



**TECNOSTUDIO**  
Società di ingegneria



ASSOCIATO  
**oice**  
CONFININDUSTRIA



LABORATORIO TERRE  
AUTORIZZATO

## **ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.R.L.**

**CASTELFRANCO VENETO (TV)  
VIA CERCHIARA, 34**

**Relazione Geologica - Geotecnica**

REVISIONE N° 00

DATA DI EMISSIONE: 10/04/2019

REDATTA DA: dott. A. Freddo geologo



APPROVATA DA: dott. E. Fornasiero ingegnere  
Direttore Tecnico



**ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.R.L.**

**CASTELFRANCO VENETO (TV)**

**VIA CERCHIARA, 34**

**INDAGINE GEOGNOSTICA PER L'AMPLAMENTO ED  
ADEGUAMENTO FUNZIONALE DEL DEPURATORE DI  
SALVATRONDA**

**RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA**

**INDICE**

1. INTRODUZIONE
2. ASSETTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO E  
IDROGRAFIA DI SUPERFICIE
3. LIMITAZIONI ALL'EDIFICAZIONE
4. INDAGINE GEOGNOSTICA
  - 4.1 Sondaggi a carotaggio continuo
  - 4.2 Piezometro tubo aperto
  - 4.3 Prove S.P.T.
  - 4.4 Prelievo dei campioni
  - 4.5 Descrizione del terreno
5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA
  - 4.1 Classificazione sismica e topografica
  - 4.2 Indagine MASW
  - 4.3 Parametri sismici
  - 4.4 Potenziale di liquefazione
6. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

**TAVOLE TECNICHE**

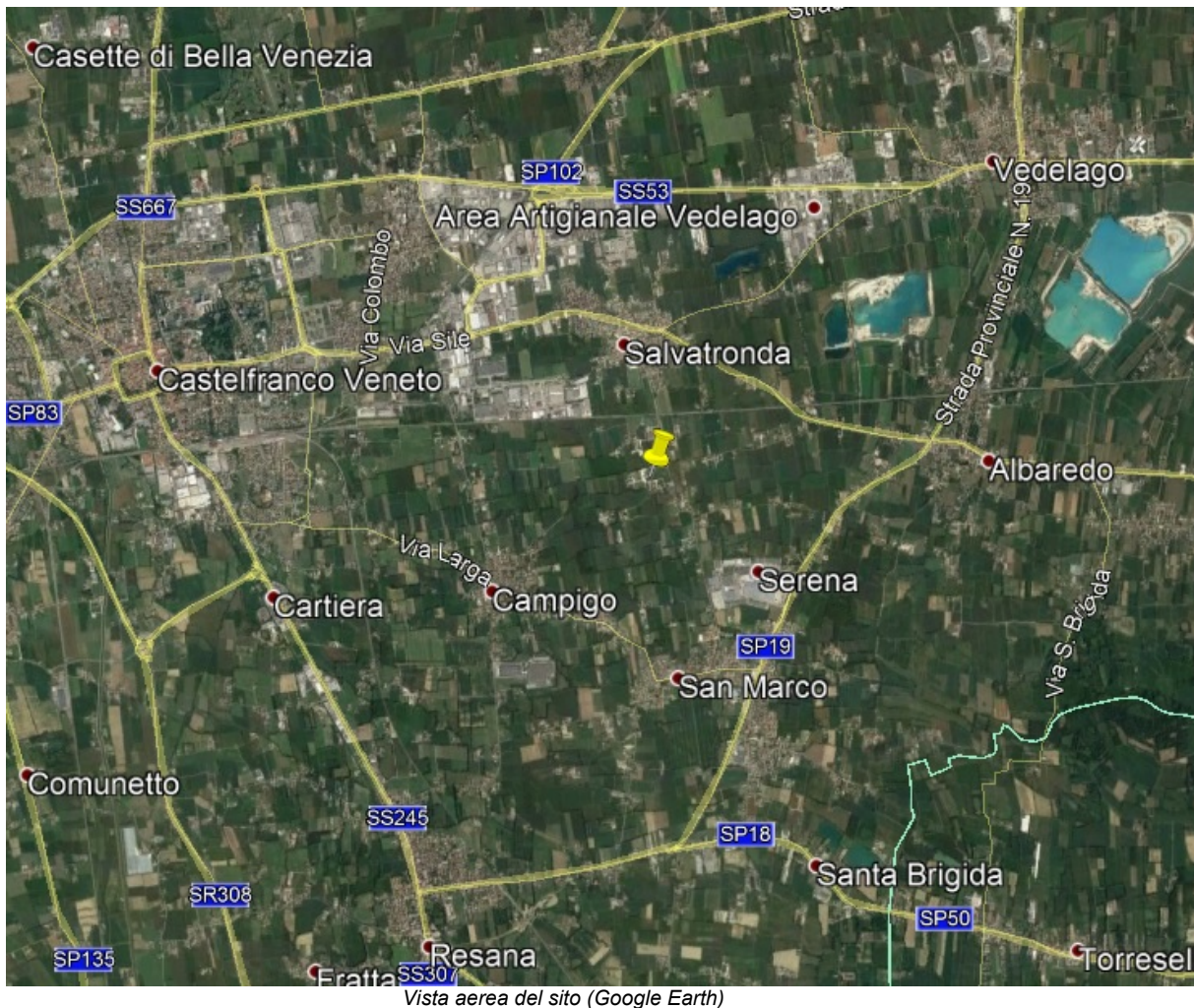
N° 1 FOGLIO PLANIMETRICO

N° 9 FOGLI STRATIGRAFICI

N° 21 FOTOGRAFIE DELLE CASSETTE CATALOGATRICI

## 1. INTRODUZIONE

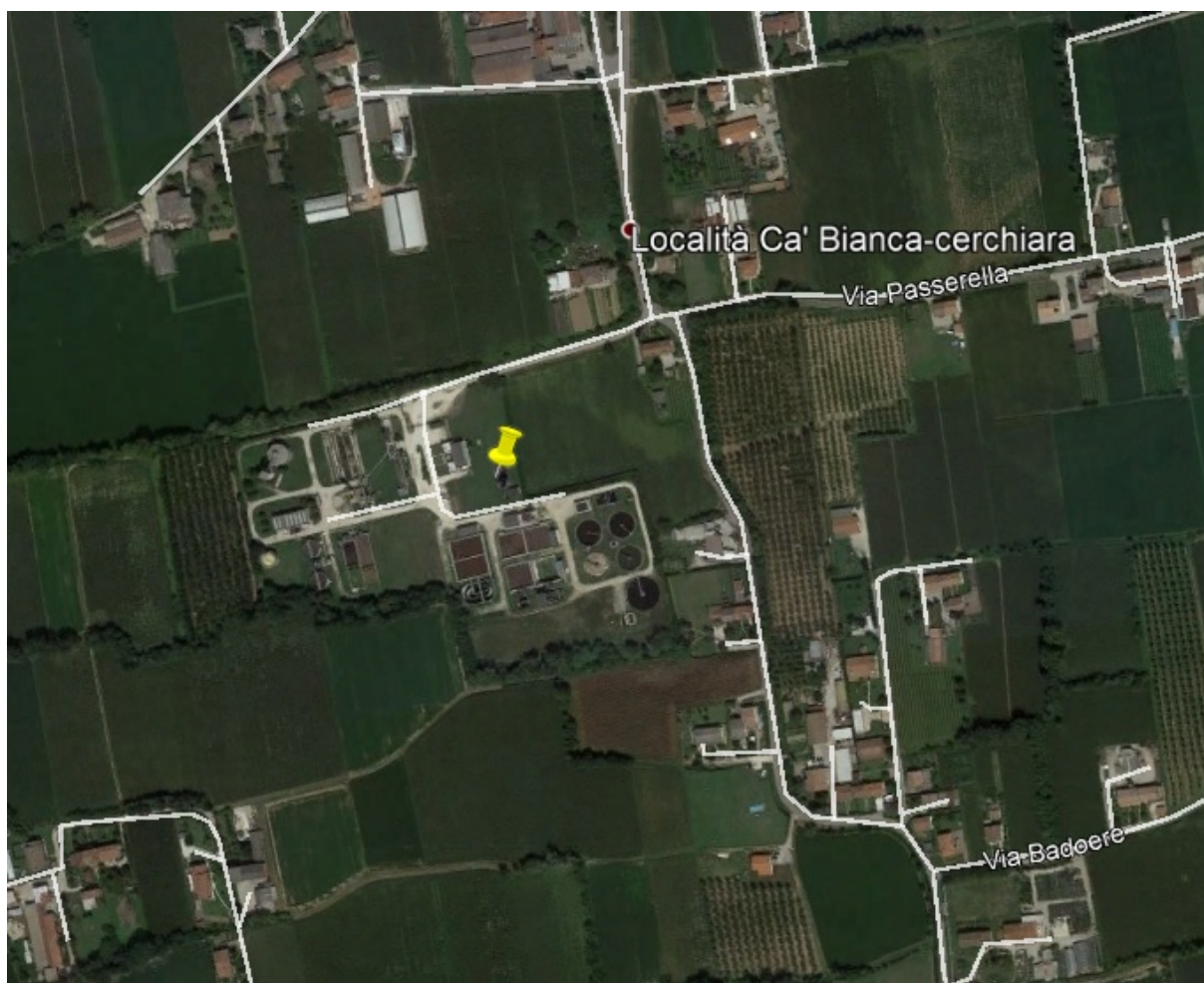
Su incarico di **Alto Trevigiano Servizi S.r.l.**, nella presente relazione si riportano i risultati ottenuti dall'indagine geognostica eseguita in Comune di Castelfranco Veneto (TV) in località Salvatronda in via Cerchiara nr. 34 per l'ampliamento ed adeguamento funzionale del depuratore.



Finalità dell'indagine è l'individuazione del modello geotecnico rappresentativo del sottosuolo, a tale scopo sono stati eseguiti:

- N° 9 sondaggi a carotaggio continuo;
- N° 1 indagine sismica ai microtremori HVSr;
- N° 1 indagine sismica a rifrazione MASW.

La presente relazione è stata redatta in conformità a quanto previsto dalle “Norme tecniche per le costruzioni” D.M. 17/01/2018, pubblicato nella G.U. del 20/02/2018, n°.42.



*Ortofoto con individuazione dell'area d'indagine (Google Earth)*

## **2. ASSETTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO E IDROGRAFIA DI SUPERFICIE**

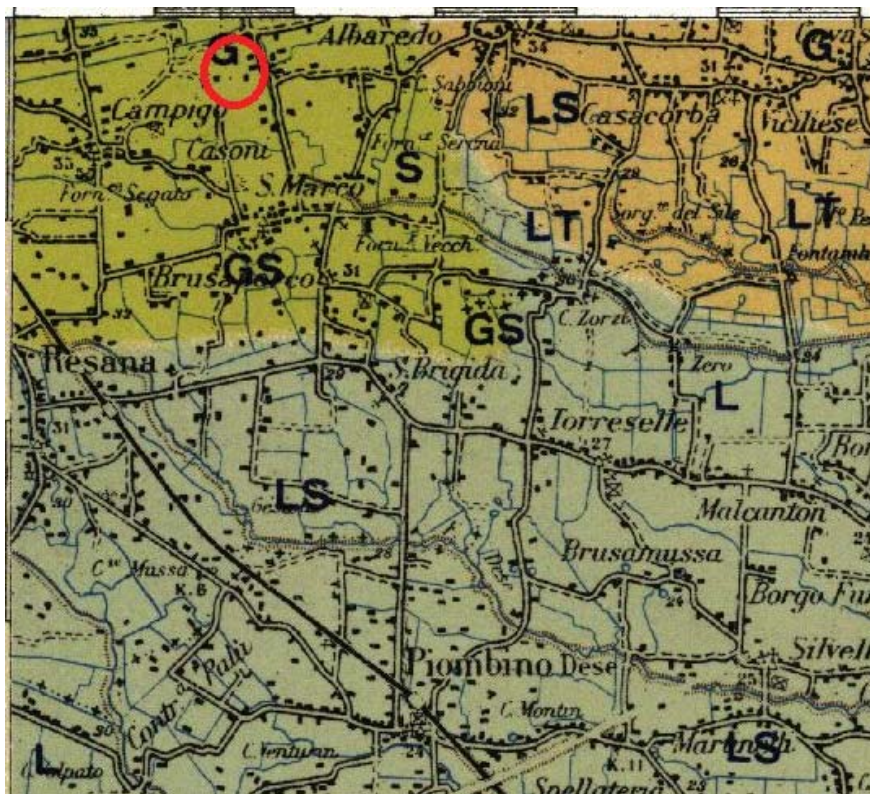
L'area indagata ricade nel foglio 51 “Venezia” della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.

Il sito d'indagine rientra in una zona pianeggiante rurale con scarsa urbanizzazione e forte antropizzazione del paesaggio e dei terreni.

Dall'analisi della carta geologica menzionata l'area d'indagine ricade interamente nell'alta pianura Veneta ed è caratterizzata dalla presenza di terreni di origine alluvionale continentale recente compresi nel bacino alluvionale del Fiume Brenta. In



particolare il sito è ubicato a Nord del limite superiore della linea delle risorgive e non lontano dalle sorgenti del Fiume Zero.



Estratto dal Foglio 51 Venezia della Carta Geologica d'Italia 1:100.000

## LEGENDA

	Alluvioni miste di Piave e Brenta		Alluvioni attuali e recenti di Brenta
	Alluvioni di Brenta diluviali		

Le acque superficiali vengono drenate mediante canali e fossati di scarico che si raccordano ai fiumi con trasporto idrico da Nord verso Sud. Confinante con il sito d'indagine, ad Est dello stesso, scorre lo scolo Salvatronda.

Il territorio in esame è compreso nell'alta pianura veneta formata in tempi geologicamente recenti dall'accumulo di materiali di origine glaciale e fluvioglaciale da parte delle acque correnti.

I vari fiumi veneti, in uscita dalle valli montane, hanno depositato i detriti trasportati creando grandi conoidi legate le une alle altre. Non esistono nette linee di separazione tra di esse, anzi, durante la formazione, si sono più volte incrociate, sovrapposte ed anastomizzate, a causa del mutare frequente dei regimi idrici e del corso delle acque. In particolare il territorio del Comune è posto verso la parte orientale della grande conoide che il Brenta ha formato in età glaciale e postglaciale.

I materiali deposti sono generalmente grossolani e costituiti prevalentemente da ghiaie e ciottoli più o meno sabbiosi, in superficie compaiono limitati spessori di termini più fini. La storia di formazione recente del territorio è legata a quanto verificatosi nel corso dell'ultima glaciazione e nei tempi successivi.

La falda presenta una soggiacenza di circa 5,00 ml e drenaggio da Ovest-nordovest verso Est-sudest.

L'alimentazione delle falde presenti è dovuta principalmente all'infiltrazione diretta degli afflussi meteorici lungo la fascia montana e collinare.

Variazioni del livello freatico si verificano continuamente nell'arco delle stagioni; le portate massime si registrano normalmente nel tardo autunno e in primavera mentre le portate minime si registrano prevalentemente nei mesi di agosto e gennaio.

Sono stati analizzati:

- il Piano di Assetto del Territorio del Comune di Castelfranco Veneto;
- il Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Treviso;
- Il Geoportale della Provincia di Treviso.

Dallo studio delle tavole allegate ai Piani soprariportati si deduce che:

- l'area risulta soggetta ad inondazioni periodiche, Area E21 (Sabbionara) con pericolosità idraulica P0;
- l'area è idonea a condizione 2 dal punto di vista della fattibilità geologica, Zona 02: "con terreni prevalentemente ghiaiosi-sabbiosi e con massima oscillazione della falda freatica inferiore 5 m dal piano campagna".

### **3. LIMITAZIONI ALL'EDIFICAZIONE**

Dall'analisi delle tavole di cui al punto 2 risulta che le condizioni limitative dell'edificabilità sono riferibili al rischio di inondazioni.

Per quanto sopra risulta necessario che:

- si deve impedire l'infiltrazione di acqua nel terreno al fine di evitare fenomeni di inquinamento della falda e/o variazioni della geometria ed idrodinamica dei corpi idrici sotterranei e superficiali;
- venga eseguita la verifica di compatibilità idraulica.

## **4. INDAGINE GEOGNOSTICA**

Si è proceduto all'esecuzione di N° 9 sondaggi a carotaggio continuo, spinti alla profondità prevista da contratto.

### **4.1 Sondaggi a carotaggio continuo**

I sondaggi sono stati eseguiti in conformità alle norme ANISIG e sotto il diretto controllo in cantiere di tecnici e responsabili della scrivente ditta.

L'ubicazione dei sondaggi, come riportato nelle planimetrie allegate, è stata scelta in accordo con la committente e compatibilmente alle effettive possibilità di accesso ai punti d'indagine

I sondaggi sono stati eseguiti a rotazione a carotaggio continuo con l'impiego di carotiere semplice diametro 101 mm. Si è provveduto al sistematico sostentamento delle pareti del foro con l'uso di tubi di rivestimento metallici del diametro di 127 mm.

I risultati, nel dettaglio, sono riportati tra le tavole tecniche. Nei fogli stratigrafici la rappresentazione grafica del terreno è stata eseguita con le simbologie comunemente in uso e secondo le raccomandazioni dell'ANISIG.

Negli stessi fogli stratigrafici sono, inoltre, riportate le descrizioni nel dettaglio della tipologia di terreno incontrata e, su apposite colonne, il tipo e numero di campioni prelevati e di prove eseguite in foro.

L'ubicazione delle prove, come riportato nella planimetria allegata, è stata scelta in accordo con la committente e compatibilmente alle effettive possibilità di accesso ai punti d'indagine.

### **4.2 Piezometro tubo aperto**

Il foro di sondaggio SA è stato attrezzato a piezometro con l'inserimento nel foro stesso di un tubo piezometrico aperto diametro 65 mm micro fessurato a partire dalla profondità di 5,00 ml. Il tubo raggiunge una profondità totale di ml 15,00 da p.c.

Il tratto micro fessurato presenta un filtro drenante in ghiaino siliceo, la parte al di sopra della fessurazione risulta chiusa con cemento e bentonite.

### 4.3 Prove S.P.T.

All'interno dei fori di sondaggio sono state eseguite in totale N° 24 prove S.P.T. N° 4 prove per ciascun sondaggio.

La prova S.P.T. consente di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso dal fondo di un foro di sondaggio. La resistenza è funzione delle caratteristiche e del tipo di terreno.

La prova consiste nel far cadere un maglio, del peso di 63,5 kg, da un'altezza di 760 mm, su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è avvitato il campionatore di dimensioni standardizzate.

Il numero di colpi ( $N_{SPT}$ ) necessario per una penetrazione del campionatore pari a 300 mm, è il dato assunto come indice della resistenza alla penetrazione.

La prova è stata eseguita nel rispetto degli standard ASTM (D.1586-67 riapprovati nel 1974). Per l'esecuzione della prova, date le caratteristiche del terreno esaminato, è stata utilizzata la punta chiusa.

I valori di  $N_{SPT}$  così misurati sono riportati nelle seguenti tabelle:

Sondaggio N°	PROVE S.P.T.			
	N.	Profondità m. da p.c.	Numero colpi	Valore $N_{spt}$
SA	1	3.00 – 3.15 3.15 – 3.30 3.30 – 3.45	2 4 4	8
	2	6.00 – 6.15 6.15 – 6.30 6.30 – 6.45	16 27 24	51
	3	9.00 – 9.15 9.15 – 9.30 9.30 – 9.45	24 50/13cm	Rifiuto
	4	12.00 – 12.15 12.15 – 12.30 12.30 – 12.45	30 50/5cm	Rifiuto



Sondaggio N°	PROVE S.P.T.			
	N.	Profondità m. da p.c.	Numero colpi	Valore Nspt
SB	1	3.00 – 3.15 3.15 – 3.30 3.30 – 3.45	3 5 4	9
	2	6.00 – 6.15 6.15 – 6.30 6.30 – 6.45	15 18 23	41
	3	9.00 – 9.15 9.15 – 9.30 9.30 – 9.45	30 50/10cm	Rifiuto
	4	12.00 – 12.15 12.15 – 12.30 12.30 – 12.45	50/14cm	Rifiuto

Sondaggio N°	PROVE S.P.T.			
	N.	Profondità m. da p.c.	Numero colpi	Valore Nspt
SC	1	3.00 – 3.15 3.15 – 3.30 3.30 – 3.45	3 6 6	12
	2	6.00 – 6.15 6.15 – 6.30 6.30 – 6.45	50/5cm	Rifiuto
	3	9.00 – 9.15 9.15 – 9.30 9.30 – 9.45	23 16 20	36
	4	12.00 – 12.15 12.15 – 12.30 12.30 – 12.45	15 29 45	74

Sondaggio N°	PROVE S.P.T.			
	N.	Profondità m. da p.c.	Numero colpi	Valore Nspt
SD	1	3.00 – 3.15 3.15 – 3.30 3.30 – 3.45	3 6 6	12
	2	6.00 – 6.15 6.15 – 6.30 6.30 – 6.45	11 35 43	78
	3	9.00 – 9.15 9.15 – 9.30 9.30 – 9.45	50/5cm	Rifiuto
	4	12.00 – 12.15 12.15 – 12.30 12.30 – 12.45	50/5cm	Rifiuto

Sondaggio N°	PROVE S.P.T.			
	N.	Profondità m. da p.c.	Numero colpi	Valore Nspt
SE	1	3.00 – 3.15	9	52
		3.15 – 3.30	18	
		3.30 – 3.45	34	
	2	6.00 – 6.15	17	67
		6.15 – 6.30	37	
		6.30 – 6.45	30	
	3	9.00 – 9.15	23	49
		9.15 – 9.30	25	
		9.30 – 9.45	24	
	4	12.00 – 12.15 12.15 – 12.30 12.30 – 12.45	30 50/5cm	Rifiuto

Sondaggio N°	PROVE S.P.T.			
	N.	Profondità m. da p.c.	Numero colpi	Valore Nspt
SF	1	3.00 – 3.15	6	52
		3.15 – 3.30	25	
		3.30 – 3.45	27	
	2	6.00 – 6.15	26	57
		6.15 – 6.30	27	
		6.30 – 6.45	30	
	3	9.00 – 9.15	18	55
		9.15 – 9.30	27	
		9.30 – 9.45	28	
	4	12.00 – 12.15 12.15 – 12.30 12.30 – 12.45	35 43 50/5cm	Rifiuto

#### 4.4 Prelievo dei campioni

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati N° 24 campioni rimaneggiati di terreno, uno per ogni prova penetrometrica S.P.T. eseguita. Sono inoltre stati prelevati N° 18 campioni di terreno per analisi chimiche relative alle terre e rocce da scavo.

I campioni rimaneggiati sono stati prelevati direttamente con campionatore semplice e riposti in sacchetti in polietilene sigillati ermeticamente e contrassegnati.

I terreni selezionati per ciascun campione formato per analisi chimiche risultano rappresentativi dei tratti indicati dalla Committente. Per fare ciò si è proceduto a selezionare le aliquote di terreno alle profondità richieste, tutto il terreno selezionato è stato amalgamato e successivamente raccolto mediante quartatura.

È stato inoltre prelevato N° 1 campione di acqua di falda dal piezometro A. L'acqua di falda è stata prelevata con l'ausilio di una pompa a basso flusso e suddivisa in N° 2 aliquote. Una prima aliquota è stata versata direttamente in un contenitore di vetro scuro e una seconda aliquota in contenitore di plastica in PEHD.

I campioni prelevati sono stati trasportati e consegnati nel più breve tempo possibile al laboratorio di analisi chimiche per l'esecuzione di analisi relative a terre e rocce da scavo.

#### **4.5 Descrizione del terreno**

In corrispondenza dei sondaggi eseguiti, per il sottosuolo indagato, si riscontra la seguente successione stratigrafica:

In tutte le verticali di sondaggio si rileva, fino alla massima profondità investigata di 15,00 m da p.c., la presenza di terreni incoerenti costituiti da ghiaia, ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa. Si rileva localmente una composizione maggiormente coesiva nei primi 3 m di profondità.

Al termine dell'esecuzione dei sondaggi si è proceduto a misurare la profondità della falda dal piano campagna mediante freatimetro:

SA	5,40 m da p.c.
SB	5,45 m da p.c.
SC	5,50 m da p.c.
SD	5,40 m da p.c.
SE	5,50 m da p.c.
SF	5,45 m da p.c.

### **5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA**

#### **5.1 Classificazione sismica e topografica**

Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità

sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

Attraverso l'OPCM 3274/03 vengono dettati i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale:

<b>Zona 1</b> – E' la zona più pericolosa. Possono verificarsi fortissimi terremoti.
<b>Zona 2</b> – In questa zona possono verificarsi forti terremoti.
<b>Zona 3</b> - In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari.
<b>Zona 4</b> – E' la zona meno pericolosa. I terremoti sono rari.

Con riferimento alla classificazione sismica più aggiornata, il territorio comunale di Castelfranco Veneto viene classificato in **Zona 3**.

In funzione delle condizioni topografiche del sito oggetto di intervento, le sollecitazioni sismiche possono subire delle amplificazioni dovute proprio alla topografia dell'area. Secondo le NTC18 vengono individuate le seguenti categorie:

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 $i > 30^\circ$

Categoria topografica dell'area in oggetto: **T1**





*Classificazione sismica al 2015*

## 5.2 Prospezione sismica ai microtremori HVSR

Tramite la tecnica HVSR eseguita in sito, si può valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di

registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti. Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del suddetto progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o liscio secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione  $X$ , ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione  $Y$ , vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale  $Z$ , ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale  $H/V$  per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale  $H/V$  medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde

di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio.

## MISURAZIONI

### **Dati generali:**

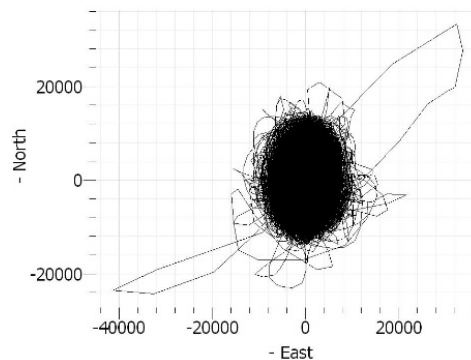
Nome progetto: Indagine HVSr  
Cantiere: Castelfranco Veneto (TV) depuratore di Salvatronda  
Operatore: Alberto Fornasiero  
Data: 05/04/2019  
Latitudine: 45.663593° N  
Longitudine: 11.978592° E

### **Tracce in input e direzionalità rumore:**

#### Dati riepilogativi:

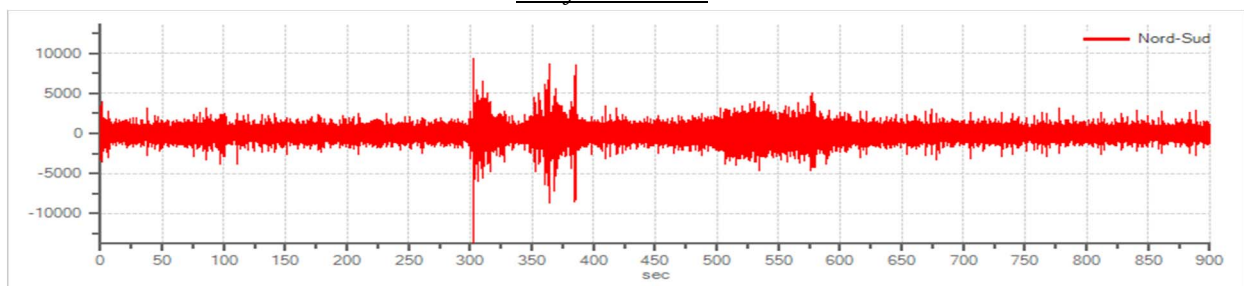
Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 900 s  
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz  
Numero campioni: 270000  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

#### Direzionalità rumore:

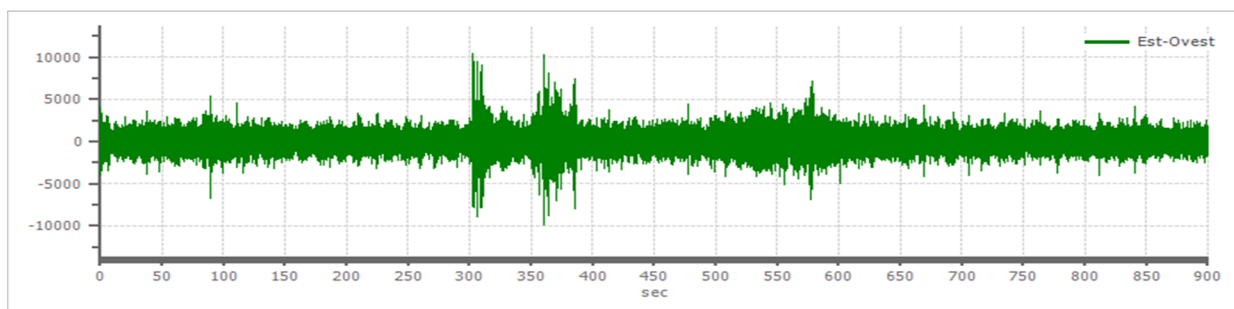


*Il grafico rappresenta la direzionalità del rumore ambientale HVSr (il sondaggio risulta rappresentativo in quanto il segnale risulta multi direzionale e non orientato secondo una direzione predominante)*

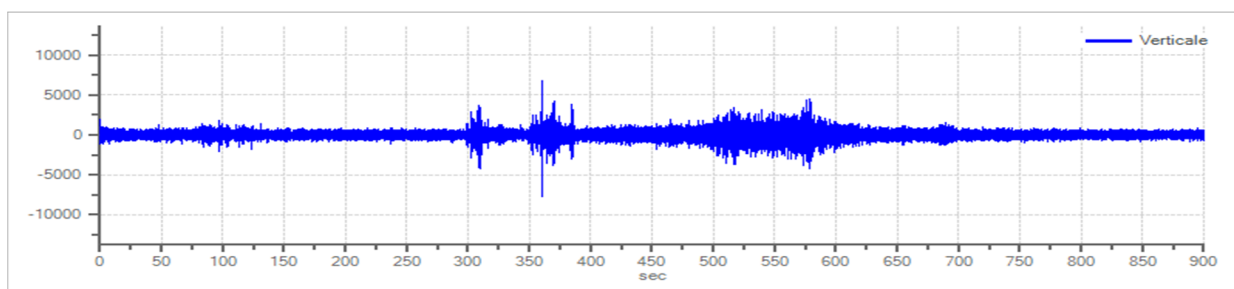
#### Grafici tracce:



*Traccia in direzione Nord-Sud*



*Traccia in direzione Est-Ovest*



*Traccia in direzione Verticale*

## Finestre selezionate

### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 40  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 40  
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
 Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamento: 10,00 %

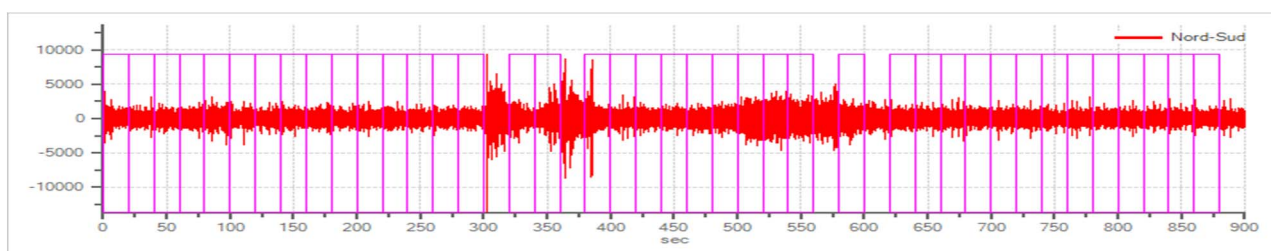
### Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	20	40	Inclusa
3	40	60	Inclusa
4	60	80	Inclusa
5	80	100	Inclusa
6	100	120	Inclusa
7	120	140	Inclusa
8	140	160	Inclusa
9	160	180	Inclusa
10	180	200	Inclusa
11	200	220	Inclusa
12	220	240	Inclusa
13	240	260	Inclusa
14	260	280	Inclusa
15	280	300	Inclusa
16	320	340	Inclusa
17	340	360	Inclusa
18	380	400	Inclusa
19	400	420	Inclusa

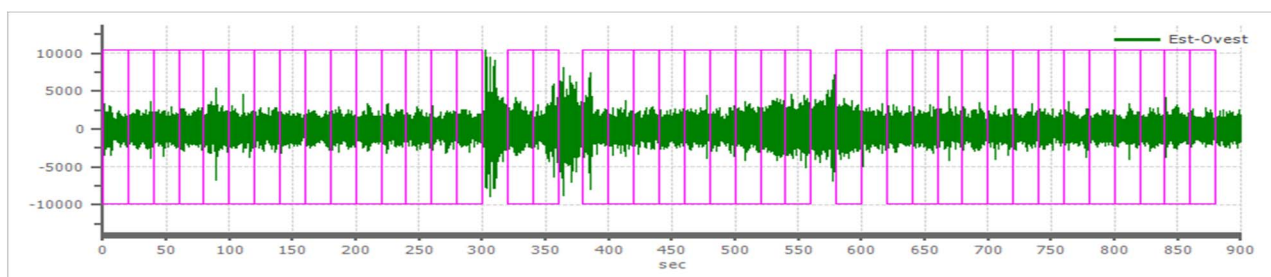


20	420	440	Inclusa
21	440	460	Inclusa
22	460	480	Inclusa
23	480	500	Inclusa
24	500	520	Inclusa
25	520	540	Inclusa
26	540	560	Inclusa
27	580	600	Inclusa
28	620	640	Inclusa
29	640	660	Inclusa
30	660	680	Inclusa
31	680	700	Inclusa
32	700	720	Inclusa
33	720	740	Inclusa
34	740	760	Inclusa
35	760	780	Inclusa
36	780	800	Inclusa
37	800	820	Inclusa
38	820	840	Inclusa
39	840	860	Inclusa
40	860	880	Inclusa

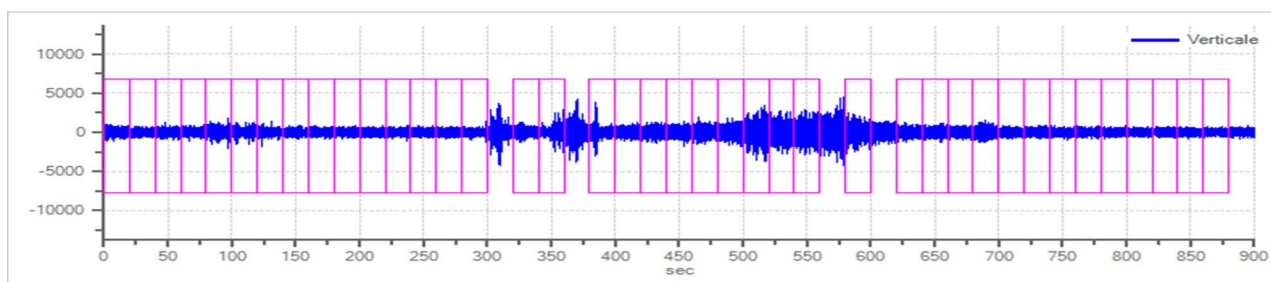
Grafici tracce con finestre selezionate:



*Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud*

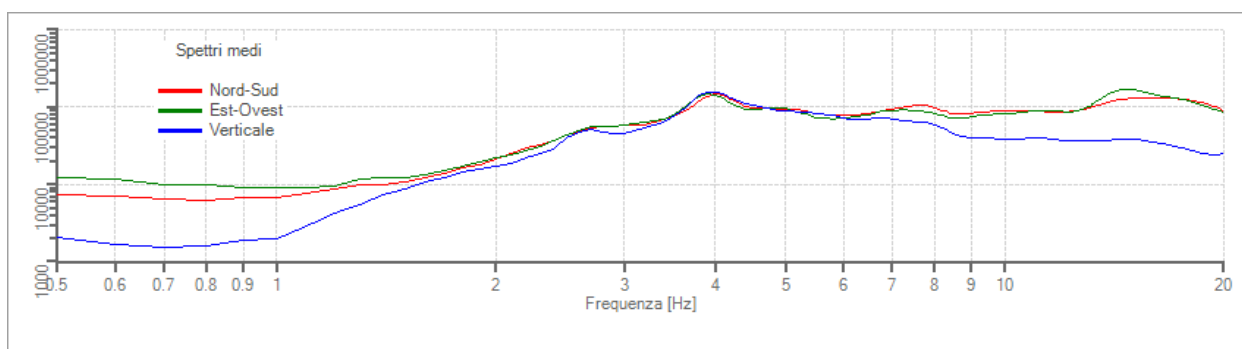


*Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest*

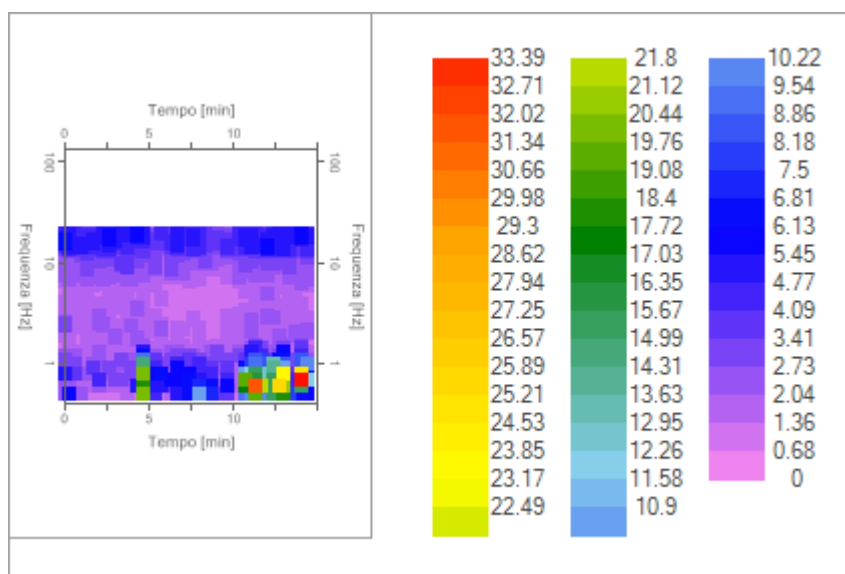


*Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale*

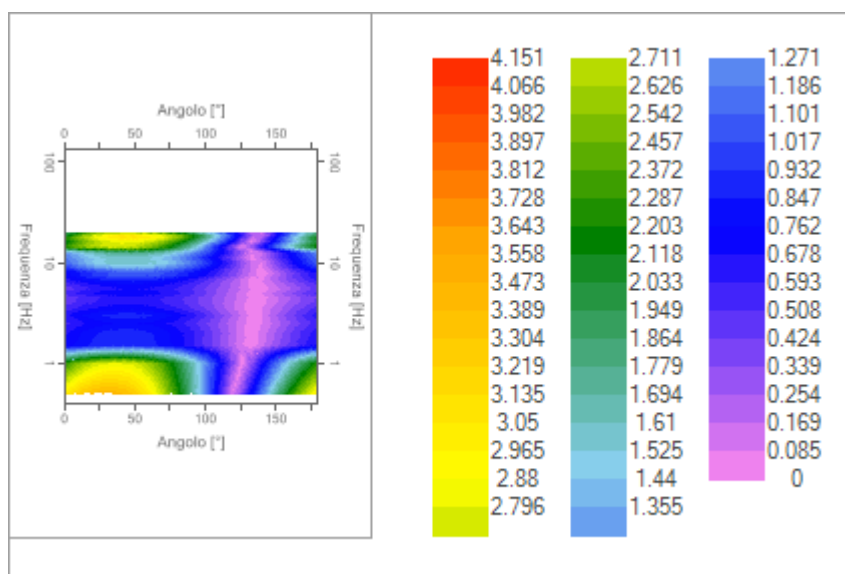
### Grafici degli spettri:



*Spettri medi nelle tre direzioni*



*Mappa della stazionarietà degli spettri*



*Mappa della direzionalità degli spettri*

## Rapporto spettrale H/V

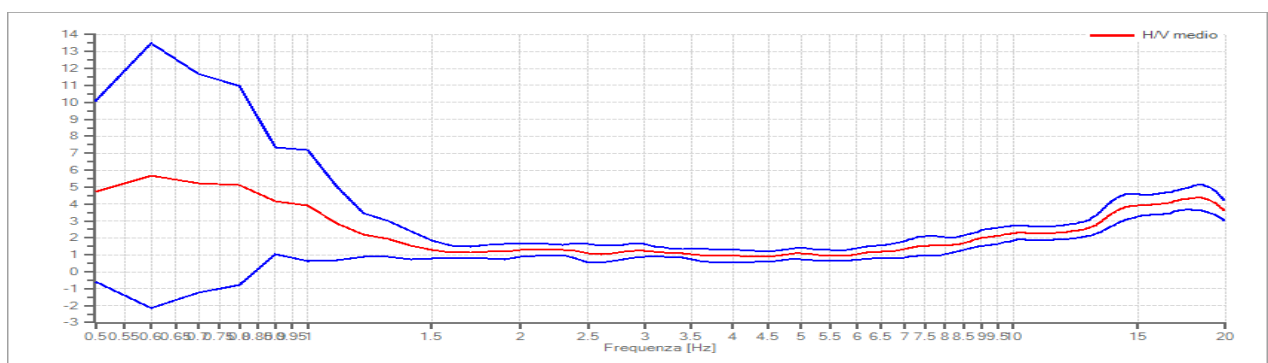
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 20,00 Hz  
Frequenza minima: 0,50 Hz  
Passo frequenze: 0,10 Hz  
Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale  
Percentuale di lisciamento: 10,00 %  
Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: assente

### Grafico rapporto spettrale H/V



*Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia*

### Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/L_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 * f_0 < f < 2 * f_0$ se $f_0 > 0.5 \text{ Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 * f_0 < f < 2 * f_0$ se $f_0 < 0.5 \text{ Hz}$	Ok
$\exists f \in [f_0/4, f_0] / A_{H/V}(f) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^* \in [f_0, 4 * f_0] / A_{H/V}(f) < A_0/2$	Non superato
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Non superato

Nella seguente immagine si hanno i vari parametri precedentemente usati nelle verifiche:

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

## Analisi dei risultati

### Frequenza fondamentale di sito $f_0$ : non determinabile

Dall'analisi delle curve H/V si evidenziano le seguenti conclusioni:

non si ha nessun picco statisticamente significativo della curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico: 0,5-20 Hz a causa di una evidente assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati. Risultati di tale tipo sono caratteristici di misure effettuate su due tipologie di sottosuolo:

- roccia affiorante
- zone alluvionali fini con basamento sismico molto profondo.

Nel caso in analisi si è senza dubbio nella seconda tipologia di sottosuolo avendo quindi una curva H/V piatta nel campo di frequenze di interesse ingegneristico.

In tale caso, essendo la curva H/V piatta, si può concludere che il sottosuolo non tende ad avere una ben determinata frequenza propria di oscillazione. Pertanto la struttura sovrastante non subirà amplificazioni di oscillazione nel campo delle frequenze tipiche delle strutture (1-10Hz in base alla tipologia di struttura).

In tale tipologia di terreno non è risultato dunque possibile stimare tramite la prova HVSR la stratigrafia del sottosuolo e la  $V_{s,eq}$ .

## 5.3 Indagine MASW

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park C.B. et al. 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh.



Il metodo di indagine MASW si distingue in “attivo” e “passivo”:

- 1) Nel “metodo attivo” le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).
- 2) Nel “metodo passivo” lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche “microtremori”) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo), il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente al di sotto dei 30 m).

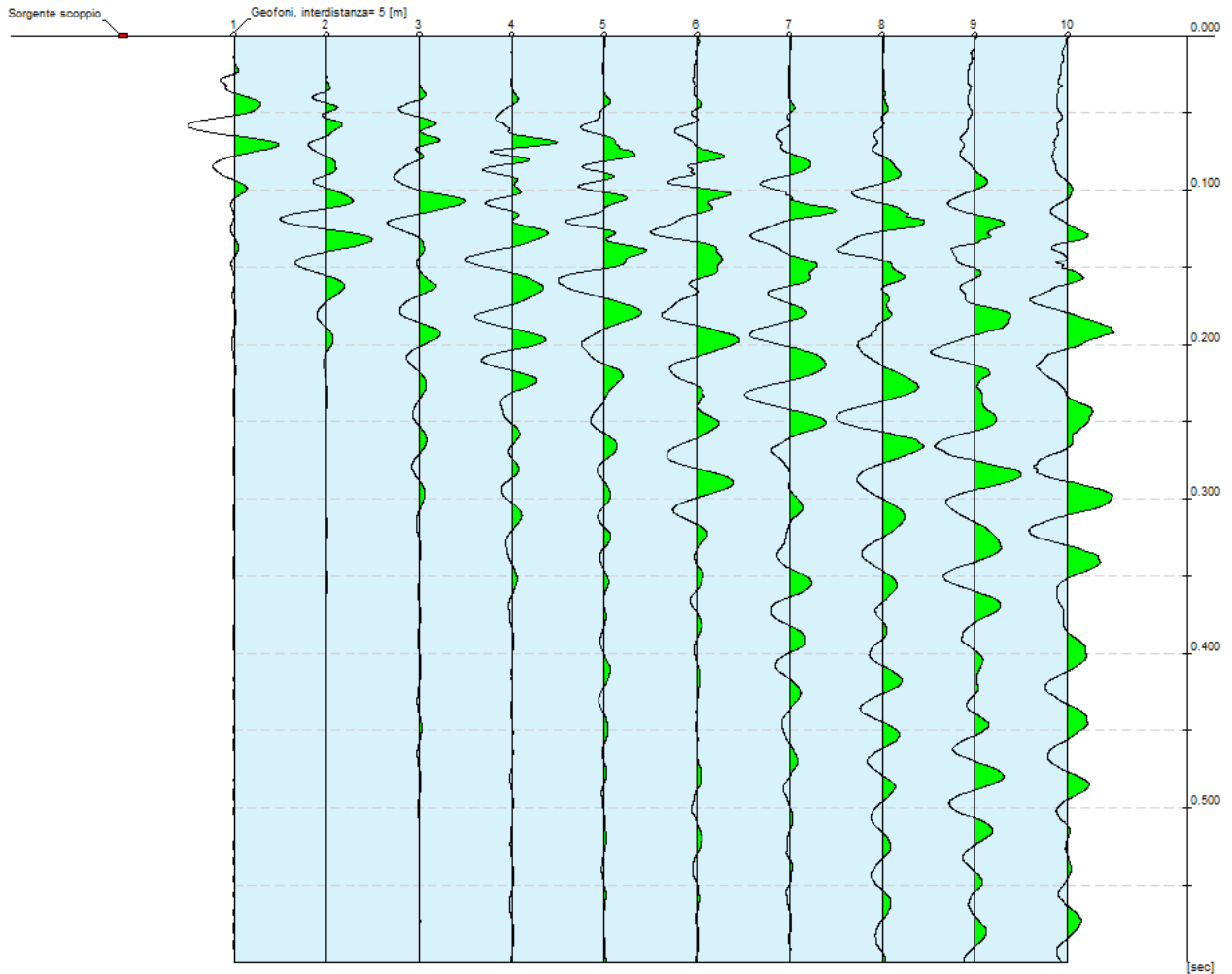
L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 10 geofoni con spaziatura pari a 5 m.

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (Geostru Easy-MASW). Tale programma permette di elaborare i dati da noi acquisiti con il metodo “attivo”. L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale “phase velocity-frequency (c-f)” che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. Su tale spettro bidimensionale si effettua il “picking” relativo al modo fondamentale delle onde di Rayleigh attraverso cui, tramite un processo di inversione matematica, si ottiene il modello Vs-profondità che meglio approssima i dati sperimentali.

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato, come sistema di energizzazione, una mazza di 10 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il

rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking). La sorgente è stata posta ad una distanza compresa tra 4 e 8 m dal primo geofono effettuando più energizzazioni.



Schema dello stendimento MASW

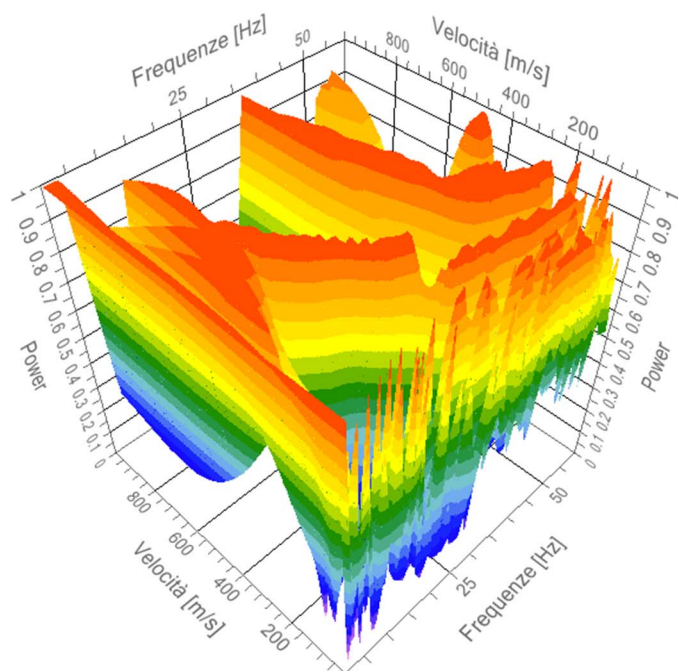
#### TRACCE    Dati di base

N° tracce	11
Durata di acquisizione	600 msec
Interdistanza geofoni	5 m
Periodo di campionamento	0,2 msec

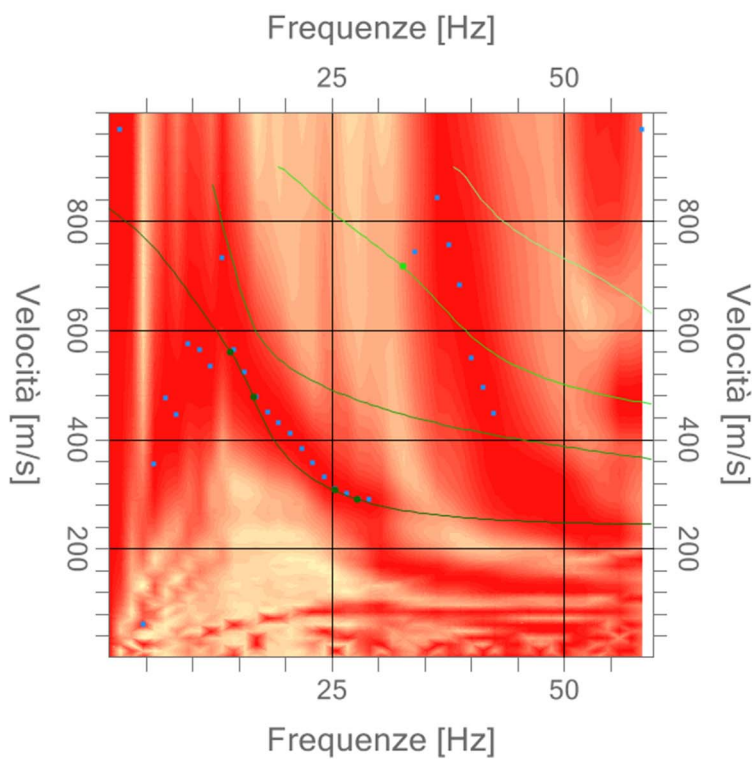
#### Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione	1 Hz
Frequenza massima di elaborazione	60 Hz
Velocità minima di elaborazione	100 m/sec
Velocità massima di elaborazione	1000 m/sec
Intervallo velocità	1 m/sec

Spettro Velocità di fase - Frequenze



Spettro Velocità di fase - Frequenze



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	14.2	559.5	0
2	16.6	477.1	0
3	25.3	308.0	0
4	27.8	290.2	0
5	32.6	717.4	2

### Inversione e interpretazione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	3.16	3.16	468.2	250.3
2	4.96	1.80	617.1	329.9
3	10.27	5.31	828.6	442.9
4	oo	oo	1684.8	900.5

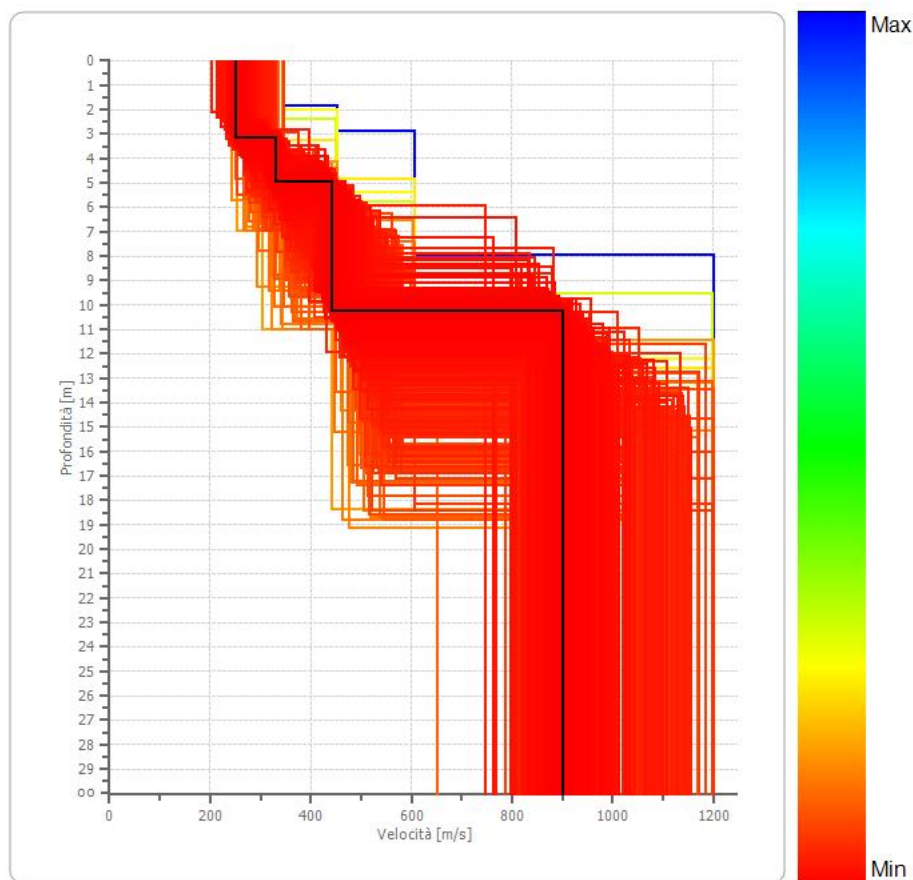
Percentuale di errore

0.000 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.000

Profilo di velocità



Profilo delle velocità

## ANALISI DEI RISULTATI

Con riferimento al profilo delle velocità sopra riportato, si riscontra la presenza di uno strato superficiale con  $V_s$  di circa 250 m/s e spessore di 3,0 m; in successione le velocità delle onde di taglio salgono a 330 m/s fino a 5,0 m di profondità e subiscono un incremento a 443 m/s fino alla profondità di circa 10 m, infine si stabilizzano a circa 900 m/s.

### **STIMA $V_{s,eq}$**

Dal profilo sismo stratigrafico è possibile calcolare il parametro  $V_{s,eq}$  attraverso la seguente espressione, quindi stimare la categoria del suolo di fondazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore  $h(strato)$  e dalla velocità delle onde S  $V_s(strato)$ .

Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. In base alle determinazioni svolte si evince che la velocità media delle onde di taglio fino alla profondità di 30 m dal piano di fondazione o piano campagna risulta:

$$V_{s,eq}: \mathbf{341,45 \text{ m/sec}}$$

pertanto la categoria del sottosuolo può essere classificata come segue:

#### **Categoria E**

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.

## 5.4 Parametri Sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni  
Classe d'uso: II. (Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti)  
Vita nominale: 50 [anni]  
Categoria sottosuolo: E  
Categoria topografica: T1

	Prob. Superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
(SLO)	81	30	0.044	2.503	0.238
(SLD)	63	50	0.058	2.482	0.255
(SLV)	10	475	0.168	2.412	0.316
(SLC)	5	975	0.226	2.421	0.333

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1.600	2.040	1.000	0.014	0.007	0.684	0.200
SLD	1.600	1.990	1.000	0.019	0.009	0.915	0.200
SLV	1.550	1.820	1.000	0.063	0.031	2.554	0.240
SLC	1.400	1.780	1.000	0.089	0.044	3.106	0.280

## 5.5 Potenziale di liquefazione

La liquefazione denota una diminuzione di resistenza al taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

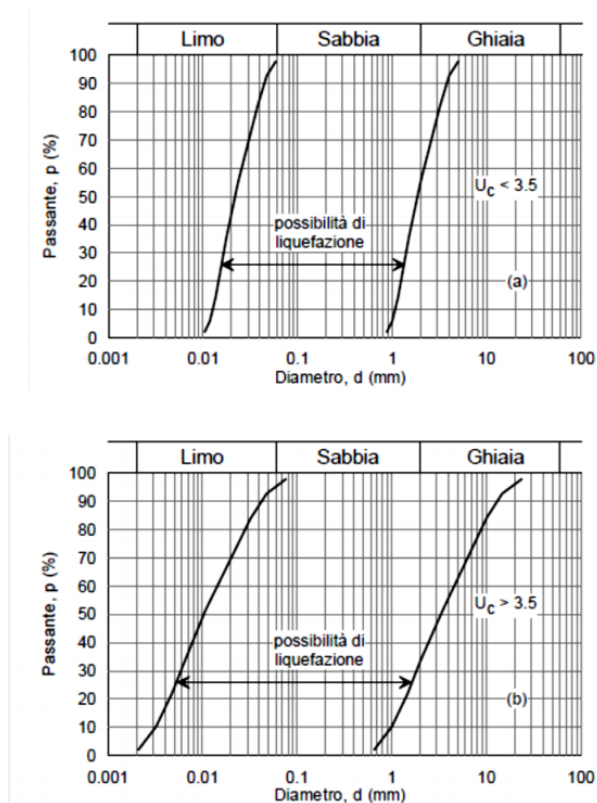
La verifica a liquefazione, secondo NTC2018, può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) Eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
- 2) Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
- 3) Profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 4) Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(NI) > 30$  oppure  $q_{ciN} > 180$  dove  $(NI)$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di



100 kPa e  $q_{ciN}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

5) Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  ed in Figura 7.11.1 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .



**Figura 7.11.1** – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Nella seguente tabella viene inoltre indicata la probabilità che si verifichi liquefazione in funzione delle condizioni stratigrafiche e morfologiche riscontrabili sul territorio:

<b>Categoria</b>	<b>Morfologia</b>	<b>Liquefazione</b>
A	Letti di fiume, antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, zone interdunari	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune, pianure di esondazione, spiagge	Possibile
C	Terrazzi, colline, montagne	Improbabile

In virtù della presenza di terreni ghiaiosi, si ritiene improbabile il fenomeno della liquefazione.

In conformità a quanto previsto nelle NTC2018 cap. 7.11.3.4.2 per il verificarsi del punto “5” si omette la verifica alla liquefazione.

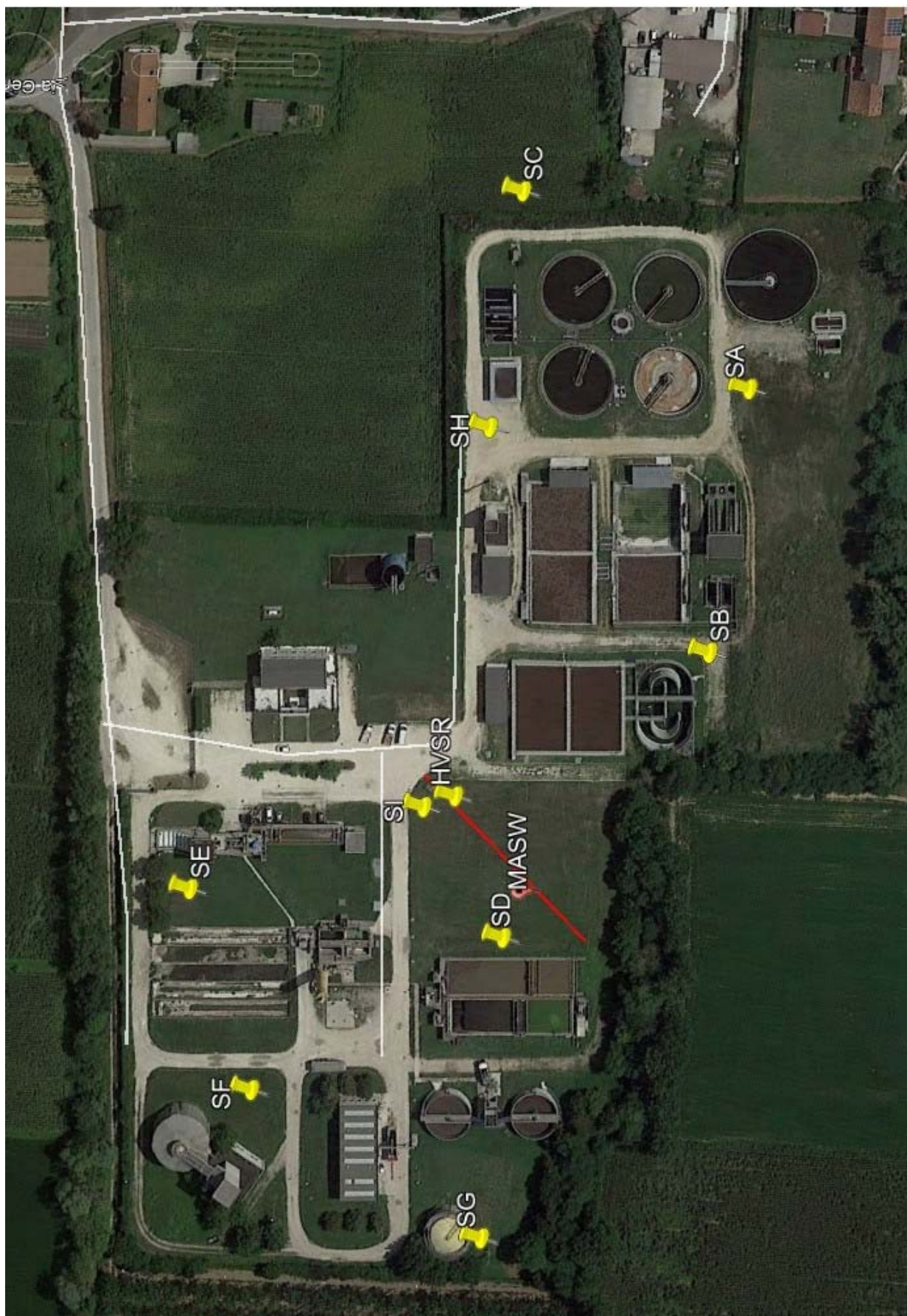
## 6. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

A seguito delle prove eseguite si possono ricavare indicazioni in merito ai parametri geotecnici da impiegare per il terreno indagato.

Nella tabella che segue sono riportati i principali parametri geotecnici rilevati.

### MODELLO GEOTECNICO

Profondità [m]	Tipologia	Cu [kPa]	E <sub>edom</sub> [MPa]	$\phi$ [°]	E [MPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	V <sub>s,30</sub> [m/s]	F <sub>0</sub> [Hz]	Categoria sottosuolo	Categoria topografica
0,00 – 4,00	Sabbia più o meno limosa	-	-	29	4,5	17,5	18,8	341	-	E	T1
4,00 – 15,00	Ghiaia in matrice sabbiosa	-	-	35	20	21	20,5				



*Ubicazione planimetrica delle indagini*

**TecnoStudio S.r.l. società di ingegneria**





Cassetta 1 metri 0,00 – 5,00



Cassetta 2 metri 5,00 – 10,00



Cassetta 3 metri 10,00 – 15,00



**TecnoStudio S.r.l. società di ingegneria**





Cassetta 1 metri 0,00 – 5,00



Cassetta 2 metri 5,00 – 10,00



Cassetta 3 metri 10,00 – 15,00



**TecnoStudio S.r.l. società di ingegneria**





Cassetta 1 metri 0,00 – 5,00



Cassetta 2 metri 5,00 – 10,00



Cassetta 3 metri 10,00 – 15,00



**TecnoStudio S.r.l. società di ingegneria**

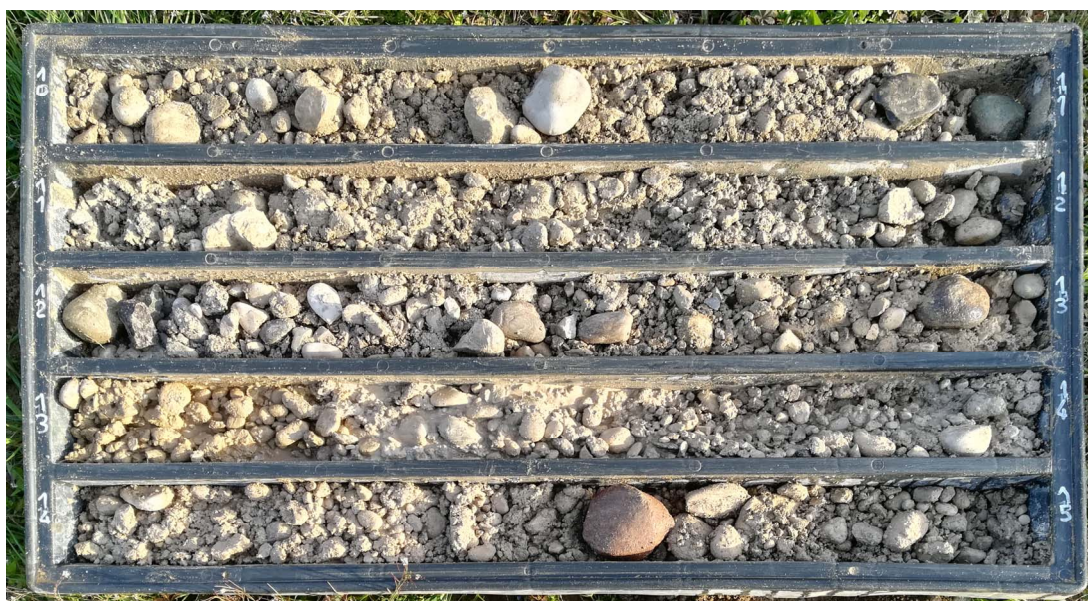




Cassetta 1 metri 0,00 – 5,00



Cassetta 2 metri 5,00 – 10,00



Cassetta 3 metri 10,00 – 15,00



**TecnoStudio S.r.l. società di ingegneria**





Cassetta 1 metri 0,00 – 5,00



Cassetta 2 metri 5,00 – 10,00



Cassetta 3 metri 10,00 – 15,00



**TecnoStudio S.r.l. società di ingegneria**





Cassetta 1 metri 0,00 – 5,00



Cassetta 2 metri 5,00 – 10,00



Cassetta 3 metri 10,00 – 12,00



Committente: ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.R.L.	Sondaggio: G
Riferimento: DEPURATORE DI SALVATRONDA - CASTELFRANCO VENETO (TV)	Data: 29/03/2019
Coordinate: N 45°39'47.648", E 11°58'37.96"	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :50

## STRATIGRAFIA

Pagina 1/1

ø mm	R v	prove in foro	Campioni	Cass.	RP	VT	Standard Penetration Test				metri batt.	Apz	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
101				1			m	S.P.T.	N	Pt				1,00	Argilla limosa.

Terreno conservato in N° 1 cassetta catalogatrice.

Foto della cassetta catalogatrice.

Prelievo di N° 1 campione di terreno per analisi chimiche.

Chiusura del foro di sondaggio con miscela ternaria di cemento, acqua e bentonite.



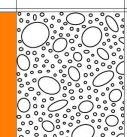
Cassetta 1 metri 0,00 – 1,00

Committente: ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.R.L.	Sondaggio: H
Riferimento: DEPURATORE DI SALVATRONDA - CASTELFRANCO VENETO (TV)	Data: 29/03/2019
Coordinate: N 45°39'47.46", E 11°58'47.32"	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :50

## STRATIGRAFIA

Pagina 1/1

Ø mm	R v	prove in foro	Campioni	Cass.	RP	VT	Standard Penetration Test				metri batt.	Apz	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
101				1			m	S.P.T.	N	Pt				1,00	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa.

Terreno conservato in N° 1 cassetta catalogatrice.

Foto della cassetta catalogatrice.

Prelievo di N° 1 campione di terreno per analisi chimiche.

Chiusura del foro di sondaggio con miscela ternaria di cemento, acqua e bentonite.



Cassetta 1 metri 0,00 – 1,00

Committente: ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.R.L.	Sondaggio: I
Riferimento: DEPURATORE DI SALVATRONDA - CASTELFRANCO VENETO (TV)	Data: 29/03/2019
Coordinate: N 45°39'48.98", E 11°58'42.76"	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :50

## STRATIGRAFIA

Pagina 1/1

Ø mm	R v	prove in foro	Campioni	Cass.	RP	VT	Standard Penetration Test				metri batt.	Apz	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
m							S.P.T.	N	Pt						
101				1							1			0,60	Sabbia limosa marrone con qualche clasto di ghiaia.
											2			2,00	Argilla limosa marrone.

Terreno conservato in N° 1 cassetta catalogatrice.

Foto della cassetta catalogatrice.

Prelievo di N° 2 campioni di terreno per analisi chimiche.

Chiusura del foro di sondaggio con miscela ternaria di cemento, acqua e bentonite.



Cassetta 1 metri 0,00 – 2,00