

Dott. Stefano Fattorel
Geologo
(Albo dei Geologi del Veneto, n.790)
Via dei Furlani 115 - 31029 Vittorio Veneto (TV)
Codice Fiscale: FTTSFN68T12M089T
Partita Iva: 04435130267

Regione del Veneto - Provincia di Treviso - Comune di Mareno di Piave

Progetto

“Intervento di adeguamento e completamento dell’impianto sportivo denominato “*Cittadella dello Sport*” di Mareno di Piave, mediante ricavo di blocco spogliatoi e locale bar”.

INDAGINE GEOGNOSTICA INDAGINE GEOFISICA RELAZIONE GEOLOGICA



Committente: Comune di Mareno di Piave

Vittorio Veneto, 15 settembre 2020



SOMMARIO

OBIETTIVI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA.....	3
DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	3
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE GENERALI.....	6
INDAGINI IN SITO.....	9
TRINCEA T1 - STRATIGRAFIA E STIMA DEI PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO	10
TRINCEA T2 - STRATIGRAFIA E STIMA DEI PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO	11
TRINCEA T3 - STRATIGRAFIA E STIMA DEI PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO	12
CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELL' AREA DI INDAGINE.....	14
VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) E AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)	15
INDAGINE GEOFISICA CON LA METODOLOGIA MASW.....	18
DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW.....	19
<i>ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI.....</i>	<i>19</i>
<i>STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE.....</i>	<i>21</i>
RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA.....	23
<i>RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI MASW.....</i>	<i>23</i>
<i>RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI INDAGINE PASSIVA.....</i>	<i>24</i>
<i>RAPPRESENTAZIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE.....</i>	<i>25</i>
<i>ANALISI DEL PROFILO DELLE VELOCITA'.....</i>	<i>26</i>
<i>DETERMINAZIONE DELLE $V_{s,eq}$.....</i>	<i>29</i>
CATEGORIA STRATIGRAFICA.....	29
CATEGORIA TOPOGRAFICA.....	30
STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE.....	31
PERICOLOSITA' SISMICA.....	31
CONCLUSIONI.....	32

OGGETTO

Il sottoscritto, sulla base delle indicazioni ricevute dall'ufficio Lavori Pubblici, Urbanistica ed Ambiente di Mareno di Piave e da indagine geognostica e geofisica eseguite, ha redatto la presente Relazione Geologica secondo quanto previsto dal D.M. del 17-01-2018 - Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni (NTC2018)", finalizzata al progetto relativo ad un "*Intervento di adeguamento e completamento dell'impianto sportivo denominato "Cittadella dello Sport" di Mareno di Piave, mediante ricavo di blocco spogliatoi e locale bar*".

Il sito si trova sulla CTRN della Regione Veneto – MARENO DI PIAVE – scala 1:5000 - Elemento n.085134 (Fig. 1).

La "Carta delle Fragilità" del Comune di Mareno di Piave (fig. 2) indica l'area in perizia come "*Idonea*" e in microzona omogenea in prospettiva sismica 1.

OBIETTIVI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA

Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico dell'area.

Determinazione della stratigrafia e dei parametri geotecnici del terreno.

Indagine geofisica per la determinazione della V_{seq} .

DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Si elencano di seguito i documenti utilizzati per la redazione del presente elaborato:

- P.A.T. del comune di Mareno di Piave (TV).
- Studi di microzonazione sismica del comune di Mareno di Piave. (TV).
- CTRN, REGIONE VENETO, ELEMENTO n. 085134 MARENO DI PIAVE, scala 1:5000.
- NTC 2018 "Norme tecniche per le costruzioni".
- OPCM 3274 del 20.03.2003 e successive modifiche.
- D. M. LL. PP. dell'11-03-1988.
- Mappe di pericolosità sismica dell'I.N.G.V..

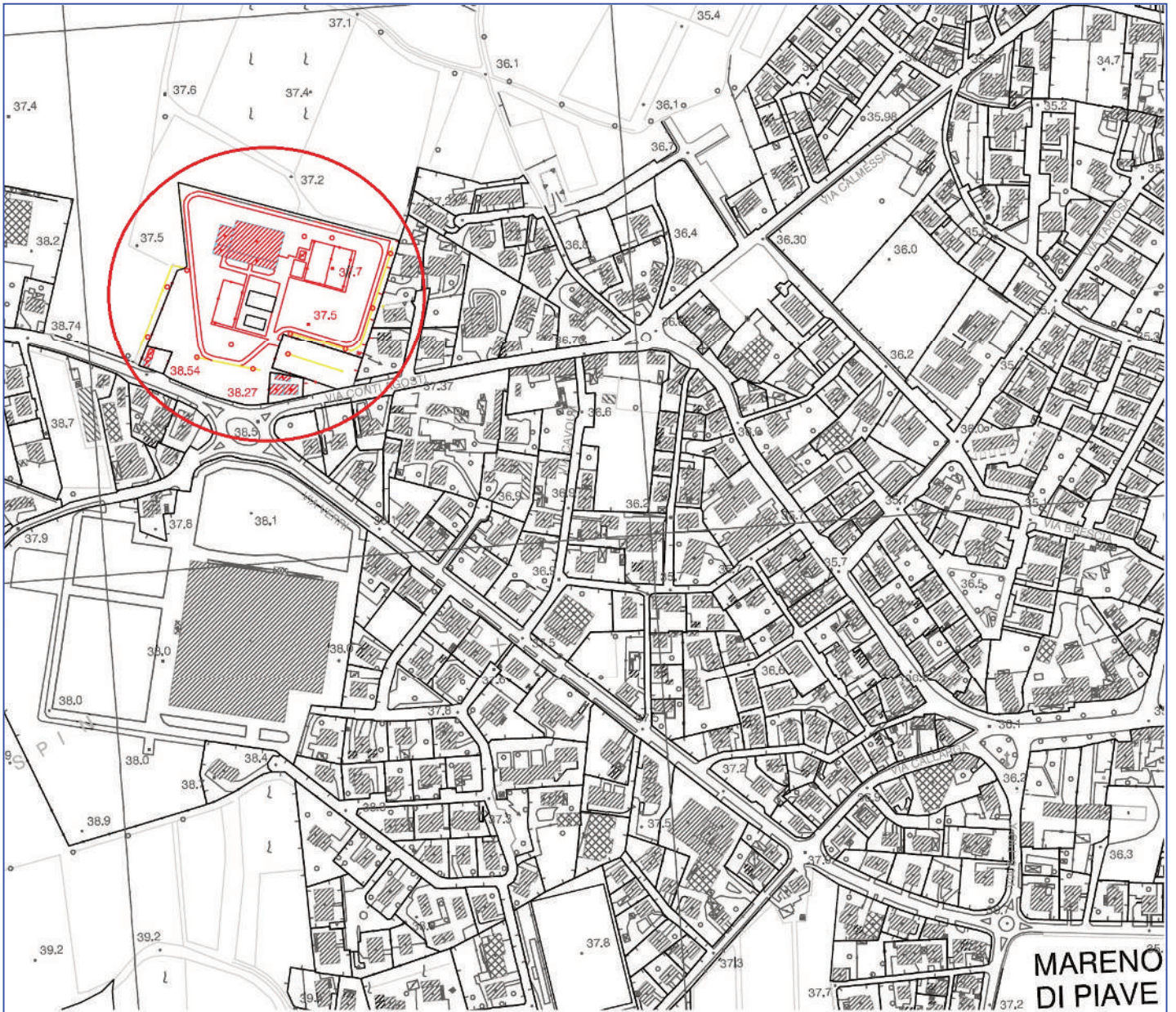


Figura 1

Ritaglio dalla CTR della Regione Veneto – MARENO DI PIAVE – scala 1:5000 - Elemento n.085134.

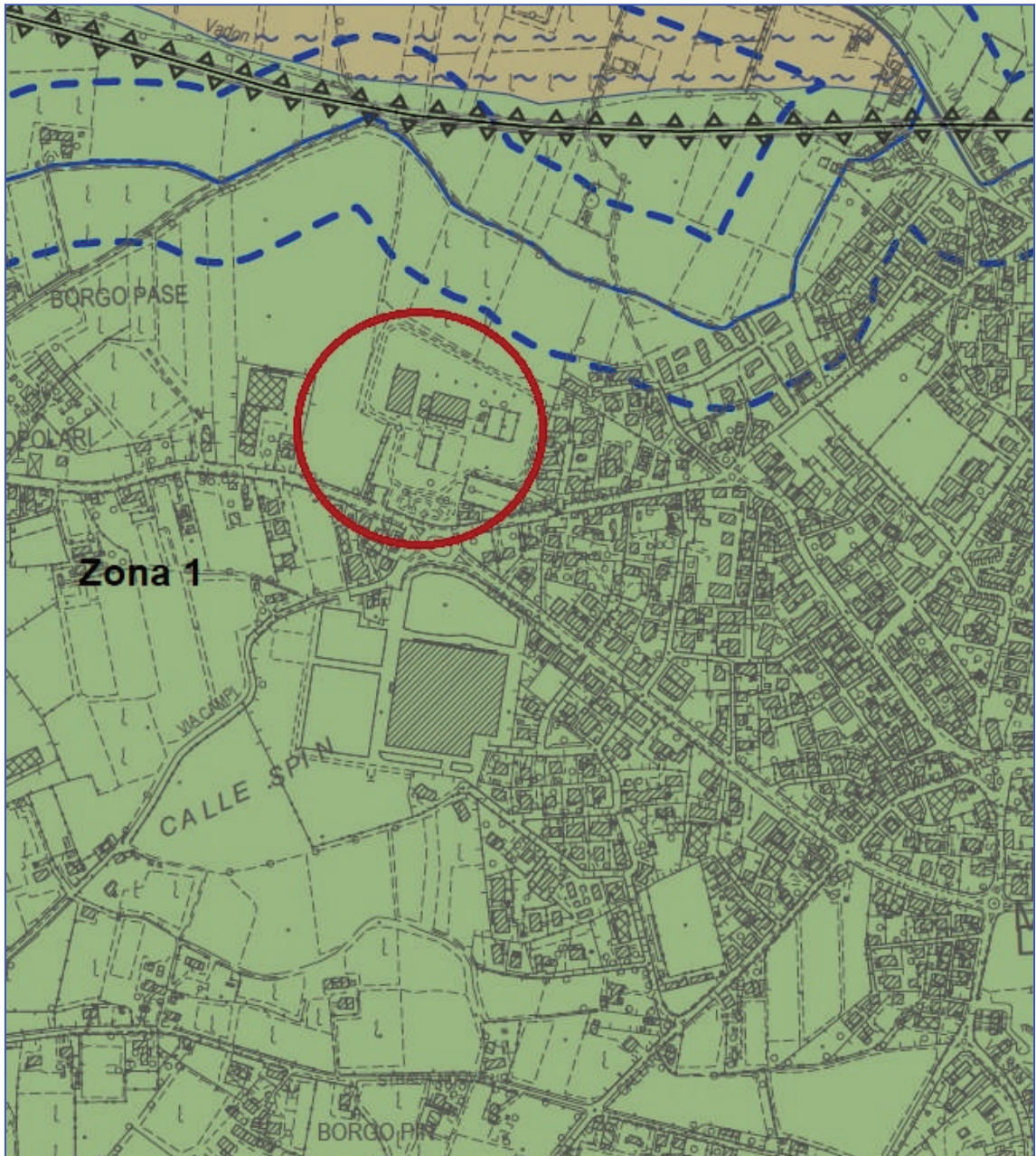


Figura 2
Ritaglio dalla Carta delle Fragilità del PAT del Comune di Treviso

CARATTERISTICHE GEOLOGICHE GENERALI

L'area è ubicata in Comune di Mareno di Piave in Via Conti Agosti ad una quota di circa 37,5 m s.l.m.m. in un territorio di media pianura. Dal punto di vista geomorfologico ci si trova in corrispondenza del margine sinistro un dosso fluviale di origine quaternaria caratterizzato da una successione granulare molto potente. Si osserva che tale dosso, da studi pregressi e documentazione del PAT (figura 3), va gradatamente a terminare nella parte settentrionale dell'area (non interessata dalle opere in progetto).

Dal punto di vista geolitologico i terreni sono costituiti da una sequenza di materiali granulari (sabbie, ghiaie e ciottoli) caratterizzati da un progressivo aumento dell'addensamento con la profondità (figura 4); consultando sondaggi geologici a distruzione di nucleo per la terebrazione di pozzi si evince che il sito in oggetto presenta tale successione fino (almeno) a 15 metri di profondità. Si osserva tuttavia che al fine dello studio in progetto la conoscenza di ciò che sta oltre i 10 metri di profondità è priva di significato.

L'aumento progressivo dell'addensamento dei terreni granulari (o della loro consistenza se presenti terreni fini oltre i 15m) fino a 30 metri di profondità è anche confermato dall'analisi dei risultati emersi dall'indagine geofisica eseguita per il presente studio geologico.

Dal punto di vista idrogeologico l'area si colloca nella zona del materasso ghiaioso indifferenziato del megafan del fiume Piave. In particolare la falda nel sito in progetto si colloca tra i 10 e i 15 metri di profondità (figura 5).

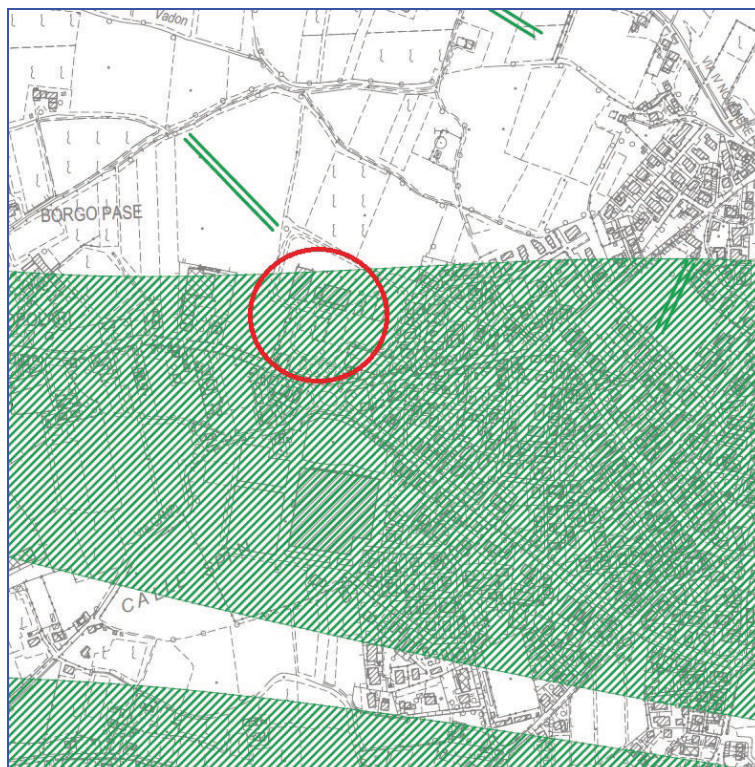


Figura 3

Ritaglio dalla Carta Geomorfologica del PAT del Comune di Mareno di Piave; il retinato verde rappresenta il dosso fluviale di origine quaternaria.

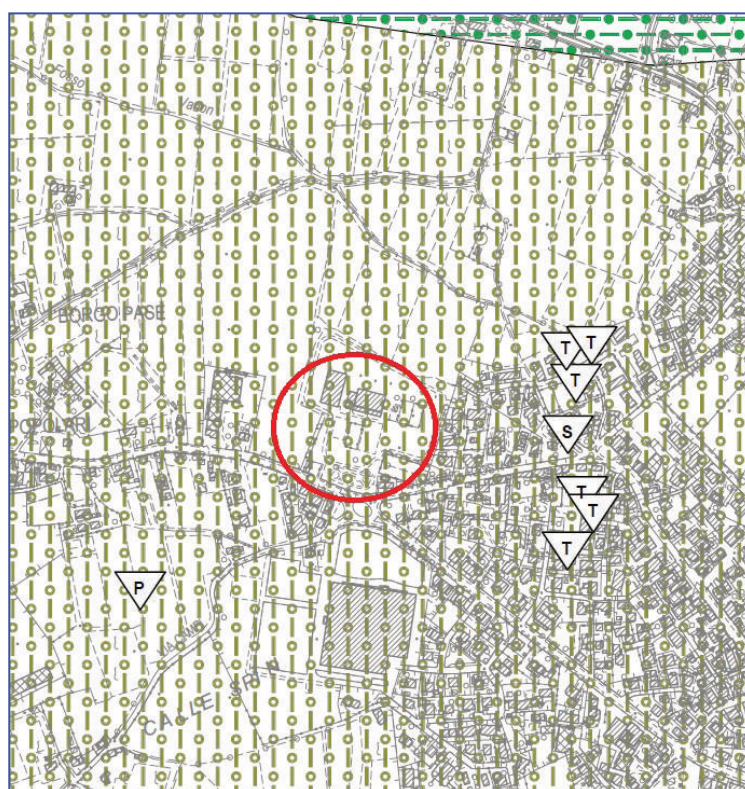


Figura 4

Ritaglio dalla Carta litologica del PAT del Comune di Mareno di Piave; la legenda indica materiali granulari fluviali antichi a tessitura prevalentemente ghiaioso sabbiosa più o meno addensati.

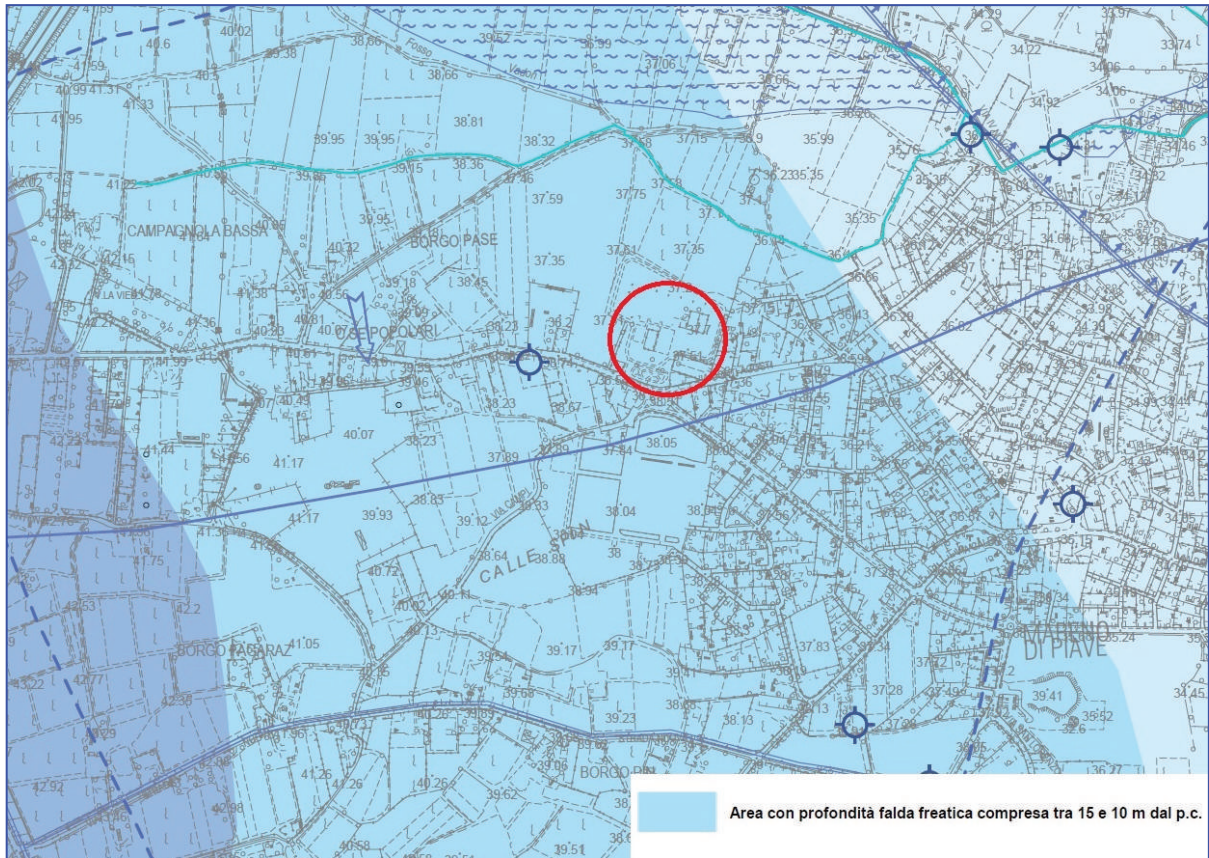


Figura 5
 Ritaglio dalla Carta Idrogeologica del PAT del Comune di Mareno di Piave.

INDAGINI IN SITO

Le indagini sono consistite in 3 trincee geognostiche eseguite mediante escavatore meccanico e un'indagine geofisica con metodologia MASW e REMI. Le Trincee hanno permesso di verificare i primi metri di sottosuolo e di stimare i parametri geotecnici utili al progettista per il dimensionamento delle opere di fondazione.

La trincea T1 è stata eseguita a ridosso dell'edificio in progetto relativo al blocco spogliatoi e locale bar e ha consentito di indagare una profondità di 2,5 metri da piano campagna.

Le trincee T2 e T3 sono state eseguite in corrispondenza di aree ove è previsto uno studio sulle modalità di accesso all'area e la formazione di aree di sosta. In relazione all'uso è stato condiviso col progettista di verificare il primo sottosuolo, fino a 1,5 metri da piano campagna, al fine di escludere impreviste coperture superficiali geotecnicamente scadenti.

L'ubicazione delle indagini è dettagliata alla figura 6.

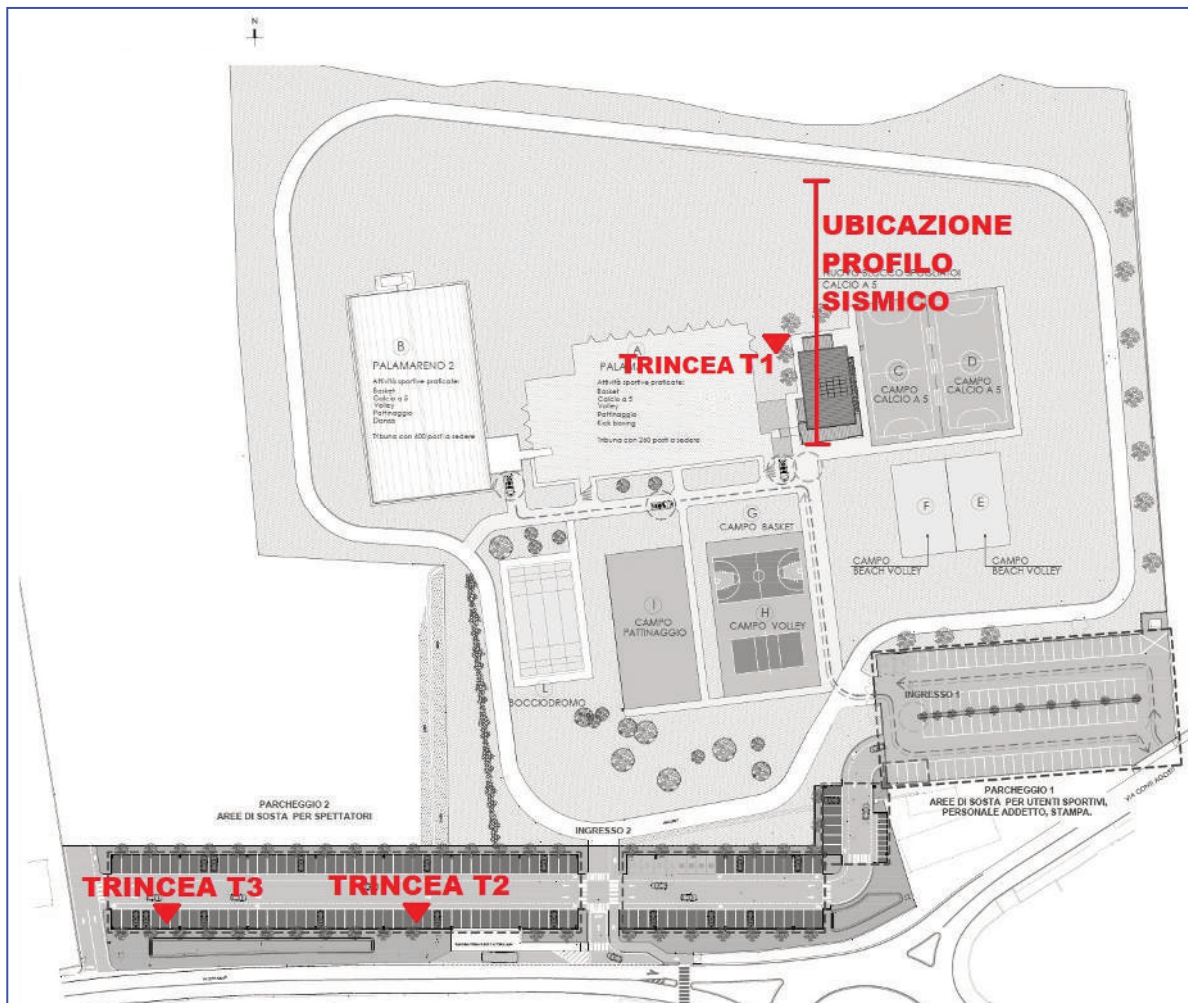


Figura 6 – Ubicazione indagini

TRINCEA T1 - STRATIGRAFIA E STIMA DEI PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO

Il quadro stratigrafico e geotecnico del primo sottosuolo, in base della trincea eseguita, è qui di seguito rappresentato (le quote sono *riferite al piano campagna della trincea*):

da (m)		Stratigrafia	Natura granulare	Natura coesiva Coesione non drenata	γ_{secco} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
			ϕ (gradi)	kPa		
0,0	-0,1	Cotica erbosa e terreno agrario	-	-	-	-
-0,1	-0,3	Ghiaie eterometriche in matrice sabbiosa poco addensate con ciottoli subarrotondati sparsi (ϕ max 10 cm).	34÷36°	-	18,0	20,0
-0,3	-0,9	Sabbia fine debolmente limosa, mediamente addensata, con ghiaie subarrotondate ed eterometriche sparse.	30÷32°	-	18,0	20,0
-0,9	-2,5	Ghiaie eterometriche da subspigolose a subarrotondate in matrice sabbiosa, con ciottoli sparsi (ϕ max 15 cm) mediamente addensate.	38°÷40°	-	20,0	22,0

TRINCEA T2 - STRATIGRAFIA E STIMA DEI PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO

Il quadro stratigrafico e geotecnico del primo sottosuolo, in base della trincea eseguita, è qui di seguito rappresentato (le quote sono riferite al piano campagna della trincea):

da (m)		Stratigrafia	Natura granulare	Natura coesiva Coesione non drenata	γ_{secco} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
			ϕ (gradi)	kPa		
0,0	-0,4	Terreno agrario	-	-	-	-
-0,4	-0,7	Ghiaie da subarrotondate a subspigolose, eterometriche, in matrice sabbiosa debolmente limosa mediamente addensate	32÷34°	-	18,0	20,0
-0,7	-1,5	Ghiaie da subarrotondate a subspigolose, eterometriche, in matrice sabbiosa poco addensate con ciottoli sparsi (ϕ max 10 cm).	38°÷40°	-	20,0	22,0

TRINCEA T3 - STRATIGRAFIA E STIMA DEI PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO

Il quadro stratigrafico e geotecnico del primo sottosuolo, in base della trincea eseguita, è qui di seguito rappresentato (le quote sono *riferite al piano campagna della trincea*):

da (m)		Stratigrafia	Natura granulare	Natura coesiva Coesione non drenata	γ_{secco} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
			ϕ (gradi)	kPa		
0,0	-0,3	Terreno agrario	-	-	-	-
-0,3	-0,7	Ghiaie eterometriche e ciottoli subarrotondati (ϕ max 10 cm), in matrice sabbiosa debolmente limosa, mediamente addensate	34÷36°	-	20,0	22,0
-0,7	-1,5	Ghiaie da subarrotondate a subspigolose, eterometriche, in matrice sabbiosa con ciottoli sparsi (ϕ max 10 cm), poco addensate.	38°÷40°	-	20,0	22,0



TRINCEA GEOGNOSTICA Tr1



TRINCEA GEOGNOSTICA Tr2



TRINCEA GEOGNOSTICA Tr3

CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELL'AREA DI INDAGINE

I livelli freaticometrici in corrispondenza in quest'area risultano variabili a causa delle fluttuazioni stagionali e dell'influenza del fiume Piave. Mediamente la falda si colloca qui tra i 10 e i 15 metri da piano campagna. Recenti rilevazioni nel territorio di Mareno di Piave e comuni limitrofi hanno evidenziato fluttuazioni più marcate anche in relazione alle modificate condizione di ricarica della falda condizionata da eventi meteorologici caratterizzati sempre più da piogge forti e persistenti; in tal senso si ipotizza che il livello freaticometrico si possa collocare, seppur raramente, tra i 5 e 10 metri da piano campagna.

Al fine quindi di ottenere la quota media di falda e le sue oscillazioni stagionali è necessario eseguire una campagna di indagine che esula dalle finalità della presente indagine poiché il livello di falda, anche in condizione sfavorevole, non interferisce con le opere in progetto.

L'analisi dei terreni superficiali, eseguita per il presente studio, ha evidenziato la presenza di tessiture granulari permeabili soprattutto oltre il primo metro da piano campagna. In via indicativa si stima, seguendo le indicazioni di tabella 1, entro il primo metro di profondità un coefficiente di permeabilità con valori compresi tra $K=5 \times 10^{-4} \text{ m/s} \div 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ mentre, oltre il metro, si stima una permeabilità buona con valori compresi tra $K=1 \times 10^{-3} \text{ m/s} \div 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$.

k (cm/s)	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
k (m/s)	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile					
Tipi di terreno	Ghiaie pulite		Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie		Sabbie fini	Miscele di sabbie e limi		Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi		Argille omogenee e compatte		

Tabella 1

Coefficiente di permeabilità K associata al tipo di terreno intercettato.

VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) E AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

A titolo preliminare viene fornita al progettista la presente verifica agli SLU e SLE.

VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Il terreno di appoggio di una trave rovescia impostata a -0,9 metri di profondità dal piano campagna è costituito da ghiaie mediamente addensate.

Secondo quanto riportato nelle norme tecniche NTC2018, teoricamente il valore caratteristico k di un parametro geotecnico rappresenta la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove; per determinarlo è quindi necessario disporre di un discreto numero di dati.

Nello specifico, dato una distribuzione di n valori c_u o C_u o ϕ' i valori caratteristici di riferimento sono determinabili attraverso la relazione

$$c_u/\phi',k = c_u/\phi' m (1+X.Vc)$$

dove:

$c_u/\phi',k$ = valore caratteristico del parametro geotecnico

$c_u/\phi' m$ = valore medio del parametro geotecnico

Vc = coefficiente di variazione (COV) del parametro, definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori;

X = parametro dipendente dalla legge di distribuzione della probabilità e dalla probabilità di non superamento adottato = 1.645

Nello specifico, prudenzialmente e dato il limitato numero di dati disponibili per il parametro considerato, ai fini della determinazione della resistenza di progetto R_d sono stati assunti i seguenti **parametri geotecnici caratteristici**, relativi allo strato granulare sabbioso sollecitato dalle tensioni trasmesse dalla fondazione:

angolo di attrito: $\phi',k = 38^\circ$

peso di volume sopra falda: $\gamma_{s,k} = 20.0 \text{ kN/m}^3$

peso di volume sotto falda: $\gamma_{d,k} = 22.0 \text{ kN/m}^3$

VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO R_d

Secondo le norme tecniche di riferimento, la verifica agli stati limite ultimi della fondazione prevede che sia soddisfatta la relazione $E_d \leq R_d$ dove:

E_d = Azione di progetto

R_d = Resistenza di progetto

Nello specifico la verifica è stata eseguita considerando:

Approccio 2 (DA2 -1) - (A1 + M1 + R3).

dove:

A = Azioni

(Combinazione A1 cui corrisponde un coefficiente parziale $\gamma_f = 1.3$)

M = Resistenza dei terreni

(Combinazione M1 cui corrisponde un coefficiente parziale $\gamma_m = 1.0$)

R = Resistenza globale del sistema

(Combinazione R3 cui corrisponde un coefficiente parziale $\gamma_R = 2.3$)

Dai parametri geotecnici caratteristici calcolati nel precedente paragrafo si perviene ai valori dei parametri di progetto mediante la relazione:

Parametro di progetto = Parametro caratteristico / γ_M

dove $\gamma_M = 1.0$; si confermano pertanto i seguenti **parametri geotecnici di progetto**:

angolo di attrito:	$\Phi = 38^\circ$
peso di volume sopra falda:	$\gamma_{s,k} = 20.0 \text{ kN/m}^3$
peso di volume sotto falda:	$\gamma_{d,k} = 22.0 \text{ kN/m}^3$

Si utilizza la formula di Terzaghi **considerando cautelativamente che il terreno di appoggio della fondazione si trovi in condizione sature e i fattori di capacità portante ridotti (come ipotizzato da Terzaghi per terreni che non siano molto addensati)**; si perviene quindi al seguente valore della resistenza degli strati di fondazione:

$R_k = \gamma D N'_q + 0.5 \gamma'_{,k} B/2 N'_\gamma$ nella quale:

R_k	=	kPa	Resistenza del terreno
B	=	0,8m	Larghezza fondazione
D	=	0,9m	Profondità di imposta fondazione
$\phi'_{,k}$	=	38°	Angolo di attrito
$\gamma_{s,k}$	=	20 kN/m^3	peso di volume sopra falda

$\gamma'_{,k}$	=	12 kN/m ³	peso di volume immerso
$N'q$	=	18,0	fattore di capacità portante ridotto
$N'\gamma$	=	20,0	fattore di capacità portante ridotto

Si ottiene:

$$R_k \cong 444 \text{ kPa}$$

Da cui si ricava il parametro:

$$\mathbf{Rd(resistenza di progetto) = R_k/\gamma_R = 444/2.3 \approx 193 \text{ kPa}}$$

(dove γ_R rappresenta il coefficiente parziale R3)

La **resistenza di progetto Rd** dovrà essere **confrontata con l'azione di progetto Ed**, qualora risultasse **Rd > Ed** la verifica agli stati limite ultimi SLU risulterà soddisfatta.

VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

La verifica agli stati limiti di esercizio di una fondazione nastriforme viene eseguita mediante la valutazione del cedimento immediato prevedibile dei terreni di fondazione, ipotizzando per il terreno un modello di comportamento di tipo elastico in condizioni drenate.

Il cedimento elastico prevedibile, per la fondazione in oggetto, è stimabile in: **S_{elastico} ≈ 1 cm**

INDAGINE GEOFISICA CON LA METODOLOGIA MASW

L'area in studio ricade in zona 1 per quel che riguarda la microzona omogenea in prospettiva sismica. Tale zona prevede amplificazioni di tipo stratigrafico in quanto i terreni sono caratterizzati da depositi di natura prevalentemente ghiaiosa mediamente addensati fino a 30 metri. Inoltre, secondo bibliografia, la fascia ove ricade il sito in progetto ricade generalmente in terreni di tipo B. Tuttavia, vista la distanza delle prove effettuate per lo studio di microzonazione sismica e la vicinanza a settentrione a suoli aventi V_{seq} più basse, è stato scelto di confermare tale categoria stratigrafica con l'esecuzione di uno studio geofisico sitospecifico.

L'indagine è consistita nell'esecuzione di n°1 stendimento sismico con metodo MASW attivo e passivo per la determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore V_s Equivalente, necessario per la classificazione dei terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2018 "D.M. 17 del 17/01/2018".



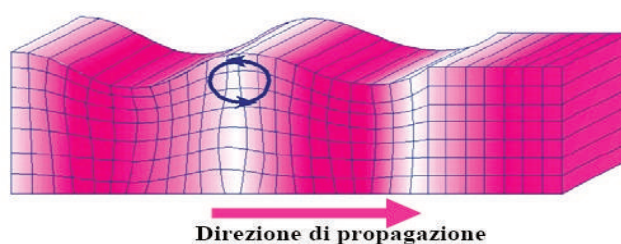
Dettaglio profilo sismico

DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW

ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

Le onde di Rayleigh sono generate dall'interazione tra le onde di pressione e le onde di taglio verticali ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Alla superficie libera hanno un moto ellittico retrogrado (antiorario) che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$. In un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, le onde di Rayleigh non presentano dispersione e la velocità di propagazione è indipendente dalla frequenza e il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente, sino ad estinguersi ad una profondità pari circa ad una lunghezza d'onda. Da questo deriva che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda, e che, a diverse lunghezze d'onda corrisponde la stessa velocità di fase. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è stata descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto alla direzione di propagazione dell'onda

In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, le onde superficiali mostrano un carattere fortemente dispersivo, cioè onde con diverse lunghezze viaggiano con diverse velocità di fase e di gruppo (Achenbah, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980). Ciò significa che lunghezze d'onda diverse interessano

strati differenti ai quali sono associate proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione; onde ad alta frequenza (con lunghezza d'onda corta) si propagano negli strati più superficiali mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.

Per ottenere un profilo delle Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. I dati acquisiti vengono sottoposti successivamente ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione (curva apparente derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione) caratteristica del sito in oggetto, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza.

Esistono diverse tecniche per estrarre dai sismogrammi acquisiti le caratteristiche dispersive del sito.

La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale nel dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti ad una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio-tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggior contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh e che le caratteristiche del sito siano tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. La velocità delle onde di Rayleigh è infatti associata ai massimi dello spettro f-k; si può così ottenere una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza un picco spettrale al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_r determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_r(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori V_r -f in un grafico si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione. La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione

misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Il processo di inversione si basa su algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati che consentono di automatizzare la procedura.

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte) hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE

Il metodo di indagine MASW adottato si distingue in:

Attivo (MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves): i geofoni rilevano le onde superficiali, prodotte da una sorgente impulsiva (massa battente) disposta a piano campagna, che vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza; le frequenze che interessano l'analisi sono generalmente comprese tra 5 e 70 Hz;

Passivo (REMI - Refractor Microtremor): i geofoni rilevano il rumore naturale (o di fondo); analizza generalmente le frequenze tra 0 e 10 Hz.

La campagna di acquisizione sismica è stata svolta utilizzando un acquisitore sismico della Sara Electronics Instruments, denominato DoReMi, composto da:

- due serie di cavi da 12 canali ciascuno, per un totale di 24 canali (frequenze variabili di acquisizione di ciascun canale da 200 a 20000 Hz);
- registratore sismico, posizionato in corrispondenza di ogni geofono, per la memorizzazione del dato ricevuto dal sensore e l'invio in modalità digitale al PC;
- convertitore analogico digitale di tipo SAR a 16 bit con una dinamica di 88dB a 10000Hz,;
- interfaccia RS232 sismografo – PC

L'acquisizione dei dati sismici è così avvenuta:

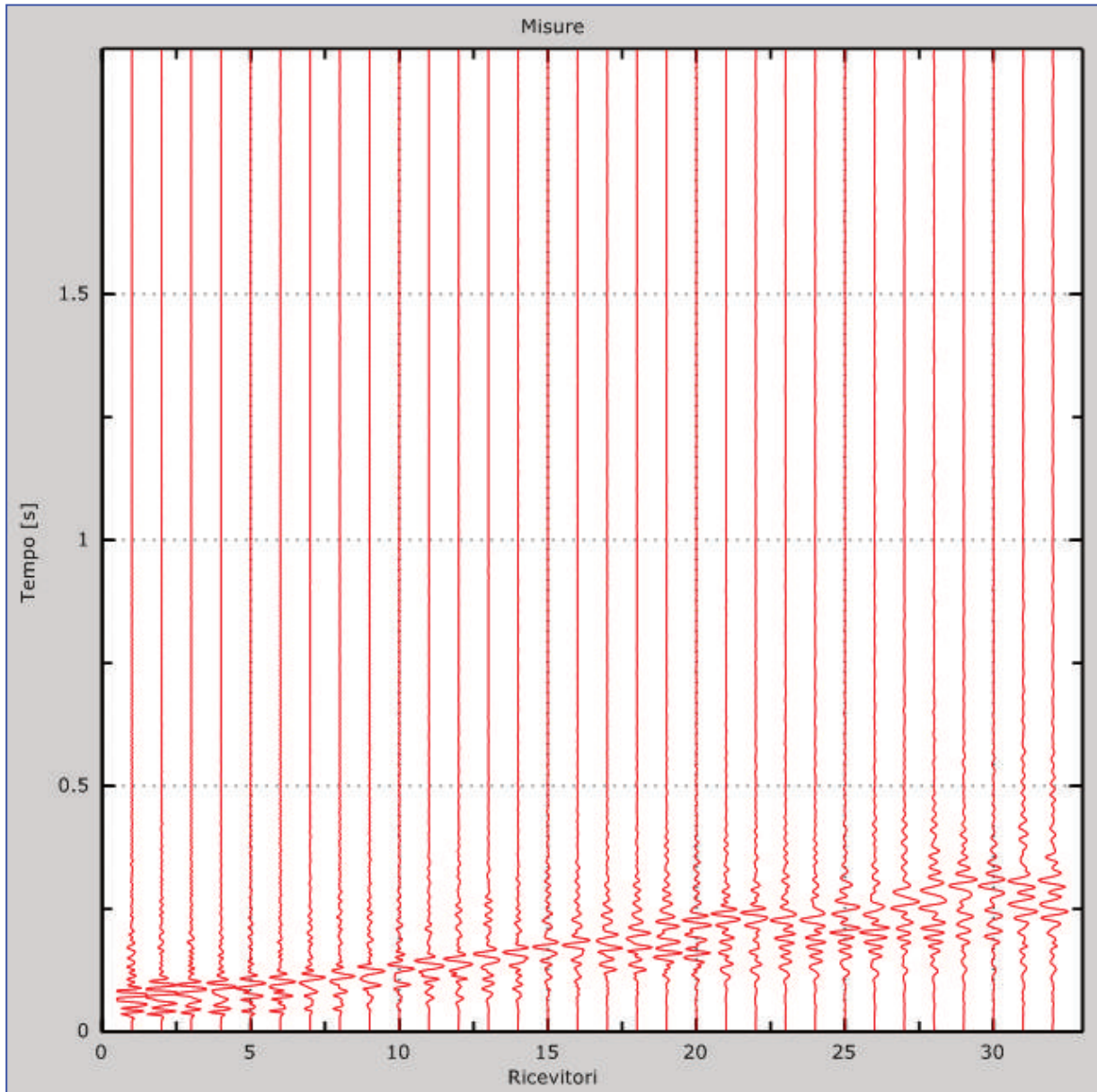
- metodo attivo: è stata effettuata una stesa sismica (vedi figura 6) con passo intergeofonico di 3 metri e 16 geofoni utilizzando la tecnica dell'interlaccio ottenendo così un profilo equivalente a 32 geofoni a passo 1,5 metri. Si sono acquisiti vari shot ad entrambi gli estremi

del profilo in modo da avere un maggior set di dati e poter scegliere quelli più adatti alla successiva elaborazione. La frequenza propria dei sensori è la classica e raccomandata per tale tipologia di indagini (4,5 Hz).

- metodo passivo: sulla stessa stesa utilizzata per il metodo attivo si sono realizzate 2 acquisizioni di sismica passiva, di 1 minuto ciascuna, concatenate, in fase di pre - processing, in un unico file di 2 minuti, in modo da colmare il “vuoto” alle basse frequenze della sismica attiva.

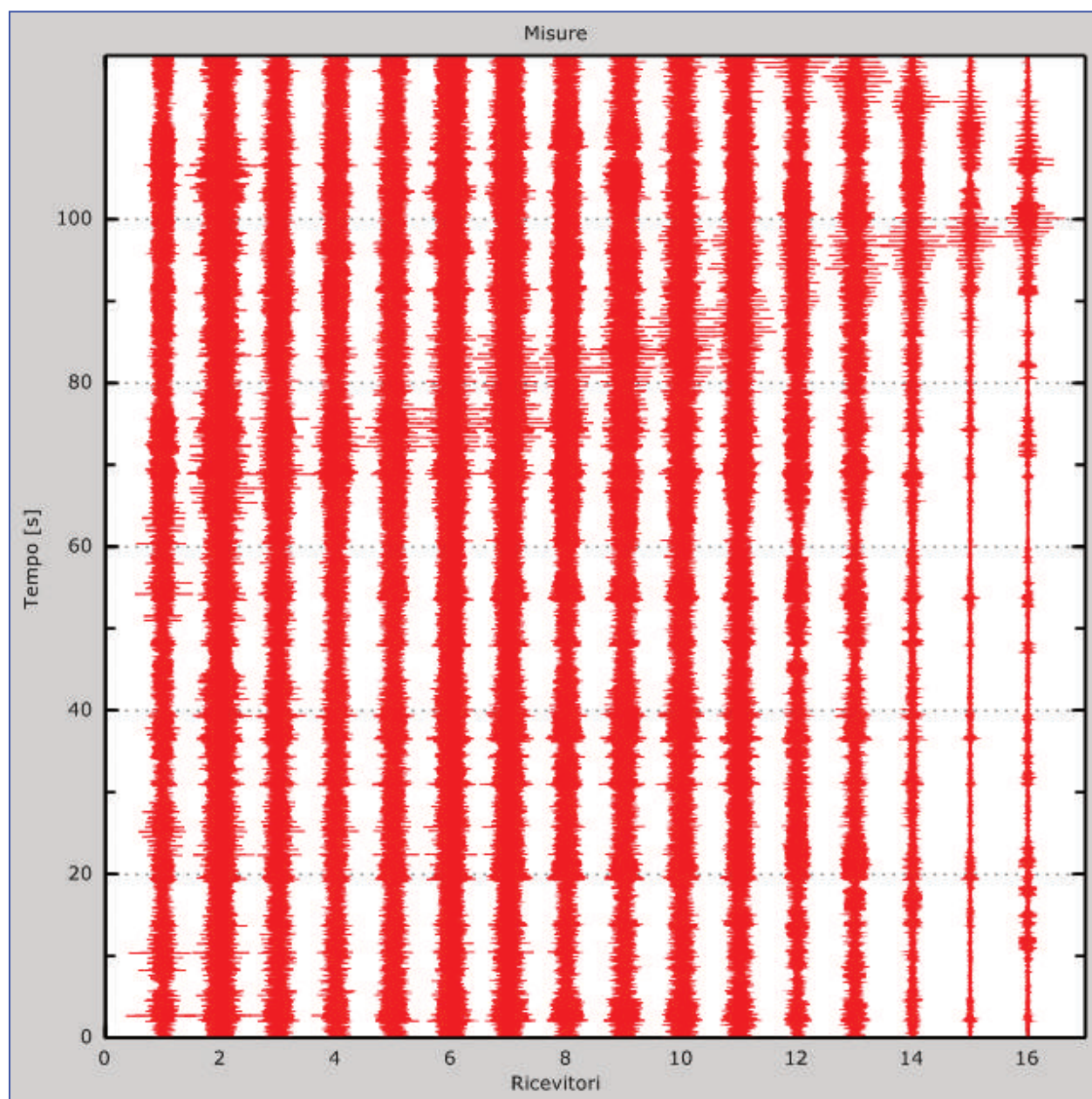
RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA

RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI MASW



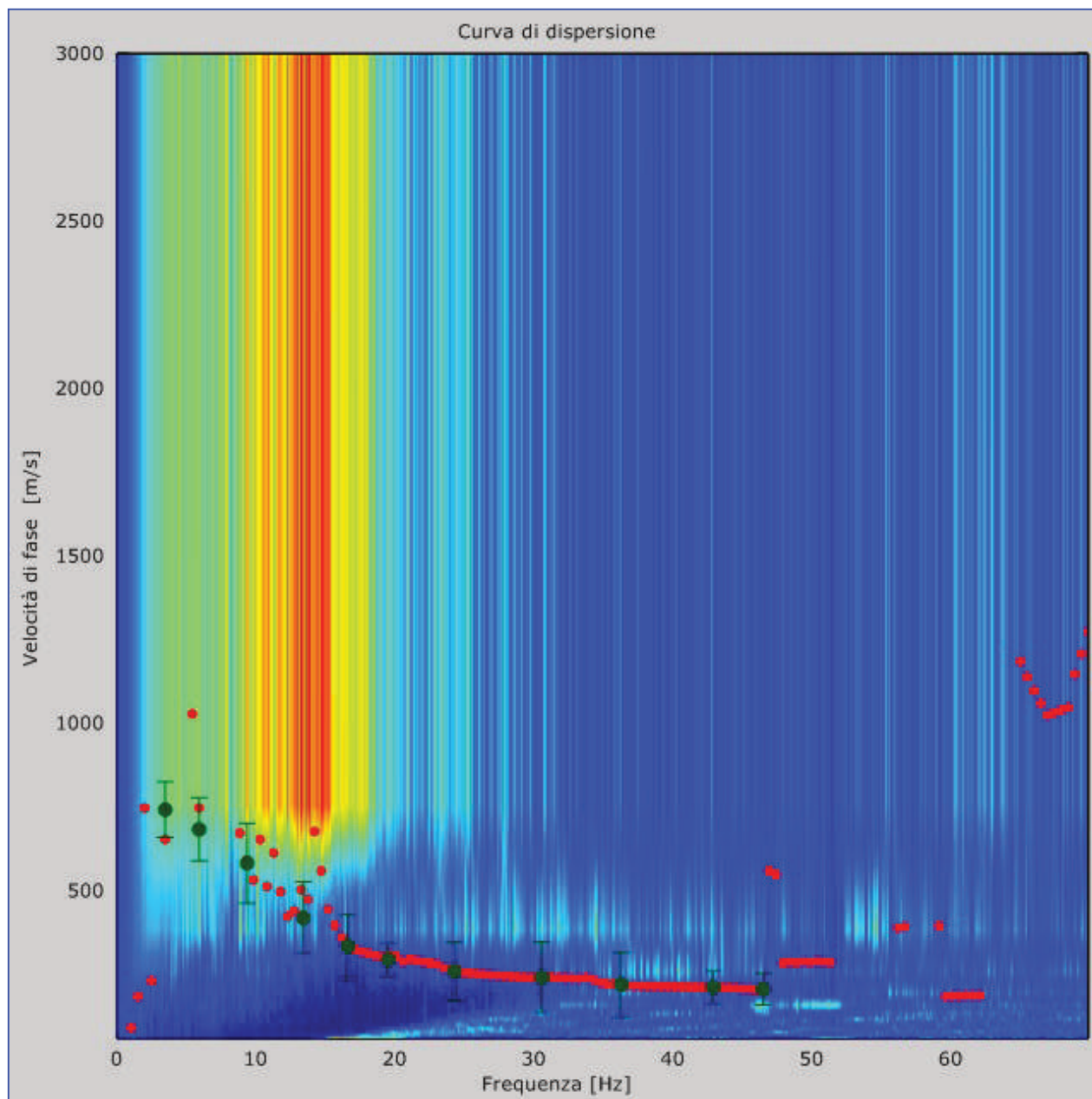
Tracce sperimentali indagine attiva

RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI INDAGINE PASSIVA



Tracce sperimentali indagine passiva

RAPPRESENTAZIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE



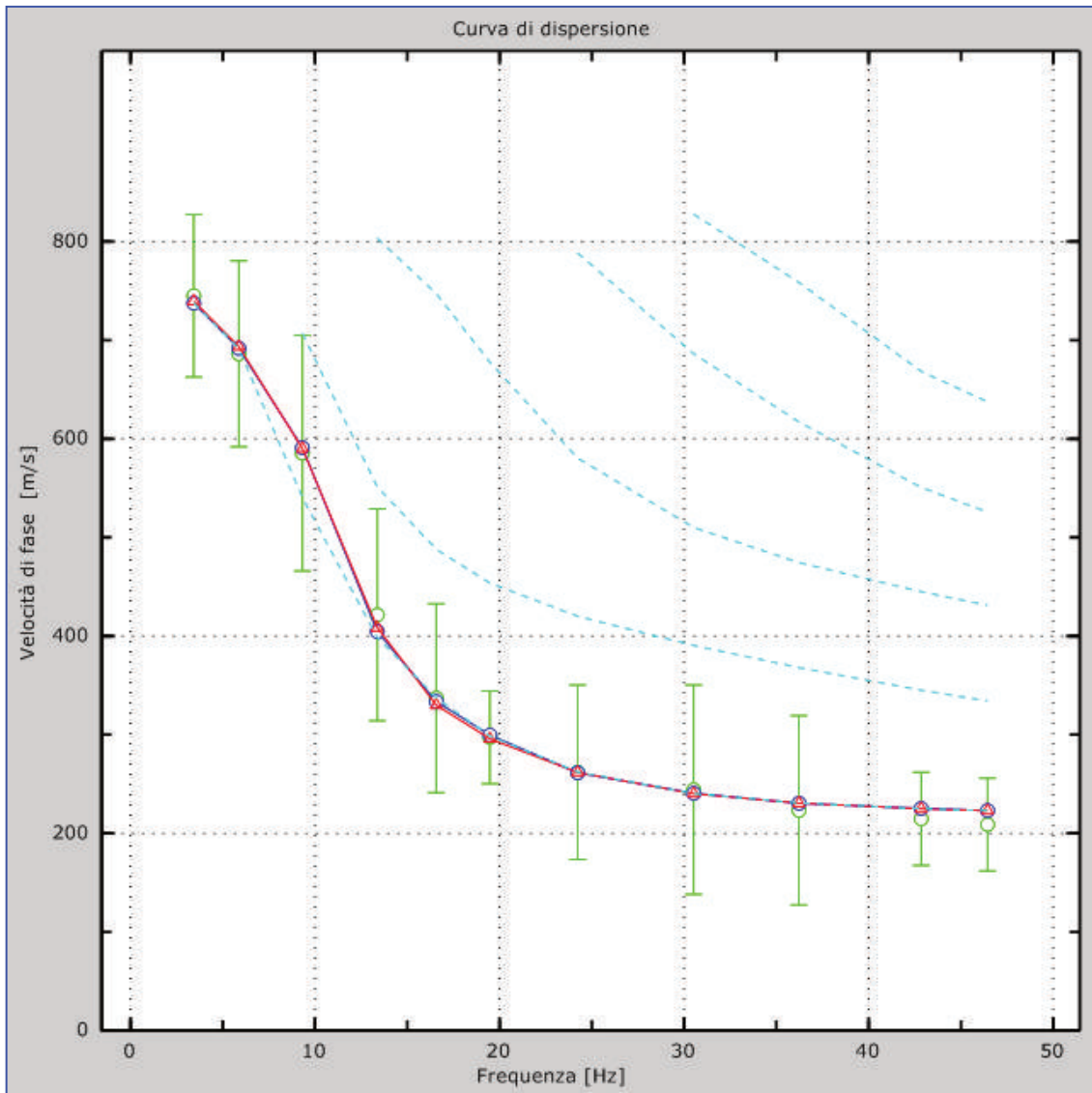
Curva di dispersione sperimentale

ANALISI DEL PROFILO DELLE VELOCITA'

Dall'esecuzione dell'indagine sismica è emersa la seguente successione della velocità delle onde sismiche.

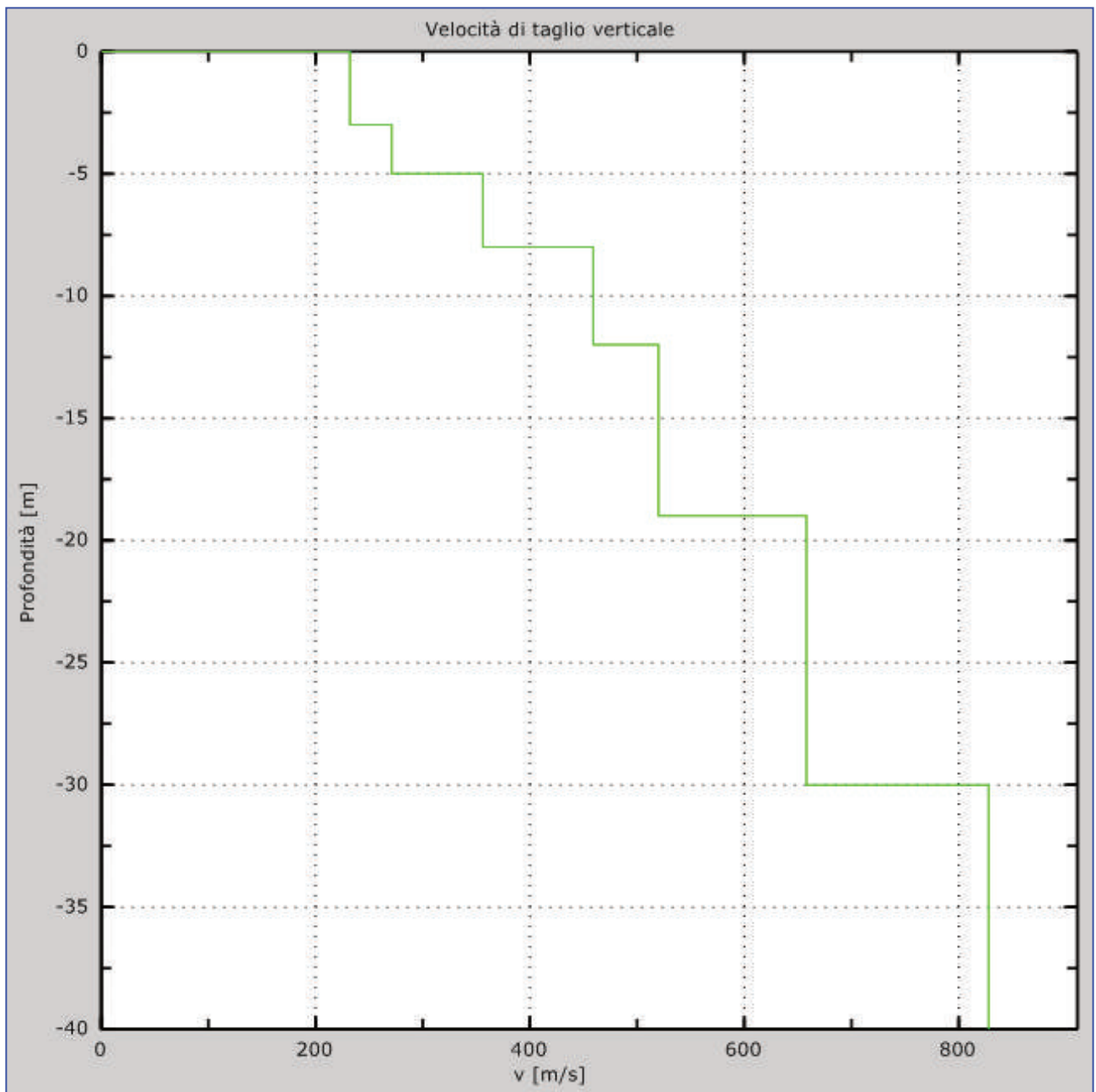
Strato	h [m]	z [m]	Vs fin. [m/s]
Strato 1	3,0	-3,0	232
Strato 2	2,0	-5,0	271
Strato 3	3,0	-8,0	356
Strato 4	4,0	-12,0	459
Strato 5	7,0	-19,0	520
Strato 6	11,0	-30,0	658
Strato 7	/	$-\infty$	828

Di seguito si riportano le immagini relative alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh e del modello che ne deriva previa inversione dei dati.



Velocità numeriche

(Punti sperimentali - verde, modi di Rayleigh - ciano, curva apparente - blu, curva numerica - rosso).



Profilo verticale di velocità delle Vs

DETERMINAZIONE DELLE $V_{s,eq}$

L'indagine sismica, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di -30,00 metri da p.c., ha permesso la determinazione della velocità delle V_{seq} , ricavata dalla formula riportata nel D.M. 17 del 17 Gennaio 2018 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove h_i e $V_{S,i}$ rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio attraverso lo strato i -esimo entro 30 metri di profondità. H rappresenta la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore:

$$\mathbf{V_{s,eq} = 443 \text{ m/s da piano campagna}}$$

CATEGORIA STRATIGRAFICA

Per la categoria di sottosuolo si riconduce a quelle espresse nella “**Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato**” delle NTC 2018

Tale tabella indica:

- A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
- 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.
- C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un

miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D) Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E) Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

L'indagine geofisica ha permesso di ricavare la V_s eq. sitospecifica calcolata dal piano campagna pari a:

$V_{s,eq} = 443$ m/s

Si osserva inoltre che il grafico delle velocità non presenta inversioni e che altri studi condotti sulle vicinanze evidenziano profili sismici confrontabili.

Sulla base di quanto sopra si attribuisce al terreno di fondazione del sito in oggetto, la

categoria stratigrafica B.

CATEGORIA TOPOGRAFICA

Per quanto riguarda la categoria topografica con configurazioni superficiali semplici le NTC 2018 al paragrafo 3.2.2 consentono di adottare la classificazione di cui alla Tabella 3.2.III.

La norma definisce inoltre che tali categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

La categoria topografica del sito oggetto di indagine ricade quindi in

categoria T1.

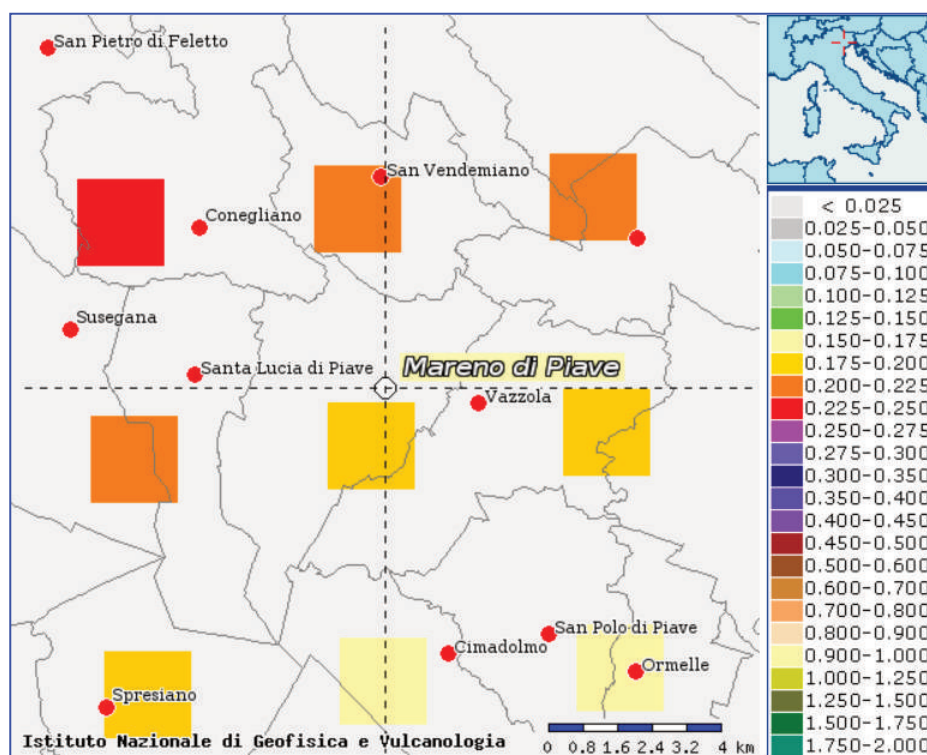
STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Per quanto riguarda l'eventuale innesco di fenomeni di liquefazione, il "Testo unico per le costruzioni - Norme tecniche per le costruzioni" del 2018, paragrafo 7.11.3.4. il manufatto deve essere stabile rispetto a quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche (azioni sismiche) che agiscono in condizioni non drenate.

I risultati emersi dalle indagini e le conoscenze pregresse del sottoscritto dei primi metri del terreno, consentono di stabilire che l'area non è idonea all'attivazione fenomeni di liquefazione a seguito di eventi sismici.

PERICOLOSITA' SISMICA

L'area in oggetto, ubicata nel comune di Mareno di Piave, rientra in un'area con scuotimento atteso $a(g)$ tra 0.175g e 0.220g (riferito a suoli rigidi di tipo A). La figura che segue è tratta dalle mappe di pericolosità sismica dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.



Fonte: I.N.G.V. - Mappe interattive di pericolosità sismica

CONCLUSIONI

La presente Relazione ha permesso di verificare che i terreni superficiali dell'area in oggetto sono caratterizzati da un banco di ghiaie sabbiose con ciottoli sparsi, via via più addensato, fino almeno a 10 metri di profondità.

Si osserva inoltre che anche l'indagine sismica svolta ha confermato il costante e progressivo addensamento del terreno con la profondità e ha permesso di individuare la velocità delle onde S nei primi 30 metri; dall'analisi ed elaborazione dei dati è emerso che la V_{seq} in corrispondenza del profilo sismico analizzato è tipica di suoli di tipo B.

La falda non interferisce con le opere in progetto e i terreni superficiali sono dotati di discreta/buona permeabilità.

Sulla base di quanto emerso dal presente studio si conclude che non sono emerse criticità, elementi di instabilità o controindicazioni in ordine geologico ed idrogeologico che pregiudichino la fattibilità delle opere in progetto.

