84 (dms): 45° 11' 12.66" N

Ubicazione indicativa dell'area d'indagine

(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	6,00	36,00	30,00
2	39,00	47,00	8,00
3	58,00	71,00	13,00
4	73,00	89,00	16,00
5	98,00	105,00	7,00
6	112,00	120,00	8,00

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	58,00	70,00	12,00	406
2	98,00	104,00	6,00	406
3	116,00	120,00	4,00	406

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
mag/1995	3,00	9,00	6,00	27,000

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,00	1,00		SUOLO
2	1,00	5,00	4,00		SABBIA LIMOSA
3	5,00	6,00	1,00		ARGILLA
4	6,00	10,00	4,00		SABBIA GIALLA FINE
5	10,00	36,00	26,00		SABBIA GRIGIA CON ARGILLA
6	36,00	39,00	3,00		ARGILLA LIMOSA
7	39,00	47,00	8,00		SABBIA FINE LIMOSA
8	47,00	58,00	11,00		ARGILLA LIMOSA
9	58,00	71,00	13,00		SABBIA MEDIA
10	71,00	73,00	2,00		ARGILLA LIMOSA
11	73,00	84,00	11,00		SABBIA LIMOSA
12	84,00	89,00	5,00		SABBIAT FINE
13	89,00	96,00	7,00		ARGILLA
14	96,00	98,00	2,00		LIMO
15	98,00	105,00	7,00		SABBIA MEDIA E ARGILLA
16	105,00	109,00	4,00		ARGILLA
17	109,00	112,00	3,00		LIMO
18	112,00	116,00	4,00		SABBIA FINE
19	116,00	120,00	4,00		SABBIA MEDIA
20	120,00	123,00	3,00		ARGILLA COMPATTA
21	123,00	130,00	7,00		ARGILLA E LIMO

Figura 6: stratigrafie pozzi da banca dati ISPRA

2.3. Idrografia superficiale e Idrogeologia

Il tracciato della ciclabile seguirà, come già menzionato, il sedime demaniale dell'alveo dello scolo Boschetti, oggetto di tombamento e nuova alveazione. Lo scolo Boschetti (o Dugal Boschetti) prende origine in prossimità di Concamarise, circa 2,5 km a NNW dell'inizio del tracciato e si immette nello scolo Sanuda circa 2,6 km a SSE del termine della tratto di ciclabile in progetto.

Il corso d'acqua principale della zona è rappresentato dal fiume Tregnone, il cui alveo scorre circa 2,2÷2,5 km a ovest dell'area in studio. Il Tregnone è un fiume alimentato da acque di risorgiva affioranti nei dintorni di Buttapietra.

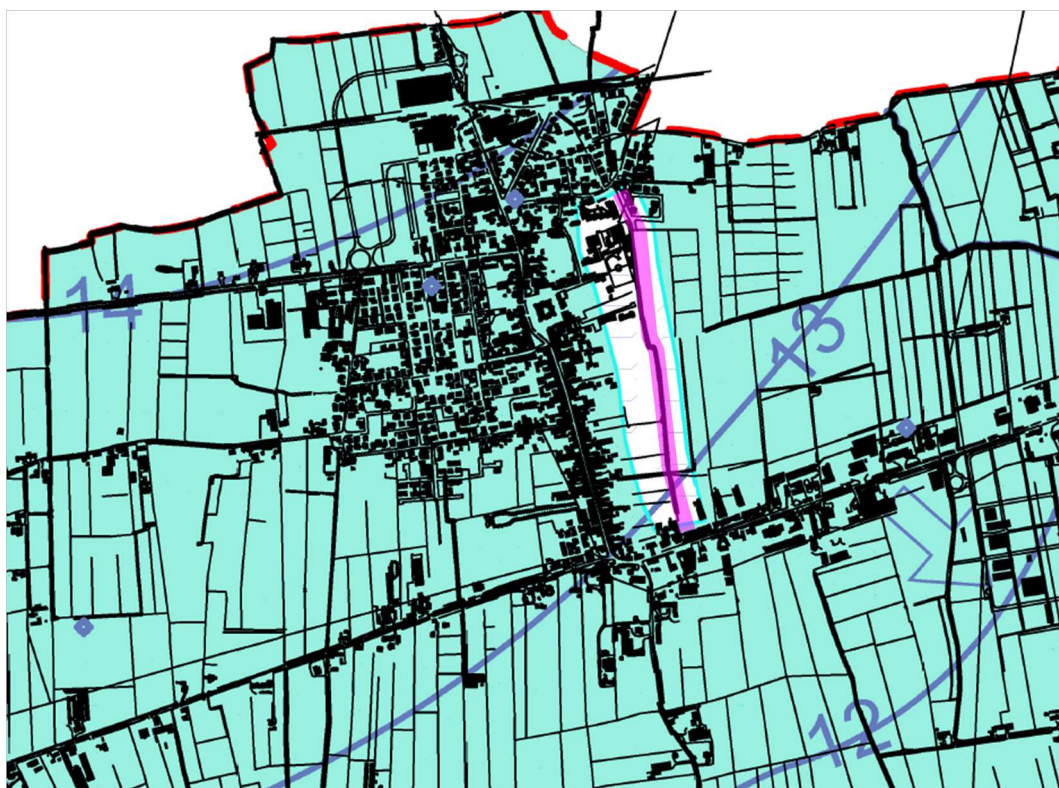
I fiumi di risorgiva sono originati dall'affioramento delle acque sotterranee lungo una fascia di territorio posta in corrispondenza del passaggio tra l'alta e la media pianura, nei punti più depressi della superficie topografica; essi mancano di un bacino idrografico ben definito, hanno portate costanti e temperature uniformi.

L'affioramento della falda è provocato dalla diminuzione di permeabilità dei depositi, dovuta alla rastremazione e all'esaurimento delle alluvioni ghiaiose, sostituite da materiali più fini.

In linea generale la tipologia idrogeologica della medio-bassa pianura è caratterizzata da un sistema multifalda, costituito da acquiferi per lo più confinati, separati da orizzonti limoso-argillosi.

La falda più superficiale è posta ad una quota compresa tra 13÷14 m s.l.m. (fonte: Tavola Idrogeologica del P.I. - Zusi, 2013) quindi ad una profondità di circa 2 m da p.c.

L'alimentazione del sistema multifalde, dipende a monte dal complesso monostrato indifferenziato del conoide sommitale, alimentato a sua volta dalla falda di subalveo dell'Adige, dalle piogge efficaci, dagli apporti ipogei dei rilievi lessinei oltre che dalla diffusa pratica irrigua che adotta il metodo a scorrimento diretto sul terreno.



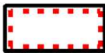








LEGENDA	
	Confini Comunali
	Pozzo con falda freatica
	Area Dissesto Idrogeologico
	Direzione di deflusso della falda freatica
	Area a deflusso difficoltoso
	Area con falda freatica compresa tra 0 e 2 m dal p.c.
	Corso d'acqua permanente
	Linea Isofreatica e sua quota assoluta
	Tracciato pista ciclabile

Figura 7: estratto Carta Idrogeologica PI

2.4. Pianificazione comunale – PATI del Comune di Sanguinetto

Il Piano di Assetto del Territorio Intercomunale (PATI) di Concamarise, Gazzo Veronese, Salizzole e Sanguinetto è stato adottato, per il Comune di Sanguinetto, con delibera di Consiglio Comunale n. 48 del 22/12/2008 e riadottato parzialmente con deliberazione C.C. n. 3 del 27/02/2010, approvato in Conferenza dei Servizi in data 17/08/2011 e ratificato con deliberazione della Giunta Regionale n. 1787 del 08 novembre 2011.

Il PATI rappresenta lo strumento di pianificazione che delinea le scelte strategiche di assetto e sviluppo del territorio comunale e individua le specifiche vocazioni e invarianti di natura geologica, geomorfologica, idrogeologica paesaggistica e ambientale.

La TAV 1 del PATI “Carta dei Vincoli e della Pianificazione Territoriale” (figura 8) è una tavola ricognitiva di tutti i vincoli gravanti sul territorio, derivanti da leggi nazionali e regionali. Dalla sua analisi si evince che lungo tutto il percorso non sono segnalati vincoli, ad eccezione della “fascia di rispetto stradale” nel tratto a nord, dove è posta in adiacenza alla viabilità ordinaria, e alla “fascia di rispetto per impianti di comunicazione elettronica ad uso pubblico”, in una limitata porzione del settore centrale della ciclabile.

La TAV 3 “Carta delle Fragilità” (figura 9) costituisce la sintesi di tutti quegli elementi che pongono dei limiti all'uso del territorio relativamente alla qualità dei terreni, alla vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, al rischio di dissesti idrogeologici, ovvero tutti quei componenti che rendono bassa o improbabile la trasformabilità del territorio.

Dall'analisi della suddetta carta si evince che tutto il tracciato si estende su **“area idonea a condizione”** per **“difficoltà di deflusso”** (02). Inoltre, la stessa **area** è ritenuta **soggetta a dissesto idrogeologico** e definita **“area esondabile o a periodico ristagno idrico”**.

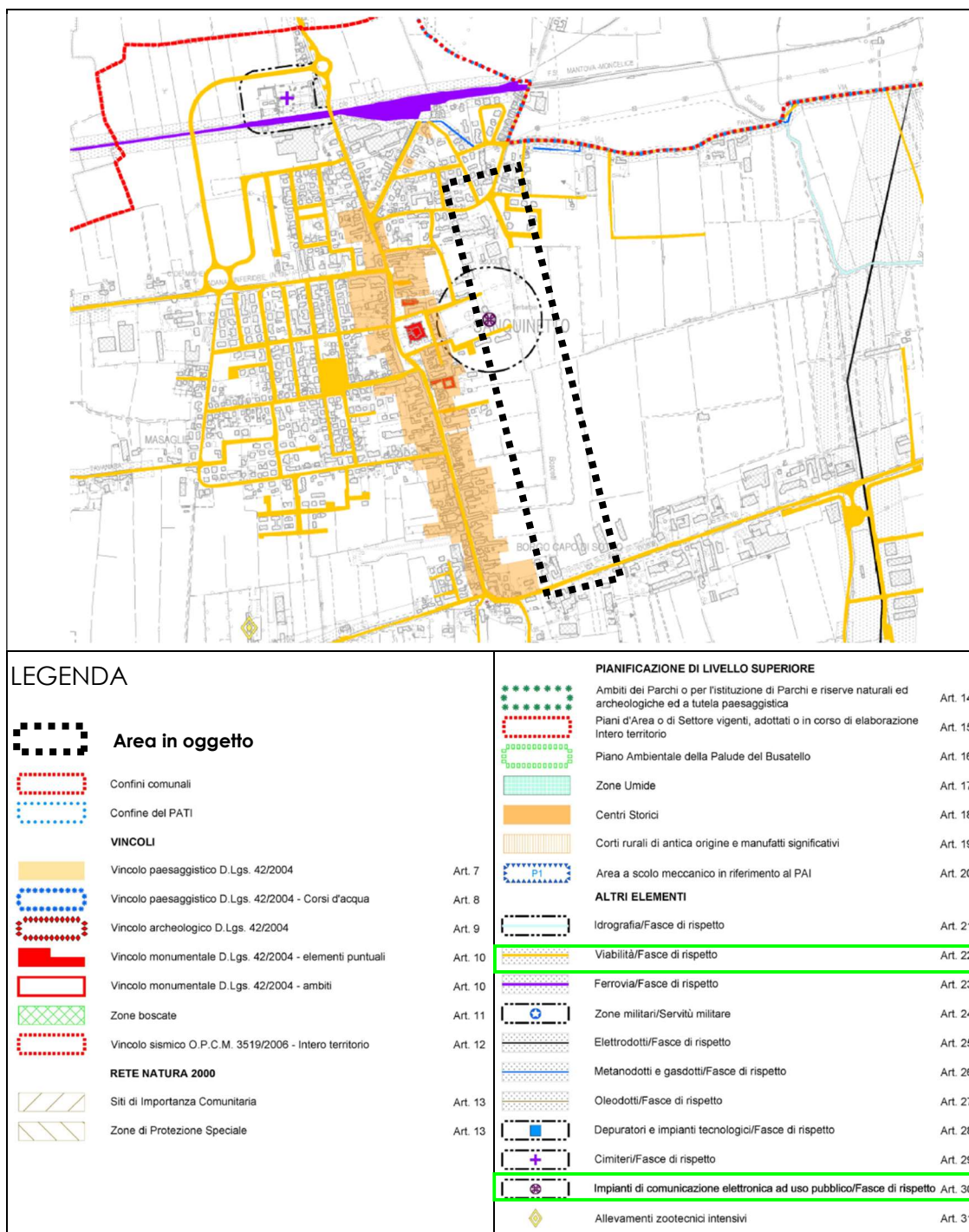
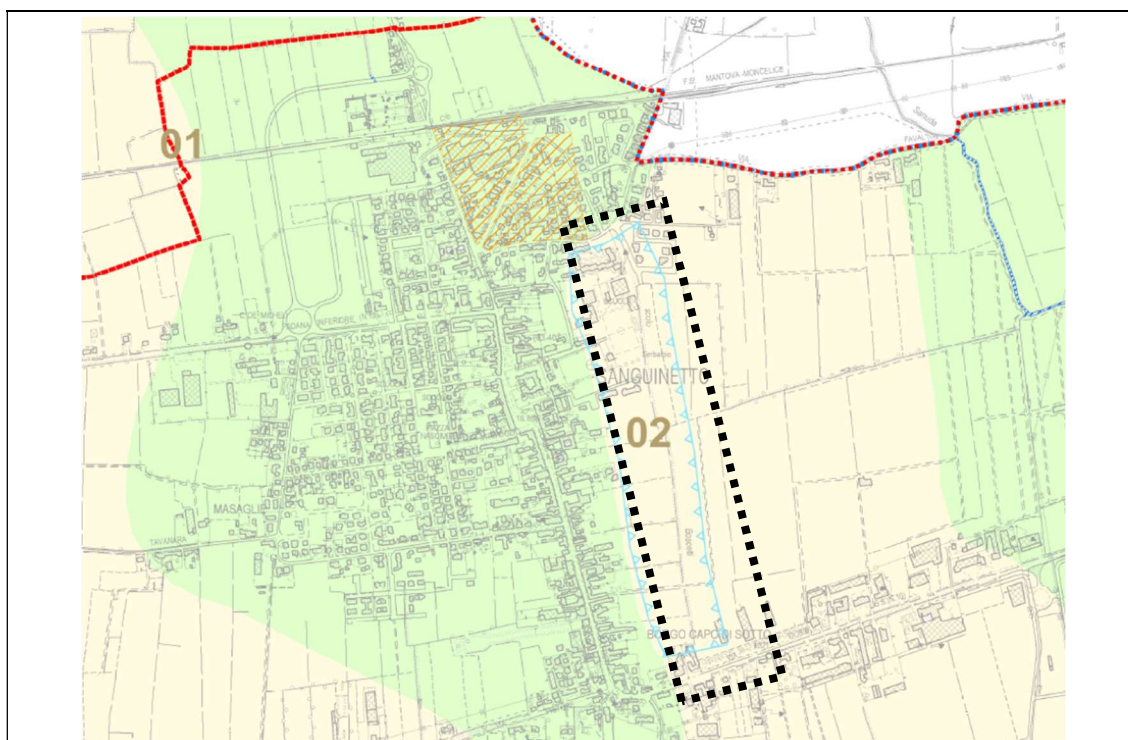


Figura 8: stralcio della "Carta dei vincoli e della Pianificazione Territoriale" al PATI



LEGENDA



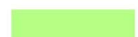
Confini comunali

Confine del PATI



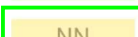
Area in oggetto

COMPATIBILITA' GEOLOGICA



Area idonea

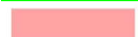
Art. 36



Area idonea a condizione

Art. 36

01: penosità geotecnica - 02: difficoltà di deflusso - 03: ristagno idrico



Area non idonea

Art. 36

AREE SOGGETTE A DISSESTO IDROGEOLOGICO



Aree esondabili o a periodico ristagno idrico

Art. 37

ALTRE COMPONENTI



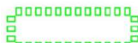
Corsi e specchi d'acqua

Art. 38.2



Zone umide

Art. 38.3



Aree per il rispetto dell'ambiente naturale, della flora e della fauna

Art. 38.4



Area a rischio archeologico di epoca preistorica

Art. 38.5



Sito a rischio archeologico di epoca romana-medievale

Art. 38.6

Figura 9: stralcio della "Carta delle Fragilità" allegata al PAT

2.5. Indagini geognostiche

I terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area in studio sono stati caratterizzati mediante la realizzazione di n. 5 prove penetrometriche.

Si è preferito, ove possibile, eseguire **prove statiche (CPT)** per la qualità del dato ottenibile, raggiungendo le profondità massime in corrispondenza di **CPT1** (19.4 m da p.c.) e **CPT 5** (17.6 m da p.c.), indicativamente ubicate alle estremità rispetto allo sviluppo del tracciato della ciclabile, mentre in **CPT2** (10.6 m da p.c.) e **CPT4** (6.4 m da p.c.) è stata indagata solo la parte più superficiale. In particolare, la prova **CPT4** è stata interrotta alla profondità di 6.4 m da p.c. per la presenza di un bancone sabbioso addensato, il cui attraversamento si è rivelato problematico anche per un insufficiente ancoraggio del penetrometro, presumibilmente a causa di riporti o rimaneggiamenti superficiali.

Solo in corrispondenza dell'area dei campi sportivi, è stato necessario eseguire una **prova dinamica (DPSH)** anziché statica, poiché non è stato possibile, per la presenza di riporto grossolano, ancorare con sufficiente stabilità il penetrometro al terreno.

La prova in oggetto, denominata **DPSH3**, ha raggiunto la profondità di 12.4 m da p.c.

L'amplificazione sismica dei terreni è stata invece valutata mediante l'esecuzione di **n. 2 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi.** (Refraction Microtremor), finalizzate alla determinazione della categoria di sottosuolo, come previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

Inoltre, sono state eseguite **n. 2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R.** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), per la determinazione della frequenza caratteristica di sito.

La figura seguente schematizza l'ubicazione delle indagini eseguite.



Figura 10: ubicazione indagini

2.5.1. Prove penetrometriche statiche (CPT)

In data 19 maggio 2021, sono stati eseguite n. 4 prove penetrometriche statiche con punta meccanica tipo Begemann, mediante penetrometro PAGANI TG 63-200 montato su carro cingolato semovente a trazione idraulica, con forza di infissione pari a 200 KN.

Le prove hanno raggiunto le seguenti profondità:

- CPT1 19,4 m da p.c.
- CPT2 10,6 m da p.c.
- CPT4 6,4 m da p.c.
- CPT5 17,6 m da p.c.

La figura seguente confronta il valore di Q_c (espresso in kg/cm^2) misurato nel corso delle varie prove.

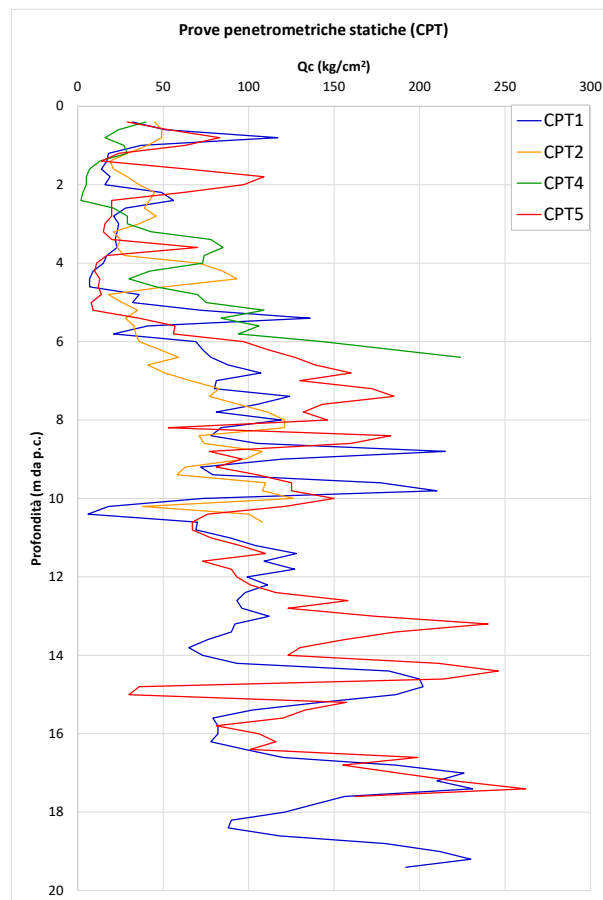


Figura 11: confronto parametro Q_c tra le CPT

In allegato a fondo testo la scheda descrittiva di ogni singola prova, le tabelle e i relativi grafici.

Le tabelle seguenti schematizzano alcuni dei principali parametri geotecnici del sottosuolo, differenziati per strati omogenei a seconda del valore di resistenza della punta e/o della composizione granulometrica prevalente.

CPT 1					
Prof. (m)	Litologia (A.G.I., 1977, Begemann, 1965)	Qc (kg/cm ²)	c_u (kg/cm ²)	φ (°)	M₀ (kg/cm ²)
0,0 – 1,0	Limi sabbiosi	59	2,2	43	175
1,0 – 2,0	Limi e argille	17	0,8	-	50
2,0 – 2,6	Limi e argille	44	2,0	-	130
2,6 – 4,0	Limi e argille	21	1,0	-	60
4,0 – 4,6	Torbe e argille organiche - Limi e argille	8	0,9	-	30
4,6 – 5,8	Limi sabbiosi - Limi e argille	56	2,2	34	170
5,8 – 10,0	Limi sabbiosi e sabbie limose	106	-	35	310
10,0 – 10,4	Limi e argille	12	0,5	-	39
10,4 – 19,4	Sabbie limose	126		33	370

CPT 2					
Prof. (m)	Litologia (A.G.I., 1977, Begemann, 1965)	Qc (kg/cm ²)	c_u (kg/cm ²)	φ (°)	M₀ (kg/cm ²)
0,0 – 1,0	Limi sabbiosi	46	-	41	135
1,0 – 1,6	Torbe e argille organiche - Limi e argille	23	1,1		65
1,6 – 2,8	Limi sabbiosi e sabbie limose	40		35	120
2,8 – 3,6	Limi e argille	26	1,3		80
3,6 – 4,6	Limi sabbiosi e sabbie limose	65		35	190
4,6 – 5,0	Limi e argille	22	1,0		65
5,0 – 6,0	Limi sabbiosi e sabbie limose	33		31	100
6,0 – 10,6	Limi sabbiosi e sabbie limose	83		34	250

CPT 4					
Prof. (m)	Litologia (A.G.I., 1977, Begemann, 1965)	Qc (kg/cm ²)	c_u (kg/cm ²)	φ (°)	M₀ (kg/cm ²)
0,0 – 1,2	Limi e argille - Limi sabbiosi	27	1,5	36	80
1,2 – 2,4	Torbe e argille organiche - Limi e argille	4	0,2	-	17
2,4 – 3,0	Torbe e argille organiche - Limi e argille	26	1,2	-	75
3,0 – 5,0	Limi sabbiosi e sabbie limose	62	-	36	185
5,0 -6,4	Sabbie limose	120	-	38	360

CPT 5					
Prof. (m)	Litologia (A.G.I., 1977, Begemann, 1965)	Qc (kg/cm ²)	c_u (kg/cm ²)	φ (°)	M₀ (kg/cm ²)
0,0 – 1,0	Limi e argille - Limi sabbiosi	57	2,0	42	170
1,0 – 1,4	Limi e argille	19	0,9	-	55
1,4 – 2,2	Sabbie e sabbie con ghiaia	83	-	40	250
2,2 – 3,6	Limi e argille	26	0,9	-	75
3,6 – 5,2	Limi e argille	12	0,5	-	40
5,2 – 5,8	Limi sabbiosi e sabbie limose	50	-	34	150
5,8 – 17,6	Sabbie limose	132	-	35	390

Tabella 1

Dove si ha:

Qc = Resistenza di punta

φ = angolo di attrito

c_u = coesione non drenata

M₀ = modulo edometrico

2.5.2. Prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH)

La prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH (Dynamic Probing Super Heavy), eseguita anch'essa col medesimo penetrometro PAGANI, consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno, per tratti successivi di 20 cm, una punta conica metallica posta all'estremità di una batteria d'aste di acciaio. L'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante (75 cm) un maglio di dato peso (63,5 kg) e contando i colpi necessari all'avanzamento della punta.

Di seguito, si propone il grafico relativo alla prova DPSH3, spinta fino a 12,4 m da p.c., nel quale si riporta il numero di colpi registrato in funzione della profondità.



Figura 12: grafico DPSH

In allegato a fondo testo la scheda descrittiva della prova DHP3, la tabella e il relativo grafico.

2.5.3. Prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi.

Le prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor) sono state sviluppate in array lineari lunghi 46 m allo scopo di ricavare la curva di dispersione delle onde di superficie ed ottenere una stima preliminare della sismostratigrafia del sottosuolo.

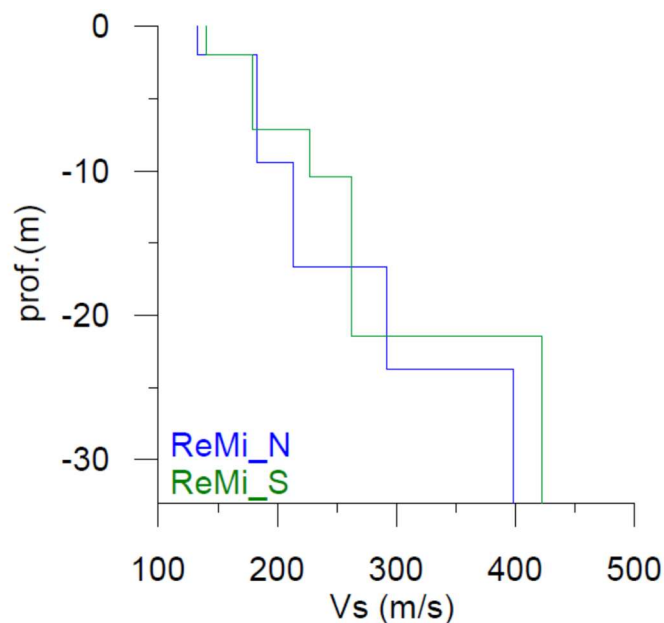


Figura 13: sismostratigrafie sovrapposte

I modelli proposti prevedono un graduale aumento del grado di addensamento fino ad una ventina di metri. A questa quota ci sarebbe il contatto con materiali di maggior rigidità con Vs dell'ordine di 400-420m/s. Le sismostratigrafie mostrano una leggera differenza in termini di velocità e spessore degli strati, differenze compatibili con un contesto deposizionale di piana alluvionale di medio-bassa energia.

La **categoria di sottosuolo**, calcolata sulla base dei valori di $V_{s,30}$, inferiori a 360 m/s, è chiaramente la **C**.

2.5.4. Registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R.

Le acquisizioni a stazione singola consentono di ottenere le curve dei rapporti spettrali (H/V) tra le componenti orizzontale e verticale delle onde di superficie generate dal rumore ambientale. Da questa, se le caratteristiche della struttura geologica lo consentono, si può quantificare la frequenza di risonanza del sito testato.

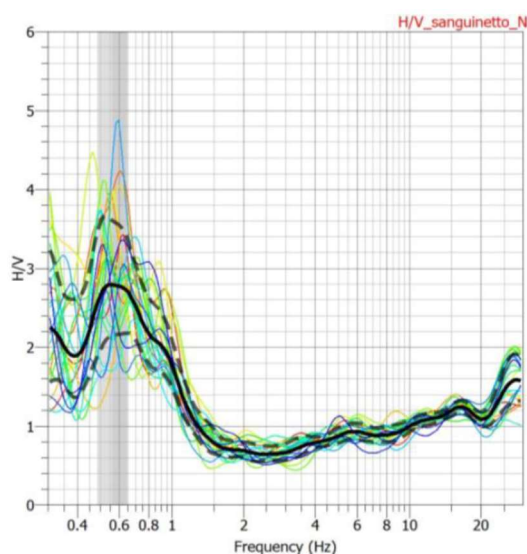


Figura 14: curva H/V di HVSR_N

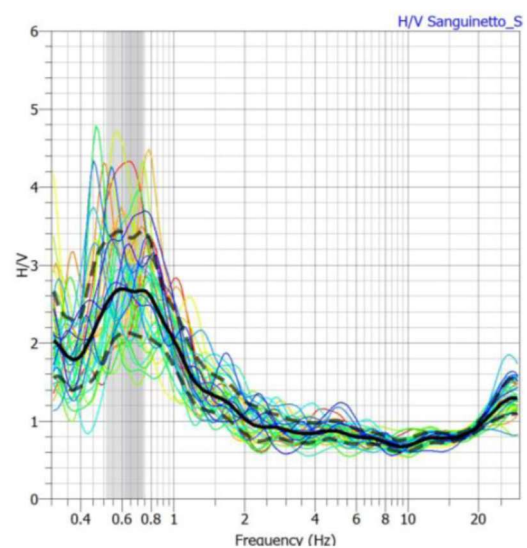


Figura 15: curva H/V di HVSR_S

Le curve H/V presentano un massimo a frequenza compresa tra 0.56Hz e 0.61Hz e la leggera discrepanza rientra nella categoria dell'errore strumentale. Le frequenze sono quindi sostanzialmente identiche, considerato il contesto geologico dell'area dove il bedrock è sicuramente profondo e l'interfaccia subplanare.

Sintetizzando, si può quindi concludere che il sito presenta una **frequenza di risonanza f_0 di circa 0.6Hz.**

In allegato a fondo testo il rapporto completo dell'indagine geofisica e le sismostratigrafie ottenute con le Re.Mi.

2.5.5. Trincee esplorative

Allo scopo di prelevare campioni di terreno per valutarne la qualità ambientale, sono state eseguiti:

- n. 2 prelievi di terreno con trivella a mano per formazione di un unico campione (denominato CT1), eseguiti in data 21.06.2021;
- n. 2 scavi esplorativi, eseguiti in data 23.09.2021, per il campionamento di n. 2 aliquote di terreno (denominati CT2 e CT3).

La figura seguente mostra l'ubicazione dei punti di campionamento.



Figura 16: ubicazione trincee di campionamento

L'analisi dei risultati e i rapporti di prova sono contenuti in una specifica relazione (Indagine Ambientale).

In allegato a fondo testo, sono consultabili la documentazione fotografica e la descrizione stratigrafica delle trincee.

Dalla visione delle pareti di scavo e del materiale estratto, si evince che:

- al di sotto dello strato vegetale si osservano terreni limoso sabbioso argillosi, con rari elementi ghiaiosi fino alla profondità di circa 0,5 m da p.c., probabilmente rimaneggiati;
- tra 0,5÷1,0 m di profondità si riscontrano sedimenti limoso-argillosi di colore marrone con plaghe ocracee;
- all'interno delle trincee non è stata rilevata la presenza di acqua d'infiltrazione.

2.6. Modello geologico locale

L'analisi dei dati raccolti nel corso delle indagini eseguite consente di esprimere un modello geologico semplificato del sottosuolo dell'area in oggetto.

Le indagini hanno evidenziato la presenza superficiale di limi argillosi e/o limi sabbiosi, talora con qualche elemento ghiaioso e localmente rimaneggiati.

Fino alla profondità di circa 5÷6 m si osservano depositi prevalentemente limoso-argillosi, con frequenti intercalazioni limoso-sabbiose.

Oltre tale profondità, prevalgono sedimenti sabbioso-limosi, con lenti localizzate limoso-argillose.

La seguente tabella sintetizza il modello geologico locale del sito in oggetto.

Strato	Prof.(m da p.c.)	Litologia	Livelli saturi
1	0,2 – (1,0÷1,2)	Limi sabbiosi e/o argillosi	Soggiacenza compresa tra 0,7 e 2,9 m da p.c. (misure del 19.05.2021)
2	(1,0÷1,2) – (5,0÷6,0)	Limi e argille con livelli limoso sabbiosi	
3	(5,0÷6,0) – 19,4	Sabbie limose e limi sabbiosi con lenti limo-argillose	

Tabella 2 - Modello geologico locale

2.7. Modello geotecnico locale

Per modello geotecnico si intende uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico meccanica dei terreni e delle rocce comprese nel volume significativo. I parametri geotecnici attribuibili a tali terreni, sono schematizzati nelle successive tabelle, i cui valori sono stati desunti dall'elaborazione delle indagini eseguite, dalla letteratura geologica e da esperienze condotte dallo scrivente in siti che presentavano tipologie sedimentarie analoghe e comparabili a quelle in studio.

Per la definizione del modello geologico del sito d'intervento, si è fatto riferimento, specificatamente, alle prove penetrometriche statiche; i valori adottati sono stati opportunamente ridotti rispetto alle medie di tabella 1, considerando i parametri dei livelli più scadenti.

Strato	Litologia	Prof. (m da p.c.)	ϕ (°)	Cu (kg/cm ²)	γ_{nat} (t/m ³)	γ' (t/m ³)
1	Limi sabbiosi e/o argillosi	0,2 – (1,0÷1,2)	-	-	1,70	1,70
2	Limi e argille con livelli limoso sabbiosi	(1,0÷1,2) – (5,0÷6,0)	32	-	1,80	0,80
				0,2		
3	Limi sabbiosi e/o argillosi	0,2 – (1,0÷1,2)	33		-	0,90

ϕ = angolo di attrito, c_u = coesione non drenata, γ_{nat} = peso di volume del terreno

Tabella 3: Modello geotecnico locale

La soggiacenza della falda, misurata all'interno delle prove penetrometriche in data 19 maggio 2021, è compresa tra 0,7 e 2,9 m da p.c..

3. RELAZIONE SISMICA

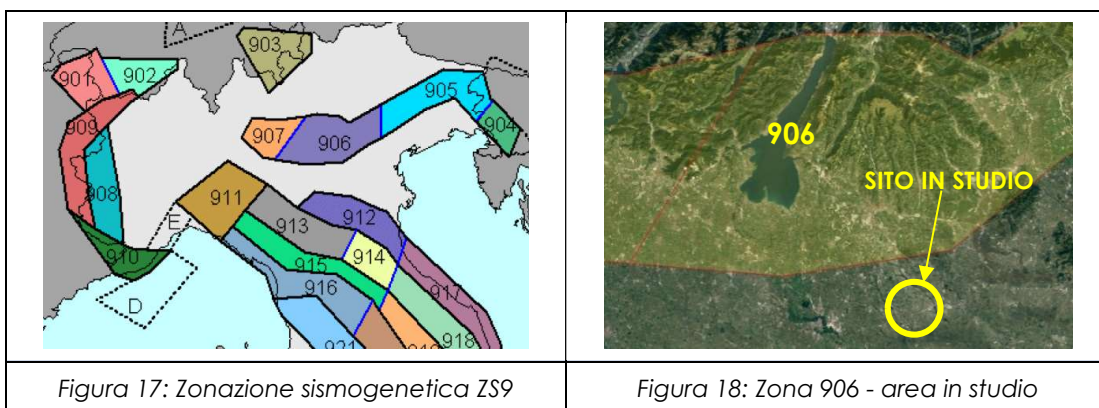
3.1. Caratteri sismogenetici dell'area

La storia sismica dell'area va inserita nel più ampio contesto sismotettonico di questo settore dell'Italia Settentrionale, con particolare riferimento, oltre che ai dati strumentali raccolti in questi ultimi decenni, ad un'analisi storiografica di documenti in cui sono riportate le cronache di eventi tellurici e dei danni da essi prodotti.

L'evoluzione normativa nazionale degli ultimi anni è stata supportata da una serie di rapporti curati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), che hanno ridefinito la sismicità del territorio e creato le basi per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio italiano.

Il documento più recente, redatto a seguito dall'OPCM n.° 3274 del 20 marzo 2003 (*Gruppo di Lavoro [2004] - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici*) ha prodotto, tra l'altro, una mappatura delle aree che potenzialmente possono generare terremoti (zone sorgente). La nuova zonazione sismogenetica, denominata ZS9, si basa sulla sostanziale rivalutazione della precedente zonazione ZS4 (Meletti et al., 2000), in considerazione delle evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni del potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni. La zonazione ZS9 è costituita da 36 zone-sorgente, a cui vanno aggiunte 6 zone-sorgente per le quali non verrà valutata la pericolosità sismica.

La convergenza tra la placca adriatica ed europea rappresenta il principale meccanismo responsabile della tettonica attiva in tutta l'Italia settentrionale; la placca Europea si inflette al di sotto di quella Adriatica che a sua volta si piega sotto quella Tirrenica.



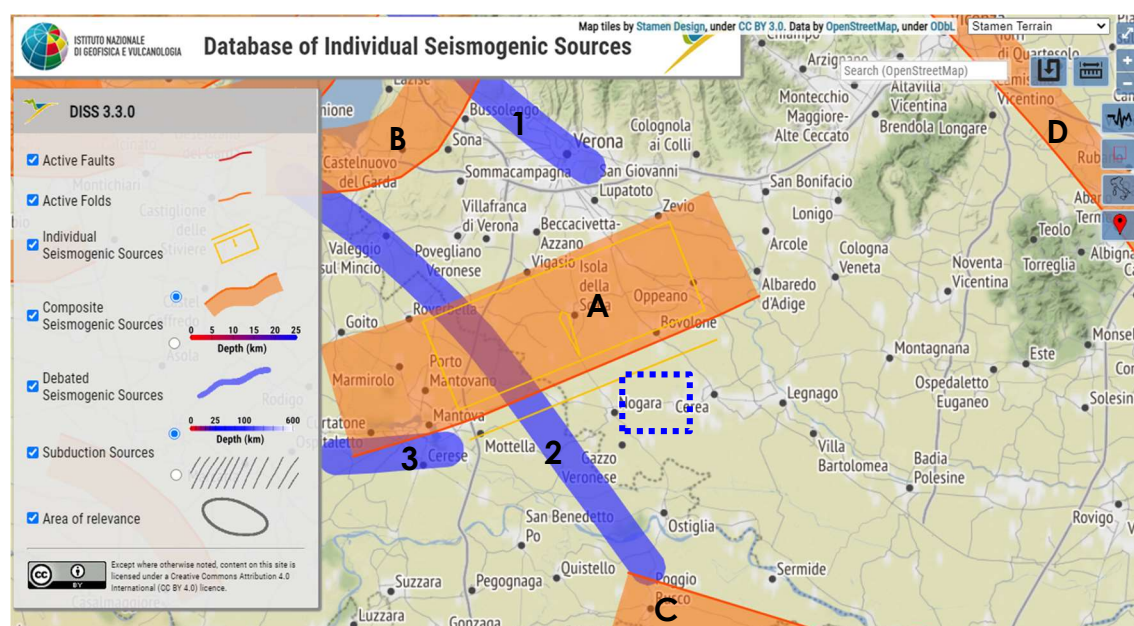
Nella zonazione sismogenetica ZS9 il Sudalpino centro-orientale, all'interno del quale ricade l'area in studio, è considerato come un sistema strutturalmente continuo di sovrascorrimenti (thrust) adiacenti, all'interno del quale la differenziazione delle zone proposte è unicamente suggerita dalla distribuzione della sismicità.

Il sito in oggetto è situato circa 15 km a sud della **zona 906** (cfr. figure 17 e 18) denominata "Garda Veronese" ed interessa un'area compresa all'incirca tra Bassano del Grappa e il Lago di Garda.

La zona 906, insieme alle zone 904 e 905 (peraltro con effetti maggiori per quest'ultime), rappresenta il settore in cui è stata osservata la massima convergenza tra le due placche.

3.2. Sorgenti sismogenetiche

La valutazione delle sorgenti sismogenetiche prossime all'area in studio è stata condotta mediante la consultazione del database DISS 3.3.0 elaborato dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e del database sviluppato dal progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) a cura del Servizio Geologico d'Italia – ISPRA.



Sorgenti sismogenetiche:

 Area in studio

A → Adige Plain

C → Poggio Rusco - Migliarino

B → Solferino

D → Schio-Vicenza

Sorgenti sismogenetiche dibattute

1 → Sant' Ambrogio

2 → Nogara

3 → Mantova Lakes

Figura 19: Estratto del data base D.I.S.S. 3.3.0

La tabella seguente mostra le caratteristiche principali delle sorgenti sismogenetiche più vicine all'area in oggetto.

Comune di SANGUINETTO

LAVORI DI REALIZZAZIONE PISTA CICLABILE PER GARANTIRE L'ACCESSO IN SICUREZZA AL CENTRO URBANO	Relazione geologica, geotecnica sulle indagini e sismica	Pag. 29
---	--	----------------

	Codice DISS	Nome	Tipo di sorgente
A	ITCS076	Adige Plain	Composita
B	ITCS114	Solferino	Composita
C	ITCS050	Poggio Rusco - Migliarino	Composita
D	ITCS175	Schio-Vicenza	Composita
1	ITDS075	Sant' Ambrogio	Dibattuta
2	ITDS074	Nogara	Dibattuta
3	ITDS067	Mantova Lakes	Dibattuta

Tabella 4: caratteristiche delle quattro sorgenti sismogenetiche vicine all'area in studio

Le sorgenti indicate con le lettere A, B, C, e D sono di tipo composito, ovvero rappresentano regioni estese contenenti un numero non specificato di sorgenti minori allineate e non ancora conosciute singolarmente.

Si consideri che, secondo tale database, la sorgente della piana dell'Adige (Adige Plain) è ritenuta la responsabile del terremoto di Verona del 1117, reputato il sisma storico più violento di cui si ha testimonianza nella pianura padana.

Il database sviluppato dal progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) a cura del Servizio Geologico d'Italia – ISPRA sintetizza le informazioni disponibili sulle faglie capaci che interessano il territorio italiano. Dalla sua consultazione è stato possibile individuare una serie di faglie ubicabili indicativamente come nella figura sotto (immagine estratta dal sito dell'ISPRA).

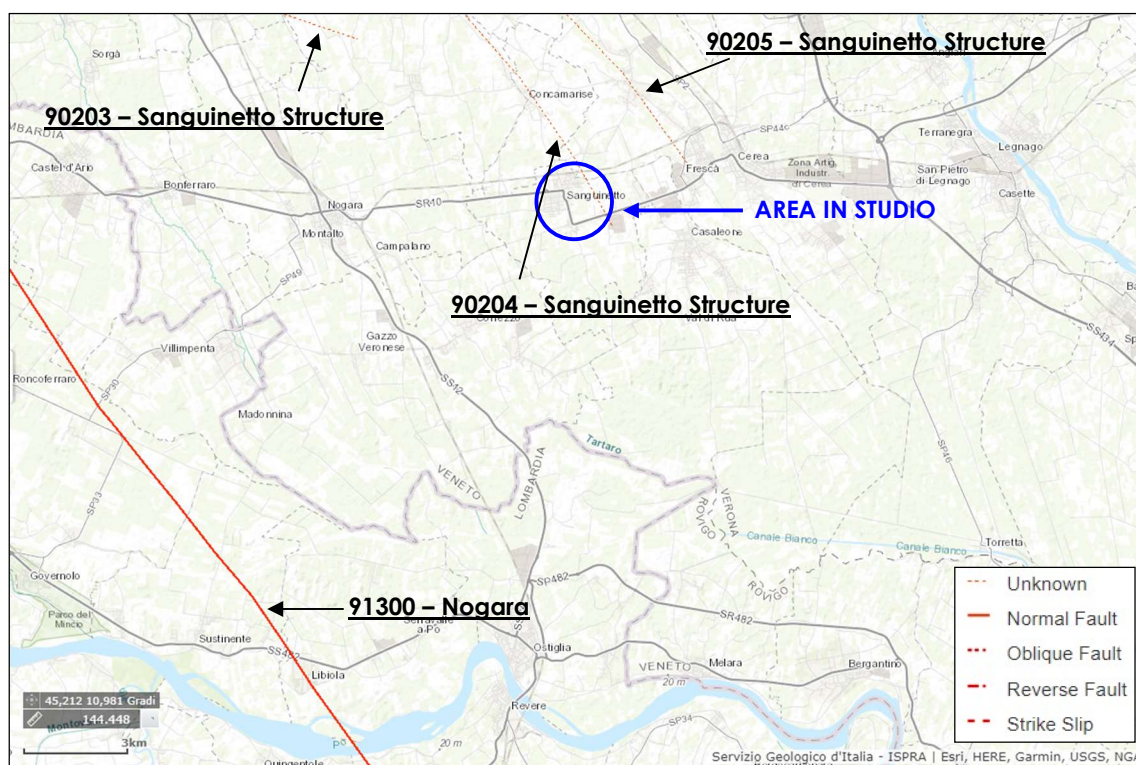


Figura 20: Estratto database ITHACA (<http://sgi2.isprambiente.it/viewersgi2/>)

Il database ITHACA indica, per l'area in oggetto, la presenza delle seguenti faglie:

Codice	Nome	Cinematica	Distanza dal sito
91300	Nogara	Normale – obliqua dx	14,5 km SW
90204	Sanguinetto Structure	Non definita	0,4 km ENE
90205	Sanguinetto Structure	Non definita	3 km ENE
90203	Sanguinetto Structure	Non definita	7,3 km NW

Tabella 5: faglie individuabili vicino all'area in studio (Database ITHACA)

3.3. Sismicità storica

Il Veneto è attualmente una regione “silente” dal punto di vista sismico.

L'assenza di grossi eventi sismici recenti sorprende, ma non deve far pensare che il Veneto sia una regione tettonicamente inattiva. Evidenze di movimenti recenti (neotettonica) sono osservabili soprattutto nella fascia pedemontana (in particolare al confine tra le province di Belluno e Treviso) lungo la quale sono allineati i principali eventi storici.

La pericolosità sismica del Veneto è in parte legata all'attività dei distretti sismici del Friuli centrale e, in minor misura, dell'Alpago e del Garda. Allo stato attuale, il territorio regionale è interessato da una certa sismicità di magnitudo medio-bassa, evidenziata negli ultimi decenni dal monitoraggio strumentale dell'attività sismica.

Tra i terremoti storici più rilevanti con epicentro in Veneto si possono ricordare:

- Treviso 778
- Verona 1117
- Asolo 25 febbraio 1695
- Alpago 29 giugno 1873 e 18 ottobre 1936

Nel periodo 1977 - 2006 la rete gestita dall'OGS (Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale) di Trieste ha registrato in Veneto quasi 1200 eventi sismici con magnitudo compresa tra 2,0 e 3,0.

La maggior parte di questi eventi è localizzata lungo la fascia prealpina che unisce l'Alpago al Monte Baldo. La profondità epicentrale più frequente è compresa tra i 7 ed i 15 km di profondità. Solo l'11% degli eventi si colloca a profondità maggiore (fino a 22 km).

Per quanto riguarda il territorio del Comune di Sanguinetto, si fa riferimento al Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - INGV, che contiene l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di **intensità macrosismica**, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti.

In particolare, nel periodo compreso tra il 1000 - 2020 l'INGV segnala almeno 20 eventi sismici che hanno prodotto effetti nel territorio comunale di Sanguinetto.

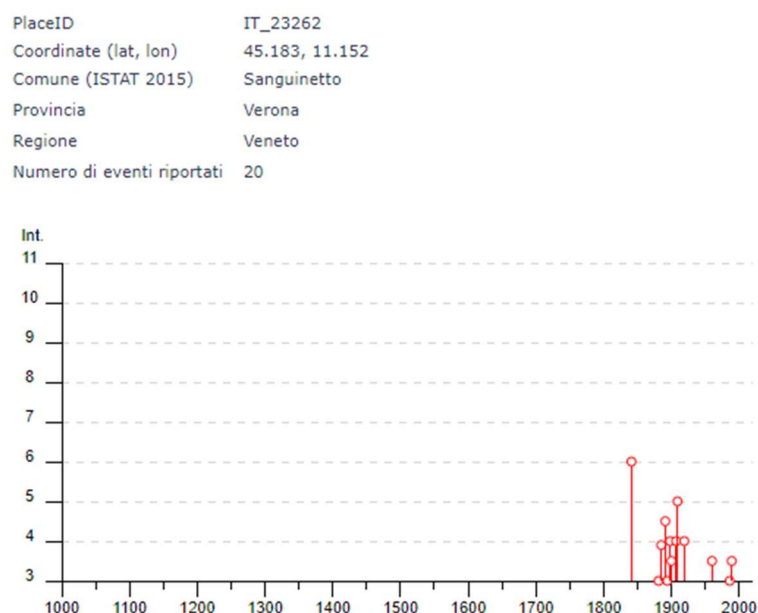


Figura 21: Diagramma Intensità macrosismica di eventi sismici registrati tra il 1500 ed il 2020 (Fonte: Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia -INGV)

3.4. Zonazione sismica

L'evoluzione della normativa antisismica nazionale ha subito un punto di svolta nel 2003, con l'emanazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) n° 3274 del 20 marzo 2003. In essa è contenuta una nuova classificazione sismica del territorio italiano, su basi comunali, che attribuisce un grado di pericolosità sismica all'intera penisola, a differenza della precedente normativa che classificava come sismica solo una parte del territorio nazionale.

Un aggiornamento di tale studio di pericolosità di riferimento nazionale è stato adottato con la OPCM n°3519 del 28 aprile 2006 che dispone l'utilizzo di una nuova "mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" (All.1b);

quest'ultima, individua 12 zone definite da un range di valori delle accelerazioni orizzontali (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico.

Ciascuna zona viene individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi.

zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a_g/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Tabella 6: Valori di accelerazione massima del suolo a_g (OPCM n.3519 28/04/2006)

Secondo tale normativa, il territorio comunale di Sanguinetto si colloca nella fascia caratterizzata da valori di a_g/g compresi tra **0,075** e **0,100**.

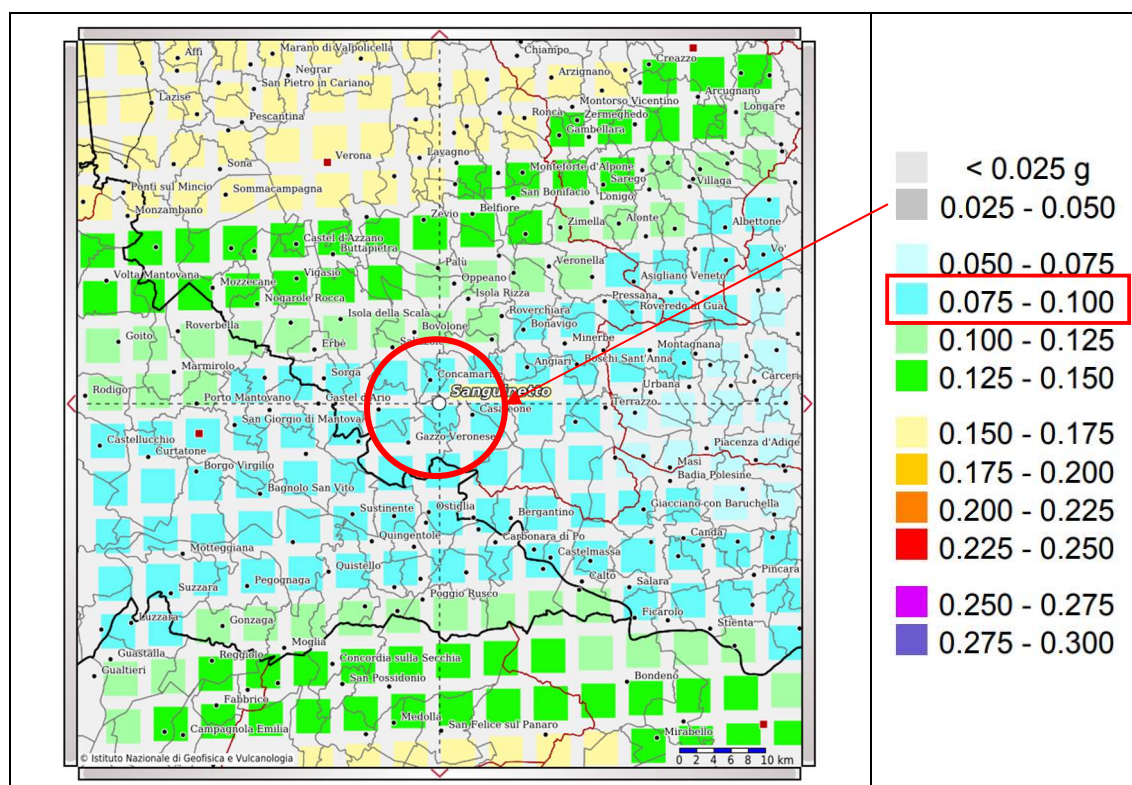


Figura 22: Stralcio della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi.

Si precisa che con Deliberazione della Giunta Regionale n. 244 del 09 marzo 2021, è stata approvata ed adottata a partire dal 15 maggio 2021 la nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Veneto. Con tale Deliberazione, la Regione Veneto ha approvato un allegato (All. B) in cui, per ogni comune, viene indicata la nuova zona sismica; con il suddetto aggiornamento, il territorio comunale di Sanguinetto rientra in **Zona Sismica 3**.

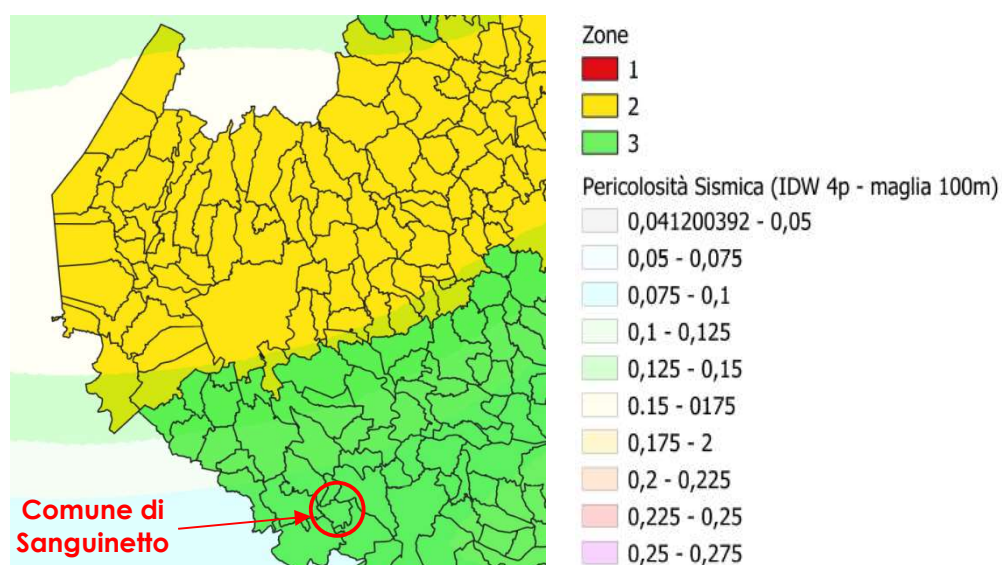


Figura 23: Stralcio della mappa di pericolosità sismica dei comuni veneti (approvata con D.G.R. n. 244 del 09 marzo 2021-All.A)

3.5. Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto, da utilizzare nelle verifiche agli stati limite, secondo il D.M. 17 gennaio 2018 – “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” – si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito, in riferimento ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_R = 475$ anni), calcolata con il programma “Spettri di risposta – ver. 1.0.3” del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici mediante interpolazione per superficie rigata.

Trattandosi di un'opera con sviluppo lineare, sono state individuate le coordinate degli estremi e calcolate la pericolosità di base per entrambe.

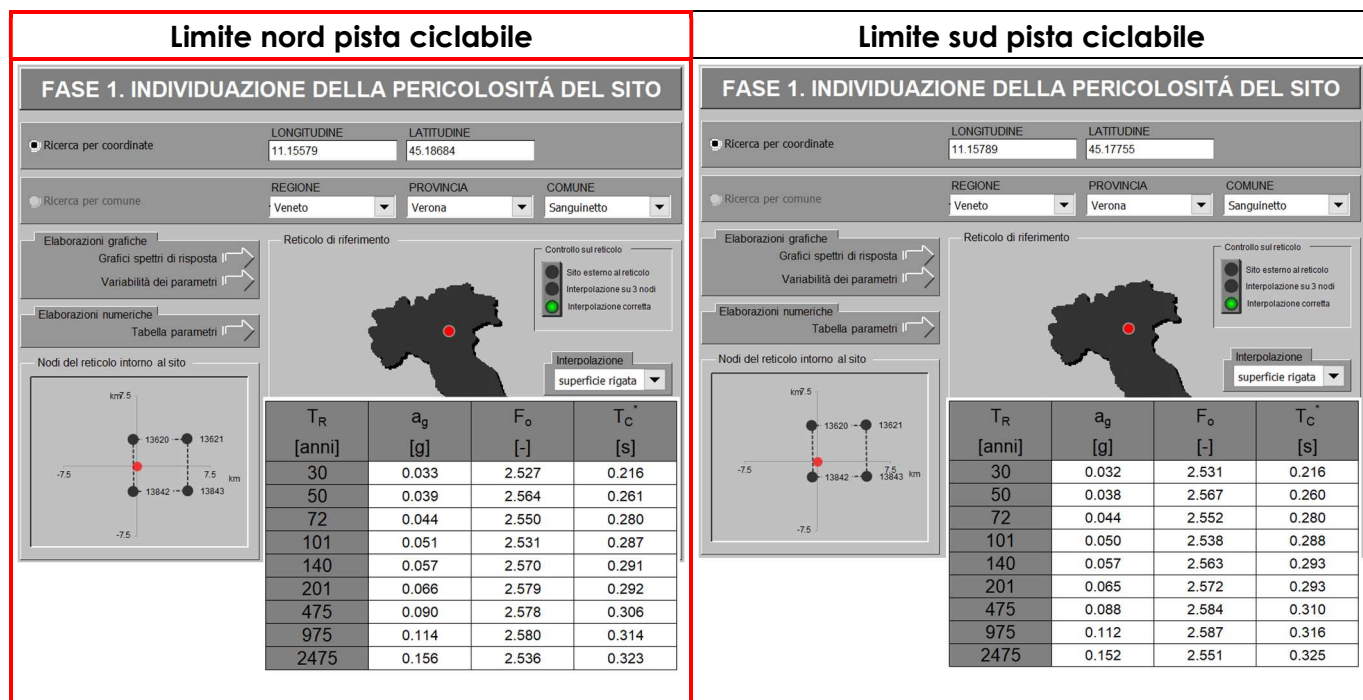


Figura 24: Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento (interpolazione per superficie rigata)

Come si evince dalle tabelle di figura 24, le accelerazione di base tra gli estremi del tracciato della pista ciclabile differiscono di poco. Si consiglia, tuttavia, di adottare il valore più cautelativo, rappresentato dall'estremo nord.

I valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento relativi alle coordinate del limite nord della pista ciclabile, associati a ciascuno stato limite previsto dalla normativa, sono schematizzati nella seguente tabella

stato limite	T_R (anni)	a_g/g	F_0	T_c^*
SLO	30	0.033	2.527	0.216
SLD	50	0.039	2.564	0.261
SLV	475	0.090	2.578	0.306
SLC	975	0.114	2.580	0.314

Tabella 7: parametri per ogni stato limite

Dove: a_g/g = accelerazione orizzontale massima attesa.

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, su sito di riferimento rigido orizzontale, ha valore minimo pari a 2.2.

T_c^* = valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

3.6. Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche

Ai fini della definizione dell'**azione sismica** si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento oppure si valuta l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. Nel caso in studio, si fa riferimento alle indagini Re.Mi. e HVSR descritte in precedenza (paragrafi 2.5.3 e 2.5.4).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Figura 25: tabella 3.2. Il Norme tecniche per le costruzioni: categorie di sottosuolo

Tale classificazione, secondo un approccio semplificato, si esegue in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità a partire dal piano di imposta delle fondazioni (nel caso di fondazioni superficiali).

La categoria del sottosuolo di fondazione, sulla base dei valori di V_s ottenuti, è quindi la **Categoria C**. *“depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”*.

Per quanto riguarda le **condizioni topografiche** del sito, si può adottare la seguente classificazione:

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

Figura 26: tabella 3.2.IV Norme tecniche per le costruzioni: categorie topografiche

In base a tale classificazione, si può affermare che i luoghi in esame ricadono entro la **categoria T1**.

3.7. Magnitudo attesa

Le linee guida emanate dal Gruppo di lavoro MS, 2008 - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd), prevedono che un metodo semplice e in favore di sicurezza da utilizzarsi per stimare quale sia il valore di magnitudo da considerare ai fini delle valutazioni per il sito o la microzona di interesse, è quello di valutare la magnitudo massima M_{wmax} attribuita alla zona sismogenetica di appartenenza.

Nel nostro caso, l'area in studio rientra nella zona sismogenetica 906 – Garda-Veronese, per la quale la Tabella 2.8-1 degli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” attribuisce una magnitudo massima pari a $M_{wmax}=6,60$.

Tabella 2.8-1 – Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Figura 27: valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9, con evidenziato il valore da adottare per la zona 906

3.8. Accelerazione massima al sito

La strategia di progettazione prevede un tipo di costruzione “ordinaria” , con Vita nominale ≥ 50 anni e Classe d’ uso II (Coefficiente $C_u = 1$), per cui si considera un Tempo di ritorno per gli SLV pari a 475 anni, ottenendo un valore di a_g riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s pari a **0,090 g**. In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l’ accelerazione massima attesa al sito può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S_T \cdot S_s \cdot a_g$$

dove:

- $S_T = 1$ amplificazione topografica
- $S_s = 1,500$ amplificazione stratigrafica (considerando la categoria di sottosuolo C)
- $a_g = 0,090$ accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido

Si otterrà quindi una accelerazione massima attesa pari a:

$$a_{max} = S_T \cdot S_s \cdot a_g = 1 \cdot 1,500 \cdot 0,090g = 0,135 g$$

Qualora la strategia progettuale fosse differente da quella ipotizzata, si dovranno valutare i valori di a_g in funzione di essa.

3.9. Suscettibilità alla liquefazione

Il sito in oggetto dovrà essere stabile nei confronti della liquefazione ossia alla perdita di resistenza al taglio in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni sismiche che agiscono in condizioni non drenate.

Il paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC del 17.01.2018 indica che **la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:**

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $N_{160} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle apposite figure 7.11.1a e 7.11.1b delle NTC 08.

Nel nostro caso, nessuna delle suddette circostanze risulta soddisfatta: pertanto appare necessaria la verifica alla liquefazione dei terreni di fondazione.

Tuttavia, prima di procedere alla verifica alla liquefazione, si ritiene opportuno esprimere alcune considerazioni sulla magnitudo dell'evento atteso.

L'area in studio ricade entro la zona sismogenetica 906 (Garda - Veronese) alla quale è associata una $M_{wmax}=6,60$. **Pertanto, come magnitudo attesa si adotterà il valore di $M=6,60$.**

Tale ipotesi risulta essere la più conservativa per la scelta del terremoto di scenario.

Un ulteriore aspetto per definire la magnitudo di progetto e la distanza epicentrale viene enunciato nel paragrafo 2.8.2 degli **Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica** (Gruppo di lavoro MS, 2008 - Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd), dove al punto 3 si afferma che *“ai fini della verifica a liquefazione e per i siti che non ricadono in alcuna zona sismogenetica si determinano le minime distanze (R_i) dalle zone (i) circostanti e si controlla per ciascuna di esse se la magnitudo M_i della zona è inferiore alla magnitudo fornita dalla relazione $M_s = 1+3\log(R_i)$. Se ciò accade, la verifica a liquefazione non è necessaria. Se invece è necessaria, si assume il valore di magnitudo M_i più alto fra quelli per i quali la verifica è necessaria.”*

Nel nostro caso la zona 906 rappresenta la più vicina ($R_i = 15$ km) e quella con magnitudo maggiore ($M_i = 6.6$). Quindi, si avrà:

$$M_s = 1+3\log(R_i) = 1+3(\log 15) = 4.53$$

Pertanto, essendo **6.6 (M_i) > 4.53 (M_s)**, la verifica dovrà essere eseguita adottando una magnitudo pari a 6.6.

3.9.1. Stabilità nei confronti della liquefazione

La verifica alla liquefazione è stata eseguita attraverso l'applicazione di analisi quantitative sulla base dei dati ottenuti dalle prove in situ.

L'analisi quantitativa utilizzata si fonda sulla "procedura semplificata", elaborata in origine da Seed & Idriss (1971), correlando i valori registrati nel corso delle prove penetrometriche statiche (CPT).

Nel caso in studio, sono stati utilizzati i dati forniti dalla CPT, normalizzati ed elaborati secondo le formulazioni proposte da Robertson & Wride (1998).

Pur senza entrare nel dettaglio sulle modalità di valutazione dei singoli valori, la procedura si basa sulla definizione dei seguenti parametri:

- stima della domanda di resistenza ciclica alla liquefazione (CSR, Cyclic Stress Ratio);
- calcolo della capacità di resistenza del terreno alla liquefazione (CRR, Cyclic Resistance Ratio), basato sui dati forniti dalle prove in situ (CPT).

Le verifiche eseguite hanno evidenziato una sostanziale assenza di suscettibilità alla liquefazione dei terreni in oggetto: solo alcuni sottili strati, infatti, non soddisfano le verifiche.

Tuttavia, in considerazione del limitato spessore di questi livelli, dell'assenza di continuità laterale e della presenza di livelli granulari non liquefacibili, che permettono l'eventuale dissipazione delle pressioni interstiziali, si può affermare che **il rischio di potenziale liquefazione sia assente o estremamente ridotto.**

4. CONCLUSIONI

Con riferimento alle opere in progetto, alla luce delle considerazioni sopraesposte e delle indagini geognostiche pregresse eseguite in aree limitrofe, si ritiene di poter esprimere le seguenti considerazioni:

- le indagini hanno evidenziato la presenza superficiale di limi argillosi e/o limi sabbiosi, talora con qualche elemento ghiaioso e localmente rimaneggiati. Fino alla profondità di circa 5÷6 m si osservano depositi prevalentemente limoso-argillosi, con frequenti intercalazioni limoso-sabbiose. Oltre tale profondità, prevalgono sedimenti sabbioso-limosi, con lenti localizzate limoso-argillosa;
- la falda freatica mostra una soggiacenza superficiale, mediamente compresa entro i primi 2 metri. Le misure eseguite al termine delle prove penetrometriche, eseguite in data 19 maggio 2021, è compresa tra 0,7 e 2,9 m da p.c.;
- il valore dell'azione sismica, espressa come valore di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempi di ritorno pari a 475 anni), riferita a suoli rigidi, è pari a **0,09 g**;
- le indagini sismiche condotte hanno permesso di classificare il sottosuolo nella **categoria C**.

Il quadro geologico risultante conferma la fattibilità delle opere previste in progetto sempre, comunque, tenendo conto delle indicazioni contenute nel presente documento.

Sommacampagna, maggio 2022

Dr. Geol. Claudio Leoncini



5. ALLEGATI

- **Stratigrafie e documentazione fotografica Trincee T2 e T3**
- **Indagine geognostica – Rapporto sulle indagini**

Committente: Comune di Sanguinetto	Data:	Trincea geognostica	T2
Cantiere: Lavori di realizzazione pista ciclabile per garantire l'accesso in sicurezza al centro urbano	23.09.2021		

Profondità (m da p.c.)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Campioni
0,0 – 0,1	Suolo vegetale	
0,1 – 0,5	Limo sabbioso argilloso con qualche elemento ghiaioso	CT2 0,2 ÷ 1,0 m da p.c.
0,5 – 1,0	Limo argilloso marrone con plaghe di colore ocra	

NOTE:

- ☐ Non è stata verificata alcuna venuta d'acqua
- ☐ Coordinate WGS84 (EPSG 4326): 11.15554, 45.18221



Fasi esecutive trincea T2



Cumulo materiale estratto da T2



Scavo trincea T2

Committente: Comune di Sanguinetto	Data:	Trincea geognostica	T3
Cantiere: Lavori di realizzazione pista ciclabile per garantire l'accesso in sicurezza al centro urbano	23.09.2021		

Profondità (m da p.c.)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Campioni
0,0 – 0,1	Suolo vegetale	
0,1 – 0,5	Limo sabbioso argilloso con qualche elemento ghiaioso e, forse, frammento di laterizio a circa 15 cm da p.c.	CT3 0,2 ÷ 1,0 m da p.c.
0,5 – 1,0	Limo argilloso marrone con plaghe di colore ocre	

NOTE:

- ☐ Non è stata verificata alcuna venuta d'acqua
- ☐ Coordinate WGS84 (EPSG 4326): 11.15494, 45.18622



Fasi esecutive trincea T3



Cumulo materiale estratto da T3



Scavo trincea T3



Comune di SANGUINETTO

PROVINCIA DI VERONA

LAVORI DI REALIZZAZIONE PISTA CICLABILE PER GARANTIRE L'ACCESSO IN SICUREZZA AL CENTRO URBANO

INDAGINE GEOGNOSTICA

Rapporto sulle indagini

A CURA DI:

Dott. Geol. Luca Bersani



COMMITTENTE:

Comune di Sanguinetto

Verona, maggio 2021

INDICE

1.	Premessa	3
2.	Inquadramento Geografico	4
3.	Opera in progetto	6
4.	Indagini geognostiche.....	7
4.1.	Prove penetrometriche statiche (CPT)	9
4.2.	Prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH)	10
4.3.	Prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi.	11
4.4.	Registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R.	11
5.	Allegati	13

1. PREMESSA

Il Comune di Sanguinetto ha conferito allo scrivente professionista, con Determinazione n° 121 del 16.12.2020, *l'incarico professionale per l'effettuazione di indagine geognostica e caratterizzazione dei terreni di scavo ai sensi del DPR n. 120/2017 nell'ambito dei "Lavori di realizzazione pista ciclabile per garantire l'accesso in sicurezza al centro urbano"* (CIG ZE12FCFAC3).

Il presente rapporto descrive le attività svolte nel corso dell'indagine, che è consistita nell'esecuzione di:

- n° 4 prove penetrometriche statiche (CPT), spinte a profondità variabili tra 6,4÷19,4 m da p.c.;
- n° 1 prova penetrometrica dinamica (DPSH), spinta fino alla profondità di 12,4 m da p.c.;
- n° 2 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor);
- n° 2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

In allegato a fondo testo la scheda descrittiva di ogni singola prova, le tabelle, i grafici, il rapporto dell'indagine geofisica e le sismostratigrafie ottenute dalle Re.Mi.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il tracciato della pista ciclabile si svolge, con direzione approssimativa N-S, ad est del centro abitato di Sanguinetto; la quota topografica è compresa tra circa 15÷16 m s.l.m.

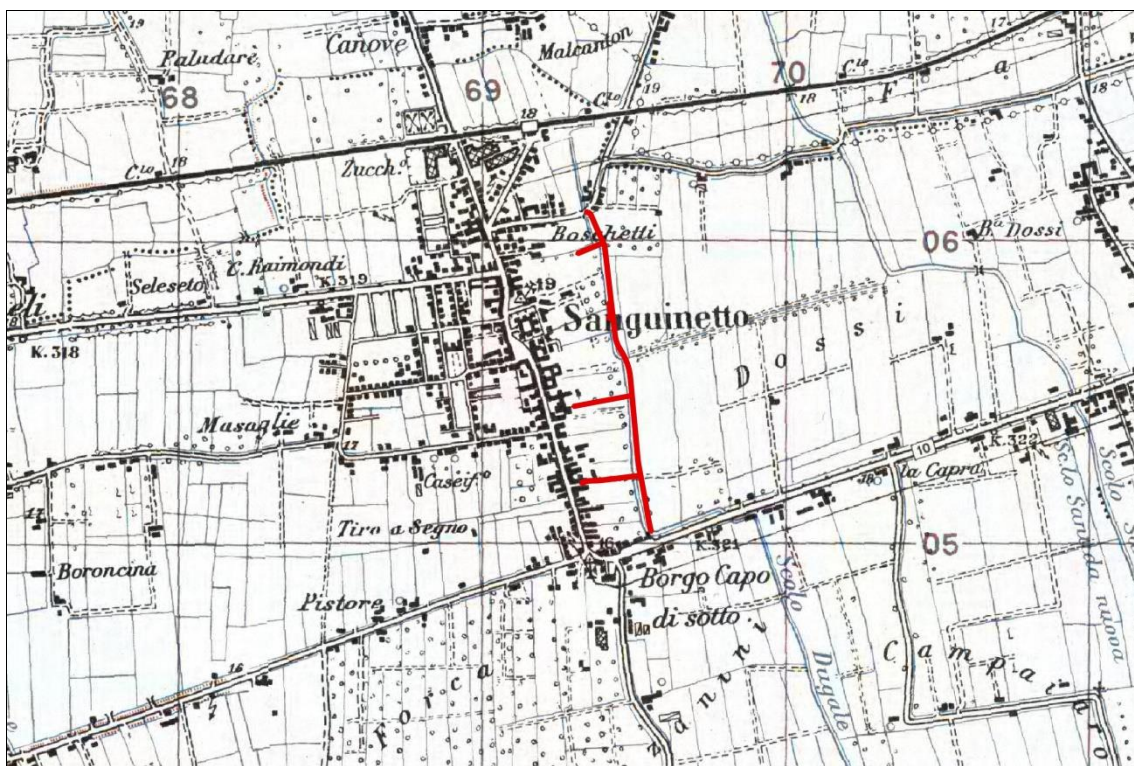


Figura 1: estratto della Carta Topografica d'Italia – scala 1:25000



Figura 2: immagine estratta da Google Earth

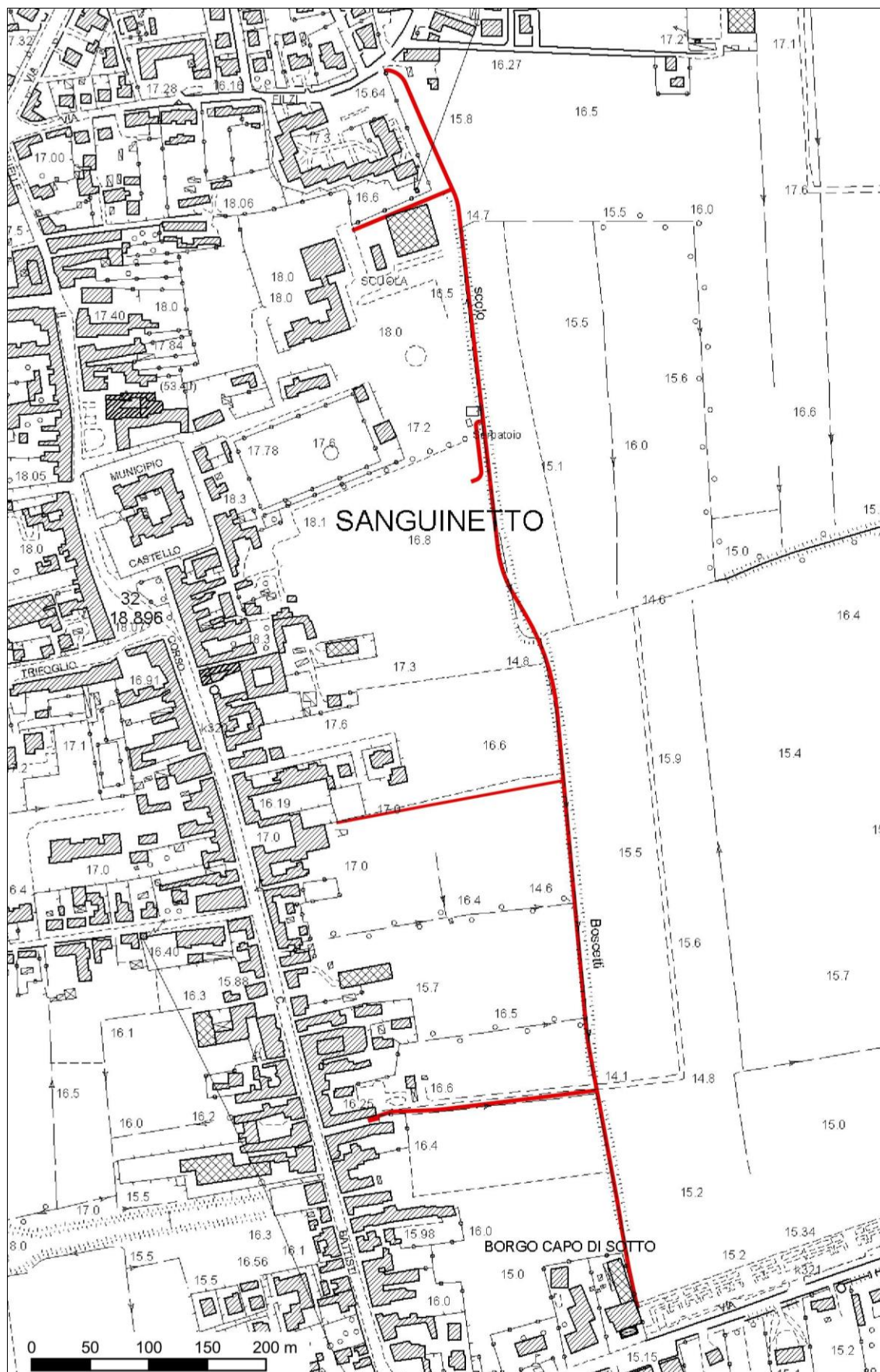


Figura 3: estratto della CTR – scala 1:10000 (ingrandita a 1:5000) – sezione n° 166020 “Sanguinetto”

3. OPERA IN PROGETTO

La pista ciclabile di progetto si sviluppa su un tracciato della lunghezza di circa 1 km su sede propria, sfruttando ove possibile il sedime demaniale dell'alveo dello scolo Boschetti, oggetto di tombamento e nuova alveazione.

La sezione prevista è di tipo bidirezionale e ha una larghezza di 2.50 m. Lungo il tracciato saranno realizzate aree di sosta.

La realizzazione della sede della pista ciclabile comprende:

- scotico preventivo di 20 cm;
- scavo per la realizzazione del cassonetto stradale/riporto di materiale per realizzazione di scarpata;
- costipazione del terreno;
- realizzazione di misto naturale tout-venant dello spessore di 20 cm;
- posa delle cordonate laterali singole di delimitazione o in forma di doppia cordonata di protezione per la realizzazione di aiuola piantumata;
- realizzazione di misto naturale stabilizzato dello spessore di 5 cm;
- posa di pavimentazione a finire per manto di usura superficiale dello spessore di 3 cm.

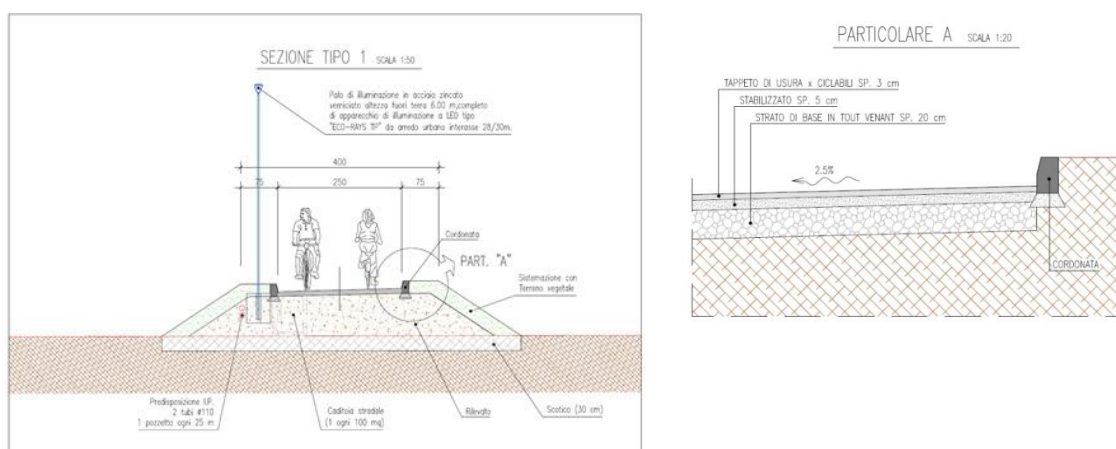


Figura 4: sezione tipologica di progetto

4. INDAGINI GEOGNOSTICHE

I terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area in studio sono stati caratterizzati mediante la realizzazione di n° 5 prove penetrometriche statiche e/o dinamiche.

Si è preferito, ove possibile, eseguire **prove statiche (CPT)** per la qualità del dato ottenibile, raggiungendo le profondità massime in corrispondenza di **CPT1** (19.4 m da p.c.) e **CPT 5** (17.6 m da p.c.), indicativamente ubicate alle estremità rispetto allo sviluppo del tracciato della ciclabile, mentre in **CPT2** (10.6 m da p.c.) e **CPT4** (6.4 m da p.c.) è stata indagata solo la parte più superficiale. In particolare, la prova **CPT4** è stata interrotta alla profondità di 6.4 m da p.c. per la presenza di un banco sabbioso addensato, il cui attraversamento si è rivelato problematico anche per un insufficiente ancoraggio del penetrometro, presumibilmente a causa di riporti superficiali.

Solo in corrispondenza dell'area dei campi sportivi, è stato necessario eseguire una **prova dinamica (DPSH)** anziché statica poiché non è stato possibile, per la presenza di riporto grossolano, ancorare con sufficiente stabilità al terreno il penetrometro.

La prova in oggetto, denominata **DPSH3**, ha raggiunto la profondità di 12.4 m da p.c.

L'amplificazione sismica dei terreni è stata invece valutata mediante l'esecuzione di **n° 2 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi.** (Refraction Microtremor), finalizzate alla determinazione della categoria di sottosuolo, come previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

Inoltre, sono state eseguite **n° 2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R.** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), per la determinazione della frequenza caratteristica di sito.

La figura seguente schematizza l'ubicazione delle indagini eseguite.



Figura 5: ubicazione indagini

4.1. Prove penetrometriche statiche (CPT)

In data 19 maggio 2021, sono stati eseguite n° 4 prove penetrometriche statiche con punta meccanica tipo Begemann, mediante penetrometro PAGANI TG 63-200 montato su carro cingolato semovente a trazione idraulica, con forza di infissione pari a 200 KN.

Le prove hanno raggiunto le seguenti profondità:

CPT1 19,4 m da p.c.

CPT2 10,6 m da p.c.

CPT4 6,4 m da p.c.

CPT5 17,6 m da p.c.

La figura seguente confronta il valore di Q_c (espresso in kg/cm^2) misurato nel corso delle varie prove.

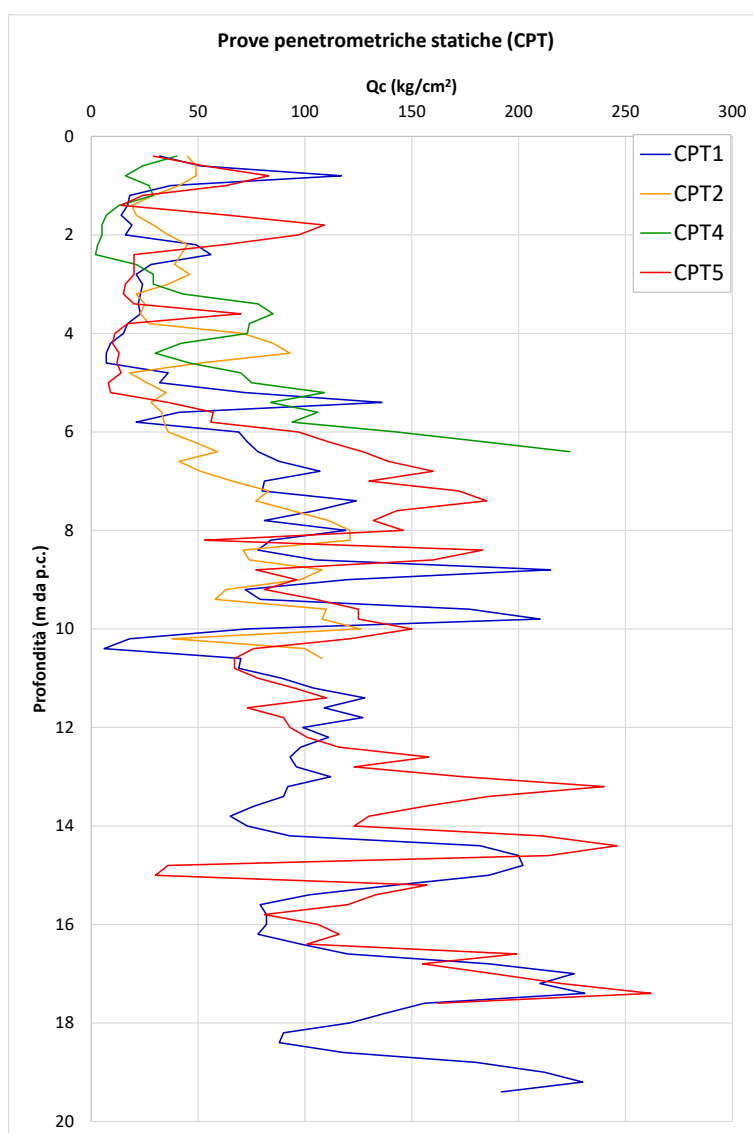


Figura 6: confronto parametro Q_c tra le CPT

In allegato a fondo testo la scheda descrittiva di ogni singola prova, le tabelle e i relativi grafici.

4.2. Prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH)

La prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH (Dynamic Probing Super Heavy), eseguita anch'essa col medesimo penetrometro PAGANI, consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno, per tratti successivi di 20 cm, una punta conica metallica posta all'estremità di una batteria d'aste di acciaio. L'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante (75 cm) un maglio di dato peso (63,5 kg) e contando i colpi necessari all'avanzamento della punta.

Di seguito, si propone il grafico relativo alla prova DPSH3, spinta fino a 12,4 m da p.c., nel quale si riporta il numero di colpi registrato in funzione della profondità.

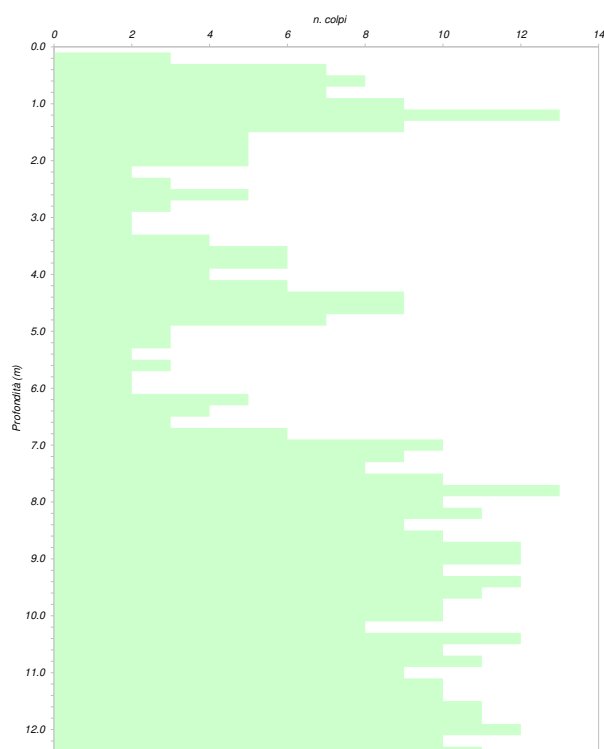


Figura 7: grafico DPSH

In allegato a fondo testo la scheda descrittiva della prova DHPS3, la tabella e il relativo grafico.

4.3. Prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi.

Le prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor) sono state sviluppate in array lineari lunghi 46 m allo scopo di ricavare la curva di dispersione delle onde di superficie ed ottenere una stima preliminare della sismostratigrafia del sottosuolo.

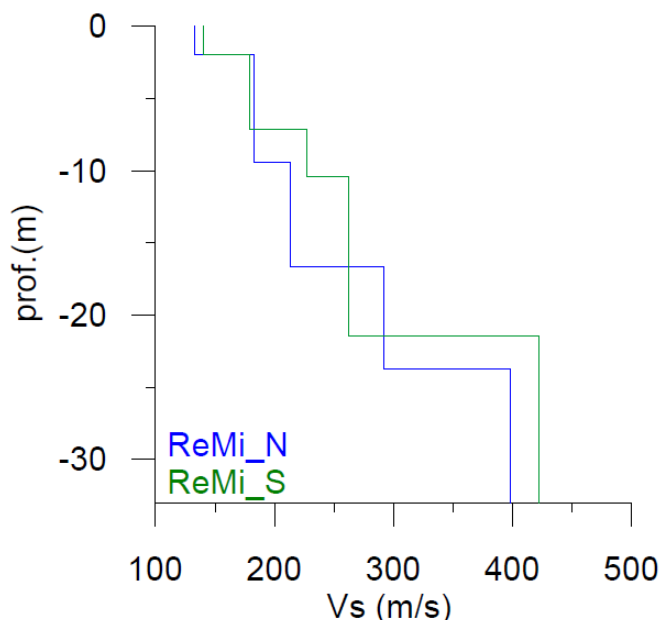


Figura 8: sismostratigrafie sovrapposte

I modelli proposti prevedono un graduale aumento del grado di addensamento fino ad una ventina di metri. A questa quota ci sarebbe il contatto con materiali di maggior rigidità con Vs dell'ordine di 400-420m/s. Le sismostratigrafie mostrano una leggera differenza in termini di velocità e spessore degli strati, differenze compatibili con un contesto deposizionale di piana alluvionale di medio-bassa energia.

La **categoria di sottosuolo**, calcolata sulla base dei valori di $V_{s,30}$, inferiori a 360 m/s, è chiaramente la **C**.

4.4. Registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R.

Le acquisizioni a stazione singola consentono di ottenere le curva dei rapporti spettrali (H/V) tra le componenti orizzontale e verticale delle onde di superficie generate dal rumore ambientale. Da questa, se le caratteristiche della struttura geologica lo consentono, si può quantificare la frequenza di risonanza del sito testato.

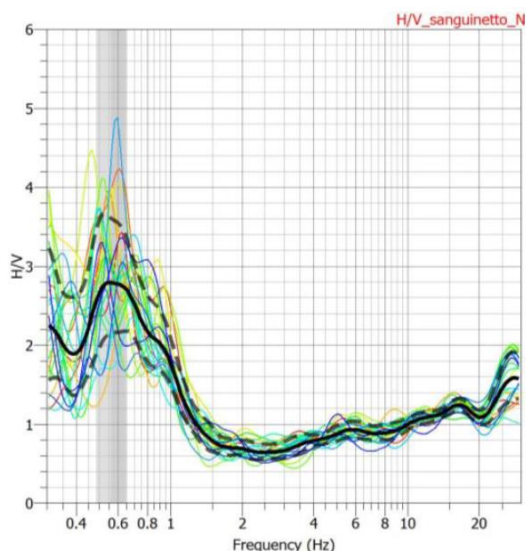


Figura 9: curva H/V di HVSr_N

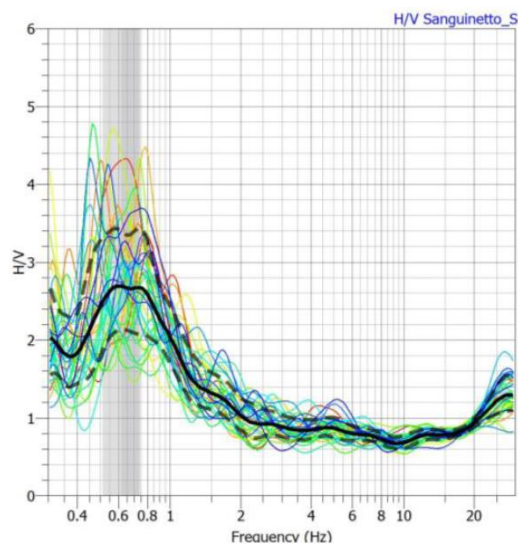


Figura 10: curva H/V di HVSr_S

Le curve H/V presentano un massimo a frequenza compresa tra 0.56Hz e 0.61Hz e la leggera discrepanza rientra nella categoria dell'errore strumentale. Le frequenze sono quindi sostanzialmente identiche, considerato il contesto geologico dell'area dove il bedrock è sicuramente profondo e l'interfaccia subplanare.

Sintetizzando, si può quindi concludere che il sito presenta una **frequenza di risonanza f_0 di circa 0.6Hz**.

In allegato a fondo testo il rapporto completo dell'indagine geofisica e le sismostratigrafie ottenute con le Re.Mi.

Verona, 31 maggio 2021

Dott. Geol. LUCA BERSANI



5. ALLEGATI

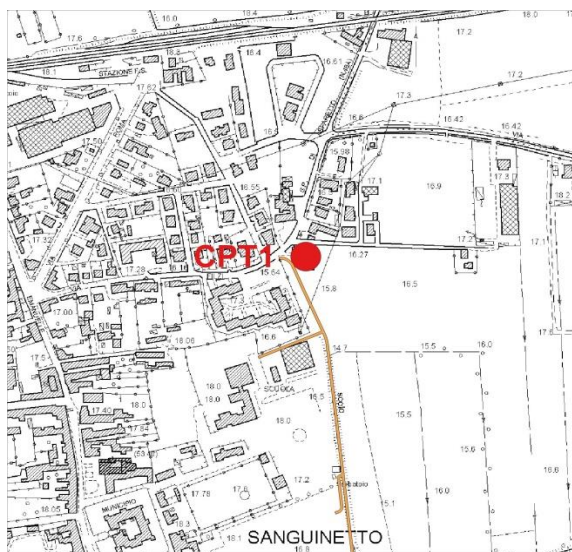
- ❑ Schede descrittive, tabelle e grafici CPT e DPSH
- ❑ Rapporto indagine geofisica (*“Caratterizzazione del sottosuolo di fondazione per la costruzione di una nuova pista ciclabile per accesso in sicurezza al centro urbano”*) e tabelle riepilogative (ReMi_N e ReMi_S)

Schede descrittive, tabelle e grafici CPT e DPSH

Prova
Data: 19-mag-21
Luogo: Sanguinetto (VR)
Committente: Comune di Sanguinetto
Prof. Finale: 19.4 m da p.c.
Prof. Falda: 1.8 m da p.c.
Penetrometro Pagani TG63-200

CPT1

Est WGS84 (EPSG 4326) 11.154943°
Nord WGS84 (EPSG 4326) 45.186187°



Ubicazione CPT1 su CTR scala 1:10000



Ubicazione CPT1 su estratto da Google Satellite

Prova

Data:19-mag-21

Luogo:Sanguinetto (VR)

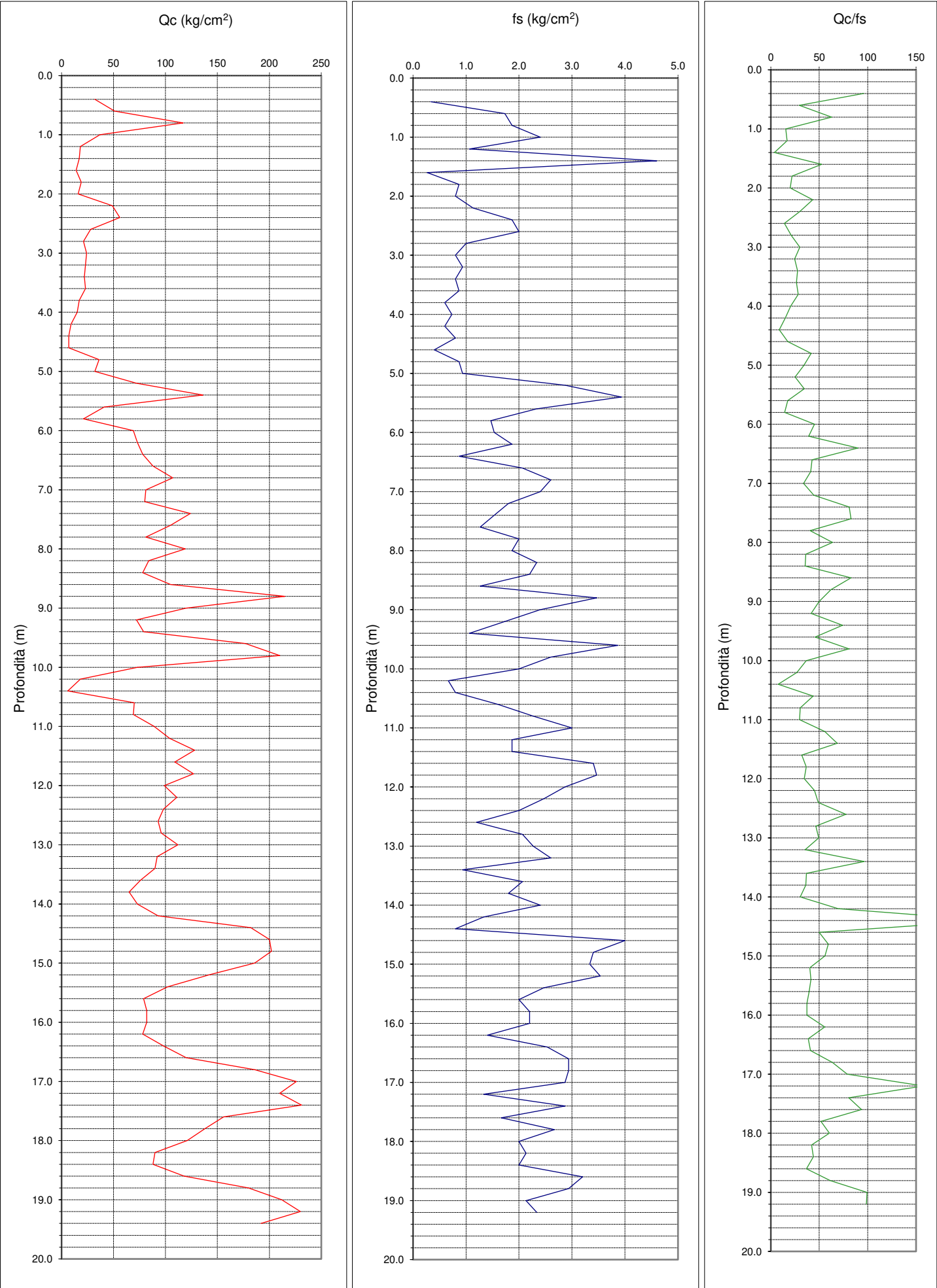
Committente:Comune di Sanguinetto

Prof. Finale:19.40m da p.c.

Prof. Falda:1.80m da p.c.

Penetrometro Pagani TG63-200

CPT1



Prova
 Data: 19-mag-21
 Luogo: Sanguinetto (VR)
 Committente: Comune di Sanguinetto
 Prof. Finale: 19.4 m da p.c.
 Prof. Falda: 1.8 m da p.c.
 Penetrometro Pagani TG63-200

CPT1

Prof.	Rp (kg/cm ²)	Rl (kg/cm ²)	Rp/Rl	Litologia (AGI)
0.2				
0.4	32	0.33	96	Sabbie e sabbie con ghiaia
0.6	51	1.73	29	Limi e Argille
0.8	117	1.87	63	Sabbie e sabbie con ghiaia
1.0	37	2.40	15	Limi e Argille
1.2	18	1.07	17	Limi e Argille
1.4	17	4.60	4	Torbe ed argille organiche
1.6	14	0.27	53	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.8	19	0.87	22	Limi e Argille
2.0	16	0.80	20	Limi e Argille
2.2	49	1.13	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.4	56	1.87	30	Limi e Argille
2.6	28	2.00	14	Torbe ed argille organiche
2.8	21	1.00	21	Limi e Argille
3.0	24	0.80	30	Limi e Argille
3.2	23	0.93	25	Limi e Argille
3.4	22	0.80	28	Limi e Argille
3.6	23	0.87	27	Limi e Argille
3.8	17	0.60	28	Limi e Argille
4.0	15	0.73	20	Limi e Argille
4.2	9	0.60	15	Torbe ed argille organiche
4.4	7	0.80	9	Torbe ed argille organiche
4.6	7	0.40	18	Limi e Argille
4.8	36	0.87	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.0	32	0.93	34	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.2	72	2.87	25	Limi e Argille
5.4	136	3.93	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.6	41	2.33	18	Limi e Argille
5.8	21	1.47	14	Torbe ed argille organiche
6.0	69	1.53	45	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.2	73	1.87	39	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.4	78	0.87	90	Sabbie e sabbie con ghiaia
6.6	88	2.07	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.8	107	2.60	41	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.0	81	2.40	34	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.2	80	1.80	44	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.4	124	1.53	81	Sabbie e sabbie con ghiaia
7.6	105	1.27	83	Sabbie e sabbie con ghiaia
7.8	81	2.00	41	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.0	119	1.87	64	Sabbie e sabbie con ghiaia
8.2	84	2.33	36	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.4	78	2.20	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.6	105	1.27	83	Sabbie e sabbie con ghiaia
8.8	215	3.47	62	Sabbie e sabbie con ghiaia
9.0	120	2.40	50	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.2	72	1.73	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.4	79	1.07	74	Sabbie e sabbie con ghiaia
9.6	177	3.87	46	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.8	210	2.60	81	Sabbie e sabbie con ghiaia
10.0	73	2.00	37	Limi sabbiosi e sabbie limose

Prova
 Data: 19-mag-21
 Luogo: Sanguinetto (VR)
 Committente: Comune di Sanguinetto
 Prof. Finale: 19.4 m da p.c.
 Prof. Falda: 1.8 m da p.c.
 Penetrometro Pagani TG63-200

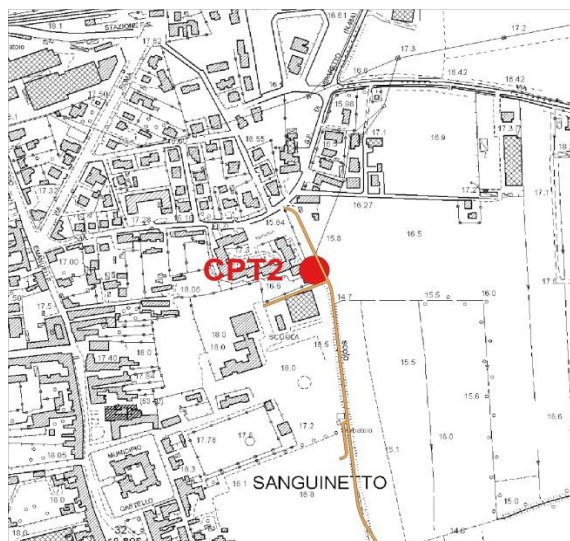
CPT1

Prof.	Rp (kg/cm ²)	Rl (kg/cm ²)	Rp/Rl	Litologia (AGI)
10.2	18	0.67	27	Limi e Argille
10.4	6	0.80	8	Torbe ed argille organiche
10.6	70	1.60	44	Limi sabbiosi e sabbie limose
10.8	69	2.27	30	Limi sabbiosi e sabbie limose
11.0	89	3.00	30	Limi e Argille
11.2	104	1.87	56	Limi sabbiosi e sabbie limose
11.4	128	1.87	69	Sabbie e sabbie con ghiaia
11.6	109	3.40	32	Limi sabbiosi e sabbie limose
11.8	127	3.47	37	Limi sabbiosi e sabbie limose
12.0	99	2.87	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
12.2	111	2.47	45	Limi sabbiosi e sabbie limose
12.4	98	2.00	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
12.6	93	1.20	78	Sabbie e sabbie con ghiaia
12.8	96	2.07	46	Limi sabbiosi e sabbie limose
13.0	112	2.27	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
13.2	92	2.60	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
13.4	90	0.93	96	Sabbie e sabbie con ghiaia
13.6	76	2.07	37	Limi sabbiosi e sabbie limose
13.8	65	1.80	36	Limi sabbiosi e sabbie limose
14.0	73	2.40	30	Limi sabbiosi e sabbie limose
14.2	93	1.33	70	Sabbie e sabbie con ghiaia
14.4	182	0.80	228	Sabbie e sabbie con ghiaia
14.6	200	4.00	50	Limi sabbiosi e sabbie limose
14.8	202	3.40	59	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.0	186	3.33	56	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.2	142	3.53	40	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.4	102	2.47	41	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.6	79	2.00	40	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.8	82	2.20	37	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.0	82	2.20	37	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.2	78	1.40	56	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.4	98	2.53	39	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.6	120	2.93	41	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.8	186	2.93	63	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.0	226	2.87	79	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.2	210	1.33	158	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.4	231	2.87	81	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.6	156	1.67	94	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.8	138	2.67	52	Limi sabbiosi e sabbie limose
18.0	121	2.00	61	Sabbie e sabbie con ghiaia
18.2	90	2.13	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
18.4	88	2.00	44	Limi sabbiosi e sabbie limose
18.6	118	3.20	37	Limi sabbiosi e sabbie limose
18.8	180	2.93	61	Sabbie e sabbie con ghiaia
19.0	212	2.13	99	Sabbie e sabbie con ghiaia
19.2	230	2.33	99	Sabbie e sabbie con ghiaia
19.4	192			

Prova
Data: 19-mag-21
Luogo: Sanguinetto (VR)
Committente: Comune di Sanguinetto
Prof. Finale: 10.6 m da p.c.
Prof. Falda: 1.8 m da p.c.
Penetrometro Pagani TG63-200

CPT2

Est WGS84 (EPSG 4326) 11.154976°
Nord WGS84 (EPSG 4326) 45.185392°



Ubicazione CPT2 su CTR scala 1:10000



Ubicazione CPT2 su estratto da Google Satellite

Prova

Data:19-mag-21

Luogo:Sanguinetto (VR)

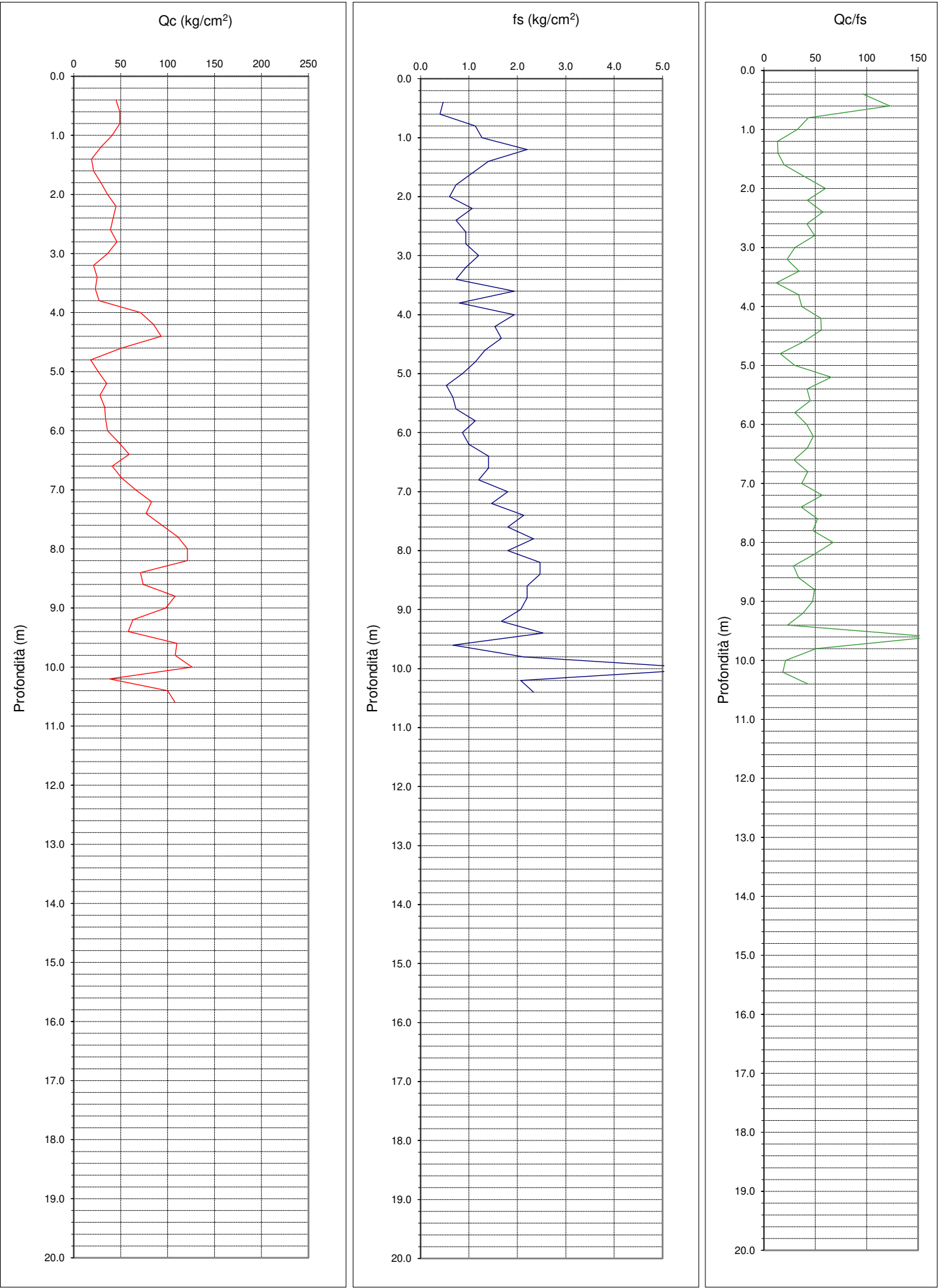
Committente:Comune di Sanguinetto

Prof. Finale:10.60m da p.c.

Prof. Falda:1.80m da p.c.

Penetrometro Pagani TG63-200

CPT2



Prova
 Data: 19-mag-21
 Luogo: Sanguinetto (VR)
 Committente: Comune di Sanguinetto
 Prof. Finale: 10.6 m da p.c.
 Prof. Falda: 1.8 m da p.c.
 Penetrometro Pagani TG63-200

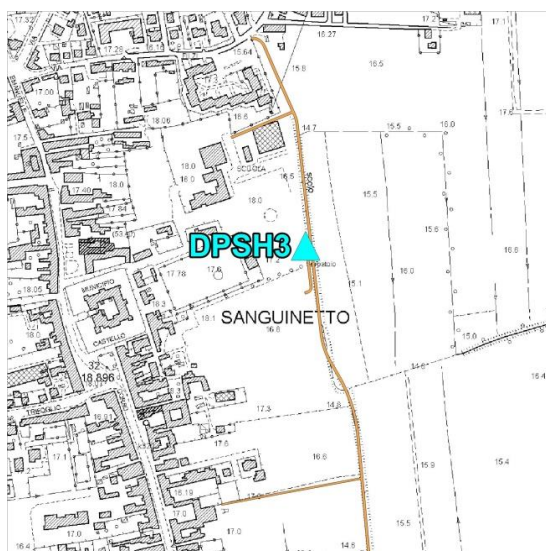
CPT2

Prof.	Rp (kg/cm ²)	Rl (kg/cm ²)	Rp/Rl	Litologia (AGI)
0.2				
0.4	45	0.47	96	Sabbie e sabbie con ghiaia
0.6	49	0.40	123	Sabbie e sabbie con ghiaia
0.8	49	1.13	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.0	41	1.27	32	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.2	29	2.20	13	Torbe ed argille organiche
1.4	19	1.40	14	Torbe ed argille organiche
1.6	21	1.07	20	Limi e Argille
1.8	29	0.73	40	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.0	36	0.60	60	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.2	45	1.07	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.4	42	0.73	57	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.6	39	0.93	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.8	46	0.93	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.0	36	1.20	30	Limi e Argille
3.2	21	0.93	23	Limi e Argille
3.4	25	0.73	34	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.6	23	1.93	12	Torbe ed argille organiche
3.8	27	0.80	34	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.0	71	1.93	37	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.2	85	1.53	55	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.4	93	1.67	56	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.6	51	1.33	38	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.8	18	1.13	16	Limi e Argille
5.0	26	0.87	30	Limi e Argille
5.2	35	0.53	66	Sabbie e sabbie con ghiaia
5.4	28	0.67	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.6	33	0.73	45	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.8	34	1.13	30	Limi e Argille
6.0	36	0.87	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.2	48	1.00	48	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.4	59	1.40	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.6	41	1.40	29	Limi e Argille
6.8	51	1.20	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.0	66	1.80	37	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.2	83	1.47	57	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.4	77	2.13	36	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.6	94	1.80	52	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.8	111	2.33	48	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.0	121	1.80	67	Sabbie e sabbie con ghiaia
8.2	121	2.47	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.4	71	2.47	29	Limi e Argille
8.6	74	2.20	34	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.8	108	2.20	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.0	98	2.07	47	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.2	63	1.67	38	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.4	58	2.53	23	Limi e Argille
9.6	110	0.67	165	Sabbie e sabbie con ghiaia
9.8	108	2.13	51	Limi sabbiosi e sabbie limose
10.0	126	6.00	21	Limi e Argille
10.2	38	2.07	18	Limi e Argille
10.4	100	2.33	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
10.6	108	0.00		

Prova
Data: 19-mag-21
Luogo: Sanguinetto (VR)
Committente: Comune di Sanguinetto
Prof. Finale: 12.4 m da p.c.
Prof. Falda: 2.9 m da p.c.
Penetrometro Pagani TG63-200

DPSH 3

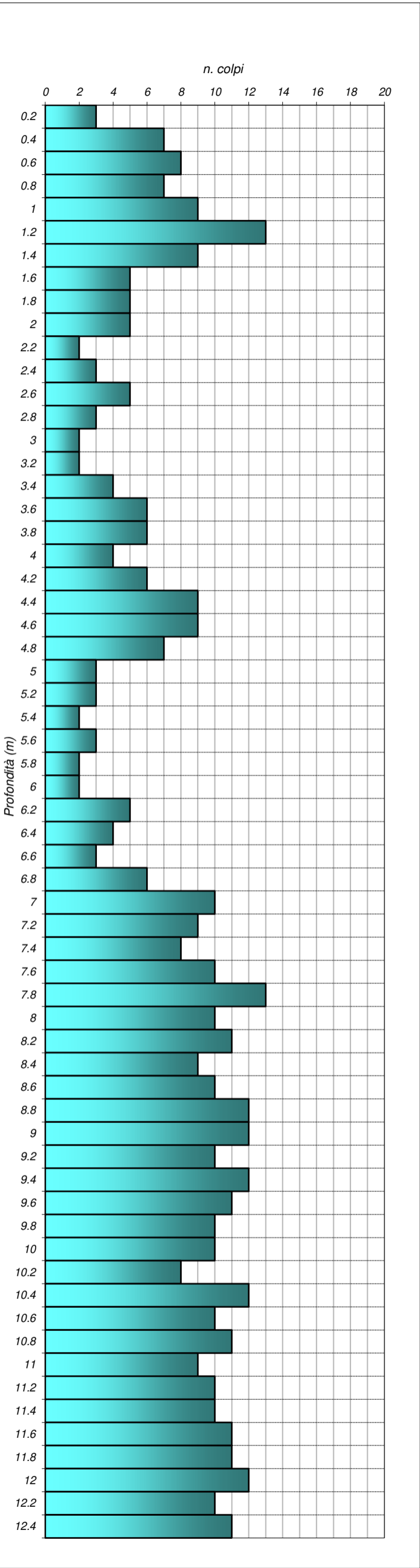
Est WGS84 (EPSG 4326) 11.155354°
Nord WGS84 (EPSG 4326) 45.183590°



Ubicazione DPSH3 su CTR scala 1:10000

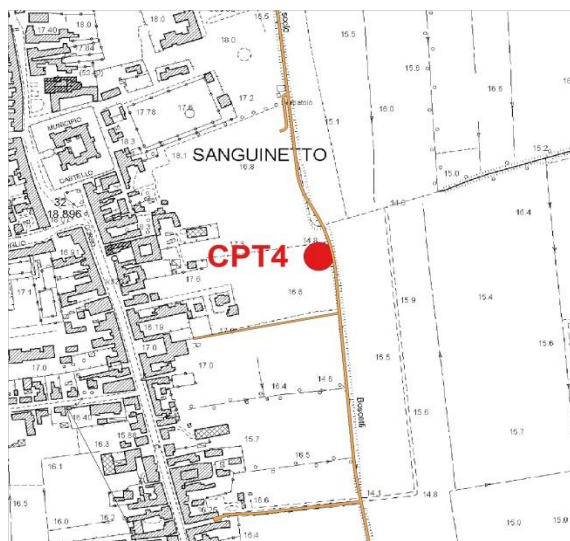
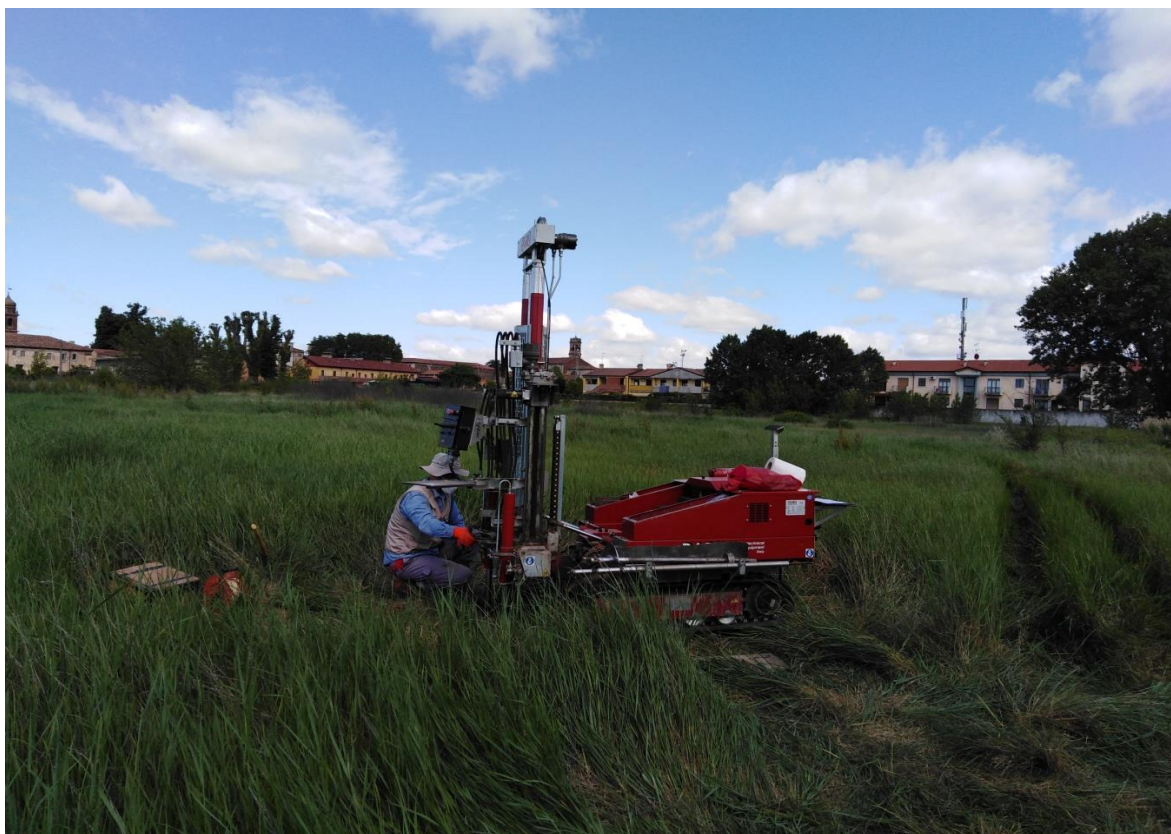
Ubicazione DPSH3 su estratto da Google Satellite

DPSH 3		
Data esecuzione: 19-mag-21		
Prof.	N. punta	N. rivest.
0.2	3	
0.4	7	
0.6	8	
0.8	7	
1	9	
1.2	13	
1.4	9	
1.6	5	
1.8	5	
2	5	
2.2	2	
2.4	3	
2.6	5	
2.8	3	
3	2	
3.2	2	
3.4	4	
3.6	6	
3.8	6	
4	4	
4.2	6	
4.4	9	
4.6	9	
4.8	7	
5	3	
5.2	3	
5.4	2	
5.6	3	
5.8	2	
6	2	
6.2	5	
6.4	4	
6.6	3	
6.8	6	
7	10	
7.2	9	
7.4	8	
7.6	10	
7.8	13	
8	10	
8.2	11	
8.4	9	
8.6	10	
8.8	12	
9	12	
9.2	10	
9.4	12	
9.6	11	
9.8	10	
10	10	
10.2	8	
10.4	12	
10.6	10	
10.8	11	
11	9	
11.2	10	
11.4	10	
11.6	11	
11.8	11	
12	12	
12.2	10	
12.4	11	
Prof. falda (m da p.c.):		2.90

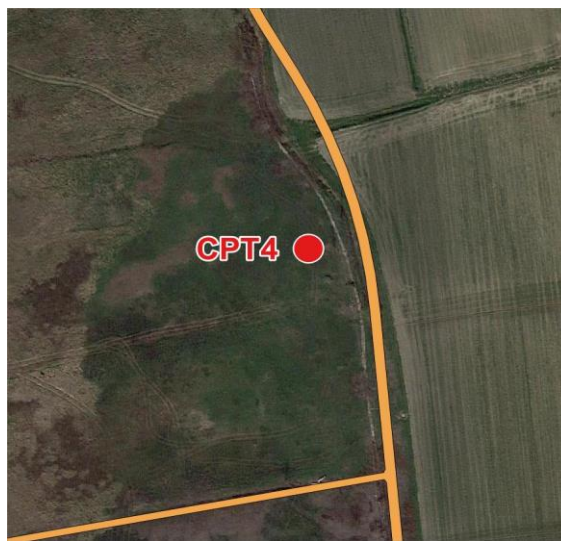


Prova **CPT4**
Data: 19-mag-21
Luogo: Sanguinetto (VR)
Committente: Comune di Sanguinetto
Prof. Finale: 6.4 m da p.c.
Prof. Falda: 1.5 m da p.c.
Penetrometro Pagani TG63-200

Est WGS84 (EPSG 4326) 11.155912°
Nord WGS84 (EPSG 4326) 45.181415°



Ubicazione CPT4 su CTR scala 1:10000



Ubicazione CPT4 su estratto da Google Satellite

Prova

Data:19-mag-21

Luogo:Sanguinetto (VR)

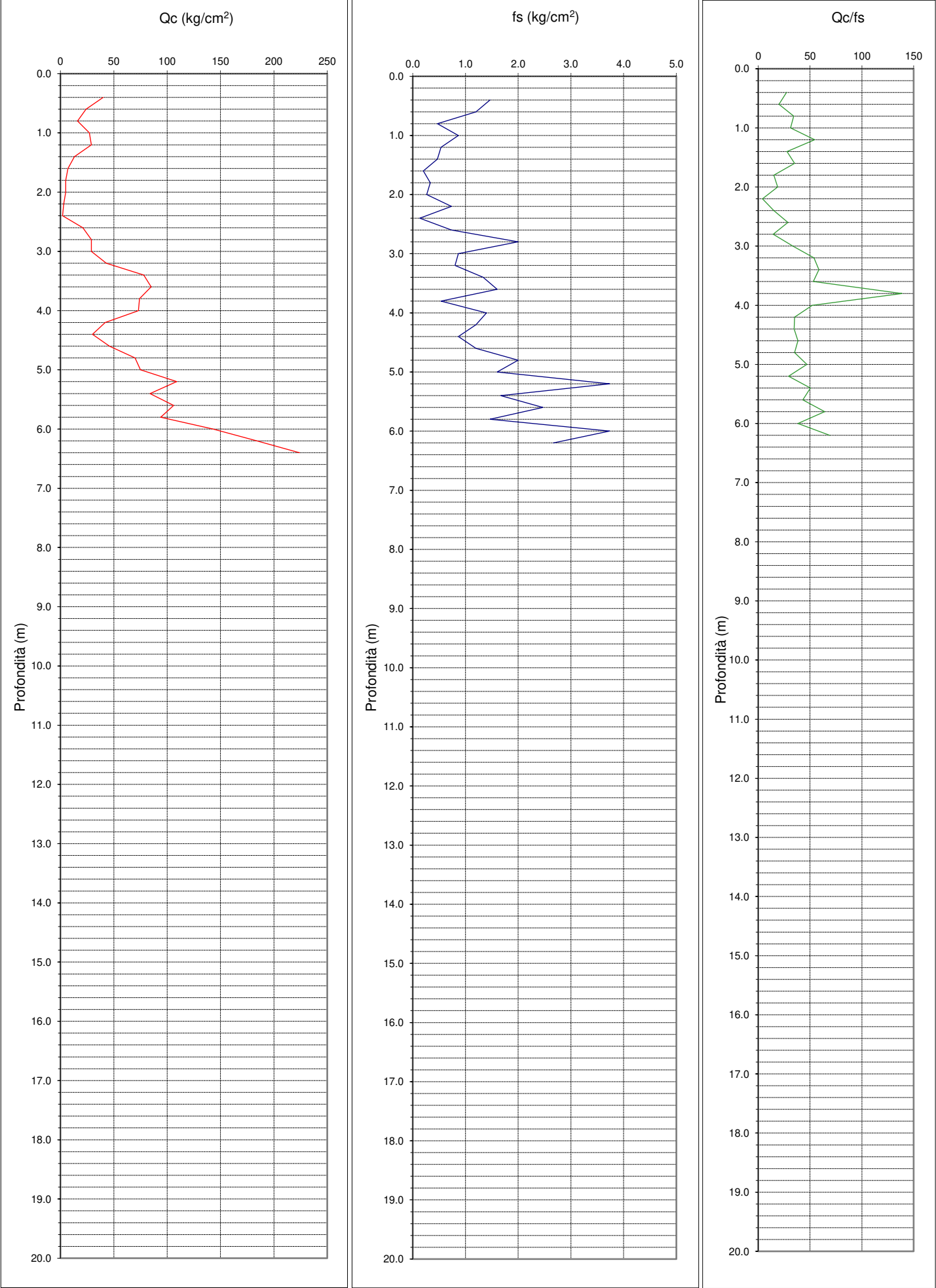
Committente:Comune di Sanguinetto

Prof. Finale:6.40m da p.c.

Prof. Falda:1.50m da p.c.

Penetrometro Pagani TG63-200

CPT4



Prova
 Data: 19-mag-21
 Luogo: Sanguinetto (VR)
 Committente: Comune di Sanguinetto
 Prof. Finale: 6.4 m da p.c.
 Prof. Falda: 1.5 m da p.c.
 Penetrometro Pagani TG63-200

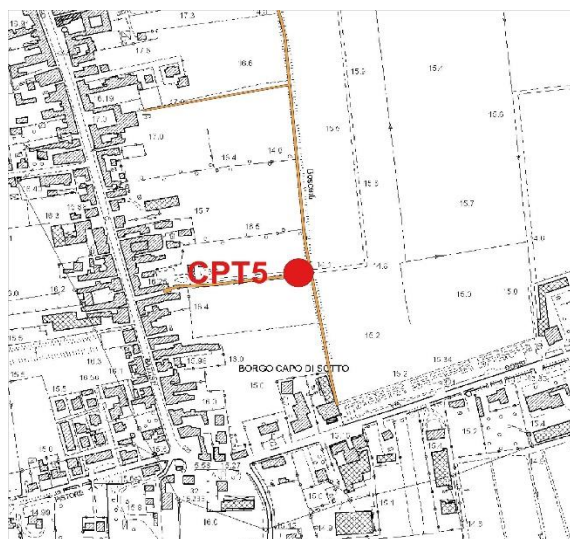
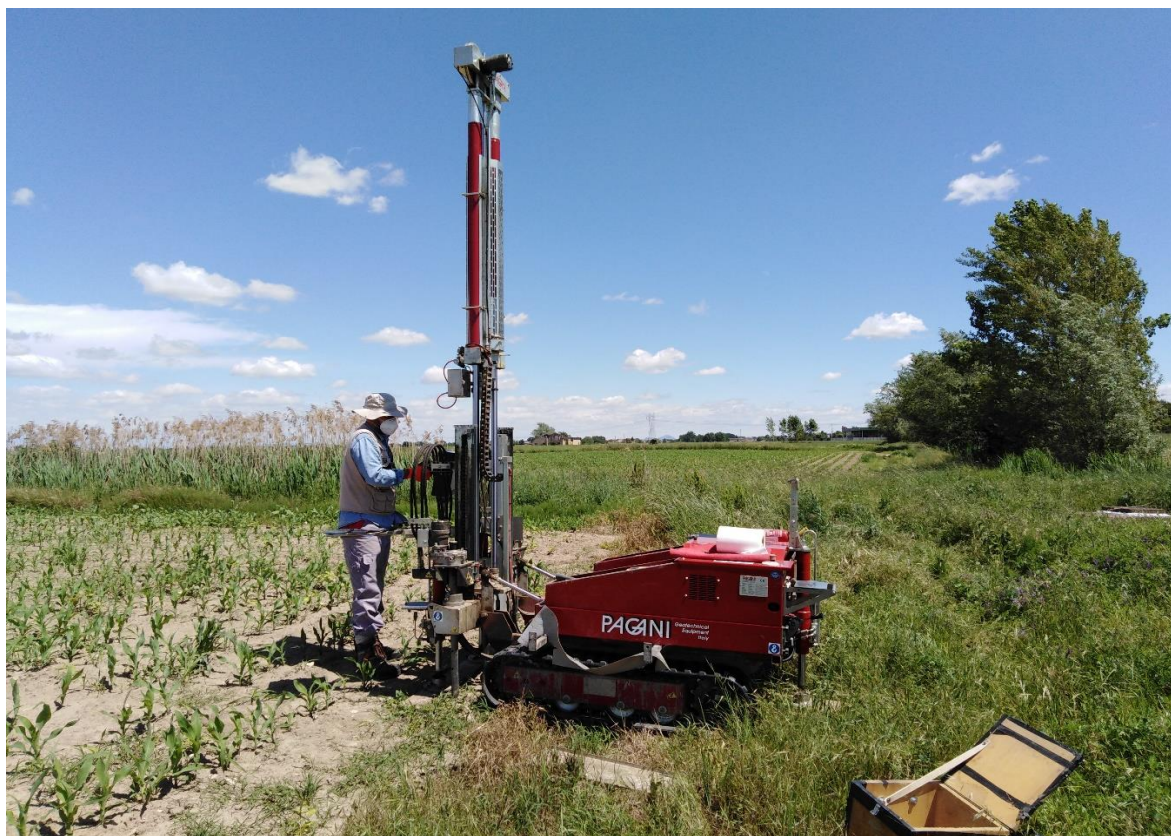
CPT4

Prof.	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI	Litologia (AGI)
0.2				
0.4	40	1.47	27	Limi e Argille
0.6	24	1.20	20	Limi e Argille
0.8	16	0.47	34	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.0	27	0.87	31	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.2	29	0.53	54	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.4	13	0.47	28	Limi e Argille
1.6	7	0.20	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.8	5	0.33	15	Torbe ed argille organiche
2.0	5	0.27	19	Limi e Argille
2.2	3	0.73	4	Torbe ed argille organiche
2.4	2	0.13	15	Torbe ed argille organiche
2.6	21	0.73	29	Limi e Argille
2.8	29	2.00	15	Torbe ed argille organiche
3.0	29	0.87	33	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.2	43	0.80	54	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.4	78	1.33	59	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.6	85	1.60	53	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.8	74	0.53	139	Sabbie e sabbie con ghiaia
4.0	73	1.40	52	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.2	42	1.20	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.4	30	0.87	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.6	46	1.20	38	Limi sabbiosi e sabbie limose
4.8	70	2.00	35	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.0	75	1.60	47	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.2	109	3.73	29	Limi e Argille
5.4	84	1.67	50	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.6	106	2.47	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.8	94	1.47	64	Sabbie e sabbie con ghiaia
6.0	143	3.73	38	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.2	184	2.67	69	Sabbie e sabbie con ghiaia
6.4	224			

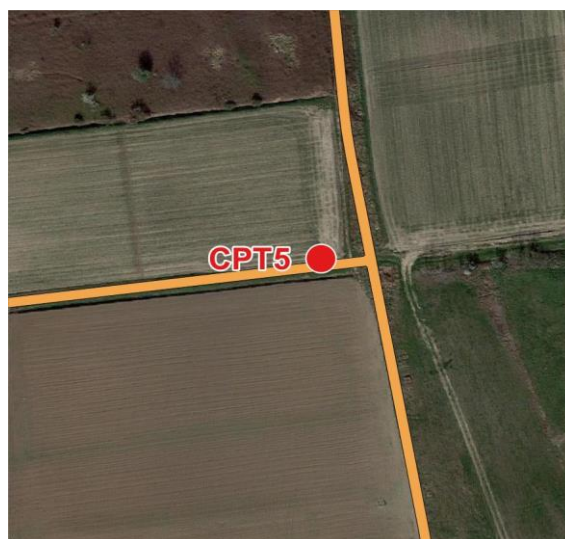
Prova
Data: 19-mag-21
Luogo: Sanguinetto (VR)
Committente: Comune di Sanguinetto
Prof. Finale: 17.6 m da p.c.
Prof. Falda: 0.7 m da p.c.
Penetrometro Pagani TG63-200

CPT5

Est WGS84 (EPSG 4326) 11.156295°
Nord WGS84 (EPSG 4326) 45.178321°



Ubicazione CPT5 su CTR scala 1:10000



Ubicazione CPT5 su estratto da Google Satellite

Prova

Data:

Luogo:

Committente:

Prof. Finale:

Prof. Falda:

Penetrometro Pagani TG63-200

CPT5

19-mag-21

Sanguinetto (VR)

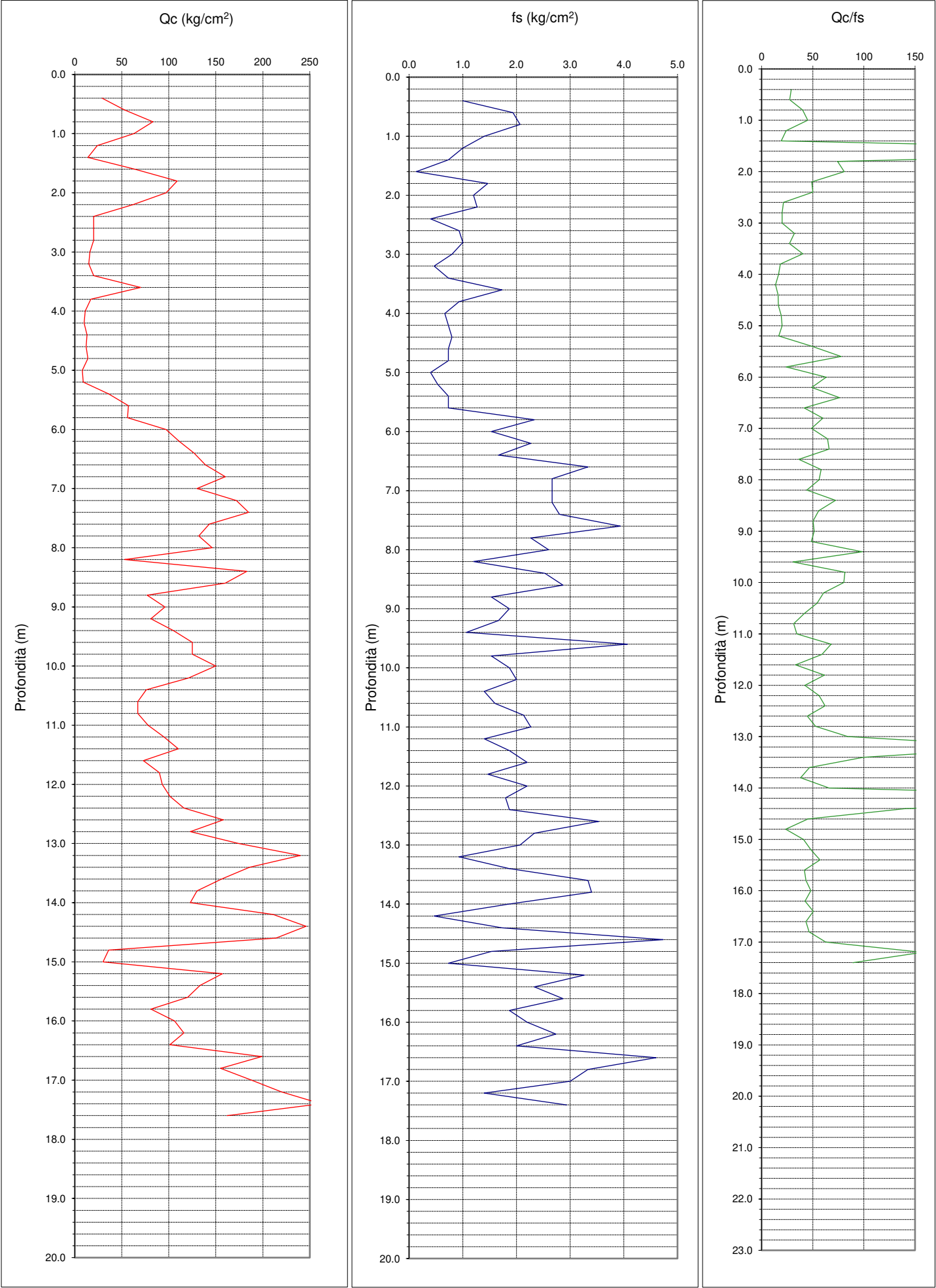
Comune di Sanguinetto

17.60

0.70

m da p.c.

m da p.c.



Prova
 Data: 19-mag-21
 Luogo: Sanguinetto (VR)
 Committente: Comune di Sanguinetto
 Prof. Finale: 17.6 m da p.c.
 Prof. Falda: 0.7 m da p.c.
 Penetrometro Pagani TG63-200

CPT5

Prof.	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI	Litologia (AGI)
0.2				
0.4	29	1.00	29	Limi e Argille
0.6	53	1.93	27	Limi e Argille
0.8	83	2.07	40	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.0	63	1.40	45	Limi sabbiosi e sabbie limose
1.2	24	1.00	24	Limi e Argille
1.4	14	0.73	19	Limi e Argille
1.6	64	0.13	480	Sabbie e sabbie con ghiaia
1.8	109	1.47	74	Sabbie e sabbie con ghiaia
2.0	97	1.20	81	Sabbie e sabbie con ghiaia
2.2	62	1.27	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.4	20	0.40	50	Limi sabbiosi e sabbie limose
2.6	20	0.93	21	Limi e Argille
2.8	20	1.00	20	Limi e Argille
3.0	16	0.80	20	Limi e Argille
3.2	15	0.47	32	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.4	20	0.73	27	Limi e Argille
3.6	70	1.73	40	Limi sabbiosi e sabbie limose
3.8	17	0.93	18	Limi e Argille
4.0	11	0.67	17	Limi e Argille
4.2	10	0.73	14	Torbe ed argille organiche
4.4	13	0.80	16	Limi e Argille
4.6	12	0.73	16	Limi e Argille
4.8	14	0.73	19	Limi e Argille
5.0	8	0.40	20	Limi e Argille
5.2	9	0.53	17	Limi e Argille
5.4	36	0.73	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
5.6	57	0.73	78	Sabbie e sabbie con ghiaia
5.8	56	2.33	24	Limi e Argille
6.0	97	1.53	63	Sabbie e sabbie con ghiaia
6.2	111	2.27	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.4	127	1.67	76	Sabbie e sabbie con ghiaia
6.6	139	3.33	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
6.8	160	2.67	60	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.0	130	2.67	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.2	172	2.67	65	Sabbie e sabbie con ghiaia
7.4	185	2.80	66	Sabbie e sabbie con ghiaia
7.6	143	3.93	36	Limi sabbiosi e sabbie limose
7.8	132	2.27	58	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.0	146	2.60	56	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.2	53	1.20	44	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.4	183	2.53	72	Sabbie e sabbie con ghiaia
8.6	160	2.87	56	Limi sabbiosi e sabbie limose
8.8	77	1.53	50	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.0	96	1.87	51	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.2	81	1.67	49	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.4	105	1.07	98	Sabbie e sabbie con ghiaia
9.6	125	4.07	31	Limi sabbiosi e sabbie limose
9.8	125	1.53	82	Sabbie e sabbie con ghiaia
10.0	150	1.87	80	Sabbie e sabbie con ghiaia

Prova
 Data: 19-mag-21
 Luogo: Sanguinetto (VR)
 Committente: Comune di Sanguinetto
 Prof. Finale: 17.6 m da p.c.
 Prof. Falda: 0.7 m da p.c.
 Penetrometro Pagani TG63-200

CPT5

Prof.	Rp (kg/cm ²)	Rl (kg/cm ²)	Rp/Rl	Litologia (AGI)
10.2	121	2.00	61	Sabbie e sabbie con ghiaia
10.4	76	1.40	54	Limi sabbiosi e sabbie limose
10.6	67	1.60	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
10.8	67	2.13	31	Limi sabbiosi e sabbie limose
11.0	78	2.27	34	Limi sabbiosi e sabbie limose
11.2	95	1.40	68	Sabbie e sabbie con ghiaia
11.4	110	1.87	59	Limi sabbiosi e sabbie limose
11.6	73	2.20	33	Limi sabbiosi e sabbie limose
11.8	90	1.47	61	Sabbie e sabbie con ghiaia
12.0	93	2.20	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
12.2	101	1.80	56	Limi sabbiosi e sabbie limose
12.4	116	1.87	62	Sabbie e sabbie con ghiaia
12.6	158	3.53	45	Limi sabbiosi e sabbie limose
12.8	123	2.33	53	Limi sabbiosi e sabbie limose
13.0	174	2.07	84	Sabbie e sabbie con ghiaia
13.2	240	0.93	257	Sabbie e sabbie con ghiaia
13.4	186	1.87	100	Sabbie e sabbie con ghiaia
13.6	156	3.33	47	Limi sabbiosi e sabbie limose
13.8	130	3.40	38	Limi sabbiosi e sabbie limose
14.0	123	1.87	66	Sabbie e sabbie con ghiaia
14.2	211	0.47	452	Sabbie e sabbie con ghiaia
14.4	246	1.73	142	Sabbie e sabbie con ghiaia
14.6	214	4.73	45	Limi sabbiosi e sabbie limose
14.8	36	1.53	23	Limi e Argille
15.0	30	0.73	41	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.2	157	3.27	48	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.4	133	2.33	57	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.6	120	2.87	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
15.8	81	1.87	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.0	106	2.20	48	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.2	116	2.73	42	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.4	101	2.00	51	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.6	199	4.60	43	Limi sabbiosi e sabbie limose
16.8	155	3.33	47	Limi sabbiosi e sabbie limose
17.0	188	3.00	63	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.2	220	1.40	157	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.4	262	2.93	89	Sabbie e sabbie con ghiaia
17.6	162	0.00		

**Caratterizzazione del sottosuolo di
fondazione per la costruzione di una nuova
pista ciclabile per accesso in sicurezza al
centro urbano**



GG Service sas

via Bellavista, 13/A
38069 Torbole s/G (TN)
P.Iva/C.F./Reg. TN: 01999920224
tel/fax: 0464-664799/506041
infoggservice@gmail.com

1. INTRODUZIONE

La GG Service s.a.s. ha provveduto a caratterizzare mediante metodi sismici passivi i terreni di fondazione di due punti chiave per il progetto di realizzazione della nuova pista ciclabile nei pressi di Sanguinetto(VR).

Le indagini sono costituite dall'unione di prove sismiche passive ReMi in array lineare da 46m e da test puntuale HVSR a tre componenti.



Ubicazione indagini

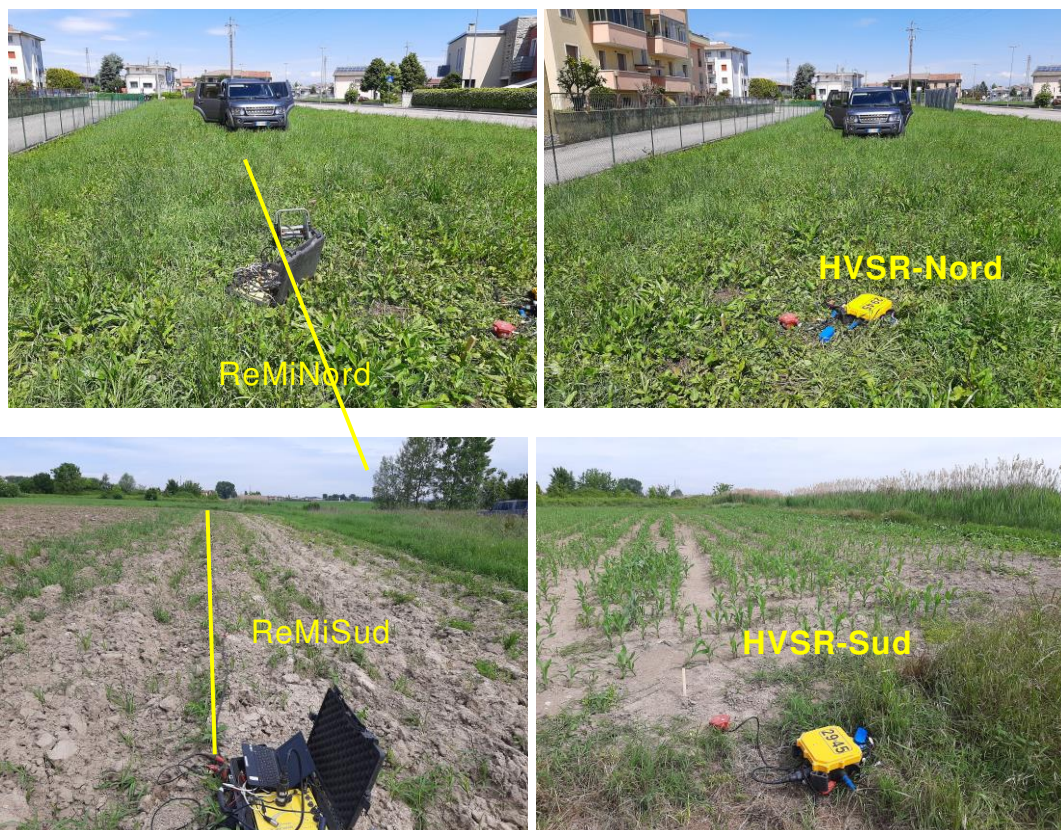


Immagine degli stendimenti sismici

Le prove lineari (profili ReMi) hanno la funzione di ricavare la curva di dispersione delle onde di superficie ed ottenere una stima preliminare della sismostratigrafia del sottosuolo.

Le acquisizioni a stazione singola 3C servono invece a ottenere le curve dei rapporti spettrali (H/V) tra le componenti orizzontali e verticale delle onde di superficie generate dal noise ambientale. Da questa, se evidente perché le caratteristiche della struttura geologica lo consentono, si può quantificare la frequenza di risonanza del sito testato. Questa informazione è importante per il dimensionamento fondazionale delle opere in progetto per evitare fenomeni di doppia risonanza qualora la frequenza del modo fondamentale del terreno rientri nel range di conflitto con quelle proprie del manufatto.

I dati H/V e quelli della curva di dispersione vanno poi sottoposti ad un processo di inversione congiunta per ricostruire un corretto profilo verticale di velocità dei materiali naturali e gli spessori dei differenti sismostrati fino al bedrock. Questo a patto che ci siano le condizioni di contrasto di V_s necessarie per far emergere l'interfaccia sulla curva H/V. Un ruolo fondamentale compete però anche alle caratteristiche tecniche e di sensibilità degli apparati di acquisizione, alle caratteristiche geologiche del sito ed alle condizioni ambientali (qualità del rumore antropico che rappresenta la sorgente sismica naturale).

2. ANALISI DATI ARRAY LINEARE

Curva di dispersione

In un mezzo verticalmente eterogeneo le onde di superficie sono dispersive: la loro velocità varia con la frequenza che, a sua volta, controlla la profondità di penetrazione.

La principale ipotesi per l'utilizzo delle vibrazioni ambientali è che esse siano principalmente composte da onde di superficie, fatto questo che consente di utilizzare le proprietà della dispersione.

Le misure dei microtremori ambientali vengono fatte mediante array di sensori prevalentemente 2D e, solamente nelle applicazioni pratiche in campo ingegneristico, con stendimenti lineari utilizzando la normale strumentazione per la rifrazione. Si tratta di tecniche di acquisizione passiva che presuppongono che il campo d'onda sia attraversato da onde piane.

Utilizzando stendimenti lineari di geofoni, anziché stazioni geofoniche (mono o tricomponenti) non possono essere applicati i principi che stanno alla base delle acquisizioni SPAC o F-K (*investigazione statistica nel tempo e nello spazio dove si assume che il segnale sia un rumore stocastico stazionario nel dominio del tempo e dello spazio*) ed il relativo trattamento dati che avviene nel dominio dei numeri d'onda.

Il presupposto per questo tipo di acquisizione passiva (conosciuta con l'acronimo ReMi – Refraction Microtremor) è che la struttura geologica sia monodimensionale e che il rumore ambientale non abbia marcata direttività.

Processing

L'elaborazione del dataset, composto da record di 20s di lunghezza, non separabili come eventi singoli in fase di processing, avviene applicando una trasformata doppia di Fourier (chiamata p-f) implementata in maniera che nell'immagine spettrale mostrino coerenza solo i modi di propagazione propri delle onde di superficie. L'energia viene rappresentata in un plot, come già anticipato, di tipo p-f (p slowness=reciproco della velocità di fase – f = frequenza).

Questo processing mette così in immediato risalto la struttura del modo di propagazione delle onde di superficie a discapito delle onde body (P ed S) che, anche se in misura energeticamente minoritaria, sono presenti nel corpus delle vibrazioni ambientali.

Un'operazione di stacking tra i differenti piani spettrali che presentano condizioni di omogeneità modale, permette di migliorare la risposta finale enfatizzando le coerenze e minimizzando gli effetti del noise incoerente.

Quindi, quando sussistono le condizioni teoriche ottimali (contesto 1D, elevata dispersività della struttura geologica, sorgenti sismiche azimuthalmente ben distribuite) il modo fondamentale di propagazione dell'onda di Rayleigh (se i geofoni sono verticali) o di Love (se i geofoni sono orizzontali) appare in grande evidenza in

quanto è quello maggiormente energetico, se raffrontato con quelli di ordine superiore.

In questo caso la curva di dispersione può essere costruita mediante un picking manuale che segue il trend modale lungo il suo minimo energetico. Ciò è imposto dal fatto che, non conoscendo l'azimut dal quale si propagano i segnali sismici, si potrebbe commettere una sovrastima delle velocità di fase andando a campionare i massimi energetici modali (come invece è obbligo fare nell'acquisizione attiva Masw dove la posizione della sorgente è nota).

La risposta del contesto reale è comprensibilmente diversa da quella teorica poiché giocano un ruolo importante, nell'alea dell'incertezza del risultato, anche la spaziatura geofonica e l'orientazione dell'array, per quanto concerne il problema dell'aliasing (sia spaziale che temporale). È questo un aspetto che è parzialmente risolvibile solo ampliando il numero di sensori e ottimizzando la loro separazione.

Non è raro poi che vi sia insicurezza nell'individuazione del modo fondamentale che può anche non apparire sullo spettro per un fenomeno di sovrapposizione da parte dei modi di ordine superiore. Ciò si può verificare quando la geometria dell'array non "possiede" la necessaria sensitività per separare due eventi, magari molto vicini in termini di frequenza, o quando la struttura del sottosuolo è tale da favorire la risonanza e quindi la non emergenza del fondamentale, se non alle basse frequenze. Questo avviene quando esiste uno strato soffice compresso tra due più rigidi che intrappola l'energia, oppure quando il contrasto di velocità in prossimità della superficie è elevato. Può accadere anche in presenza di una forte anisotropia laterale dei terreni superficiali o in caso di osculazione (allorché due modi si avvicinano fino a lambirsi in un punto portando ad ambiguità per il loro riconoscimento al diminuire della frequenza).

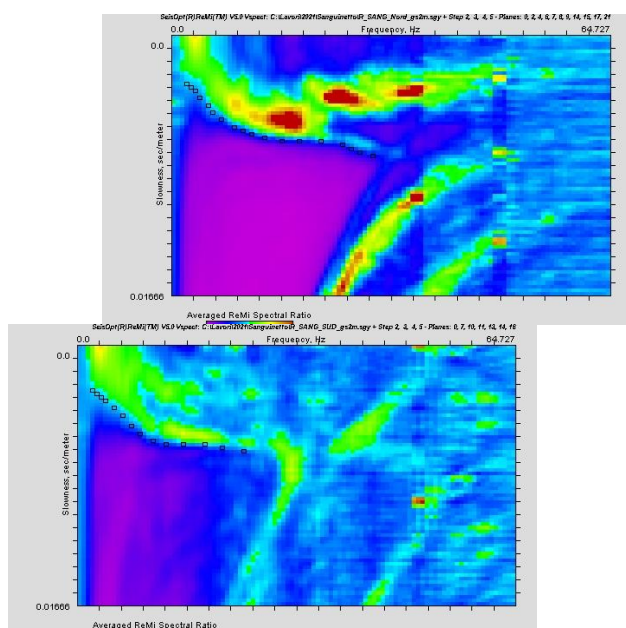
Queste situazioni non sono frequentissime, ma spesso, non conoscendo la geologia del luogo, sorge il dubbio nell'interprete di non aver campionato il modo fondamentale che, si ricorda, è quello preferibilmente utilizzato per fornire una curva di dispersione significativa del profilo di velocità. Possono essere utilizzati anche i modi di ordine superiore, ma elaborandoli con algoritmi specifici, differenti da quello per il modo fondamentale.

Infine l'aspetto probabilmente più importante è quello che non esiste la possibilità di un picking automatico come avviene per il Masw e questo condiziona non poco la "credibilità" della curva di dispersione ottenuta in quanto il suo andamento può avere una morfologia fortemente soggettiva.

Risultati

I siti in esame ricadono in un'area pianeggiante alla periferia NE dell'abitato (ReMi_N e hvsr_N) e in territorio agricolo all'interno del gomito che la SR10 forma prima di prendere la direzione E (ReMi_S e hvsr_S).

Le immagini spettrali, costruite utilizzando una velocità minima di fase di 60m/s ed una frequenza massima di 65Hz, presentano, come prevedibile, una struttura del tutto simile e di facile lettura. Il modo fondamentale è chiaramente definito dal contatto ben confinato dal limite superiore della zona a rumore incoerente (in viola nelle immagini) che ne traccia il trend. La qualità dei dati appare decisamente migliore nello spettro di ReMi_N dove si possono anche apprezzare almeno altri due modi di ordine superiore, oltre agli effetti dell'aliasing spaziale (trend antitetici a quelli modali). Essi cadono a frequenze superiori a quelle del picking della curva di dispersione che segue il limite modale a minor energia. La rappresentazione spettrale interessa una range di frequenza decisamente maggiore di quello strettamente necessario (sarebbero stati sufficienti 35Hz come frequenza di corner), ma in tal modo si ottiene una miglior “visuale” di campionamento delle velocità di fase che andranno a costituire le curve di dispersione. Secondo lo standard delle linee guida delle prove sismiche passive sopra citate, queste curve di dispersione possono essere definite come affidabili.



ReMi_N

ReMi_S

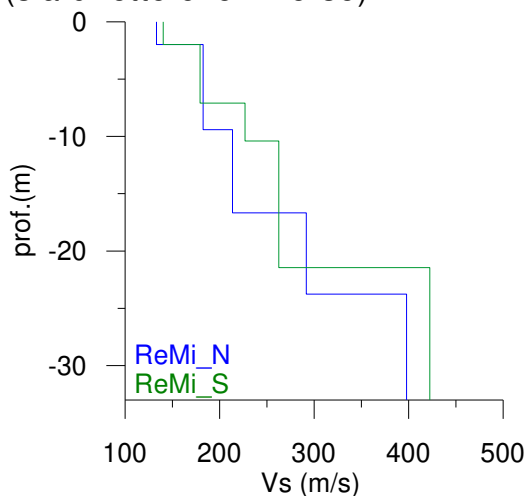
La loro morfologia è indicativa di una struttura del primo sottosuolo caratterizzata da sedimenti poco addensati la cui velocità tende a farsi più importante con la profondità.

Il bedrock non è stato raggiunto.

Modellazione Diretta

Le curve di dispersione campionate sono state quindi sottoposte ad una modellazione diretta interattiva con ReMi™ per ottenere profili verticali di Vs compatibili con le condizioni di input,

facendo però rilevare l'esistenza del principio di non univocità per le modellazioni singole (sia dirette che inverse).



I modelli proposti prevedono un graduale aumento del grado di addensamento fino ad una ventina di metri. A questa quota ci sarebbe il contatto con materiali di maggior rigidità con Vs dell'ordine di 400-420m/s. Le sismostratigrafie mostrano una leggera differenza in termini di velocità e spessore degli strati, differenze compatibili con un contesto deposizionale di piana alluvionale di medio-bassa energia.

La Categoria sismica, calcolata sulla base dei valori di V_{s30} , inferiori a 360m/s, è chiaramente la **C**.

3. ANALISI DATI HVSR

La misura *stand alone* del rumore ambientale viene eseguita mediante un sensore tridimensionale collegato ad un acquisitore in grado di registrare, per un periodo di tempo conveniente, le componenti del campo d'onda (wavefield) generato dalle vibrazioni naturali ed antropiche. Questo campo d'onda è costituito principalmente da onde di superficie e, secondariamente, da onde body (P ed S). Le caratteristiche del sensore e del digitalizzatore sono fattori determinanti, come è facilmente comprensibile, per definire a priori il range di frequenza utilmente campionabile.

La prima finalità di questa misura è quella di determinare la frequenza del cosiddetto picco (o massimo) H/V, se esistente, che sulla base dei lavori di Nakamura, quantifica la frequenza di risonanza di un sito ed in particolare dello strato (o degli strati) che ricoprono un semispazio infinito chiamato bedrock dove, per convenzione, la velocità delle onde S deve essere >800m/s.

Nel corso degli ultimi trent'anni sono sostanzialmente tre le interpretazioni fisiche attribuite all'interpretazione fisica del rapporto H/V:

- 1) I picchi predominanti sono riferiti alla ellitticità delle onde di Rayleigh attorno alla frequenza dominante del sito quando c'è un significativo contrasto di impedenza tra suolo e roccia;

2) Nakamura suggerisce che il rapporto H/V è riferito alla funzione di trasferimento a causa dell'incidenza verticale delle onde Sh. Il successo delle misure H/V è spettacolare, ma è controversa l'interpretazione dei risultati del rapporto spettrale.

3) Sanchez-Sesma et al. hanno recentemente proposto il concetto che i microtremori formino un campo diffuso (DFA) contenente tutti i tipi di onda body (P e S) e di superficie (Rayleigh e Love).

La tabella, di seguito riportata e facente parte delle linee guida SESAME, indica i parametri minimi di registrazione in funzione della frequenza del target.

f_0 [Hz]	Minimum value for I_w [s]	Minimum number of significant cycles (n_c)	Minimum number of windows	Minimum useful signal duration [s]	Recommended minimum record duration [min]
0.2	50	200	10	1000	30'
0.5	20	200	10	400	20'
1	10	200	10	200	10'
2	5	200	10	100	5'
5	5	200	10	40	3'
10	5	200	10	20	2'

Durata raccomandata della registrazione (linee guida SESAME)

La durata minima del segnale utile (minimum useful signal duration) è imposta dal fatto che ci sono dei transienti che devono essere rimossi dal segnale da processare. Quindi, il tempo teorico di registrazione deve essere aumentato di una quantità adeguata, al fine di avere le condizioni temporali minime caratterizzate da finestre con segnale di buona qualità. Nel nostro caso, non conoscendo la struttura geologica e in considerazione della peculiarità del sito in termini di rumore antropico, abbiamo preferito poter disporre di una mole consistente di dati per avere garanzie sulla attendibilità dei risultati.

Le linee guida SESAME hanno indicato una serie di criteri (definiti di affidabilità per una curva H/V e di chiarezza per un massimo H/V) che devono contrassegnare il picco perchè possa essere definito "naturale" (generato cioè da un'interfaccia geologica). I relativi valori soglia sono elencati nella sotto riportata tabella. È richiesto che almeno 5 dei 6 criteri per la chiarezza di un picco siano rispettati per esprimere un giudizio di naturalità.

Criteri di affidabilità per una curva H/V					
-	$f_0 > 10/l_w$				
-	$n_c(f_0) > 200$				
-	$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ per $f_0 > 0.5\text{Hz}$				
-	$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ per $f_0 < 0.5\text{Hz}$				
Criteri per la chiarezza di un picco H/V					
Condizioni di ampiezza					
-	$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \text{ I } A_{H/V}(f^-) < A_0/2$				
-	$\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \text{ I } A_{H/V}(f^+) < A_0/2$				
-	$A_0 > 2$				
Condizioni di stabilità					
-	$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$				
-	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
-	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$				
Valori soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
range di frequenza	<0.2	0.2-0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	>2.0
$\varepsilon(f_0)[\text{Hz}]$	0.25 f_0	0.20 f_0	0.15 f_0	0.1 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58

Definizione dei simboli utilizzati

l_w = lunghezza finestra (s)

n_w = numero di finestre selezionate per la curva media H/V

$n_c = l_w * n_w * f_0$ = numero di cicli significativi

f = frequenza

f_0 = frequenza del picco H/V

σ_f = deviazione standard della frequenza del picco H/V

$\varepsilon(f_0)$ = valore di soglia per condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$

A_0 = ampiezza del picco H/V alla frequenza f_0

$A_{H/V}(f)$ = ampiezza della curva H/V alla frequenza f

f^- = frequenza tra $f_0/4$ e f_0 per la quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$

f^+ = frequenza tra f_0 e $4*f_0$ per la quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$

$\sigma_A(f)$ = deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale deve essere moltiplicato o diviso il valore medio $A_{H/V}(f)$ della curva

$\theta(f_0)$ = valore soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

La curva mostra sempre un massimo H/V. A prescindere dalla sua ampiezza il programma indicherà come massimo il valore di maggior ampiezza che la curva presenta: è questo un dato oggettivo, poco condizionato dal trattamento dei dati, che necessita di un'analisi per definire il suo "significato" in termini di risposta elastica della struttura geologica. Ci deve essere, cioè, la verifica dei citati criteri di "affidabilità e chiarezza", ma ci sono anche altre valutazioni che possono essere fatte per l'interpretazione del massimo H/V. Nello spettro di potenza delle componenti singole un picco naturale deve essere il risultato di un massimo di energia delle sole componenti orizzontali, oppure di un flesso accentuato della componente verticale (risposta 2D e risposta 1D) stante l'assunto che la sorgente geologica non è superficiale (contatto riflettore-copertura) e che, di conseguenza, la componente verticale non ne deve risultare perturbata. Quando tutte e tre le componenti appaiono amplificate, e in fase, è certo che la sorgente sarà antropica e quindi la frequenza del picco non deve essere considerata nell'interpretazione. Ulteriore

analisi può essere eseguita con il plottaggio dei dati H/V sul piano orizzontale: si potrà apprezzare l'eventuale effetto di polarizzazione e la dipendenza da azimut specifici.

La misura del rapporto spettrale tra componenti orizzontali e verticale (la curva H/V) non rappresenta la curva di ellitticità del fondamentale dell'onda di Rayleigh, bensì contiene il contributo anche delle onde Love e di quelle Sh, oltre che di eventuale noise strumentale.

Infatti le componenti verticale e radiale del sensore acquisiscono le onde di Rayleigh e quella trasversale le onde Love ed esistono, in presenza di un picco, due condizioni nelle quali i due tipi di onda diventano evanescenti: in coincidenza del massimo le onde di Rayleigh raggiungono il loro minimo energetico, mentre lo stesso succede alle onde Love in corrispondenza del primo minimo della curva successivo al picco.

Dalle linee guida SESAME, ma non solo ovviamente, sappiamo che la frequenza di risonanza di uno strato è data dalla relazione $F = V_s/4H$.

Pertanto, se la curva del rapporto spettrale viene utilizzata per la ricostruzione della sismostruttura mediante inversione congiunta con la curva di dispersione (che è costituita, in teoria, dal modo fondamentale dell'onda di Rayleigh) è indispensabile "pulire" la curva H/V misurata per ottenere la curva di ellitticità, corrispondente al modo fondamentale di Rayleigh, dall'influenza delle onde Love e body.

Vi sono alcuni metodi per estrarre la curva di ellitticità da quella H/V. Il più semplice e sbrigativo è quello di considerare il solo fianco destro del picco e ridurne il valore dell'ampiezza applicando un fattore pari a radice di 2.

Un secondo applica una tecnica conosciuta come CWT (Continuous Wavelet Transform) utilizzando l'ondina di Morlet. Dopo opportune elaborazioni sul segnale la curva di ellitticità viene ricavata da un istogramma di frequenza PDF (Probability Density Function) sulla base del trend dei massimi di probabilità.

Un terzo (Raydec) utilizza il metodo del Random Decrement di Dunand già conosciuto per lo studio degli effetti delle vibrazioni ambientali sulle strutture degli edifici per arrivare ad ottenere una curva di ellitticità con sole onde Rayleigh.

Le curve di ellitticità vengono definite come con *singularità* oppure *prive di singularità*. Nel primo caso significa che la curva esprime uno (o più) massimi e minimi accentuati. Nel secondo caso ci si riferisce a situazioni di "broad peak" (massimo ampio con fianco destro la cui ampiezza decresce lentamente verso le alte frequenze).

Nelle curve con *singularità* si può in considerazione per l'inversione congiunta, oltre alla frequenza del picco, *il solo fianco destro della curva di ellitticità che è stato dimostrato essere prevalentemente costituito da onde di Rayleigh*. Nell'altra condizione può essere utilizzata l'intera curva oltre la frequenza di picco.

Il processo di inversione congiunta è fondamentale per ottenere il profilo verticale delle velocità e la geometria dei sismostrati in maniera da ridurre drasticamente il principio di non univocità che affligge il procedimento di inversione quando i parametri vengono considerati singolarmente. L'inversione congiunta di due parametri che danno informazioni differenti sulla struttura (curva di dispersione=velocità dei

materiali, ellitticità=geometrie) restringe notevolmente l'alea di incertezza sul modello finale che compendia velocità e geometrie.

Il software di inversione congiunta (HV-DC) utilizzato è **Geopsy Dinverdc** (www.Geopsy.org). Il programma utilizza l'algoritmo di Neighborhood (Sambridge, 2002) modificato da Wathelet. Il suo obiettivo, come quello degli algoritmi simili Monte Carlo, Simulate Annealing e algoritmo genetico, è quello di investigare l'interno dello spazio dei parametri cercando il dataset dei parametri che fornisce il miglior fitting con i dati.

Esso consente l'inclusione di informazioni "a priori" sui differenti parametri.

Si tratta di un metodo stocastico a ricerca diretta dei modelli di accettabile datafit all'interno di uno spazio dei parametri multidimensionale.

Per l'inversione delle onde di superficie e delle curve di ellitticità i principali parametri sono la V_s , la V_p , la densità e lo spessore di ogni singolo strato.

Esso genera campioni pseudo-casuali (un campione è un set di parametri corrispondenti ad un modello del terreno) nello spazio parametrico e vengono calcolate le curve (di dispersione ed ellitticità) per tutti i modelli (problema diretto). La densità di probabilità "a priori" è scelta come uniforme nell'intero spazio dei parametri, i limiti del quale sono definiti da quelli scelti "a priori" per tutti i parametri. Il confronto tra i risultati del calcolo e le curve DC e HV fornisce il valore di misfit che indica quanto lontano è il modello generato dalla soluzione vera.

L'originalità dell'algoritmo è l'uso dei precedenti campioni come guida per la ricerca dei modelli migliorati. Una volta che la funzione di misfit dei dati è nota a tutti i campioni precedenti (fwd di calcolo) l'algoritmo fornisce una strada semplice tramite l'interpolazione di una distribuzione irregolare di punti, utilizzando la geometria di Voronoi, per trovare ed investigare le parti più promettenti dello spazio dei parametri.

Rispetto ad altri metodi stocastici di ricerca esso ha minori parametri di ottimizzazione (solo 2). Con parametri scarsamente vincolati i risultati possono differire quando si avviano due separate inversioni. Quindi la robustezza dei risultati finali viene generalmente controllata eseguendo la stessa inversione più volte con diversi semi casuali e un valore intero che inizializza il generatore pseudo casuale (si riparte con una popolazione differente e medesimo modello di input).

Nel calcolo dell'inversione congiunta l'input di partenza è stato un modello a cinque strati senza confinamento dei parametri.

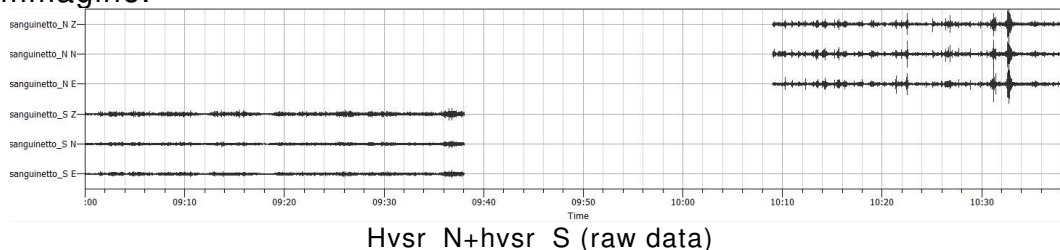
Nella definizione della sismostratigrafia definitiva si è anche tenuto in considerazione che la profondità dell'interfaccia geologica, deve soddisfare la relazione $H \approx V_s/4F$ come previsto dalle Linee Guida.

Processing

I dati sono stati elaborati con il pacchetto **Geopsy** (www.Geopsy.org).

Le due misure del rumore ambientale hanno avuto la durata rispettivamente di 30' (hvsr_N) e 38' (hvsr_S) alla frequenza di 125Hz.

Di seguito verrà esposto il procedimento adottato. I sismogrammi bruti delle due stazioni sono rappresentati in un'unica immagine.

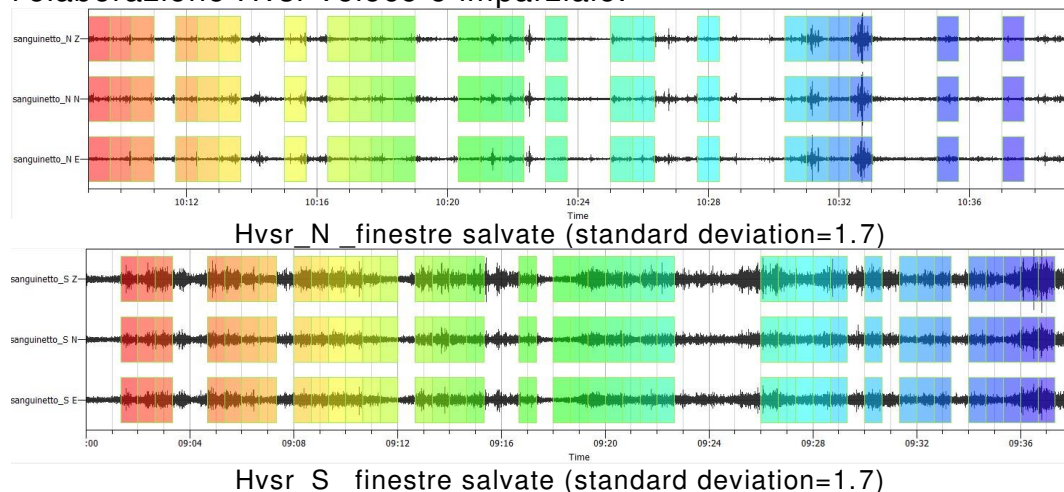


Il primo passo è quello di applicare un filtro bp 0.2-30Hz e un tapering del 5%.

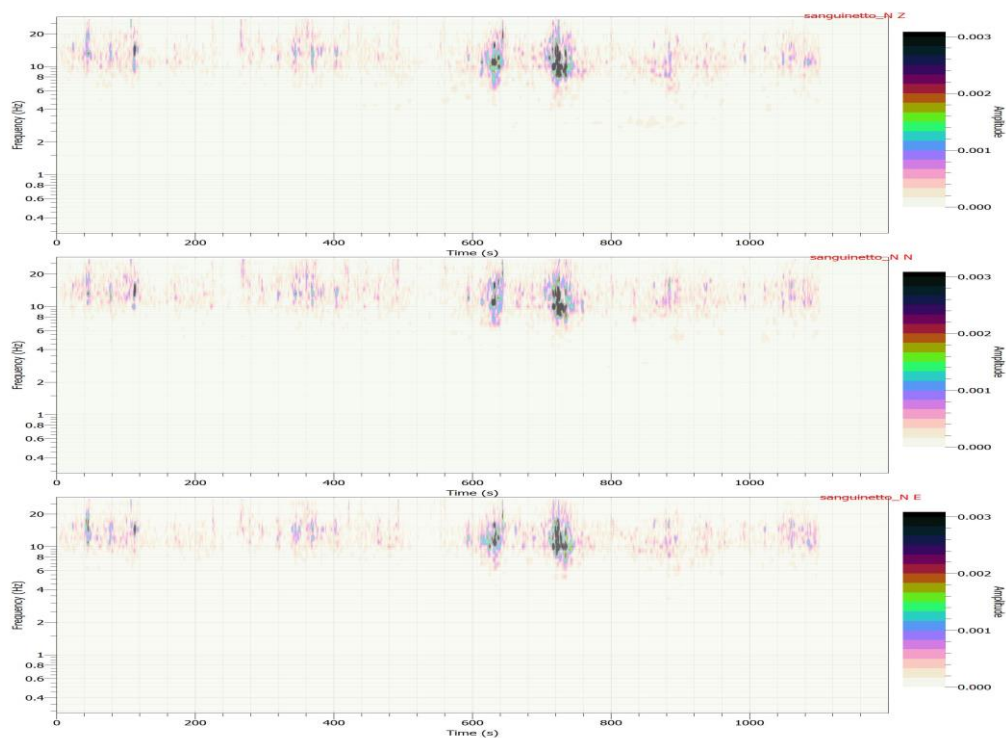
Quindi viene definita la lunghezza delle finestre temporali (nel presente caso 40s) il cui valore è condizionato dalla frequenza del presunto massimo H/V, valore che è indicato nelle linee guida SESAME con $f_0 > 10/l_w$ (lunghezza finestra). Quindi con una lunghezza di 40s può essere correttamente ricostruito e analizzato un picco H/V di 0.25Hz, a condizione che vengano soddisfatti anche gli altri criteri previsti dalle linee guida. Tale scelta è dettata dalla consapevolezza della profondità del bedrock sismico in quest'area sicuramente < 1 Hz.

La tecnica hvsr è un potente strumento utilizzato per stimare la frequenza di risonanza di un sito. Tuttavia, poiché le misurazioni del rumore hvsr si basano su eventi casuali e possono essere influenzate da transitori in near field, da scarso accoppiamento del ricevitore e da condizioni ambientali avverse (come quelle di elevata ventosità), i dati hvsr devono essere presentati utilizzando un solido approccio statistico. È stato così proposto un nuovo metodo per quantificare l'incertezza nella frequenza di risonanza ottenuta dalle misurazioni hvsr. L'utilizzazione dell'antitrigger per la selezione delle finestre temporali (basato sul rapporto LTA/STA) consente di eliminare i transienti che, tuttavia, possono contenere anche segnale "buono" che andrebbe così perso. Il nuovo metodo proposto da Cox et al. (*A statistical representation and frequency-domain window-rejection algorithm for single-station HVSR measurements*, *Geophys. J. Int.* (2020) **221**, 2170–2183) e qui adottato, è basato sull'utilizzo di una LD (distribuzione logaritmica) e di un algoritmo di rifiuto automatico della finestra nel dominio della frequenza. L'uso di una LD, piuttosto che della tipica ND (distribuzione normale) assunta, consente un trasferimento regolare delle statistiche hvsr, in termini di frequenza, al suo reciproco, il periodo, che è un parametro comunemente usato nell'ingegneria sismica. Il nuovo algoritmo di rigetto è stato a lungo testato e ha dimostrato di essere efficace nel rifiutare finestre rumorose in set di dati ad alta varianza, senza che ci

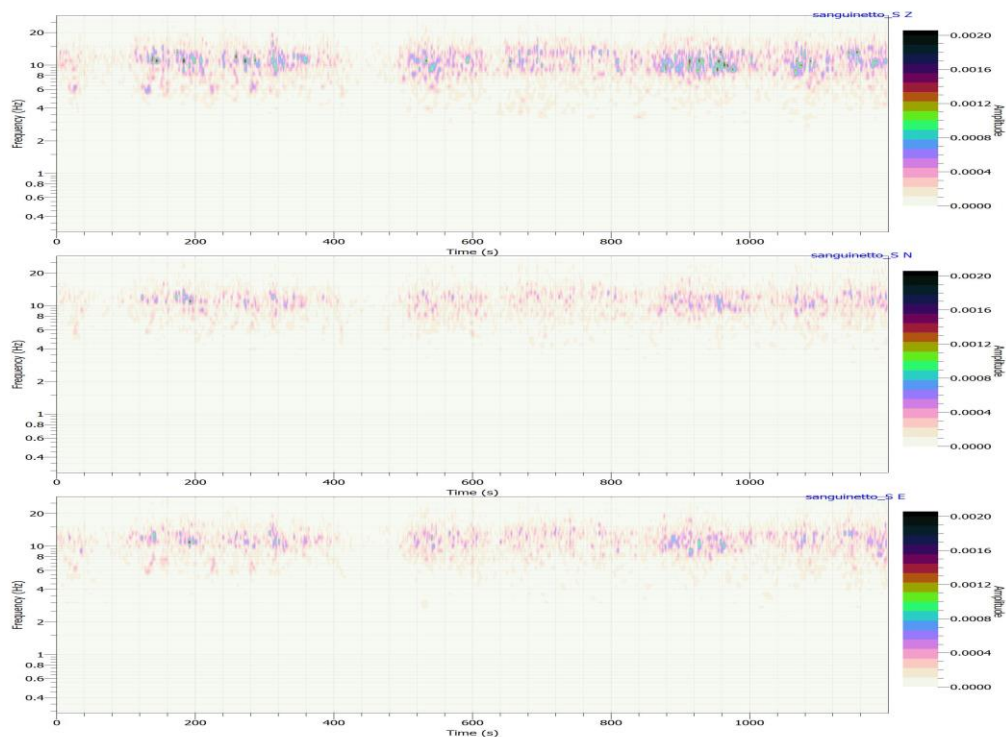
sia un rifiuto eccessivo di finestre buone in set di dati a bassa varianza. L'algoritmo richiede all'utente un solo parametro di input (ovvero il numero di deviazioni standard, n , nello spazio log consentito nello screening/rifiuto) e fornisce un metodo per l'elaborazione Hvsr veloce e imparziale.



Quelle sopra rappresentate sono le serie temporali delle tre componenti dove appaiono le finestre temporali da 40s utilizzate per ottenere la curva del rapporto spettrale H/V. Sui sismogrammi sono anche evidenti le perturbazioni prodotte da sorgenti vibrazionali transienti che paiono essere di differente ampiezza e frequenza (minori a S) come appare dalle TFA (Time Frequency Analysis) normalizzate alla medesima scala.

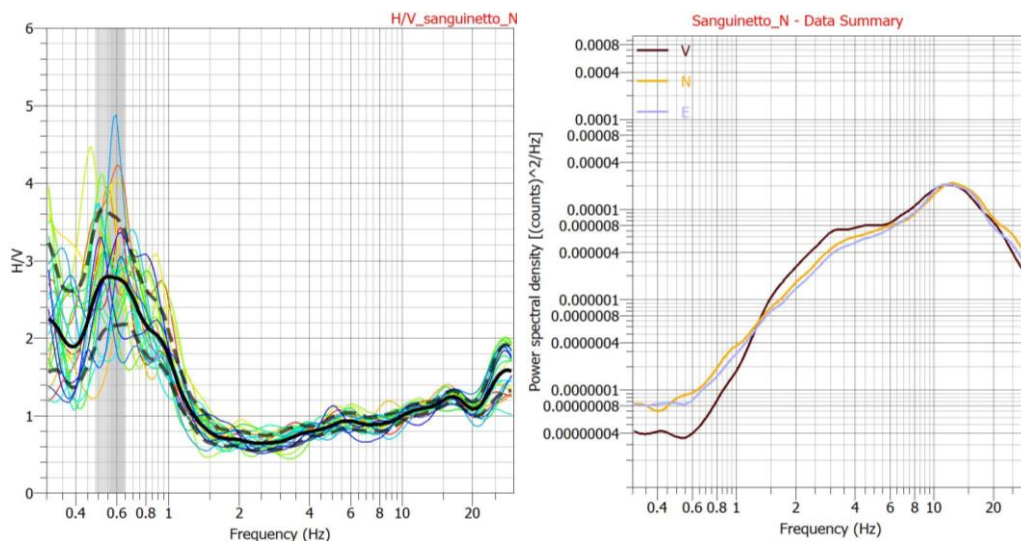


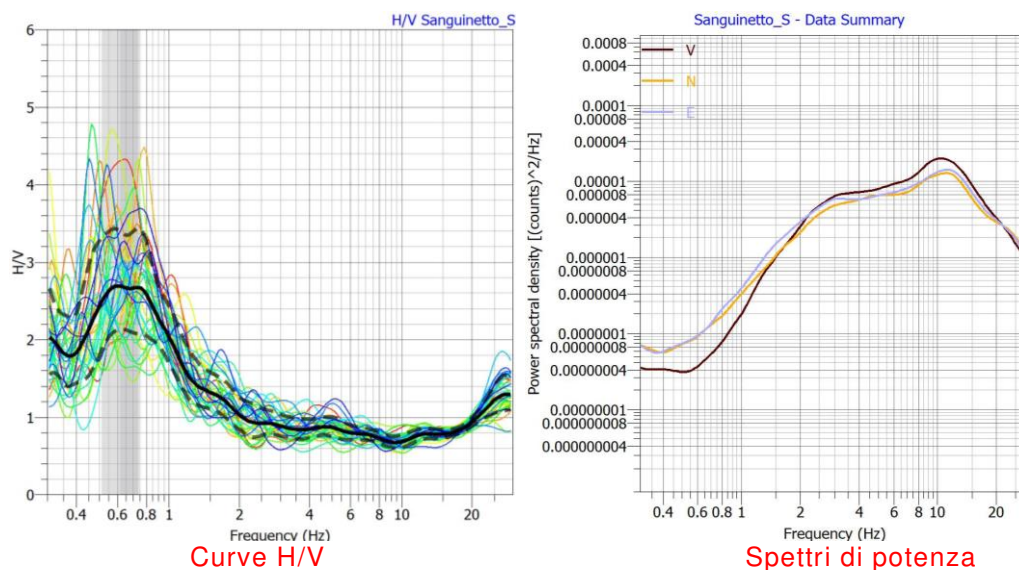
TFA_N



TFA_S

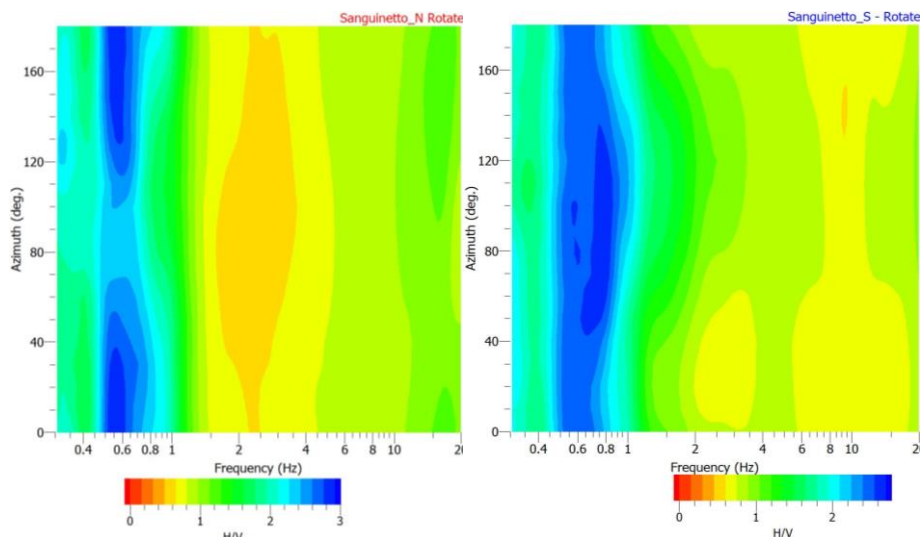
La costruzione delle curve H/V è conseguente all'operazione di rigetto delle finestre temporali che non rientrano nei criteri statistici sopra descritti.





Le curve H/V presentano un massimo a frequenza compresa tra 0.56Hz e 0.61Hz e la leggera discrepanza rientra nella categoria dell'errore strumentale. Le frequenze sono quindi sostanzialmente identiche come deve anche essere, considerato il contesto geologico dell'area dove il bedrock è sicuramente profondo e l'interfaccia subplanare. Dagli spettri di potenza si ricava, alle frequenze di interesse, la presenza di un flesso della componente verticale a cui corrisponde un trend coerente di quelle orizzontali. Da ciò si deduce che il contesto geologico sia chiaramente monodimensionale.

Il sensore 3C acquisisce i segnali delle onde di superficie di tipo Rayleigh con la componente verticale ed orizzontale radiale e quelle di Love con quella trasversale. Mediante la sistematica sfasatura degli acquisitori orizzontali per step di 10° (nell'intervallo 0°-180°), il ricalcolo del rapporto spettrale ed il plottaggio su un grafico planimetrico (frequenza-azimut in gradi) dell'ampiezza del picco dei differenti step, si ottengono informazioni sugli effetti di polarizzazione. Dai grafici risulta chiaramente come non vi sia evidenza di polarizzazione, confermando il giudizio di monodimensionalità del sito sopra espresso.



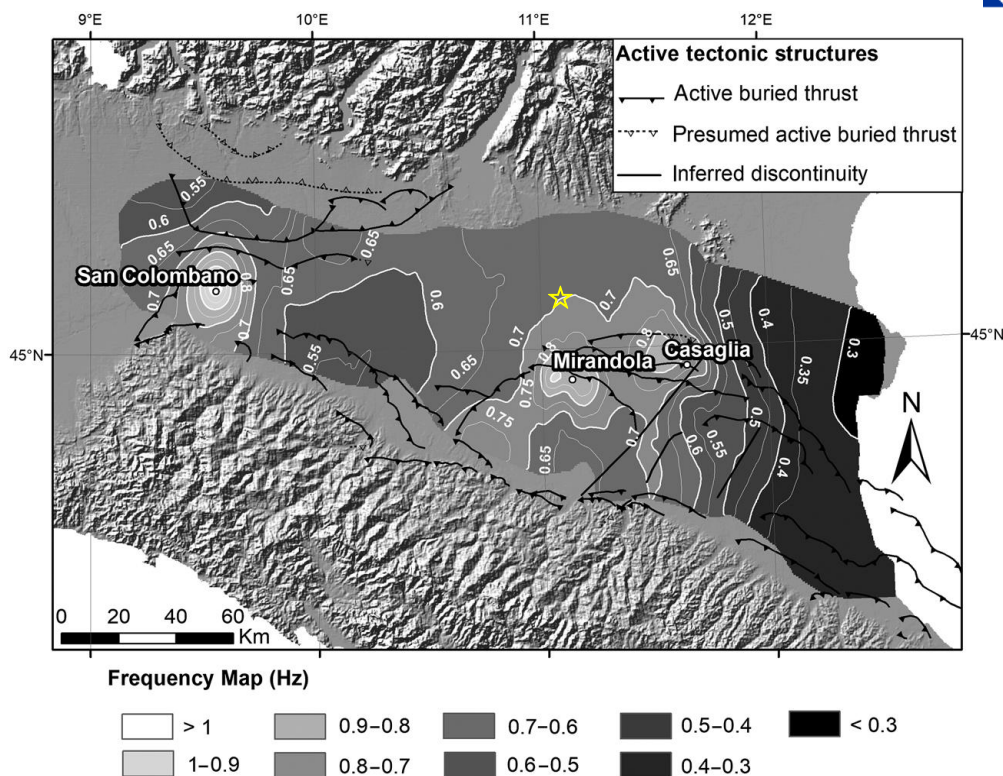
Directional resonance plots

I dati relativi alla curva H/V sono stati riportati nella griglia appositamente predisposta per una valutazione immediata della rispondenza dei requisiti per l'attribuzione di naturalità ai picchi H/V (linee guida SESAME). Come si può rilevare uno solo dei parametri supera la soglia e quindi si può concludere che i picchi sono di origine naturale e cioè generati da un'interfaccia geologica (contatto bedrocksismico-copertura).

f	Windows length l_w (s)	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c ($n_c > 200$)	frequency statistics from individual windows			
				f_0 (Hz) $> 20/l_w$	σ_f (Hz)	A_0	$\sigma_A(f_0)$
$f_{0,N}$	40	24	538	0.56	0.08	2.8	1.3
$f_{0,S}$	40	39	952	0.61	0.09	2.7	1.29
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						$f_{0,N} \checkmark$	$f_{0,S} \checkmark$
Esistenza di una frequenza f^- (tra $f_0/4$ e f_0) tale che $A_0/A_{H/V}(f^-) > 2$						\checkmark	\checkmark
Esistenza di una frequenza f^+ (tra f_0 e $4 \cdot f_0$) tale che $A_0/A_{H/V}(f^+) > 2$						\checkmark	\checkmark

Questo è il passo finale del processo di elaborazione dei dati hvsr dal quale, come possiamo vedere, emerge la condizione di naturalità del picco e quindi i massimi H/V sono stati generati da una interfaccia riflettente imputabile al contatto bedrock-copertura.

L'area investigata si colloca nella porzione centrale della regione padana oggetto di un approfondito studio per la mappatura del bedrock sismico (*Mapping the Seismic bedrock of the Po Plain (Italy) through Ambient-Vibrations Monitoring* by Mascandola et al, BSSA 2019). Con questo termine si intende una condizione dove i sedimenti assumono caratteristiche di addensamento paragonabili a quelle di un bedrock e quindi con V_s prossima o maggiore di 800m/s. Tuttavia esso non va confuso con il bedrock geologico che rappresenta invece il substrato litoide strutturale di un'area.



Ubicazione approssimativa dell'area di indagine (da Mascandola et al. modificato)

L'immagine sopra riportata è relativa alla mappatura delle frequenze dei massimi H/V relativi al citato bedrock sismico e possiamo notare come il sito in esame si trovi al limite settentrionale dell'"alto" strutturale di Mirandola contrassegnato da valori di frequenza prossimi a 0.7Hz. La conversione in profondità della frequenza è stata ottenuta attraverso funzioni empiriche che collegano queste due grandezze (h e f_r). I coefficienti del modello sono stati stimati usando una regressione ai minimi quadrati e i valori dei coefficienti di regressione del modello medio sono:

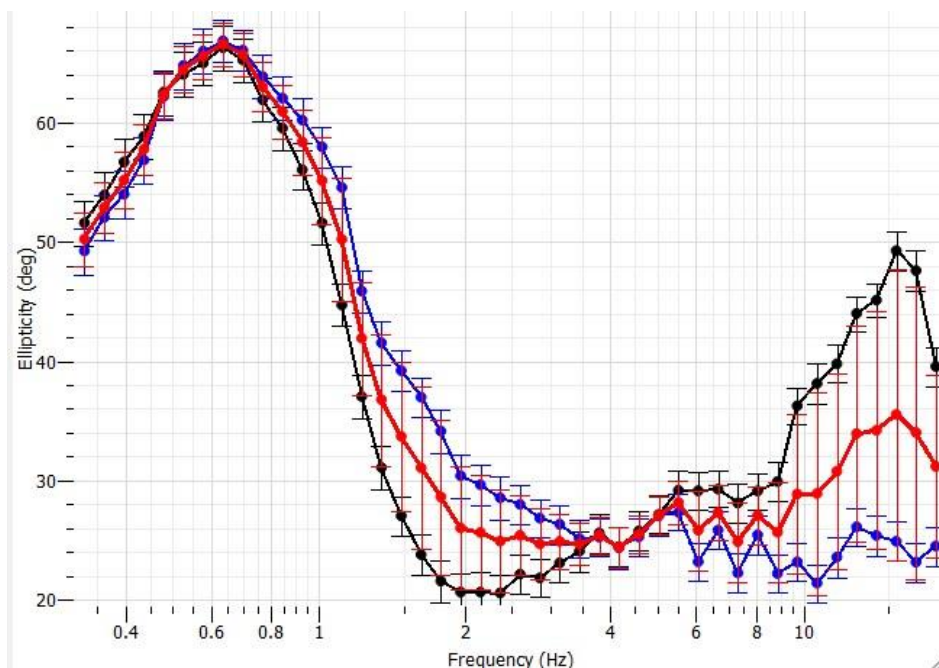
$$h = 98f_r^{-1.17}$$

Quindi, con questa relazione, avendo a disposizione anche il solo valore della frequenza si può stimare la profondità del bedrock sismico.

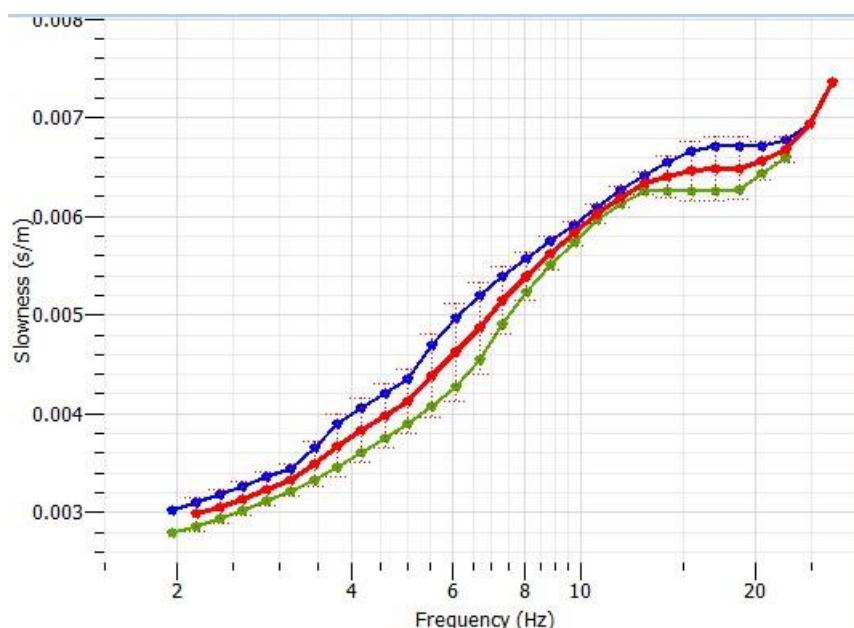
I massimi H/V delle due prove sono di 0.6Hz e quindi inferiori a quelli che dovrebbero competere a quella regione. Sappiamo anche, però, che il contouring definisce il valore medio prodotto dall'algoritmo adottato e quindi una "piccola" variazione rientra agevolmente nella normalità.

Abbiamo comunque voluto effettuare l'inversione congiunta dei dati di dispersione e di quelli di frequenza (HV-DC) prendendo in considerazione le curve media di dispersione e di ellitticità.

Sono state quindi calcolate le curve di ellitticità applicando il metodo CWT e definita la curva di ellitticità come valore medio dell'istogramma PDF usando $m=8$ per il valore dell'ordina di Morlet e 4 come $nppm$ (numero di picchi per minuto) per la rappresentazione.



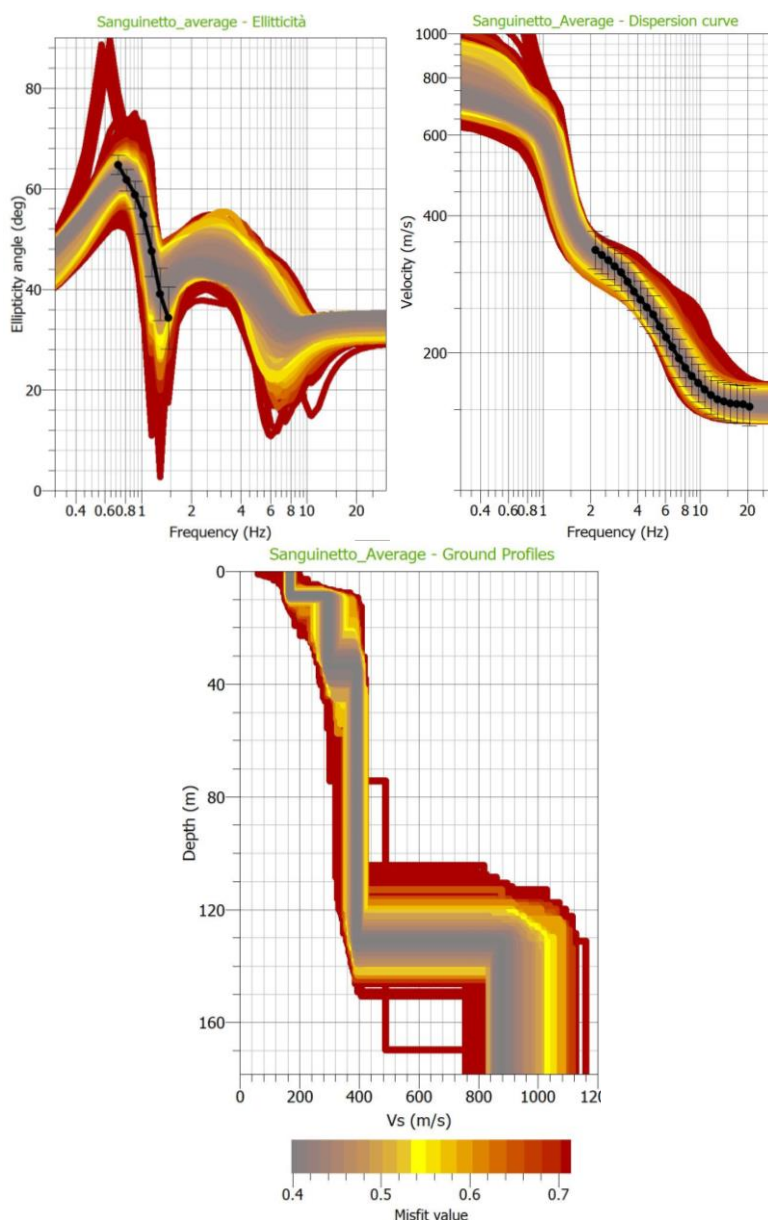
Curva di ellitticità media (rossa, ell_N, nera e ell_S, blu)



Curva di dispersione media (rossa)

La curva di ellitticità media è stata valutata come *con singolarità* e per questa ragione sono stati presi in considerazione, per l'inversione congiunta HV-DC, il solo fianco destro e la frequenza del picco.

Il risultato è decisamente buono in termini di misfit, ma insoddisfacente per quanto concerne il fitting tra curve di ellitticità teoriche e quella sperimentale. La frequenza del picco teorica appare infatti più alta (0.8Hz) di quella sperimentale e non siamo riusciti a definire una struttura di input in grado di soddisfare entrambe le grandezze considerate, né variando il numero degli strati né le loro velocità. Notiamo invece come la curva di dispersione appaia ben confinata al centro del range di valori assunti per la modellazione.



Il profilo di velocità prevede una struttura ad addensamento crescente con la profondità ed il posizionamento del riflettore (bedrock sismico $V_s=850\text{m/s}$) a circa 130m.

Applicando la relazione sopra citata per il calcolo della profondità a partire dal solo dato di frequenza e ritenuta valida per la regione padana studiata, dovremmo trovare il bedrock sismico a quasi 180m di profondità. Una discrepanza che può trovare spiegazione nell'imprecisa collocazione del picco H/V nel processo di inversione (0.75Hz anziché 0.6Hz del dato sperimentale), ma questa stima della profondità non sarebbe così distante da quella che risulta dall'applicazione della relazione basica della frequenza di risonanza con la profondità e la velocità $h=V_s/4f$. Dal profilo di V_s risulta una velocità media della copertura pari a 337m/s: inserendo questa informazione e quella della frequenza del massimo H/V, troveremo una profondità $h=140\text{m}$ prossima a quella ottenuta con l'inversione (130m). Citiamo infine l'esito della caratterizzazione sismica eseguita da INGV sulla sito della stazione accelerometrica di Mantova (IV.MNTV) in un contesto geologicamente analogo, distante una trentina di chilometri verso W da

Sanguinetto. A fronte di un picco H/V di 0.66Hz l'inversione congiunta HV-DC ha fornito un profilo di Vs che pone il bedrock sismico tra 120m e 130m.

I dati di Vs₃₀, calcolati sul profilo medio di velocità dal processo di inversione congiunta sulle curve medie, sono congruenti con quelli ReMi nel classificare in **Categoria C** il sottosuolo di fondazione (Vs<360m/s).

Le schede allegate, relative alle prove ReMi, riportano i dati come calcolati con la modellazione diretta ReMi™ in quanto appare migliore il dettaglio sismostratigrafico della prima ventina di metri che rappresenta il volume significativo del sottosuolo per le opere in progetto.

*Si può quindi concludere che il sito ricade in **categoria sismica C** e che la frequenza di risonanza **f₀** è dell'ordine di **0.6Hz**.*

Torbole S.G. 25/05/2021

GG Service s.a.s.
di
Garbari Tomas &C.



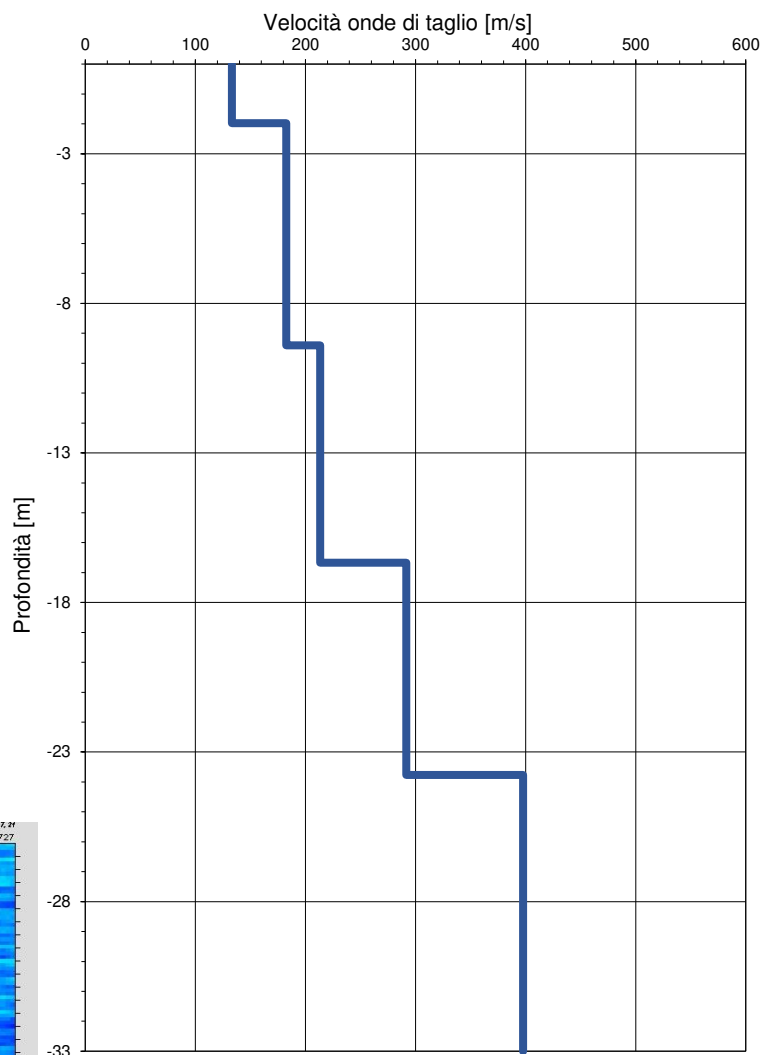
Caratterizzazione sismica per nuova ciclovia a Sanguinetto (Vr) ReMi_N

Vs Refraction Microtremor

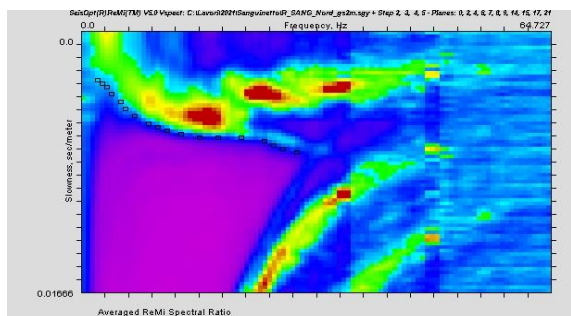
Profondità piano di fondazione;
Vs30;
Categoria sottosuolo di
fondazione

0m	232	C
1m	241	C
2m	251	C
3m	257	C

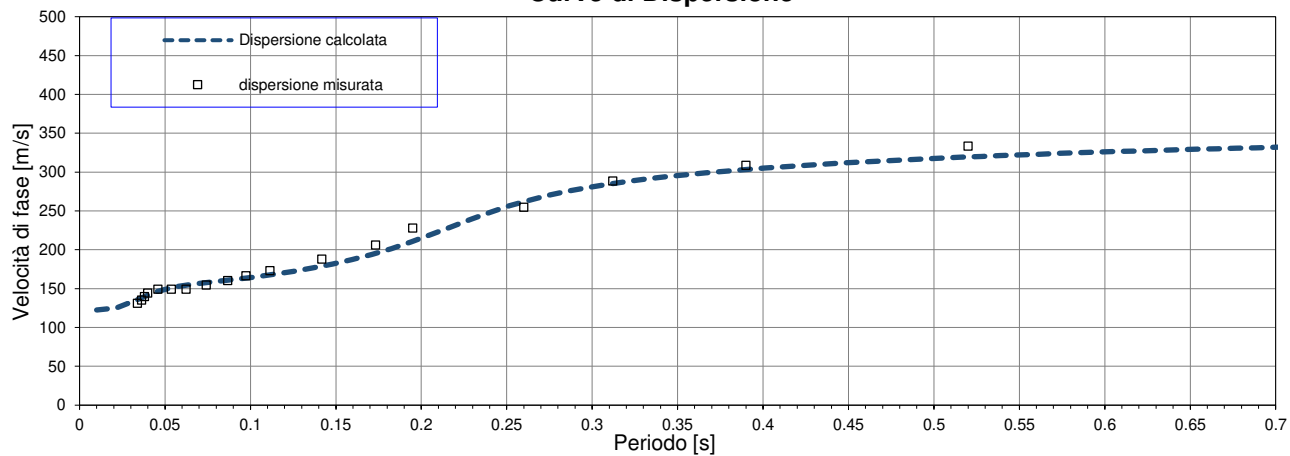
Profilo verticale (Vs)



Spettro di potenza p-f



Curve di Dispersione



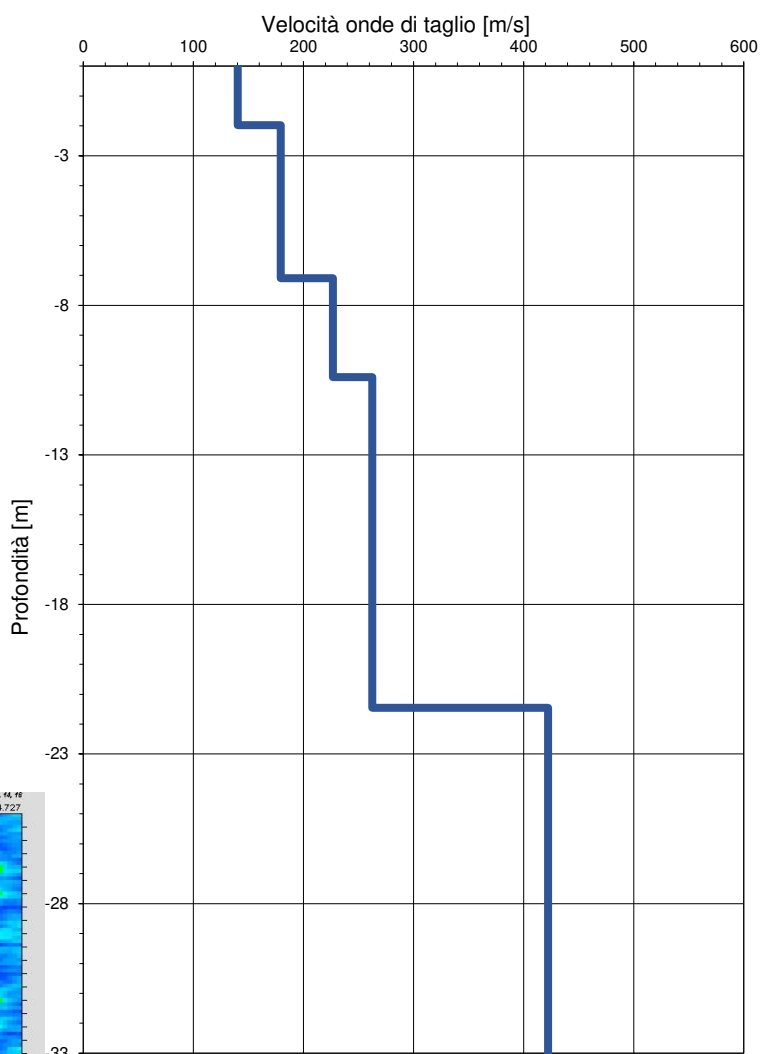
Caratterizzazione sismica per nuova ciclovia a Sanguinetto (Vr) ReMi_S

Vs Refraction Microtremor

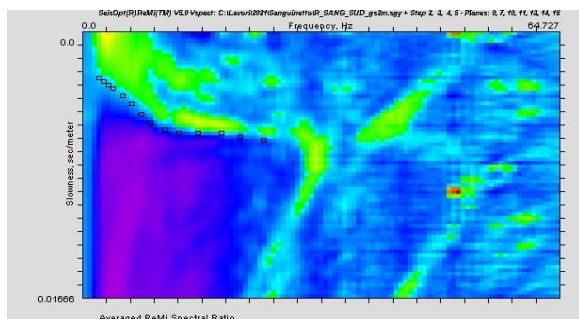
Profondità piano di fondazione;
Vs30;
Categoria sottosuolo di
fondazione

0m	251	C
1m	261	C
2m	273	C
3m	281	C

Profilo verticale (Vs)



Spettro di potenza p-f



Curve di Dispersione

