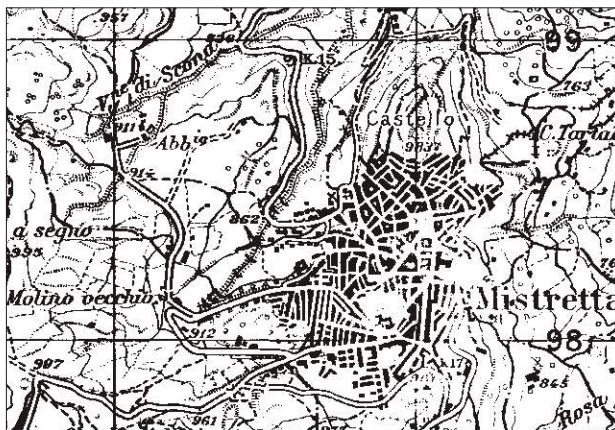


COMUNE DI MISTRETTA (ME)

STUDIO INDAGINI GEOGNOSTICI



OGGETTO: *Progetto di riqualificazione antico quartiere Casazza con recupero di eventuali immobili per finalità turistico ricettive*

- ☒ *Indagini geognostici*
- ☒ *Elaborati grafici*
- ☒ *Documentazione fotografica*

COMMITTENTE: Dott. Fabio Nicita per conto del *Comune di Mistretta (Me)*

VISTI

Il responsabile delle indagini
Dott. Geologo Fabio Nicita



La ditta esecutrice delle indagini
Geoplants S.R.L.



PREMESSA	3
<i>Ubicazione indagini geognostiche - Scala 1: 1000</i>	3
SONDAGGI GEOGNOSTICI A ROTAZIONE	5
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE	6
TOMOGRAFIA SISMICA	7
PROVE MASW	13
TOMOGRAFIA ELETTRICA S.E.V.	59

COMUNE DI Mistretta
(Provincia di Messina)

Committente:

C o m u n e d i M i s t r e t t a

Oggetto: “*Progetto di riqualificazione antico quartiere Casazza con
recupero di eventuali immobili per finalità turistico
ricettive*”

Relazione indagini geognostiche

Premessa

In relazione ai lavori di cui in oggetto, per una completa definizione delle problematiche esistenti e per la scelta delle opere da realizzare finalizzati alla mitigazione dei rischi esistenti nelle aree oggetto di studio, lo scrivente ha eseguito un accurato programma di indagini geognostiche di seguito descritte nelle modalità progettuali ed esecutive.

E' importante definire ed evidenziare quelle che sono state le scelte progettuali nel programmare la campagna di indagini.

La scelta della tipologia d'indagine e delle modalità d'esecuzione delle stesse è stata quindi progettata sia per indirizzare i progettisti delle opere in esame alla scelta ed al dimensionamento delle opere, compatibilmente con le somme a disposizione, sia alla definizione di eventuali altre problematiche in oggetto.

Si descrivono di seguito le specifiche riguardanti le indagini geognostiche:

Le indagini geognostiche sono state eseguite dalla ditta Geoplants s.r.l. e le prove di laboratorio dalla M.T.R.. nel periodo di Agosto 2018.

Sono stati eseguiti:

N°2, (S1-S2) Sondaggi geognostici a rotazione con carotaggio continuo fino alla profondità di 10 m. dal p.c.,

N° 2, Prove penetrometriche dinamiche discontinue (SPT)

N°2, Tomografie sismica a rifrazione,

N° 1, Tomografia elettrica 2D

N° 5, Prove Maw ;

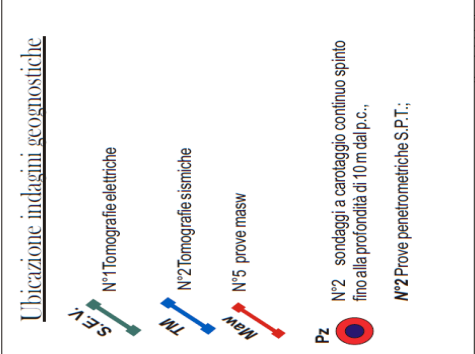
Prove di laboratorio sulle terre

<i>Descrizione sintetica della prova</i>	<i>Prezzo unit.</i>	<i>Quantità</i>
Apertura campione contenuto in fustella mediante estr.	19,10	2
Determ. del contenuto d'acqua naturale	9,14	2
Determ. del peso dell'unità di volume allo stato naturale	11,90	2
Determ. del peso specifico dei granuli	40,70	2
Prova di rottura per compressione semplice (E.L.L.)	40,30	1
Prova di consolidazione edometrica	330,40	1
Sovrappr. alla prova per calcolo e diagram.	12,90	1
Determ. Cv, Kv, mv	21,10	1
Prova di taglio diretto (Casagrande) con velocità tra 0,02 e 0,002	121,90	6

Prove di laboratorio sulle terre

<i>Descrizione sintetica della prova</i>	<i>Prezzo unit.</i>	<i>Quantità</i>
prep. di provini cilindrici, taglio e rettifica, ricavati da carote di medesimo diametro	18,60	1
Determinazione del profilo di rugosità mediante profilo di Burton	66,00	1
determinazione massa volumica apparente, metodo geometrico	9,75	1
prova di rottura per taglio diretto con cella di hoek per provino:	91,80	3

Ubicazione indagini geognostiche - Scala 1: 1000



SONDAGGI GEOGNOSTICI A ROTAZIONE

Sono stati eseguiti n. 2 sondaggi meccanici a rotazione con carotaggio continuo spinti sino alla profondità da 10,00m e precisamente:

Sondaggio	Profondità (m)
S ₁ ÷S ₂	20,00

Per un totale di 20 m dal p.c. di perforazione.





Per l'esecuzione dei sondaggi geognostici si è utilizzata una sonda idraulica cingolata, provvista di testa di rotazione azionata da motore idraulico e cambio meccanico.

La perforazione è stata eseguita con l'ausilio di carotiere semplice in acciaio con diametro $\phi=101$ mm e corone di perforazione e fluido di circolazione rappresentato da acqua.

Le carote del carotaggio continuo sono state riposte in apposite cassette catalogatrici in legno con scomparti divisori e coperchio incernierato, con l'indicazione della denominazione del sondaggio e del numero della cassetta.

I carotaggi eseguiti sono stati di utilissimo supporto alla definizione degli spessori detritici presenti sui versanti in esame e della sottostante fascia alterata e fratturata; i sondaggi sono stati spinti sino al riscontro della formazione non alterata da parte del sottoscritto durante le perforazioni.

Sondaggi geognostici da S1÷S2

COMMITTENTE: Comune di Mistretta				CANTIERE: Lavori di riqualificazione antico quartiere Casazza per recupero di immobili per finalità turistico recettive				DATA: Agosto /2018				SONDAGGIO A ROTAZIONE : s1				Lat. : 37° 55' 51,73" N Long.: 14° 21' 39,13"E							
Quota assoluta m	Profondità progressiva m	Spessore dello strato m	Sezione stratigrafica	DESCRIZIONE LITOLOGICA DEL TERRENO	Diametro del sondaggio mm	Carotaggio %	Carotieri speciali		R. Q. D. %	Falda acquifera	Piezometro	Prova permeabilità a carico costante m/s	Predisposizione per prova Down-hole	Vane test	Campioni		Tipo di campionatore	S. P. T					
							NT2	NT65							Quota di prelievo			Profondità	Numero dei colpi	N ₆₀	Tipo di punta		
															Ind.	Rim.					S	P	
0,00				Scala 1:100		0		50	100														
	0,50	0,50		Materiale rilevato stradale, costituito da ciottoli e elementi lapidei	Φ 101 mm											Camp. Da 0,50 m -0,80 m		da m 1,00	15 cm	3	12		
				Deposito colluviale detritico costituito da materiale limoso sabbioso argilloso inglobanti elementi quarzarenitici >10 cm (3,40 - 3,60)													a m 1,45	15 cm	5				
																		a m	15 cm	7			
																			da m	15 cm			
																		a m	15 cm				
	4,70	4,20		Argille brune con incipienti fenomeni di alterazioni (colore bruno grigiastre)													Camp. da 2,80 m -3,00		da m	15 cm			
	5,10	0,40																a m	15 cm				
				Argilliti di colore grigiastro con intercalati livelli decimetrici di quarzareniti fratturati														da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				
																		da m	15 cm				
																		a m	15 cm				

[illegible]

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Data la particolarità dei terreni da esaminare è stato necessario avvalersi di Prove penetrometriche dinamici più indicati a classificare gli spessori detritici composti da limo argillosi sabbiosi con all'interno clasti di diametro < 10 cm e cocci, avente spessore (0,00 -4,70 m.).

Dette prove sono state eseguite secondo il metodo S.P.T. (Standard Penetration Test), con l'impiego di apparecchiature standard.

Maglio del peso di Kg 63,5 in caduta libera lungo la verticale della prova da un'altezza di 76,2 cm.

Contestualmente viene registrato il numero di colpi necessario per ottenere l'avanzamento dell'attrezzo, di diametro pari a 51 mm ed angolo alla base di 60°, in un tratto di terreno pari a 15 cm (N1 = tratto in avviamento, per superare la porzione di substrato rimaneggiata dal carotaggio) ed il numero di colpi utili (N2+N3) necessari a determinare l'infissione dell'attrezzo nei successivi 30 cm di terreno.

Per la determinazione dei parametri geotecnici devono essere presi in considerazione i colpi ottenuti per il 2° e 3° tratto.

I risultati sono stati i seguenti

<i>Sondaggio</i>	<i>Valori</i>	<i>Nspt</i>	<i>Profondità (m)</i>
S1	3 (5-7)	12	1,00-1,45
S2	4 (5-12)	17	2,00-2,45

I valori di Nspt oscilla tra 3 e 12 evidenziando la consistenza poco addensata della coltre detritica colluviale che costituisce l'area in oggetto, la quale presenta delle caratteristiche geomeccaniche non di ottima qualità.

Per l'analisi dei parametri si è fatto affidamento alle correlazioni

$$\sqrt{Nspt * 15} + 15$$

utilizzando la nota correlazione di Yuki take Shioi & Jiro Fukuni (1982) che ha dato i seguenti risultati

Sondaggio	Nspt	ϕ	Profondità (m)
S1	12	28	1,00-1,45
S2	17	30	2,00-2,45

Anche se i risultati degli S.P.T. vengono valori più alti di quelli utilizzati, si è preferito utilizzare valori più bassi derivanti dalle prove di laboratorio, in quanto la coltre detritica colluviale che caratterizza l'area in oggetto si presenta alterata e poco addensata, e ricca di ciottoli e cocci.


TOMOGRAFIA SISMICA

1. METODOLOGIA E FINALITÀ DELLE PROSPEZIONI GEOFISICHE A RIFRAZIONE CON INTERPRETAZIONE TOMOGRAFICA

Al fine di ricostruire l'assetto sismo-stratigrafico dell'area interessata al progetto sono state eseguite N° 2 Tomografie sismiche aventi stendimento di (Ts 1-Ts2 – 22,00 m).

La lunghezza degli stendimenti sismici è stata determinata, relativamente al dettaglio da ottenere, dalle condizioni di accesso ed è specificata di seguito:

Sondaggio sismico a 12 canali Ts1			
Lunghezza 22,00 m			
Distanza intergeofonica 2,00 m			
Numero scoppi: 7			
Posizione scoppi Sh:			
Sh1: -1,00 m Sh2: 3,00 m Sh3: 7 m		Sh4: 11 m	Sh5: 15,00 m Sh6: 19,00 m Sh7: 23,00 m



Sondaggio sismico a 12 canali Ts2		
Lunghezza 22,00 m		
Distanza intergeofonica 2,00 m		
Numero scoppi: 7		
Posizione scoppi Sh:		
Sh1: -1,00 m Sh2: 3,00 m Sh3: 7 m	Sh4: 11 m	Sh5: 15,00 m Sh6: 19,00 m Sh7: 23,00 m



La disposizione degli stendimenti riportata in precedenza consentito di indagare ampi volume di terreno dell'area interessata al progetto e di ottenere un adeguato dettaglio dell'assetto stratigrafico.

In particolare, il grado di dettaglio è stato migliorato grazie alla realizzazione di energizzazioni da (5÷7). Infatti vedasi schema degli scoppi nelle tabelle sopra rappresentate.

La metodica sismica, metodica che unisce le qualità di economicità, affidabilità dei risultati e rapidità di esecuzione, sfrutta la proprietà dei materiali consistenti nel trasmettere onde elastiche, generate in superficie, e ne misura la relativa velocità di propagazione.

I sondaggi sismici (indagini indirette), ampiamente utilizzati nella comune pratica geognostica, consentono di indagare l'intero volume significativo richiesto dalle norme tecniche.

Nello specifico, la scelta di questo tipo di indagine si fonda, innanzitutto, sulle succitate caratteristiche della metodica sismica ed ancora sul fatto che la strumentazione, facilmente trasportabile, non ha posto vincoli significativi per l'accesso ai luoghi.

Le tecniche di campionamento, utilizzate in campagna con la finalità di individuare le unità litotecniche presenti nel sottosuolo sono due :

- **l'analisi sismica a rifrazione**
- **la tomografia sismica.**

Il metodo della sismica a rifrazione utilizza la determinazione della velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) nel sottosuolo. A tal uopo viene effettuata la registrazione di un impulso sismico (prodotto da una massa battente posta in superficie) per mezzo di una serie di sensori (geofoni) disposti in linea retta, ad intervalli regolari, sulla superficie del terreno.

La metodica viene adoperata per ricostruire la geometria delle unità sismo stratigrafiche presenti al di sotto della zona d'indagine e a dedurre le loro caratteristiche fisico-meccaniche.

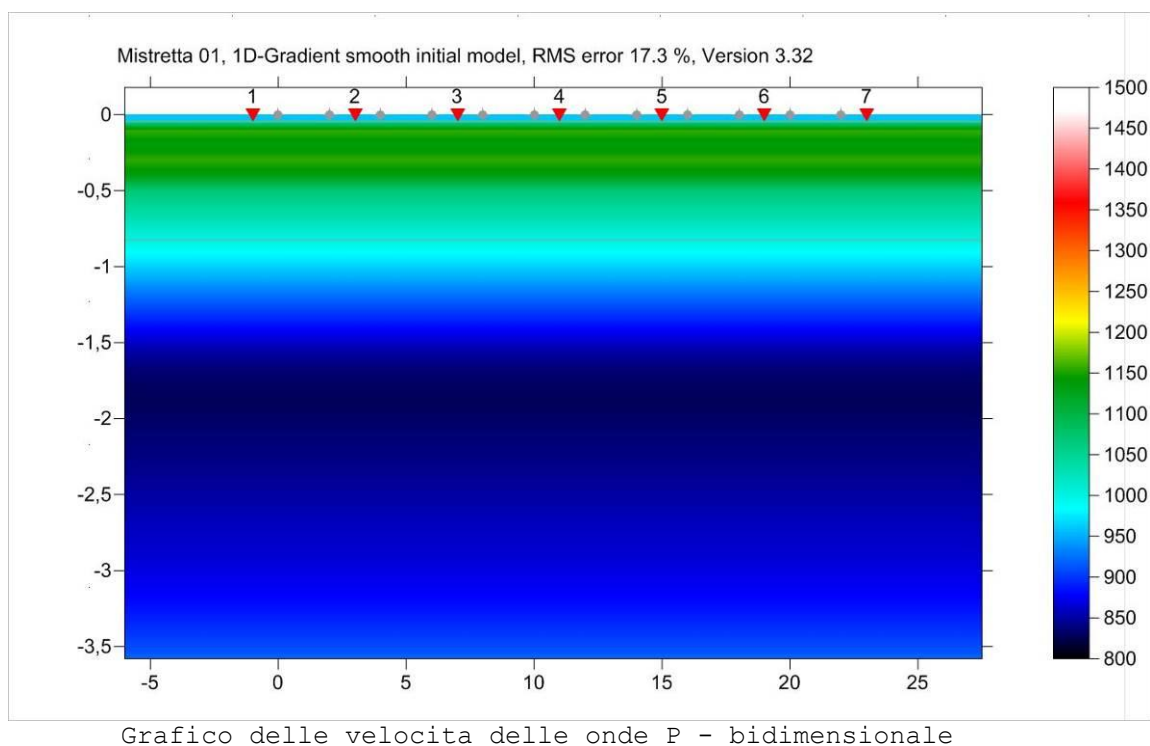
Essa sfrutta il fenomeno della rifrazione della radiazione sismica, fenomeno prodotto dalle disomogeneità elastiche presenti nei terreni.

La tomografia, effettuata con il tempo di primo arrivo delle onde P, come l'indagine a rifrazione, è un'analisi di "imaging" per mezzo della quale è possibile condurre delle stime sulle proprietà fisiche del sottosuolo e delle loro eventuali variazioni, sia sulle direttrici laterali, sia su quelle verticali.

I geofoni utilizzati sono quelli del tipo orizzontale a 4,5 Hz "pasi" e per quanto attiene alla sorgente energetica, si è adoperata una massa battente di 10 kg, dotata di starter piezoelettrico.

L'elaborazione dei dati, registrati nel corso della campagna geognostica, è stata effettuata, a posteriori, mediante un elaboratore elettronico e software dedicato: per la tomografia (dei tempi di arrivo) il Rayfract®.

Risultati tomografia Ts1.



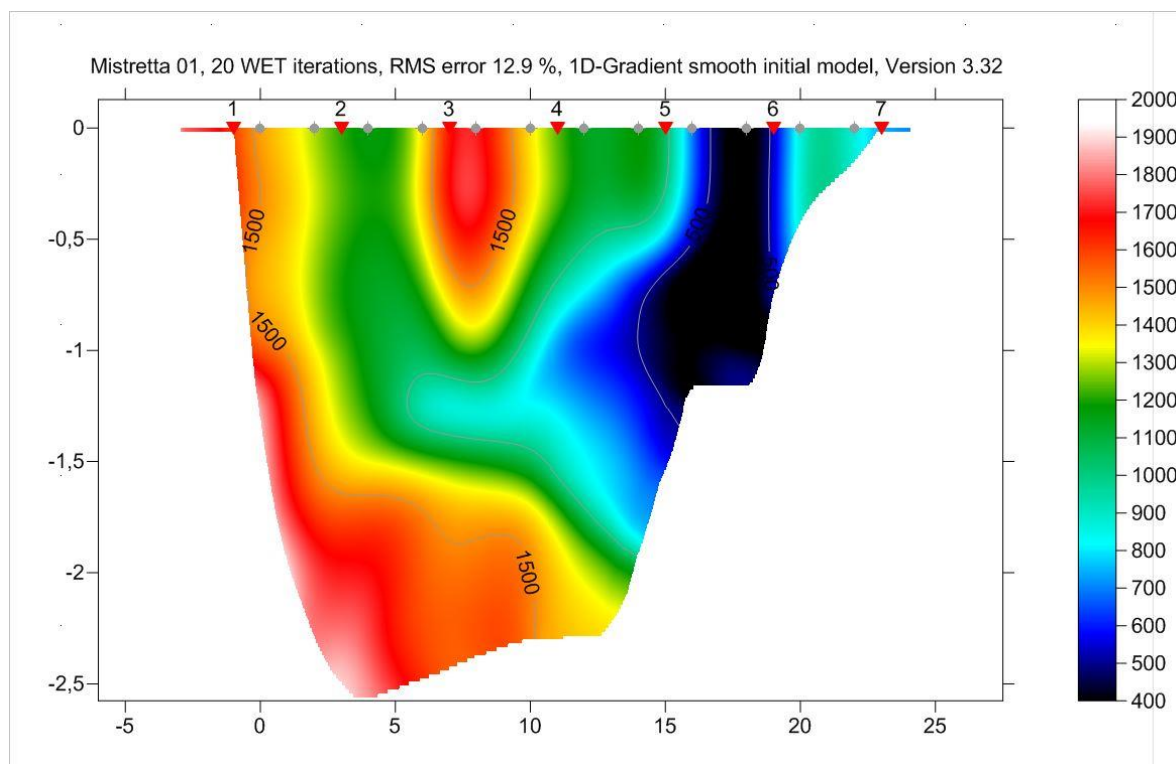


Grafico delle velocità delle onde P tridimensionale

Risultati tomografia Ts2.

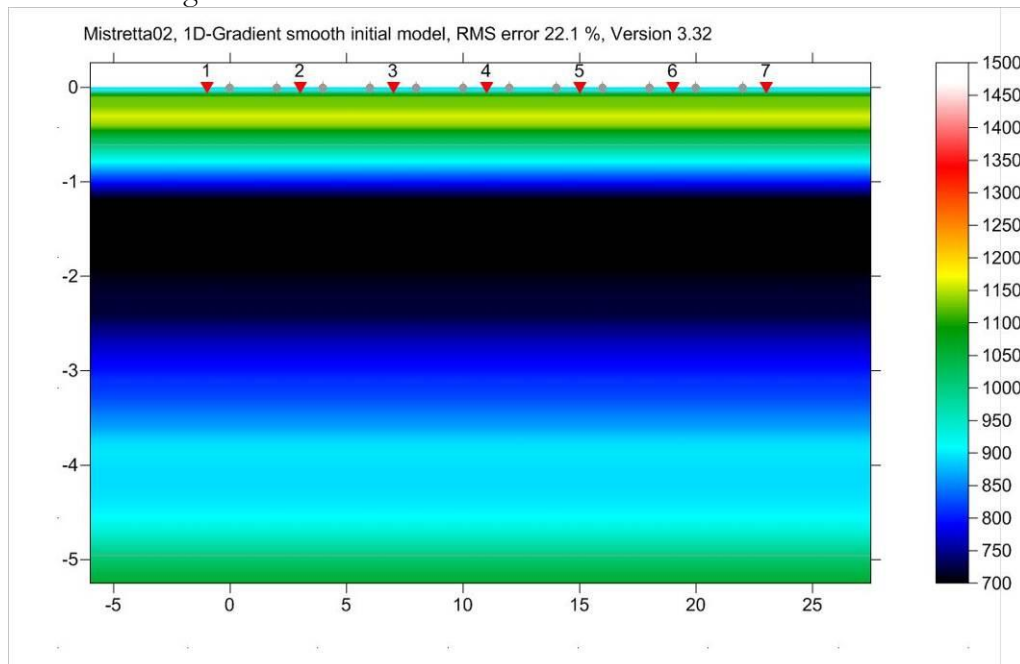


Grafico delle velocità delle onde P - bidimensionale

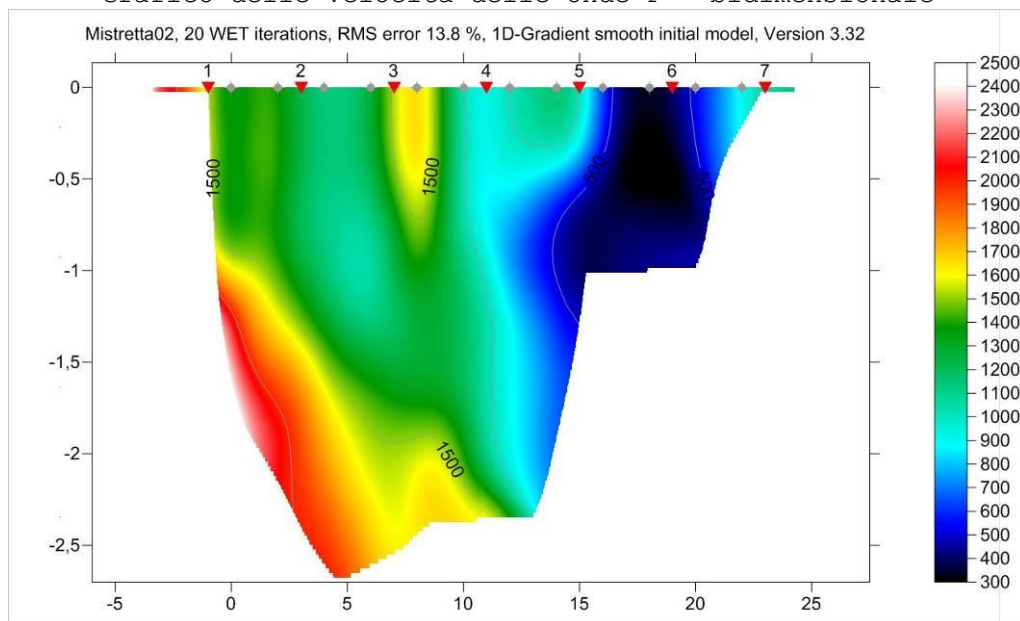


Grafico delle velocità delle onde P - tridimensionale

Dai risultati delle tomografie sismiche eseguite si può notare come vi è il 1° strato di velocità delle onde “P”, avente profondità di 0,00÷0,70 m dal p.c., in cui le VP presentano una velocità che va da 1000 – 1100 m/s), il 2° strato da 700 – 1100 m/s che arriva a circa 5,00 m dal p.c., questa fa desumere che quello strato superficiale è costituito dal massetto stradale e poi abbiamo la formazione, della coltre detritica alterata costituita da limo argilloso debolmente sabbioso.

PROVE MASW

1 PROSPEZIONE GEOFISICA COL METODO MASW

1.1 Classificazione sismica dei suoli con il metodo MASW

I sondaggi geofisici **MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)**, rappresentano una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o 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 rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo .

Nel metodo di indagine MASW attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori, consentendo così generalmente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente, nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo. Pertanto il metodo MASW attivo consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30m di profondità.

1.2 Fondamenti teorici del metodo MASW

Il metodo MASW si basa sul moto di propagazione delle onde di Rayleigh.

In un mezzo omogeneo infinito la propagazione ondosa può avvenire solo tramite due tipi di onde: le onde P di compressione, dette anche onde primarie e le onde distorsionali o di taglio S, dette anche onde secondarie.

La velocità con cui si propagano le onde P e le onde S dipende dalle proprietà elastiche del mezzo attraversato.

Le onde di compressione P viaggiano con una velocità C_p pari a:

$$c_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

dove $\mu = G$ è la rigidezza al taglio, elastica del mezzo con

$$\lambda = \frac{Ev}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

=costante

E = modulo di Young e ν = coefficiente di Poisson, ρ è la densità di massa e le particelle di materia oscillano nella stessa direzione di propagazione dell'onda.

Le onde di taglio Vs viaggiano con una velocità C_s pari a :

$$c_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

e le particelle di materia oscillano nella direzione perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda.

1.3 Onde di Rayleigh in un semispazio infinito omogeneo

Quando uno dei due mezzi semi-infiniti separati da un'interfaccia, per esempio quello superiore, è costituito da aria, si può assumere che non esistano onde trasmesse e in generale esistono solo onde riflesse.

E' dimostrabile che in un semispazio omogeneo, oltre alle onde P e S già trovate in un mezzo infinito, esiste un tipo di onda denominata onda di Rayleigh.

L'onda di Rayleigh è il risultato della combinazione di onde P e S in modo che siano soddisfatte le seguenti due condizioni:

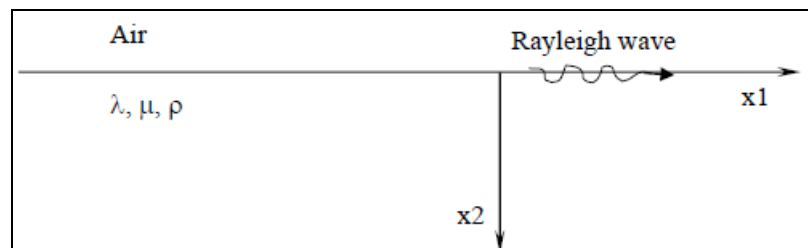
1. il moto associato all'onda di Rayleigh si attenua rapidamente con la profondità;

2. lo stato tensionale è nullo sulla superficie libera del semispazio solido ;

La velocità con cui si propaga l'onda di Rayleigh sulla superficie libera di un semispazio omogeneo è leggermente inferiore alla velocità C_s delle onde di taglio S tra $0,862 \cdot C_s$ e $0,955 \cdot C_s$ e dipende dal coefficiente di Poisson ν (Achenbach,1999).

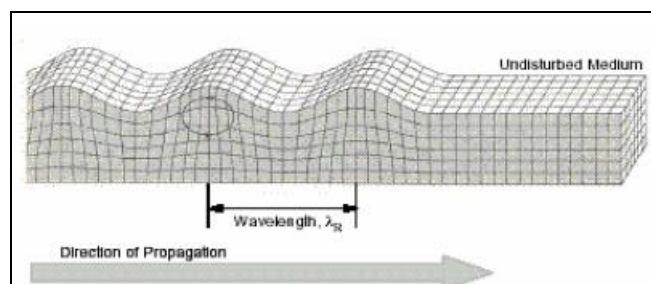
$$c_R = \frac{0.862 + 1.14\nu}{1 + \nu} \cdot c_s$$

In un semispazio omogeneo la velocità di fase dell'onda di Rayleigh non dipende dalla frequenza o dal numero d'onda k , quindi si dice che non è dispersiva.



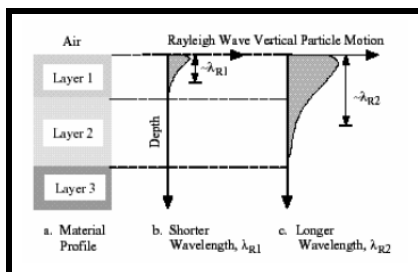
Le componenti orizzontale e verticale sono sfasate di 90° , quindi durante il moto le particelle descrivono un'ellisse.

L'asse maggiore dell'ellisse è parallela alla superficie libera orizzontale fino alla profondità di circa 0.2λ (λ è la lunghezza d'onda), dove lo spostamento orizzontale cambia segno e quindi gli assi e il senso di percorrenza dell'ellisse si invertono.



L'ampiezza degli spostamenti decresce rapidamente con la profondità, così che l'onda di Rayleigh è confinata nella parte superficiale del semispazio, in una striscia di spessore pari a circa $1,5\lambda$. Dato che le onde di Rayleigh viaggiano in prossimità della superficie del sito in una fascia profonda circa $1 \div 2$ volte la lunghezza d'onda, le onde caratterizzate da grandi lunghezze d'onda interessano anche gli strati più profondi del sito. Al contrario, a parità di velocità di fase c , le onde ad alta frequenza hanno una lunghezza d'onda così corta da interessare

essenzialmente lo strato più superficiale del sito, senza avvertire la presenza degli strati sottostanti.



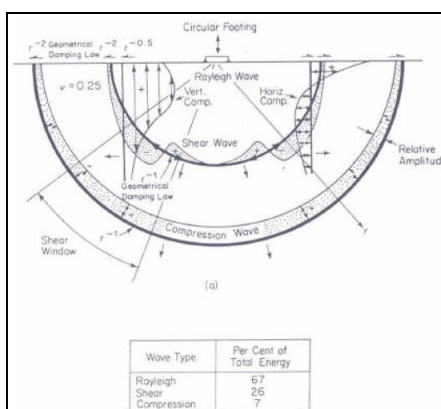
1.4 Curva di dispersione

Quando si energizza il sito in un punto della sua superficie libera si generano i diversi tipi di onde. Se la sorgente è perpendicolare alla superficie libera si generano onde appartenenti al piano verticale: onde P, onde SV, onde Rayleigh, onde rifratte.

Se la sorgente è parallela alla superficie libera si generano onde appartenenti al piano orizzontale: onde SH, onde di Love.

Nel metodo MASW proposte si usano le sole onde di Rayleigh e si trascurano gli effetti dovuti alle onde P e SV.

Sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche le onde P e le onde S oltre alle onde Rayleigh (Vedi fig.), intervengono due aspetti che rendono il contributo delle onde di Rayleigh prevalente sul contributo delle onde P e SV. Il primo aspetto è che le onde Rayleigh trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che allontanandosi dalla sorgente le onde di Rayleigh subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV, perché le onde Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, invece le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici.



2. INDAGINE MASW IN SITO

3.1. Strumentazione utilizzata

L'equipaggiamento strumentale utilizzato per la realizzazione della prova consiste in:



N° 1 Sismografo della "PASI serie 16S U" gestito da un microprocessore, con 24 canali di acquisizione simultanea a segnale incrementale per ogni canale, con risoluzione di 16 bit.

FUNZIONI PRINCIPALI DEL SISMOGRAFO PASI 16S

Filtri antialiasing: attivi, LPF, 6°ordine Butterworth; pend.asint. +/-36dB/oct (+/-120dB/dec); accuratezza. $\pm 1\%$ freq.di taglio

Start acquisizione: con trigger esterno o comando software (ASAP)

Trigger: hammer (7 livelli di sensibilità selezionabili via software)

Guadagni: tutti selezionabili via software

Enhancement con/senza preview totale/parziale

A.G.C. Automatic Gain Control

Delay: Pre-trigger 0-10ms (step di 1ms); Post-trigger 0-16000 ms (step di 1ms)

Trace-size automatica o manuale per ogni canale

Registrazione automatica delle acquisizioni

Calibrazioni automatiche

N° 12 Ricevitori: geofoni (4,5Hz).

N° 1 CAVO SISMICO

12 TRACCE, 22 m, intervallo 2m, con connettori NK2721C e attacchi doppi.

N° 1 MAZZA DI BATTUTA kg 8 CON STARTER.

N° 1 PIATTELLO DI BATTUTA IN ALLUMINIO (dimensioni 20x20x5 cm).

2.2 Configurazione spaziale della prova MASW in sito

La prova MASW fornisce il profilo di velocità Vs monodimensionale, assumendo un valore medio di velocità lungo lo stendimento dei ricevitori. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile. Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,5m e 3,0m.

Nel caso in esame sono state eseguite le seguenti tipologie d'indagine:

Si precisa che il tempo massimo totale di acquisizione è stato pari a 2s (pari a 2048 campioni temporali per singolo geofono acquisto per ogni colpo di mazza).

La sorgente è stata posta a -2,0m, a -4,0 m e a -6,0m dal primo geofono con due misurazioni fatte in Andata e in ritorno.

Nell'elaborazione è stata scelta l'acquisizione che visivamente ha fornito la curva di dispersione più facile da individuare. A parità di numero di ricevitori un interasse di 2,0 m consente di avere un intervallo più ampio di numeri d'onda anche se comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda.

Stendimenti più lunghi danno una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda ma tuttavia si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale

misurato. Viceversa un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda.

Il numero d'onda di Nyquist è pari a:

$$\Delta k = \frac{2\pi}{N \cdot \Delta x}$$

dove ΔK è il minimo interasse tra i ricevitori ed N è il numero dei ricevitori dello stendimento.

3.3 Metodo di Elaborazione mediante Software dedicato

Il metodo MASW consiste in tre fasi:

la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;

la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica;

la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson ν), la densità di massa γ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedure manuali o con procedure automatiche o con una combinazione delle due.

Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson, le densità di massa e si variano lo spessore h e le velocità V_s degli strati.

Nella procedura manuale si assegnano per tentativi diversi valori delle velocità V_s (all'interno del range di dispersione) e degli spessori h , cercando di avvicinare le curve di dispersione numeriche alle curve di dispersione sperimentale. In genere quando l'errore relativo tra curve sperimentale e curve numeriche è compreso tra il 5% e il 20% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve ed il profilo di velocità delle onde di taglio V_s e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valide da un punto di vista ingegneristico.

Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s è possibile procedere al calcolo della velocità equivalente $V_{s,30}$ nei primi 30 m di profondità e quindi individuare le categorie sismiche del suolo.

Si riportano di seguito, nell'Allegato 2, le tracce misurate, lo spettro e la curva di dispersione sperimentale prima e dopo la selezione dei punti utili della stessa curva.

1 - Dati sperimentali masw 1

Numero di ricevitori	12
Distanza tra i sensori:	2m
Numero di campioni temporali	2048
Passo temporale di acquisizione	1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi.....	12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....	0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a	2047ms

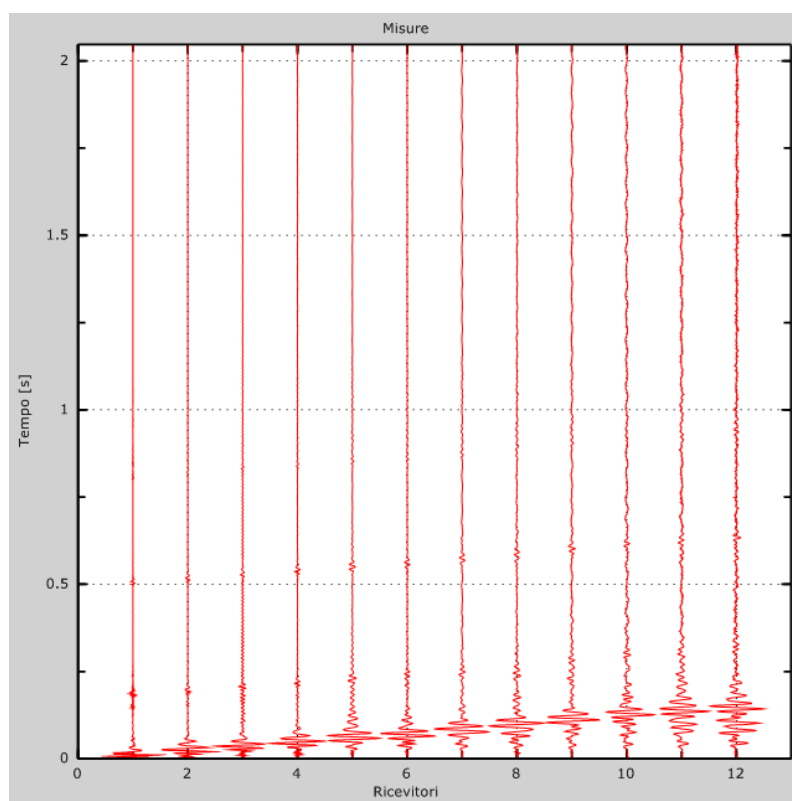


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 50Hz

Frequenza iniziale 10Hz

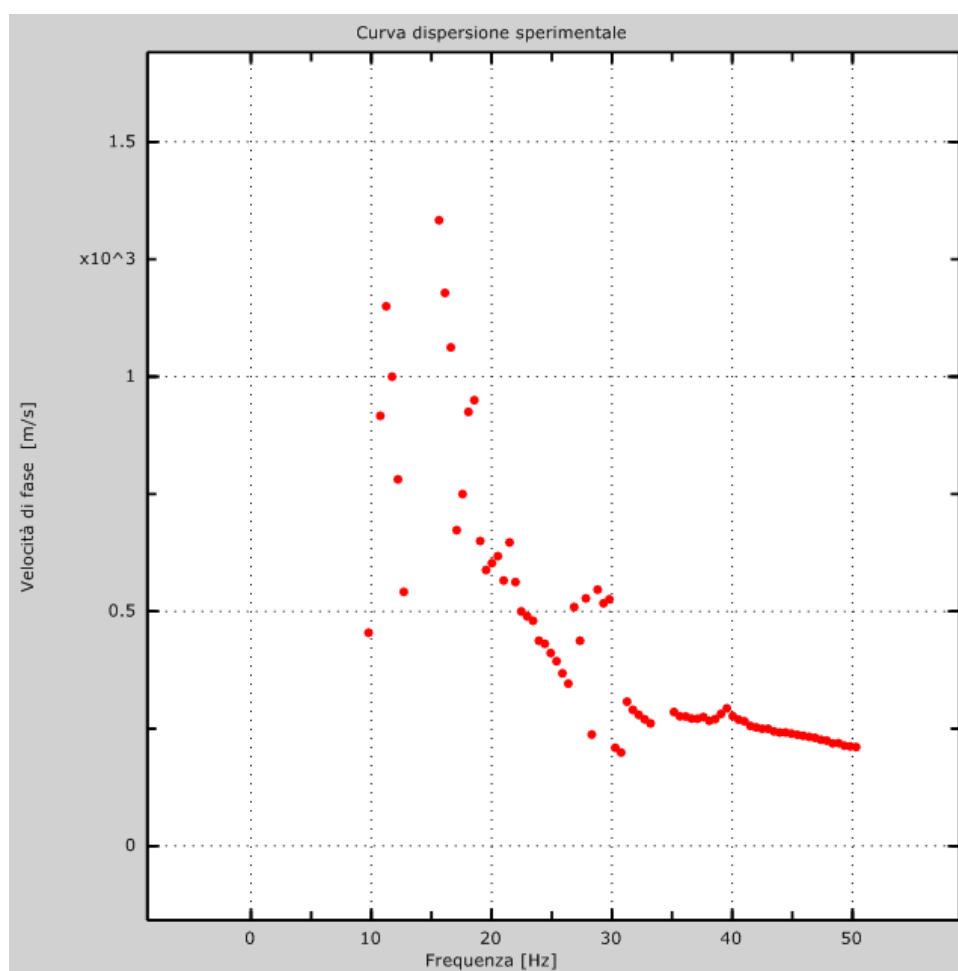


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Risultati delle analisi (tecnica passiva)

Numero di ricevitori 12
Numero di campioni temporali 3.26787e-312
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a65535ms

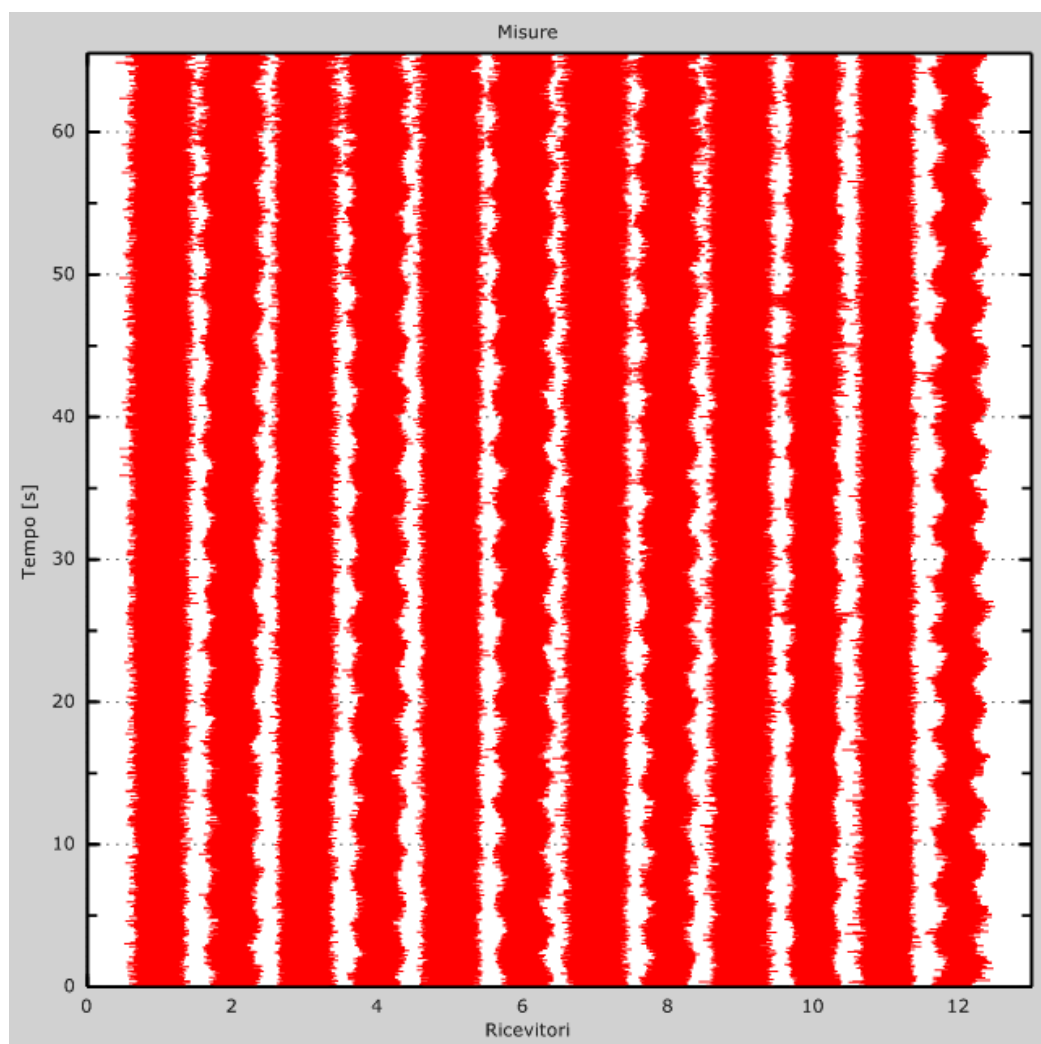


Figura 3: Tracce sperimentali

4 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
16.2426	1161.43	1060.1	1262.76
17.9688	890	801	979
19.033	722.344	647.287	797.401
20.0195	602.941	542.647	663.235
22.0703	550	495	605
24.1211	434.914	391.422	478.405
26.1719	354.915	319.423	390.406
28.2227	295.719	266.148	325.291
30.2734	209.459	188.514	230.405
31.2505	287.012	256.989	317.035
32.3242	277.761	249.985	305.537
36.4258	273.491	246.142	300.84
38.4766	269.863	242.877	296.849
40.5273	269.481	242.532	296.429
42.5781	250	225	275
44.6289	241.046	216.941	265.151
46.6797	231.599	208.439	254.759
48.7305	219.244	197.32	241.168

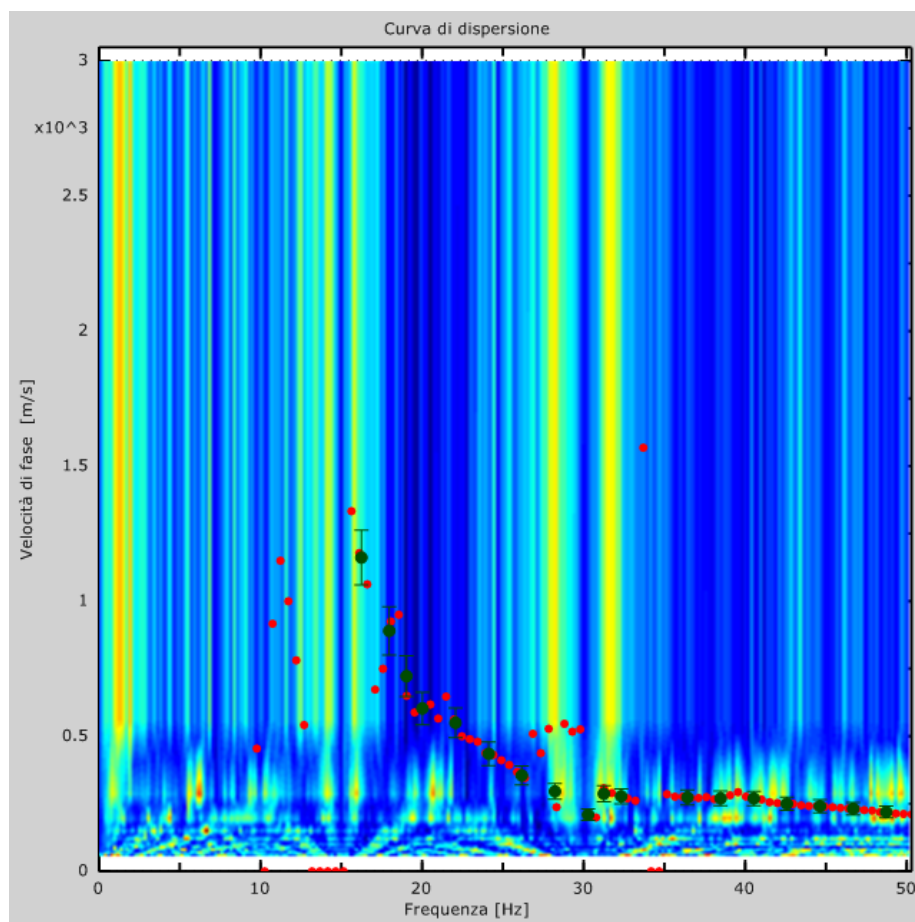


Figura 4: Curva di dispersione

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio).....	5
Spaziatura ricevitori [m]	2m
Numero ricevitori.....	12
Numero modi	3

Strato 1

h [m]	2
z [m]	-2
Vs [m/s]	244
Vp [m/s]	398

Strato 2

h [m]	2
z [m]	-4
Vs [m/s]	309
Vp [m/s]	505

Strato 3

h [m]	3
z [m]	-7
Vs [m/s]	483
Vp [m/s]	789

Strato 4

h [m]	5
z [m]	-12
Vs [m/s]	611
Vp [m/s]	998

Strato 5

h [m]	0
z [m]	-00
Vs [m/s]	1290
Vp [m/s]	2578

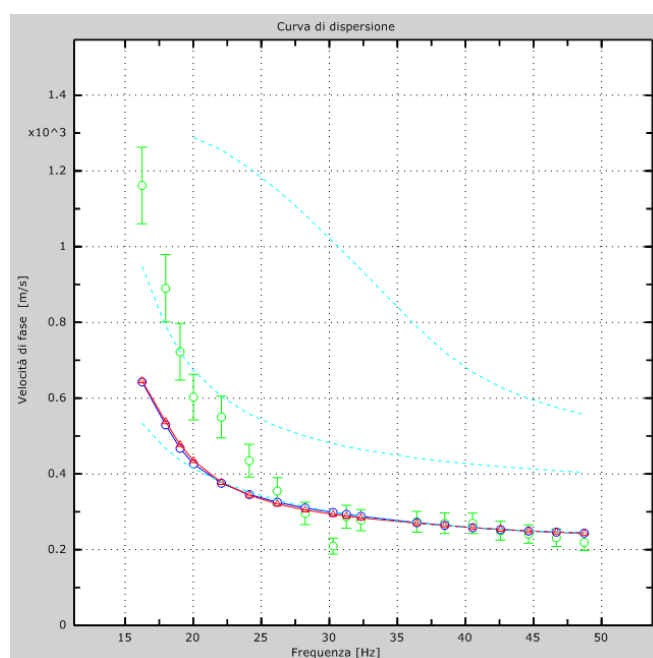


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

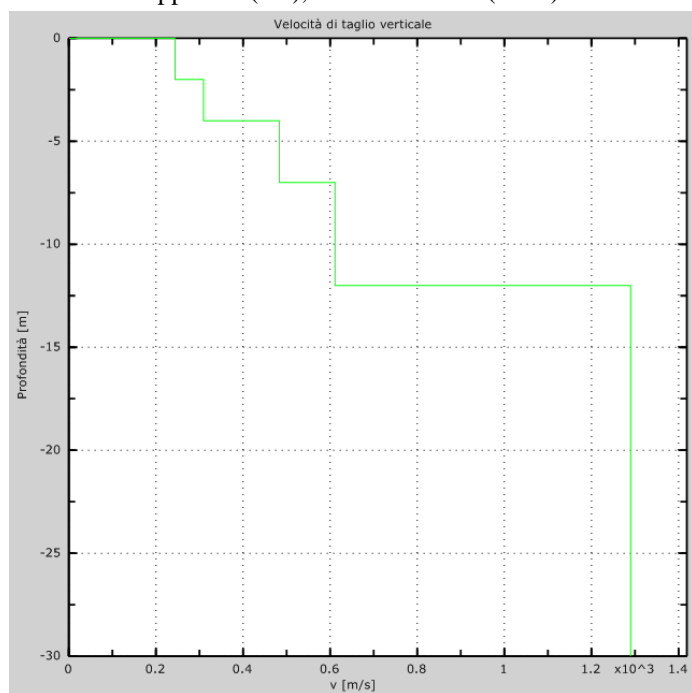


Figura 6: Profilo Vs numerico

6 - Risultati finali masw 1

Piano di riferimento $z=0$ [m]0
Vs30 [m/s]697

(DECRETO 17 gennaio 2018.. “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche”,
pubblicato nel Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n° 42 del
20/Febbraio/2018)

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla,
roccia).

Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.

L'unità geotecnica dello strato rigido è la numero 5

Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano gradualmente con la profondità

Tipo di suolo B

1 - Dati sperimentali masw2

Numero di ricevitori	12
Distanza tra i sensori:	2m
Numero di campioni temporali	2048
Passo temporale di acquisizione	1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi.....	12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....	0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a	2047ms

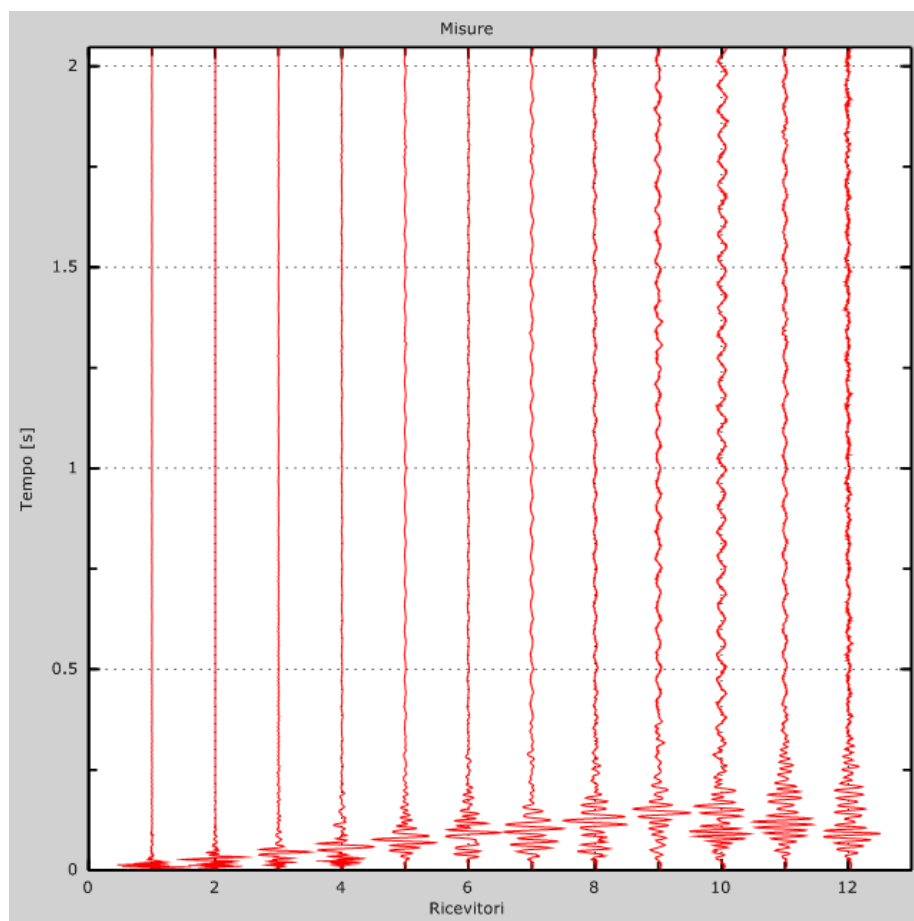


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

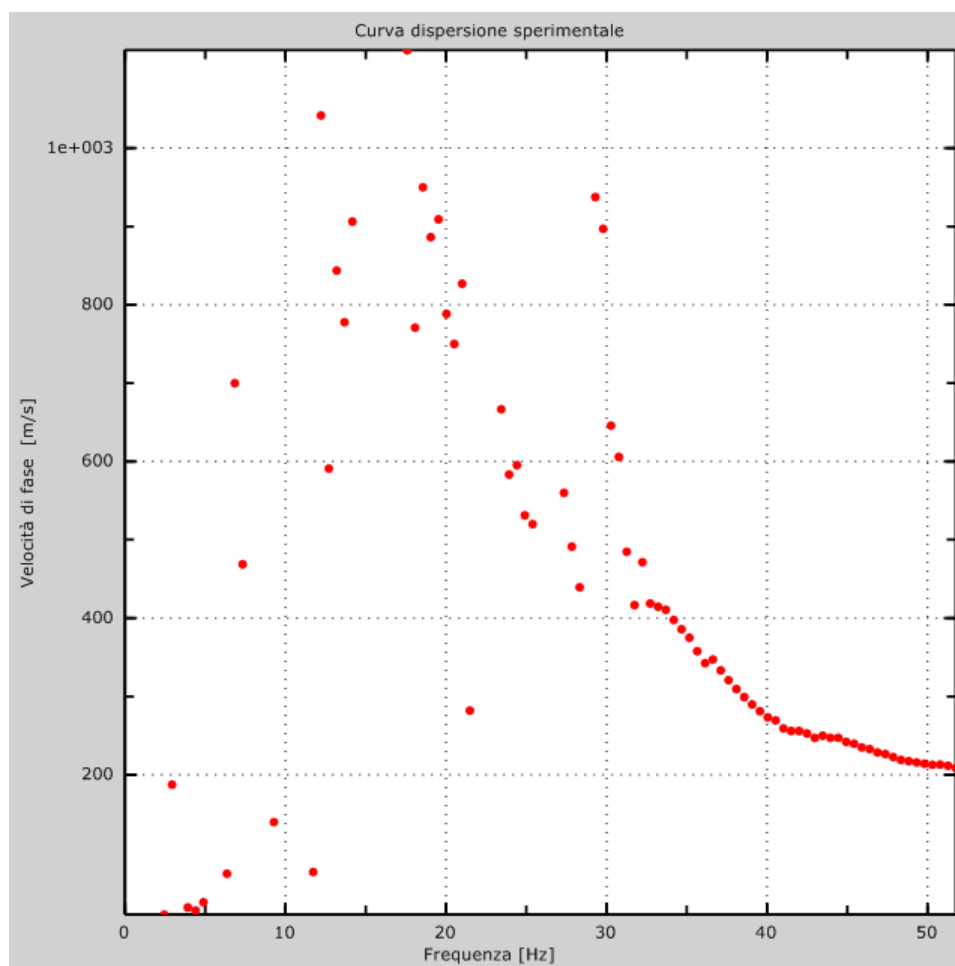


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Risultati delle analisi (tecnica passiva)

Numero di ricevitori 12
Numero di campioni temporali 3.26787e-312
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a65535ms

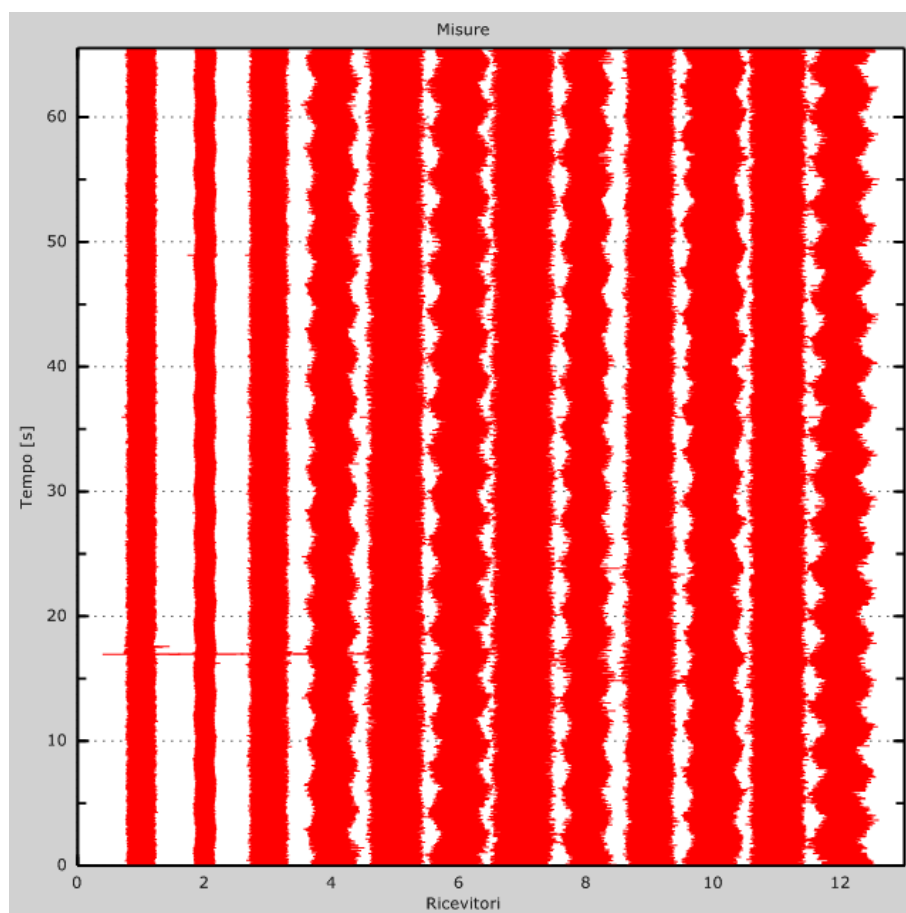


Figura 3: Tracce sperimentali

4 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
18.3852	977.539	940.01	1015.07
19.0179	876.211	819.918	932.504
20.3358	801.154	737.355	864.953
23.3408	681.062	643.534	718.591
24.0788	594.747	534.701	654.792
25.3968	530.948	482.161	579.735
27.8745	527.195	470.902	583.488
31.4067	470.902	437.126	504.678
32.9346	416.898	375.208	458.588
36.377	344.907	310.417	379.398
39.8193	276.896	249.206	304.585
43.2617	248.876	223.989	273.764
46.7041	230.067	207.06	253.073
50.1465	213.253	191.927	234.578
52.2304	219.46	208.202	230.719
55.0245	219.46	196.943	241.977
56.8169	208.202	181.931	234.472
59.2947	200.696	185.684	215.707
61.0344	215.707	196.943	234.472

63.1958	196.943	170.673	223.213
65.4627	219.46	196.943	241.977
67.7296	215.707	204.449	226.966

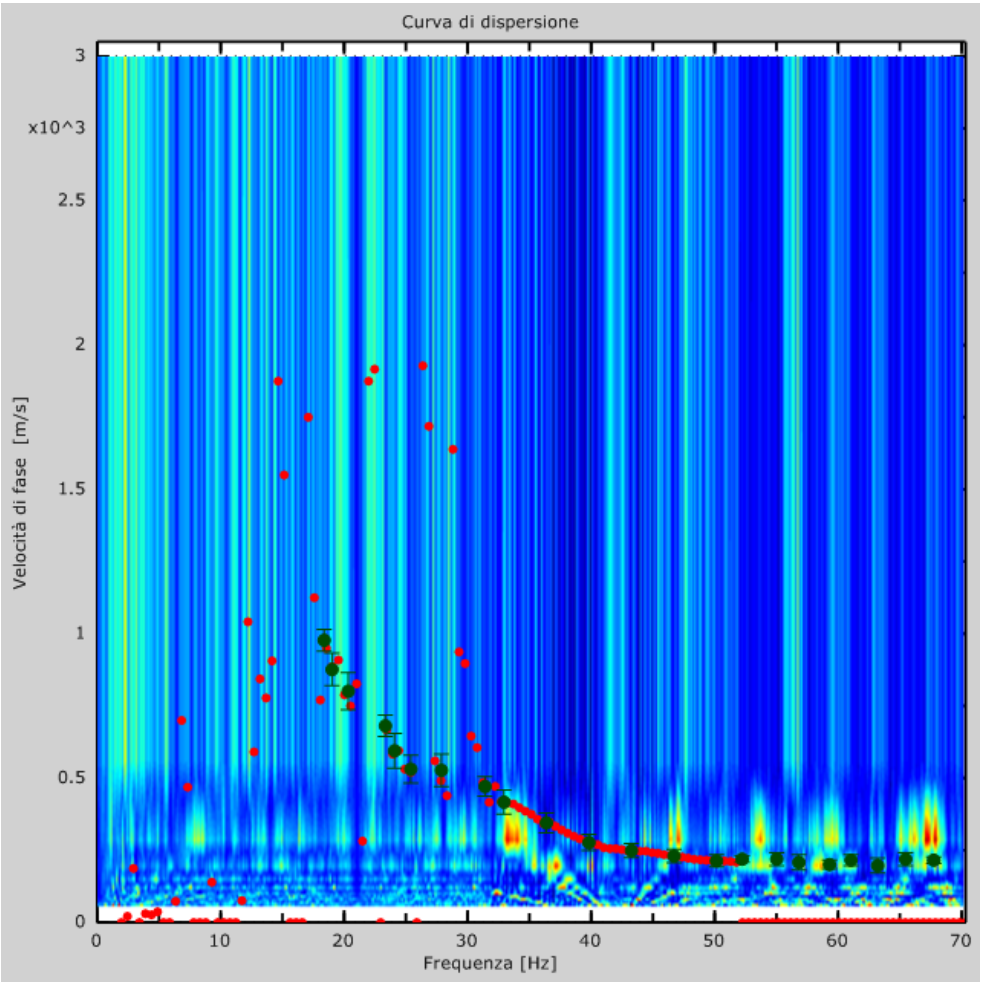


Figura 4: Curva di dispersione

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio).....	6
Spaziatura ricevitori [m]	2m
Numero ricevitori	12
Numero modi	3
Numero iterazioni.....	2

Strato 1

h [m]	2
z [m]	-2
Vs [m/s]	219
Vp [m/s]	338

Strato 2

h [m]	3
z [m]	-5
Vs [m/s]	383
Vp [m/s]	897

Strato 3

h [m]	3
z [m]	-8
Vs [m/s]	523
Vp [m/s]	1708

Strato 4

h [m]	4
z [m]	-12
Vs [m/s]	661
Vp [m/s]	2159

Strato 5

h [m]	4
z [m]	-16
Vs [m/s]	890
Vp [m/s]	2907

Strato 6

h [m]	0
z [m]	-oo
Vs [m/s]	1086
Vp [m/s]	3547

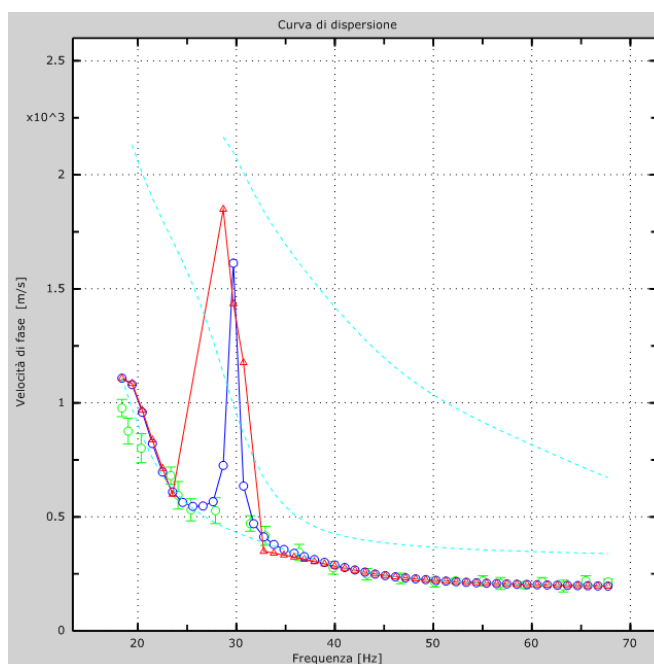


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

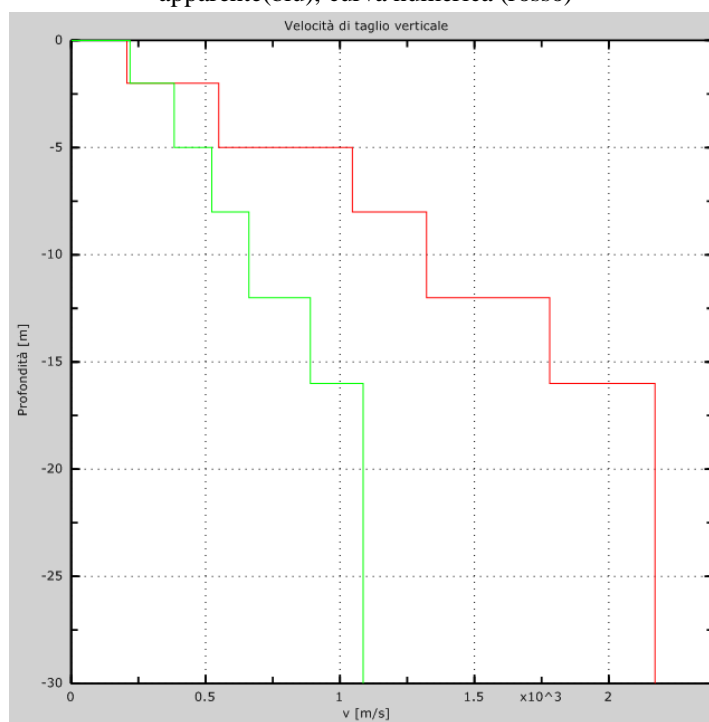


Figura 6: Velocità

6 - Risultati finali masw 2

Piano di riferimento $z=0$ [m]0
Vs30 [m/s] 1009
(DECRETO 17 gennaio 2018.. “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche”, pubblicato nel Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n° 42 del 20/Febbraio/2018)
Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).
Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.
Non esiste uno strato di alterazione di spessore maggiore di 3m
Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano gradualmente con la profondità
Tipo di suoloA

1 - Dati sperimentali masw 3

Numero di ricevitori	12
Distanza tra i sensori:	1.5m
Numero di campioni temporali	2048
Passo temporale di acquisizione	1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi.....	12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....	0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a	2047ms

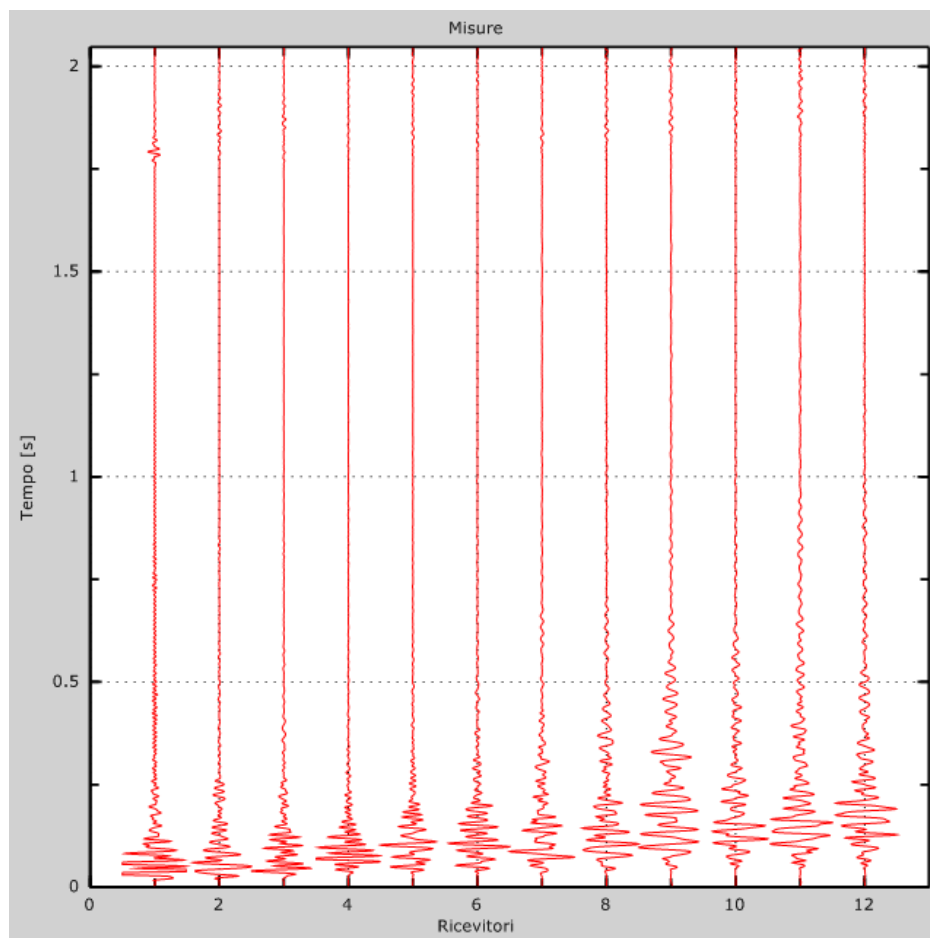


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 50Hz

Frequenza iniziale 20Hz

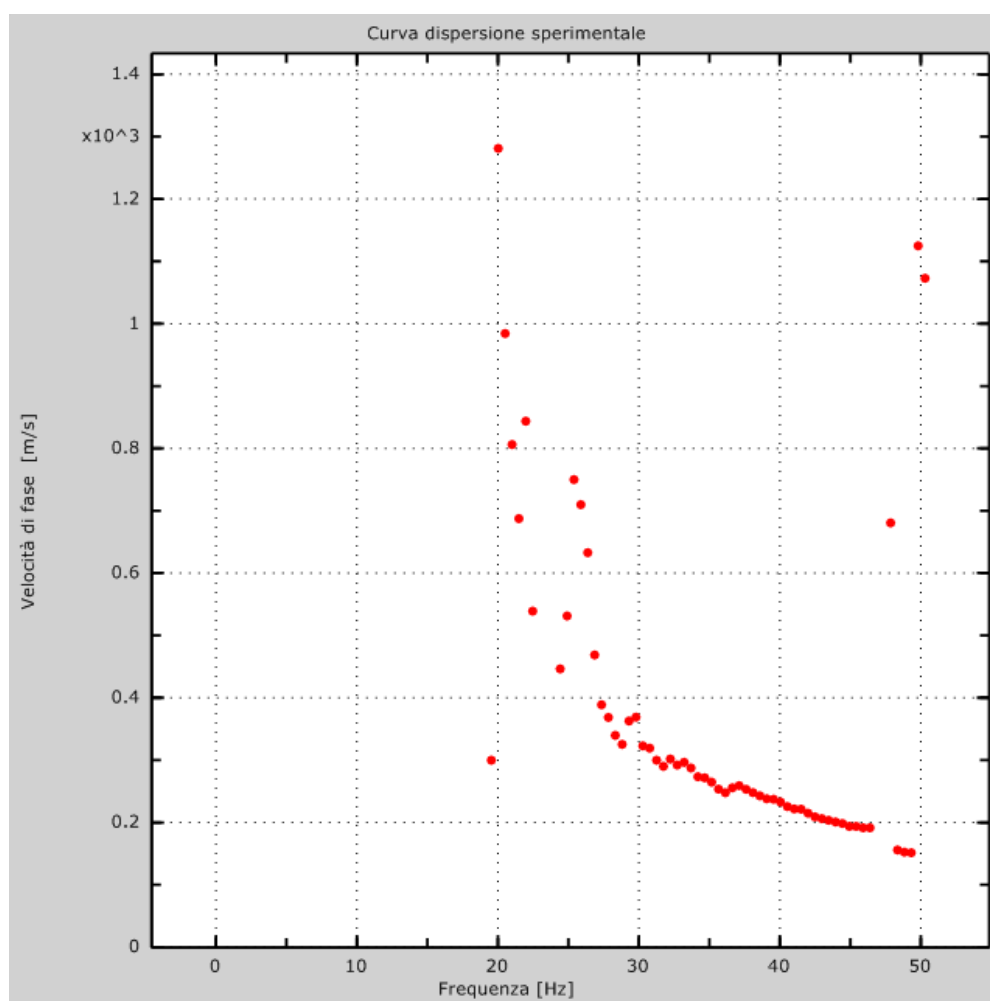


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Risultati delle analisi (tecnica passiva)

Numero di ricevitori 12
Numero di campioni temporali 3.26787e-312
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a65535ms

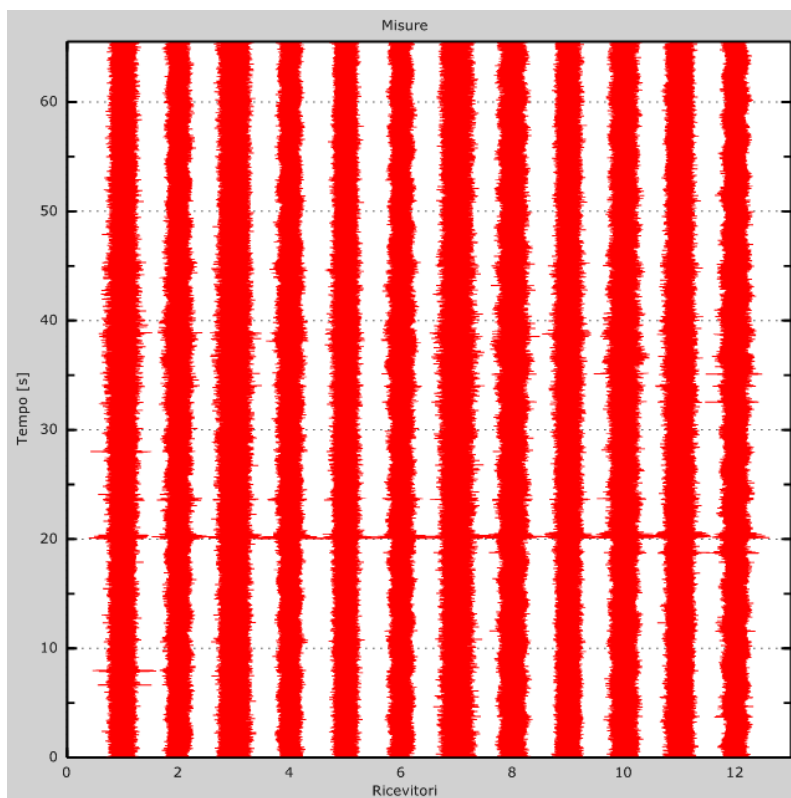


Figura 3: Tracce sperimentali

4 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
24.8024	714.965	636.34	793.591
24.9155	531.506	511.849	551.162
26.6878	462.708	451.242	474.175
27.3438	388.889	350	427.778
28.9063	332.875	299.587	366.162
30.4688	321.453	289.307	353.598
32.0313	297.169	267.452	326.886
33.5938	289.302	260.372	318.233
35.1562	264.706	238.235	291.176
36.7188	256.364	230.727	282
38.2813	245.86	221.274	270.446
39.8438	234.695	211.225	258.164
41.4063	221.45	199.305	243.594
42.9688	206.25	185.625	226.875
44.5313	197.485	177.736	217.233
46.0938	191.559	172.403	210.714
47.3519	171.138	149.844	192.433
48.4455	162.948	144.93	180.967
49.1619	141.654	136.74	146.568

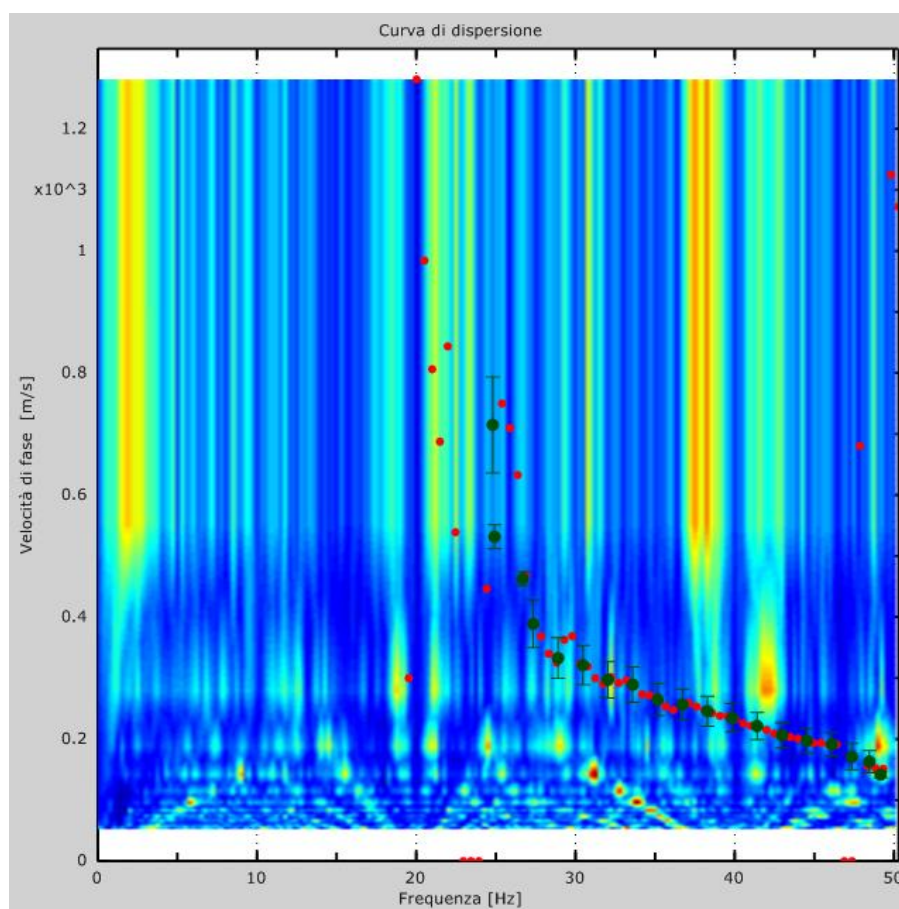


Figura 4: Curva di dispersione

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio).....	5
Spaziatura ricevitori [m]	1.5m
Numero ricevitori	12
Numero modi	1
Numero iterazioni.....	1

Strato 1

h [m]	2
z [m]	-2
Vs [m/s]	157
Vp [m/s]	312

Strato 2

h [m]	2
z [m]	-4
Vs [m/s]	321
Vp [m/s]	1050

Strato 3

h [m]	3
z [m]	-7
Vs [m/s]	514
Vp [m/s]	1408

Strato 4

h [m]	4
z [m]	-11
Vs [m/s]	591
Vp [m/s]	1929

Strato 5

h [m]	0
z [m]	-∞
Vs [m/s]	794
Vp [m/s]	2595

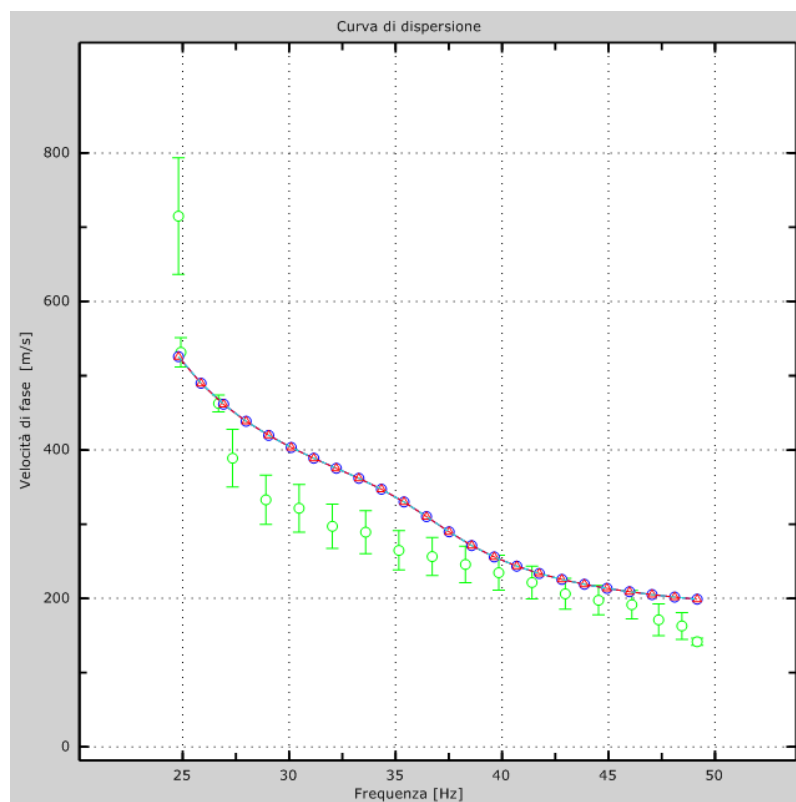


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

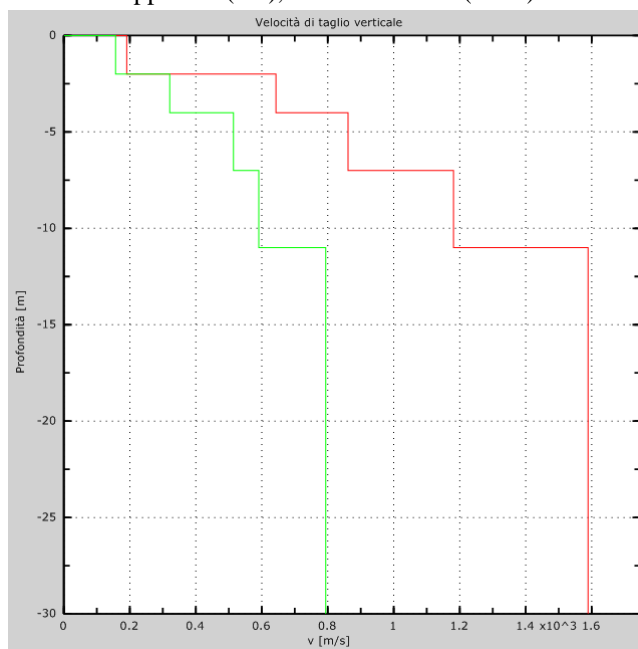


Figura 6: Velocità

6 - Risultati finali masw 3

Piano di riferimento z=0 [m]	0
Vs30 [m/s]	925
(DECRETO 17 gennaio 2018.. “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche”, pubblicato nel Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n° 42 del 20/Febbraio/2018)	
Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).	
Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.	
Non esiste uno strato di alterazione di spessore maggiore di 3m	
Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano gradualmente con la profondità	
Tipo di suolo	A

1 - Dati sperimentali masw 4

Numero di ricevitori 12
Numero di campioni temporali 2048
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a4094ms

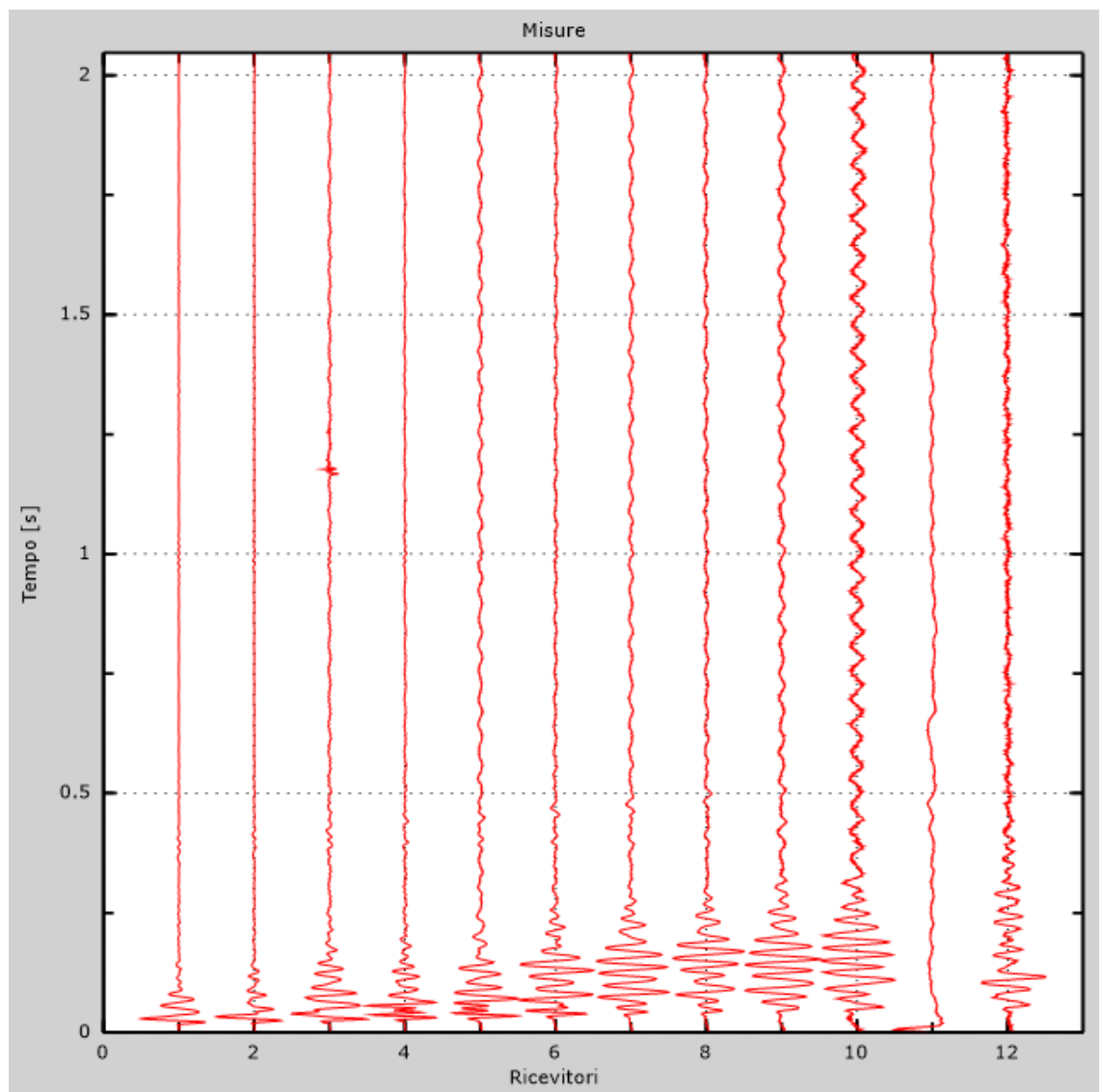


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 60Hz
Frequenza iniziale 10Hz

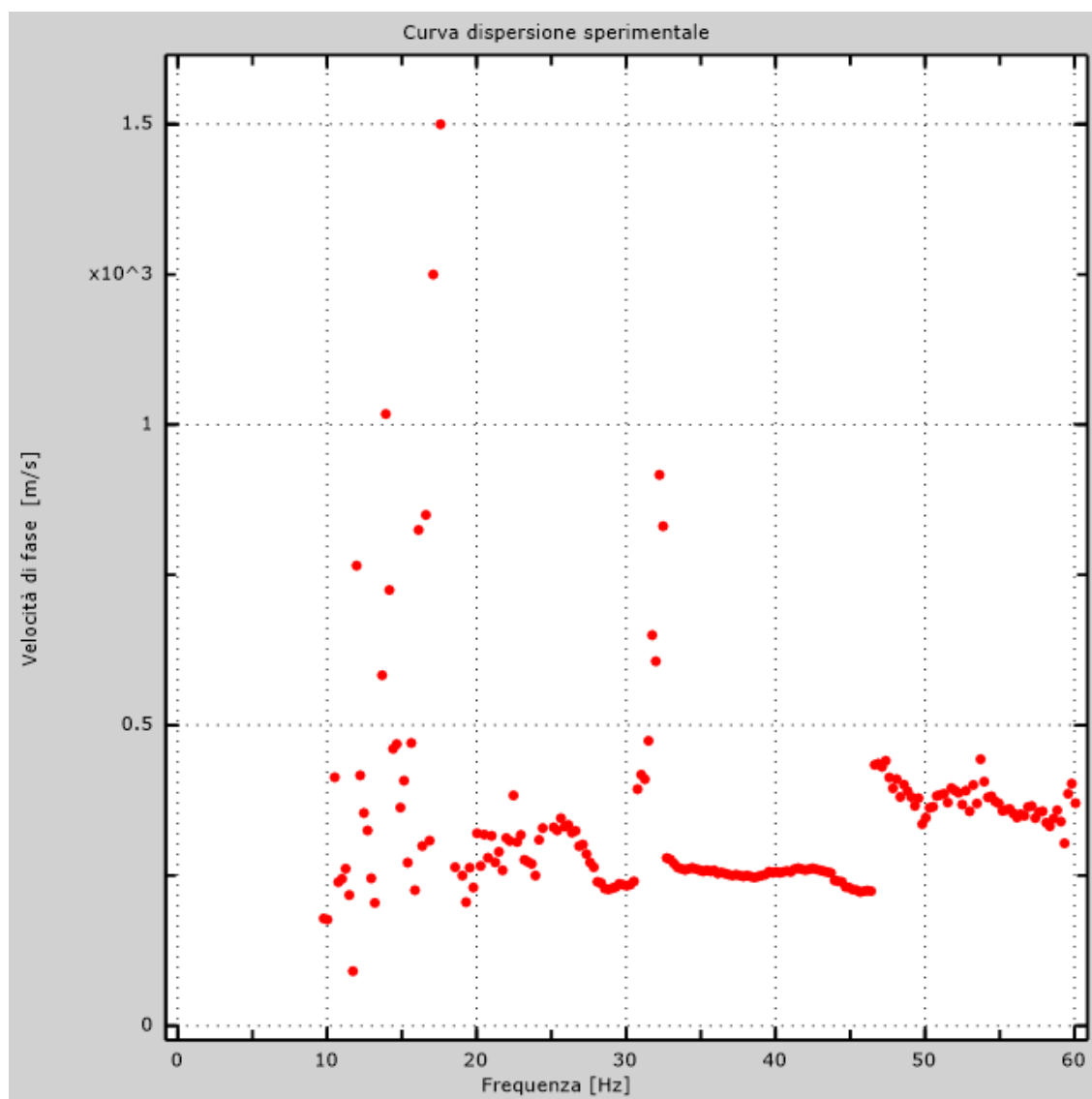


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Risultati delle analisi (tecnica passiva)

Numero di ricevitori 12
Numero di campioni temporali 3.26787e-312
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 131070ms

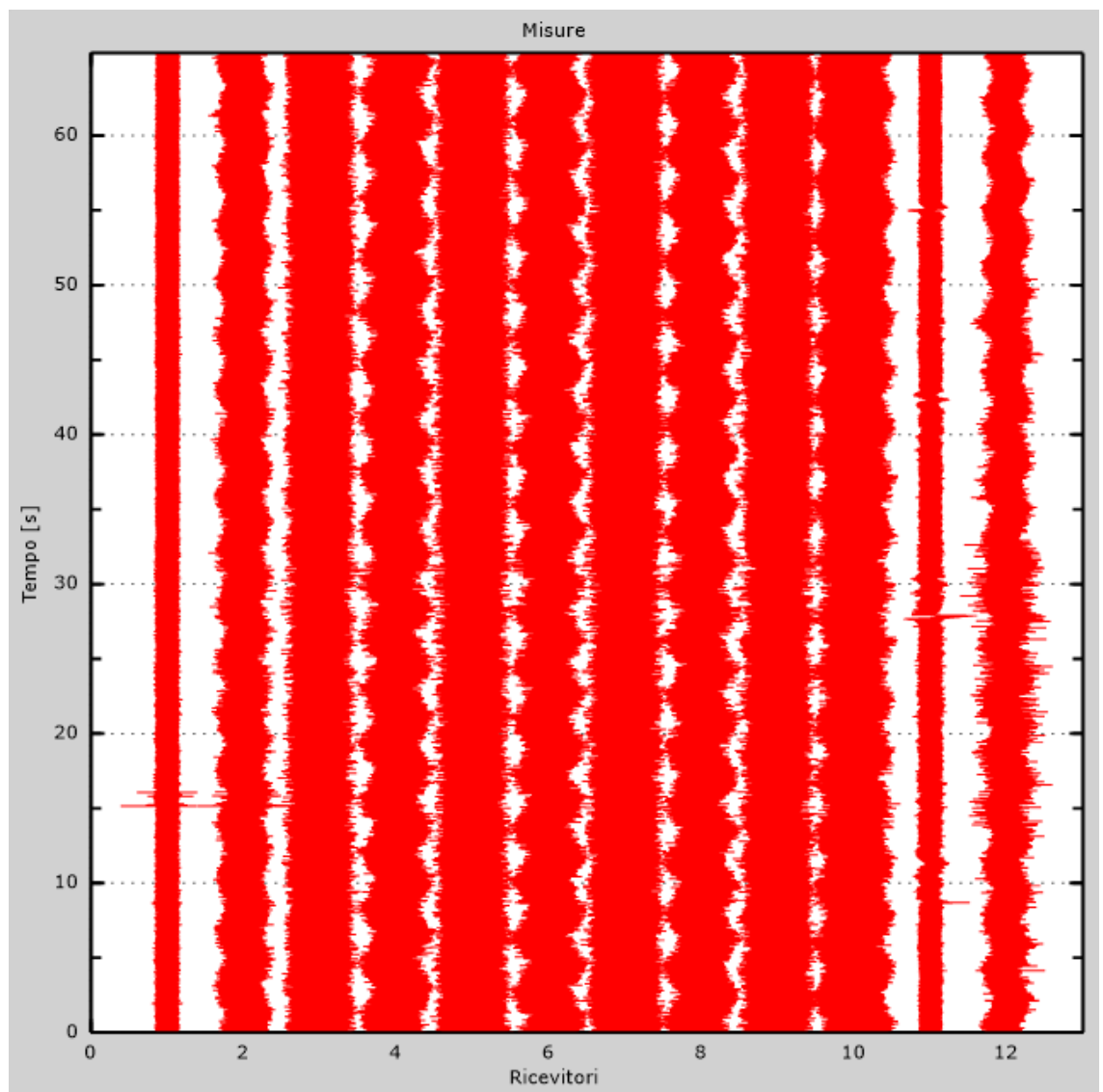


Figura 3: Tracce sperimentali

4 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
14.2031	692.705	663.736	721.675
14.3809	533.373	499.575	567.171
14.8193	394.792	355.312	434.271
16.573	296.788	277.475	316.101
18.5281	258.162	238.849	277.475
19.873	266.193	239.574	292.812
22.3999	364.358	327.922	400.794
24.0971	277.475	234.021	320.929
25.9337	359.556	306.445	412.666
27.4536	279.378	251.441	307.316
29.9805	233.287	209.958	256.615
31.3843	282.303	258.162	306.445
33.3394	287.132	277.475	296.788
35.0342	258.1	232.29	283.91
37.561	250.247	225.222	275.271
40.0879	255.926	230.333	281.519
42.6147	261.151	235.036	287.266
45.1416	227.044	204.34	249.749
47.6685	408.642	367.778	449.506

50.1953	356.119	320.507	391.731
52.7222	390.147	351.132	429.161
55.249	358.07	322.263	393.877
57.7759	356.401	320.761	392.041

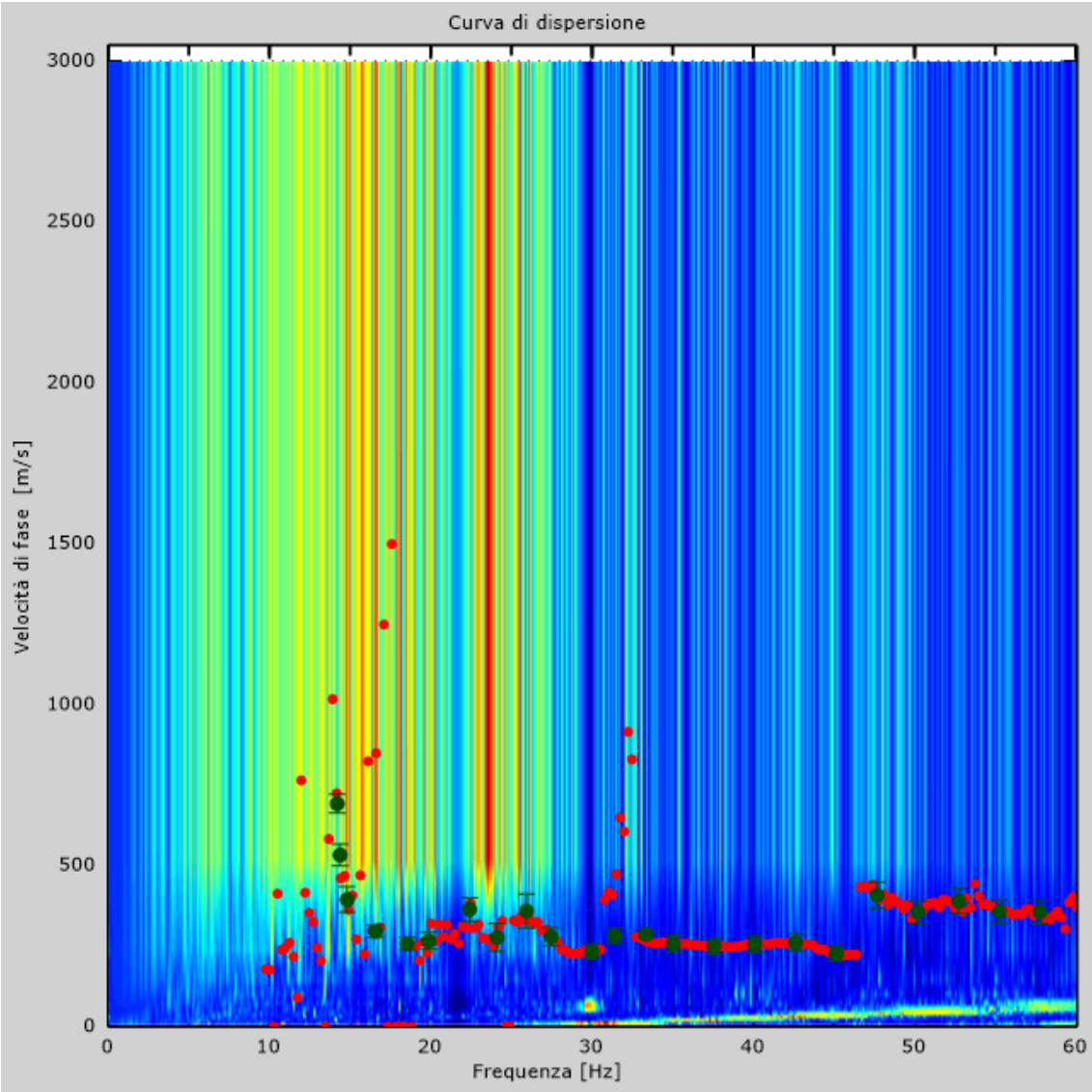


Figura 4: Curva di dispersione

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio).....	6
Spaziatura ricevitori [m]	2m
Numero ricevitori.....	12
Numero modi	2
Numero iterazioni.....	1

Strato 1

h [m]	2
z [m]	-2
Vs [m/s]	252.27
Vp [m/s]	572.39

Strato 2

h [m]	3
z [m]	-5
Vs [m/s]	319.04
Vp [m/s]	465.98

Strato 3

h [m]	3
z [m]	-8
Vs [m/s]	404.84
Vp [m/s]	692.91

Strato 4

h [m]	4
z [m]	-12
Vp [m/s]	949.90
Vs min [m/s]	219.33

Strato 5

h [m]	4
z [m]	-16
Vs [m/s]	592.64
Vp [m/s]	1084.75

Strato 6

h [m]	0
z [m]	-∞
Vs [m/s]	769.67

Vp [m/s] 1148.47

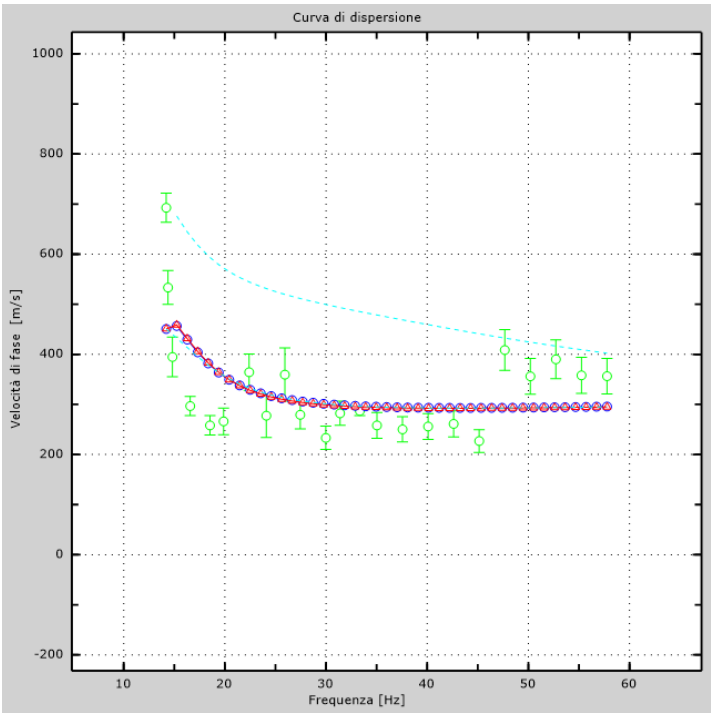


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

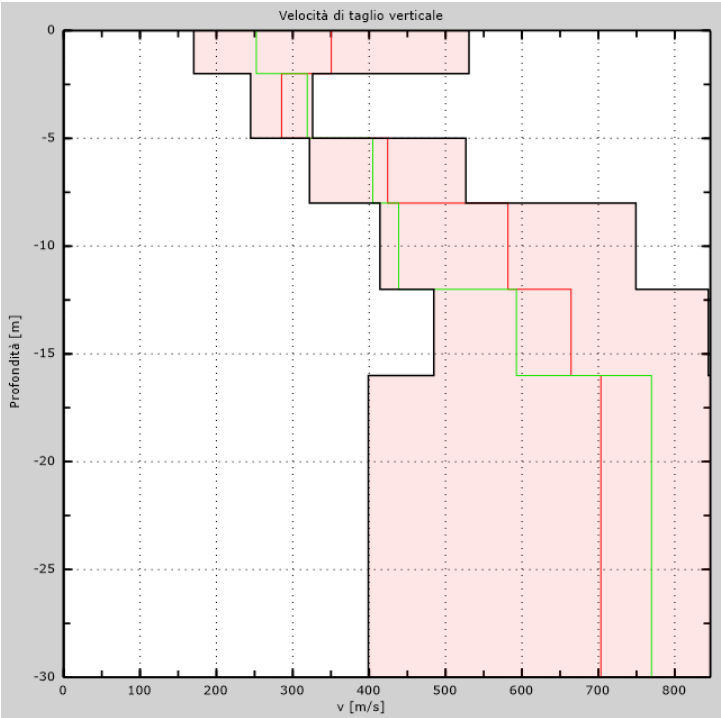


Figura 6: Velocità

6 - Risultati finali masw 4

Offset [m]0

Vs30 [m/s]534

(DECRETO 17 gennaio 2018.. “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche”, pubblicato nel Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n° 42 del 20/Febbraio/2018)

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E o S1 (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Tipo di suolo B.....

1 - Dati sperimentali masw 5

Numero di ricevitori	12
Distanza tra i sensori:	3m
Numero di campioni temporali	2048
Passo temporale di acquisizione	1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi.....	12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....	0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a	2047ms

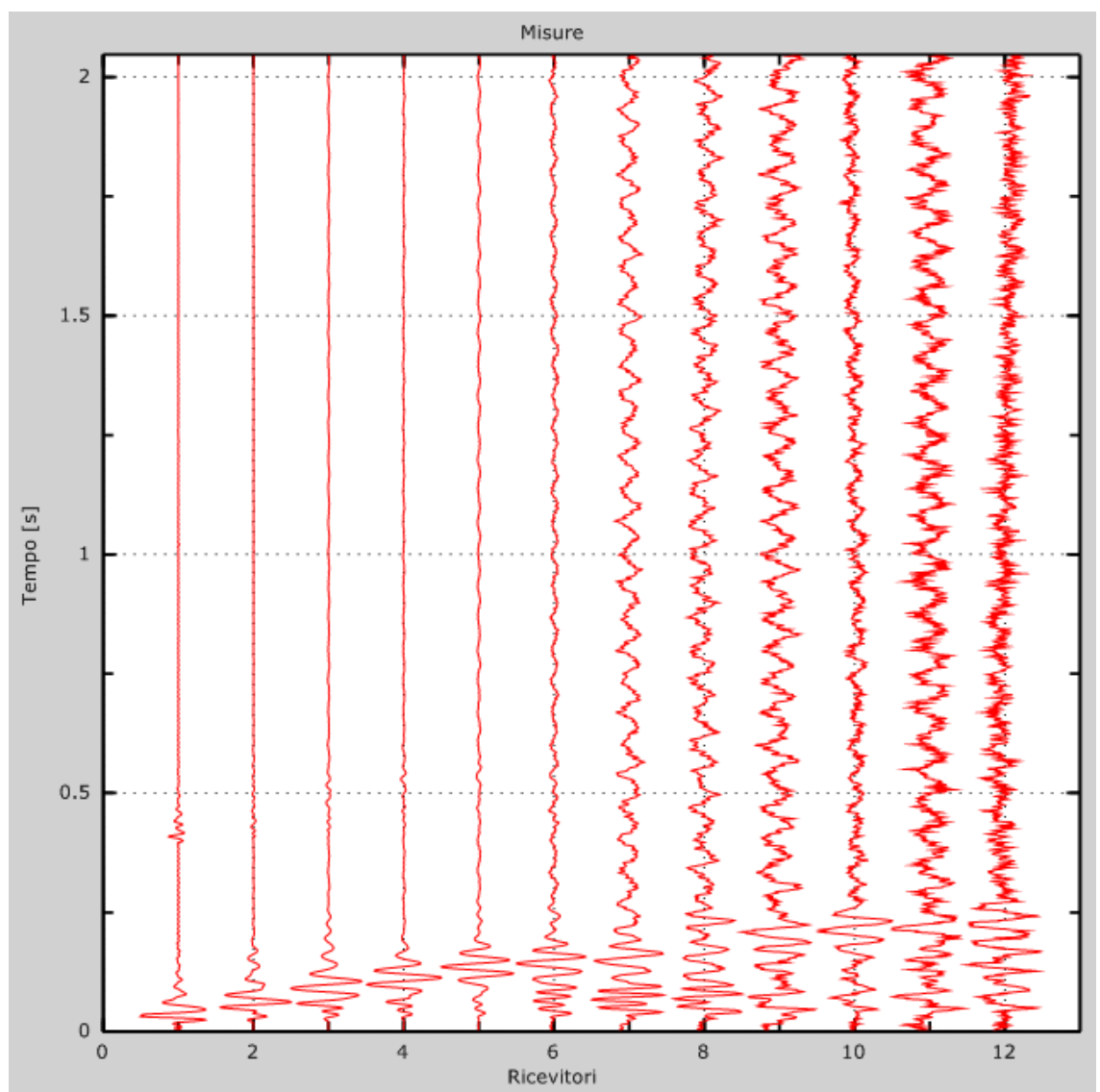


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 45Hz
Frequenza iniziale 2Hz

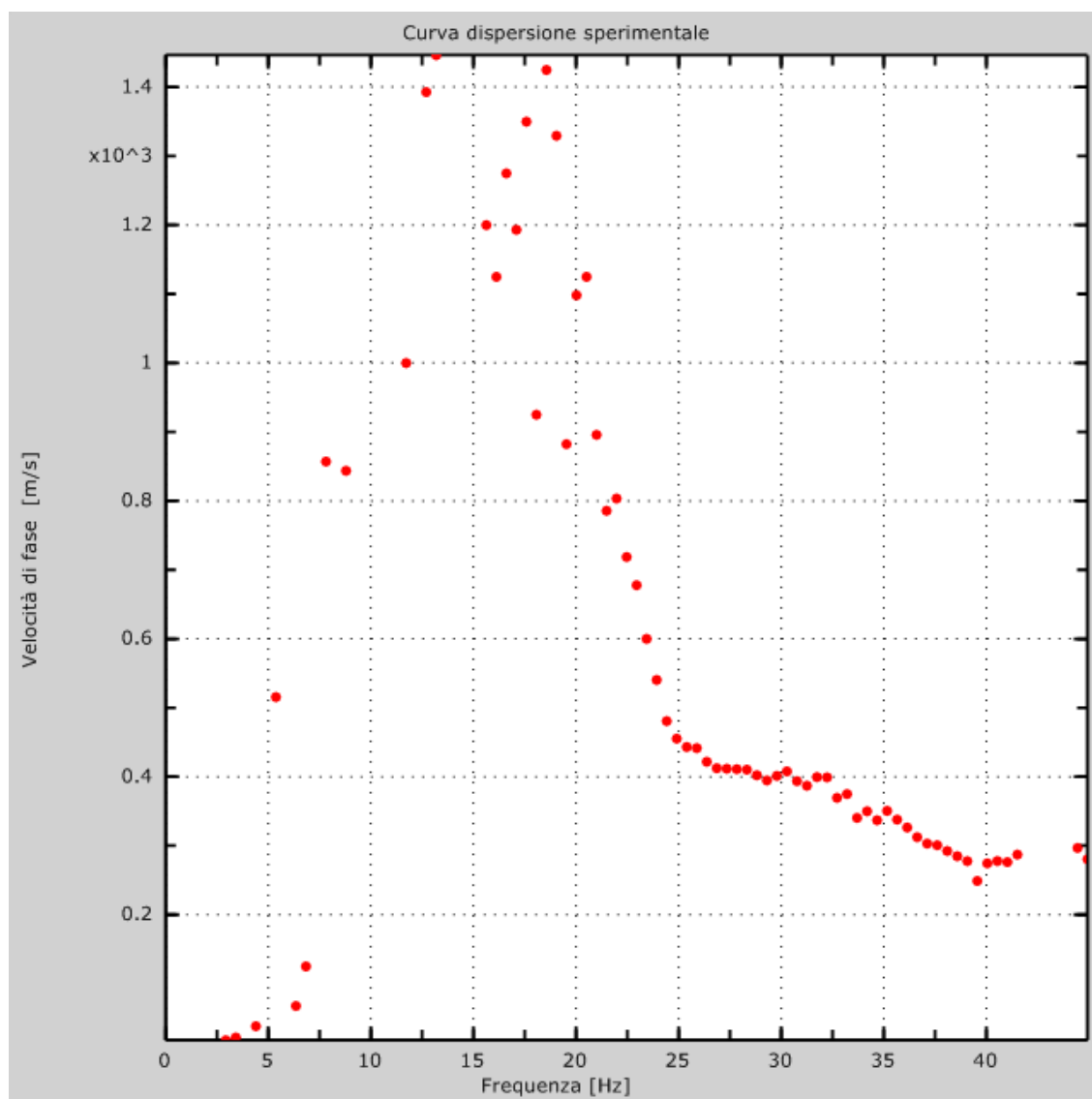


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Risultati delle analisi (tecnica passiva)

Numero di ricevitori 12
Numero di campioni temporali 3.26787e-312
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a65535ms

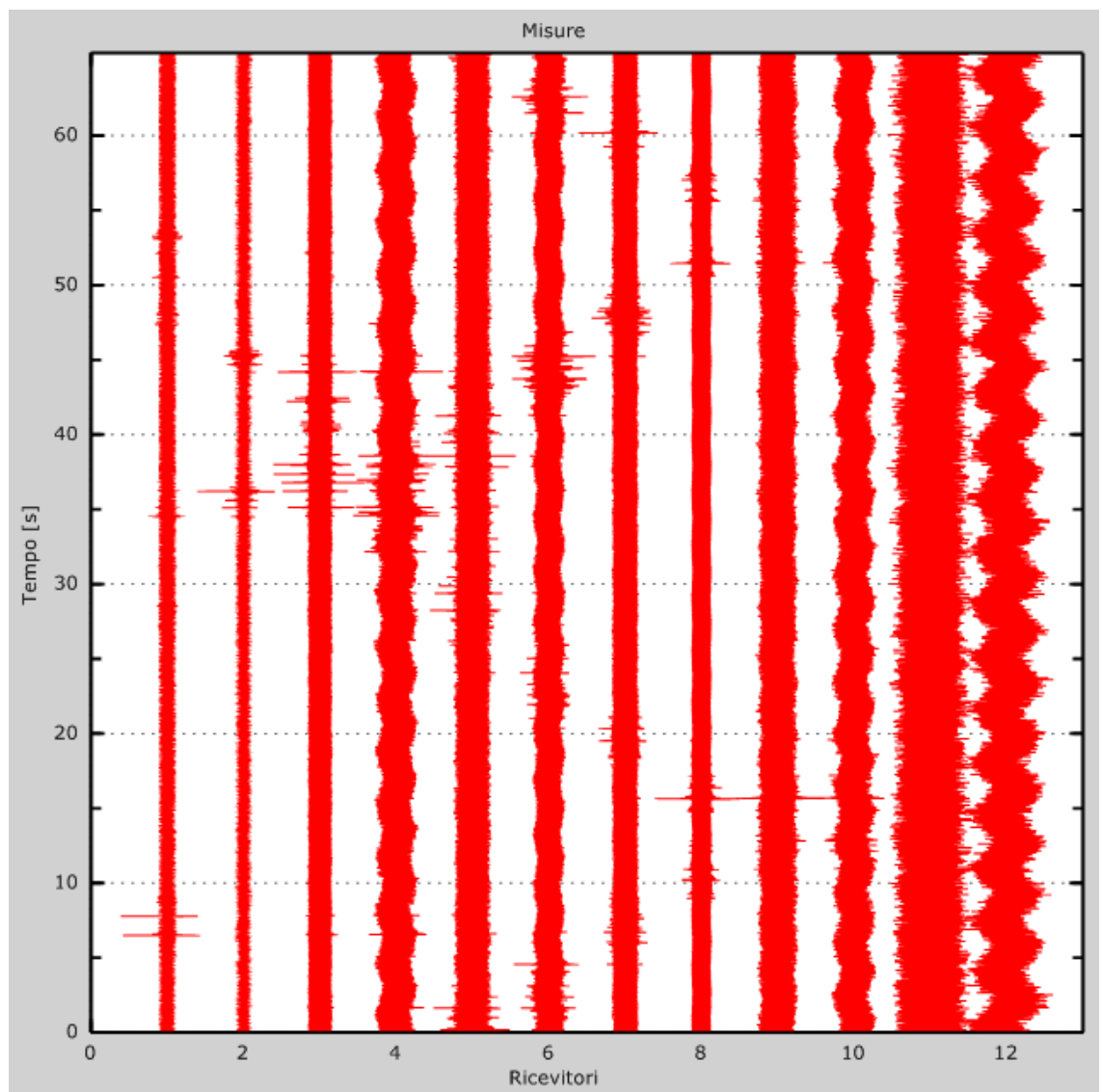


Figura 3: Tracce sperimentali

4 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
12.9395	1419.64	1277.68	1561.61
16.6745	1311.54	1255.25	1367.84
17.334	1271.59	1144.43	1398.75
19.909	1112.64	1037.58	1187.7
20.8623	913.74	872.458	955.021
21.7285	794.643	715.179	874.107
23.9258	540.441	486.397	594.485
26.123	431.771	388.594	474.948
28.3203	410.377	369.34	451.415
30.5176	400.822	360.74	440.905
32.7148	369.485	332.537	406.434
34.9121	343.837	309.454	378.221
37.1094	303.191	272.872	333.511
39.3066	263.377	237.039	289.714
41.5039	287.162	258.446	315.878
44.2527	298.27	260.742	335.799
44.8656	275.753	253.236	298.27

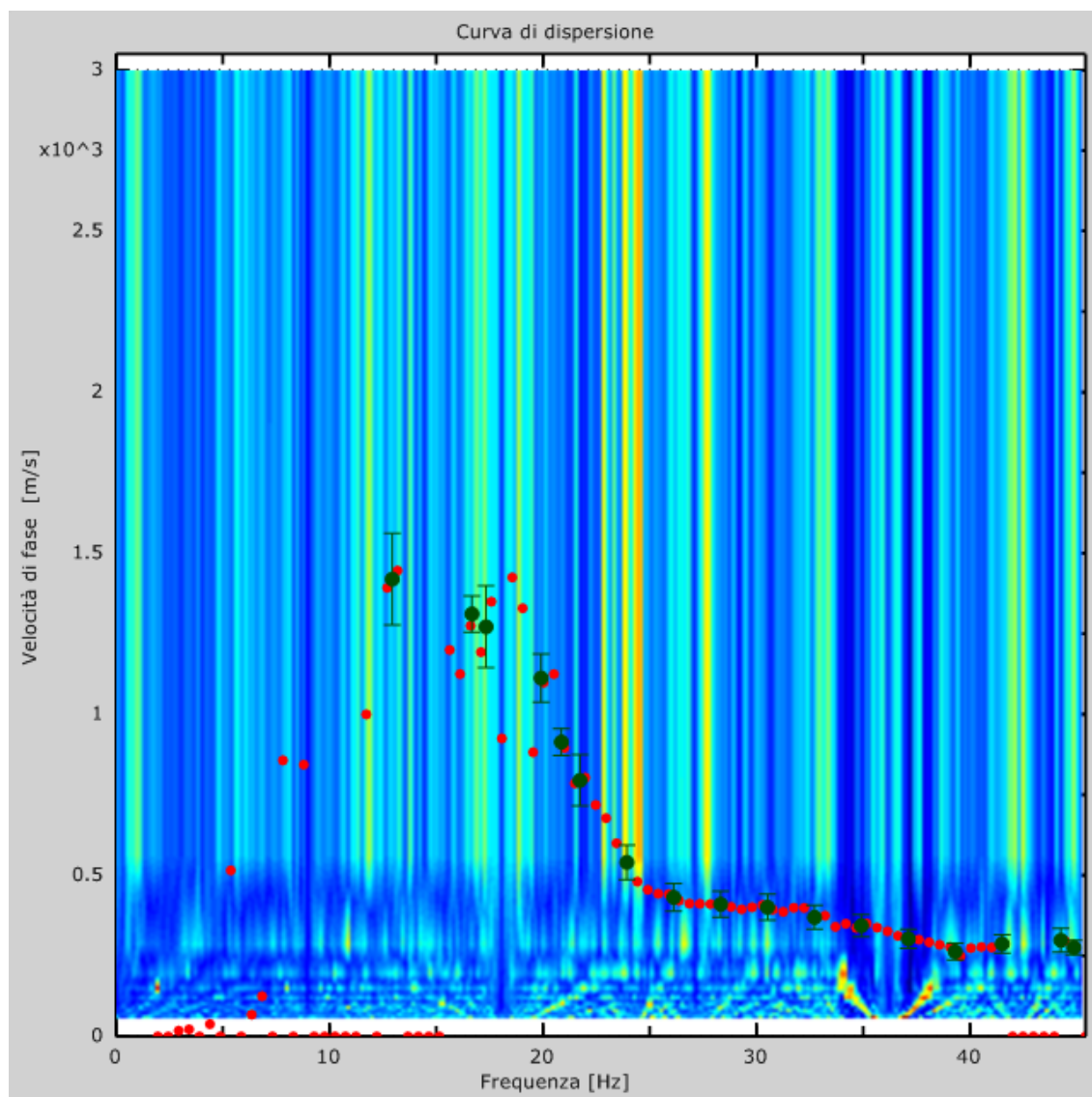


Figura 4: Curva di dispersione

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio).....	6
Spaziatura ricevitori [m]	3m
Numero ricevitori.....	12
Numero modi	1

Strato 1

h [m]	2
z [m]	-2
Vs [m/s]	306
Vp [m/s]	500

Strato 2

h [m]	1
z [m]	-3
Vs [m/s]	337
Vp [m/s]	550

Strato 3

h [m]	3
z [m]	-6
Vs [m/s]	480
Vp [m/s]	784

Strato 4

h [m]	2
z [m]	-8
Vs [m/s]	600
Vp [m/s]	2059

Strato 5

h [m]	2
z [m]	-10
Vs [m/s]	883
Vp [m/s]	2502

Strato 6

h [m]	0
z [m]	-∞
Vs [m/s]	1577
Vp [m/s]	3041

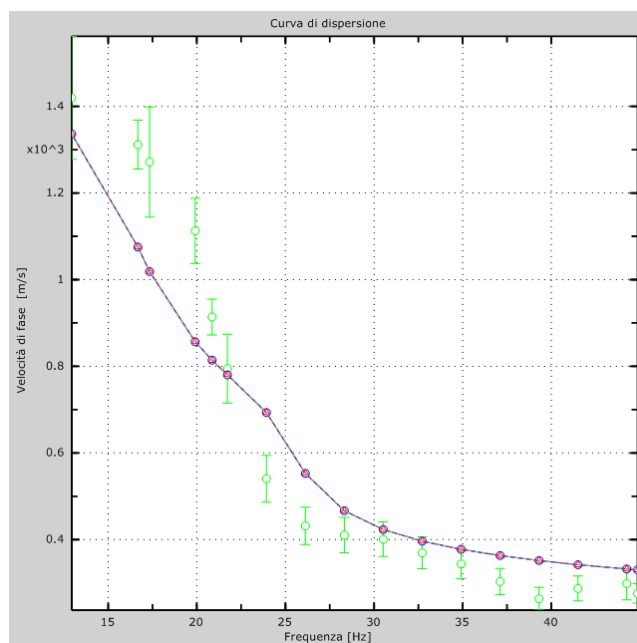


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

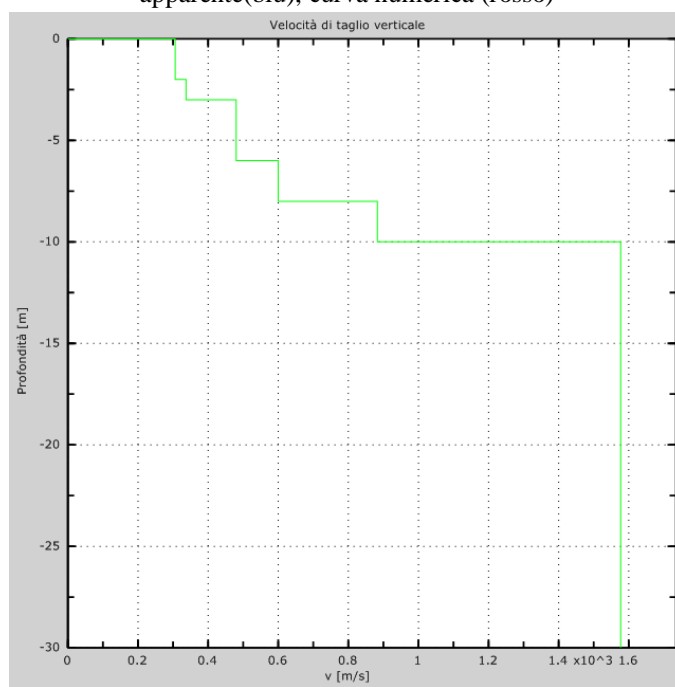


Figura 6: Profilo Vs numerico

6 - Risultati finali masw 5

Piano di riferimento $z=0$ [m]0

$V_{s,30}$ [m/s] 881

(DECRETO 17 gennaio 2018.. “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche”, pubblicato nel Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n° 42 del 20/Febbraio/2018)

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.

Non esiste uno strato di alterazione di spessore maggiore di 3m

Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano gradualmente con la profondità

Tipo di suoloA

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

Siccome in alcune masw la categoria di suolo è risultata B mentre in altre è risultata A, a vantaggio della sicurezza si preferisce usare per tutta l'area in oggetto la Categoria B.

Tomografia elettrica S.E.V.

PREMESSA

E' stata eseguita n. 1 indagine di Tomografia Elettrica, a supporto del "Progetto di riqualificazione antico quartiere Casazza con recupero di eventuali immobili per finalità turistico ricettive".

L'esecuzione di tale indagine, effettuata secondo le indicazioni del committente, ha avuto lo scopo di fornire le seguenti indicazioni qualitative:

- resistività apparente dei terreni;
- presenza e profondità di eventuali falde acquifere;
- calcolo degli spessori degli elettrostrati;

I rilievi geoelettrici bidimensionali, eseguiti con tecnica tomografica, sono stati eseguiti con 32 elettrodi con distanza interelettrodica (spaziatura "a") di 5 mt. per la sezione SEV-1 e di 2,5 mt. le sezioni SEV-2 e SEV-3 per una lunghezza di stendimento pari a mt. 155 e mt. 80.

La profondità d'investigazione (H) è funzione della lunghezza dello stendimento (L) secondo la relazione teorica:

$$(1) H=1/5 L$$

Il valore della (1) è un valore medio teorico che può variare sensibilmente in funzione della resistività dei terreni attraversati dalla corrente (spessore, natura, geometria degli strati, umidità ecc.).

INDAGINI GEOFISICHE DI TOMOGRAFIA ELETTRICA

La tomografia elettrica è un'indagine indiretta, tale ricerca sfrutta le proprietà dei terreni di farsi attraversare dalle correnti elettriche, questo permette di calcolare la resistività apparente presente nel terreno attraverso la relazione:

$$\rho_a=(\Delta V/I) \cdot K$$

dove:

ρ = resistività apparente (Ω m)

ΔV = differenza di potenziale rilevata tra gli elettrodi di corrente (V)

I = corrente immessa nel terreno (A)

K = COEFFICIENTE GEOMETRICO RELATIVO AL SONDAGGIO UTILIZZATO

Principi fisici delle prospezioni geoelettriche, si basano sulla misura delle caratteristiche elettrolitiche della roccia dovute essenzialmente dall'acqua interstiziale contenuta nell'unità di volume. La misura del contenuto è funzione dei seguenti fattori:

- la resistività dei granelli solidi all'interno della roccia;
- porosità, intesa come forma dei pori, delle fratture e/o cavità della roccia;
- natura della roccia;
- resistività dell'acqua, e quindi dalla quantità di sali disciolti.

La corrente elettrica passa attraverso il terreno in due modi principali, la conduzione elettronica ed elettrolitica. Nel caso della conduzione elettronica, il flusso di corrente avviene attraverso elettroni liberi, come avviene nei metalli. Nel caso della conduzione elettrolitica, la corrente passa grazie al movimento degli ioni nell'acqua di falda.

Nei rilievi idrogeologici, la conduzione elettrolitica è il meccanismo più comune.

Per misurare la resistività (ρ) del terreno, si posizionano gli elettrodi secondo la disposizione del metodo utilizzato. La corrente è indotta attraverso gli elettrodi di corrente, **A** e **B**. Di seguito, viene misurata la differenza di potenziale (ΔV) in superficie creata dalla corrente tra i due elettrodi di potenziale, **M** e **N**.

Metodologia

La Tomografia Elettrica si basa sull'acquisizione di un elevato numero di misure elettriche, effettuate su un discreto numero di elettrodi posizionati sul terreno, lungo un

profilo. La ricostruzione tomografica della sezione verticale del profilo di terreno investigato viene effettuata tramite appositi software di elaborazione che utilizzano generalmente il Metodo degli Elementi Finiti (**FEM**). Il terreno al di sotto degli elettrodi viene così suddiviso idealmente in un numero finito di maglie o celle (“elementi finiti”), ciascuna di resistività omogenea ed incognita. La forma degli elementi è generalmente quadrata o rettangolare e le loro dimensioni sono determinate in base alla distanza tra gli elettrodi.

Tipo di stendimento

In considerazione della profondità di investigazione, la sensitività dello stendimento ai cambiamenti di resistività, sia in senso orizzontale che verticale, la copertura orizzontale e l'intensità del segnale, è stata scelta per la presente indagine una geometria tipo Wenner-Schlumberger.

Configurazione Wenner-Schlumberger.

Si tratta di una combinazione degli stendimenti Wenner e Schlumberger. Il fattore “**n**” per questi stendimenti è il rapporto della distanza A-M (o B-N) e la spaziatura “**a**” tra gli elettrodi di potenziale M-N. Con questa configurazione, la sensitività all'aumentare del fattore “**n**” cresce di 1 (stend. Wenner) a 6 (stend. Schlumberger).

La funzione sensitività fornisce il modo in cui un cambiamento nella resistività di una porzione del sottosuolo influenzerà il potenziale misurato dallo stendimento. In pratica, se la resistività di un certo volume di roccia in corrispondenza di (x,y, e z) cambia di un valore $\delta\rho$, la variazione potenziale di $\delta\phi$ misurata nel M (o N) è data da:

$$\delta\phi = \frac{\delta\rho}{\rho^2} \int_v \nabla\phi \times \nabla\phi' d\tau$$

e la funzione di sensitività (F3D), sarà:

$$F_{3D}(x, y, z) = \frac{\delta\phi}{\delta\rho} = \frac{1}{4\pi^2} \times \frac{x(x-a) + y^2 + z^2}{[x^2 + y^2 + z^2]^{1.5} [(x-a)^2 + y^2 + z^2]^{1.5}}$$

Nel caso della tomografia elettrica, ovvero una prospezione geoelettrica bidimensionale, la funzione di sensistività (F2D) sarà data integrando la F3D nella direzione y, dunque:

$$F_{2D}(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(x-a) + y^2 + z^2}{[x^2 + y^2 + z^2]^{1.5} [(x-a)^2 + y^2 + z^2]^{1.5}} dy$$

L'elaborazione dei dati di resistività è stata eseguita mediante l'utilizzo di un algoritmo di calcolo polinomiale "Kriging", orientato da una funzione di ricerca, dell'intorno dei valori, con area circolare e costante.

Equipaggiamento e strumentazione

La strumentazione utilizzata è costituita da uno georesistivimetro 16 GL PASI in grado di effettuare e memorizzare acquisizioni con risoluzione di 16 bit. I dati sono trattati internamente in modalità floating-point.

Il georesistivimetro è stato energizzato con P300-T PASI.

Per l'acquisizione sono stati selezionati il tipo di stendimento con i parametri geometrici e i parametri di acquisizione (durata impulso di energizzazione, durata pausa di interciclo, numero di commutazioni, numero di misure e corrente di energizzazione, ecc.). L'elaborazione dei dati raccolti attraverso le misure di campagna, è stata eseguita mediante apposito programma di calcolo "ELETOM" sviluppato dalla "geo&soft".

"Il programma di calcolo ELETOM utilizza il metodo degli elementi finiti (FEM) in due dimensioni per modellizzare la risposta elettrica del sottosuolo. Gli elementi della maglia discreta sono trapezoidali per permettere la compensazione di qualsiasi tipo di dislivello tra le posizioni elettrodeiche. La dispersione della corrente nella terza dimensione spaziale (perpendicolare alla sezione di interesse) viene tenuta di conto utilizzando le correzioni di Wannamaker. L'algoritmo iterativo di inversione si basa sulla minimizzazione dell'errore quadratico medio tra i dati di campo e i dati simulati

mediante il FEM, secondo la metodologia proposta da Sasaki (1994). La convergenza dell'algoritmo è ottenuta con la stima automatica di un parametro di stabilizzazione (eseguita con il metodo dei coefficienti reciproci generalizzati) ripetuta ad ogni iterazione. La riduzione dell'effetto del rumore presente nei dati è ottenuta con una regressione lineare iterativa (Ward, 1990) che permette di compensare l'impossibilità di conoscere le varianze statistiche di ciascun dato”.

Il risultato è dato da una sezione di resistività reale ricostruita con precisione (nelle due dimensioni) pari a metà della più piccola distanza inter-elettrodica, con possibilità di selezionare le scale di tonalità dei colori per evidenziare in modo ottimale le anomalie presenti nel terreno. I risultati sono restituiti in forma di curve di iso-resistività”.

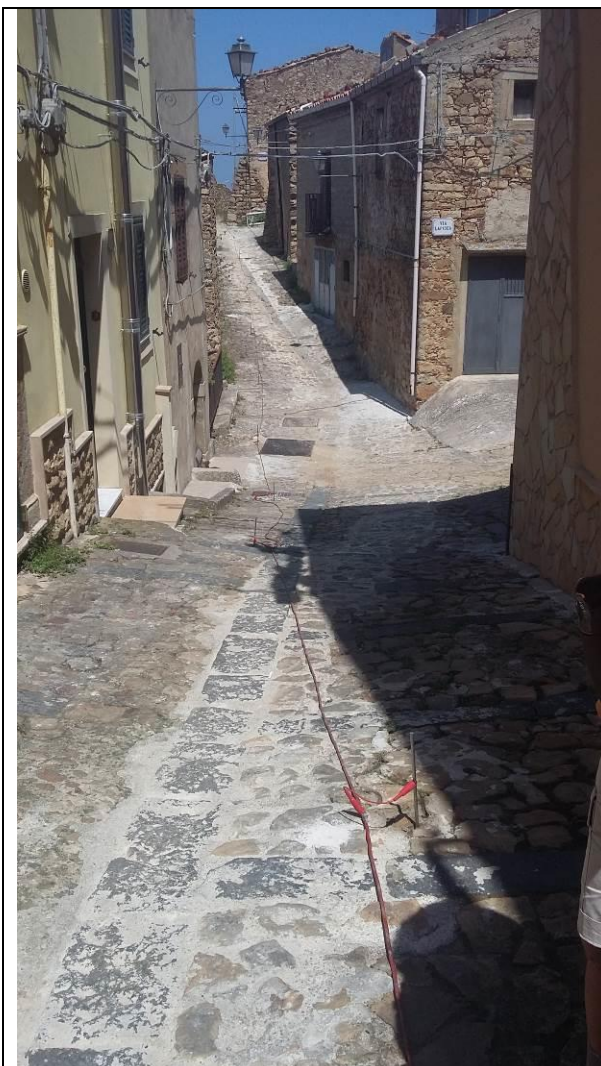
CARTA DELLE POSIZIONI



RISULTATI

L'analisi dei dati acquisiti con l'indagine di tomografia geoelettrica, ha permesso di ricostruire la distribuzione delle variazioni di resistività nella sezione costituita da lunghezza di 155 mt. e profondità massima di circa 30 mt. lungo la verticale degli elettrodi 1-32.

I risultati hanno permesso di ricostruire la distribuzione geometrica degli elettrostrati.



SEZIONE

Mistretta (ME) – Quartiere Casazza

La sezione evidenzia un “range” di valori di resistività (ρ) compreso tra 4.8 e 27482.6 $\Omega \times \text{mt}$.

La restituzione grafica ottenuta mostra un generale sfondo a media-alta resistività, dal punto di vista geolitologico esso è associabile a orizzonti argillosi più o meno alterate e/o degradate.

Verosimilmente, limi argillosi e/o sabbie più o meno argillose, alterate nei valori medi (153.5 $\Omega \times \text{mt}$), più o meno compatte nei valori medio-alti (153.5 – 865.0 $\Omega \times \text{mt}$).

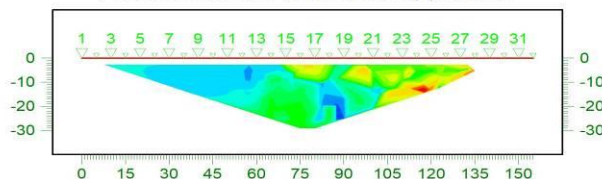
Nella porzione media, individuabile tra i pk 6–13 e 16–21 ad una profondità compresa tra -1.0 e -10.0 mt. dal piano campagna, si evidenziano, due aree a forma lenticolare (4.8 – 27.2 $\Omega \times \text{mt}$), associabili a settori argillosi con presenza di più o meno umidità, al loro interno, collegata ai valori più bassi, in assoluto di resistività, indice di presenza di acqua; inoltre, nella porzione superiore della sezione, individuabile tra i pk 23-27 ad una profondità compresa tra -1.0 e -4.0 mt. dal piano campagna, si evidenziano delle piccole e circoscritte aree con valori di resistività, in assoluto, più alta (27482.6 $\Omega \times \text{mt}$), non compatibili con i valori di resistività delle argille, è quindi ragionevole supporre, la presenza di vuoti. Nella porzione inferiore della sezione, individuabile tra i pk 1–9 ad una profondità di -16.0 dal piano campagna fino a fine sezione -28.0 mt., si evidenzia un’area con valori di resistività medio-alta (4875.6 $\Omega \times \text{mt}$), associabili ai settori quarzoarenitici, presenti all’interno della formazione che caratterizza l’area di intervento.

METHODE=WENNER-SCHLUMBERGER

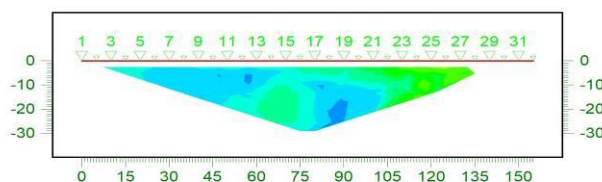
Tomografia Elettrica del 11-08-2018

Mistretta (ME) - Quartiere Casazza

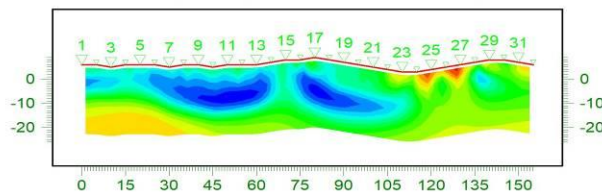
Pseudosezione resistività apparente



Pseudosezione resistività calcolata



Sezione resistività modello inverso



Resistività in ohm m

www.geoandsoft.com

Sev 1

Il responsabile dell'indagini

Dott. Geologo Fabio Nicita



La ditta esecutrice delle indagini

Geoplants S.R.L.



Documentazione fotografica



Sondaggio S1



Stratigrafia sondaggio S1 da 0,00 -5,00 m dal p.c.



Stratigrafia sondaggio S1 da 5,00-10,00 m dal p.c.



Sondaggio S2



Stratigrafia sondaggio S2 da 0,00 -5,00 m dal p.c.



Stratigrafia sondaggio S2 da 5,00-10,00 m dal p.c.



Prova masw 1



Prova masw 2