



Regione Lombardia

Direzione Generale Infrastrutture, Trasporti e Mobilità sostenibile



FERROVIENORD

FNM GROUP



NORD_ING

FNM GROUP

CODICE
COMMESSA

F 3 1

LIVELLO
PROGETTAZIONE

D

D.P.R.
207/10

b

PROGRESSIVO
ELABORATO

0 0 5

CATEGORIA
OPERA

- -

NUMERO
OPERA

- -

REVISIONE

R 0

SCALA

===

LINEA MILANO - VARESE - LAVENO
RADDOPPIO SELETTIVO GEMONIO - CITTIGLIO
Progetto Definitivo

Relazione Geologica
Indagine geognostica
Caratterizzazione e modellazione geotecnica

Revisioni		Data	Descrizione	Redatto	Controllato
	3		-		
	2		-		
	1		-		
	0	Sett 2022	PRIMA EMISSIONE		

NORD_ING

NORD_ING Srl
IL DIRETTORE TECNICO
Ing. Luca Erba

Luca Erba

FERROVIENORD

FERROVIENORD Sp.A.
DIREZIONE SVILUPPO INFRASTRUTTURA
IL DIRETTORE (a.i.)
Dott. Enrico Bellavia

Enrico Bellavia

Progettista



NORD_ING
FNM GROUP

INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI LECCO
n° A 639

Luca Erba

Collaborazione

REDATTO CONTROLLATO APPROVATO DATA

CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE

AGG.

NORD_ING S.R.L.

GEMONIO (VA) – CITTIGLIO (VA)

**Relazione Geologica
Indagine geognostica
Caratterizzazione e modellazione geotecnica**

REVISIONE N° 00

DATA DI EMISSIONE: 08/09/2022

REDATTA DA: dott. A. Freddo geologo



APPROVATA DA: dott. E. Fornasiero ingegnere
Direttore Tecnico



SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	4
2. ASSETTO GEOLOGICO	6
3. LIMITAZIONI ALL'EDIFICAZIONE	8
4. INDAGINE GEORADAR PER RICERCA DI SOTTOSERVIZI	8
4.1. Cenni sulle tecnologie geofisiche utilizzate: Georadar.....	8
4.2. Operazione di acquisizione e interpretazione dei dati.....	9
4.3. Report fotografico	10
5. INDAGINE GEOGNOSTICA	10
5.1. Sondaggi a carotaggio continuo	10
5.2. Prove S.P.T.....	11
5.3. Prelievo dei campioni per indagini geotecniche	11
5.4. Prove di permeabilità Lefranc a carico variabile	11
5.5. Posa tubo per prova Down-Hole	11
5.6. Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH	11
6. GEOREFERENZIAZIONE GPS DEI PUNTI INDAGATI	12
6.1. Report dei punti georeferenziati	12
7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA	13
7.1. Classificazione sismica e topografica.....	13
7.2. Prospezione sismica ai microtremori HVSR	14
7.3. Prospezione sismica a rifrazione MASW	15
8. ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO	15
9. OPN 643 – PASSERELLA PEDONALE	16
9.1. Prospezione sismica a rifrazione MASW – livello SS394	16
9.2. Prospezione sismica a rifrazione MASW – livello arrivo passerella in via C. Battisti.....	19
9.3. Prospezione sismica a rifrazione – livello arrivo passerella in via C. Battisti.....	23
9.4. Prospezione sismica ai microtremori HVSR.....	25
9.5. Analisi del rischio sismico – Risposta sismica locale.....	29
9.6. Parametri Sismici	30
9.7. Potenziale di liquefazione	30
9.8. Caratterizzazione e modellazione geotecnica	32
10. OPN 644 – TOMBINO	33
10.1. Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH	33
10.2. Prospezione sismica a rifrazione MASW	41
10.3. Prospezione sismica ai microtremori HVSR.....	44
10.4. Analisi del rischio sismico – Risposta sismica locale.....	48
10.5. Parametri Sismici	49
10.6. Potenziale di liquefazione	50
10.7. Caratterizzazione e modellazione geotecnica	51

11. OPN 646 – TOMBINO	52
11.1. Prospezione sismica a rifrazione MASW	52
11.2. Prospezione sismica ai microtremori HVSR.....	55
11.1. Analisi del rischio sismico – Risposta sismica locale.....	59
11.2. Parametri Sismici	60
11.3. Potenziale di liquefazione	61
12. OPN 647 – SOTTOVIA SS394.....	63
12.1. Prospezione sismica diretta DOWN-HOLE.....	63
12.2. Prospezione sismica ai microtremori HVSR.....	65
12.3. Analisi del rischio sismico – Risposta sismica locale.....	69
12.4. Parametri Sismici	70
12.5. Potenziale di liquefazione	71
12.6. Caratterizzazione e modellazione geotecnica	72
13. OPN 650 – TOMBINO	73
13.1. Prospezione sismica a rifrazione MASW	73
13.2. Prospezione sismica ai microtremori HVSR.....	76
13.3. Analisi del rischio sismico – Risposta sismica locale.....	80
13.4. Parametri Sismici	81
13.5. Potenziale di liquefazione	82
13.6. Caratterizzazione e modellazione geotecnica	83
14. OPN 652 – TOMBINO	84
14.1. Prospezione sismica a rifrazione MASW	84
14.2. Prospezione sismica ai microtremori HVSR.....	87
14.3. Analisi del rischio sismico – Risposta sismica locale.....	91
14.4. Parametri Sismici	92
14.5. Potenziale di liquefazione	93
14.6. Caratterizzazione e modellazione geotecnica	94

TAVOLE TECNICHE

N° 5 FOGLI PLANIMETRICI

N° 5 FOGLI STRATIGRAFICI

N° 20 FOTOGRAFIE DELLE CASSETTE CATALOGATRICI

N° 1 FOGLIO INTERPRETATIVO DELLA PROVA DOWN-HOLE

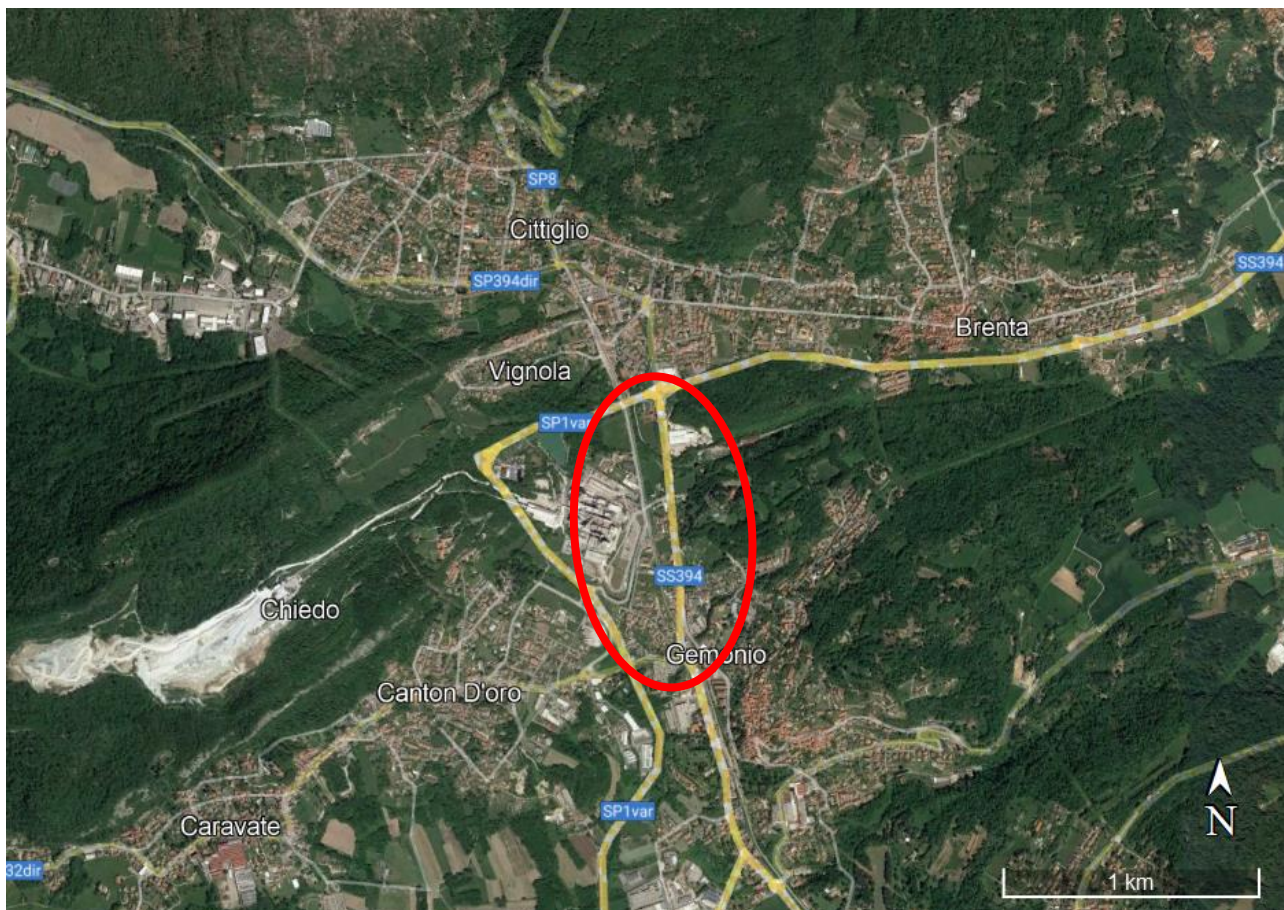
N° 1 FOGLIO INTERPRETATIVO DELLA PROVA LEFRANC

ALLEGATI

CERTIFICATI DI LABORATORIO TERRE

1. INTRODUZIONE

Su incarico di **Nord_ing S.r.l.**, nella presente relazione si riportano i risultati ottenuti dall'indagine geognostica eseguita nei comuni di Gemonio (VA) e Cittiglio (VA), in corrispondenza dei terreni interessati dalla realizzazione del raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio (F31), sulla linea Saronno – Varese – Laveno.



Vista aerea del sito (Google Earth)

Finalità dell'indagine è l'individuazione delle caratteristiche litostratigrafiche e meccaniche del sottosuolo, a tale scopo sono state eseguite le seguenti attività in corrispondenza delle opere d'arte:

66+206 OPN 643 – Passerella pedonale

- N° 1 Sondaggio a carotaggio continuo;
- N° 1 Indagine sismica HVSr (microtremori);
- N° 2 Prospezione sismica a rifrazione MASW;
- N° 1 Prospezione sismica a rifrazione;
- Analisi geotecniche di laboratorio.

66+393 OPN 644 – Tombino

- N° 2 Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH;
- N° 1 Indagine sismica HVSr (microtremori);
- N° 1 Prospezione sismica a rifrazione MASW;

66+549 OPN 646 – Tombino

- N° 1 Indagine sismica HVSR (microtremori);
- N° 1 Prospezione simica a rifrazione MASW;

66+621 OPN 647 – Sottovia SS394

- N° 2 Sondaggi a carotaggio continuo;
- N° 1 Indagine sismica HVSR (microtremori);
- N° 1 Prospezione simica diretta DOWN-HOLE;
- Analisi geotecniche di laboratorio.

67+151 OPN 650 – Tombino

- N° 1 Sondaggio a carotaggio continuo;
- N° 1 Indagine sismica HVSR (microtremori);
- N° 1 Prospezione simica a rifrazione MASW;
- Analisi geotecniche di laboratorio.

67+588 OPN 652 – Tombino

- N° 1 Sondaggio a carotaggio continuo;
- N° 1 Indagine sismica HVSR (microtremori);
- N° 1 Prospezione simica a rifrazione MASW;
- Analisi geotecniche di laboratorio.

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. La normativa di riferimento viene integrata con D.G.R. Lombardia IX 2616/2011 e Circolare n. 1 del 24/02/2017 Regione Lombardia.

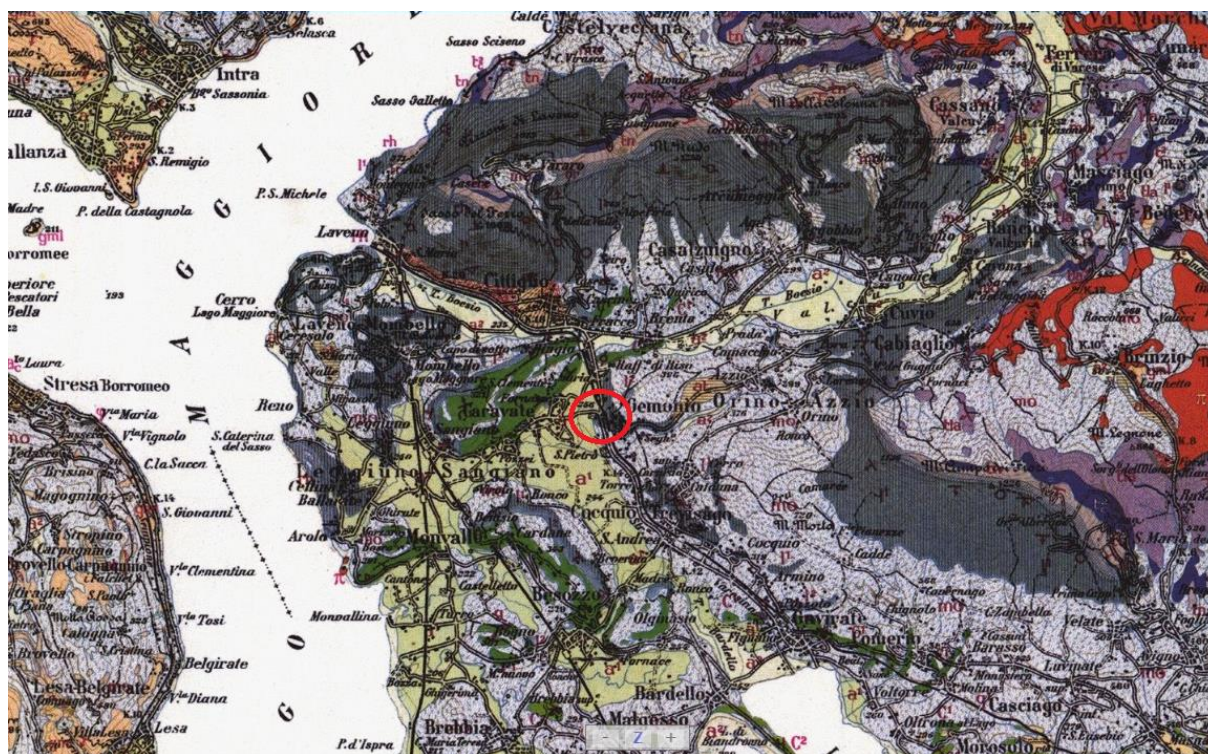


Ortofoto con individuazione dell'area d'indagine (Google Earth)

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

L'area indagata ricade nel foglio 31 "Varese" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Il sito d'indagine rientra in una zona pianeggiante urbanizzata e con un'evidente attività antropica che ha portato ad una trasformazione del paesaggio.

Dall'analisi delle carte geologiche menzionate l'area d'indagine è situata al margine meridionale dei rilievi prealpini e costituisce una fascia di transizione tra le Prealpi s.s. e l'alta pianura varesina, caratterizzata dalla presenza di depositi di contatto glaciale a carattere limoso e sabbioso con presenza di clasti. Sedimenti di riempimento dei bacini che si venivano a creare tra la massa di ghiaccio e i versanti circostanti.



Estratto dal Foglio 31 Varese della Carta Geologica d'Italia 1:100.000

LEGENDA

	Alluvioni recenti		Morenico
	Maiolica		Ammonitico rosso

Il sito d'indagine ricade in Valcuvia: valle del Torrente Boesio, tributario del Lago Maggiore in sponda Est.

Dall'analisi delle carte geologiche menzionate l'area d'indagine ricade interamente in area subpianeggiante caratterizzata dalla presenza di terreni di origine alluvionale e fluvio-glaciale con morfologie legate alla deposizione fluviale e fluvio-glaciale di età Quaternaria e Pleistocenica. Nei dintorni dell'area si elevano colline con formazioni rocciose calcaree e calcareo-marnose cretatiche e giurassiche.

Le Alpi Meridionali tra il Lago Maggiore e il Lago di Como, ove viene inquadrato il sito d'indagine, sono il "luogo" di giunzione tra le falde Orobiche ad est ed il sistema Ivrea - Verbano ad ovest. Le prime sono costituite da un basamento cristallino metamorfico, da una serie vulcanica tardo paleozoica e da una successione sedimentaria mesozoica - cenozoica con prevalenza di rocce carbonatiche. Il sistema Ivrea - Verbano e la Zona Strona - Ceneri comprendono l'intera successione delle rocce cristalline sia metamorfiche (gneiss granitoidi, paragneiss, anfiboliti, marmi) che magmatiche (pirosseniti, gabbri, dioriti, anortositi e graniti s.l.) oltre che rocce attribuibili al mantello superiore (peridotiti di Balmuccia e di Finero). Il complesso Ivrea - Ceneri e la falda Orobica risultano separate da una serie di dislocazioni tettoniche (Tesserete-Grona, Arosio, Luino e Verbania) nella zona compresa tra il Lago Maggiore ed il Lago di Lugano.

Nel Varesotto l'assetto strutturale è caratterizzato da un sistema di scaglie embricate generalmente con vergenza sudest, delimitate da dislocazioni tettoniche con sviluppo nordest -

sudovest (Maggiore e Lugano). Questa regione risulta quindi caratterizzata da una serie di “unità” tettoniche che, simili a scaglie, sovrascorrono o retroscorrono l’una sopra l’altra.

L’area in esame, facente parte del complesso alluvionale idrogeologico e costituita da sabbie e ghiaie di origine alluvionale e fluvioglaciale, è sede di un acquifero variabile da libero a confinato e presenta un grado di permeabilità medio-alto.

Sono stati analizzati:

- il Piano di Governo del Territorio del Comune di Cittiglio;
- il Piano di Governo del Territorio del Comune di Gemonio
- il Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Varese;
- il Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po;
- il Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) del bacino del Fiume Po.

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

- le aree non presentano vincolo idrogeologico;
- l’acquifero, essendo libero, presenta alta vulnerabilità;
- i siti ricadono in aree aventi classe di fattibilità geologica 2 e quindi con modeste limitazioni;
- gli scenari di pericolosità sismica locale attribuiti sono la Z4a: “zona di fondovalle o di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi con possibili amplificazioni litologiche e geometriche” per i siti in Comune di Cittiglio; Z4c “zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi” per i siti in Comune di Gemonio.

3. LIMITAZIONI ALL’EDIFICAZIONE

Dall’analisi delle tavole di cui al punto 2 risulta che la condizione limitativa dell’edificabilità è la presenza di terreni superficiali con caratteristiche geotecniche scadenti.

Per quanto sopra risulta necessario che:

- vengano verificate le caratteristiche portanti del terreno.

4. INDAGINE GEORADAR PER RICERCA DI SOTTOSERVIZI

In corrispondenza dei punti di indagine è stato preliminarmente effettuato uno studio geofisico con tecnica georadar propedeutico all’individuazione di sottoservizi. Lo studio ha come scopo l’elaborazione di un modello geofisico per il corpo investigato, con la ricostruzione di profili GPR conformi alle NTC 2018 testo unico sulle costruzioni.

4.1. Cenni sulle tecnologie geofisiche utilizzate: Georadar

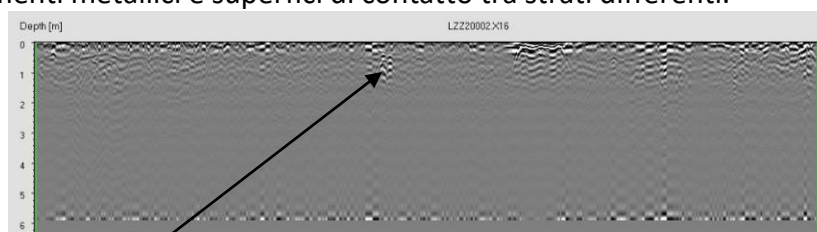
Il metodo georadar (o GPR), è un sistema di indagine del sottosuolo, a piccole profondità, basato sulla riflessione delle onde elettromagnetiche con frequenza compresa tra 10 e 2000 MHz.

Questo metodo, se utilizzato correttamente nelle condizioni ambientali opportune, è effettivamente in grado di mostrare la stratigrafia della parte di terreno investigato.

Il georadar, una volta valutata le caratteristiche elettriche del mezzo attraversato dall'impulso elettromagnetico è in grado di "vedere" la forma dell'oggetto, il suo spessore e valutare la profondità alla quale esso si trova.

Il metodo fornisce i migliori risultati quando viene impiegato in terreni a bassa attenuazione, caratterizzati da una bassa conduttività elettrica, come sabbia, roccia, ghiaccio, ecc. La tecnica è molto meno efficace quando opera in mezzi ad alta attenuazione come argilla e limi saturi, acqua con alta concentrazione di sali.

Operativamente il GPR, consiste nell'invio nel terreno di impulsi elettromagnetici ad alta frequenza (radio frequenze) e nella misura del tempo impiegato dal segnale a ritornare al ricevitore dopo essere stato riflesso da eventuali discontinuità intercettate durante il suo percorso. Tali riflessioni sono causate in generale dal cambiamento delle proprietà elettriche del sottosuolo, dalla variazione del contenuto d'acqua, da cambiamenti litostratigrafici. In particolare, nel caso della prospezione per ricerca di sottoservizi, le riflessioni possono essere prodotte da strutture, da elementi metallici e superfici di contatto tra strati differenti.



Tubazione

Esempio di radargramma

4.2. Operazione di acquisizione e interpretazione dei dati

Le aree da investigare sono state ubicate in accordo con la committenza. I profili GPR sono stati eseguiti facendo scorrere le antenne (con acquisizione continua del dato) sul terreno, lungo strisciate la cui verticalità è stata garantita dall'opportuni "marker" posizionati lungo il percorso.

L'indagine è stata eseguita con strumentazione Georadar I.D.S. Opera Duo Grund Penetrating Radar con 2 antenne, la prima da 250 e la seconda da 700 Mhz in grado di eseguire acquisizioni contemporanee e in continuo:

Prima antenna da 700 Mhz con una profondità utile di rilievo di circa 1-2 m da p.c.

Seconda antenna da 250 Mhz con una profondità utile di rilievo da circa 2 a circa 4/8 m p.c. (in funzione dei terreni). Nello specifico la profondità massima raggiunta è stata di circa 4 metri dal p.c.

L'elaborazione delle sezioni radar è consistita essenzialmente nell'applicazione di procedure di pre-processing definite secondo la seguente articolazione:

rimozione delle tracce in eccesso;

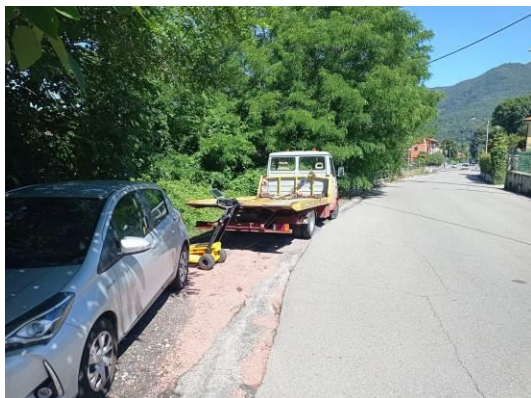
normalizzazione della distanza tra le singole tracce.

In una seconda fase si è proceduto a elaborazioni mirate alla ricerca di possibili discontinuità subverticali nel terreno, attraverso l'applicazione di:

procedure di filtraggio per la rimozione di rumore di fondo non correlabile alla variazione della natura dei materiali/terreno

procedure di correzione statica dei profili per la verifica della presenza di sottoservizi (con indicazione delle grandezze e profondità medie degli stessi).

4.3. Report fotografico



OPN 647 S1



OPN 647 S2-DH



OPN 650



OPN 652

5. INDAGINE GEOGNOSTICA

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.

5.1. 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.

I risultati, nel dettaglio, sono riportati nelle tavole tecniche allegate. Nel foglio stratigrafico la rappresentazione grafica del terreno è stata eseguita con le simbologie comunemente in uso e secondo le raccomandazioni dell'ANISIG e, su apposite colonne, tipo, numero di campioni prelevati e prove eseguite in foro.

Il terreno, prelevato senza soluzione di continuità, è stato accuratamente analizzato, catalogato, fotografato e riposto in apposite cassette catalogatrici per la sua conservazione.

5.2. Prove S.P.T.

Le prove S.P.T. sono state eseguite in avanzamento alla profondità richiesta dalla committente.

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 (NSPT) 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).

5.3. Prelievo dei campioni per indagini geotecniche

Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati campioni di terreno alla profondità richiesta dalla committente.

I campioni rimaneggiati sono stati prelevati direttamente con campionatore semplice e riposti immediatamente in sacchetti in polietilene sigillati ermeticamente e contrassegnati con indicazione di località del prelievo, numero di sondaggi e profondità.

I campioni prelevati sono stati consegnati al laboratorio terre della scrivente per l'esecuzione delle prove geotecniche richieste.

5.4. Prove di permeabilità Lefranc a carico variabile

Nel corso dei sondaggi sono state eseguite prove di permeabilità Lefranc a carico variabile, al fine di determinare la permeabilità del terreno indagato. Per l'esecuzione della prova si crea una "tasca" non rivestita nel terreno che possa assorbire liberamente l'acqua. Viene riempito il foro d'acqua fino a piano campagna o alla testa tubo e se ne misura l'abbassamento ad intervalli temporali prefissati fino allo stabilizzarsi dell'abbassamento.

I dati ottenuti vengono dunque diagrammati e da questo si ricava la permeabilità del terreno. Nelle tavole tecniche allegate è riportato il diagramma delle prove eseguite.

5.5. Posa tubo per prova Down-Hole

I fori di sondaggio indicati dalla committente sono stati attrezzati con tubo in PVC cieco del diametro di 2,5" per l'esecuzione della prova sismica in foro down-hole. Tutto il tubo risulta solidale al terreno mediante l'iniezione di boiaccia cementizia nell'intercapedine.

5.6. Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH

La prova penetrometrica dinamica continua DPSH "Dynamic Probing Super Heavy" consiste nell'infingere nel terreno una punta conica per tratti consecutivi misurando il numero di colpi N necessari.

L'elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati per la caratterizzazione stratigrafica.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Caratteristiche Tecniche-Strumentali

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m

6. GEOREFERENZIAZIONE GPS DEI PUNTI INDAGATI

Le misure sono state effettuate con procedure satellitari (GPS) con l'utilizzo dello strumento GPS: **Geomax Zenith06**.



SPECIFICHE DEL RICEVITORE

Affidabilità	99.9%
Motore di misurazione	u-Blox, 184 canali, doppia frequenza, multi-costellazione
Tracciamento GPS	L1 C/A, L2C
Tracciamento GLONASS	L1OF, L2OF
Tracciamento Galileo	E1 B/C, E5b
Tracciamento BeiDou	B1I, B2I
Tracciamento QZSS	L1 C/A, L2C
Frequenza di posizionamento	10 Hz

PRECISIONE E PRESTAZIONI DEL RICEVITORE *

RTK	Hz 2 cm + 1 ppm V: 3 cm + 1 ppm
Statica	Hz 2 cm + 1 ppm V: 3 cm + 1 ppm
Inizializzazione del GNSS	Avvio a freddo: 24 s Requisizione: 2 s

6.1. Report dei punti georeferenziati

Punto	Latitudine	Longitudine	Quota m s.l.m.
OPN643 (Posizione approssimata per inaccessibilità dell'area)	N 45°52'44.5"	E 8°40'23.1"	--
OPN644-D1	N 45°52'51.2530"	E 8°40'20.2760"	310.012m
OPN644-D2	N 45°52'51.8010"	E 8°40'19.9502"	310.118m
OPN647-S1	N 45°52'56.6360"	E 8°40'17.4701"	306.340m
OPN647-S2DH	N 45°52'58.9500"	E 8°40'16.1859"	301.468m
OPN650	N 45°53'11.7419"	E 8°40'10.0629"	298.110m
OPN652	N 45°53'26.5013"	E 8°40'04.9941"	292.578m

7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

7.1. 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.



Classificazione sismica al 2015

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:

Zona 1 – È la zona più pericolosa. Possono verificarsi fortissimi terremoti.
Zona 2 – In questa zona possono verificarsi forti terremoti.
Zona 3 – In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari.
Zona 4 – È la zona meno pericolosa. I terremoti sono rari.

Con riferimento alla classificazione sismica più aggiornata, i territorio comunali di Gemonio (VA) e Cittiglio (VA) vengono classificati in Zona 4.

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:

Cat.	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

7.2. Prospezione simica ai microtrempi HVS

Tramite la tecnica HVS si può valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Le ipotesi alla base della tecnica sono:

1. una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz);
2. assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze;
3. le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.

Nella prima fase in campagna si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti. In fase di elaborazione si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali pari almeno a 20 secondi. Queste finestre vengono poi 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. Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia e lo spettro nella direzione verticale Z.

Si ricava quindi il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

7.3. Prospezione sismica a rifrazione MASW

La prova MASW 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").

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 30 m di profondità), 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).

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato, come sistema di energizzazione, una mazza di 15 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking).

8. ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO

I campioni di terreno sottoposti ad analisi sono stati catalogati e su di essi, date le caratteristiche degli stessi e secondo le indicazioni della Committenza, sono state eseguite:

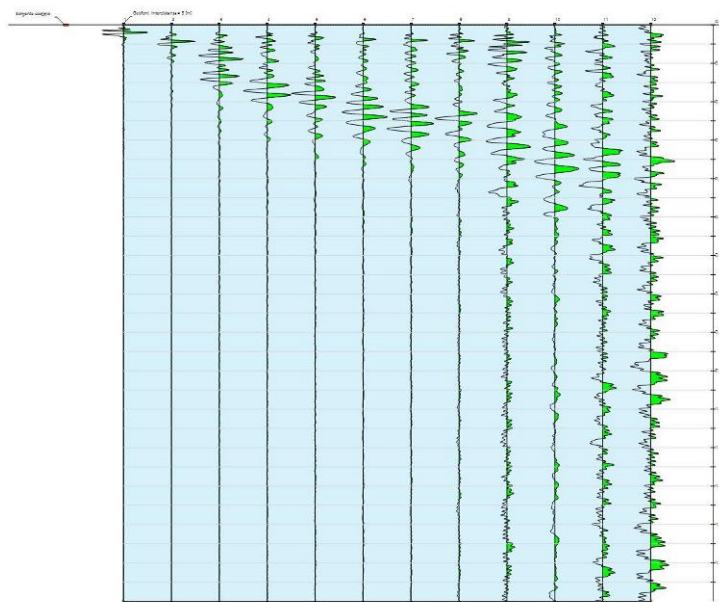
- analisi granulometriche
- determinazione delle caratteristiche fisiche
- prova di permeabilità a carico variabile con permeametro
- prova di taglio diretta con scatola di Casagrande.

Le prove sono eseguite secondo le normative vigenti dal nostro laboratorio terre autorizzato per il Settore "A" dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con Decreto 0000011 del 13/02/2017 secondo l'art. 59 del DPR n. 380/2001 circolare 7618 STC 2010.

Le analisi di laboratorio effettuate sono riportate nella relazione allegata alla presente.

9. OPN 643 – PASSERELLA PEDONALE

9.1. Prospezione sismica a rifrazione MASW – livello SS394



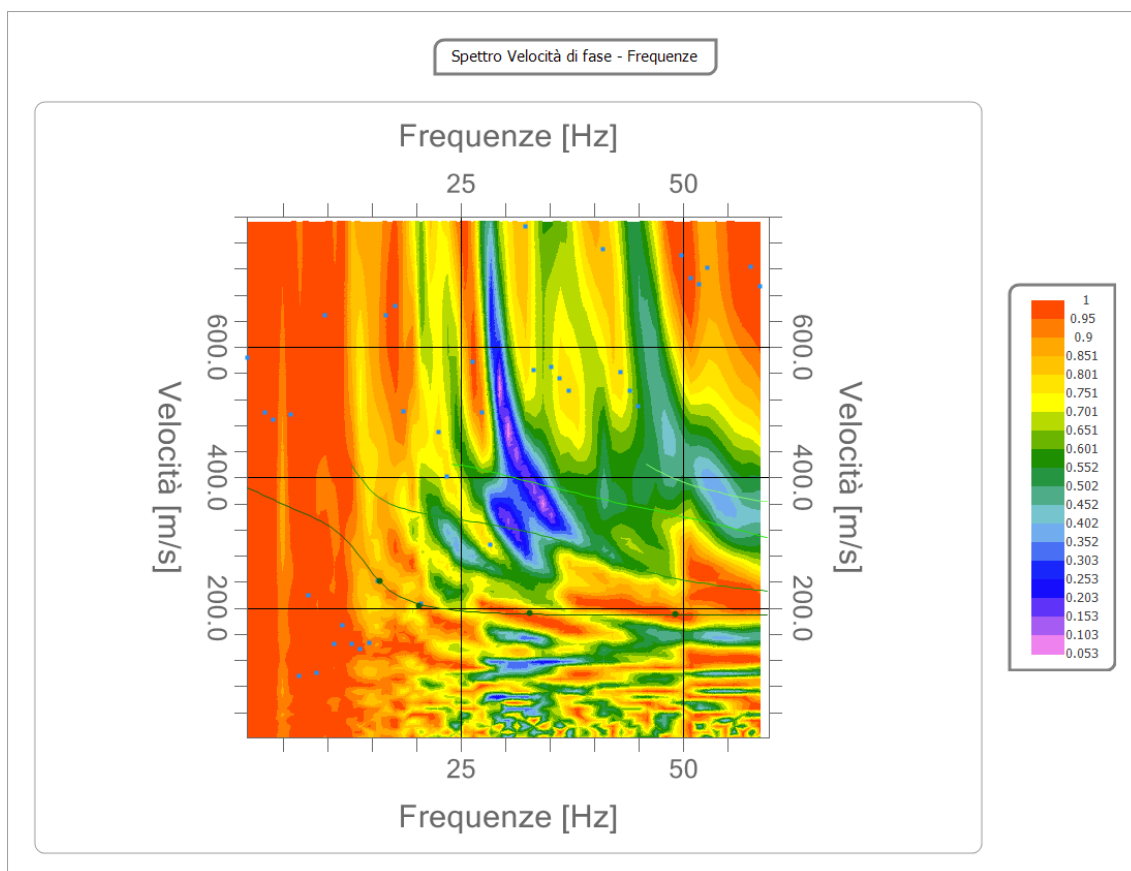
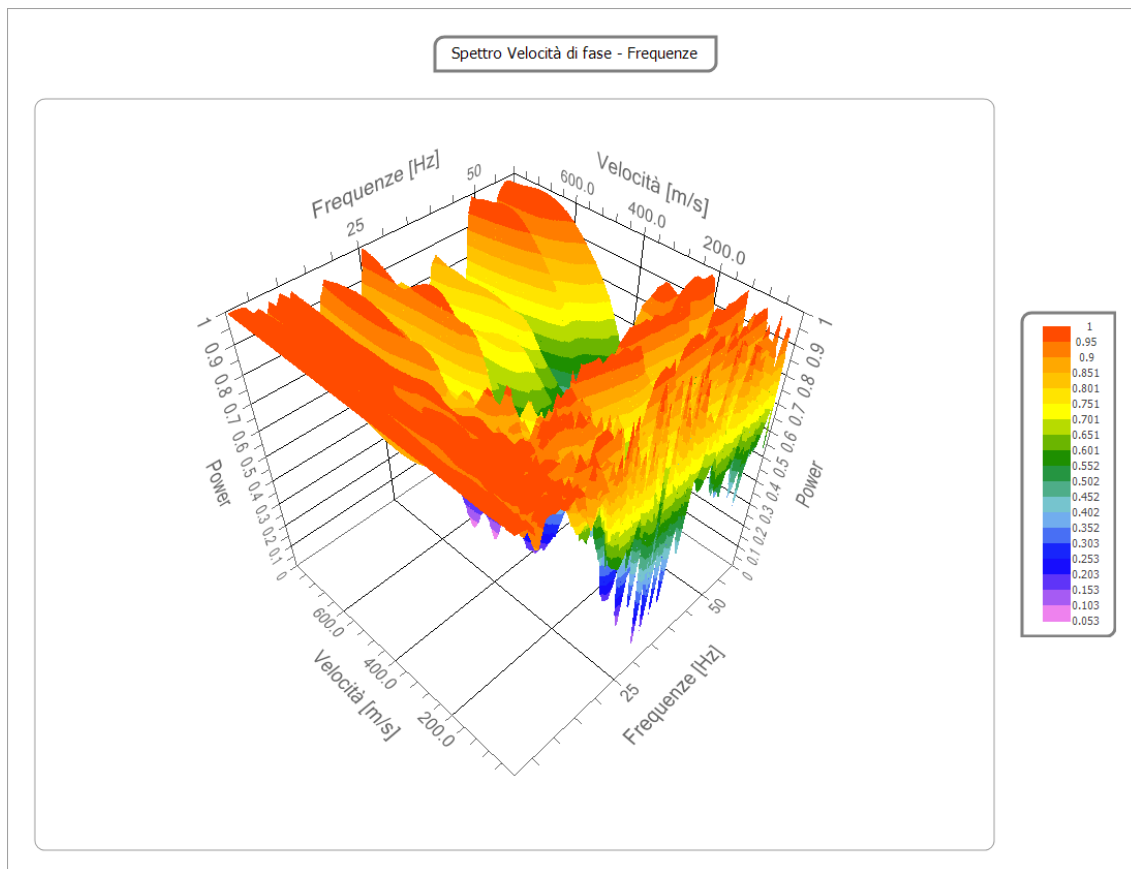
Schema dello stendimento MASW

Dati di base

N° tracce	12
Durata di acquisizione	1000 msec
Interdistanza geofoni	5.0 m
Periodo di campionamento	1.00 msec

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione	1 Hz
Frequenza massima di elaborazione	60 Hz
Velocità minima di elaborazione	1 m/sec
Velocità massima di elaborazione	800 m/sec
Intervallo velocità	1 m/sec



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	15.9	240.9	0
2	20.2	202.8	0
3	32.7	192.9	0
4	49.1	191.2	0

Inversione e interpretazione

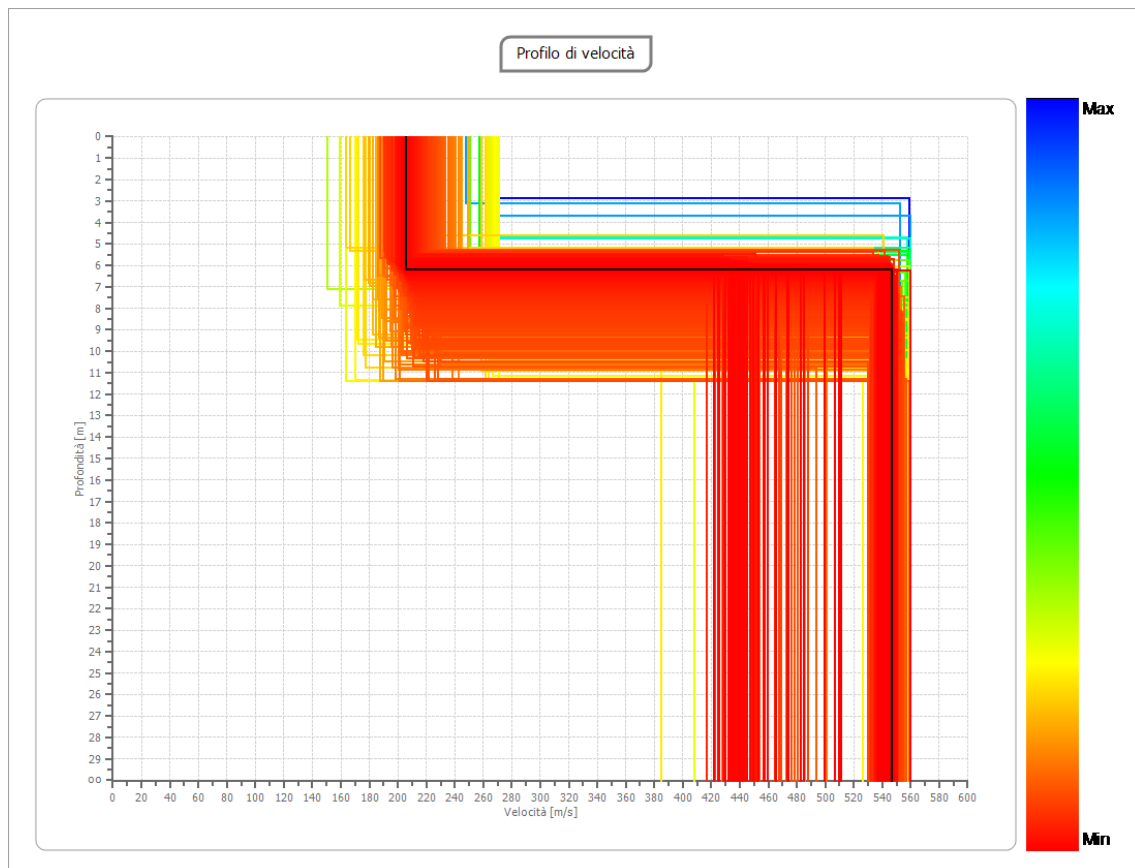
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	6.21	6.21	384.3	205.4
2	oo	oo	1022.5	546.5

Percentuale di errore

0.006 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.008



Profilo delle velocità

STIMA Vs,eq

Dal profilo sismo stratigrafico è possibile calcolare il parametro Vs,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 Vs(strato).

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,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:

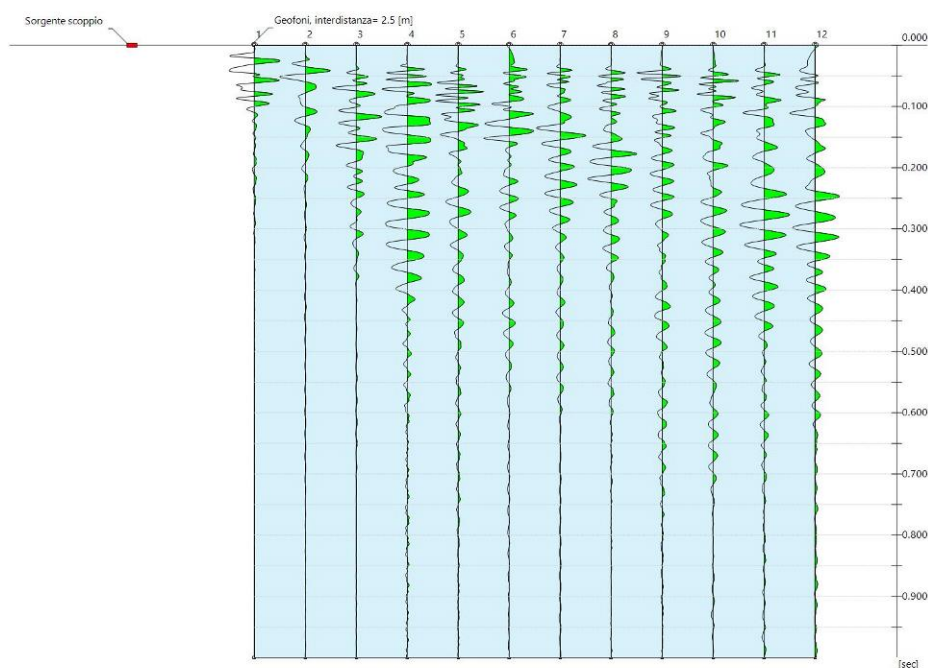
$$V_{s,eq} (H=30m) : \quad 406.66 \text{ m/sec}$$

pertanto la categoria del sottosuolo può essere classificata come segue:

Categoria B

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.

9.2. Prospezione sismica a rifrazione MASW – livello arrivo passerella in via C. Battisti



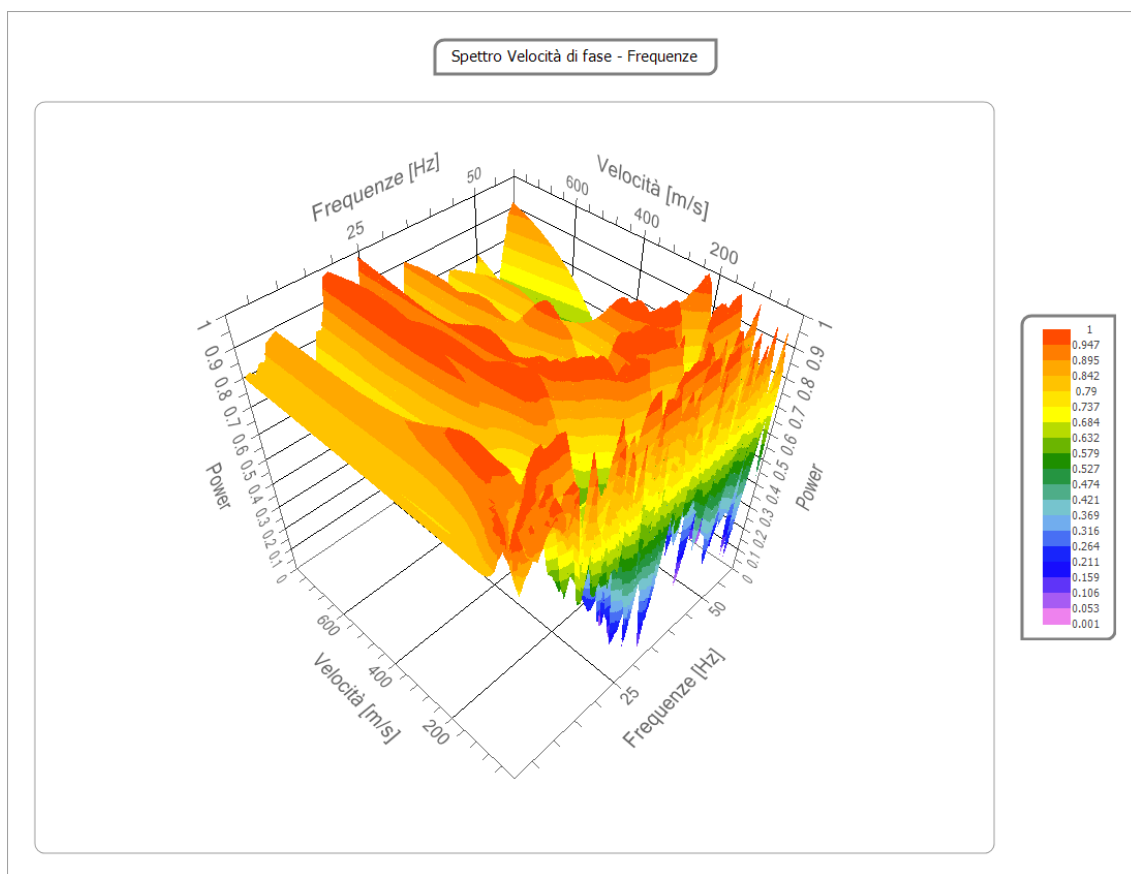
Schema dello stendimento MASW

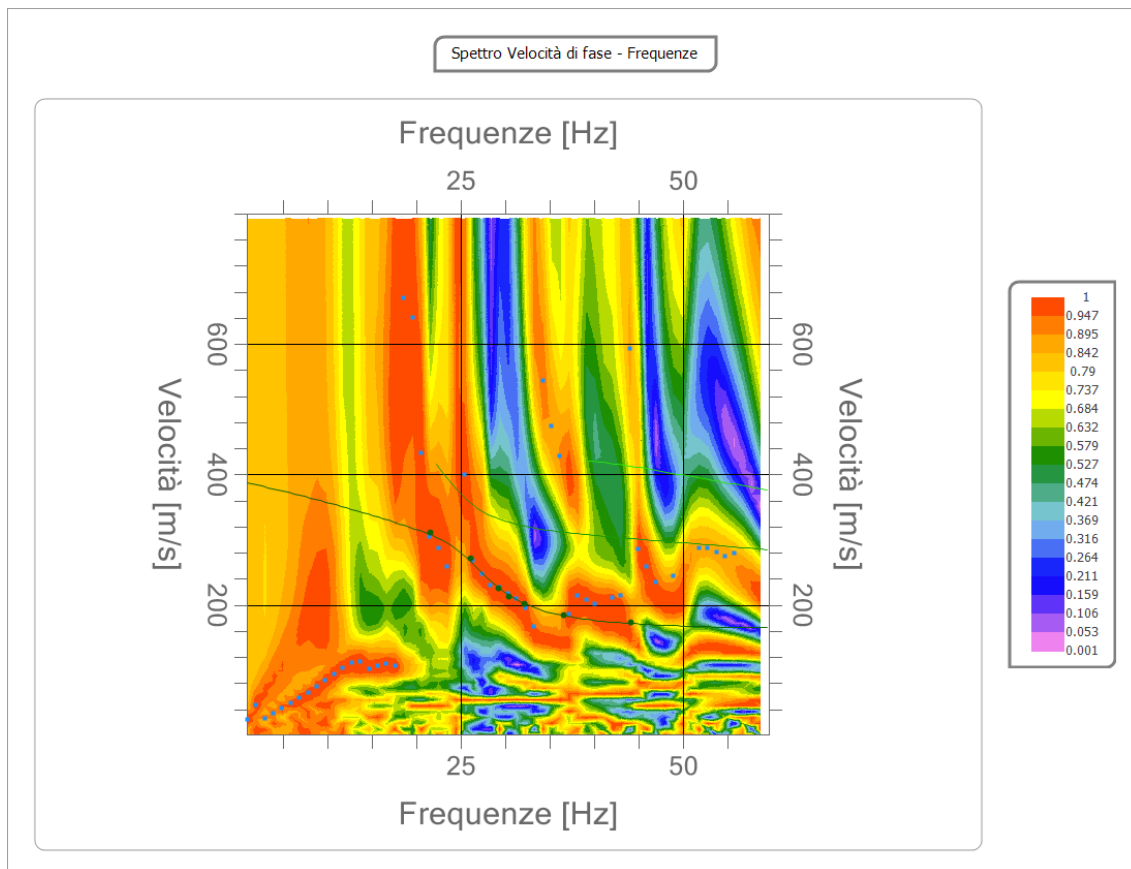
Dati di base

N° tracce	12
Durata di acquisizione	1000 msec
Interdistanza geofoni	2.5 m
Periodo di campionamento	1.00 msec

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione	1 Hz
Frequenza massima di elaborazione	60 Hz
Velocità minima di elaborazione	1 m/sec
Velocità massima di elaborazione	800 m/sec
Intervallo velocità	1 m/sec





Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	21.6	310.3	0
2	26.1	270.6	0
3	29.2	226.0	0
4	30.4	212.7	0
5	32.1	201.2	0
6	36.6	184.6	0
7	44.1	173.0	0

Inversione e interpretazione

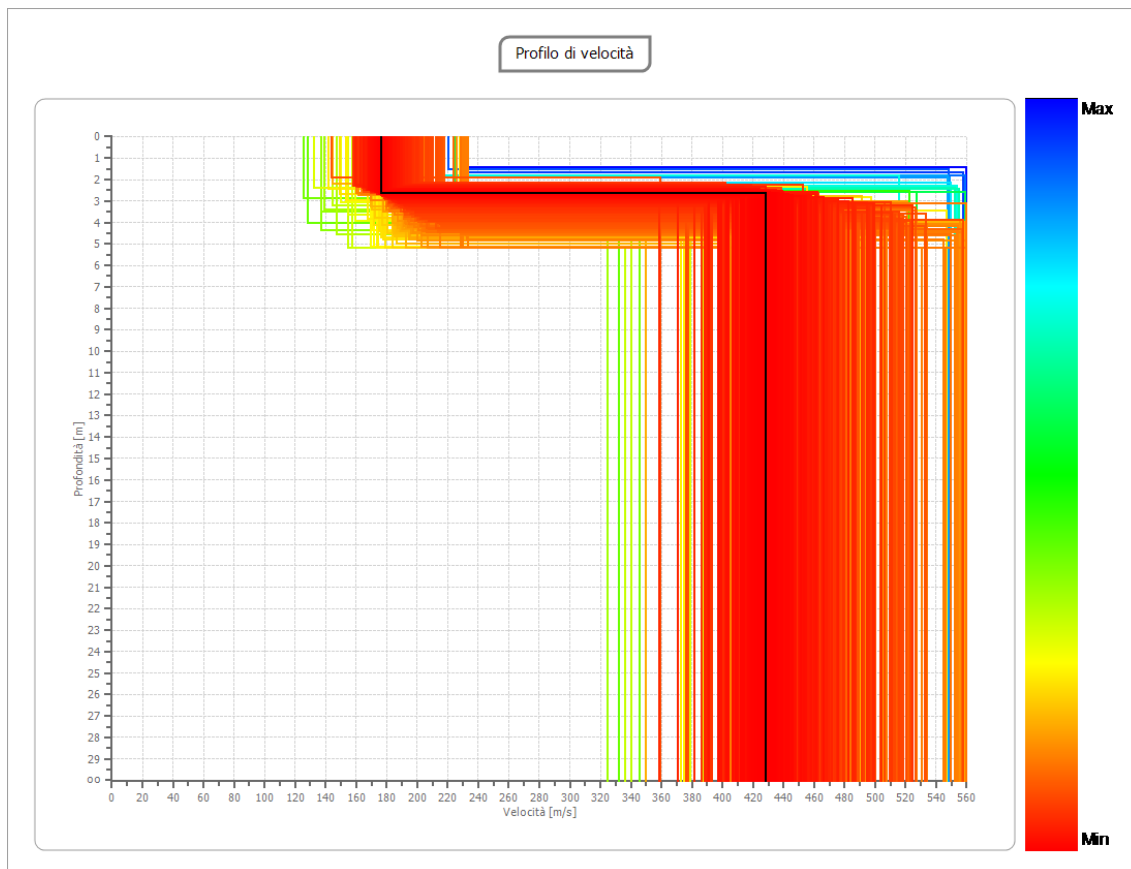
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	2.65	2.65	329.9	176.3
2	oo	oo	801.9	428.6

Percentuale di errore

0.003 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.005



Profilo delle velocità

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:

$$V_{s,eq} (H=30m) : \quad 380.55 \text{ m/sec}$$

pertanto la categoria del sottosuolo può essere classificata come segue:

Categoria B

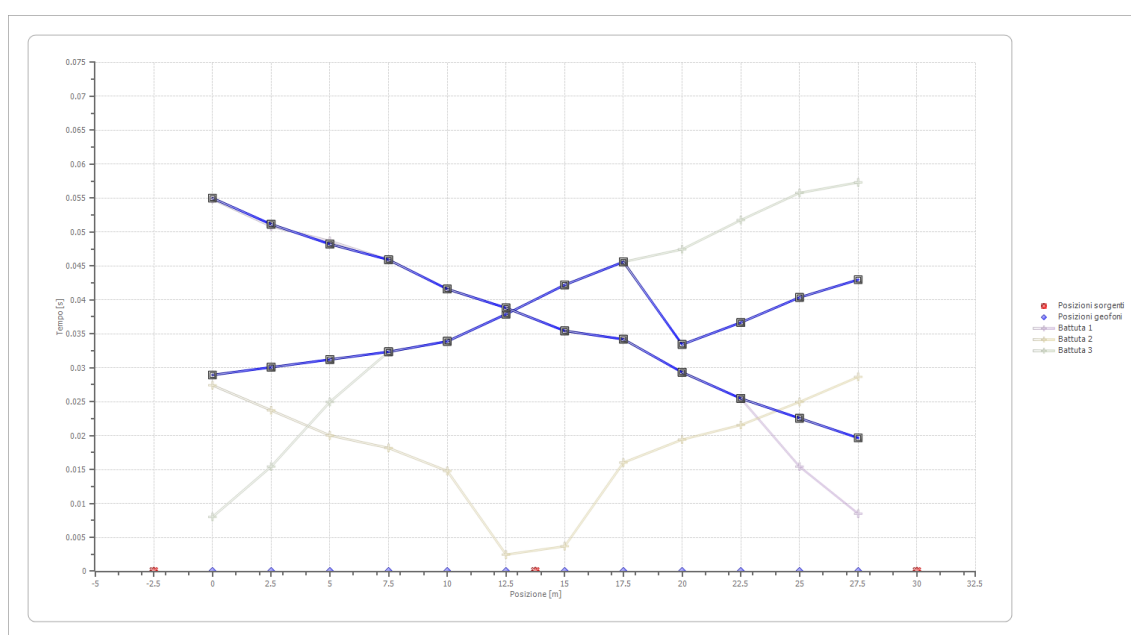
Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

9.3. Prospezione sismica a rifrazione – livello arrivo passerella in via C. Battisti

La prospezione sismica consiste nella misura dei tempi dei primi arrivi delle onde sismiche generate in un punto in superficie, in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati a passo costante, ove sono infissi dei geofoni.

Dai sismogrammi di uno stendimento di geofoni si ricavano curve distanza-tempo o dromocrone da cui è possibile ricavare lo spessore degli strati ed avere una valutazione della litologia attraversata in funzione della velocità.

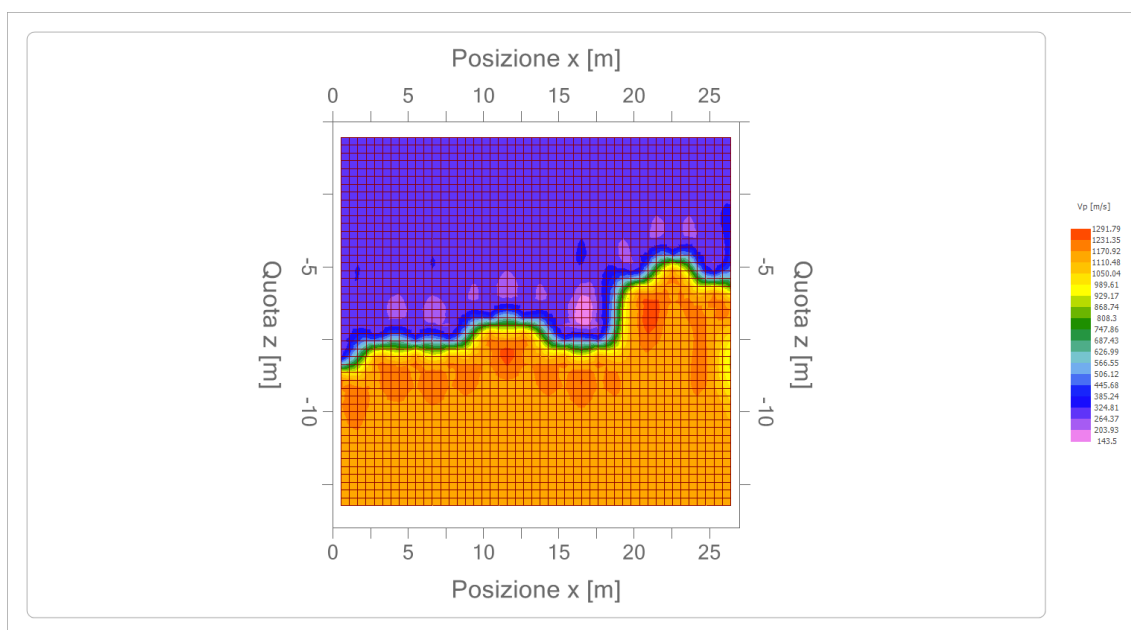
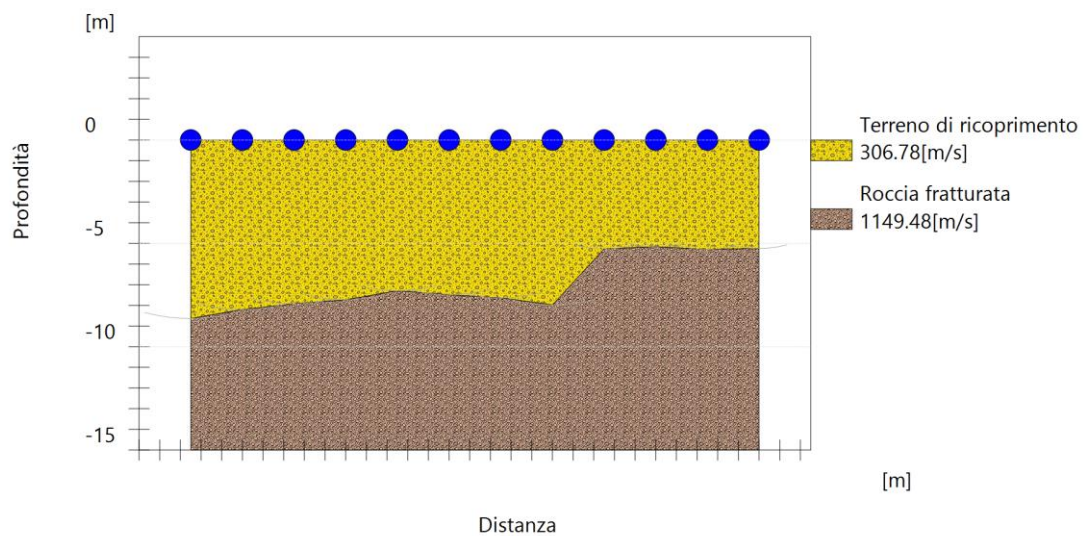
LUNGHEZZA STESA: 60 m



Dromocrone

Interpretazione col metodo G,.R.M.

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	8.6	--
G= 2.5 [m]	8.2	--
G= 5.0 [m]	7.9	--
G= 7.5 [m]	7.7	--
G= 10.0 [m]	7.3	--
G= 12.5 [m]	7.5	--
G= 15.0 [m]	7.6	--
G= 17.5 [m]	8.0	--
G= 20.0 [m]	5.3	--
G= 22.5 [m]	5.2	--
G= 25.0 [m]	5.3	--
G= 27.5 [m]	5.2	--
Velocità Vp [m/sec]	306.8	1149.5
Descrizione	Terreno di ricoprimento	Roccia fratturata



9.4. Prospezione sismica ai microtremori HVSR

Dati generali:

Orientamento: Asse Y verso Nord magnetico

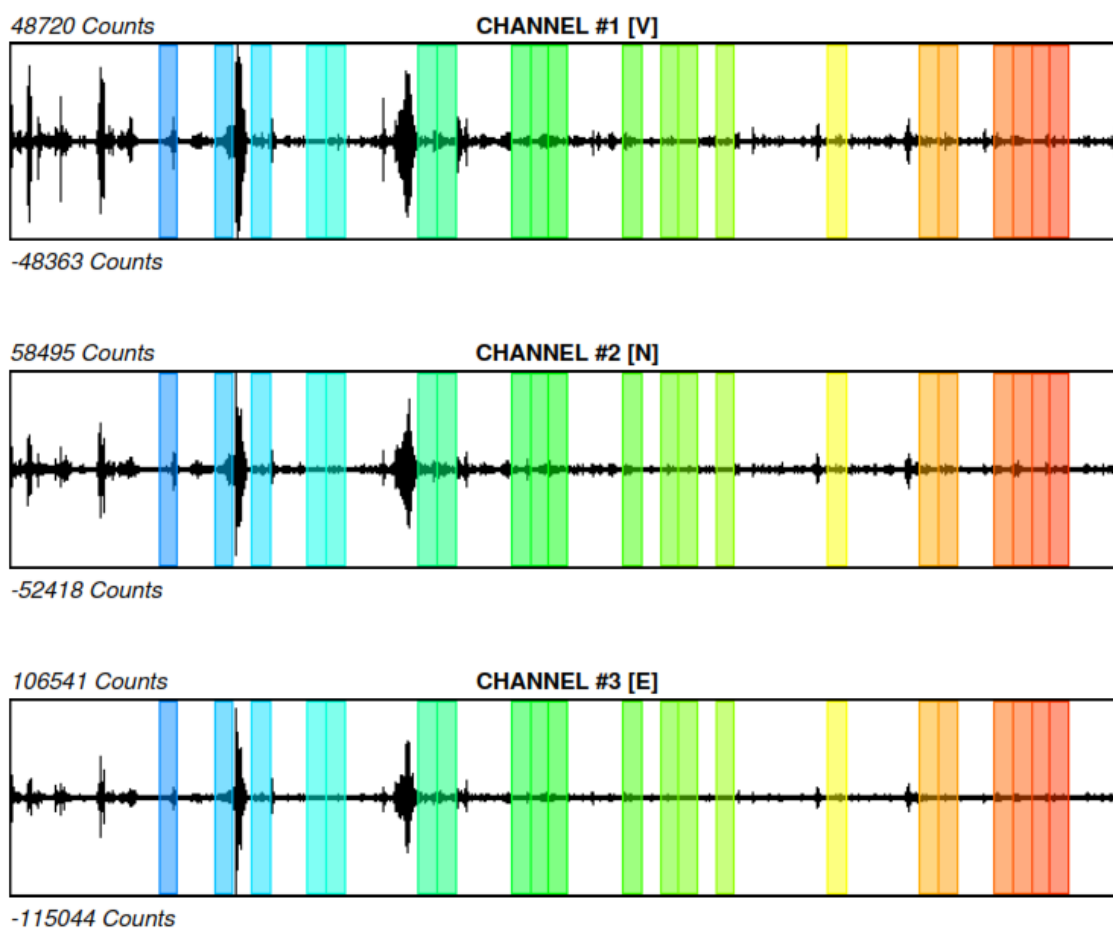
Condizioni climatiche: Sereno – vento assente

Tracce in input:

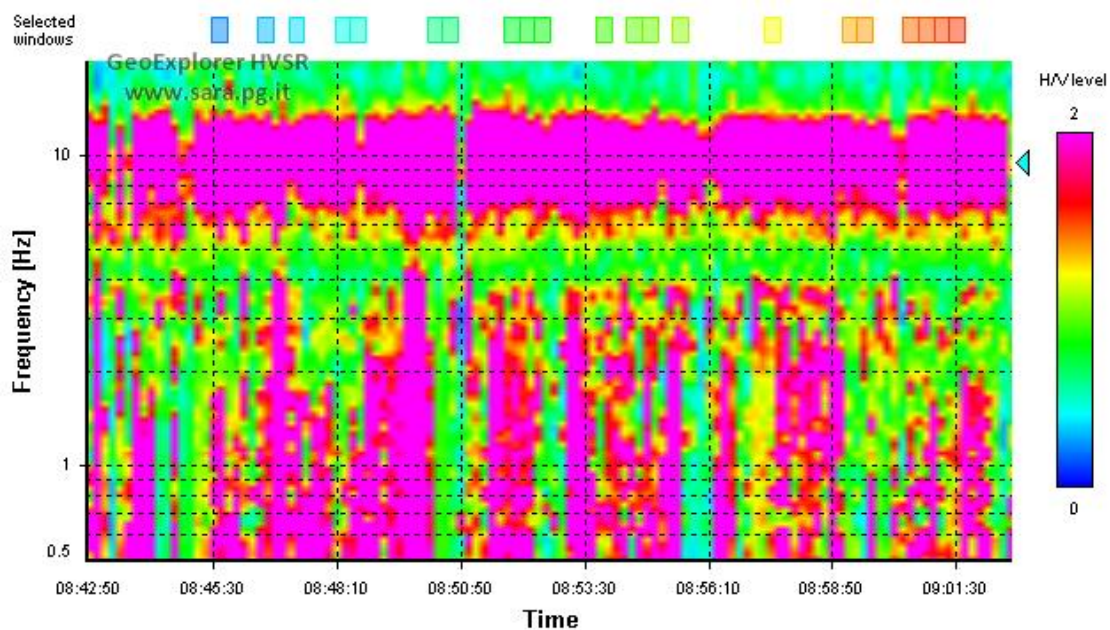
Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz
Numero campioni: 270000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce e finestre selezionate:

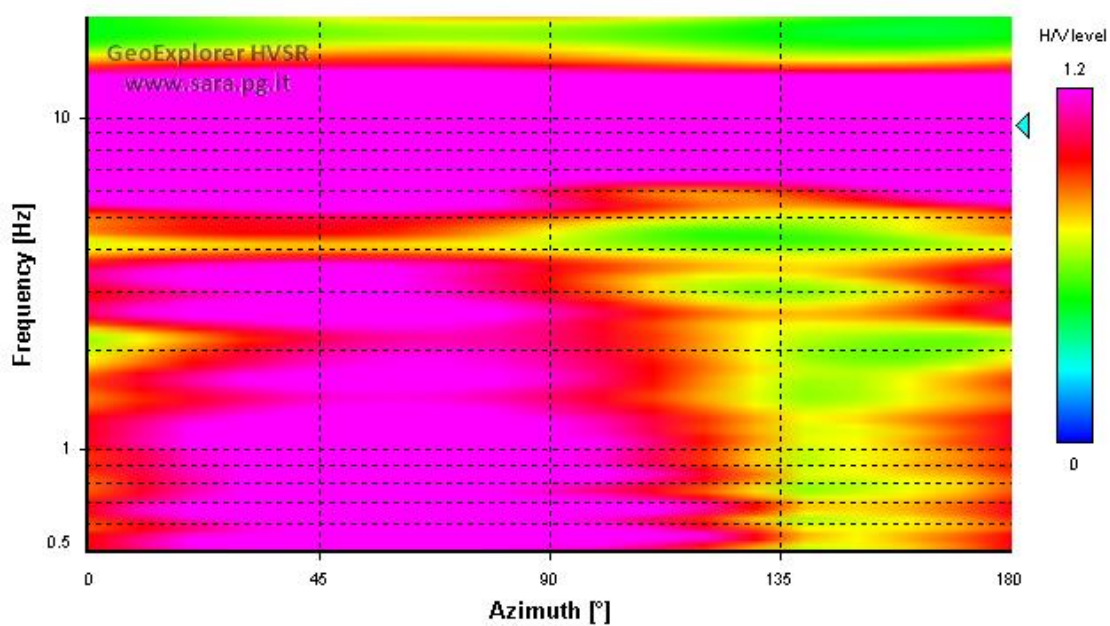
Numero totale finestre selezionate: 21
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di lisciamento: Konno-Ohmachi (coef. di banda: 40)



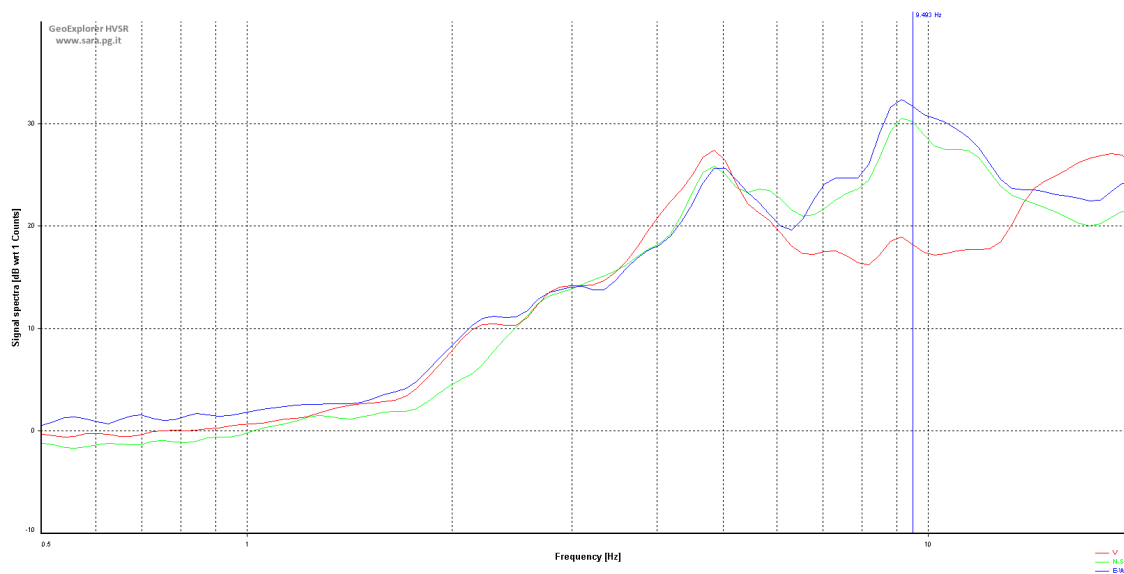
Grafici degli spettri:



Mappa della stazionarietà degli spettri



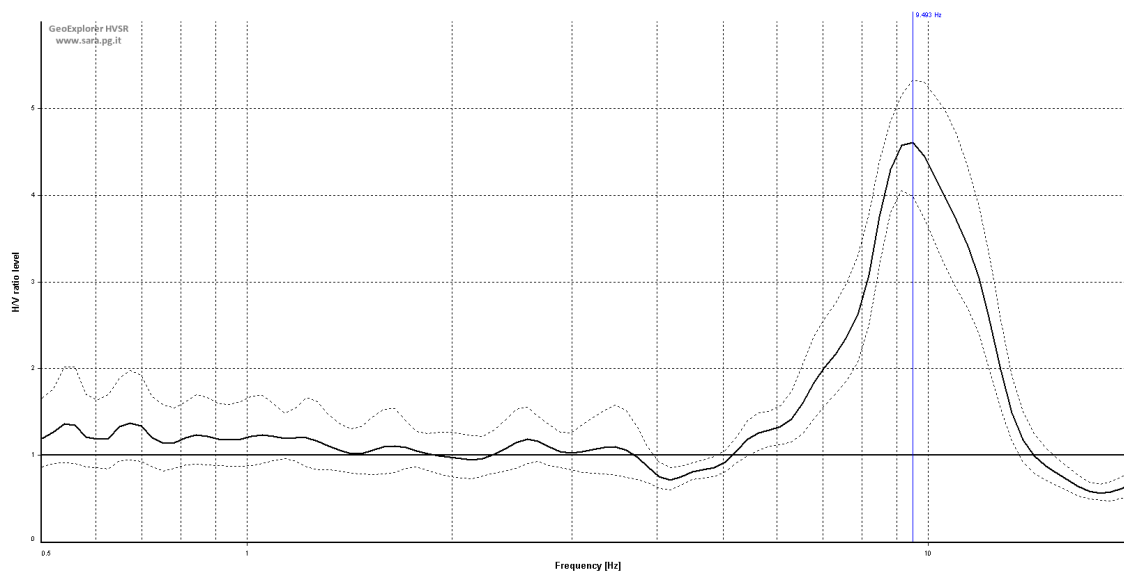
Mappa della direzionalità degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

Frequenza del picco del rapporto H/V: $9,64 \text{ Hz} \pm 0,58 \text{ Hz}$



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME

HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	21 valid windows (length > 1.05 s) out of 21	OK
$n_c(f_0) > 200$	3986.86 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 37	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	7.31315 Hz	OK
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	12.78913 Hz	OK
$A_0 > 2$	4.6 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	3.66% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.58281 >= 0.47463	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.15609 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Di seguito si hanno i vari parametri precedentemente usati nelle verifiche:

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la 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 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla 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 la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Analisi dei risultati

Frequenza fondamentale di sito f_0 : 9,65 Hz

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

E' stato riscontrato un picco significativo nella curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico: 0,5-20 Hz.

Il sottosuolo tende ad avere una ben determinata frequenza propria di oscillazione (frequenza fondamentale di sito f_0) pari a 9,65 Hz. Pertanto la struttura sovrastante subirà amplificazioni di oscillazione se la propria frequenza di oscillazione sarà dello stesso ordine di grandezza della frequenza fondamentale di sito f_0 .

Il progettista calcolatore dovrà confrontare la frequenza fondamentale di sito e la frequenza propria di oscillazione della struttura al fine di valutare effetti di risonanza tra terreno e struttura, possibilmente da evitare vista la loro pericolosità.

9.5. Analisi del rischio sismico – Risposta sismica locale

Le condizioni locali possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti di cui si deve tener conto nella valutazione della pericolosità sismica di un'area. Gli effetti indotti da particolari condizioni geologico-morfologiche sono infatti in grado di produrre danni diversificati su fabbricati con caratteristiche analoghe, entro zone anche ravvicinate (fino a poche decine di m). In tali situazioni si possono verificare fenomeni di focalizzazione dell'energia sismica incidente, con esaltazione delle ampiezze delle onde, fenomeni di riflessione multipla con variazione delle ampiezze delle vibrazioni e delle frequenze del moto.

Il primo elemento indispensabile per qualsiasi studio finalizzato al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico è l'individuazione della categoria del terreno. Nel caso in esame la definizione di questo parametro è stata ottenuta mediante l'esecuzione delle indagini sismiche e geognostiche (vedi paragrafi precedenti).

Il sito in esame, secondo i PGT comunale, presenta scenario di pericolosità sismica locale Z4c con la possibilità che si verifichino amplificazioni sismiche.

Gli effetti di amplificazione sismica locale o di sito sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che il terremoto di riferimento, relativo al bedrock, può subire durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali. Si distinguono quindi gli effetti di amplificazione topografica e quelli di amplificazione litologica. Gli effetti di amplificazione topografica si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali articolate e da irregolarità topografiche in generale.

Per l'analisi del rischio sismico si è adottata la procedura consigliata dal DGR 8/1566-2005 e pertanto, sulla scorta delle indagini eseguite, elaborato un modello geofisico del sito.

Il modello sismico ha consentito il calcolo del periodo proprio del sito T utilizzando la seguente equazione proposta dalla normativa di riferimento:

$$T = \frac{4 \sum h_i}{\frac{\sum V_{s_i} * h_i}{\sum h_i}}$$

In cui:

hi = spessore del singolo strato Vsi = velocità del singolo strato

Sito OPN643 T = 0,12 m/s

Ritenendo la componente sabbiosa predominante e a seguito dell'andamento delle Vs con la profondità, è stata selezionata la scheda di riferimento: "litologia limoso-sabbiosa tipo 1"; scheda fornita dalla Regione Lombardia – Territorio e Urbanistica.

Il valore di Fa viene quindi calcolato sulla base degli abachi disponibili nelle due ipotesi di verifica. La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di Fa ottenuto per il sito di riferimento con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (classi B, C, D ed E delle Norme Tecniche per le Costruzioni) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 secondi.

La scelta della curva di correlazione T/Fa all'interno della scheda di valutazione è avvenuta tramite individuazione dello spessore e della velocità Vs dello strato superficiale, che ha portato a selezionare la curva 1.

Il fattore di amplificazione è stato quindi stimato mediante le formule:

$$Fa_{0,5-1,5} = -0,67T^2 + 1,3T + 0,93$$

$$Fa_{0,1-0,5} = -13,9T^2 + 10,4T + 0,46$$

I valori di Fa così ottenuti sono

$$Fa_{0,5-1,5} = 1,077 \quad Fa_{0,1-0,5} = 1,508$$

Considerando i fattori di amplificazione ricavati, si conferma la categoria di sottosuolo B individuata con la prova MASW.

9.6. Parametri Sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Classe d'uso: II. (Reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza)

Vita nominale: 50 [anni]

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

	Prob. Superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
SLO	81	30	0,015	2,572	0,157
SLD	63	50	0,019	2,554	0,167
SLV	10	475	0,039	2,659	0,279
SLC	5	975	0,048	2,721	0,305

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,590	1,000	0,004	0,002	0,175	0,200
SLD	1,200	1,570	1,000	0,004	0,002	0,219	0,200
SLV	1,200	1,420	1,000	0,009	0,005	0,465	0,200
SLC	1,200	1,390	1,000	0,011	0,006	0,562	0,200

9.7. 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 $U_c > 3.5$.

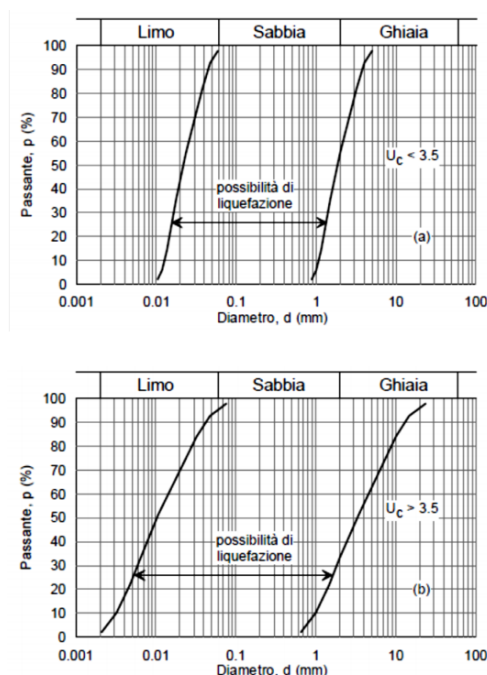


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici suscettibili di liquefazione

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

Categoria	Morfologia	Liquefazione
A	Letti di fiume, antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, zone interdunali	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune, pianure di esondazione, spiagge	Possibile
C	Terrazzi, colline, montagne	Impossibile

In virtù della successione stratigrafica individuata, si ritiene improbabile il fenomeno della liquefazione.

In conformità a quanto previsto nelle NTC2018 cap. 7.11.3.4.2 per il verificarsi dei punti “2, 4 e 5” si omette la verifica alla liquefazione.

9.8. Caratterizzazione e modellazione geotecnica

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

Profondità [m]	Tipologia	Cu [kPa]	E _{edom} [MPa]	ϕ [°]	E [MPa]	γ [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	Permeabi- tà [m/s]	V _{s,eq} [m/s]	F ₀ [Hz]	Categor- ia sottosu- olo	Categori- a topografi- ca
0,30 – 2,50	Sabbia limosa con ghiaia	--	--	22	--	17	18	2E-07	406 (locale a valle)	9,65 (locale a valle)	B	T1 (locale a valle)
2,50 – 10,00	Trovanti rocciosi	--	--	--	--	--	--	--				

Verifiche geotecniche

La relazione geotecnica è a tutti gli effetti un elaborato progettuale; essa fornisce valutazioni precise sull'opera o meglio sul sistema struttura-terreno; pertanto, come definito dal punto 6.2.2, non può più prescindere dall'opera vera e propria e non può fornire calcoli ed indicazioni esemplificativi. Per quanto sopra la redazione di tale elaborato prevede una stretta interazione tra geotecnico e strutturista.

10. OPN 644 – TOMBINO

10.1. Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH

OPN 644-D1

Strumento utilizzato...GeoDeepDrill DPSH

Prova eseguita in data 07-09-2022

Profondita' prova 6.60 mt

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.30	18	0.803	10.09	12.57	504.35	628.33
0.60	10	0.847	5.91	6.98	295.67	349.07
0.90	7	0.842	3.78	4.49	188.83	224.38
1.20	6	0.836	3.22	3.85	160.84	192.33
1.50	3	0.831	1.60	1.92	79.93	96.16
1.80	5	0.826	2.45	2.96	122.43	148.17
2.10	4	0.822	1.95	2.37	97.39	118.53
2.40	6	0.817	2.91	3.56	145.29	177.80
2.70	10	0.813	4.48	5.51	223.95	275.52
3.00	22	0.709	8.59	12.12	429.56	606.15
3.30	32	0.655	11.54	17.63	577.22	881.67
3.60	28	0.701	10.81	15.43	540.70	771.46
3.90	25	0.697	8.97	12.87	448.73	643.60
4.20	31	0.644	10.27	15.96	513.71	798.07
4.50	31	0.640	10.22	15.96	511.02	798.07
4.80	34	0.637	10.47	16.43	523.31	821.39
5.10	35	0.634	10.72	16.91	536.09	845.55
5.40	48	0.581	13.48	23.19	673.78	1159.62
5.70	39	0.578	10.26	17.75	513.17	887.53
6.00	41	0.575	10.74	18.66	536.94	933.04
6.30	46	0.573	11.99	20.94	599.69	1046.83
6.60	50	0.570	12.98	22.76	648.99	1137.86

STIMA SUCCESSIONE STRATIGRAFICA

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Tensione efficace (KPa)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.3	--	--	--	--	--	--	Terreno superficiale
2.8	6.38	3.95	Incoerente	25.35	1	6.38	sabbia deb. limosa
6.3	34.33	16.99	Incoerente	82.2	1	34.33	Sabbia con ghiaia
6.6	--	--	--	--	--	--	Rifiuto strumentale

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (2) sabbia deb. limosa	6.38	0.30-2.80	6.38	Meyerhof 1957	54.18
Strato (3) Sabbia con ghiaia	34.33	2.80-6.30	34.33	Meyerhof 1957	99.21

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) sabbia deb. limosa	6.38	0.30-2.80	6.38	Meyerhof (1965)	27.09
Strato (3) Sabbia con ghiaia	34.33	2.80-6.30	34.33	Malcev (1964)	31.11

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (2) sabbia deb. limosa	6.38	0.30-2.80	6.38	Bowles (1982)	6.71
Strato (3) Sabbia con ghiaia	34.33	2.80-6.30	34.33	Bowles (1982)	11.87

Classificazione AGI

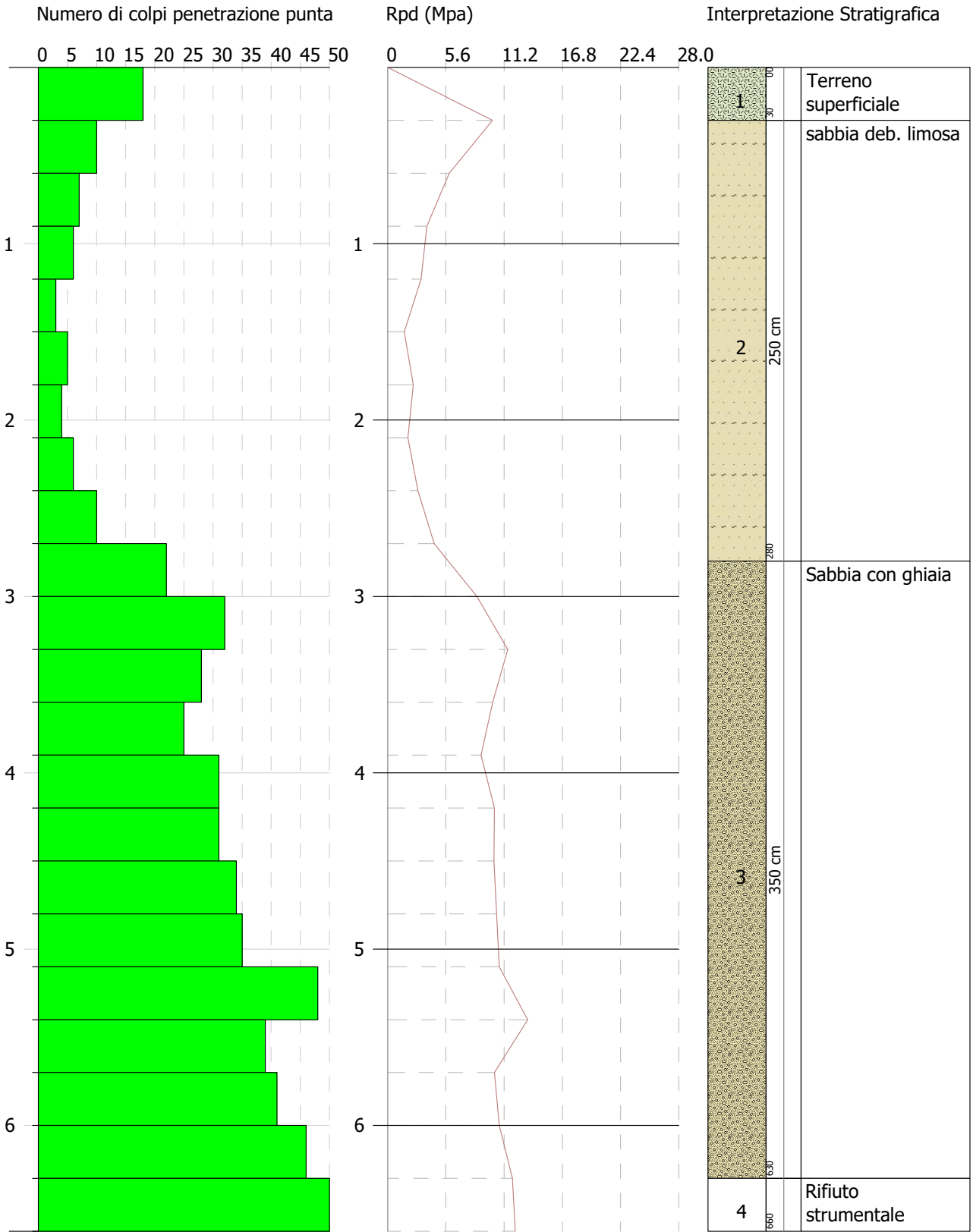
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) sabbia deb. limosa	6.38	0.30-2.80	6.38	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3) Sabbia con ghiaia	34.33	2.80-6.30	34.33	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (KN/m ³)
Strato (2) sabbia deb. limosa	6.38	0.30-2.80	6.38	Terzaghi-Peck 1948	18.03
Strato (3) Sabbia con ghiaia	34.33	2.80-6.30	34.33	Terzaghi-Peck 1948	19.03

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (KN/m ³)
Strato (2) sabbia deb. limosa	6.38	0.30-2.80	6.38	Terzaghi-Peck 1948	18.54
Strato (3) Sabbia con ghiaia	34.33	2.80-6.30	34.33	Terzaghi-Peck 1948	20.40



OPN 644-D2

Strumento utilizzato...GeoDeepDrill DPSH

Prova eseguita in data 07-09-2022

Profondita' prova 10.50 mt

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.30	33	0.703	16.19	23.04	809.45	1151.94
0.60	19	0.797	10.57	13.26	528.60	663.24
0.90	11	0.842	5.93	7.05	296.73	352.60
1.20	8	0.836	4.29	5.13	214.45	256.44
1.50	10	0.831	5.33	6.41	266.44	320.55
1.80	11	0.826	5.39	6.52	269.36	325.97
2.10	12	0.822	5.84	7.11	292.18	355.60
2.40	13	0.767	5.91	7.70	295.53	385.23
2.70	23	0.713	9.03	12.67	451.72	633.70
3.00	14	0.759	5.85	7.71	292.64	385.73
3.30	15	0.755	6.24	8.27	311.90	413.28
3.60	12	0.801	5.30	6.61	264.79	330.63
3.90	14	0.747	5.39	7.21	269.31	360.42
4.20	12	0.794	4.90	6.18	245.20	308.93
4.50	11	0.790	4.48	5.66	223.81	283.18
4.80	12	0.787	4.56	5.80	228.18	289.90
5.10	14	0.734	4.97	6.76	248.26	338.22
5.40	14	0.731	4.95	6.76	247.25	338.22
5.70	15	0.728	4.97	6.83	248.58	341.36
6.00	15	0.725	4.95	6.83	247.65	341.36
6.30	17	0.723	5.59	7.74	279.66	386.87
6.60	14	0.720	4.59	6.37	229.51	318.60
6.90	14	0.718	4.32	6.02	216.20	301.13
7.20	14	0.716	4.31	6.02	215.50	301.13
7.50	13	0.713	3.99	5.59	199.49	279.62
7.80	13	0.711	3.77	5.30	188.55	265.09
8.10	16	0.709	4.63	6.53	231.40	326.26
8.40	30	0.657	8.04	12.23	402.07	611.74
8.70	42	0.555	9.04	16.28	452.11	814.12
9.00	46	0.553	9.87	17.83	493.52	891.65
9.30	38	0.602	8.86	14.73	443.20	736.58
9.60	41	0.550	8.74	15.89	437.07	794.73
9.90	45	0.548	9.11	16.62	455.71	831.20
10.20	40	0.547	8.08	14.78	403.85	738.84
10.50	50	0.545	10.07	18.47	503.32	923.55

STIMA SUCCESSIONE STRATIGRAFICA

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Tensione efficace (KPa)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.6	--	--	--	--	--	--	Terreno superficiale
8.1	13.48	6.83	Incoerente	79.95	1	13.48	Sabbia con ghiaia
10.2	40.29	15.48	Incoerente	170.25	1	40.29	Ghiaia in matrice sabbiosa
10.5	--	--	--	--	--	--	Rifiuto strumentale

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (2) Sabbia con ghiaia	13.48	0.60-8.10	13.48	Meyerhof 1957	62.64
Strato (3) Ghiaia in matrice sabbiosa	40.29	8.10-10.20	40.29	Meyerhof 1957	85.4

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) Sabbia con ghiaia	13.48	0.60-8.10	13.48	Meyerhof (1965)	30.29
Strato (3) Ghiaia in matrice sabbiosa	40.29	8.10-10.20	40.29	Meyerhof (1965)	36.93

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (2) Sabbia con ghiaia	13.48	0.60-8.10	13.48	Bowles (1982) Sabbia Media	13.96
Strato (3) Ghiaia in matrice sabbiosa	40.29	8.10-10.20	40.29	Bowles (1982) Sabbia Media	27.11

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) Sabbia con ghiaia	13.48	0.60-8.10	13.48	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) Ghiaia in matrice sabbiosa	40.29	8.10-10.20	40.29	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (KN/m ³)
Strato (2) Sabbia con ghiaia	13.48	0.60-8.10	13.48	Terzaghi-Peck 1948	17.91
Strato (3) Ghiaia in matrice sabbiosa	40.29	8.10-10.20	40.29	Terzaghi-Peck 1948	19.51

Peso unita' di volume saturo

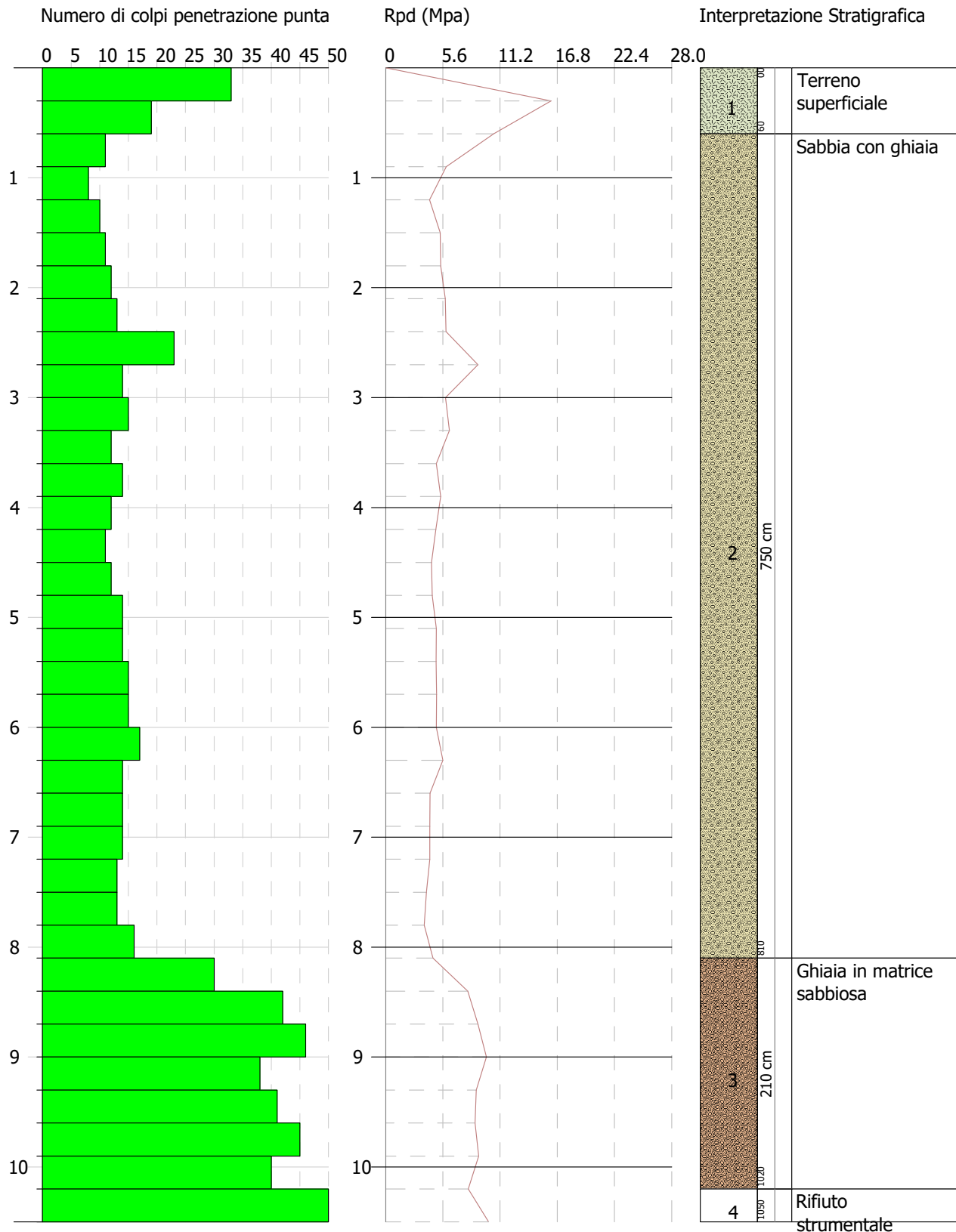
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (KN/m ³)
Strato (2) Sabbia con ghiaia	13.48	0.60-8.10	13.48	Terzaghi-Peck 1948	19.09
Strato (3) Ghiaia in matrice sabbiosa	40.29	8.10-10.20	40.29	Terzaghi-Peck 1948	20.70

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA OPN 644-D2
Strumento utilizzato... GeoDeepDrill DPSH

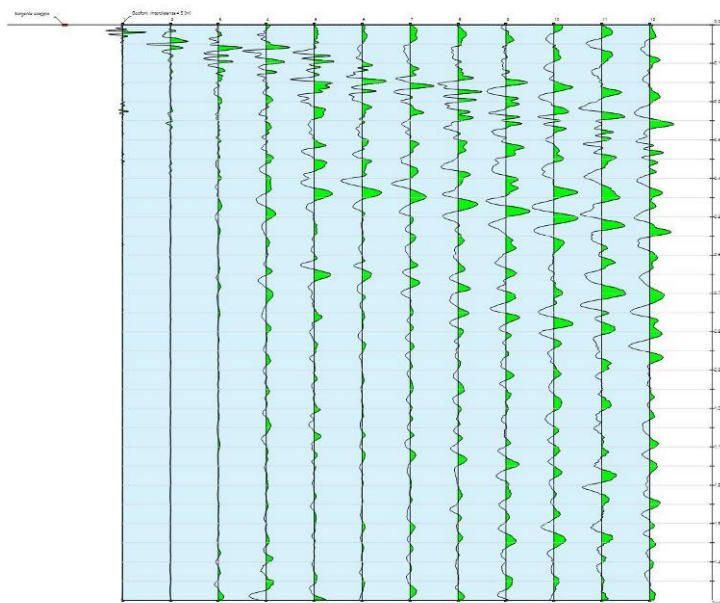
Committente: Nord Ing Srl
Descrizione: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio
Località: Gemonio (VA)

07-09-2022

Scala 1:52



10.2. Prospezione sismica a rifrazione MASW



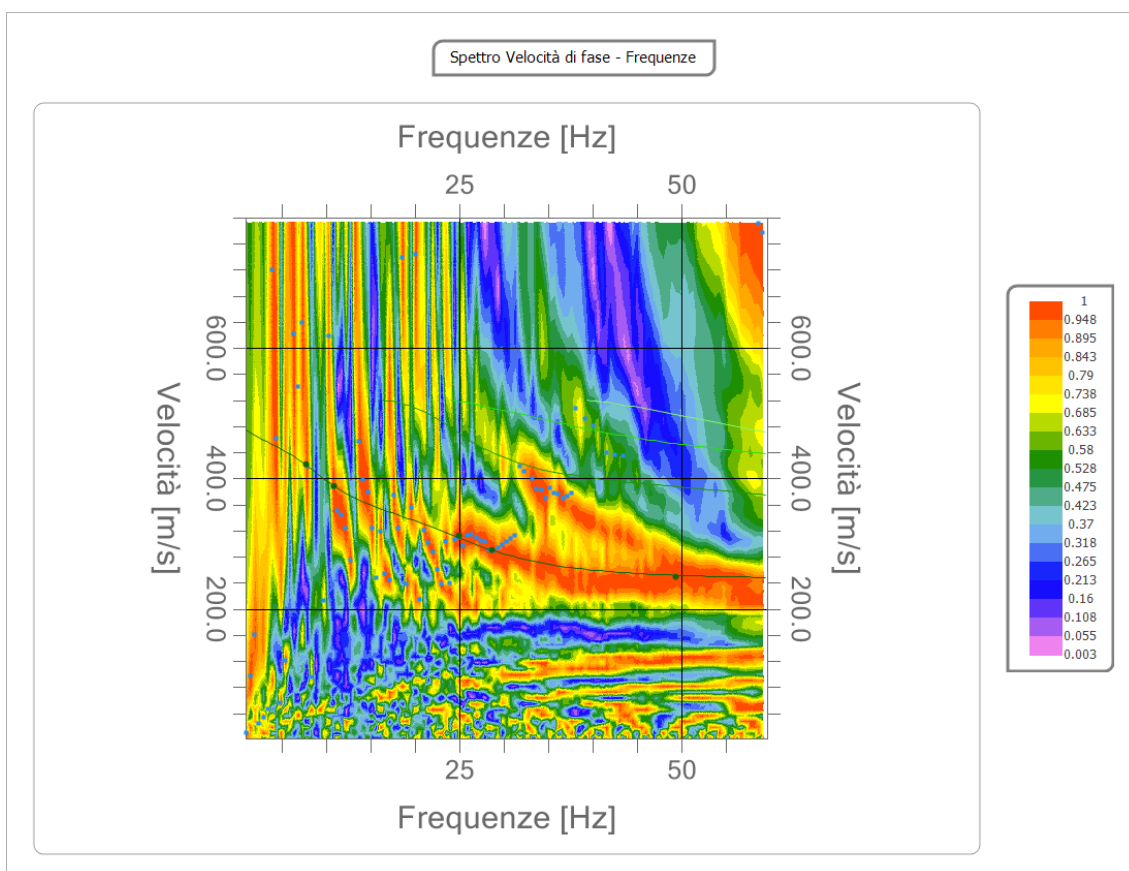
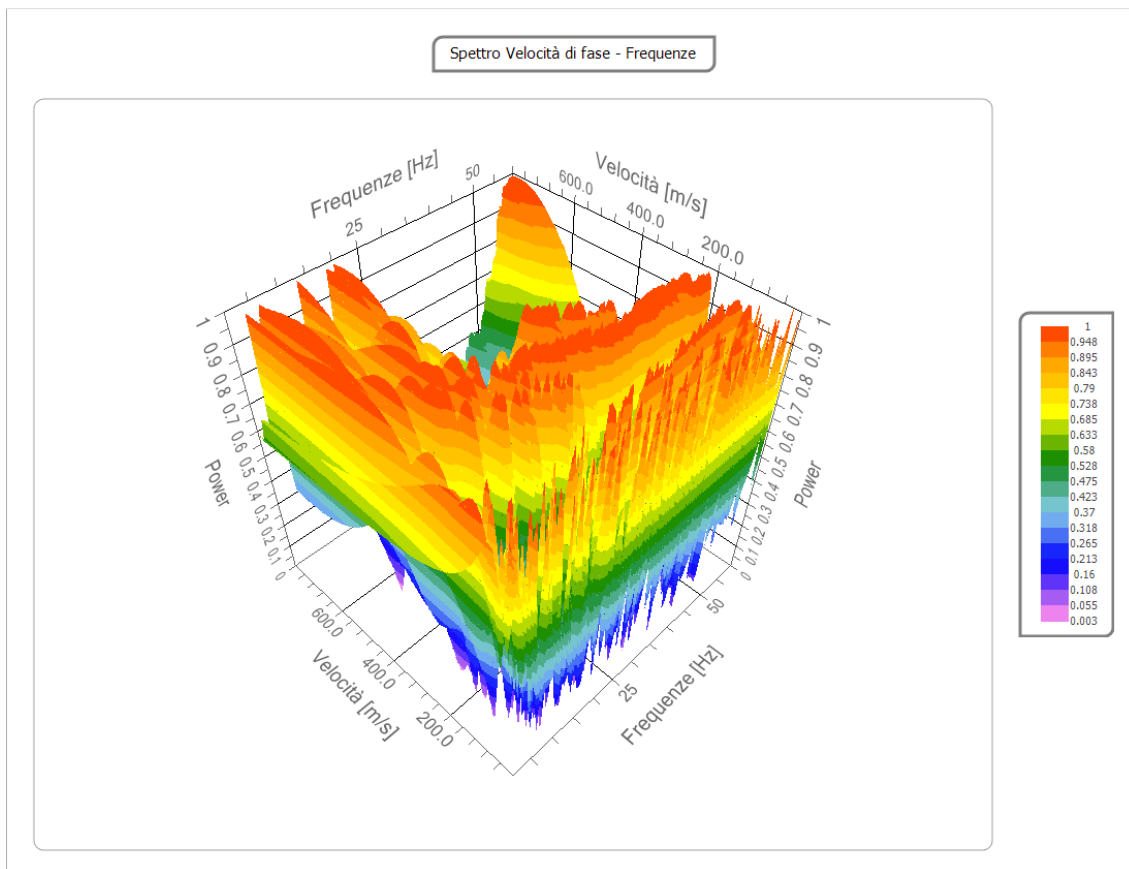
Schema dello stendimento MASW

Dati di base

N° tracce	12
Durata di acquisizione	1500 msec
Interdistanza geofoni	5.0 m
Periodo di campionamento	1.00 msec

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione	1 Hz
Frequenza massima di elaborazione	60 Hz
Velocità minima di elaborazione	1 m/sec
Velocità massima di elaborazione	800 m/sec
Intervallo velocità	1 m/sec



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	7.8	421.2	0
2	10.9	388.1	0
3	25.0	312.0	0
4	28.7	290.5	0
5	49.3	249.1	0

Inversione e interpretazione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	5.00	5.00	517.3	276.5
2	oo	oo	892.0	476.8

Percentuale di errore

0.073 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.028



Profilo delle velocità

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:

$$V_{s,eq} (H=30m) : \quad 425.43 \text{ m/sec}$$

pertanto la categoria del sottosuolo può essere classificata come segue:

Categoria B

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.

10.3. Prospezione sismica ai microtrempi HVSR**Dati generali:**

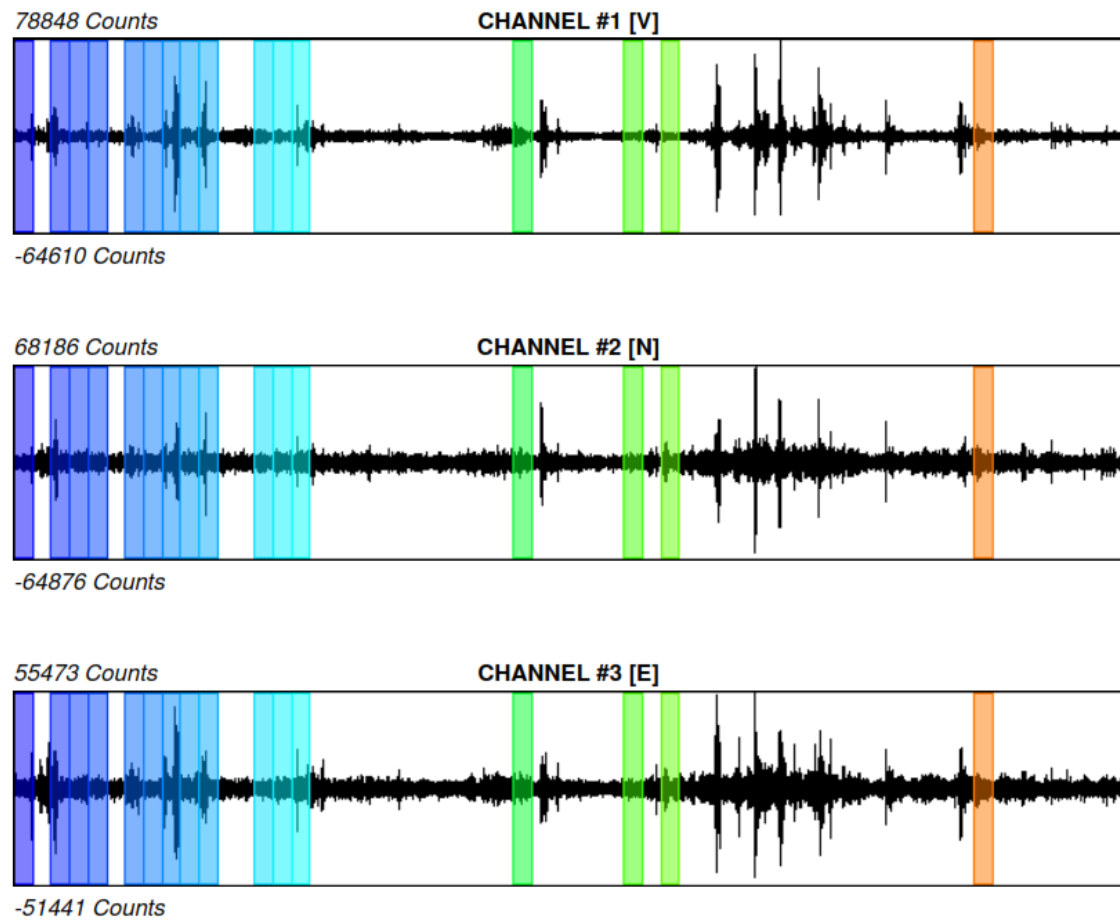
Orientamento: Asse Y verso Nord magnetico
Condizioni climatiche: Sereno – vento assente

Tracce in input:

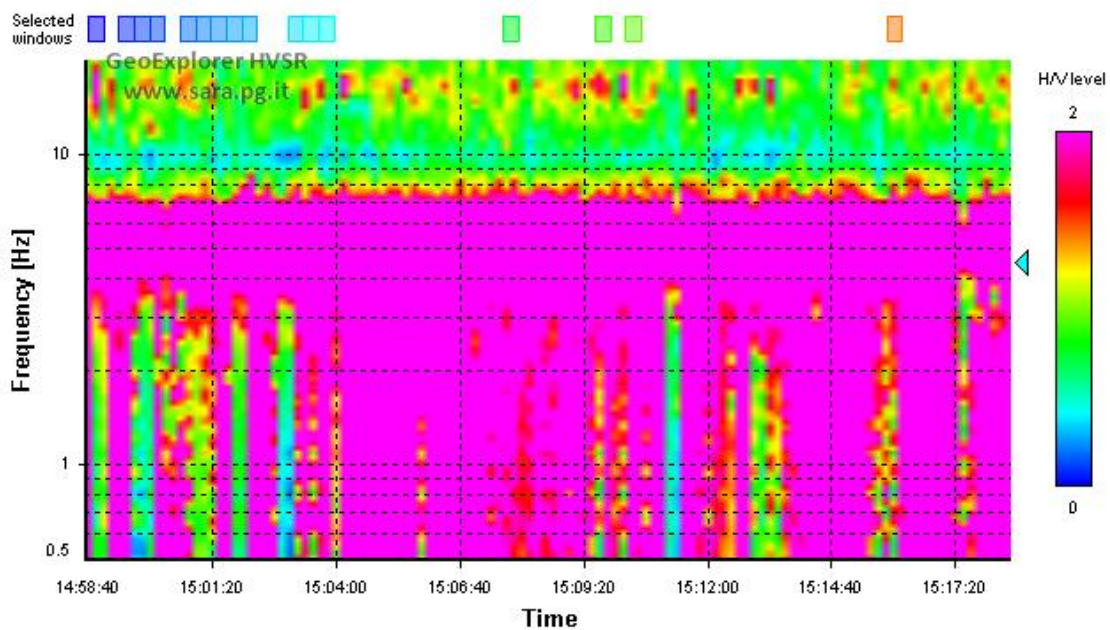
Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz
Numero campioni: 270000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce e finestre selezionate:

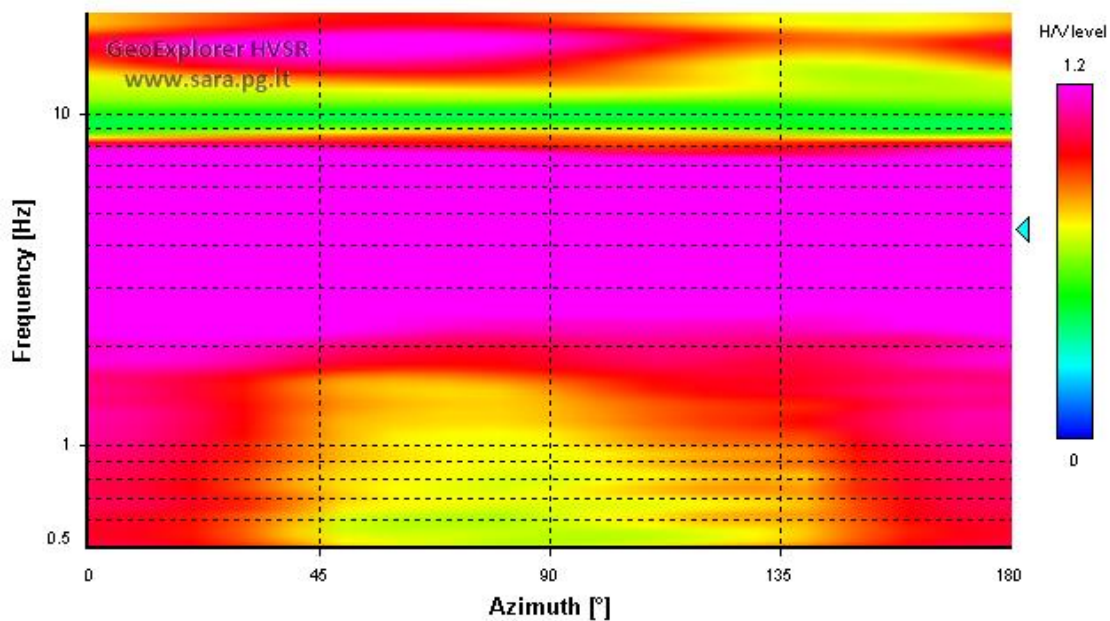
Numero totale finestre selezionate: 16
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di lisciamiento: Konno-Ohmachi (coef. di banda: 40)



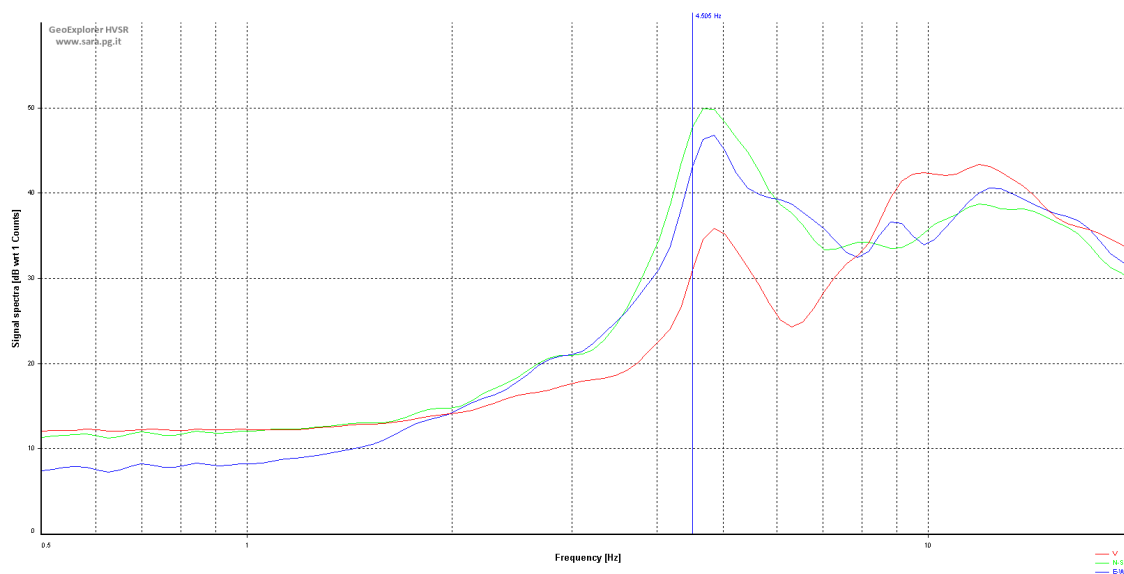
Grafici degli spettri:



Mappa della stazionarietà degli spettri



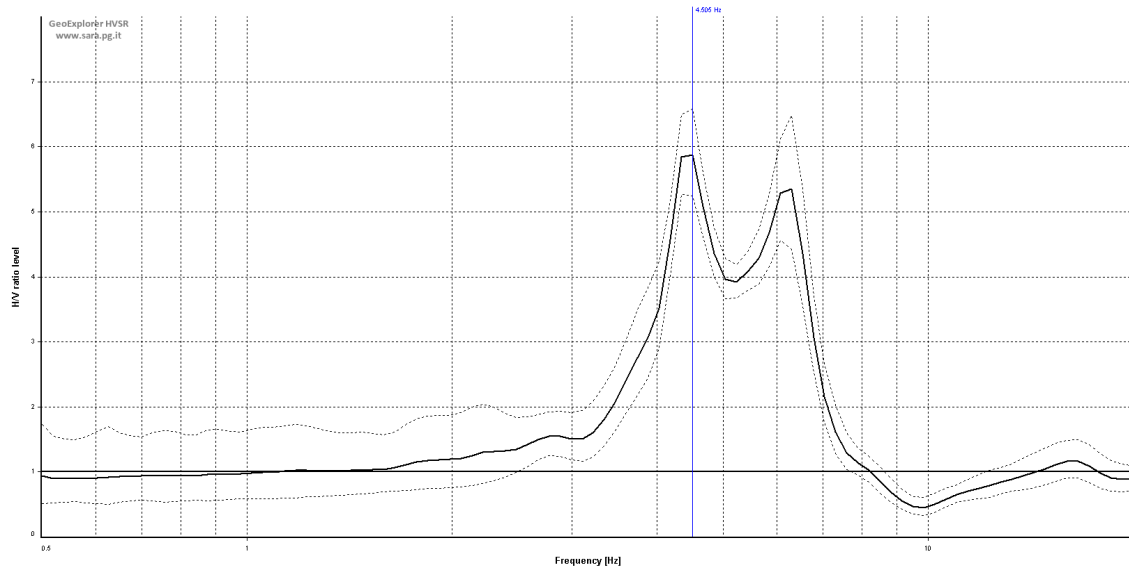
Mappa della direzionalità degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

Frequenza del picco del rapporto H/V: $4.99 \text{ Hz} \pm 0,86 \text{ Hz}$



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME

HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	16 valid windows (length > 2.22 s) out of 16	OK
$n_c(f_0) > 200$	1441.73 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 37	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	3.73956 Hz	OK
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	7.04567 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.88 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	3.66% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.85645 >= 0.22527	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.12018 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Di seguito si hanno i vari parametri precedentemente usati nelle verifiche:

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la 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 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla 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 la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Analisi dei risultati

Frequenza fondamentale di sito f_0 : 4,99 Hz

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

E' stato riscontrato un picco significativo nella curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico: 0,5-20 Hz.

Il sottosuolo tende ad avere una ben determinata frequenza propria di oscillazione (frequenza fondamentale di sito f_0) pari a 4,99 Hz. Pertanto la struttura sovrastante subirà amplificazioni di oscillazione se la propria frequenza di oscillazione sarà dello stesso ordine di grandezza della frequenza fondamentale di sito f_0 .

Il progettista calcolatore dovrà confrontare la frequenza fondamentale di sito e la frequenza propria di oscillazione della struttura al fine di valutare effetti di risonanza tra terreno e struttura, possibilmente da evitare vista la loro pericolosità.

10.4. Analisi del rischio sismico – Risposta sismica locale

Le condizioni locali possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti di cui si deve tener conto nella valutazione della pericolosità sismica di un'area. Gli effetti indotti da particolari condizioni geologico-morfologiche sono infatti in grado di produrre danni diversificati su fabbricati con caratteristiche analoghe, entro zone anche ravvicinate (fino a poche decine di m). In tali situazioni si possono verificare fenomeni di focalizzazione dell'energia sismica incidente, con esaltazione delle ampiezze delle onde, fenomeni di riflessione multipla con variazione delle ampiezze delle vibrazioni e delle frequenze del moto.

Il primo elemento indispensabile per qualsiasi studio finalizzato al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico è l'individuazione della categoria del terreno. Nel caso in esame la definizione di questo parametro è stata ottenuta mediante l'esecuzione delle indagini sismiche e geognostiche (vedi paragrafi precedenti).

Il sito in esame, secondo i PGT comunale, presenta scenario di pericolosità sismica locale Z4c con la possibilità che si verifichino amplificazioni sismiche.

Gli effetti di amplificazione sismica locale o di sito sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che il terremoto di riferimento, relativo al bedrock, può subire durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali. Si distinguono quindi gli effetti di amplificazione topografica e quelli di amplificazione litologica. Gli effetti di amplificazione topografica si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali articolate e da irregolarità topografiche in generale.

Per l'analisi del rischio sismico si è adottata la procedura consigliata dal DGR 8/1566-2005 e pertanto, sulla scorta delle indagini eseguite, elaborato un modello geofisico del sito.

Il modello sismico ha consentito il calcolo del periodo proprio del sito T utilizzando la seguente equazione proposta dalla normativa di riferimento:

$$T = \frac{4 \sum h_i}{\frac{\sum V_{s_i} * h_i}{\sum h_i}}$$

In cui:

h_i = spessore del singolo strato V_{si} = velocità del singolo strato

Sito OPN644 $T = 0,23$ m/s

Ritenendo la componente sabbiosa predominante e a seguito dell'andamento delle V_s con la profondità, è stata selezionata la scheda di riferimento: "litologia limoso-sabbiosa tipo 2"; scheda fornita dalla Regione Lombardia – Territorio e Urbanistica.

Il valore di F_a viene quindi calcolato sulla base degli abachi disponibili nelle due ipotesi di verifica. La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto per il sito di riferimento con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (classi B, C, D ed E delle Norme Tecniche per le Costruzioni) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 secondi.

La scelta della curva di correlazione T/F_a all'interno della scheda di valutazione è avvenuta tramite individuazione dello spessore e della velocità V_s dello strato superficiale, che ha portato a selezionare la curva 1.

Il fattore di amplificazione è stato quindi stimato mediante le formule:

$$F_{a0,5-1,5} = -1,33T^2 + 2,02T + 0,79$$

$$F_{a0,1-0,5} = -13,9T^2 + 10,4T + 0,46$$

I valori di F_a così ottenuti sono

$$F_{a0,5-1,5} = 1,18 \quad F_{a0,1-0,5} = 2,11$$

Considerando i fattori di amplificazione ricavati, si conferma la categoria di sottosuolo B individuata con la prova MASW.

10.5. Parametri Sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Classe d'uso: II. (Reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza)

Vita nominale: 50 [anni]

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

	Prob. Superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
SLO	81	30	0,015	2,572	0,157
SLD	63	50	0,019	2,554	0,167
SLV	10	475	0,039	2,659	0,279
SLC	5	975	0,048	2,721	0,305

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,590	1,000	0,004	0,002	0,175	0,200
SLD	1,200	1,570	1,000	0,004	0,002	0,219	0,200
SLV	1,200	1,420	1,000	0,009	0,005	0,465	0,200
SLC	1,200	1,390	1,000	0,011	0,006	0,562	0,200

10.6. 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 $U_c > 3.5$.

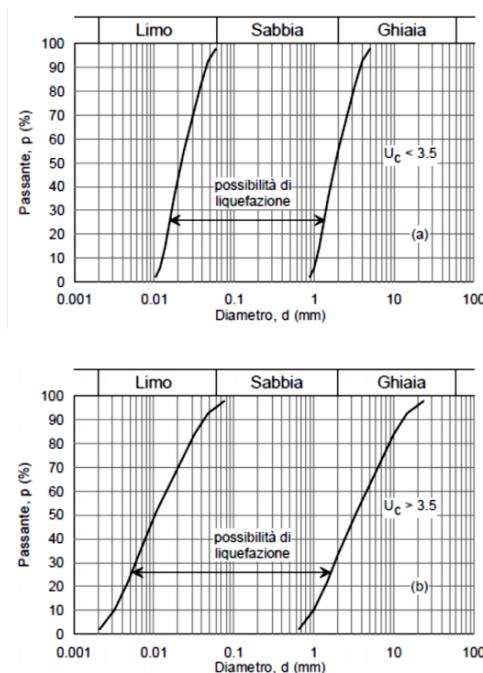


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici suscettibili di liquefazione

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

Categoria	Morfologia	Liquefazione
A	Letti di fiume, antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, zone interdunal	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune, pianure di esondazione, spiagge	Possibile
C	Terrazzi, colline, montagne	Impossibile

In virtù della successione stratigrafica individuata, si ritiene improbabile il fenomeno della liquefazione.

In conformità a quanto previsto nelle NTC2018 cap. 7.11.3.4.2 per il verificarsi dei punti “2, e 4” si omette la verifica alla liquefazione.

10.7. Caratterizzazione e modellazione geotecnica

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

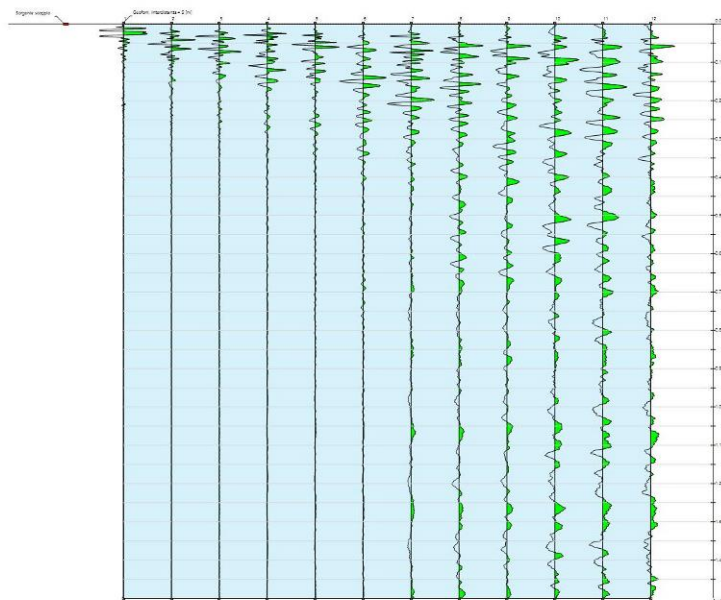
Profondità [m]	Tipologia	Cu [kPa]	E _{edom} [MPa]	Φ [°]	E [MPa]	γ [kN/m ³]	γ _s [kN/m ³]	Permeabi- tà [m/s]	V _{s,eq} [m/s]	F ₀ [Hz]	Categor- ia sottosu- olo	Categori- a topografi- ca
0,00 – 2,80	Sabbia deb. Limosa	--	--	27	6,7	18,0	18,5	--	425	5,00	B	T1
2,80 – 8,10	Sabbia con ghiaia	--	--	30	12	19,0	20,0	--				
8,10 – 10,00	Ghiaia in matrice sabbiosa	--	--	37	27	19,5	20,7	--				

Verifiche geotecniche

La relazione geotecnica è a tutti gli effetti un elaborato progettuale; essa fornisce valutazioni precise sull'opera o meglio sul sistema struttura-terreno; pertanto, come definito dal punto 6.2.2, non può più prescindere dall'opera vera e propria e non può fornire calcoli ed indicazioni esemplificativi. Per quanto sopra la redazione di tale elaborato prevede una stretta interazione tra geotecnico e strutturista.

11. OPN 646 – TOMBINO

11.1. Prospezione sismica a rifrazione MASW



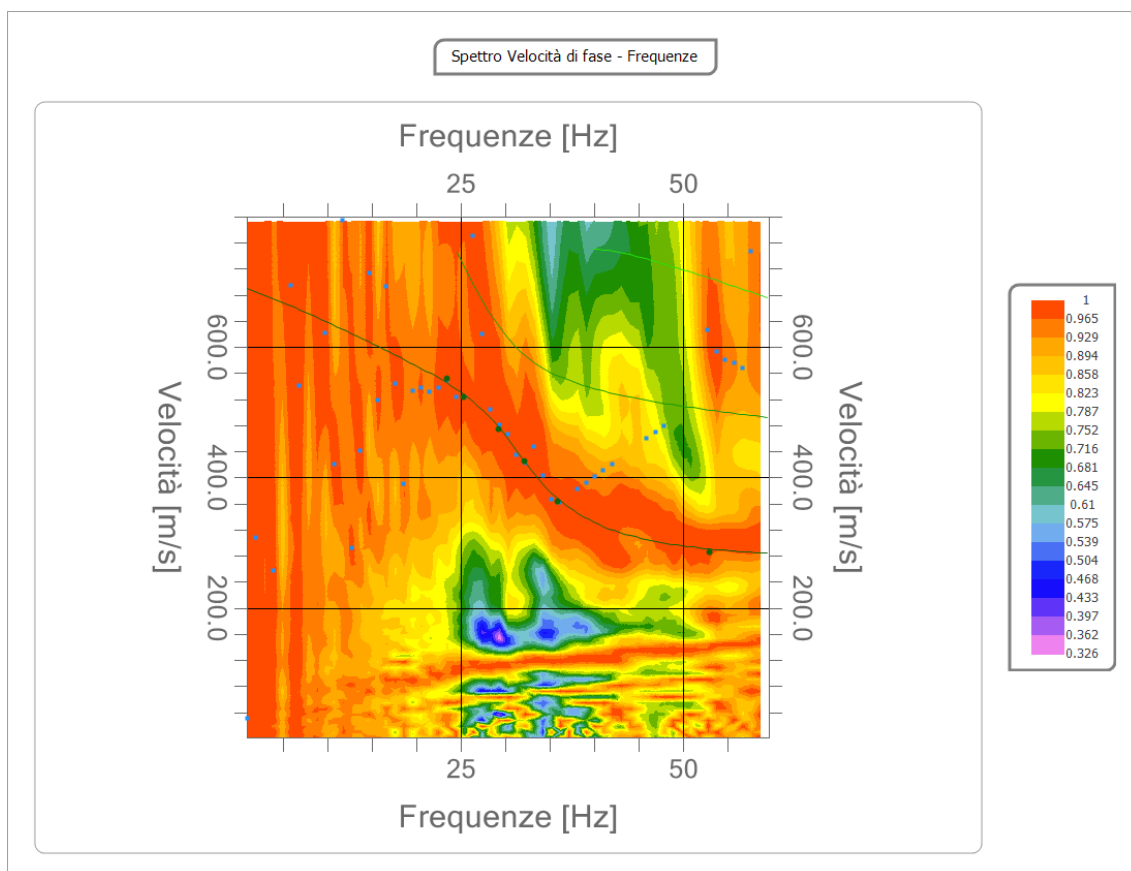
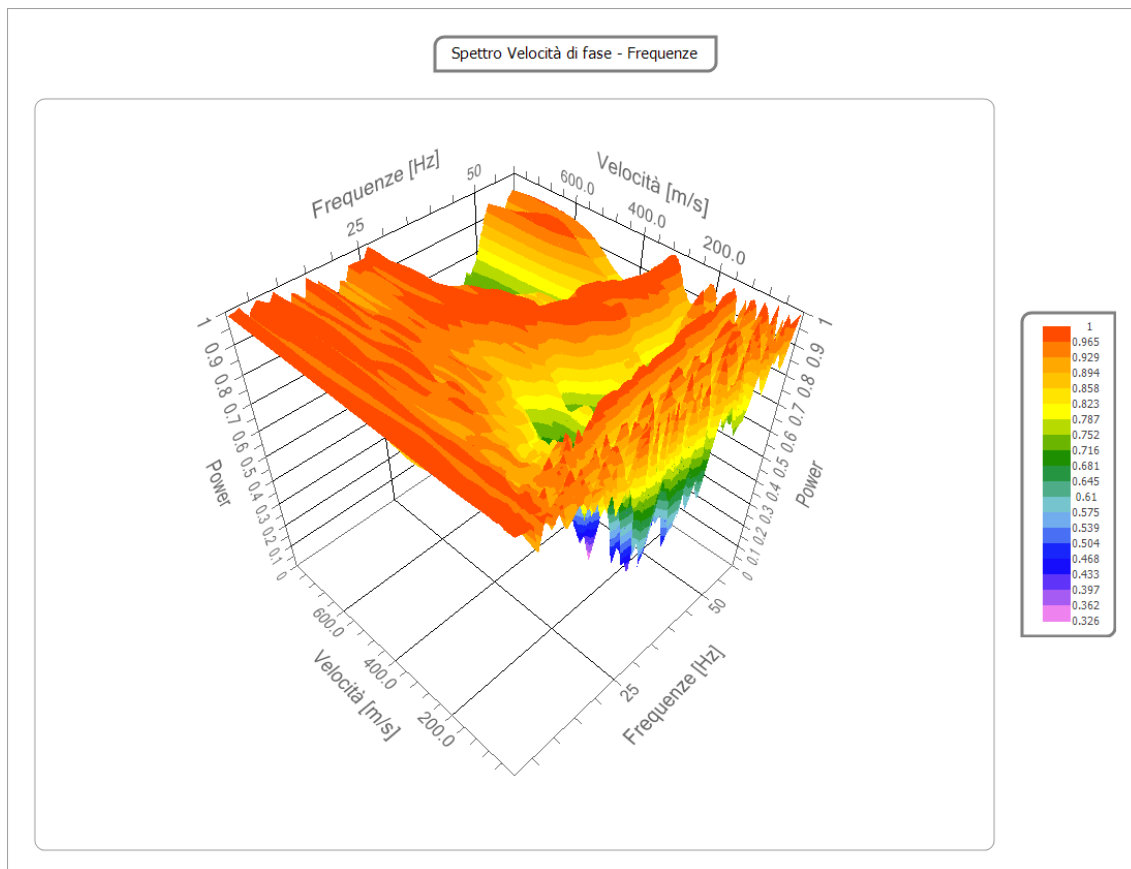
Schema dello stendimento MASW

Dati di base

N° tracce	12
Durata di acquisizione	750 msec
Interdistanza geofoni	5.0 m
Periodo di campionamento	1.00 msec

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione	1 Hz
Frequenza massima di elaborazione	60 Hz
Velocità minima di elaborazione	1 m/sec
Velocità massima di elaborazione	800 m/sec
Intervallo velocità	1 m/sec



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	23.4	551.9	0
2	25.3	523.7	0
3	29.2	474.1	0
4	32.1	424.5	0
5	35.9	363.3	0
6	52.9	285.5	0

Inversione e interpretazione

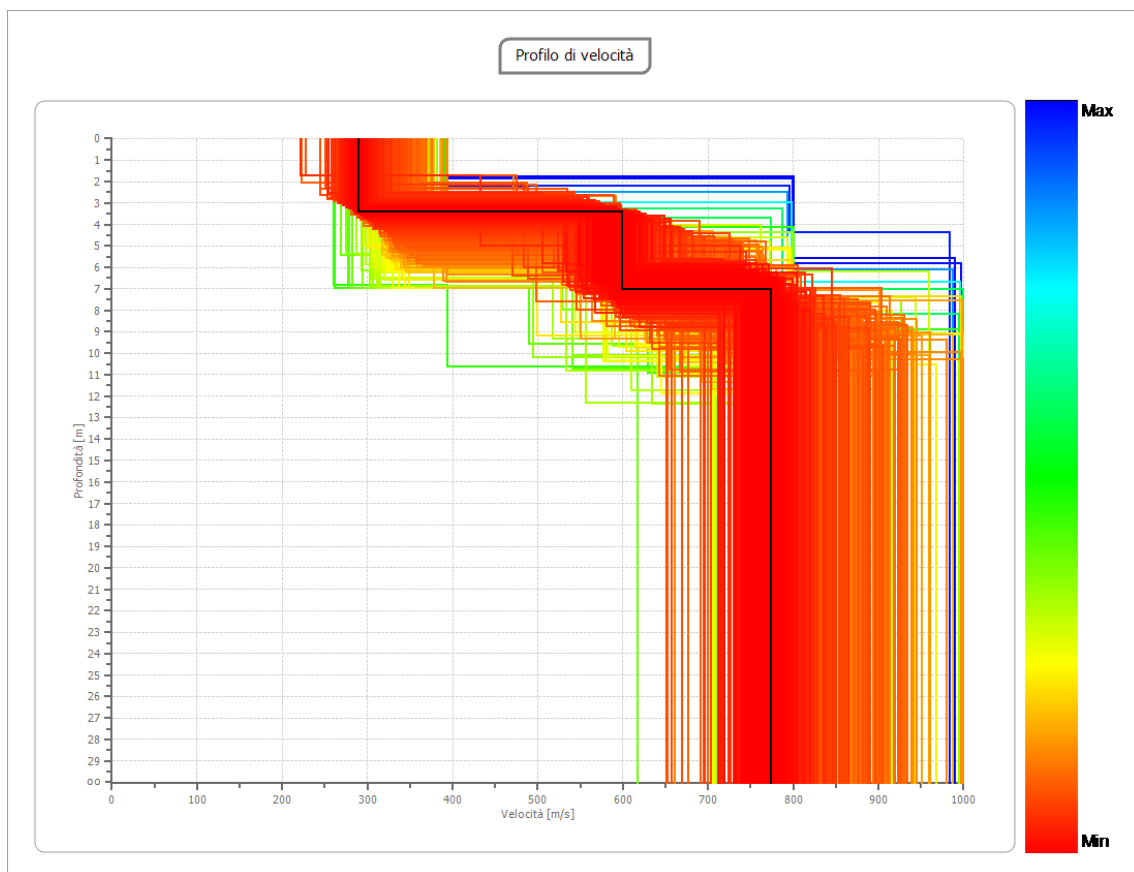
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	3.41	3.41	541.2	289.3
2	7.04	3.63	1120.6	599.0
3	oo	oo	1448.3	774.2

Percentuale di errore

0.003 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.005



Profilo delle velocità

STIMA Vs,eq

Dal profilo sismo stratigrafico è possibile calcolare il parametro Vs,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 Vs(strato).

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,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:

$$V_{s,eq} (H=30m) : \quad 631.41 \text{ m/sec}$$

pertanto la categoria del sottosuolo può essere classificata come segue:

Categoria B

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.

11.2. Prospezione sismica ai microtrempi HVSR**Dati generali:**

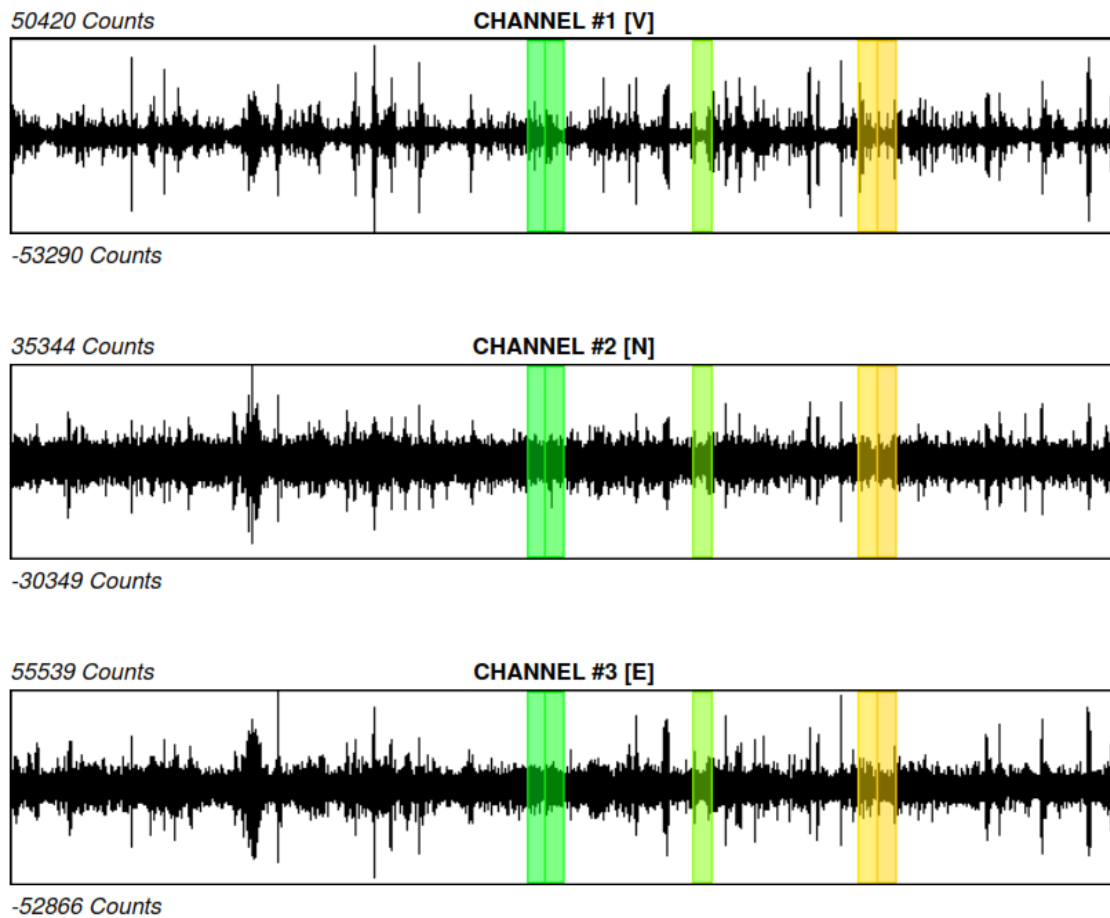
Orientamento: Asse Y verso Nord magnetico
Condizioni climatiche: Sereno – vento assente

Tracce in input:

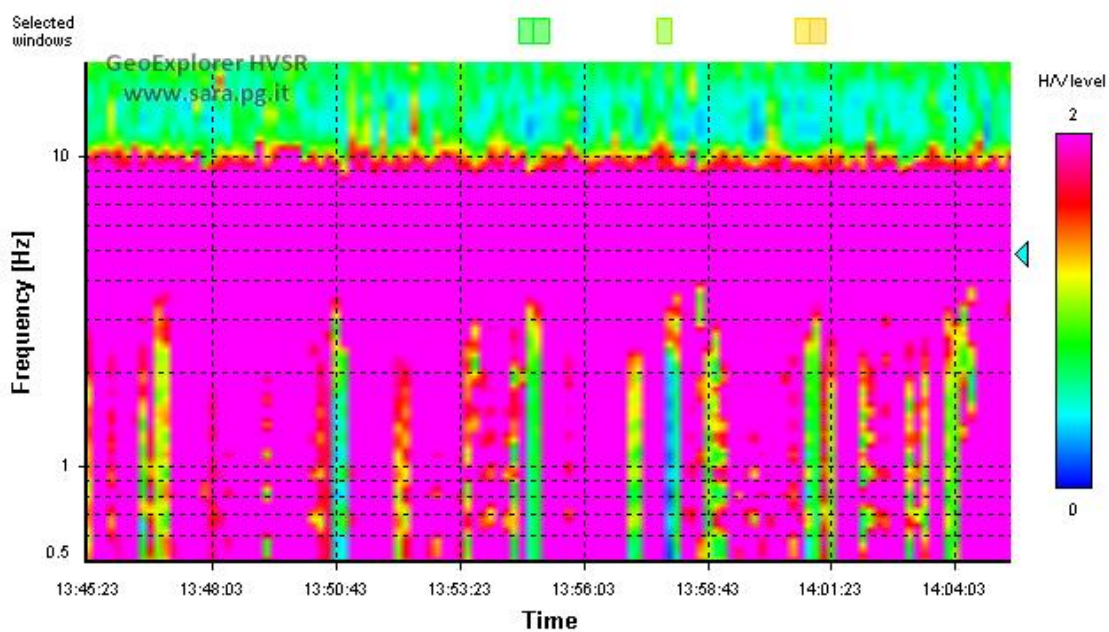
Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz
Numero campioni: 270000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce e finestre selezionate:

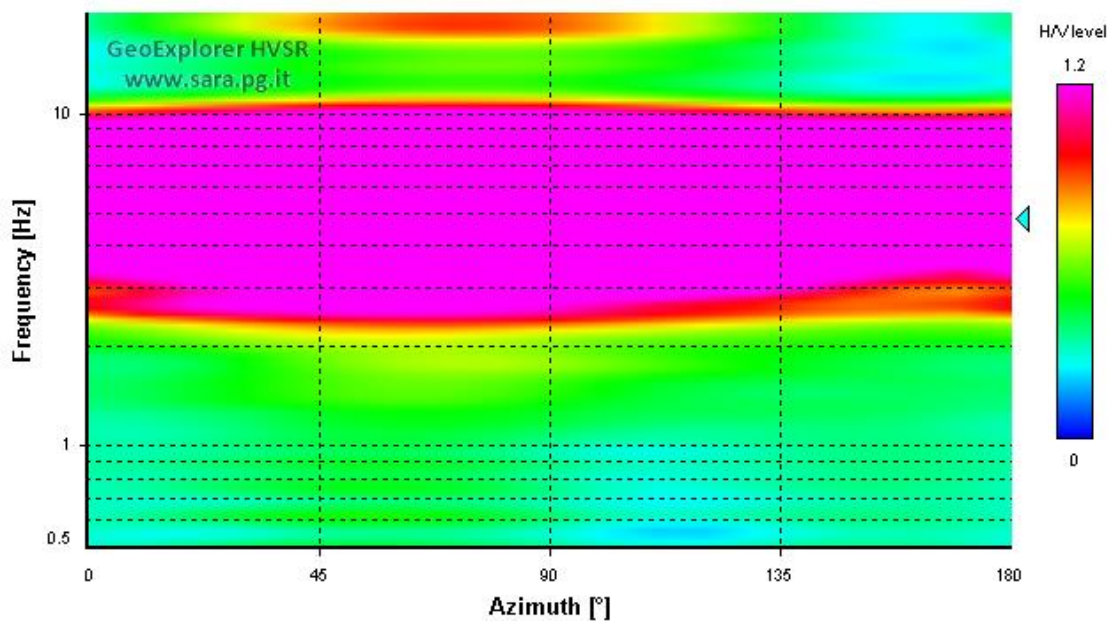
Numero totale finestre selezionate: 5
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di lisciamiento: Konno-Ohmachi (coef. di banda: 40)



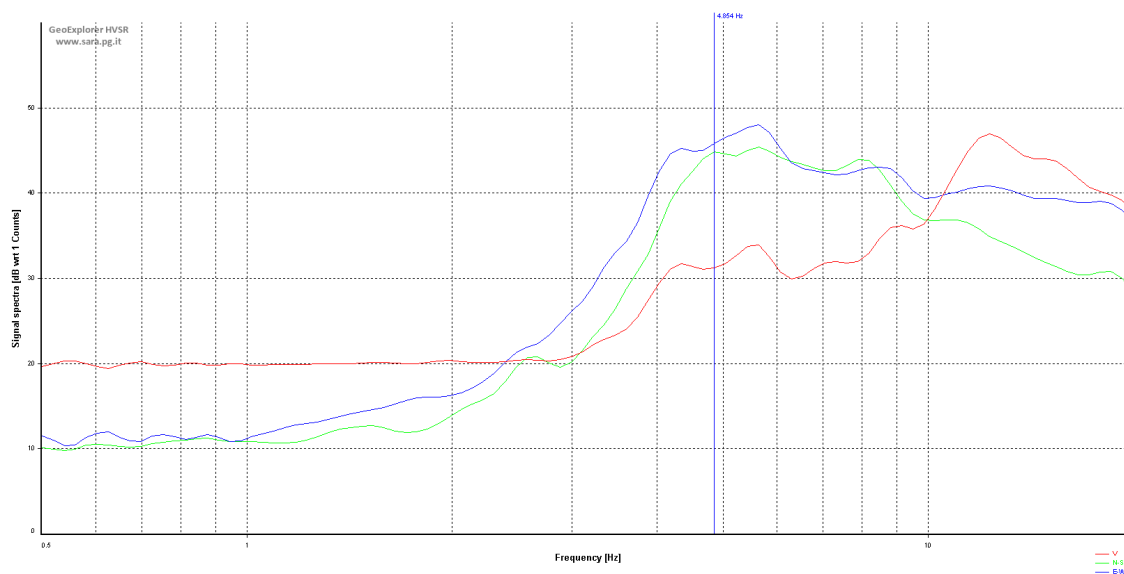
Grafici degli spettri:



Mappa della stazionarietà degli spettri



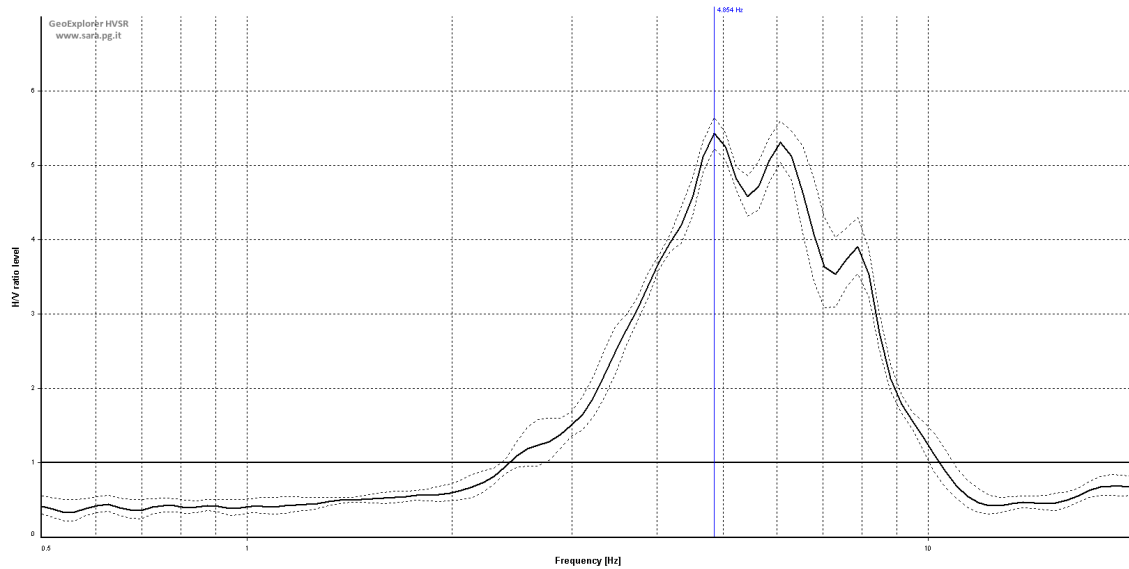
Mapa della direzionalità degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

Frequenza del picco del rapporto H/V: $5,43 \text{ Hz} \pm 0,81 \text{ Hz}$



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME

HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	5 valid windows (length > 2.06 s) out of 5	OK
$n_c(f_0) > 200$	485.4 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 37	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	3.47101 Hz	OK
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	8.81083 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.43 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.81185 >= 0.2427	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.03958 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Di seguito si hanno i vari parametri precedentemente usati nelle verifiche:

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la 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 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla 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 la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Analisi dei risultati

Frequenza fondamentale di sito f_0 : 5,43 Hz

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

E' stato riscontrato un picco significativo nella curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico: 0,5-20 Hz.

Il sottosuolo tende ad avere una ben determinata frequenza propria di oscillazione (frequenza fondamentale di sito f_0) pari a 5,43 Hz. Pertanto la struttura sovrastante subirà amplificazioni di oscillazione se la propria frequenza di oscillazione sarà dello stesso ordine di grandezza della frequenza fondamentale di sito f_0 .

Il progettista calcolatore dovrà confrontare la frequenza fondamentale di sito e la frequenza propria di oscillazione della struttura al fine di valutare effetti di risonanza tra terreno e struttura, possibilmente da evitare vista la loro pericolosità.

11.1. Analisi del rischio sismico – Risposta sismica locale

Le condizioni locali possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti di cui si deve tener conto nella valutazione della pericolosità sismica di un'area. Gli effetti indotti da particolari condizioni geologico-morfologiche sono infatti in grado di produrre danni diversificati su fabbricati con caratteristiche analoghe, entro zone anche ravvicinate (fino a poche decine di m). In tali situazioni si possono verificare fenomeni di focalizzazione dell'energia sismica incidente, con esaltazione delle ampiezze delle onde, fenomeni di riflessione multipla con variazione delle ampiezze delle vibrazioni e delle frequenze del moto.

Il primo elemento indispensabile per qualsiasi studio finalizzato al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico è l'individuazione della categoria del terreno. Nel caso in esame la definizione di questo parametro è stata ottenuta mediante l'esecuzione delle indagini sismiche e geognostiche (vedi paragrafi precedenti).

Il sito in esame, secondo i PGT comunale, presenta scenario di pericolosità sismica locale Z4c con la possibilità che si verifichino amplificazioni sismiche.

Gli effetti di amplificazione sismica locale o di sito sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che il terremoto di riferimento, relativo al bedrock, può subire durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali. Si distinguono quindi gli effetti di amplificazione topografica e quelli di amplificazione litologica. Gli effetti di amplificazione topografica si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali articolate e da irregolarità topografiche in generale.

Per l'analisi del rischio sismico si è adottata la procedura consigliata dal DGR 8/1566-2005 e pertanto, sulla scorta delle indagini eseguite, elaborato un modello geofisico del sito.

Il modello sismico ha consentito il calcolo del periodo proprio del sito T utilizzando la seguente equazione proposta dalla normativa di riferimento:

$$T = \frac{4 \sum h_i}{\frac{\sum V_{s_i} * h_i}{\sum h_i}}$$

In cui:

h_i = spessore del singolo strato V_{si} = velocità del singolo strato

Sito OPN646 $T = 0,146$ m/s

Ritenendo la componente sabbiosa predominante e a seguito dell'andamento delle V_s con la profondità, è stata selezionata la scheda di riferimento: "litologia limoso-sabbiosa tipo 2"; scheda fornita dalla Regione Lombardia – Territorio e Urbanistica.

Il valore di F_a viene quindi calcolato sulla base degli abachi disponibili nelle due ipotesi di verifica. La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto per il sito di riferimento con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (classi B, C, D ed E delle Norme Tecniche per le Costruzioni) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 secondi.

La scelta della curva di correlazione T/F_a all'interno della scheda di valutazione è avvenuta tramite individuazione dello spessore e della velocità V_s dello strato superficiale, che ha portato a selezionare la curva 1.

Il fattore di amplificazione è stato quindi stimato mediante le formule:

$$F_{a0,5-1,5} = -1,33T^2 + 2,02T + 0,79$$

$$F_{a0,1-0,5} = -13,9T^2 + 10,4T + 0,46$$

I valori di F_a così ottenuti sono

$$F_{a0,5-1,5} = 1,18 \quad F_{a0,1-0,5} = 1,68$$

Considerando i fattori di amplificazione ricavati, si conferma la categoria di sottosuolo B individuata con la prova MASW.

11.2. Parametri Sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Classe d'uso: II. (Reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza)

Vita nominale: 50 [anni]

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

	Prob. Superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
SLO	81	30	0,015	2,572	0,157
SLD	63	50	0,019	2,554	0,167
SLV	10	475	0,039	2,659	0,279
SLC	5	975	0,048	2,721	0,305

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,590	1,000	0,004	0,002	0,175	0,200
SLD	1,200	1,570	1,000	0,004	0,002	0,219	0,200
SLV	1,200	1,420	1,000	0,009	0,005	0,465	0,200
SLC	1,200	1,390	1,000	0,011	0,006	0,562	0,200

11.3. 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 $U_c > 3.5$.

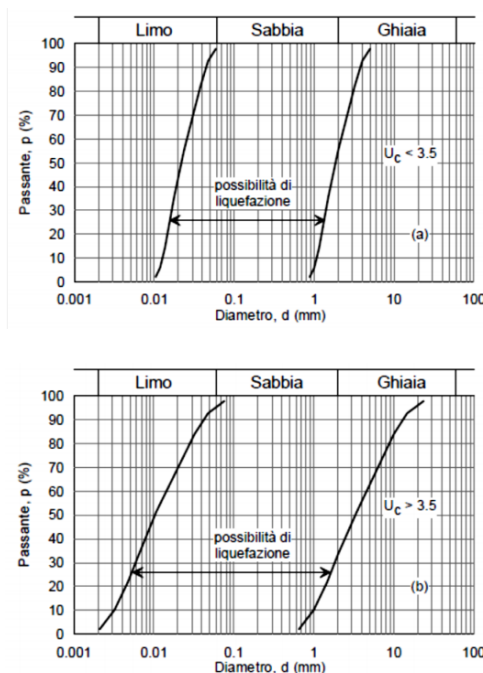


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici suscettibili di liquefazione

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

Categoria	Morfologia	Liquefazione
A	Letti di fiume, antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, zone interdunal	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune, pianure di esondazione, spiagge	Possibile
C	Terrazzi, colline, montagne	Impossibile

In virtù della successione stratigrafica individuata, 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 “2” si omette la verifica alla liquefazione.

12. OPN 647 – SOTTOVIA SS394

12.1. Prospezione sismica diretta DOWN-HOLE

Il tubo PVC inserito all'interno del sondaggio OPN647-S2 indicato in stratigrafia è stato utilizzato come guida per l'esecuzione della prospezione sismica in foro down-hole mediante la quale sono state registrate, al variare della profondità, le velocità di propagazione nel terreno delle onde sismiche. Si è installata in superficie una sorgente ad impulsi verticali e orizzontali e nel foro si è misurato, spostando via via verso il basso il ricevitore, il tempo di arrivo delle varie fasi P o S:

Dati iniziali

Offset scoppio [m]	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono [m]	Interdistanza [m]
2,5	30	1	1

Dati misure down hole

Registrazioni Nr.	Z [m]	Tp [msec]	Ts [msec]	SR [m]	Tpcorr [msec]	Tscorr [msec]
1	1.00	6.50	9.60	2.6926	2.4140	3.5654
2	2.00	7.40	13.00	3.2016	4.6227	8.1210
3	3.00	8.20	15.10	3.9051	6.2994	11.6001
4	4.00	9.70	17.80	4.7170	8.2256	15.0944
5	5.00	10.80	19.20	5.5902	9.6598	17.1730
6	6.00	12.10	21.50	6.5000	11.1692	19.8462
7	7.00	13.00	23.00	7.4330	12.2426	21.6601
8	8.00	14.30	25.60	8.3815	13.6491	24.4347
9	9.00	15.60	28.00	9.3408	15.0309	26.9785
10	10.00	17.00	30.50	10.3078	16.4924	29.5894
11	11.00	18.20	32.70	11.2805	17.7474	31.8869
12	12.00	19.20	35.60	12.2577	18.7964	34.8517
13	13.00	20.30	38.00	13.2382	19.9347	37.3163
14	14.00	21.30	39.80	14.2215	20.9683	39.1802
15	15.00	22.50	42.30	15.2069	22.1939	41.7245
16	16.00	23.30	44.00	16.1941	23.0207	43.4725
17	17.00	24.20	45.20	17.1828	23.9425	44.7190
18	18.00	25.70	46.70	18.1728	25.4557	46.2560
19	19.00	26.50	48.00	19.1638	26.2735	47.5898
20	20.00	27.30	49.50	20.1556	27.0892	49.1178
21	21.00	28.10	51.00	21.1483	27.9030	50.6424
22	22.00	29.20	52.20	22.1416	29.0133	51.8662
23	23.00	29.90	53.50	23.1355	29.7249	53.1867
24	24.00	30.80	54.80	24.1299	30.6343	54.5051
25	25.00	32.00	56.70	25.1247	31.8412	56.4186
26	26.00	32.80	58.30	26.1199	32.6494	58.0324
27	27.00	34.00	59.60	27.1155	33.8552	59.3461
28	28.00	35.10	61.00	28.1114	34.9609	60.7583
29	29.00	36.00	62.60	29.1076	35.8670	62.3687
30	30.00	36.80	64.10	30.1040	36.6729	63.8786

T_P = Tempo di tragitto per le onde P

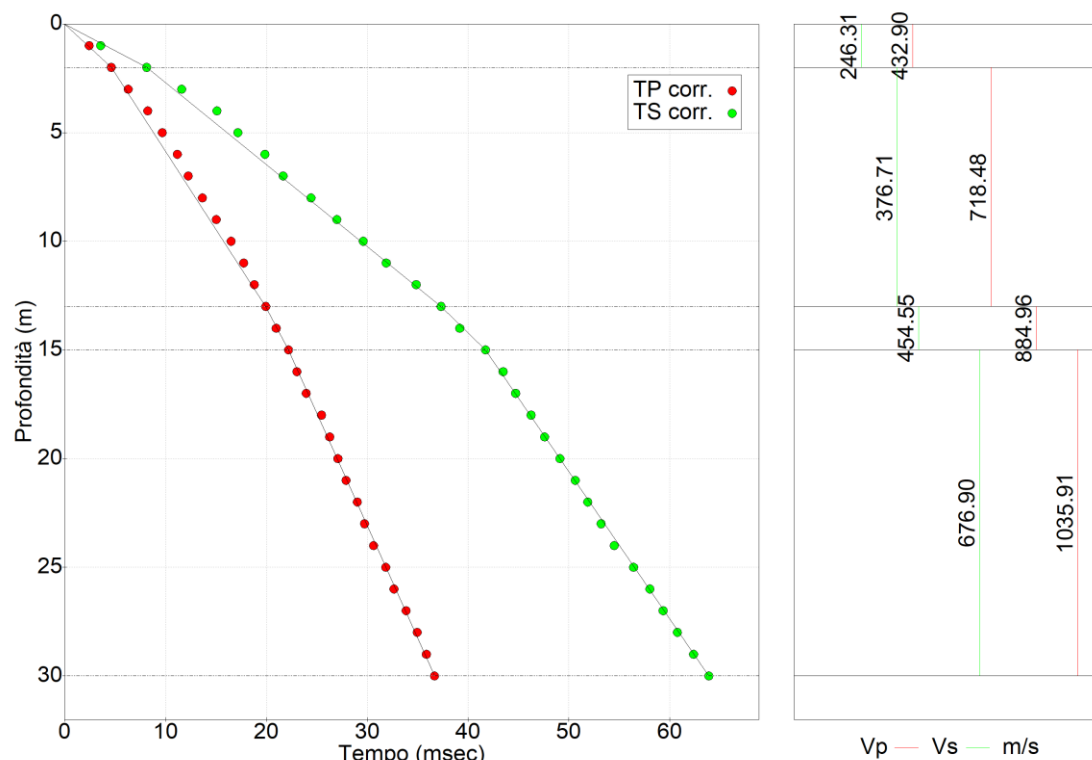
T_S = Tempo di tragitto per le onde S

S_R = Distanza tra la sorgente ed il ricevitore

T_{PCORR} = Tempo di tragitto corretto per le onde P

T_{SCORR} = Tempo di tragitto corretto per le onde S

Tramite il **metodo diretto** si è discretizzato il terreno indagato in sismostrati



	Profondità [m]	Vp medio [m/s]	Vs medio [m/s]
Strato 1	2	432.9	246.31
Strato 2	13	718.48	376.71
Strato 3	15	884.96	454.55
Strato 4	30	1035.91	676.90

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.

$$V_{s,30}: 469,63 \text{ m/sec}$$

Categoria B

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.

12.2. Prospezione sismica ai microtremori HVSR**Dati generali:**

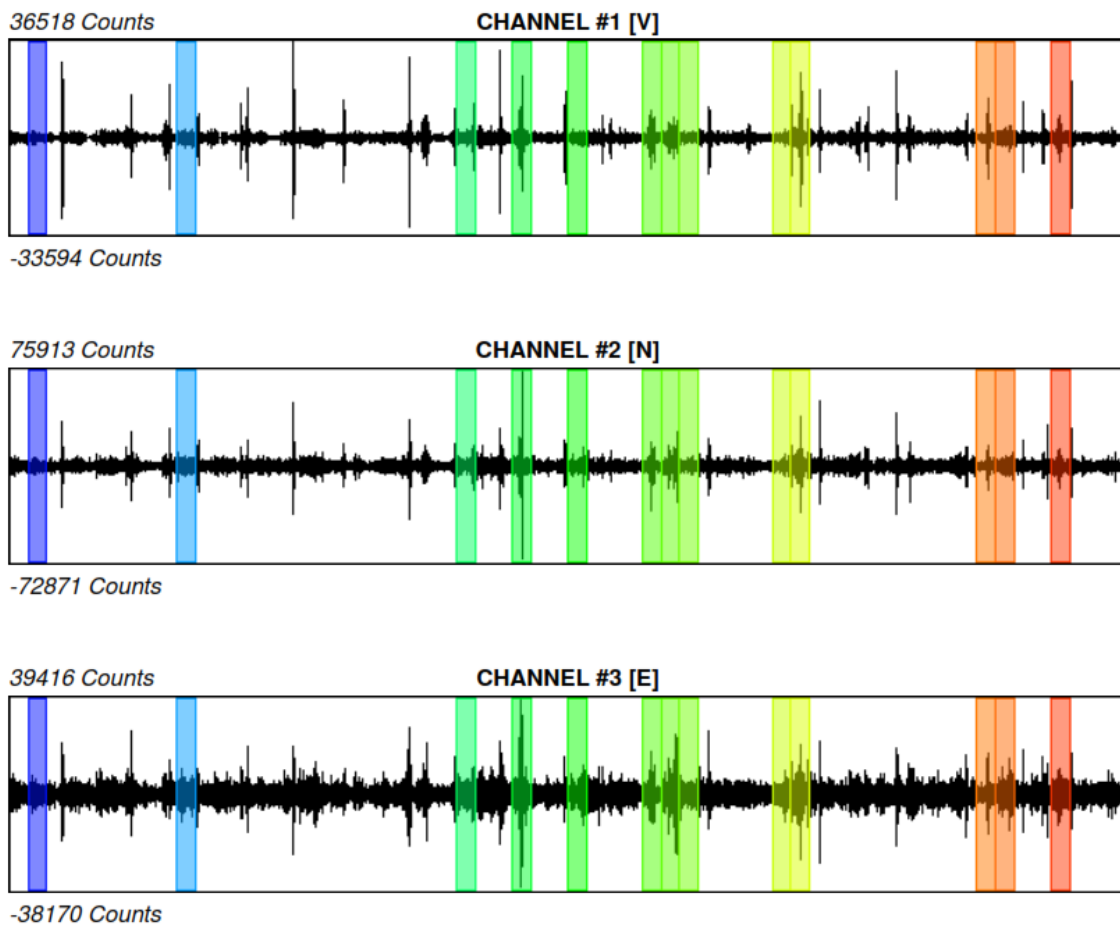
Orientamento: Asse Y verso Nord magnetico
Condizioni climatiche: Sereno – vento assente

Tracce in input:

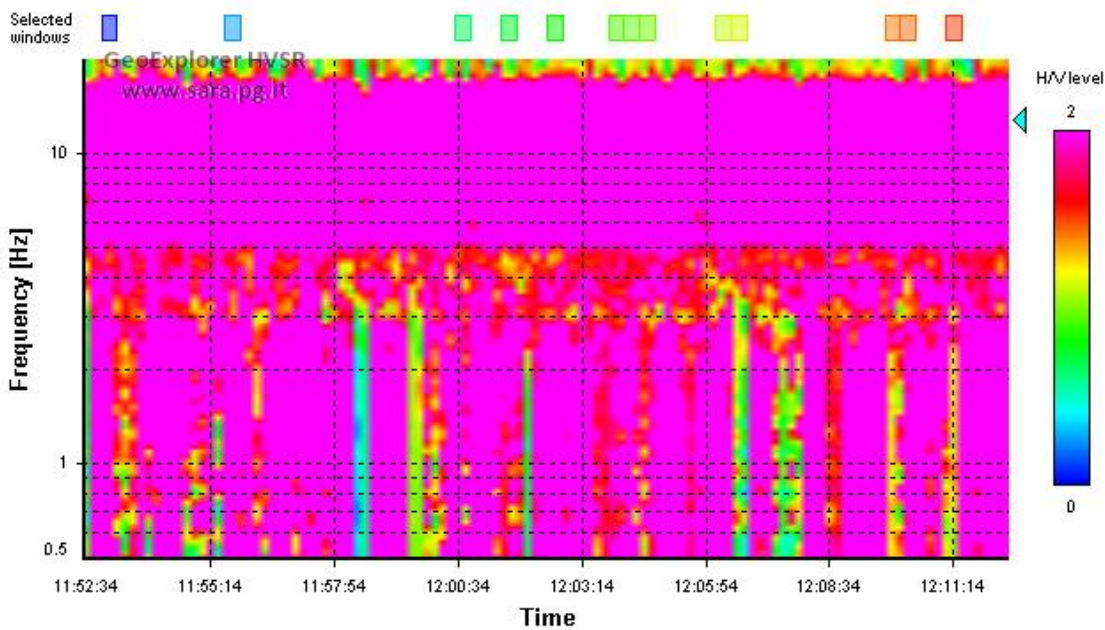
Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz
Numero campioni: 270000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce e finestre selezionate:

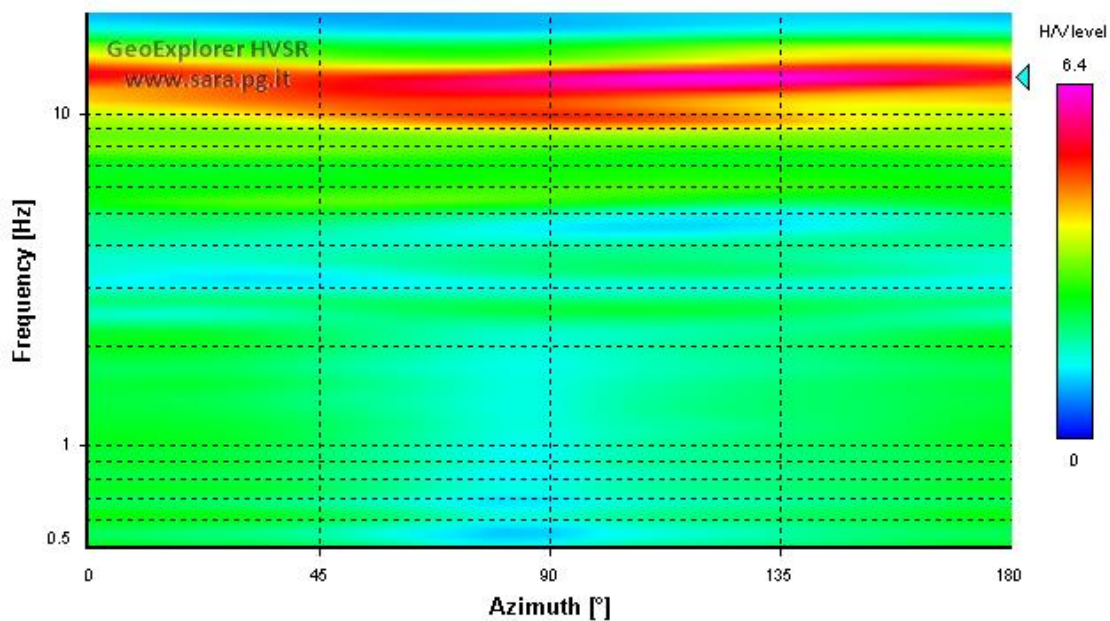
Numero totale finestre selezionate: 13
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di lisciamiento: Konno-Ohmachi (coef. di banda: 40)



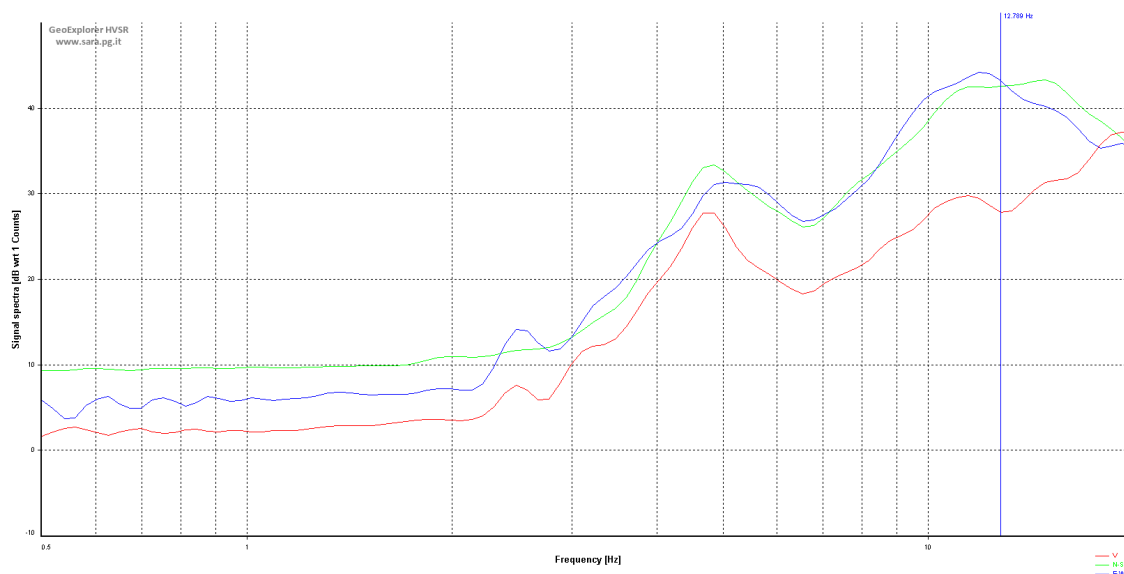
Grafici degli spettri:



Mappa della stazionarietà degli spettri



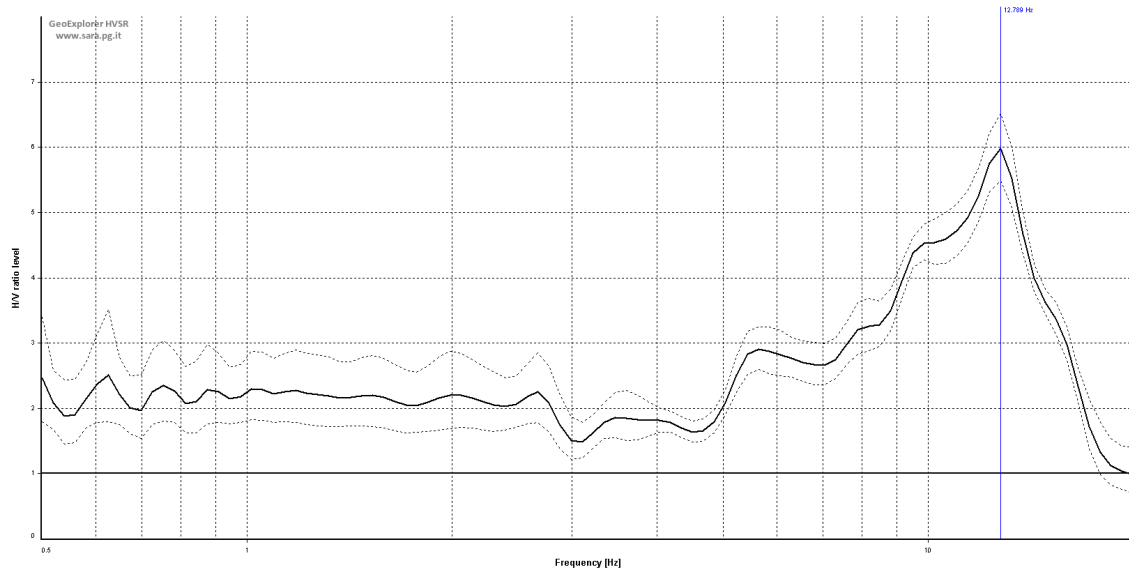
Mappa della direzionalità degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

Frequenza del picco del rapporto H/V: $12.79 \text{ Hz} \pm 0,01 \text{ Hz}$



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME

HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	13 valid windows (length > 0.78 s) out of 13	OK
$n_c(f_0) > 200$	3325.17 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 31	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	7.59079 Hz	OK
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	15.9932 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.98 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0 < 0.63946	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.08932 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Di seguito si hanno i vari parametri precedentemente usati nelle verifiche:

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la 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 alla quale $A_{H/V}(f) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla 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 la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Analisi dei risultati

Frequenza fondamentale di sito f_0 : 12,79 Hz

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

E' stato riscontrato un picco significativo nella curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico: 0,5-20 Hz.

Il sottosuolo tende ad avere una ben determinata frequenza propria di oscillazione (frequenza fondamentale di sito f_0) pari a 12,79 Hz. Pertanto la struttura sovrastante subirà amplificazioni di oscillazione se la propria frequenza di oscillazione sarà dello stesso ordine di grandezza della frequenza fondamentale di sito f_0 .

Il progettista calcolatore dovrà confrontare la frequenza fondamentale di sito e la frequenza propria di oscillazione della struttura al fine di valutare effetti di risonanza tra terreno e struttura, possibilmente da evitare vista la loro pericolosità.

12.3. Analisi del rischio sismico – Risposta sismica locale

Le condizioni locali possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti di cui si deve tener conto nella valutazione della pericolosità sismica di un'area. Gli effetti indotti da particolari condizioni geologico-morfologiche sono infatti in grado di produrre danni diversificati su fabbricati con caratteristiche analoghe, entro zone anche ravvicinate (fino a poche decine di m). In tali situazioni si possono verificare fenomeni di focalizzazione dell'energia sismica incidente, con esaltazione delle ampiezze delle onde, fenomeni di riflessione multipla con variazione delle ampiezze delle vibrazioni e delle frequenze del moto.

Il primo elemento indispensabile per qualsiasi studio finalizzato al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico è l'individuazione della categoria del terreno. Nel caso in esame la definizione di questo parametro è stata ottenuta mediante l'esecuzione delle indagini sismiche e geognostiche (vedi paragrafi precedenti).

Il sito in esame, secondo i PGT comunale, presenta scenario di pericolosità sismica locale Z4a con la possibilità che si verifichino amplificazioni sismiche.

Gli effetti di amplificazione sismica locale o di sito sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che il terremoto di riferimento, relativo al bedrock, può subire durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali. Si distinguono quindi gli effetti di amplificazione topografica e quelli di amplificazione litologica. Gli effetti di amplificazione topografica si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali articolate e da irregolarità topografiche in generale.

Per l'analisi del rischio sismico si è adottata la procedura consigliata dal DGR 8/1566-2005 e pertanto, sulla scorta delle indagini eseguite, elaborato un modello geofisico del sito.

Il modello sismico ha consentito il calcolo del periodo proprio del sito T utilizzando la seguente equazione proposta dalla normativa di riferimento:

$$T = \frac{4 \sum h_i}{\frac{\sum V_{s_i} * h_i}{\sum h_i}}$$

In cui:

h_i = spessore del singolo strato V_{si} = velocità del singolo strato
 Sito OPN647 $T = 0,31 \text{ m/s}$

Ritenendo la componente sabbiosa predominante e a seguito dell'andamento delle V_s con la profondità, è stata selezionata la scheda di riferimento: "litologia limoso-sabbiosa tipo 2"; scheda fornita dalla Regione Lombardia – Territorio e Urbanistica.

Il valore di F_a viene quindi calcolato sulla base degli abachi disponibili nelle due ipotesi di verifica. La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto per il sito di riferimento con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (classi B, C, D ed E delle Norme Tecniche per le Costruzioni) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 secondi.

La scelta della curva di correlazione T/F_a all'interno della scheda di valutazione è avvenuta tramite individuazione dello spessore e della velocità V_s dello strato superficiale, che ha portato a selezionare la curva 2.

Il fattore di amplificazione è stato quindi stimato mediante le formule:

$$F_{a0,5-1,5} = -1,33T^2 + 2,02T + 0,79$$

$$F_{a0,1-0,5} = -12,8T^2 + 9,2T + 0,48$$

I valori di F_a così ottenuti sono

$$F_{a0,5-1,5} = 1,10 \quad F_{a0,1-0,5} = 2,10$$

Considerando i fattori di amplificazione ricavati, si conferma la categoria di sottosuolo B individuata con la prova down-hole.

12.4. Parametri Sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Classe d'uso: II. (Reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza)

Vita nominale: 50 [anni]

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

	Prob. Superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
SLO	81	30	0,015	2,572	0,157
SLD	63	50	0,019	2,554	0,167
SLV	10	475	0,039	2,659	0,279
SLC	5	975	0,048	2,721	0,305

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,590	1,000	0,004	0,002	0,175	0,200
SLD	1,200	1,570	1,000	0,004	0,002	0,219	0,200
SLV	1,200	1,420	1,000	0,009	0,005	0,465	0,200
SLC	1,200	1,390	1,000	0,011	0,006	0,562	0,200

12.5. 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 $U_c > 3.5$.

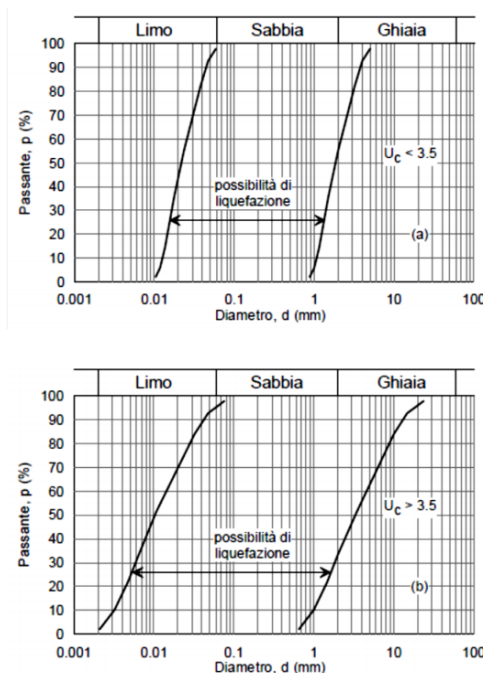


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici suscettibili di liquefazione

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

Categoria	Morfologia	Liquefazione
A	Letti di fiume, antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, zone interdunal	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune, pianure di esondazione, spiagge	Possibile
C	Terrazzi, colline, montagne	Impossibile

In virtù della successione stratigrafica individuata, si ritiene improbabile il fenomeno della liquefazione.

In conformità a quanto previsto nelle NTC2018 cap. 7.11.3.4.2 per il verificarsi dei punti “2, 4 e 5” si omette la verifica alla liquefazione.

12.6. Caratterizzazione e modellazione geotecnica

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

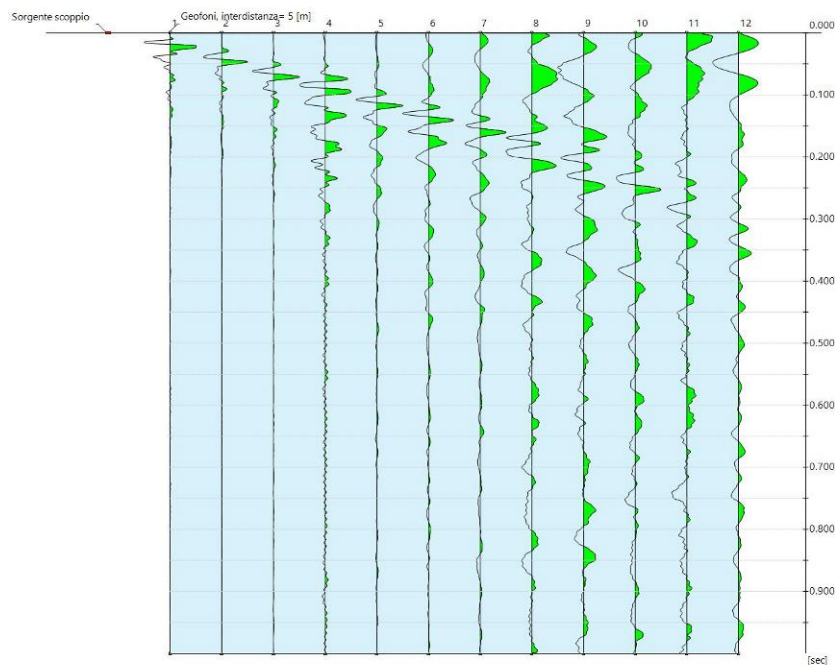
Profondità [m]	Tipologia	Cu [kPa]	E _{edom} [MPa]	Φ [°]	E [MPa]	γ [kN/m ³]	γ _s [kN/m ³]	Permeabi- tà [m/s]	V _{s,eq} [m/s]	F ₀ [Hz]	Categor- ia sottosu- olo	Categori- a topografi- ca
0,30 – 2,50	Limo sabbioso con ghiaia	--	--	26	--	18	19	3E-07	469	12,8	B	T1
2,50 – 9,00	Sabbia	--	--	28	--	18	19	3E-07				
9,00 – 19,00	Ghiaia in matrice sabbiosa	--	--	37	--	19	20	4E-07				
19,00 – 30,00	Sabbia e trovanti rocciosi	--	--	--	--	--	--	--				

Verifiche geotecniche

La relazione geotecnica è a tutti gli effetti un elaborato progettuale; essa fornisce valutazioni precise sull’opera o meglio sul sistema struttura-terreno; pertanto, come definito dal punto 6.2.2, non può più prescindere dall’opera vera e propria e non può fornire calcoli ed indicazioni esemplificativi. Per quanto sopra la redazione di tale elaborato prevede una stretta interazione tra geotecnico e strutturista.

13. OPN 650 – TOMBINO

13.1. Prospezione sismica a rifrazione MASW



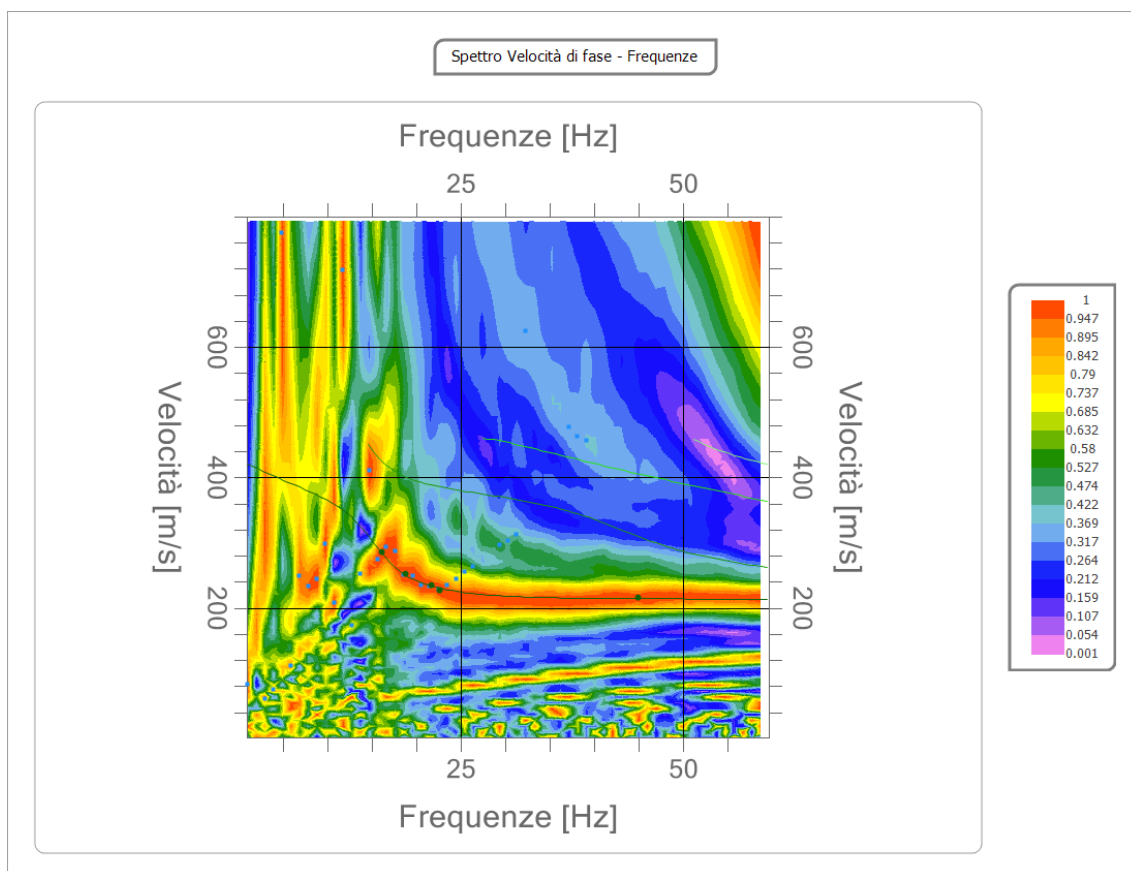
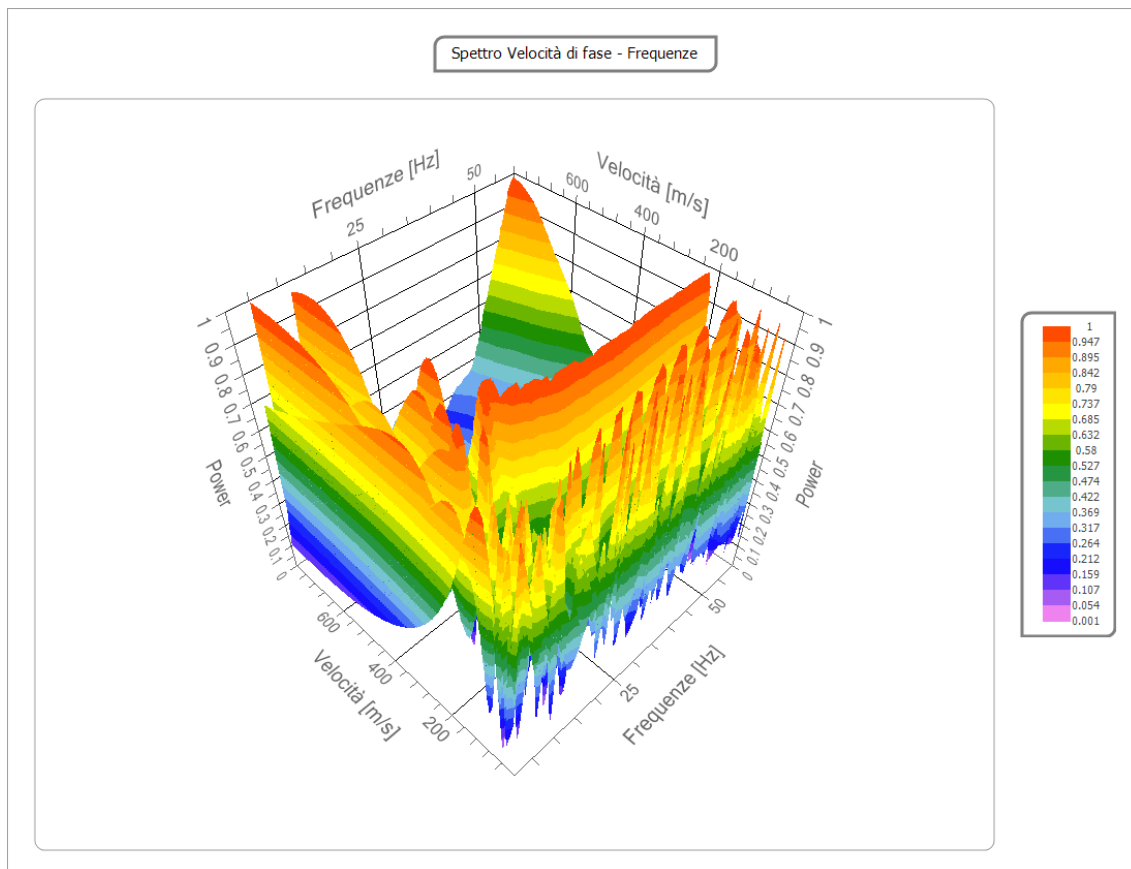
Schema dello stendimento MASW

Dati di base

N° tracce	12
Durata di acquisizione	1000 msec
Interdistanza geofoni	5.0 m
Periodo di campionamento	1.00 msec

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione	1 Hz
Frequenza massima di elaborazione	60 Hz
Velocità minima di elaborazione	1 m/sec
Velocità massima di elaborazione	800 m/sec
Intervallo velocità	1 m/sec



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	16.1	285.5	0
2	18.8	252.4	0
3	21.7	234.2	0
4	22.7	227.6	0
5	44.9	216.1	0

Inversione e interpretazione

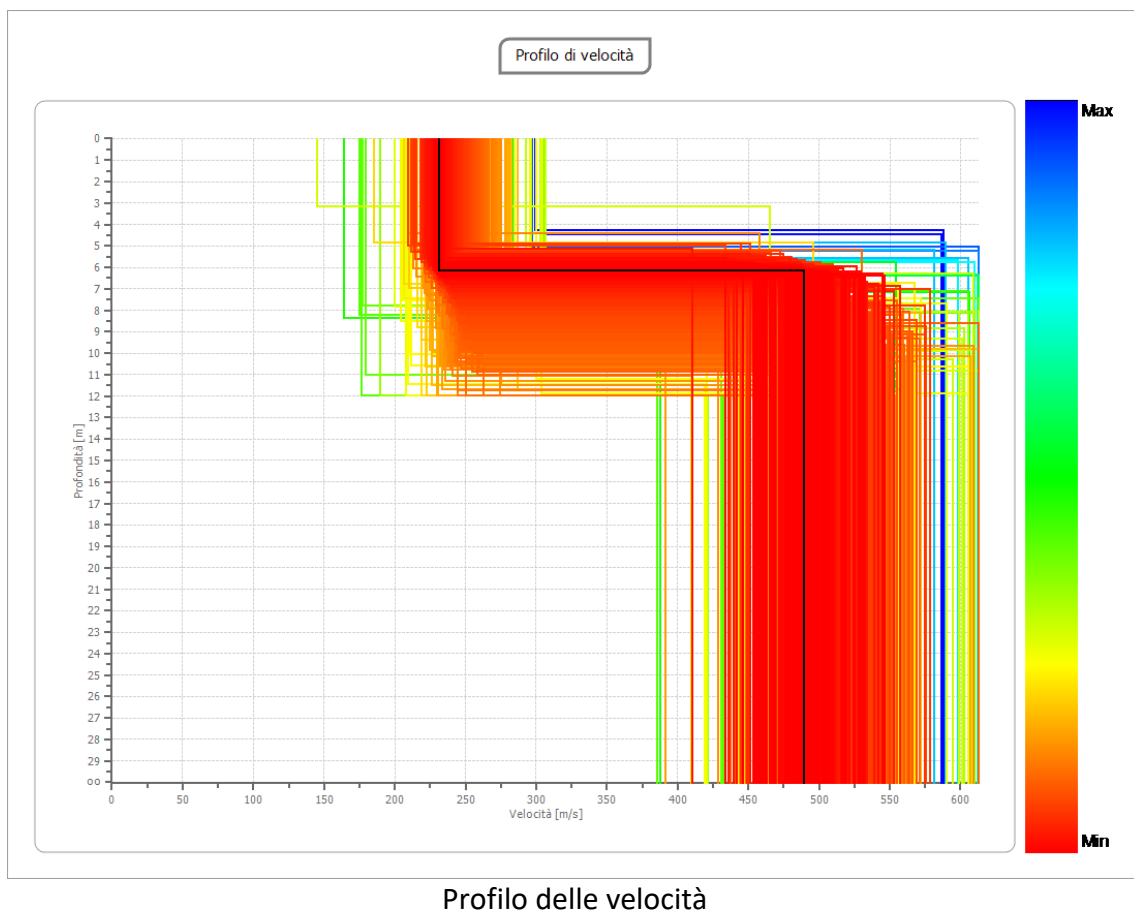
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	6.17	6.17	432.5	231.2
2	oo	oo	915.3	489.3

Percentuale di errore

0.004 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.007



STIMA Vs,eq

Dal profilo sismo stratigrafico è possibile calcolare il parametro Vs,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 Vs(strato).

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,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:

$$V_{s,eq} (H=30m) : \quad 397.95 \text{ m/sec}$$

pertanto la categoria del sottosuolo può essere classificata come segue:

Categoria B

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.

13.2. Prospezione sismica ai microtrempi HVSR**Dati generali:**

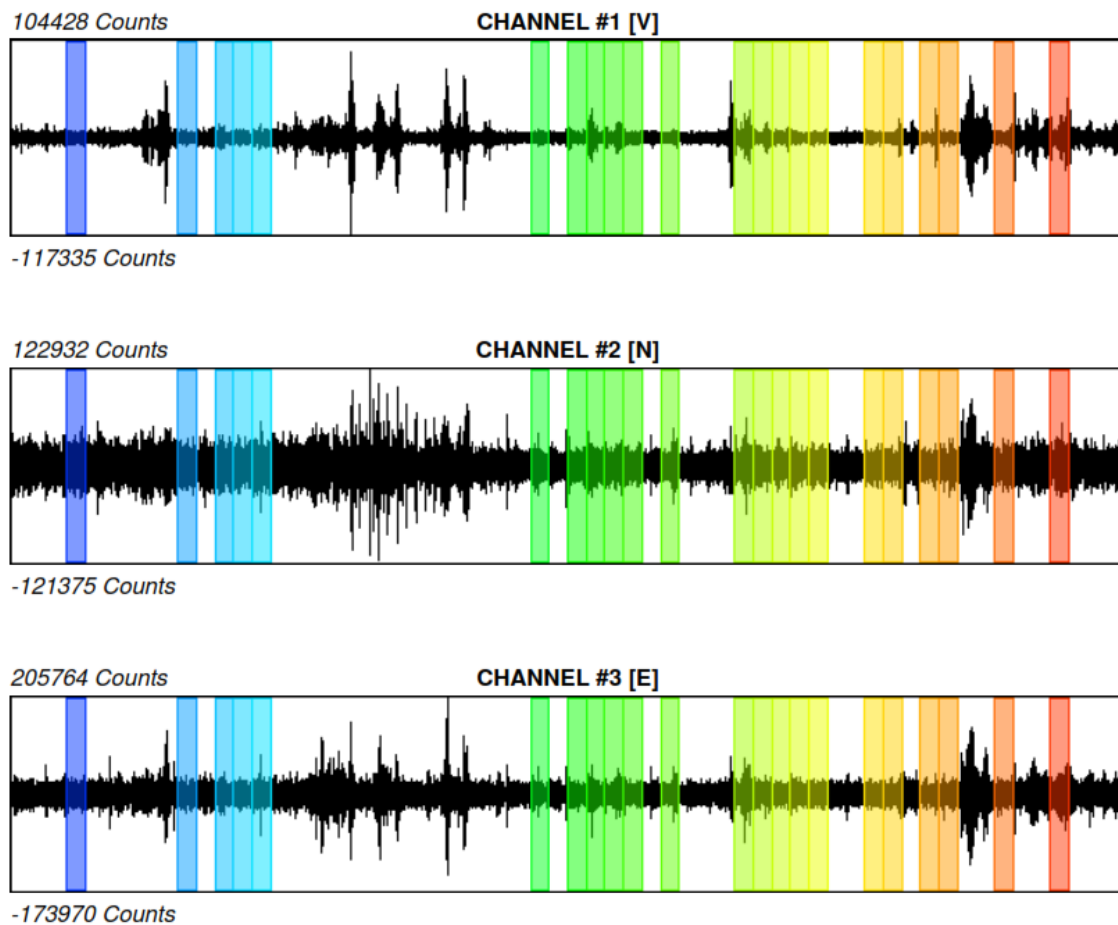
Orientamento: Asse Y verso Nord magnetico
Condizioni climatiche: Sereno – vento assente

Tracce in input:

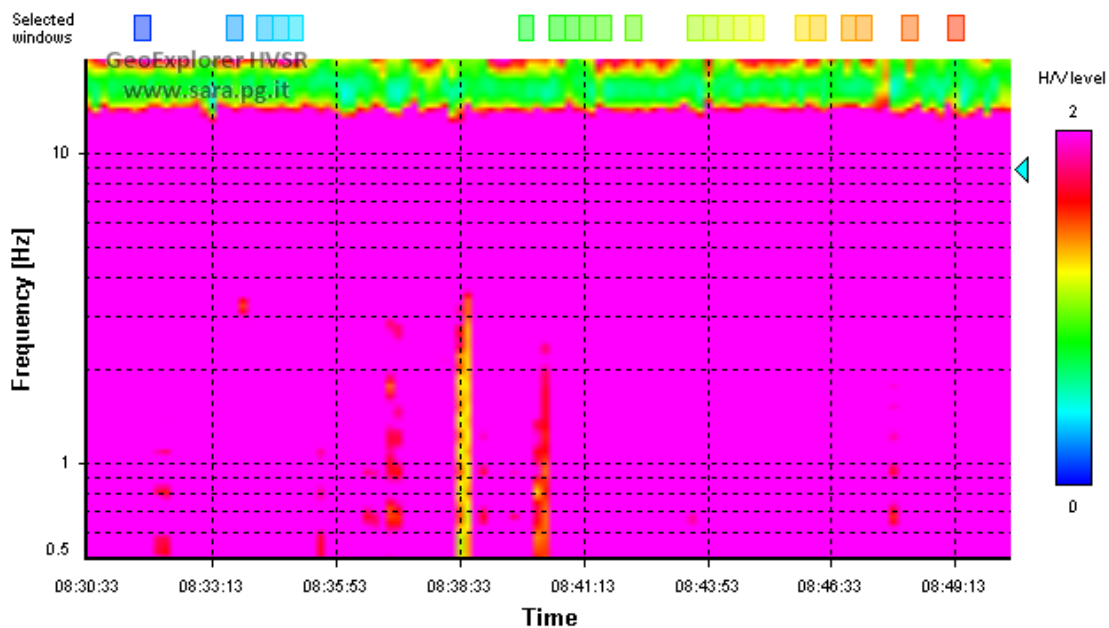
Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz
Numero campioni: 270000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce e finestre selezionate:

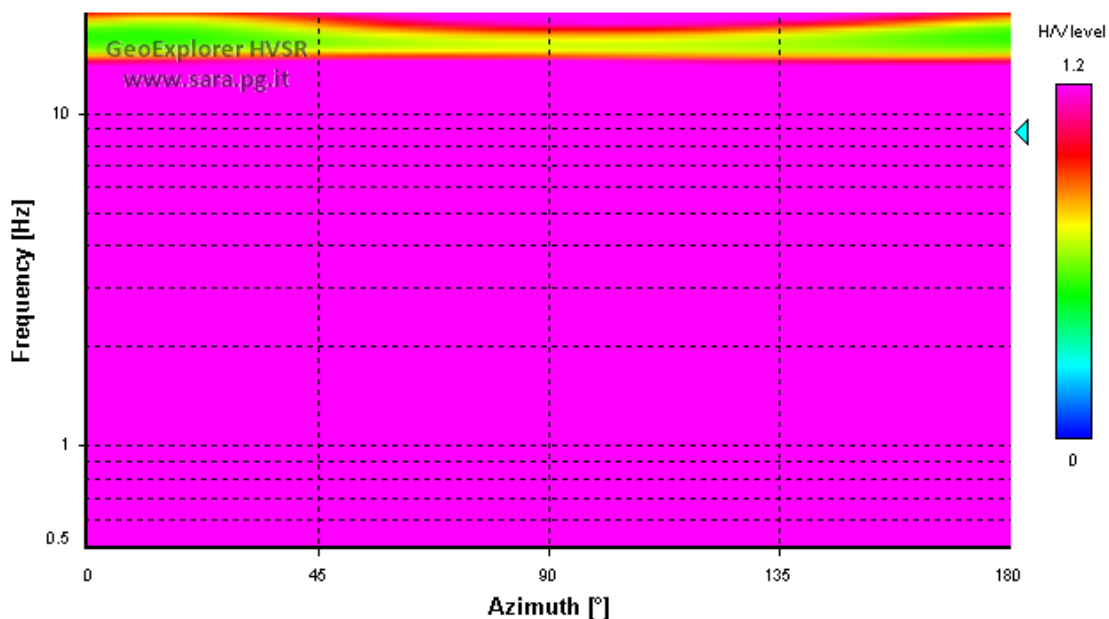
Numero totale finestre selezionate: 22
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di lisciamiento: Konno-Ohmachi (coef. di banda: 40)



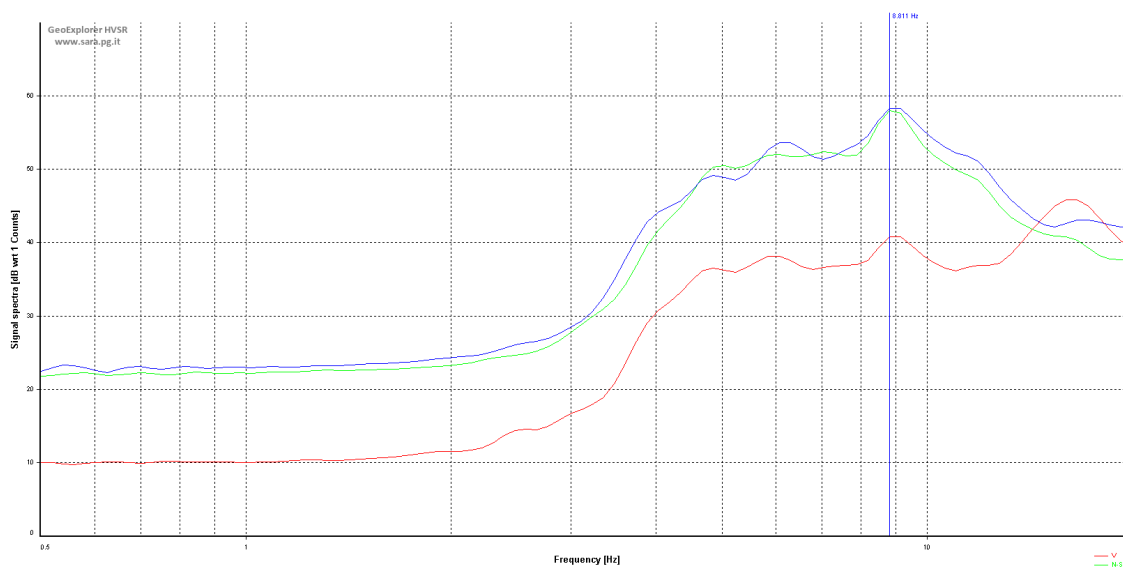
Grafici degli spettri:



Mappa della stazionarietà degli spettri



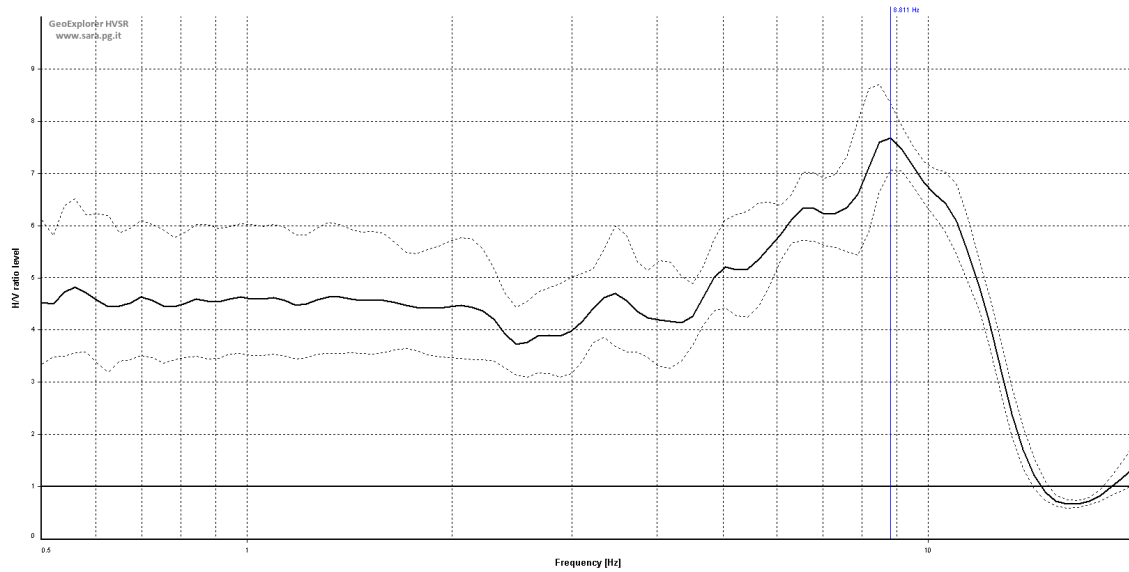
Mapa della direzionalità degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

Frequenza del picco del rapporto H/V: $8,28 \text{ Hz} \pm 0,84 \text{ Hz}$



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME

HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	22 valid windows (length > 1.13 s) out of 22	OK
$n_c(f_0) > 200$	3876.76 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 37	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	2.5763 Hz	OK
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	12.78913 Hz	OK
$A_0 > 2$	7.68 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	3.66% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.83942 >= 0.44054	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.08675 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Di seguito si hanno i vari parametri precedentemente usati nelle verifiche:

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la 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 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla 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 la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Analisi dei risultati

Frequenza fondamentale di sito f_0 : 8,28 Hz

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

E' stato riscontrato un picco significativo nella curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico: 0,5-20 Hz.

Il sottosuolo tende ad avere una ben determinata frequenza propria di oscillazione (frequenza fondamentale di sito f_0) pari a 8,28 Hz. Pertanto la struttura sovrastante subirà amplificazioni di oscillazione se la propria frequenza di oscillazione sarà dello stesso ordine di grandezza della frequenza fondamentale di sito f_0 .

Il progettista calcolatore dovrà confrontare la frequenza fondamentale di sito e la frequenza propria di oscillazione della struttura al fine di valutare effetti di risonanza tra terreno e struttura, possibilmente da evitare vista la loro pericolosità.

13.3. Analisi del rischio sismico – Risposta sismica locale

Le condizioni locali possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti di cui si deve tener conto nella valutazione della pericolosità sismica di un'area. Gli effetti indotti da particolari condizioni geologico-morfologiche sono infatti in grado di produrre danni diversificati su fabbricati con caratteristiche analoghe, entro zone anche ravvicinate (fino a poche decine di m). In tali situazioni si possono verificare fenomeni di focalizzazione dell'energia sismica incidente, con esaltazione delle ampiezze delle onde, fenomeni di riflessione multipla con variazione delle ampiezze delle vibrazioni e delle frequenze del moto.

Il primo elemento indispensabile per qualsiasi studio finalizzato al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico è l'individuazione della categoria del terreno. Nel caso in esame la definizione di questo parametro è stata ottenuta mediante l'esecuzione delle indagini sismiche e geognostiche (vedi paragrafi precedenti).

Il sito in esame, secondo i PGT comunale, presenta scenario di pericolosità sismica locale Z4c con la possibilità che si verifichino amplificazioni sismiche.

Gli effetti di amplificazione sismica locale o di sito sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che il terremoto di riferimento, relativo al bedrock, può subire durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali. Si distinguono quindi gli effetti di amplificazione topografica e quelli di amplificazione litologica. Gli effetti di amplificazione topografica si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali articolate e da irregolarità topografiche in generale.

Per l'analisi del rischio sismico si è adottata la procedura consigliata dal DGR 8/1566-2005 e pertanto, sulla scorta delle indagini eseguite, elaborato un modello geofisico del sito.

Il modello sismico ha consentito il calcolo del periodo proprio del sito T utilizzando la seguente equazione proposta dalla normativa di riferimento:

$$T = \frac{4 \sum h_i}{\frac{\sum V_{s_i} * h_i}{\sum h_i}}$$

In cui:

hi = spessore del singolo strato Vsi = velocità del singolo strato
Sito OPN650 T = 0,128 m/s

Ritenendo la componente sabbiosa predominante e a seguito dell'andamento delle Vs con la profondità, è stata selezionata la scheda di riferimento: "litologia limoso-sabbiosa tipo 1"; scheda fornita dalla Regione Lombardia – Territorio e Urbanistica.

Il valore di Fa viene quindi calcolato sulla base degli abachi disponibili nelle due ipotesi di verifica. La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di Fa ottenuto per il sito di riferimento con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (classi B, C, D ed E delle Norme Tecniche per le Costruzioni) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 secondi.

La scelta della curva di correlazione T/Fa all'interno della scheda di valutazione è avvenuta tramite individuazione dello spessore e della velocità Vs dello strato superficiale, che ha portato a selezionare la curva 2.

Il fattore di amplificazione è stato quindi stimato mediante le formule:

$$Fa_{0,5-1,5} = -0,67T^2 + 1,3T + 0,93$$

$$Fa_{0,1-0,5} = -9,5T^2 + 6,3T + 0,73$$

I valori di Fa così ottenuti sono

$$Fa_{0,5-1,5} = 1,081 \quad Fa_{0,1-0,5} = 1,38$$

Considerando i fattori di amplificazione ricavati, si conferma la categoria di sottosuolo B individuata con la prova MASW.

13.4. Parametri Sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Classe d'uso: II. (Reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza)

Vita nominale: 50 [anni]

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

	Prob. Superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
SLO	81	30	0,015	2,572	0,157
SLD	63	50	0,019	2,554	0,167
SLV	10	475	0,039	2,659	0,279
SLC	5	975	0,048	2,721	0,305

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,590	1,000	0,004	0,002	0,175	0,200
SLD	1,200	1,570	1,000	0,004	0,002	0,219	0,200
SLV	1,200	1,420	1,000	0,009	0,005	0,465	0,200
SLC	1,200	1,390	1,000	0,011	0,006	0,562	0,200

13.5. 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 $U_c > 3.5$.

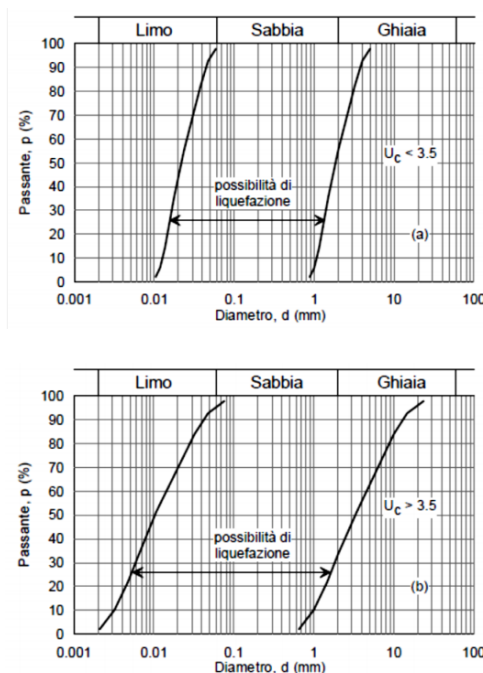


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici suscettibili di liquefazione

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

Categoria	Morfologia	Liquefazione
A	Letti di fiume, antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, zone interdunali	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune, pianure di esondazione, spiagge	Possibile
C	Terrazzi, colline, montagne	Impossibile

In virtù della successione stratigrafica individuata, si ritiene improbabile il fenomeno della liquefazione.

In conformità a quanto previsto nelle NTC2018 cap. 7.11.3.4.2 per il verificarsi dei punti “2, 4 e 5” si omette la verifica alla liquefazione.

13.6. Caratterizzazione e modellazione geotecnica

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

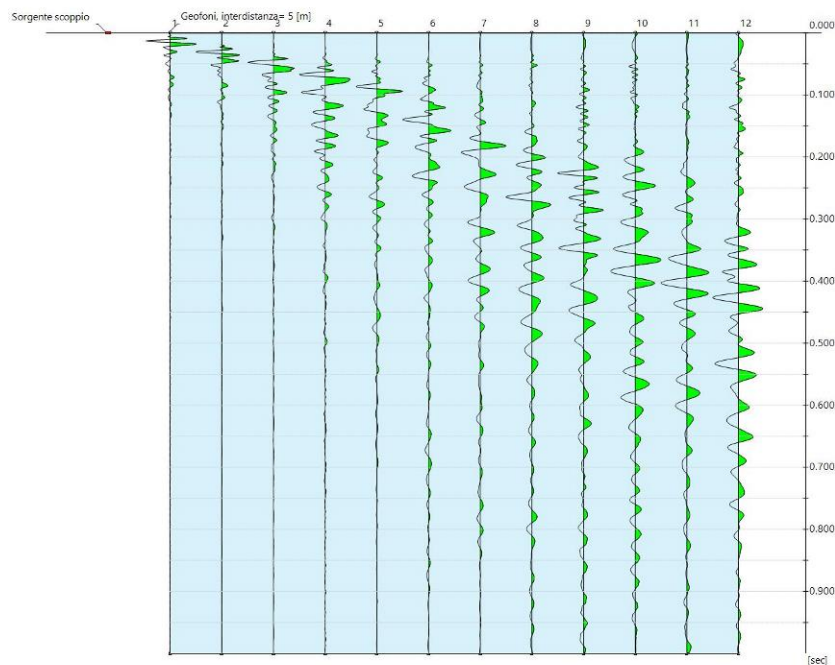
Profondità [m]	Tipologia	Cu [kPa]	E _{edom} [MPa]	Φ [°]	E [MPa]	γ [kN/m ³]	γ _s [kN/m ³]	Permeabi- tà [m/s]	V _{s,eq} [m/s]	F ₀ [Hz]	Categor- ia sottosu- olo	Categori- a topografi- ca
0,0 – 14,50	Sabbia limosa con ghiaia	--	--	30	--	18	19	1,5E-07	398	8,3	B	T1
14,50 – 20,00	Ghiaia in matrice sabbiosa	--	--	37	--	19	20	--				

Verifiche geotecniche

La relazione geotecnica è a tutti gli effetti un elaborato progettuale; essa fornisce valutazioni precise sull'opera o meglio sul sistema struttura-terreno; pertanto, come definito dal punto 6.2.2, non può più prescindere dall'opera vera e propria e non può fornire calcoli ed indicazioni esemplificativi. Per quanto sopra la redazione di tale elaborato prevede una stretta interazione tra geotecnico e strutturista.

14. OPN 652 – TOMBINO

14.1. Prospezione sismica a rifrazione MASW



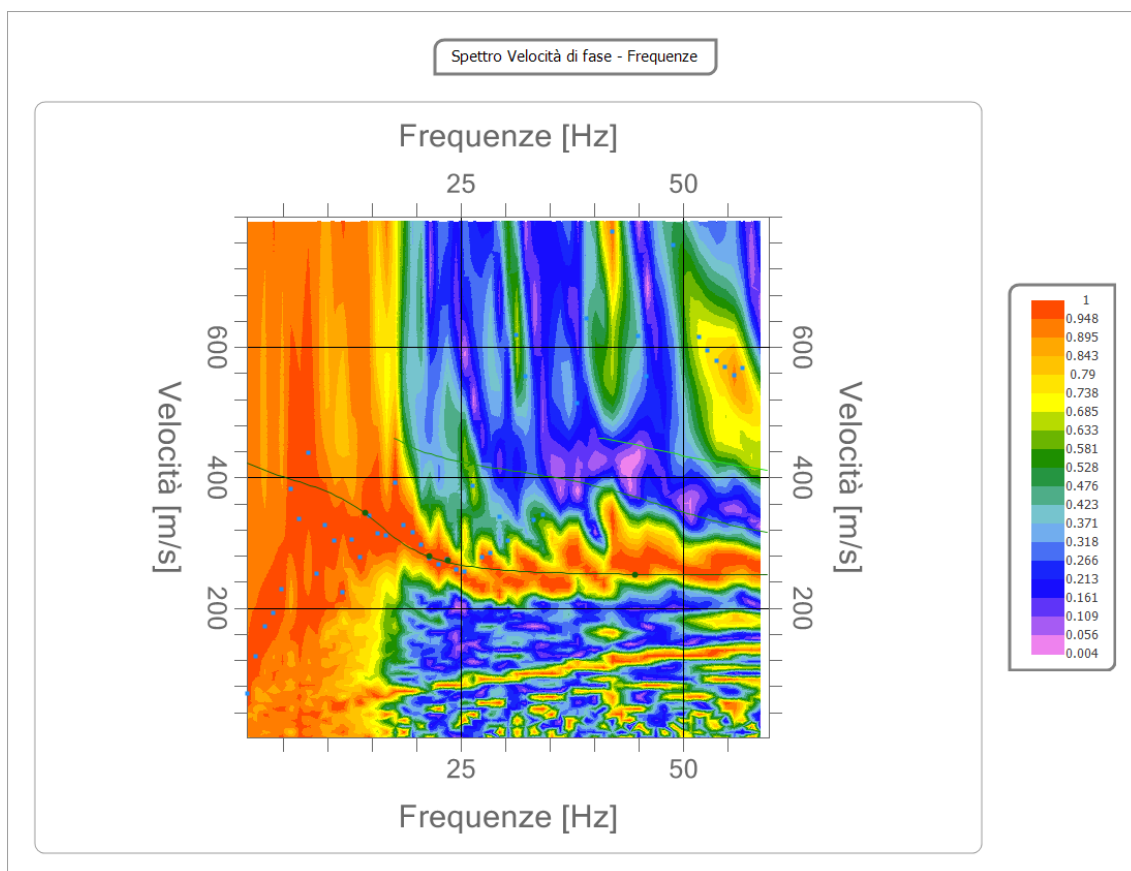
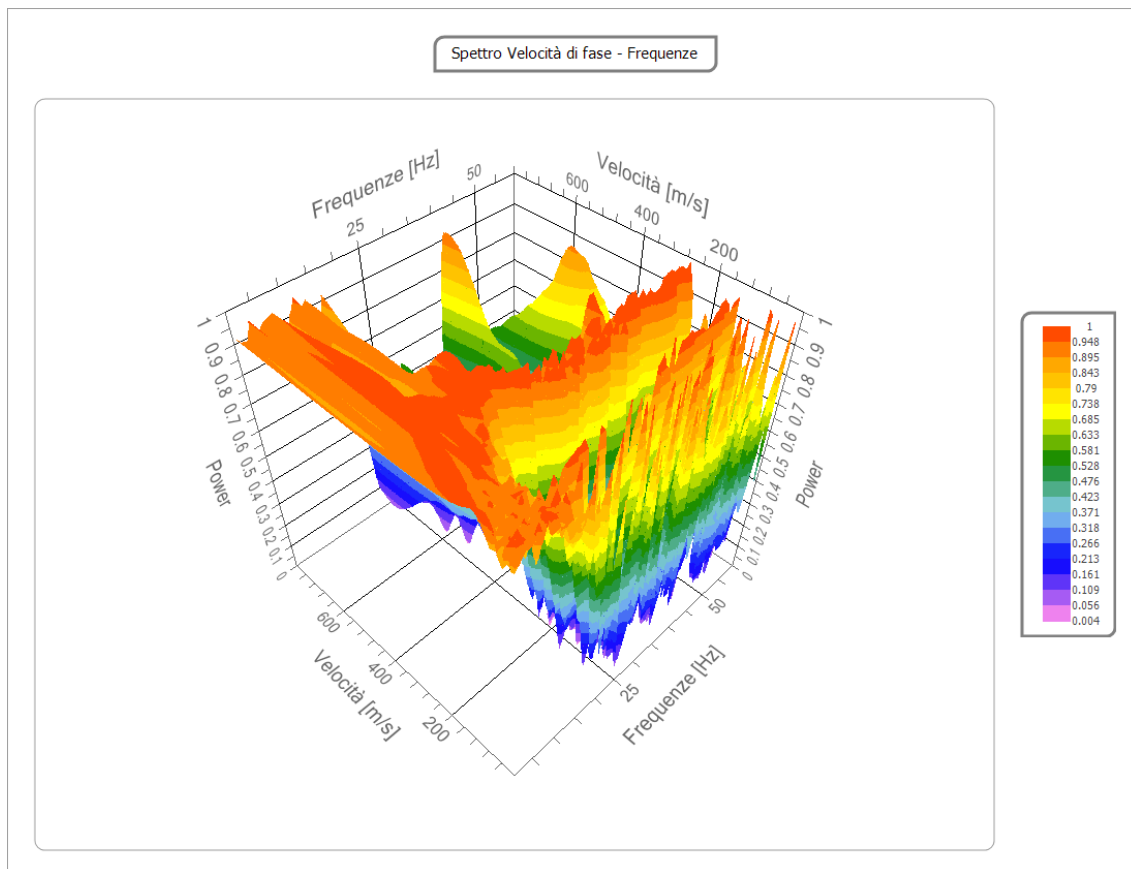
Schema dello stendimento MASW

Dati di base

N° tracce	12
Durata di acquisizione	1000 msec
Interdistanza geofoni	5.0 m
Periodo di campionamento	1.00 msec

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione	1 Hz
Frequenza massima di elaborazione	60 Hz
Velocità minima di elaborazione	1 m/sec
Velocità massima di elaborazione	800 m/sec
Intervallo velocità	1 m/sec



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	14.3	345.1	0
2	21.5	278.9	0
3	23.5	272.3	0
4	44.6	250.8	0

Inversione e interpretazione

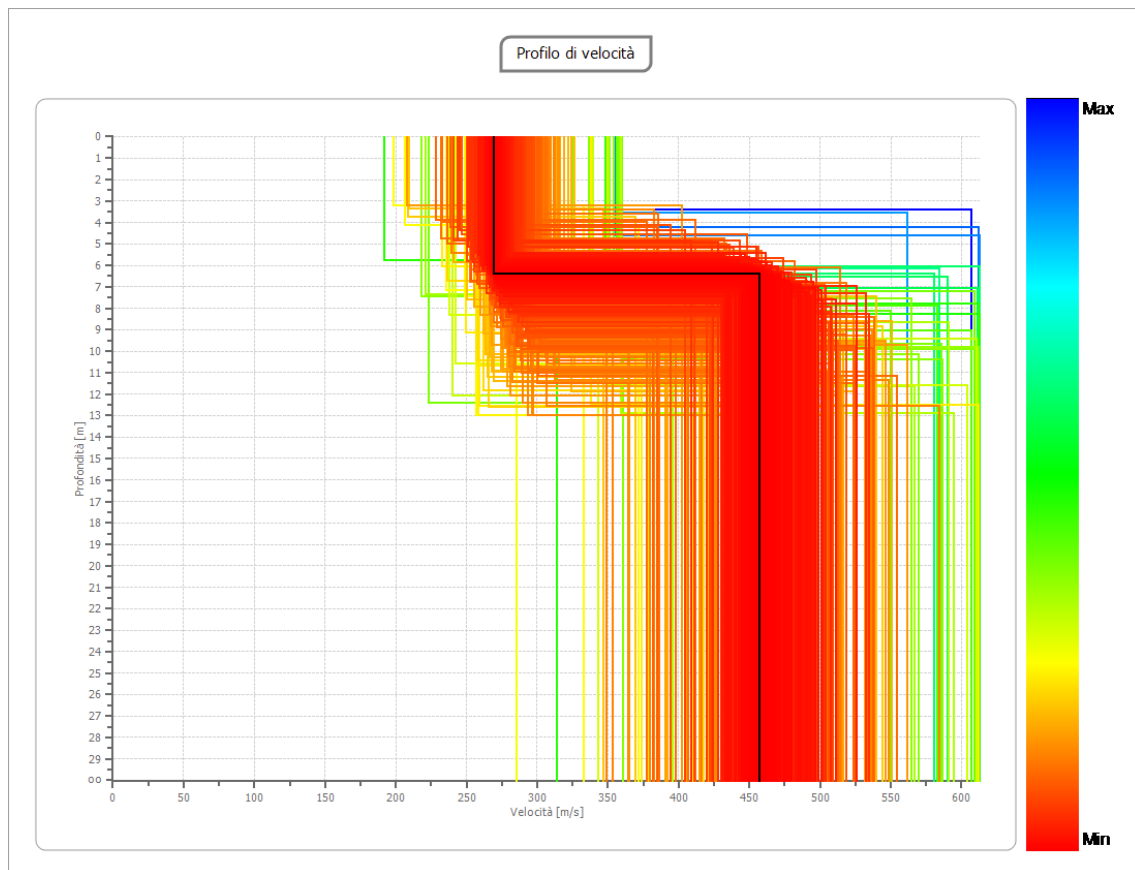
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	6.38	6.38	504.5	269.6
2	∞	∞	855.6	457.3

Percentuale di errore

0.001 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.003



Profilo delle velocità

STIMA Vs,eq

Dal profilo sismo stratigrafico è possibile calcolare il parametro Vs,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 Vs(strato).

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs,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:

$$V_{s,eq} (H=30m) : \quad 398.34 \text{ m/sec}$$

pertanto la categoria del sottosuolo può essere classificata come segue:

Categoria B

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.

14.2. Prospezione sismica ai microtrempi HVSR**Dati generali:**

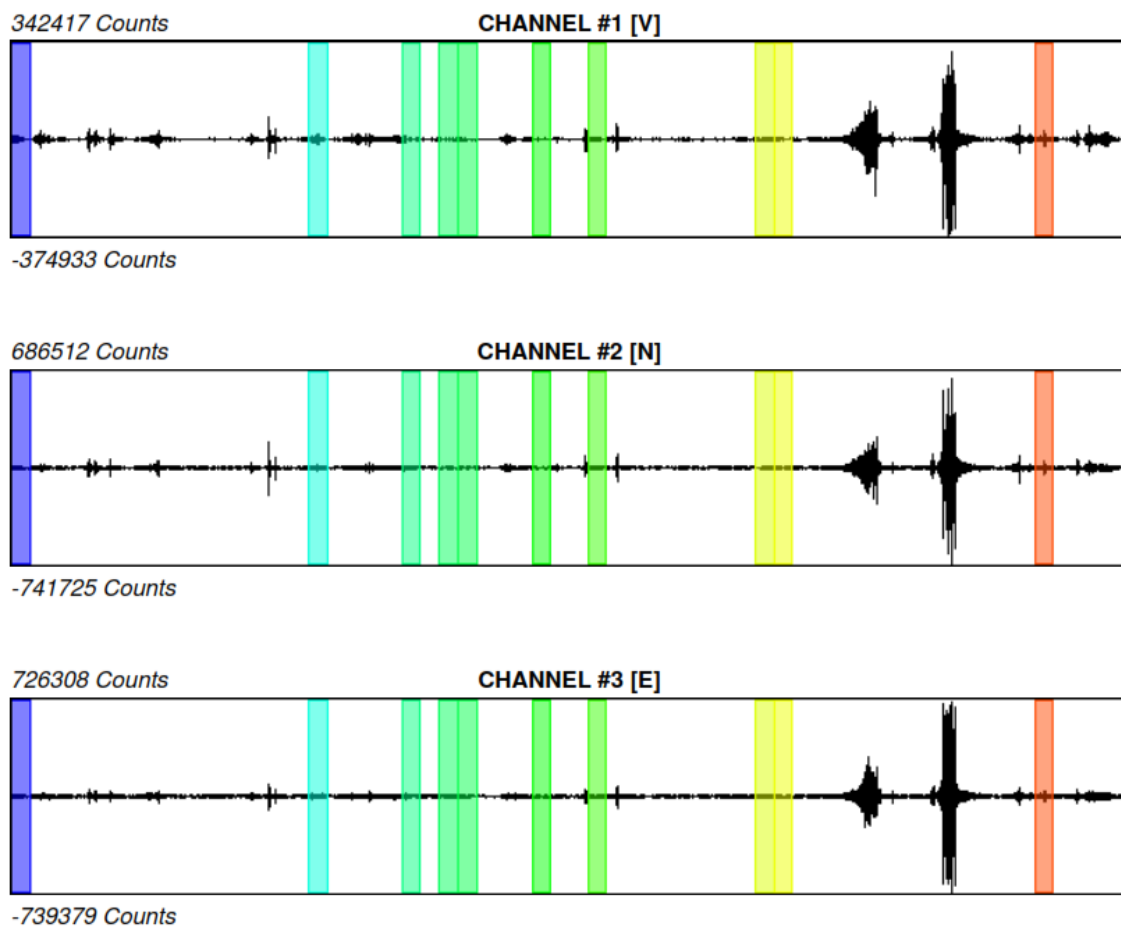
Orientamento: Asse Y verso Nord magnetico
Condizioni climatiche: Sereno – vento assente

Tracce in input:

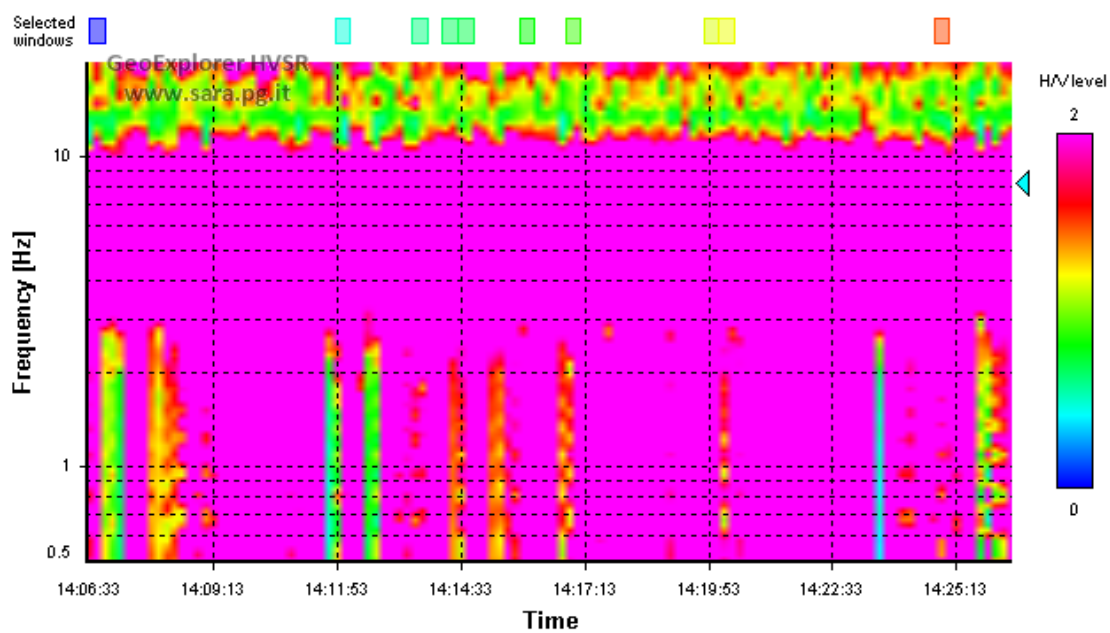
Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 300.00 Hz
Numero campioni: 270000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce e finestre selezionate:

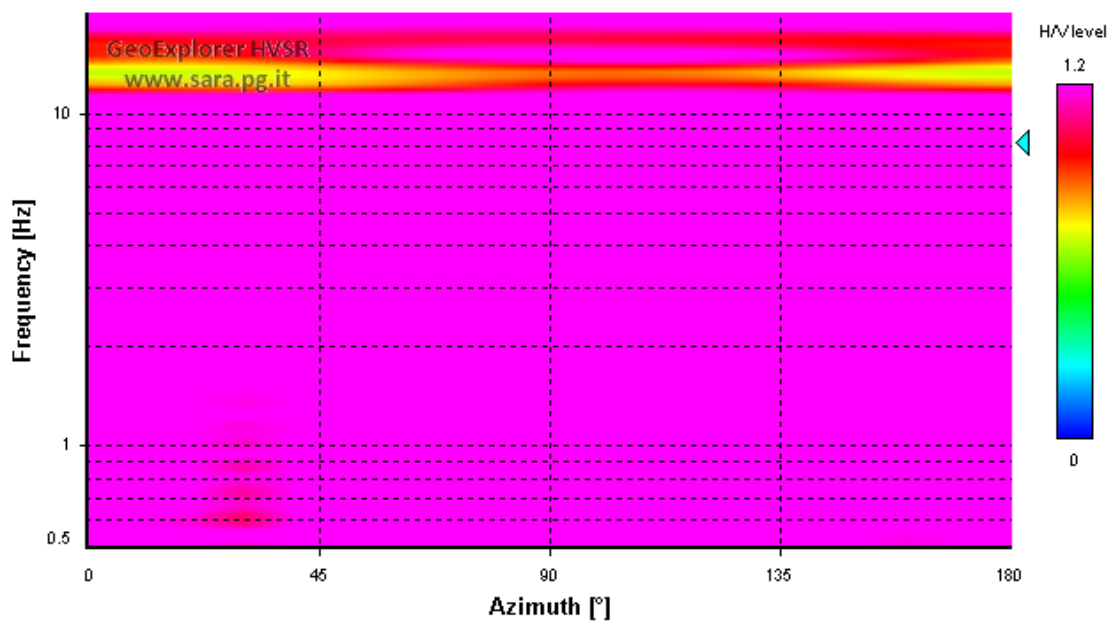
Numero totale finestre selezionate: 10
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di lisciamiento: Konno-Ohmachi (coef. di banda: 40)



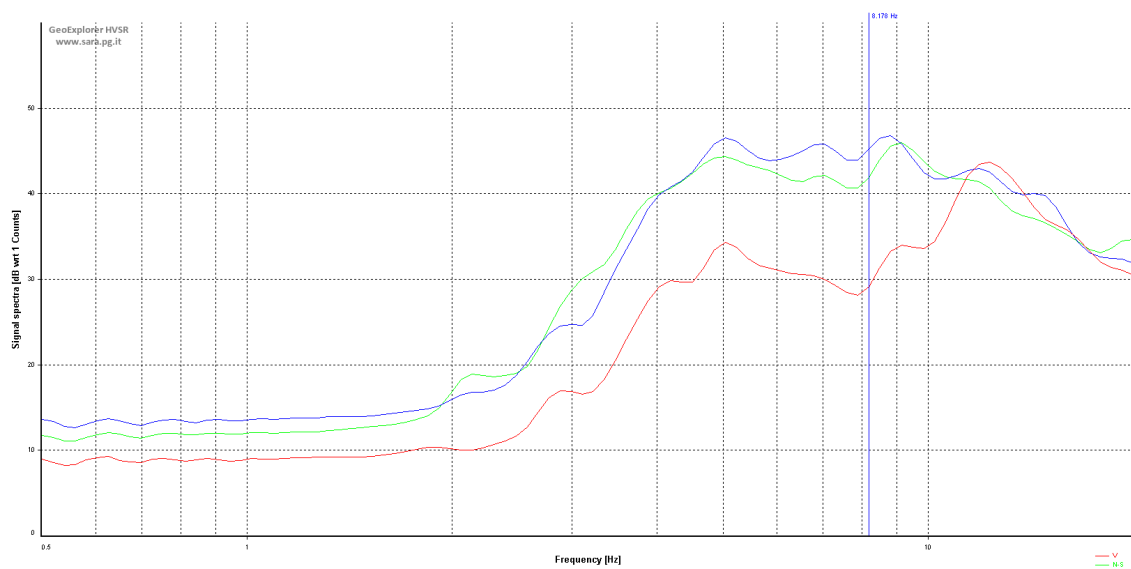
Grafici degli spettri:



Mapa della stazionarietà degli spettri



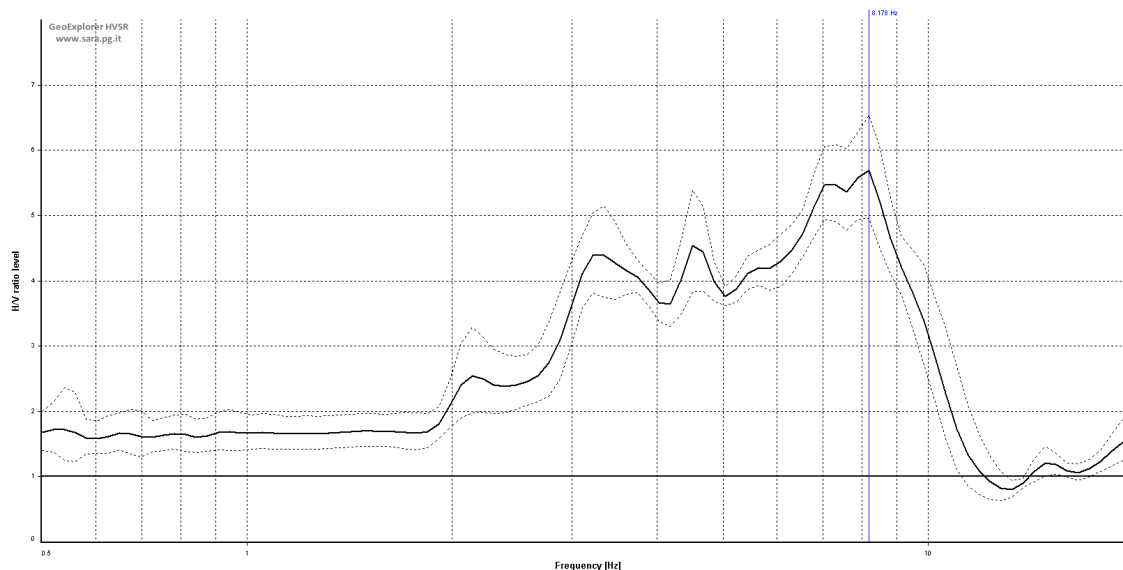
Mapa della direzionalità degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

Frequenza del picco del rapporto H/V: $7,81 \text{ Hz} \pm 0,51 \text{ Hz}$



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME

HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	10 valid windows (length > 1.22 s) out of 10	OK
$n_c(f_0) > 200$	1635.62 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 37	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	2.77563 Hz	OK
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	10.61521 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.69 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.50512 >= 0.4089	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.1482 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Di seguito si hanno i vari parametri precedentemente usati nelle verifiche:

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la 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 alla quale $A_{H/V}(f) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla 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 la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Analisi dei risultati

Frequenza fondamentale di sito f_0 : 7,81 Hz

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

E' stato riscontrato un picco significativo nella curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico: 0,5-20 Hz.

Il sottosuolo tende ad avere una ben determinata frequenza propria di oscillazione (frequenza fondamentale di sito f_0) pari a 7,81 Hz. Pertanto la struttura sovrastante subirà amplificazioni di oscillazione se la propria frequenza di oscillazione sarà dello stesso ordine di grandezza della frequenza fondamentale di sito f_0 .

Il progettista calcolatore dovrà confrontare la frequenza fondamentale di sito e la frequenza propria di oscillazione della struttura al fine di valutare effetti di risonanza tra terreno e struttura, possibilmente da evitare vista la loro pericolosità.

14.3. Analisi del rischio sismico – Risposta sismica locale

Le condizioni locali possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti di cui si deve tener conto nella valutazione della pericolosità sismica di un'area. Gli effetti indotti da particolari condizioni geologico-morfologiche sono infatti in grado di produrre danni diversificati su fabbricati con caratteristiche analoghe, entro zone anche ravvicinate (fino a poche decine di m). In tali situazioni si possono verificare fenomeni di focalizzazione dell'energia sismica incidente, con esaltazione delle ampiezze delle onde, fenomeni di riflessione multipla con variazione delle ampiezze delle vibrazioni e delle frequenze del moto.

Il primo elemento indispensabile per qualsiasi studio finalizzato al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico è l'individuazione della categoria del terreno. Nel caso in esame la definizione di questo parametro è stata ottenuta mediante l'esecuzione delle indagini sismiche e geognostiche (vedi paragrafi precedenti).

Il sito in esame, secondo i PGT comunale, presenta scenario di pericolosità sismica locale Z4a con la possibilità che si verifichino amplificazioni sismiche.

Gli effetti di amplificazione sismica locale o di sito sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che il terremoto di riferimento, relativo al bedrock, può subire durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali. Si distinguono quindi gli effetti di amplificazione topografica e quelli di amplificazione litologica. Gli effetti di amplificazione topografica si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali articolate e da irregolarità topografiche in generale.

Per l'analisi del rischio sismico si è adottata la procedura consigliata dal DGR 8/1566-2005 e pertanto, sulla scorta delle indagini eseguite, elaborato un modello geofisico del sito.

Il modello sismico ha consentito il calcolo del periodo proprio del sito T utilizzando la seguente equazione proposta dalla normativa di riferimento:

$$T = \frac{4 \sum h_i}{\sum V_{s_i} * h_i}$$

In cui:

h_i = spessore del singolo strato V_{si} = velocità del singolo strato
 Sito OPN652 $T = 0,129 \text{ m/s}$

Ritenendo la componente sabbiosa predominante e a seguito dell'andamento delle V_s con la profondità, è stata selezionata la scheda di riferimento: "litologia limoso-sabbiosa tipo 1"; scheda fornita dalla Regione Lombardia – Territorio e Urbanistica.

Il valore di F_a viene quindi calcolato sulla base degli abachi disponibili nelle due ipotesi di verifica. La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto per il sito di riferimento con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (classi B, C, D ed E delle Norme Tecniche per le Costruzioni) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 secondi.

La scelta della curva di correlazione T/F_a all'interno della scheda di valutazione è avvenuta tramite individuazione dello spessore e della velocità V_s dello strato superficiale, che ha portato a selezionare la curva 2.

Il fattore di amplificazione è stato quindi stimato mediante le formule:

$$F_{a0,5-1,5} = -0,67T^2 + 1,3T + 0,93$$

$$F_{a0,1-0,5} = -9,5T^2 + 6,3T + 0,73$$

I valori di F_a così ottenuti sono

$$F_{a0,5-1,5} = 1,08 \quad F_{a0,1-0,5} = 1,38$$

Considerando i fattori di amplificazione ricavati, si conferma la categoria di sottosuolo B individuata con la prova MASW.

14.4. Parametri Sismici

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Classe d'uso: II. (Reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza)

Vita nominale: 50 [anni]

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

	Prob. Superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
SLO	81	30	0,015	2,569	0,157
SLD	63	50	0,019	2,552	0,166
SLV	10	475	0,040	2,658	0,280
SLC	5	975	0,048	2,724	0,304

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,590	1,000	0,004	0,002	0,176	0,200
SLD	1,200	1,570	1,000	0,005	0,002	0,221	0,200
SLV	1,200	1,420	1,000	0,010	0,005	0,471	0,200
SLC	1,200	1,400	1,000	0,012	0,006	0,571	0,200

14.5. 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 $U_c > 3.5$.

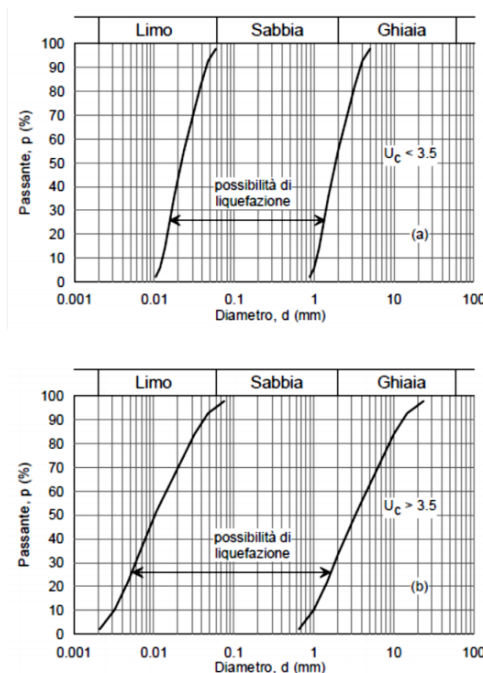


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici suscettibili di liquefazione

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

Categoria	Morfologia	Liquefazione
A	Letti di fiume, antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, zone interdunal	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune, pianure di esondazione, spiagge	Possibile
C	Terrazzi, colline, montagne	Impossibile

In virtù della successione stratigrafica individuata, si ritiene improbabile il fenomeno della liquefazione.

In conformità a quanto previsto nelle NTC2018 cap. 7.11.3.4.2 per il verificarsi dei punti “2, 4 e 5” si omette la verifica alla liquefazione.

14.6. Caratterizzazione e modellazione geotecnica

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

Profondità [m]	Tipologia	Cu [kPa]	E _{edom} [MPa]	Φ [°]	E [MPa]	γ [kN/m ³]	γ _s [kN/m ³]	Permeabi- tà [m/s]	V _{s,eq} [m/s]	F ₀ [Hz]	Categor- ia sottosu- olo	Categori- a topografi- ca
0,20 – 2,50	Ghiaia in matrice sabbioso- limosa	--	--	--	--	18	19	--	398	7,8	B	T1
2,50 – 9,00	Sabbia con ghiaia	--	--	37	--	18	19	1,1E-07				
9,00 – 20,00	Ghiaia in matrice sabbiosa	--	--	38	--	19	20	6,7E-08				

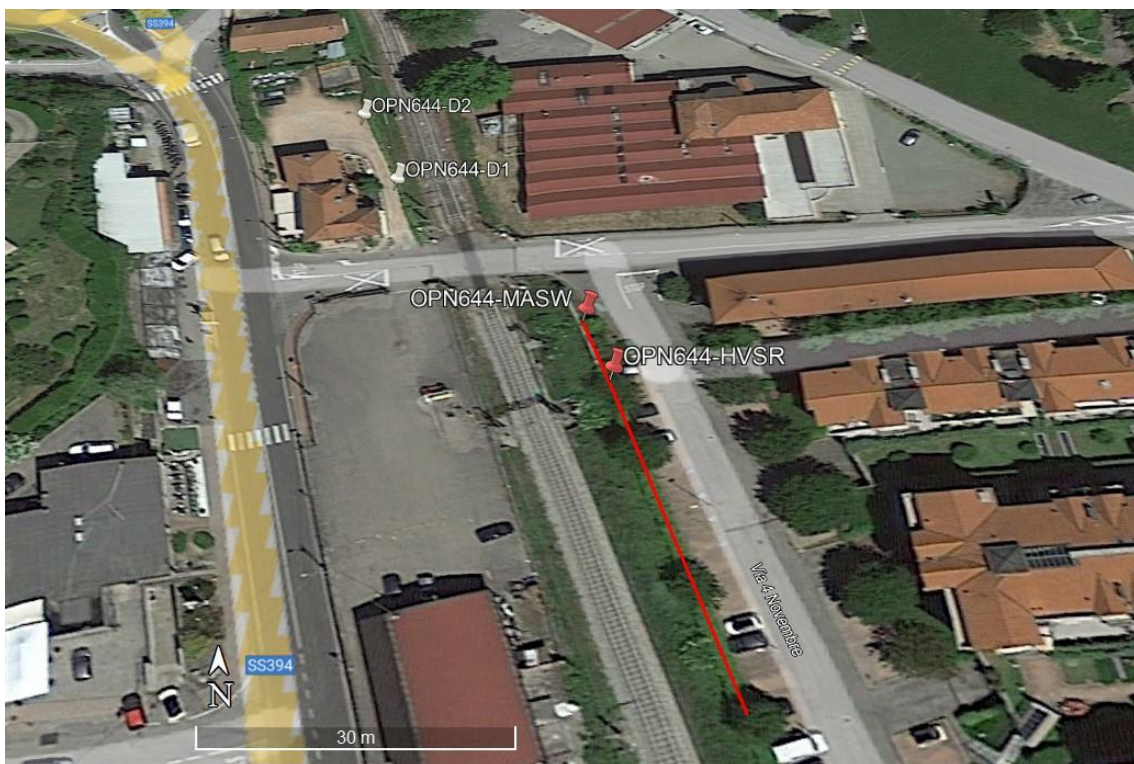
Verifiche geotecniche

La relazione geotecnica è a tutti gli effetti un elaborato progettuale; essa fornisce valutazioni precise sull’opera o meglio sul sistema struttura-terreno; pertanto, come definito dal punto 6.2.2, non può più prescindere dall’opera vera e propria e non può fornire calcoli ed indicazioni esemplificativi. Per quanto sopra la redazione di tale elaborato prevede una stretta interazione tra geotecnico e strutturista.

TAVOLE TECNICHE



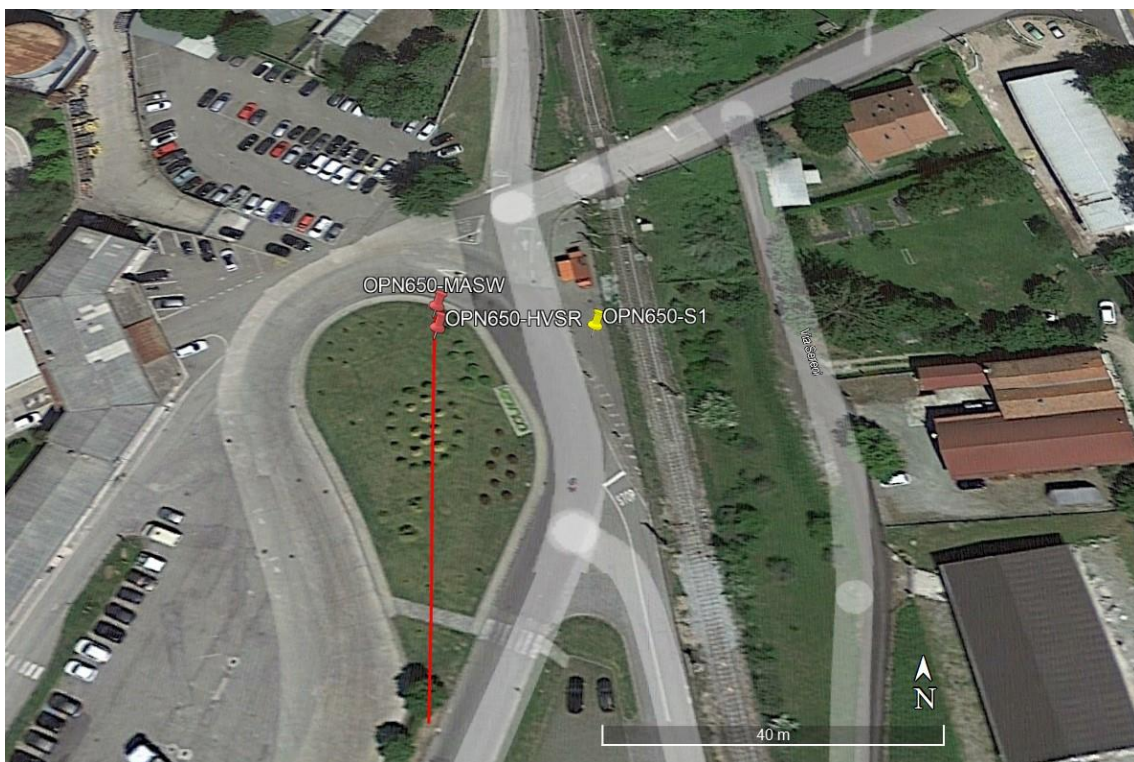
OPN 643 - Ubicazione planimetrica delle indagini



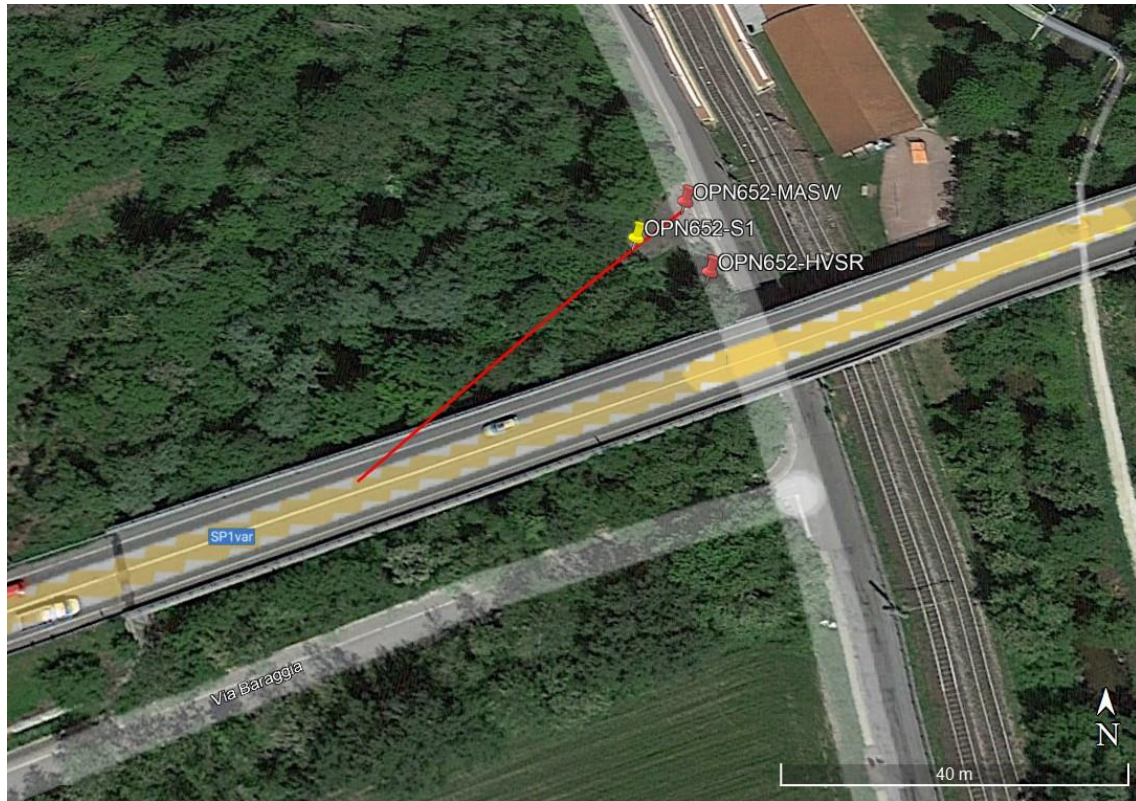
OPN 644 - Ubicazione planimetrica delle indagini



OPN 646/OPN 647 - Ubicazione planimetrica delle indagini



OPN 650 - Ubicazione planimetrica delle indagini



OPN 652 - Ubicazione planimetrica delle indagini

Committente: Nord_Ing Srl	Sondaggio: Opn643
Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio	Data: 27-29/07/2022
Coordinate:	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :75

STRATIGRAFIA

Pagina 1/1

Cass.	Campioni	prove in foro	Standard Penetration Test			metri batt.	DH	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
			m	S.P.T.	N					
1			1.5	3-4-4	8				0.25	Calcestruzzo
										Limo più o meno sabbioso con ghiaia
2						1				
						2				
						3			2.50	Trovanti rocciosi
						4				
						5				
						6				
						7				
						8				
						9				
						10			10.00	

Terreno conservato in N° 2 cassette catalogatrici.
 Foto delle cassette catalogatrici.
 Fornitura e posa di tubo in PVC cieco per esecuzione di prova down hole.
 Fornitura e posa di pozzetto metallico.

Committente: Nord_Ing Srl

Sondaggio: Opn643

Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio

Data: 27-29/07/2022

Fotografie - Pagina 1/1

Pagina 1



Cassetta n° 1 - profondità da m 0.00 a m 5.00



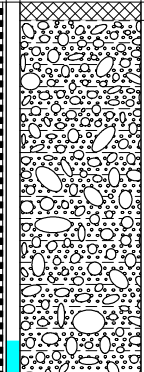
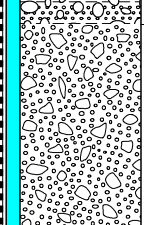
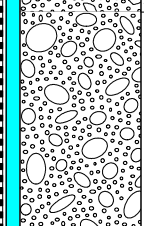
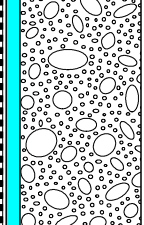
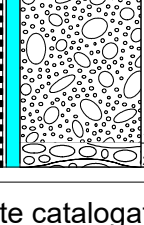
Cassetta n° 2 - profondità da m 5.00 a m 10.00

Committente: Nord_Ing Srl	Sondaggio: Opn647-S1
Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio	Data: 21-22/07/2022
Coordinate:	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :125

STRATIGRAFIA

Pagina 1/1

Cass.	Campioni	prove in foro	Standard Penetration Test			metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
			m	S.P.T.	N				
1	1) Rim < 1.50 2.00		1.5	3-4-5	9	1		0.30	Conglomerato bituminoso e sottofondo stradale
						2			Sabbia con ghiaia deb. limosa
	2) Rim < 3.00 3.50		3.0	4-6-7	13	3			
	3) Rim < 4.50 5.00		4.5	3-4-5	9	4			
2						5			
	4) Rim < 6.00 6.50		6.0	9-10-17	27	6		6.50	Sabbia con ghiaia e ciottoli
						7			
	5) Rim < 9.00 9.50		9.0	31-50/10cm	Rif	8			
3						9			
						10		10.00	Ghiaia con ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa
	6) Rim < 12.00 12.50		12.0	38-50/12cm	Rif	11			
						12			
4						13			
	7) Rim < 15.00 15.50		15.0	50/8cm	Rif	14			
						15			
						16			
						17			
	8) Rim < 18.00 18.50		18.0	50/6cm	Rif	18			
						19			
						20		19.60 20.00	Sabbia e trovanti rocciosi

Terreno conservato in N° 4 cassette catalogatrici.

Foto delle cassette catalogatrici.

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

Campioni ambientali:

- Opn647-S1Ca1: da 0.0 a 1.0 m
- Opn647-S1Ca2: da 2.0 a 4.0 m
- Opn647-S1Ca3: da 5.0 a 6.0 m

Committente: Nord_Ing Srl

Sondaggio: Opn647-S1

Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio

Data: 21-22/07/2022

Fotografie - Pagina 1/2

Pagina 1



Cassetta n° 1 - profondità da m 0.00 a m 5.00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5.00 a m 10.00

Committente: Nord_Ing Srl

Sondaggio: Opn647-S1

Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio

Data: 21-22/07/2022

Fotografie - Pagina 2/2

Pagina 2



Cassetta n° 3 - profondità da m 10.00 a m 15.00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15.00 a m 20.00

Committente: Nord_Ing Srl	Sondaggio: Opn647-S2
Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio	Data: 25-26/07/2022
Coordinate:	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :200

STRATIGRAFIA

Pagina 1/1

Cass.	Campioni	prove in foro	Standard Penetration Test			metri batt.	DH	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
			m	S.P.T.	N					
1	1) Rim < 1.50 2.00		1.5	3-2-2	4	1			0.30	Conglomerato bituminoso e sottofondo stradale
	2) Rim < 3.00 3.50		3.0	6-7-7	14	2				Limo più o meno sabbioso marrone con ghiaia
	3) Rim < 4.50 5.00		4.5	4-5-7	12	3			3.00	Sabbia marrone
2	4) Rim < 6.00 6.50		6.0	4-6-7	13	4				
	5) Rim < 7.50 8.00		7.5	6-7-8	15	5				
	6) Rim < 9.00 9.50	Lefranc CV	9.0	5-6-6	12	6				
3	7) Rim < 12.00 12.50		12.0	10-16-19	35	7			10.00	Sabbia marrone con poca ghiaia
						8				
						9				
4	8) Rim < 15.00 15.50		15.0	20-50/8cm	Rif	10			13.00	Ghiaia in matrice sabbiosa
						11				
						12			15.00	Ghiaia, ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa
5						13				
						14			17.00	Sabbia e trovanti rocciosi
						15				
6						16				
						17				
						18				
						19				
						20				
						21				
						22				
						23				
						24				
						25				
						26				
						27				
						28				
						29				
						30			30.00	

Terreno conservato in N° 6 cassette catalogatrici.
 Foto delle cassette catalogatrici.
 Fornitura e posa di tubo in PVC cieco per esecuzione di prova down hole.
 Fornitura e posa di pozzetto metallico.

Campioni ambientali:

- Opn647-S2Ca1: da 0.0 a 1.0 m
- Opn647-S2Ca2: da 2.0 a 4.0 m
- Opn647-S2Ca3: da 5.0 a 6.0 m

Committente: Nord_Ing Srl

Sondaggio: Opn647-S2

Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio

Data: 25-26/07/2022

Fotografie - Pagina 1/3

Pagina 1



Cassetta n° 1 - profondità da m 0.00 a m 5.00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5.00 a m 10.00

Committente: Nord_Ing Srl

Sondaggio: Opn647-S2

Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio

Data: 25-26/07/2022

Fotografie - Pagina 2/3

Pagina 2



Cassetta n° 3 - profondità da m 10.00 a m 15.00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15.00 a m 20.00

Committente: Nord_Ing Srl

Sondaggio: Opn647-S2

Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio

Data: 25-26/07/2022

Fotografie - Pagina 3/3

Pagina 3

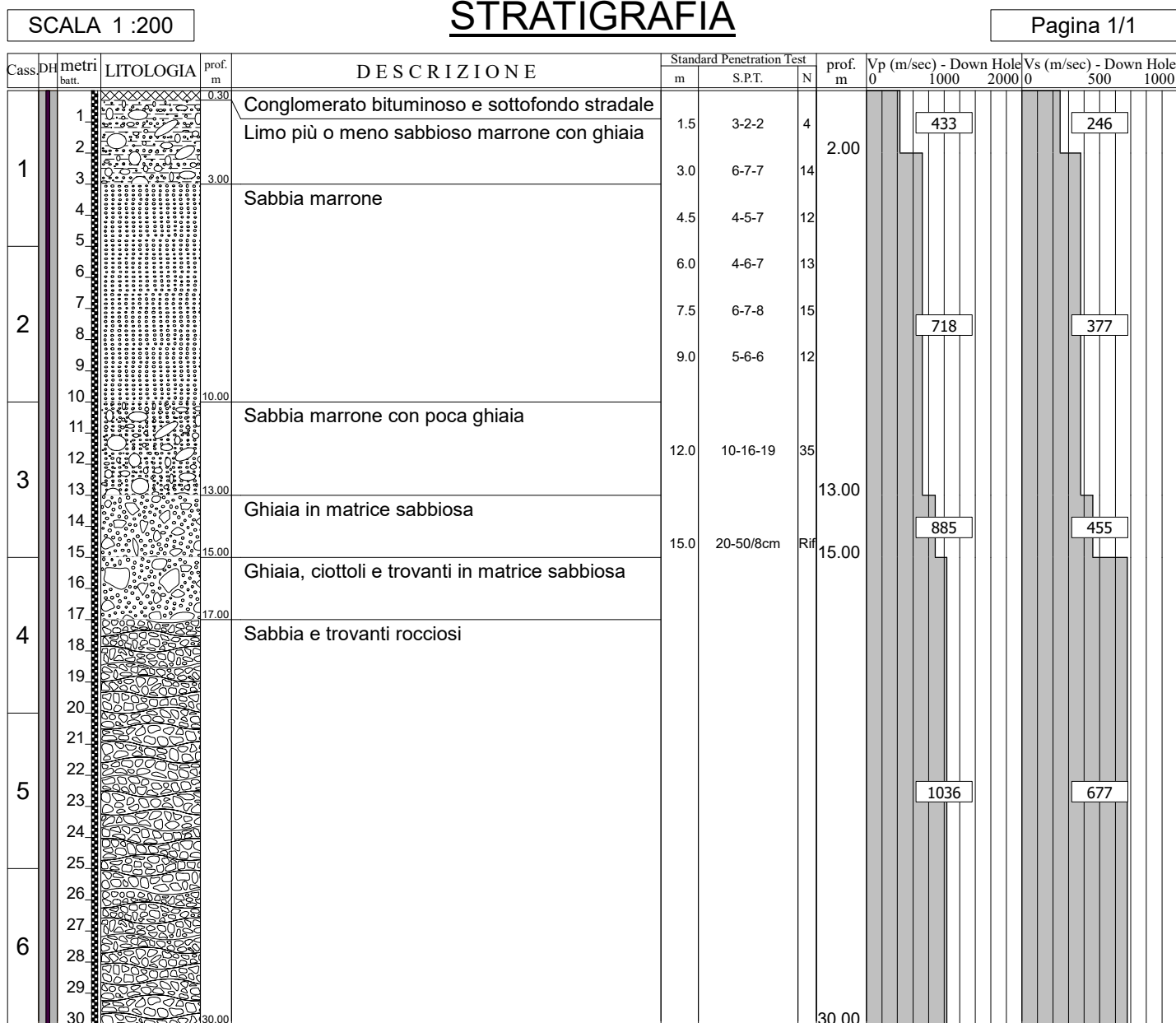


Cassetta n° 5 - profondità da m 20.00 a m 25.00



Cassetta n° 6 - profondità da m 25.00 a m 30.00

Committente: Nord_Ing Srl	Sondaggio: Opn647-S2
Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio	Data: 25-26/07/2022
Coordinate:	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	



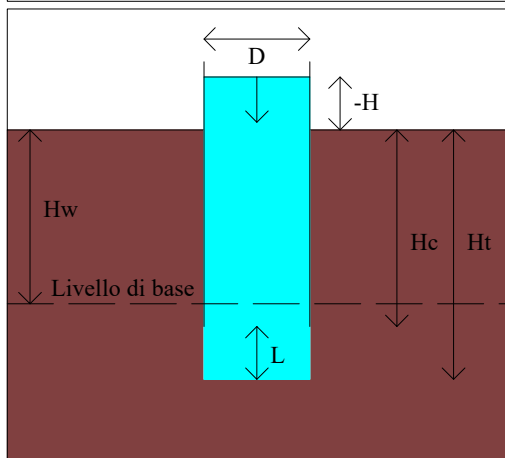
Terreno conservato in N° 6 cassette catalogatrici.
 Foto delle cassette catalogatrici.
 Fornitura e posa di tubo in PVC cieco per esecuzione di prova down hole.
 Fornitura e posa di pozzetto metallico.

Campioni ambientali:
 - Opn647-S2Ca1: da 0.0 a 1.0 m
 - Opn647-S2Ca2: da 2.0 a 4.0 m
 - Opn647-S2Ca3: da 5.0 a 6.0 m

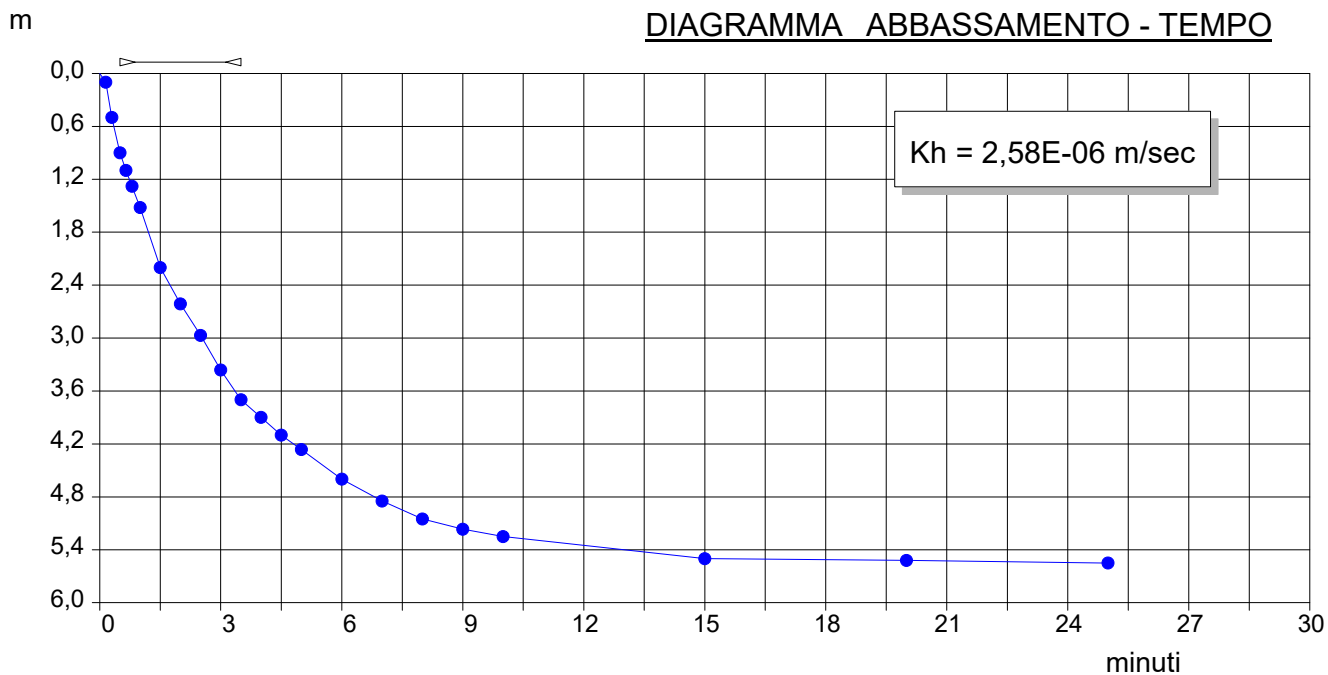
PROVA LEFRANC A CARICO VARIABILE

Committente: NORD_ING. S.R.L.	
Riferimento: OPN 647	Prova: 1
Località: GEMONIO (VA)	Data: 25/07/2022
Sondaggio: S2	Orario prova: 17:15

Prova eseguita in abbassamento
 Livello di base dell'acqua [Hw] (m) 5,50
 Livello dell'acqua dal p.c. [H] (m) -100,00
 Diametro del tratto di prova [D] (m) 0,127
 Profondità del rivestimento [Hc] (m) 8,20
 Profondità del foro [Ht] (m) 9,00
 Spessore del tratto di prova [L] (m) 0,80
 Coefficiente di forma 0,80



T min	H m	dH m	k m/sec	T min	H m	dH m	k m/sec
0,00	105,50	0,00		9,00	100,33	5,17	3,06E-07
0,15	105,40	0,10	1,67E-06	10,00	100,25	5,25	2,20E-07
0,30	105,00	0,50	6,69E-06	15,00	100,00	5,50	1,32E-07
0,50	104,60	0,90	5,04E-06	20,00	99,98	5,52	1,06E-08
0,65	104,40	1,10	3,37E-06	25,00	99,95	5,55	1,58E-08
0,80	104,22	1,28	3,04E-06				
1,00	103,98	1,52	3,04E-06				
1,50	103,30	2,20	3,46E-06				
2,00	102,89	2,61	2,12E-06				
2,50	102,53	2,97	1,83E-06				
3,00	102,14	3,36	2,01E-06				
3,50	101,80	3,70	1,76E-06				
4,00	101,60	3,90	1,04E-06				
4,50	101,40	4,10	1,04E-06				
5,00	101,24	4,26	8,52E-07				
6,00	100,90	4,60	8,79E-07				
7,00	100,65	4,85	6,48E-07				
8,00	100,45	5,05	5,32E-07				

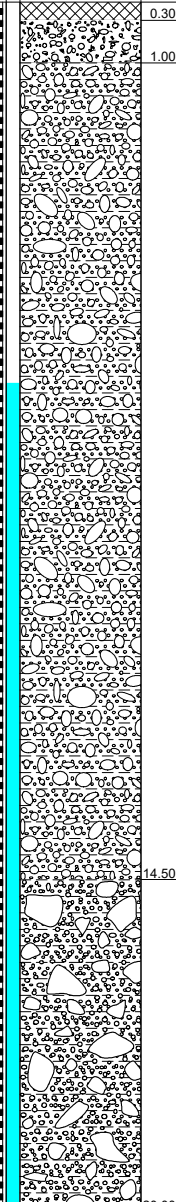
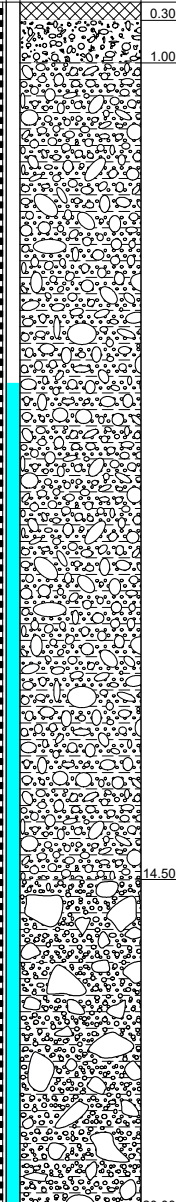
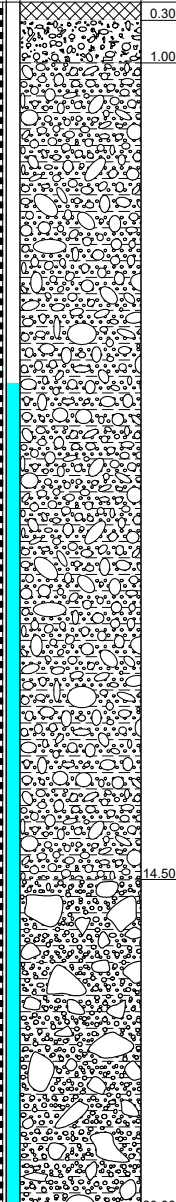
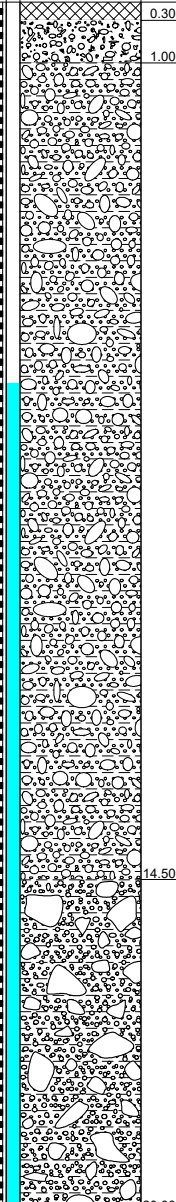
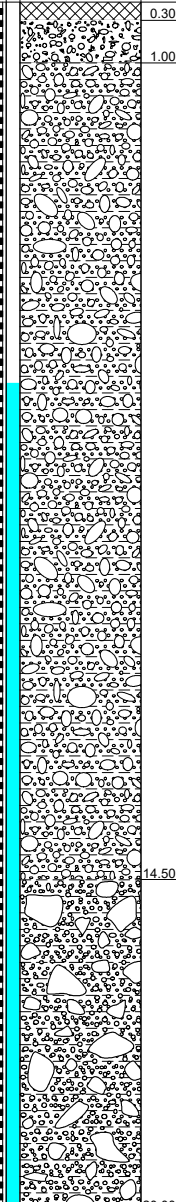
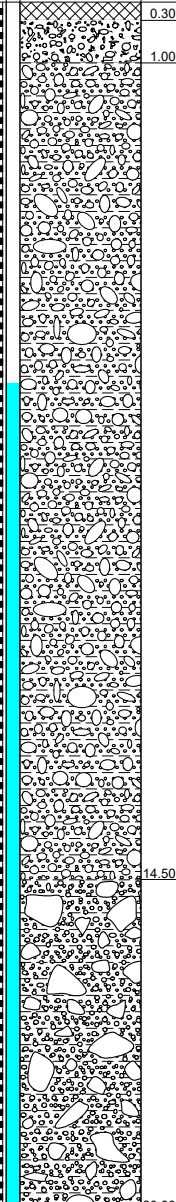
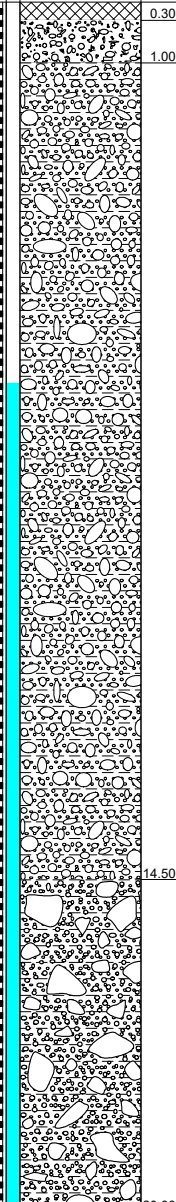


Committente: Nord_Ing Srl	Sondaggio: Opn650-S1
Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio	Data: 11-12/07/2022
Coordinate:	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1:125

STRATIGRAFIA

Pagina 1/1

Cass.	Campioni	prove in foro	Standard Penetration Test			metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
			m	S.P.T.	N				
1	1) Rim < 1.50 2.00		1.5	5-7-6	13	1		0.30	Conglomerato bituminoso
								1.00	Sabbia con ghiaia e cotto
2	2) Rim < 3.00 3.50		3.0	5-5-5	10	3			Sabbia più o meno limosa con ghiaia
3	3) Rim < 6.00 6.50		6.0	13-11-25	36	6			
4	4) Rim < 9.00 9.50		9.0	50/12cm	Rif	9			
5	5) Rim < 12.00 12.50		12.0	38-50/7cm	Rif	12			
6	6) Rim < 15.00 15.50		15.0	45-50/1cm	Rif	15		14.50	Ghiaia, ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa e limosa
7	7) Rim < 18.00 18.50		18.0	50/2cm	Rif	18			
						20		20.00	

Terreno conservato in N° 4 cassette catalogatrici.

Foto delle cassette catalogatrici.

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

Campioni ambientali:

- Opn650-S1Ca1: da 0.0 a 1.0 m
- Opn650-S1Ca2: da 2.0 a 4.0 m
- Opn650-S1Ca3: da 5.0 a 6.0 m

Committente: Nord_Ing Srl

Sondaggio: Opn650-S1

Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio

Data: 11-12/07/2022

Fotografie - Pagina 1/2

Pagina 1



Cassetta n° 1 - profondità da m 0.00 a m 5.00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5.00 a m 10.00

Committente: Nord_Ing Srl

Sondaggio: Opn650-S1

Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio

Data: 11-12/07/2022

Fotografie - Pagina 2/2

Pagina 2



Cassetta n° 3 - profondità da m 10.00 a m 15.00



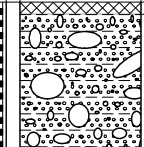
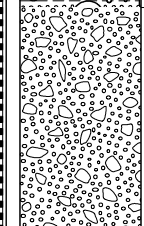
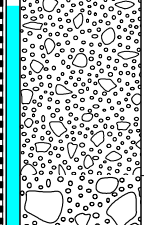
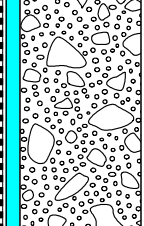
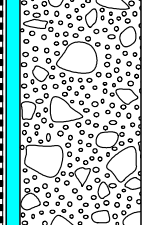
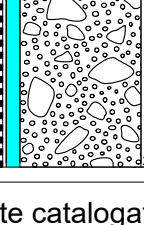
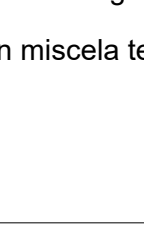

Cassetta n° 4 - profondità da m 15.00 a m 20.00

Committente: Nord_Ing Srl	Sondaggio: Opn652-S1
Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio	Data: 06-08/07/2022
Coordinate:	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1:125

STRATIGRAFIA

Pagina 1/1

Cass.	Campioni	prove in foro	Standard Penetration Test			metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
			m	S.P.T.	N				
1	1) Rim < 1.50 2.00		1.5	5-6-8	14	1		0.20	Conglomerato bituminoso Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa e limosa
	2) Rim < 3.00 3.50		3.0	6-22-27	49	2		2.50	Sabbia a tratti anche debolmente limosa con ghiaia
2	3) Rim < 6.00 6.50		6.0	6-9-12	21	3			
	4) Rim < 9.00 9.50		9.0	50/10cm	Rif	4			
3	5) Rim < 12.00 12.50		12.0	48-50/2cm	Rif	5			
	6) Rim < 15.00 15.50		15.0	50/13cm	Rif	6		9.00	Ghiaia, ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa
4	7) Rim < 18.00 18.50		18.0	50/6cm	Rif	7			
						8			
						9			
						10			
						11			
						12			
						13			
						14			
						15			
						16			
						17			
						18			
						19			
						20		20.00	

Terreno conservato in N° 4 cassette catalogatrici.

Foto delle cassette catalogatrici.

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

Campioni ambientali:

- Opn652-S1Ca1: da 0.0 a 1.0 m
- Opn652-S1Ca2: da 2.0 a 4.0 m
- Opn652-S1Ca3: da 5.0 a 6.0 m

Committente: Nord_Ing Srl

Sondaggio: Opn652-S1

Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio

Data: 06-08/07/2022

Fotografie - Pagina 1/2

Pagina 1



Cassetta n° 1 - profondità da m 0.00 a m 5.00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5.00 a m 10.00

Committente: Nord_Ing Srl

Sondaggio: Opn652-S1

Riferimento: F31 - Raddoppio selettivo tra le stazioni di Gemonio e Cittiglio

Data: 06-08/07/2022

Fotografie - Pagina 2/2

Pagina 2



Cassetta n° 3 - profondità da m 10.00 a m 15.00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15.00 a m 20.00