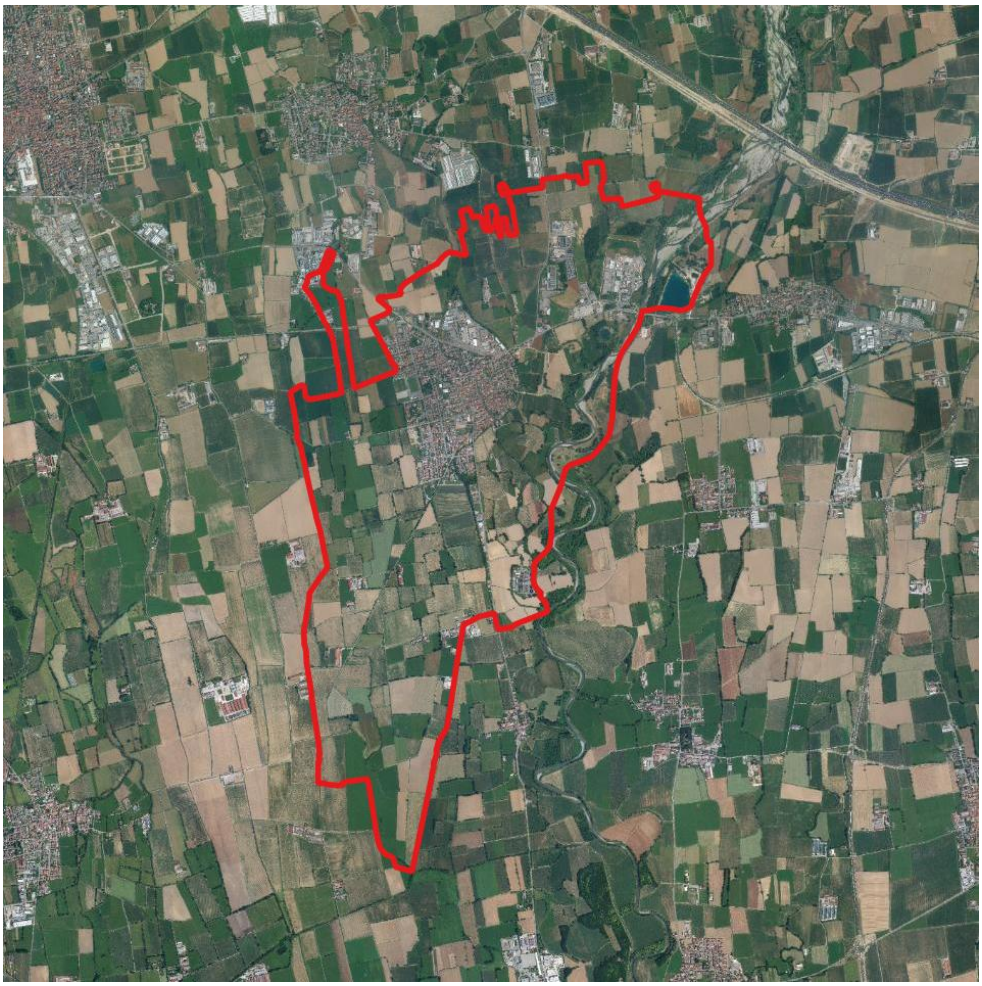
studio associato
Via Giorgio e Guido Paglia, n° 21 – 24122 **BERGAMO** – e-mail: bergamo@eurogeo.net
Tel. +39 035 248689 – Fax +39 035 271216

REL. SS 20/03/2023

COMUNE DI MOZZANICA

Piazza Locatelli, 5 – Mozzanica (BG)



AGGIORNAMENTO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL P.G.T.

ai sensi della D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011 e s.m.i.

Relazione Geologica

Bergamo, marzo 2023

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA – ELITROPI MASSIMO n° 735

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA – CALDARELLI RENATO n° 801

SOMMARIO

1 PREMESSA E INTRODUZIONE 5
2 ANALISI DELLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (TAV. 1) 6
2.1 Introduzione 6
2.2 La sismicità del comune di Mozzanica 6
2.3 Zonazione della pericolosità sismica locale 9
2.3.1 Primo livello 9
2.3.2 Secondo livello 10
2.3.3 Terzo Livello 18
3 INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA 22
3.1 Indicazioni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica e idrologica 23
4 CARTA DEI VINCOLI (TAV. 3) 25
4.1 P.G.R.A. – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (TAV. 2.1). 26
4.1.1 Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP) 27
4.1.2 Reticolo secondario di pianura – RSP 29
4.1.3 Aree edificate esposte al rischio 30
4.1.4 Analisi di maggior dettaglio del rischio idraulico 30
4.2 Aree di dissesto con legenda uniformata al P.A.I. (TAV. 2.1) 31
5 CARTA DI SINTESI (TAV. 4) 36
5.1 Aree che presentano caratteristiche geotecniche scadenti: 36
5.2 Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico: 36
5.3 Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico: 37
5.4 Ambiti di particolare interesse geomorfologico, scientifico, naturalistico ed educativo: 38
6 CARTA DI FATTIBILITÀ DELLE AZIONI DI PIANO (TAV. 5) 38
6.1 Classi di fattibilità geologica 38
6.2 La fattibilità geologica nel comune di Mozzanica 40
6.2.1 Classe 3 40
6.2.2 Classe 4 44
6.3 Normativa sismica 45
6.3.1 Zone con terreni di fondazioni particolarmente scadenti (PSL Z2a) o potenzialmente soggetti a liquefazione (PSL Z2b) 46
6.3.2 Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3) 46
6.3.3 Effetti di amplificazione litologica (PSL Z4) 47

ALLEGATI

1 Schede regionali per la valutazione del Fattore di Amplificazione.
2 Indagini sismiche MASW

TAVOLE

1 Carta della Pericolosità Sismica Locale (scala 1:10.000);
2.1 Carta P.A.I. – P.G.R.A. (scala 1:10.000)
2.2 Carta delle aree edificate esposte al rischio – RP (scala 1:2.000)
2.3 Carta delle aree edificate esposte al rischio – RSP (scala 1:2.000);
3 Carta dei vincoli (scala 1:5.000).
4 Carta di sintesi (scala 1:5.000);
5 Carta della fattibilità geologica delle azioni di piano (scala 1:5.000).

1 PREMESSA E INTRODUZIONE

Nel 2001 il Comune di Mozzanica si è dotato dello studio geologico a supporto della pianificazione comunale redatto ai sensi della L.R. 41/97 (Studio Associato EUROGEO). Lo studio è stato aggiornato nel 2008 ai sensi della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008 e recepito all'interno del Piano di Governo del Territorio quale "Componente geologica, idrogeologica e sismica".

Quest'ultimo lavoro viene aggiornato ai sensi della D.G.R. 11/2120 del 9 settembre 2019, che integra a aggiorna la D.G.R. 9/2616, della D.G.R. 9/2129, che ha modificato le zone sismiche per i comuni della Regione Lombardia, e della D.G.R. 10/6738 del 19 giugno 2017, con il recepimento del P.G.R.A. (Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione).

Con l'entrata in vigore delle nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC2018) è stata inoltre aggiornata l'analisi sismica di secondo livello.

Sono state inserite indicazioni inerenti il rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica, ai sensi del Regolamento Regionale 7 del 23 novembre 2017 e s.m.i., in recepimento dell'art. 58 bis della L.R. 12 del 11 marzo 2018.

Gli elementi territoriali di base quali la geologia, la geomorfologia, l'idrogeologia e la litologia, riconosciuti con il rilevamento in situ e mediante l'analisi fotointerpretativa, insieme alla carta della pericolosità sismica, sono riportati nelle tavole allegate ai precedenti studi ai quali si rimanda per eventuali approfondimenti.

L'aggiornamento propone la modifica delle tavole della Pericolosità Sismica Locale, dei Vincoli, di Sintesi e della Carta della Fattibilità geologica, nonché la redazione della carta P.A.I. – P.G.R.A..

2 ANALISI DELLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (TAV. 1)

2.1 Introduzione

L'analisi sismica è articolata in tre livelli successivi di approfondimento implementati in relazione alla zona sismica di appartenenza del comune (D.G.R. 9/2129 del 11 luglio 2014), agli scenari di pericolosità sismica locale e alla tipologia delle costruzioni in progetto (allegato 5 alla D.G.R. 9/2616).

Le NTC2018 hanno modificato la definizione delle categorie di suolo, sostituendo il parametro V_{S30} con quello delle $V_{S,eq}$.

Nel presente capitolo sono richiamati, per semplicità di consultazione, le informazioni generali inerenti gli aspetti sismici del P.G.T.. Utilizzando le indagini sismiche svolte nel 2016 e altre a disposizione degli scriventi, si è proceduto a verificare le categorie di suolo ($V_{S,eq}$ – NTC2018), al fine di valutarne eventuali modifiche, e a confrontarle con il corrispondente valore soglia definito da Regione Lombardia.

2.2 La sismicità del comune di Mozzanica

Le zone sismiche definite dall'OPCM 3274/03 sono quattro e sono così definite:

Tabella 1: ZONE SISMICHE

Zona	Valori di ag
1	0,35g
2	0,25g
3	**0,15g**
4	0,05g

dove *ag* è il valore dell'accelerazione orizzontale massima espresso come frazione della gravità (g).

Il territorio comunale di Mozzanica, a seguito dell'entrata in vigore della D.G.R. 9/2129/2014, ricade nella zona sismica 3.

I livelli di approfondimento e le fasi di applicazione richieste dalla normativa sono riassunti nella tabella seguente.

Tabella 2: LIVELLI DI APPROFONDIMENTO E FASI DI APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA ZONIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

zona sismica	**livelli di approfondimento e fasi di applicazione**		
	1° livello fase pianificatoria	2° livello fase pianificatoria	3° livello fase progettuale
3	obbligatorio	nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - nelle zone PSL Z1, Z2.

Ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018 la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione non è valutata riferendosi a una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, in base ai valori riportati nell'Allegato B al citato D.M.. La suddivisione del territorio lombardo in zone sismiche, ai sensi della D.G.R. 9/2129 del 11 luglio 2014, individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria.

Il primo livello di approfondimento comporta il riconoscimento delle aree nelle quali è possibile un'amplificazione dell'effetto sismico sulla base delle caratteristiche litologiche, geotecniche e morfologiche ricavabili dalle carte tematiche di inquadramento e confrontate con gli scenari previsti dalle direttive tecniche (Tabella 3).

A ciascuna area così individuata è attribuita una classe di pericolosità sismica e il relativo livello di approfondimento. Le campiture che definiscono gli scenari di pericolosità sismica locale sono rappresentati nella Tavola 1, allegata al presente aggiornamento.

Il secondo livello di approfondimento consente di verificare se i valori di spettro elastico previsti dal D.M. 14 gennaio 2008, sono adatti alle tipologie delle opere in progetto oppure se è necessario implementare il terzo livello di analisi per la definizione di nuovi spettri.

L'analisi di terzo livello prevede un approccio quantitativo. Deve essere sempre applicata per l'analisi degli effetti di instabilità (PSL Z1), per l'analisi del potenziale di liquefazione del terreno (PSL Z2) e nel caso di progetti che prevedano la realizzazione di edifici con struttura flessibile e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani, nelle zone di amplificazione topografica (PSL Z3). In tutti gli altri casi, aree soggette ad amplificazione litologica (PSL Z4) e topografica, il terzo livello di

approfondimento sismico va applicato quando i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia non sono verificati.

Tabella 3: SCENARI DI PERICOLOSITÀ, EFFETTI E CLASSI DI PERICOLOSITÀ ASSOCIATE

Sigla	***SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE***	***EFFETTI***
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari saturi	Liquefazione
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite – arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Con gli aggiornamenti alle direttive tecniche contenute nella D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011 tale approfondimento deve essere preceduto dall'analisi della classe sismica di appartenenza del suolo.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si definiscono infatti le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità di riferimento sono quelle definite nelle NTC2018 a seconda della tipologia di fondazione).

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 – *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da

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

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.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori delle velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

hi	spessore dell'-esimo strato
$V_{s,i}$	velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato
N	numero di strati
H	profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s

Quando il bedrock sismico si colloca a una profondità superiore a 30 metri le $V_{S,eq}$ vengono calcolate sino ai 30 metri, divenendo sostanzialmente uguali alle "vecchie" $V_{S,30}$.

2.3 Zonazione della pericolosità sismica locale

2.3.1 Primo livello

La modesta complessità geologica del territorio di Mozzanica consente di inserirlo in un'unica classe di pericolosità sismica locale.

È stata attribuita la classe **Z4a**/**Z2b** all'intero territorio comunale in quanto formato da depositi alluvionali e/o fluvioglaciali di natura prevalentemente granulare con falda

poco soggiacente. Sussistono pertanto le condizioni compatibili con il fenomeno della liquefazione dei terreni.

2.3.2 Secondo livello

La procedura di secondo livello si applica alle zone con Pericolosità Sismica Locale Z4. Consiste in una valutazione semiquantitativa della risposta sismica dei terreni in termine di *Fattore di amplificazione* (*Fa*) e nel confronto con i valori soglia del territorio comunale stabiliti dalla Regione Lombardia (Tabella 4).

Tabella 4: ***VALORI DI SOGLIA PER IL COMUNE DI MOZZANICA***

	Creste e scarpate	suolo tipo B	suolo tipo C	suolo tipo D	suolo tipo E
periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	1,4 – 1,2	1,4	1,9	2,2	2,0
periodo compreso tra 0,5 – 1,5 s	//	1,7	2,4	4,2	3,1

L'individuazione dei fattori di amplificazione deve essere svolta ottemperando ai criteri contenuti nell'allegato 5 della D.G.R. 9/2616.

La procedura di valutazione degli effetti litologici (scenari Z4a) presuppone la conoscenza della litologia dei materiali presenti, della stratigrafia del sito e dell'andamento delle **velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (Vs)** nel primo sottosuolo. Mediante queste informazioni e l'utilizzo delle schede litologiche preparate dalla Regione Lombardia è possibile la stima del Fa.

L'analisi di secondo livello sviluppata nello studio del 2008 è stato integrato e aggiornato sulla scorta delle più recenti normative in campo pianificatorio ed edilizio (NTC2018).

Nei seguenti paragrafi sono descritte le modalità di applicazione del secondo livello di approfondimento sismico per lo scenario Z4, al fine di facilitare la consultazione di tali procedure, allorquando in fase progettuale si riscontrassero situazioni ad essi riferibili. Si rimanda comunque alle disposizioni della D.G.R. 9/2616 e successive modifiche e integrazioni per eventuali approfondimenti.

2.3.2.1 Applicazione del secondo livello per le aree soggette ad amplificazione litologica

Procedura

Il primo punto della procedura di secondo livello prevede l'identificazione della litologia prevalente e il raffronto del profilo delle **Vs** con l'apposito abaco contenuto nelle schede fornite dalla Regione Lombardia.

Attualmente sono disponibili 6 schede per 6 differenti litologie prevalenti.

Una volta individuata la scheda di riferimento, è stato verificato l'andamento delle **Vs** con la profondità utilizzando gli abachi riportati nelle schede di valutazione.

Nel caso in cui l'andamento delle **Vs** con la profondità non ricada nel campo di validità della scheda litologica corrispondente deve essere utilizzata la scheda che presenta l'andamento delle **Vs** più simile a quello riscontrato nell'indagine. In alcuni casi la valutazione del *fattore di amplificazione* è stata eseguita utilizzando più di una scheda e scegliendo la situazione più cautelativa.

Ove possibile va utilizzata la scheda litologica corrispondente, negli altri casi è possibile utilizzare la curva con maggiore approssimazione per la stima del valore di *Fa* negli intervalli 0,1 – 0,5 s e 0,5 – 1,5 s.

Il periodo proprio del sito (T) deve essere stato calcolato considerando la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o maggiore a 800 m/s, mediante la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \right)}$$

dove h_i e *Vs* sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo.

Laddove le prospezioni non investighino una profondità tale da raggiungere strati con **Vs** = 800 m/s, tale limite deve essere interpolato manualmente.

Il *fattore di amplificazione* ottenuto è da considerarsi con un'approssimazione di +0,1 e deve essere confrontato con i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia.

Lo sviluppo della velocità delle onde S con la profondità è stato ottenuto mediante prospezioni geofisiche di tipo MASW ubicate nello scenario di Pericolosità Sismica Locale Z4a (Allegato 1).

La metodologia MASW

Teoria

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (**Vs**), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidezza superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle **Vs**.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Questa similitudine permette di ottenere,

con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).

Le onde di dispersione superficiali si caratterizzano per la relazione tra la frequenza, l'energia e la capacità di penetrazione. 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 (**Vs**) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde sono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

Procedura in sito

Ciascuna base sismica è stata ottenuta con la stesa di un cavo sismico per una lunghezza di 24 o di 48 metri con 24 geofoni e una spaziatura dei punti di ricezione pari a 1 o 2 metri a seconda della situazione morfologica dell'area indagata. Per ogni linea sismica sono stati impostati due punti di energizzazione (shots), tipicamente il primo a 5 metri dal primo geofono e il secondo a 10 metri, talvolta le distanze possono mutare a seconda della logistica del sito.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati a rifrazione è consistita in un sismografo ECHO 24/2002 e 24 geofoni a frequenza naturale di 4,5 Hz. L'energizzazione del terreno (sorgente di energia) è stata ottenuta impiegando una mazza ed una piastra appoggiata al terreno.

Il rilievo altimetrico dei punti-geofono e dei punti di energizzazione non si è reso necessario in quanto il piano topografico è risultato pianeggiante.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

1. acquisizione dei dati di campo;
2. estrazione della curva di dispersione;
3. inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle **Vs** (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità.

Interpretazione delle misure

Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale **Vs** dalla curva di dispersione e sono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali. Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, sono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni). Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che

possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. Una volta scomposto il sismogramma, un'opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione.

Le prospezioni sismiche sono state interpretate mediante il software SWAN (GeoStudi Astier SRL, 2007). L'utilizzo di questo software consente di preprocessare i dati grezzi acquisiti, epurandoli da eventuali disturbi. Successivamente, partendo dal sismogramma medio di sito, sono calcolati gli spettri FK (Frequenza-Numero d'onda) ed FV (Frequenza-Velocità).

La distribuzione dei picchi evidenziati dagli spettri viene ulteriormente analizzata per ricavare la curva di dispersione sperimentale che viene confrontata con quella teorica. Una volta trovata un'interpolazione tra le due curve il programma esegue l'inversione per ricostruire il profilo delle **Vs** con la profondità. Il profilo così ottenuto può essere ulteriormente modificato per aumentare il grado di interpolazione tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

Analisi dei risultati ottenuti

Per l'analisi di secondo livello sono state prese in considerazione le prospezioni geofisiche di tipo MASW acquisite nel 2008, numerate da 1 a 5, più altre 6 indagini, individuate con le lettere da A a F, a disposizione degli scriventi. Delle indagini del 2008 è stata scartata la n. 4 in quanto sono state ritenute maggiormente significative le prospezioni limitrofe eseguite più recentemente.

L'andamento delle velocità delle onde S nei primi metri di profondità ha consentito di calcolare i valori di $V_{S,eq}$ e di definire pertanto le categorie di suolo, che sono risultate tutte di tipo B.

Dai profili delle **Vs** calcolati sono stati ricavati i *Fattori di Amplificazione* (Tab. 5).

I valori più cautelativi tra questi, sono stati confrontati con quelli di soglia (Tab. 6).

TAB. 5: FATTORI DI AMPLIFICAZIONE STIMATI

	periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	periodo compreso tra 0,5 – 1,5	Vs_{eq} [m/s]	z_{eq} [m]
Sito 1	1,8+0,1	1,2+0,1	391/392	30
Sito 2	1,8+0,1	1,2+0,1	398	30
Sito 3	1,7+0,1	1,1+0,1	428/432	30
Sito 5	2,1+0,1	1,4+0,1	309/367	30
Sito A	2,0+0,1	1,2+0,1	337/323	30
Sito B	2,1+0,1	1,3+0,1	282/283	30
Sito C	1,9+0,1	1,2+0,1	456/444	30
Sito D	2,1+0,1	1,3+0,1	356/350	30
Sito E	1,8+0,1	1,3+0,1	518/470	30
Sito F	1,9+0,1	1,2+0,1	456/444	30

TAB. 6: CONFRONTO TRA VALORI CALCOLATI E VALORI SOGLIA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE

Periodo	suolo tipo B		suolo tipo C		suolo tipo D		suolo tipo E	
	0,1 -0,5	0,5 – 1,5	0,1 -0,5	0,5 – 1,5	0,1 -0,5	0,5 – 1,5	0,1 -0,5	0,5 – 1,5
Soglia	**1,4**	**1,7**	**1,9**	**2,4**	**2,2**	**4,2**	**2,0**	**3,1**
Sito 1	1,8+0,1	1,2+0,1	1,8+0,1	1,2+0,1	- -	- -	- -	- -
Sito 2	1,8+0,1	1,2+0,1	1,8+0,1	1,2+0,1	- -	- -	- -	- -
Sito 3	1,7+0,1	1,1+0,1	1,7+0,1	1,1+0,1	- -	- -	- -	- -
Sito 5	2,1+0,1	1,4+0,1	2,1+0,1	1,4+0,1	2,1+0,1	1,4+0,1	- -	- -
Sito A	- -	- -	2,0+0,1	1,2+0,1	2,0+0,1	1,2+0,1	- -	- -
Sito B	- -	- -	2,1+0,1	1,3+0,1	2,1+0,1	1,3+0,1	- -	- -
Sito C	1,9+0,1	1,2+0,1	1,9+0,1	1,2+0,1	1,9+0,1	1,2+0,1	- -	- -
Sito D	- -	- -	2,1+0,1	1,3+0,1	2,1+0,1	1,3+0,1	- -	- -
Sito E	1,8+0,1	1,3+0,1	1,8+0,1	1,3+0,1	- -	- -	- -	- -
Sito F	1,9+0,1	1,2+0,1	1,9+0,1	1,2+0,1	1,9+0,1	1,2+0,1	- -	- -

verificato non verificato

I valori soglia per le strutture con periodo 0,1 – 0,5s sono sempre superati dal Fattore di Amplificazione sito specifico per la tipologia di suolo rilevata con le indagini MASW.

Per quanto concerne i valori del Fattore di Amplificazione per le strutture con periodo 0,5 – 1,5 s, essi risultano sempre al di sotto della soglia.

2.3.2.2 Considerazioni conclusive

Amplificazione topografica

Non sono state eseguiti approfondimenti di secondo livello per quanto concerne gli scenari di pericolosità sismica caratterizzati da amplificazione topografica in quanto non sono state rilevate morfologie ascrivibili agli scenari Z3a o Z3b.

Qualora in fase progettuale si riscontrassero situazioni morfologiche riferibili a tale scenario (per esempio orli di cava o scavi profondi), dovrà essere valutato il relativo *Fattore di Amplificazione* secondo le metodologie precedentemente descritte. Sulla base degli aggiornamenti alle direttive tecniche indicati nella D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011, tale approfondimento dovrà essere preceduto dall'analisi della classe sismica di appartenenza del suolo.

Nel caso di costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale, indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani, è necessario applicare sempre il terzo livello di approfondimento sismico.

Amplificazione litologica

L'analisi condotta nel 2008 è stata aggiornata e integrata con nuove indagini sismiche di tipo MASW, a disposizione degli scriventi, ed è stata svolta utilizzando le definizioni di suolo delle più recenti NTC2018.

L'analisi di secondo livello ha osservato che per il periodo 0,1-0,5s il valore di Fa NON è verificato in quanto superiore alla soglia regionale.

Per l'intervallo del periodo di oscillazione 0,5-1,5s invece il Fa risulta inferiore alla soglia.

Nel primo caso è quindi necessario svolgere il 3° livello di approfondimento oppure utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore come indicato ne paragrafo 6.3.3.

In fase progettuale dovrà essere sempre verificata la classe di appartenenza del sottosuolo e effettuato il calcolo del *fattore di amplificazione.*

2.3.3 Terzo Livello

L'applicazione del terzo livello di approfondimento prevede un approccio quantitativo per la valutazione della pericolosità sismica locale che potrà essere svolto ricorrendo a metodologie strumentali o numeriche.

2.3.3.1 Effetti di instabilità (PSL Z1)

L'analisi di terzo livello prevede la caratterizzazione dei singoli movimenti franosi con la valutazione degli indici di stabilità in condizioni statiche, pseudostatiche e dinamiche.

Sebbene tali scenari non siano stati rilevati nel territorio comunale di Mozzanica, si riportano di seguito le modalità per l'implementazione del terzo livello di approfondimento sismico, qualora si riscontrassero fenomeni di scivolamento e/o franosi, per esempio in corrispondenza delle scarpate fluviali o in presenza di fronti di scavo.

Per i movimenti franosi di tipo rotazionale e traslazionale la relazione geologica di approfondimento si articolerà nei seguenti punti principali:

- ricostruzione di un modello geologico del movimento franoso tramite rilievi e/o indagini geognostiche atti a definirne la geometria, le superfici di scivolamento, i livelli di falda ecc., ed individuazione di sezioni geologiche e geomorfologiche;
- individuazione dei parametri geotecnici necessari all'analisi di stabilità: peso di volume (γ), angolo di attrito (Φ) residuo e di picco, coesione (c) di picco e residua (nel caso si adotti il criterio di rottura di Mohr-Coulomb);
- individuazione degli accelerogrammi di input nel caso di analisi dinamiche;
- analisi numeriche al calcolatore per la valutazione del fattore di sicurezza (Fs) in condizioni statiche, del valore del coefficiente di accelerazione orizzontale critica (kc) in condizioni pseudostatiche ed in termini di spostamento atteso in condizioni dinamiche.

Per i movimenti tipo crolli e ribaltamenti la relazione geologica si articolerà nei seguenti punti principali:

- inquadramento geologico in un intorno significativo ed esecuzione di alcune sezioni geologiche e topografiche (scala 1:10.000);
- individuazione dei parametri dell'input sismico (valori del picco di accelerazione, valore di picco di velocità);
- rilievi geomeccanici per la classificazione degli ammassi rocciosi;
- identificazione dei principali cinematismi di rotture degli ammassi rocciosi;
- descrizione e rilievo della pista di scendimento dei massi;
- costruzione del modello numerico delle piste di scendimento e verifiche di caduta massi con vari metodi e statistiche di arrivo.

2.3.3.2 Zone con terreni di fondazioni particolarmente scadenti (PSL Z2)

In questi terreni il verificarsi di un evento sismico può causare cedimenti differenziali (Z2a) oppure la liquefazione del terreno (Z2b) con conseguenti problemi di stabilità delle strutture.

Per lo scenario Z2a l'analisi di terzo livello prevede la valutazione quantitativa dei cedimenti mediante l'esecuzione di accertamenti geognostici e l'impiego di procedure note in letteratura e scelte a discrezione del professionista incaricato.

Per lo scenario Z2b, l'analisi di terzo livello prevede in prima battuta la verifica della sussistenza o meno di condizioni predisponenti il fenomeno della liquefazione e in seconda battuta la valutazione quantitativa di tale fenomeno, mediante l'esecuzione di accertamenti geognostici e l'impiego di procedure note in letteratura e scelte a discrezione del professionista incaricato.

2.3.3.3 Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3)

Tenendo valide le considerazioni in premessa al paragrafo**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, qualora in fase progettuale, venissero riscontrate morfologie ascrivibili a tali scenari, il tecnico incaricato dovrà valutarne il relativo fattore di amplificazione.

Nello scenario Z3 dovrà essere applicato il terzo livello di approfondimento sismico nei seguenti casi:

- aree di cresta o scarpata nel caso si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani;
- aree di cresta o scarpata se in un intorno significativo dell'area di progetto si rilevino asperità morfologiche ricadenti nella casistica delle PSL Z3 ed il fattore di amplificazione, calcolato caso per caso, sia maggiore del valore soglia St.

La valutazione quantitativa dei fenomeni di amplificazione prevede l'utilizzo di metodologie strumentali o numeriche, a discrezione del professionista incaricato.

Le metodologie strumentali prevedono lo sviluppo di una campagna di acquisizione dati tramite prove specifiche (nell'allegato 5 alla D.G.R. 9/2616 sono indicati a titolo esemplificativo il metodo di Nakamura (1989) ed il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981)).

Le metodologie numeriche consistono nella ricostruzione di un modello geometrico e meccanico dell'area di studio e nell'applicazione di codici di calcolo (monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali) per la valutazione della risposta sismica locale.

La scelta del metodo e le modalità di applicazione sono a discrezione del professionista incaricato che valuterà la possibilità di integrare le due metodologie per compensare i vantaggi e gli svantaggi dei differenti approcci.

Relativamente agli scenari Z3 è necessario ricordare che il fattore di amplificazione deve essere calcolato per la quota di cresta o di ciglio e successivamente interpolato linearmente sino alla base del pendio dove assume valore pari all'unità. Possono pertanto essere soggette ad amplificazione topografica anche aree non collocate nelle immediate vicinanze delle creste e delle scarpate.

2.3.3.4 Effetti di amplificazione litologica (PSL Z4)

L'applicazione del terzo livello di approfondimento prevede un approccio quantitativo per la valutazione della pericolosità sismica locale che potrà essere svolto ricorrendo a metodologie strumentali o numeriche.

Per l'analisi dell'amplificazione litologica le metodologie strumentali prevedono lo sviluppo di una campagna di acquisizione dati tramite prove specifiche (nell'allegato 5 alla D.G.R. 9/2616 sono indicate a titolo esemplificativo il metodo di Nakamura (1989)

ed il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981)). Le metodologie numeriche consistono nella ricostruzione di un modello geometrico e meccanico dell'area di studio e nell'applicazione di codici di calcolo (monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali) per la valutazione della risposta sismica locale.

La scelta del metodo è a discrezione del professionista che valuterà la possibilità di integrare le due metodologie per compensare gli svantaggi dei differenti approcci.

3 INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA

Il Regolamento Regionale n. 7 del 23 novembre 2017 della Lombardia, aggiornato con il Regolamento Regionale n. 8 del 19 aprile 2019, individua e norma i criteri e i metodi per il rispetto del principio di invarianza idraulica ed idrogeologica, ai sensi dell'art. 58bis della Legge Regionale n. 12 del 11 marzo 2005.

Lo scopo del regolamento è quello di perseguire l'invarianza idraulica e idrologica delle trasformazioni d'uso del suolo e di conseguire, tramite la separazione e la gestione locale delle acque meteoriche a monte dei ricettori, la riduzione quantitativa dei deflussi, il progressivo riequilibrio del regime idrologico e idraulico. Il raggiungimento di tali obiettivi è finalizzato all'attenuazione del rischio idraulico, oltre che alla riduzione dell'impatto inquinante sui corpi idrici ricettori, tramite la separazione e la gestione locale delle acque meteoriche non esposte ad emissioni e scarichi inquinanti.

Il regolamento disciplina l'applicazione del principio di invarianza idraulica e idrologica per i singoli interventi edilizi che comportano l'impermeabilizzazione del suolo, nonché l'adeguamento degli strumenti urbanistici e dei regolamenti edilizi.

Il comma 5, lettera a) dell'art. 14 del R.R. 7/2017 prevede il recepimento delle risultanze dello Studio Comunale di Gestione del Rischio Idraulico (comma 7) o del Documento Semplificato del Rischio Idraulico Comunale (comma 8) all'interno della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T..

Il Comune di Mozzanica, con Deliberazione del Consiglio Comunale n.10 del 26/04/2023, ha approvato lo Studio Comunale del Rischio Idraulico Comunale. Lo studio, a cui si rimanda per approfondimenti, ha perimetrato alcune aree (misure strutturali) da dedicare alla realizzazione di opere per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica e idrologica.

Esse, individuate localizzate a nord del centro abitato, sono state riportate negli elaborati cartografici (Carta di sintesi) del presente aggiornamento della Componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T.

Misure strutturali

Le misure strutturali prevedono l'individuazione di aree destinate al rispetto del principio dell'invarianza idraulica, o più in generale della gestione del deflusso delle acque superficiali, sia per la parte urbanizzata che per gli ambiti di nuova trasformazione.

Tali aree devono essere riservate a tale scopo, escludendone pertanto qualsiasi possibilità edificatoria.

Lo scopo delle misure strutturali è quello di limitare l'afflusso delle acque meteoriche nei corsi d'acqua naturali, riducendolo sino a valori di portata "naturali" ovvero annullando gli effetti negativi dovuti all'impermeabilizzazione dei suoli causati dall'urbanizzazione.

Qualora nella pianificazione del rischio idraulico, a scala di bacino, fossero individuate delle aree del territorio adibite alla realizzazione di misure strutturali, come definite nel Piano di Gestione del rischio idraulico comunale o nel Documento semplificato del rischio idraulico comunale, esse dovranno essere recepite nella Componente Geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T..

3.1 Indicazioni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica e idrologica

Il controllo e la gestione delle acque pluviali avviene sostanzialmente con la realizzazione di sistemi di ritenzione delle acque, come ad esempio vasche di laminazione, e il progressivo rilascio dei volumi invasati in modo controllato.

L'infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo e lo scarico in corpo idrico superficiale sono due delle possibilità previste dal R.R. 7/2017 per il conseguimento del rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica, la cui attuazione è strettamente correlata al contesto geologico e idrogeologico locale.

Ne deriva che il modello geologico e idrogeologico locale, sitospecifico, assume ulteriore importanza propedeutica a supporto della progettazione di interventi edilizi e infrastrutturali.

Lo stesso R.R. 7/2017 sottolinea nell'Allegato F come la capacità di infiltrazione di un terreno sia legata alle caratteristiche di porosità del terreno, alla stratigrafia del sottosuolo, alla presenza e soggiacenza della falda.

Lo studio e la definizione di questi aspetti della geologia locale sono pertanto da approfondire e indagare anche con l'esecuzione di apposite indagini geognostiche a discrezione del professionista incaricato (prove infiltrometriche, granulometria del terreno, soggiacenza della falda, …).

4 CARTA DEI VINCOLI (TAV. 3)

Nella *Carta dei Vincoli* sono rappresentate le limitazioni d'uso del territorio derivanti dalle normative in vigore di contenuto prettamente idrogeologico e/o ambientale–paesaggistico.

Nel territorio di Mozzanica sono presenti:

- **Vincoli di polizia idraulica**: sul reticolo idrografico principale (Individuato in base alla L. 1/2000 e successive modificazioni) ai sensi del R.D. n. 523/1904 "Testo unico delle leggi sulle opere idrauliche" e successive disposizioni regionali in materia, e su quello consortile secondo le norme previste dal R.D. 368/1904 e recepite nel regolamento interno di ciascun Consorzio, come meglio specificato nello studio del reticolo idrico minore (Studio Associato EUROGEO 2004/2013)

- **Vincoli derivanti dal P.G.R.A.**, il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, in recepimento della Direttiva Alluvioni della Comunità Europea 2007/60/CE.

- **Vincoli derivanti dal P.A.I.**, ovvero dalla pianificazione di bacino ai sensi della L. 183/89 e in particolare del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, adottato con delibera del Comitato Istituzionale dell'autorità di Bacino del Fiume Po, n. 18/2001 del 26 aprile 2001. Sono individuate sul territorio comunale le tre fasce P.A.I. A, B e C che delimitano il territorio circostante il corso d'acqua del Fiume Serio.

- **Zone di salvaguardia delle captazioni a uso idropotabile** (pozzi e sorgenti): D.L. 152/99, D.L. 258/00, D.G.R. 7-12693/2003 e D.Lgs 152/2006:

  - *Aree di tutela assoluta*: si tratta delle aree di raggio uguale a 10 m di protezione assoluta delle captazioni di acque sotterranee destinate al consumo umano, pozzi o sorgenti. Per tali ambiti valgono le prescrizioni contenute nel documento "direttive per la disciplina delle attività all'interno delle aree di rispetto (comma 6 art. 21 del DLGS 11 maggio 1999, n. 152 e successive modificazioni)" approvato con D.G.R. 10 aprile 2003 n. 7/12693 e pubblicato sul B.U.R.L. Serie Ordinaria n. 17 del 22 aprile 2003 (Allegato 9).

    Le aree di tutela assoluta devono essere adeguatamente protette e adibite esclusivamente a opere di captazione e alle infrastrutture accessorie.

- *Aree di rispetto individuate con criterio geometrico:* sono porzioni di territorio circostanti le zone di protezione assoluta con raggio di 200 m dal centro la captazione. Nel caso delle sorgenti tale perimetrazione è limitata al tratto di bacino a monte della captazione. Per tali ambiti valgono le prescrizioni contenute nel documento "direttive per la disciplina delle attività all'interno delle aree di rispetto (comma 6 art.21 del DLGS 11 maggio 1999, n. 152 e successive modificazioni)" approvato con D.G.R. 10 aprile 2003 n. 7/12693 e pubblicato sul B.U.R.L. Serie Ordinaria n. 17 del 22 aprile 2003 (Allegato 9). *Tale normativa dovrà essere applicata a tutti i settori di ciascuna classe e/o sottoclasse di fattibilità inclusi nella perimetrazione dell'area di rispetto.*

4.1 P.G.R.A. – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (TAV. 2.1).

Il P.G.R.A, predisposto in attuazione del D.Lgs 49/2010 di recepimento della "Direttiva Alluvioni" 2007/60/CE è stato approvato con deliberazione n. 2 del 3 marzo 2016 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po e successivamente con DPCM 27 ottobre 2016 (G.U. n. 30 del 6 febbraio 2017).

La D.G.R. 10/6738 del 19 giugno 2017 definisce le disposizioni regionali concernenti l'attuazione del P.G.R.A. nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art. 58 delle norme di attuazione del P.A.I. del bacino del Fiume Po. A tale deliberazione si è fatto riferimento per il recepimento del Piano.

Il Piano ha come finalità quella di ridurre le conseguenze negative derivanti dalle alluvioni per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali.

Le mappe del P.G.R.A. contengono la delimitazione delle aree per diversi scenari di pericolosità:

- aree P3 (H), o aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti;
- aree P2 (M), o aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti;
- aree P1 (L), o aree potenzialmente interessate da alluvioni rare.

Le aree allagabili sono pertinenti a:

- Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP);
- Reticolo secondario collinare e montano (RSCM);

- Reticolo secondario di pianura naturale e artificiale (RSP);
- Aree costiere lacuali (ACL).

Le aree allagabili delimitate nelle mappe di pericolosità del P.G.R.A. tengono conto dei livelli idrici corrispondenti a tre piene di riferimento:

- 10-20 anni per la piena frequente;
- 100-200 per la piena poco frequente;
- la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un TR superiore a 100 o 200 anni, o in assenza di essa, la piena con TR di 500 anni per la piena rara).

Nel comune di Mozzanica sono presenti ambiti territoriali di pertinenza del reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP) e del reticolo secondario di pianura (RSP) di competenza consortile mentre la gestione della Polizia Idraulica è, tramite convenzione, in capo al Comune. Anche la Roggia Rino, facente parte dell'elenco dei corsi d'acqua del reticolo principale, è in gestione del Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca e quindi viene considerata come "consortile".

4.1.1 Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP)

Per quanto concerne le aree ricadenti all'interno delle zone allagabili relative al reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP) si applicano le procedure seguenti:

1. i Comuni applicano da subito la normativa sopraindicata sulle aree allagabili così come presenti nelle mappe di pericolosità del PGRA (accessibili attraverso il GEOPortale della Lombardia secondo le modalità descritte nell'Allegato 1), modificando di conseguenza le previsioni degli strumenti urbanistici comunali che risultassero in contrasto, ed aggiornando conseguentemente i Piani di Emergenza Comunali secondo le indicazioni fornite al paragrafo 7."Disposizioni integrative rispetto a quanto contenuto nella d.g.r. VIII/4732/2007 relative all'attuazione della variante normativa al PAI nel settore della Pianificazione dell'emergenza alla scala comunale";
2. entro le aree che risultano classificate come R4 - rischio molto elevato (ovvero entro le aree che risultano già edificate nell'Ortofoto AGEA 2015 pubblicata sul GEOPortale della Regione Lombardia) i Comuni sono tenuti a effettuare una valutazione più dettagliata delle condizioni di pericolosità e rischio locali, d'intesa con l'Autorità regionale o provinciale competente in materia. L'intesa si

intende raggiunta se le valutazioni vengono svolte secondo le metodologie riportate nell'Allegato 4 alla d.g.r. IX/2616/20119. La valutazione deve avere le finalità descritte al paragrafo 4. "Disposizioni relative all'edificato esistente esposto al rischio". Tale valutazione deve essere trasmessa a Regione Lombardia che la utilizzerà sia nell'ambito dei previsti riesami e aggiornamenti delle mappe e del PGRA sia ai fini del monitoraggio delle misure di prevenzione del rischio previste nel PGRA;

3. entro le aree che risultano classificate come R4 - rischio molto elevato (ovvero entro le aree che risultano già edificate nell'Ortofoto AGEA 2015 pubblicata sul GEOPortale della Regione Lombardia) nelle more del completamento della valutazione dettagliata delle condizioni di pericolosità e rischio locali di cui sopra e del suo recepimento nello strumento urbanistico comunale, possono essere svolte in via transitoria da parte del Comune, valutazioni preliminari, sulla base degli eventi alluvionali più significativi, ricostruendo le altezze idriche e stimando se possibile le velocità. In caso il Comune effettui tale valutazione preliminare, deve comunicarlo a Regione Lombardia trasmettendone copia, unitamente all'individuazione cartografica degli ambiti entro i quali viene utilizzata. I dati relativi alla valutazione devono essere utilizzati all'interno degli studi di compatibilità idraulica per la progettazione dei singoli interventi edilizi;

4. in assenza della valutazione preliminare di cui al punto precedente, fino al recepimento nello strumento urbanistico comunale della valutazione di dettaglio della pericolosità e del rischio di cui al punto 2., è facoltà del Comune applicare, anche all'interno degli edificati esistenti, le norme riguardanti le aree P3/H e P2/M (fasce A e B) o richiedere che gli interventi edilizi siano supportati da uno studio di compatibilità idraulica che utilizzi come dati tecnici di input tutte le informazioni del PGRA. Detto studio può essere omesso per gli interventi edilizi che non modificano il regime idraulico dell'area allagabile, accompagnando il progetto da opportuna asseverazione del progettista (es. recupero di sottotetti, interventi edilizi a quote di sicurezza).

Nelle more del completamento delle specifiche varianti al P.A.I. a scala di asta fluviale:

a) nelle aree interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H), si applicano le limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia A dalle norme di cui al "Titolo II – Norme per le fasce fluviali", delle Norme di Attuazione (N.d.A.) del P.A.I.;

b) nelle aree interessate da alluvioni poco frequenti (aree P2/M), si applicano le limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia B dalle norme del "Titolo II – Norme per le fasce fluviali", delle N.d.A. del P.A.I.;

c) nelle aree interessate da alluvioni rare (aree P1/L), si applicano le disposizioni previste per la fascia C di cui all'art. 31 delle N.d.A. del P.A.I..

4.1.2 Reticolo secondario di pianura – RSP

I Comuni che rientrano nell'ambito territoriale RSP e che sono interessati da delimitazioni nelle mappe di pericolosità del PGRA:

a) applicano da subito le limitazioni e prescrizioni descritte nei paragrafi precedenti qualora il proprio strumento urbanistico non contenga disposizioni coerenti o maggiormente cautelative ed aggiornano conseguentemente i Piani di Emergenza Comunali secondo le indicazioni fornite al paragrafo 7. "Disposizioni integrative rispetto a quanto contenuto nella d.g.r. VIII/4732/2007 relative all'attuazione della variante normativa al PAI nel settore della Pianificazione dell'emergenza alla scala comunale";

b) sono tenuti entro e non oltre i termini stabiliti dall'art. 5 della l.r. 31/2014 per l'adeguamento del Piano di Governo del Territorio (PGT), qualora necessario, ad adeguare i loro PGT recependo le perimetrazioni e associando a tali aree una norma adeguata e coerente alle indicazioni fornite nel presente documento;

c) entro le aree che risultano classificate come R3 – rischio elevato (ovvero entro le aree che risultano già edificate nell'Ortofoto AGEA 2015 (pubblicata sul GEOPortale della Regione Lombardia) i Comuni sono tenuti a effettuare una valutazione più dettagliata delle condizioni di pericolosità e rischio locali da svolgersi secondo le procedure riportate nell'Allegato 4 alla d.g.r. IX/2616/201, se applicabili, e con le finalità descritte al paragrafo 4. "Disposizioni relative all'edificato esistente esposto al rischio". Tale valutazione deve essere trasmessa a Regione Lombardia che la utilizzerà sia nell'ambito dei previsti riesami e aggiornamenti delle mappe e del PGRA sia ai fini del monitoraggio delle misure di prevenzione del rischio previste nel PGRA. Fino al recepimento nello strumento urbanistico comunale della suddetta valutazione del rischio si applicano, anche all'interno degli edificati esistenti, le norme riguardanti le aree P3/H e P2/M definite per questo ambito specifico.

4.1.3 Aree edificate esposte al rischio

Nelle aree classificate come a rischio R4, per il reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP), ed R3, per il reticolo secondario di pianura, l'amministrazione comunale è tenuta a valutare con maggior dettaglio le condizioni di pericolosità e di rischio alla scala locale con le finalità di:

- individuare la necessità di mettere in opera interventi locali di riduzione del rischio (della vulnerabilità, dell'esposizione o di entrambe) nonché di ripristino provvisorio delle condizioni di sicurezza degli edifici esistenti e prioritariamente sulle infrastrutture per la gestione dell'emergenza, in particolare centri di coordinamento, aree di emergenza e viabilità di collegamento, così come risultanti dalla pianificazione di emergenza vigente;
- guidare, attraverso idonee prescrizioni costruttive ed edilizie, le ulteriori trasformazioni urbanistiche in modo che non subiscano danni significativi in caso di evento alluvionale;
- individuare le aree ove favorire la delocalizzazione degli insediamenti esistenti anche prevedendo forme di perequazione, compensazione e incentivazione;
- individuare le aree da assoggettare a eventuali piani di demolizione degli insediamenti esistenti e di rinaturalizzazione;
- definire specifici scenari di rischio e relativi modelli d'intervento nel Piano di Emergenza Comunale ai fini della salvaguardia della popolazione esposta al rischio alluvione;
- supportare l'amministrazione stessa nell'individuazione degli ambiti di esclusione dall'applicazione della l.r. 10 marzo 2017, n. 7 "Recupero dei vani e locali seminterrati esistenti" (cfr. art. 4).

4.1.4 Analisi di maggior dettaglio del rischio idraulico

Le aree allagabili del reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP) sono state individuate da Regione Lombardia con un processo di raccolta dati e modellizzazione idraulica esteso alle principali aste fluviali e torrentizie. Gli studi idraulici di base sono quelli redatti nel 2004 dall'Autorità di Bacino del fiume Po che delimitarono le aree allagabili con tempi di ritorno di 20, 200 e 500 anni.

Il procedimento di aggiornamento e revisione di tali studi ha previsto l'utilizzo del rilievo topografico Lidar, un rilievo tramite laser scanner effettuato dal MATTM nel 2008/2009, che consente di avere il territorio rasterizzato con una maglia di 1m x 1m con un errore di misura della quota topografica nell'ordine dei 20-30 cm. Le sezioni del 2004 sono state infittite e raddoppiate in presenza dei manufatti di attraversamento. Successivamente è stato interpolato il DEM liquido che rappresenta la quota libera del pelo dell'acqua per eventi coi tempi di ritorno sopra riportati.

Infine è stata calcolata la "mappa di soggiacenza" delle aree allagabili, operando la differenza tra il DEM liquido e il DTM derivato dal rilievo lidar.

Per quanto concerne invece le aree allagabili afferenti al reticolo secondario di pianura, che nel caso di Mozzanica è tutto di competenza consortile, esse sono desunte da precedenti studi e da indicazioni fornite dal consorzio gestore. Infatti l'estensione delle aree allagabili RSP del P.G.R.A. ricalca quella individuate nella componente geologica, idrogeologica e sismica del 2008, con l'aggiunta di un'area a sud del nucleo abitato in prossimità della strada Consorziale Salicioli.

Poiché le conoscenze a disposizione sono le medesime utilizzate per la redazione della zone allagabili del P.G.R.A., si ritiene che la loro estensione sia quella più aderente allo stato di fatto.

In questa sede si è provveduto a sovrapporre le aree allagabili all'Ortofoto AGEA 2015 (pubblicata sul GEOPortale della Regione Lombardia) per rivalutare l'estensione delle zone R4, derivanti dal RP, ed R3, derivanti dal RSP, allineandole al grado di urbanizzazione più recente disponibile.

La nuova estensione delle aree R4 ed R3 non si discosta da quella proposta nel P.G.R.A. e le differenze sono limitate a poche riallineamenti delle stesse per maggiore conformità con la base cartografica a disposizione. Le zone R4 ed R3 sono dettagliate nella Tavole 2.2 e 2.3 allegate al presente documento.

4.2 Aree di dissesto con legenda uniformata al P.A.I. (TAV. 2.1)

Nel comune di Mozzanica sono individuate le tre fasce di P.A.I. definite come al punto 1 dell'allegato 3 delle NdA del Piano:

- fascia di deflusso della piena (fascia A) costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante la piena;

- fascia di esondazione (fascia B), esterna alla precedente, costituita dalla porzione di territorio interessata da inondazione al verificarsi della piena di riferimento;

- area di inondazione per piena catastrofica (fascia C), costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quella di riferimento.

  Nei territori della Fascia C, delimitati con segno grafico indicato come "Limite di progetto fra le fasce B e C" in TAV 2 e 3, per i quali non siano in vigore misure di salvaguardia ai sensi dell'art, 17, comma 6, della L. 183/1989 il Comune, in sede di adeguamento allo strumento urbanistico, entro il termine fissato dal suddetto articolo ed anche sulla base degli indirizzi emanati dalla Regione ai sensi del medesimo art. 17, comma 6, è tenuto a valutare le condizioni di rischio e, al fine di minimizzare le stesse, ad applicare anche parzialmente, fino ad avvenuta realizzazione delle opere, gli articoli della presente norma relativi alla Fascia B, nel rispetto di quanto previsto dall'art. 1, comma 1, let. B), del D.L. n. 279/2000 convertito, con modificazioni, in L. 365/2000.

La perimetrazione rappresentata nella cartografia allegata al PAI è stata fatta coincidere con alcuni elementi fisici rilevabili alla scala di maggior dettaglio del rilievo aerofotogrammetrico ai sensi dell'art. 27 comma 3 delle Norme PAI. Le variazioni hanno riguardato principalmente il limite tra le fasce A e B, che è stato esteso facendolo corrispondere con il limite del "*campo di inondazione con tracimazione su aree aventi forme relitte di percorso fluviale e parziale tessitura antropica*" così come riportato nella carta del rischio di inondazione ricavata con criterio geomorfologico.

Fascia A – fascia di deflusso della piena

Nella fascia A sono vietate ai sensi dell'art. 29 delle NdA:

a. Le attività di trasformazione dello stato dei luoghi, che modifichino l'assetto morfologico, idraulico, infrastrutturale, edilizio, fatte salve le prescrizioni dei successivi articoli;
b. La realizzazione di nuovi impianti di smaltimento e di recupero dei rifiuti, l'ampliamento degli stessi impianti esistenti, nonché l'esercizio delle operazioni di

smaltimento e recupero dei rifiuti, così come definiti dal D.Lgs. 22/97, fatto salvo quanto previsto al punto “l” delle attività consentite;

c. La realizzazione di nuovi impianti di trattamento delle acque reflue, nonché l’ampliamento degli impianti esistenti di trattamento delle acque reflue, fatto salvo quanto previsto al punto “m” delle attività consentite;
d. Le coltivazioni erbacee non permanenti e arboree, fatta eccezione per gli interventi di bioingegneria forestale e gli impianti di rinaturalizzazione con specie autoctone, per un’ampiezza di almeno 10 m dal ciglio di sponda, al fine di assicurare il mantenimento o il ripristino di una fascia continua di vegetazione spontanea lungo le sponde dell’alveo inciso, avente funzione di stabilizzazione delle sponde e riduzione della velocità della corrente;
e. La realizzazione di complessi ricettivi all’aperto;
f. Il deposito a cielo aperto, ancorché provvisorio, di materiali di qualsiasi genere.

Sono invece consentiti:

a. I cambi colturali, che potranno interessare esclusivamente aree attualmente coltivate;
b. Gli interventi volti alla ricostruzione degli equilibri naturali alterati e all’eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica;
c. Le occupazioni temporanee se non riducono la capacità di portata dell’alveo, realizzate in modo da non arrecare danno o da risultare di pregiudizio per la pubblica incolumità in caso di piena;
d. I prelievi manuali di ciottoli, senza taglio di vegetazione, per quantitativi non superiori a 150 m^3 annui;
e. La realizzazione di accessi per natanti alle cave di estrazione ubicate in golena, per il trasporto all’impianto di trasformazione, purché inserite in programmi individuati nell’ambito dei Piani di settore;
f. I depositi temporanei conseguenti e connessi ad attività estrattiva autorizzata ed agli impianti di trattamento del materiale estratto e presente nel luogo di produzione da realizzare secondo le modalità prescritte dal dispositivo di autorizzazione;
g. Il miglioramento fondiario limitato alle infrastrutture rurali compatibili con l’assetto di fascia;
h. Il deposito temporaneo a cielo aperto di materiali che per le loro caratteristiche non si identificano come rifiuti, finalizzato ad interventi di recupero ambientale comportanti il ritombamento di cave;

i. il deposito temporaneo di rifiuti come definito all'art. 6, comma 1, let. M) del D.Lgs. 22/97;
l. l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti già autorizzate ai sensi del D.Lgs. 22/97 (o per le quali sia stata presentata comunicazione di inizio attività, nel rispetto delle norme tecniche e dei requisiti specificati all'art. 31 dello stesso D.Lgs 22/97) alla data di entrata in vigore del Piano, limitatamente alla durata dell'autorizzazione stessa;
m. l'adeguamento degli impianti esistenti di trattamento delle acque reflue alle normative vigenti, anche a mezzo di eventuali ampliamenti funzionali.

Fascia B – fascia di esondazione

Ai sensi dell'art. 30 delle NdA del PAI, nella fascia B sono vietati:

a. gli interventi che comportino una riduzione apprezzabile o una parzializzazione della capacità di invaso, salvo che questi interventi prevedano un pari aumento delle capacità di invaso in area idraulicamente equivalente;
b. la realizzazione di nuovi impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti, l'ampliamento degli stessi impianti esistenti, nonché l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti, così come definiti dal D.Lgs 22/97, fatto salvo quanto previsto per le operazioni consentite descritte per la fascia A alla lettera l);
c. in presenza di argini, interventi e strutture che tendano a orientare la corrente verso il rilevato e scavi o abbassamenti del piano di campagna che possano compromettere la stabilità delle fondazioni dell'argine.

Sono consentiti, oltre agli interventi consentiti per la fascia A (art. 29 NdA):

a. gli interventi di sistemazione idraulica quali argini o casse di espansione e ogni altra misura idraulica atta ad incidere sulle dinamiche fluviali, solo se compatibili con l'assetto di progetto dell'alveo derivante dalla limitazione della fascia;
b. gli impianti di trattamento delle acque reflue, qualora sia dimostrata l'impossibilità della loro localizzazione al di fuori delle fasce, nonché gli ampliamenti e messa in sicurezza di quelli esistenti; i relativi interventi sono soggetti a parere di compatibilità dell'Autorità di bacino;
c. la realizzazione di complessi ricettivi all'aperto, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente;
d. l'accumulo temporaneo di letame per uso agronomico e la realizzazione di contenitori per il trattamento e/o stoccaggio degli effluenti zootecnici, ferme

restando le disposizioni all'art. 38 del D. Lgs. 153/99 e successive modifiche e integrazioni;

e. il completamento degli esistenti impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti a tecnologia complessa, quand'esso risultasse indispensabile per il raggiungimento dell'autonomia degli ambiti territoriali ottimali così come individuati dalla pianificazione regionale e provinciale; i relativi interventi sono soggetti a parere di compatibilità dell'Autorità di bacino.

Gli interventi consentiti debbono inoltre assicurare il mantenimento o il miglioramento delle condizioni di drenaggio superficiale dell'area e l'assenza di interferenze negative con il regime delle falde freatiche presenti.

Fascia C – area di inondazione per piena catastrofica

Per la Fascia C il PAI non prevede l'individuazione di attività possibili o vietate, lasciando agli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica la regolamentazione delle attività consentite e vietate (art. 31, comma 4 delle NdA del PAI).

Per tale ambito è definita la seguente normativa che dovrà essere applicata a tutti i settori di ciascuna classe e/o sottoclasse di fattibilità inclusi nella perimetrazione della fascia C. La norma prevede che in fascia C gli interventi non modifichino i fenomeni idraulici naturali che possono aver luogo, né costituiscano significativo ostacolo al deflusso e/o limitino in maniera significativa la capacità d'invaso. A tal fine i progetti dovranno essere corredati da un'analisi di compatibilità idraulica che documenti l'assenza delle suddette interferenze o indichi i rimedi progettuali per ovviare a tale rischio quali ad esempio sopralzi, recinzioni impermeabili ed altri accorgimenti tecnici necessari a garantire la sicurezza dei locali in caso di allagamento (altezza degli impianti elettrici dalla pavimentazione).

5 CARTA DI SINTESI (TAV. 4)

La *Carta di Sintesi* individua una serie di poligoni ognuno dei quali definisce una porzione di territorio caratterizzata da pericolosità omogenea per la presenza di uno o più fenomeni di rischio in atto o potenziale, o da vulnerabilità idrogeologica.

La sovrapposizione di più ambiti genera poligoni misti per pericolosità determinata da più fattori.

5.1 Aree che presentano caratteristiche geotecniche scadenti:

gt1: area prevalentemente limo-sabbiosa con limitata-modesta capacità portante. Individua l'unità fisiografica del Livello Fondamentale della Pianura che in questo settore della provincia presenta una copertura di limi di esondazione e/o di impaludamento;

gt2: area con consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali. In questo ambito sono compresi i terreni che formano l'alveo del Fiume Serio e le alluvioni terrazzate della valle del Serio.

5.2 Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico:

sg: area a bassa soggiacenza della falda. La soggiacenza della falda nel territorio di Mozzanica è generalmente bassa in quanto compresa tra un metro e quattro metri.

ed: area con emergenze idriche diffuse.

ee: emergenza della falda in ex area estrattiva o di scavo.

Alcune aree sono considerate come zone interessate dalla presenza di centri di pericolo a causa della presenza di materiali contaminanti abbandonati o del verificarsi di un evento di contaminazione. I siti noti sono la ex-cava Bergamini, nota anche come ex discarica abusiva Lugo Trasporti, e l'area industriale dell'azienda Rohm & Hass s.r.l.. Quest'ultima area è oggetto di una contaminazione di dimensioni contenute, ricadente all'interno dell'attuale stabilimento e in fase di bonifica. Per tali motivi essa non viene in questa sede delimitata arealmente.

lgt: ex discarica abusiva di rifiuti tossico nocivi Lugo Trasporti (ex cava Bergamini).

5.3 Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico:

in1: area allagabile per evento di piena con TR = 10 anni (P.G.R.A.) assimilabile alle aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti individuate nel P.G.R.A. (aree P3/H), o area ricadente nella Fascia A del P.A.I. (così come da proposta di modifica).

in1R4: area allagabile per evento di piena con TR = 10 anni (P.G.R.A) che interessa aree edificate e quindi assimilabile alle aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti individuate nel P.G.R.A. (aree P3/H), ricadenti nella perimetrazione del centro edificato (rischio R4 definito nel P.G.R.A.).

in2: area allagabile per evento di piena con TR = 100 anni (P.G.R.A.) assimilabile alle aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti individuate nel P.G.R.A. (aree P2/M), o area ricadente nella Fascia B del P.A.I..

in2R4: area allagabile per evento di piena con TR = 100 anni (P.G.R.A.) che interessa aree edificate e quindi assimilabile alle aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti individuate nel P.G.R.A. (aree P2/M) che interessano la perimetrazione del centro edificato (rischio R4 definito nel P.G.R.A.).

in3: area allagabile per evento di piena con TR = 500 (P.G.R.A.), assimilabile alle aree potenzialmente interessate da alluvioni rare, così come individuate nel P.G.R.A. (aree P1/L), o aera ricadente nella fascia C del P.A.I. e/o area storicamente soggetta a fenomeni di allagamento.

rg: area allagabile relativa al reticolo secondario di pianura (RSP del P.G.R.A.) di competenza consortile con pericolosità P3/H o area soggetta a possibile alluvionamento per esondazione delle rogge e/o impaludamento per risorgive.

rgR3: area allagabile relativa al reticolo secondario di pianura (RSP del P.G.R.A.) di competenza consortile con pericolosità P3/H o area soggetta a possibile alluvionamento per esondazione delle rogge e/o impaludamento per risorgive che interessano la perimetrazione del centro edificato (rischio R3 definito nel P.G.R.A.).

lam: area da destinarsi alla realizzazione di misure strutturali di invarianza idraulica così come individuate nel Documento Semplificato del Rischio Idraulico Comunale di Mozzanica.

5.4 Ambiti di particolare interesse geomorfologico, scientifico, naturalistico ed educativo:

fon: ambito di tutela paesaggistica delle teste dei fontanili.

6 CARTA DI FATTIBILITÀ DELLE AZIONI DI PIANO (TAV. 5)

6.1 Classi di fattibilità geologica

I dati raccolti ed elaborati nei capitoli precedenti consentono, mediante l'analisi dei vari elementi che caratterizzano l'area in esame, di suddividere il territorio in settori a maggiore o minore vocazione urbanistica. Si tratta di una classificazione della pericolosità che fornisce indicazioni generali sulle destinazioni d'uso, sulle cautele generali da adottare per gli interventi, sugli studi e le indagini necessarie in caso di intervento e sulle opere di riduzione degli eventuali rischi territoriali, ciò al di là di ogni considerazione di carattere economico e amministrativo, ma esclusivamente in funzione dei diversi parametri naturali che caratterizzano il territorio.

È opportuno ricordare che per una lettura esaustiva delle possibilità di cambiamento di destinazione d'uso di una qualsiasi parte del territorio, la *Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano* deve essere consultata insieme alla *Carta dei vincoli* dove sono rappresentate le limitazioni derivanti dalla normativa in vigore.

La D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011 adotta quattro classi di fattibilità.

Classe 1 (bianca) - Fattibilità senza particolari limitazioni

La classe comprende quelle aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso e per le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le costruzioni, di cui alla normativa nazionale.

Classe 2 (verde-gialla) – Fattibilità con modeste limitazioni

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. Per gli ambiti assegnati a questa

classe devono essere indicati, nelle norme geologiche di piano, gli approfondimenti da effettuare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori.

Classe 3 (gialla-arancione) – Fattibilità con consistenti limitazioni

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

Il professionista, nelle norme geologiche di piano, deve, in alternativa:

• se dispone fin da subito di elementi sufficienti, definire puntualmente per le eventuali previsioni urbanistiche le opere di mitigazione del rischio da realizzare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori, in funzione della tipologia del fenomeno che ha generato la pericolosità/vulnerabilità del comparto;

• se non dispone di elementi sufficienti, definire puntualmente i supplementi di indagine relativi alle problematiche da approfondire, la scala e l'ambito di territoriale di riferimento (puntuale, quali caduta massi, o relativo ad ambiti più estesi coinvolti dal medesimo fenomeno quali ad esempio conoidi, interi corsi d'acqua ecc.) e la finalità degli stessi al fine di accertare la compatibilità tecnico-economica degli interventi con le situazioni di dissesto in atto o potenziale e individuare di conseguenza le prescrizioni di dettaglio per poter procedere o meno all'edificazione.

Classe 4 (rossa) – Fattibilità con gravi limitazioni

L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, ivi comprese quelle interrate, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della l.r. 12/05, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo. Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica.

Il professionista deve fornire indicazioni in merito alle opere di sistemazione idrogeologica e, per i nuclei abitati esistenti, quando non è strettamente necessario

provvedere al loro trasferimento, dovranno essere predisposti idonei piani di emergenza; deve inoltre essere valutata la necessità di predisporre sistemi di monitoraggio geologico che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto.

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili; dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

A discrezione del professionista ogni classe di fattibilità, con particolare riferimento alle classi 2 e 3, può essere, per maggiore chiarezza, suddivisa in sottoclassi riguardanti ambiti omogenei.

6.2 La fattibilità geologica nel comune di Mozzanica

6.2.1 Classe 3

In questa classe ricadono le zone dove sono state rilevate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso.

In relazione alle condizioni di rischio riscontrate sono state individuate quattro sottoclassi.

- 3a

La sottoclasse 3a comprende sia i depositi fluvioglaciali del livello fondamentale della pianura sia una parte dei depositi recenti della valle del Fiume Serio.

Le limitazioni d'uso riscontrate sono dovute alla bassa soggiacenza della falda.

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di approfondimenti geognostici necessari per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale.

Per la protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento le richieste di concessione edilizia dovranno contenere:

- un'indicazione quantitativa e qualitativa degli scarichi liquidi prodotti dal fabbricato o dal complesso di cui si richiede la costruzione;

- un'indicazione progettuale dei sistemi di depurazione corrispondenti e/o dei sistemi adottati per l'eliminazione dei materiali residui e la salvaguardia idrogeologica e relativi criteri costruttivi.

Si applicano altresì le prescrizioni contenute nelle "direttive per la disciplina delle attività all'interno delle aree di rispetto (comma 6 art. 21 del DLGS 11 maggio 1999, n. 152 e successive modificazioni)" approvato con D.G.R. 10 aprile 2003 n. 7/12693 e pubblicato sul B.U.R.L. Serie Ordinaria n. 17 del 22 aprile 2003 (Allegato 7) e ribadito nell'art. 94 del D.Lgs 152 del 3 aprile 2006, per le aree ricadenti in tali ambiti.

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 17 gennaio 2018), necessarie per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale.

Porzioni di territorio comunale incluse in questa sottoclasse sono comprese nel perimetro delle misure strutturali previste nel Documento Semplificato del Rischio Idraulico Comunale di Mozzanica. Qualora le vasche di laminazione venissero realizzate questa porzione di territorio comunale dovrà essere inserita nella classe di fattibilità 4, valutando eventualmente l'istituzione di una sottoclasse ad hoc.

- 3b

La sottoclasse 3b include:

- le aree allagabili per evento di piena con TR = 500 anni che il P.G.R.A. assegna alle <u>alluvioni rare</u> (P1/L) e le aree ricadenti all'interno della fascia C del P.A.I., che ricadono al di fuori del perimetro edificato, così come individuato nel P.G.R.A.. Tali aree sono soggette alle disposizioni previste per la fascia C di cui all'art. 31 delle N.d.A. del P.A.I.

- le aree allagabili relative al reticolo secondario di pianura (RSP del P.G.R.A.) di competenza consortile con pericolosità P3/H o area soggetta a possibile alluvionamento per esondazione delle rogge e/o impaludamento per risorgive, che ricadono al di fuori del perimetro edificato, così come individuato nel P.G.R.A..

Oltre a quanto previsto per la classe 3a è necessario che gli interventi non modifichino i fenomeni idraulici naturali che possono aver luogo, né costituiscano significativo ostacolo al deflusso e/o limitino in maniera significativa la capacità d'invaso. A tal fine i progetti dovranno essere corredati da un'analisi di compatibilità idraulica che documenti l'assenza delle suddette interferenze o indichi i rimedi progettuali per ovviare a tale rischio quali ad esempio sopralzi, recinzioni impermeabili e altri accorgimenti tecnici necessari a garantire la sicurezza dei locali in caso di allagamento.

L'utilizzo di queste aree è inoltre subordinato ad una approfondita analisi della situazione idrogeologica locale in maniera da non creare interferenze con la falda e salvaguardare le condizioni naturali che sono all'origine delle risorgive.

Porzioni di territorio comunale incluse in questa sottoclasse sono comprese nel perimetro delle misure strutturali previste nel Documento Semplificato del Rischio Idraulico Comunale di Mozzanica. Qualora le vasche di laminazione venissero realizzate questa porzione di territorio comunale dovrà essere inserita nella classe di fattibilità 4, valutando eventualmente l'istituzione di una sottoclasse ad hoc.

- 3c

La sottoclasse 3c include le aree allagabili per evento di piena con TR = 100 anni che il P.G.R.A. assegna alle alluvioni poco frequenti (P2/M) e le aree ricadenti nella fascia B del P.A.I., che ricadono al di fuori del perimetro edificato, così come individuato nel P.G.R.A..

Oltre a quanto previsto per la classe 3a, eventuali interventi dovranno seguire le seguenti prescrizioni per minimizzare il rischio idraulico:

- Realizzare le superfici abitabili, le aree sede dei processi industriali, degli impianti tecnologici e degli eventuali depositi di materiali, sopraelevate rispetto al livello della piena di riferimento;
- Realizzare le aperture degli edifici situate al di sotto del livello di piena a tenuta stagna e disporre gli ingressi, in modo che non siano perpendicolari al flusso principale della corrente;
- Progettare la viabilità minore interna e la disposizione dei fabbricati così da limitare allineamenti di grande lunghezza nel senso di scorrimento delle acque, che potrebbero indurre la creazione di canali di scorrimento a forte velocità;

- Progettare la disposizione dei fabbricati in modo da limitare la presenza di lunghe strutture trasversali alla corrente principale;
- Adottare tutte le misure atte a garantire la stabilità delle fondazioni (opere drenanti per evitare le sottopressioni idrostatiche nei terreni di fondazione, opere di difesa per evitare i fenomeni di erosione delle fondazioni superficiali, fondazioni profonde per evitare fenomeni di cedimento o di rigonfiamento di suoli coesivi).
- È vietata realizzazione di nuovi impianti di smaltimento e di recupero dei rifiuti, l'ampliamento degli stessi impianti esistenti, nonché l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti, così come definiti dal D. Lgs. 152/2006 e s.m.i., ad eccezione dell'adeguamento degli impianti esistenti di trattamento delle acque reflue alle normative vigenti, anche a mezzo di eventuali ampliamenti funzionali.
- I manufatti per lo smaltimento delle acque (pozzi perdenti) dovranno essere progettati in modo tale da agevolare il drenaggio delle acque di piena. Sarà necessario prevedere la posa in opera di tutti quegli accorgimenti atti ad impedire l'infiltrazione nel sottosuolo di sostanze inquinanti dilavate dalle acque di piena. È vietato altresì il deposito a cielo aperto, ancorché provvisorio, di materiali e sostanze potenzialmente pericolose in grado di contaminare acque e terreni a seguito di un evento di piena.
- Prevedere tutti quegli accorgimenti tecnici necessari a garantire la sicurezza dei locali in caso di allagamento. In particolare:
  - uscite di sicurezza situate sopra il livello della piena centennale con dimensioni sufficienti per l'evacuazione di persone e beni verso l'esterno o verso i piani superiori;
  - vie di evacuazione situate sopra il livello di piena centennale;
  - utilizzo di materiali e tecnologie costruttive che permettano alle strutture di resistere alle pressioni idrodinamiche;
  - utilizzo di materiali per costruzione poco danneggiabili al contatto con l'acqua.

In queste aree si applicano le limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia B dalle norme del "Titolo II – Norme per le fasce fluviali", delle N.d.A. del P.A.I. (art. 30).

- 3d

La sottoclasse 3d include le aree allagabili relative al reticolo secondario di pianura (RSP del P.G.R.A.) di competenza consortile, con pericolosità P3/H, per le quali è riconosciuto un grado di rischio elevato R3, poiché ricadenti all'interno del perimetro edificato.

Oltre a quanto previsto per la classe di 3b, ciascun intervento edificatorio deve essere valutata la condizione di rischio seguendo le metodologie riportate nell'Allegato 4 alla D.G.R. 9/2616/2011 e s.m.i, se applicabile.

- 3e

La sottoclasse 3e include le aree allagabili per evento di piena con TR = 100 anni che il P.G.R.A. assegna alle alluvioni poco frequenti (P2/M) per le quali è riconosciuto un grado di rischio molto elevato R4, poiché ricadenti all'interno del perimetro edificato.

Oltre a quanto previsto per la classe 3ca, l'utilizzo di tali aree a scopo edilizio è subordinato alla realizzazione di uno studio di compatibilità idraulica, seguendo le metodologie riportate nell'Allegato 4 alla D.G.R. 9/2616/2011 e s.m.i, e utilizzando come dati tecnici di input tutte le informazioni del P.G.R.A.. Detto studio può essere omesso per gli interventi edilizi che non modificano il regime idraulico dell'area allagabile, accompagnando il progetto da opportuna asseverazione del progettista (es. recupero sottotetti, interventi edilizi a quote di sicurezza,…).

6.2.2 Classe 4

Nella classe 4 l'alta pericolosità e/o vulnerabilità comporta gravi limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso. Dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti saranno consentite esclusivamente le opere relative a interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b) e c) della L.R. 12/05.0

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico potranno essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili e dovranno comunque essere puntualmente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano

l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, dovrà essere allegata un'apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di rischio presente.

In relazione al tipo di vincolo e/o pericolo sono state distinte due sottoclassi.

- 4a

Nella sottoclasse 4a sono inserite le aree di pertinenza del Fiume Serio comprese le aree allagabili con TR = 10 anni, le aree interessate da alluvioni frequenti (P3/H) individuate dal P.G.R.A. e le aree ricadenti all'interno della fascia A del P.A.I..

Le aree incluse in questa sottoclasse sono normate dalle prescrizioni previste per la Fascia A, di cui al "Titolo II – Norme per le fasce fluviali", delle Norme di Attuazione (N.d.A.) del P.A.I. (art. 29).

- 4b

La sottoclasse 4b include le parti più prossime alla zona di emergenza delle risorgive per valenza ambientale ed idrogeologica che rivestono tali ambiti.

È inoltre ivi ricompresa l'area di emergenza della falda individuata nel settore centro-occidentale del comune, oggetto di scavi diffusi.

6.3 Normativa sismica

Al mosaico della fattibilità è sovrapposta una campitura 'trasparente' che individua le aree dove è richiesta l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico senza passaggi intermedi.

Negli altri ambiti dovranno essere approfonditi gli aspetti relativi a ciascuno scenario e applicato il livello di analisi sismica richiesto.

6.3.1 Zone con terreni di fondazioni particolarmente scadenti (PSL Z2a) o potenzialmente soggetti a liquefazione (PSL Z2b)

L'analisi di terzo livello prevede la valutazione quantitativa dei cedimenti e dove necessario del potenziale di liquefazione mediante l'esecuzione di accertamenti geognostici e l'impiego di procedure note in letteratura e scelte a discrezione del professionista incaricato.

Il terzo livello di approfondimento dovrà essere applicato rispettando le direttive tecniche regionali riassunte nel paragrafo 2.3.3.2.

Potrà essere evitata l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico utilizzando lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, seguendo il seguente schema:

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica B si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe C; nel caso in cui la soglia non fosse sufficientemente cautelativa si può utilizzare lo spettro previsto per il suolo di classe D;
- in sostituzione dello spettro per la classe sismica C si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D;
- in sostituzione dello spettro per la classe sismica E si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D.

6.3.2 Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3)

Nel territorio comunale di Mozzanica questo scenario non è presente. Si riporta comunque la procedura di secondo livello in quanto, l'eventuale presenza di fronti di scavo può ricondurre a geometrie associabili allo scenario descritto.

La procedura di secondo livello per gli effetti morfologici fornisce valori del *Fa* solo per l'intervallo 0,1 – 0,5 a causa di alcune limitazioni del metodo di calcolo utilizzato per la preparazione delle schede di valutazione.

Il primo passo per valutare l'amplificazione topografica è quello di accertarsi della sussistenza delle condizioni morfologiche (creste e/o scarpate secondo le geometrie delle Figure 1 e 2) e litologiche (v_s>800m/s) che individuano lo scenario.

Negli scenari di pericolosità sismica locale **Z3a** e **Z3b** il *fattore di amplificazione* deve essere calcolato per la quota di cresta o di ciglio e successivamente interpolato linearmente sino alla base del pendio dove assume valore pari all'unità. Possono pertanto essere soggette ad amplificazione topografica anche aree non collocate nelle immediate vicinanze delle scarpate e delle creste.

In fase progettuale dovrà essere considerata dal tecnico incaricato l'eventuale presenza di scenari di Pericolosità Sismica Locale che rientrino nella casistica delle classi Z3a/Z3b e valutato il relativo *fattore di amplificazione*.

Il terzo livello di approfondimento sismico va sempre applicato negli scenari di pericolosità sismica locale Z3a e Z3b nel caso di progetti di costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani.

Il terzo livello di approfondimento dovrà essere applicato rispettando le direttive tecniche regionali riassunte nel paragrafo 2.3.3.3.

Potrà essere evitata l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico utilizzando lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, seguendo il seguente schema:

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica B si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe C; nel caso in cui la soglia non fosse sufficientemente cautelativa si può utilizzare lo spettro previsto per il suolo di classe D;
- in sostituzione dello spettro per la classe sismica C si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D;
- in sostituzione dello spettro per la classe sismica E si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D.

6.3.3 Effetti di amplificazione litologica (PSL Z4)

Nello scenario Z4a è richiesta l'applicazione del secondo livello di approfondimento nelle aree interferenti con l'urbanizzato e l'urbanizzabile e l'approfondimento di terzo livello per l'analisi dell'amplificazione litologica, solo quando il *fattore di amplificazione* calcolato è maggiore del valore soglia.

L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito del presente aggiornamento della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. ha rilevato che:

- per le strutture con periodo 0,1 – 0,5s i valori di Fa sitospecifici calcolati, sono risultati sempre maggiori rispetto alla soglia regionale ed è pertanto necessario implementare il terzo livello di approfondimento sismico;

- per quanto concerne le strutture con periodo 0,5 – 1,5 s i Fa sono risultati verificati, essendo inferiore al valore di soglia regionale.

In fase progettuale dovrà essere sempre verificata la classe di appartenenza del sottosuolo e effettuato il calcolo del *fattore di amplificazione*, vista anche l'eterogeneità dei risultati ottenuti con la sopra descritta analisi pianificatoria.

Qualora i *Fa* calcolati con l'analisi di secondo livello non fossero verificati, dovrà essere applicato il terzo livello di approfondimento, rispettando le direttive tecniche regionali, riassunte nel paragrafo 2.3.3.4. Tali approfondimenti dovranno essere preceduti dalla definizione della classe sismica di appartenenza del suolo (A. B, C, D, E).

Potrà essere evitata l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico utilizzando lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, seguendo il seguente schema:

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica B si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe C; nel caso in cui la soglia non fosse sufficientemente cautelativa si può utilizzare lo spettro previsto per il suolo di classe D;

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica C si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D;

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica E si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D.

Dott. Massimo Elitropi

Dott. Geol. Renato Caldarelli

ALLEGATI

ALLEGATO 1

SCHEDE REGIONALI PER LA VALUTAZIONE DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE

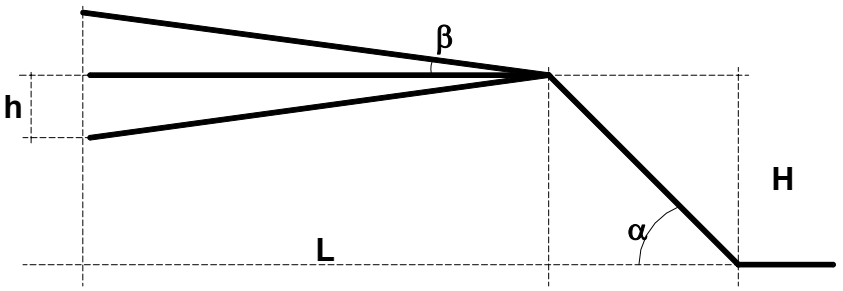
EFFETTI MORFOLOGICI – SCARPATA - SCENARIO Z3a

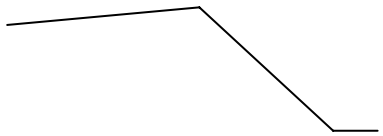
CRITERI DI RICONOSCIMENTO

H ≥ 10 m

α ≥ 10 °

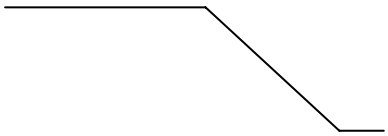
L ≈ H oppure L > 15-20 m





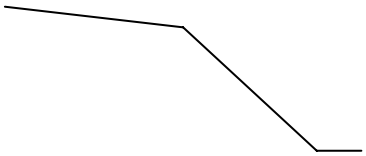
SCARPATA IN CONTROPENDENZA

h < 1/3 H



SCARPATA IDEALE

h = 0
β = 0



SCARPATA IN PENDENZA

β ≤ 1/5 α

Classe altimetrica	*Classe di inclinazione*	*Valore di Fa*	*Area di influenza*
10 m ≤ H ≤ 20 m	10° ≤ α ≤ 90°	1.1	$A_i = H$
20 m < H ≤ 40 m	10° ≤ α ≤ 90°	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
H > 40 m	10° ≤ α ≤ 20°	1.1	$A_i = \frac{2}{3} H$
	20° < α ≤ 40°	1.2	
	40° < α ≤ 60°	1.3	
	60° < α ≤ 70°	1.2	
	α > 70°	1.1	

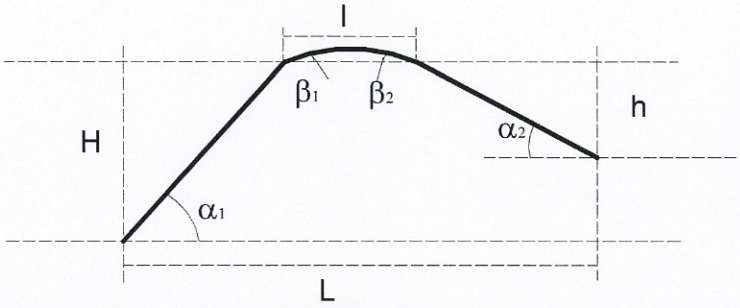
EFFETTI MORFOLOGICI – CRESTE - SCENARIO Z3b

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA
$\alpha_1 \geq 10°$ e $\alpha_2 \geq 10°$
$h \geq 1/3\ H$

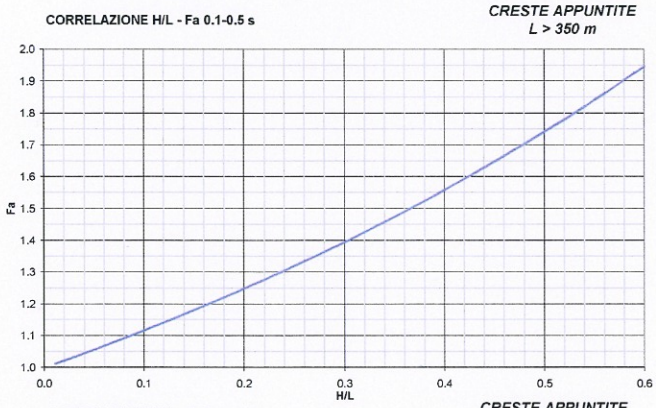
CRESTA ARROTONDATA
$\beta_1 < 10°$ e $\beta_2 < 10°$
$l \geq 1/3\ L$

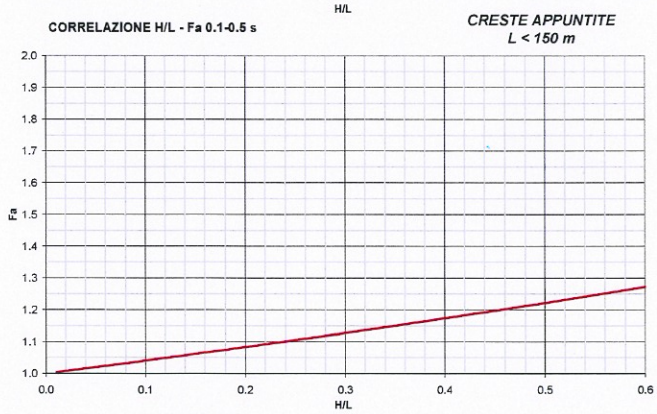
CRESTA APPUNTITA
$l < 1/3\ L$

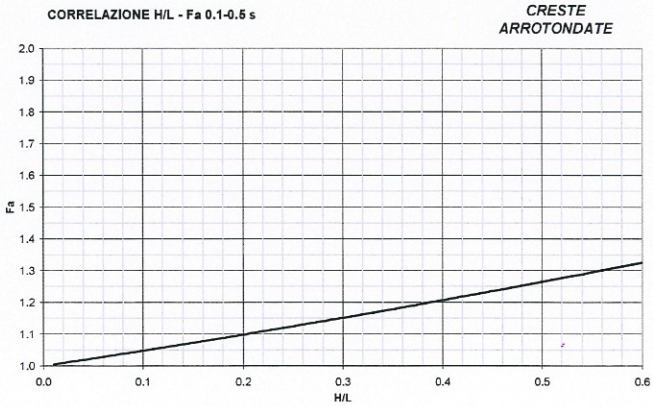


$V_s \geq 800$ m/s

	L > 350	250 < L <350	150 < L < 250	L < 150
Creste Appuntite	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.93H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.73H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.40H/L}$
Creste Arrotondate	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.47H/L}$			



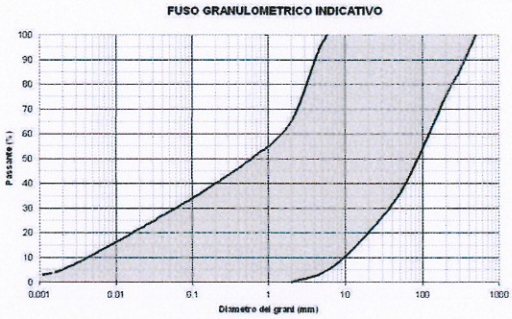




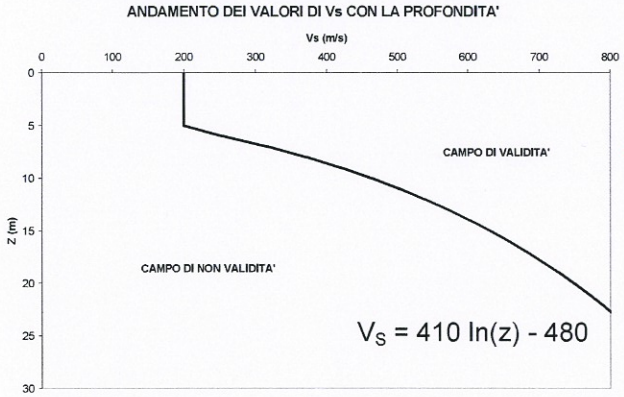
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA GHIAIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:
Da ghiaie e ciottoli con blocchi a ghiaie e sabbie limose debolmente argillose passando per ghiaie con sabbie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie con limo debolmente sabbiose e sabbie con ghiaie

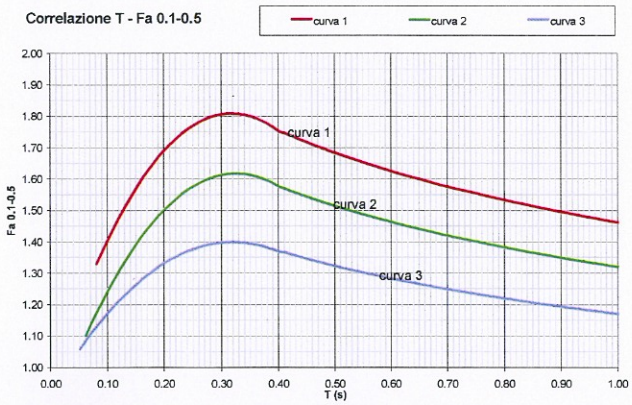


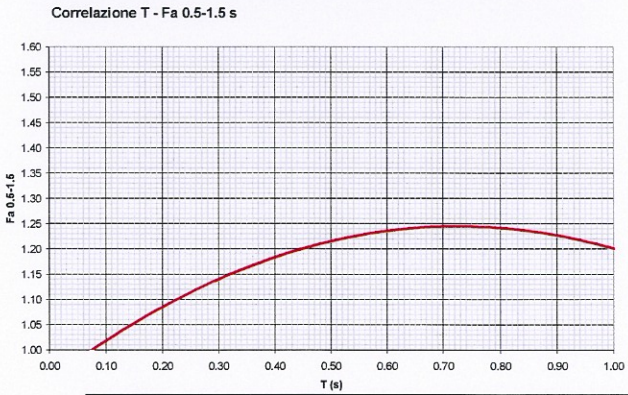
NOTE:
Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Frazione ghiaiosa superiore al 35%
Frequenti clasti con D_{max} > 20 cm
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 65%
Matrice limoso - argillosa fino ad un massimo del 30% con frazione argillosa subordinata (fino al 5%)
Presenza di eventuali trovanti con D > 50 cm
Presenza di eventuali orizzonti localmente cementati



Profondità primo strato (m)

Velocità primo strato (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18
200				1	1		-							
250				2	2	2								
300				3	3	3	3							
350				3	3	3	3	3						
400				3	3	3	3	3	3					
450				3	3	3	3	3	3					
500				3	3	3	3	3	3	3				
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3		
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3





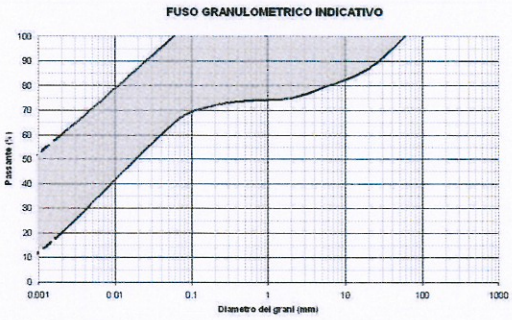
$$Fa_{0.5-1.5} = -0.58T^2 + 0.84T + 0.94$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.5T^2 + 5.4T + 0.95$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.46 - 0.32LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.4T^2 + 4.8T + 0.84$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.32 - 0.28LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -4.7T^2 + 3.0T + 0.92$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.17 - 0.22LnT$

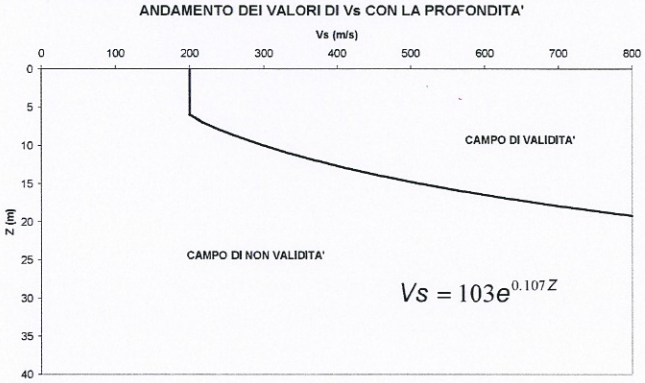
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – ARGILLOSA TIPO 1

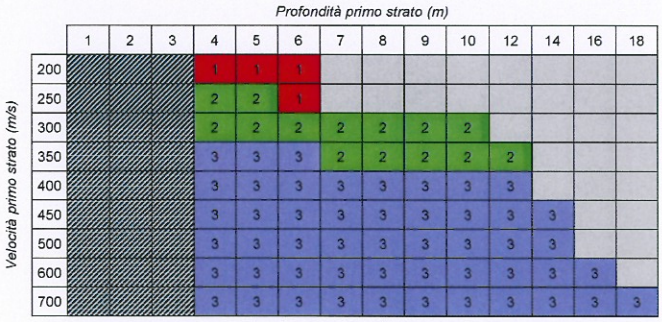
PARAMETRI INDICATIVI

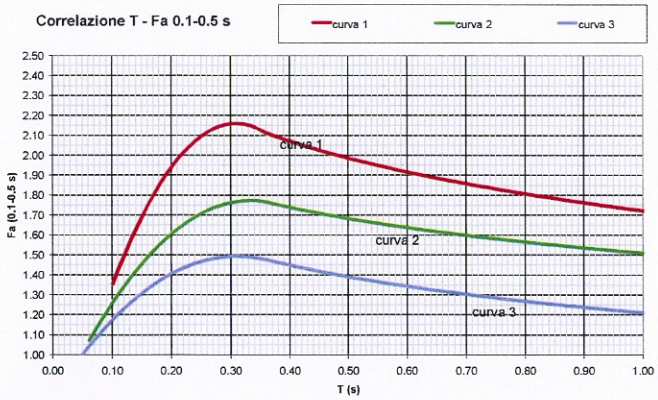
GRANULOMETRIA:
Da limi ghiaioso – argillosi debolmente sabbiosi ad argille con limi passando per limi argillosi, limi con sabbie argillose, limi e sabbie con argille, argille ghiaiose, argille ghiaiose debolmente limose ed argille con sabbie debolmente limose

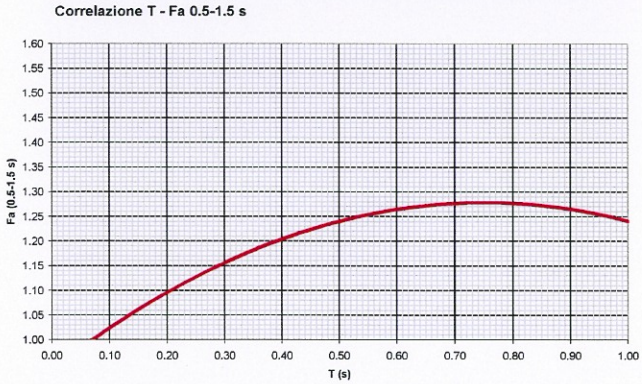


NOTE:
Comportamento coesivo
Struttura matrice-sostenuta
Frazione limosa superiore al 40%
Presenza di clasti immersi con D_{max} < 2-3 cm
Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 25%
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 35%
Frazione argillosa compresa tra 20% e 60%
Presenza di eventuali sottili orizzonti ghiaioso fini e sabbioso medio-grossolani









$$Fa_{0.5-1.5} = -0.6T^2 + 0.9T + 0.94$$

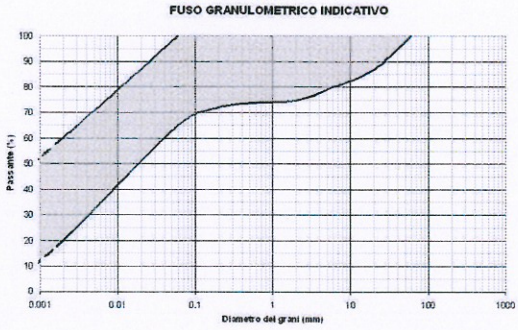
Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \le 0.35$	$0.35 < T \le 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -18.7T^2 + 11.5T + 0.39$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.72 - 0.38LnT$
2	$0.06 < T \le 0.35$	$0.35 < T \le 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.5T^2 + 6.3T + 0.73$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.51 - 0.25LnT$
3	$0.05 < T \le 0.35$	$0.35 < T \le 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.3T^2 + 4.5T + 0.80$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.21 - 0.26LnT$

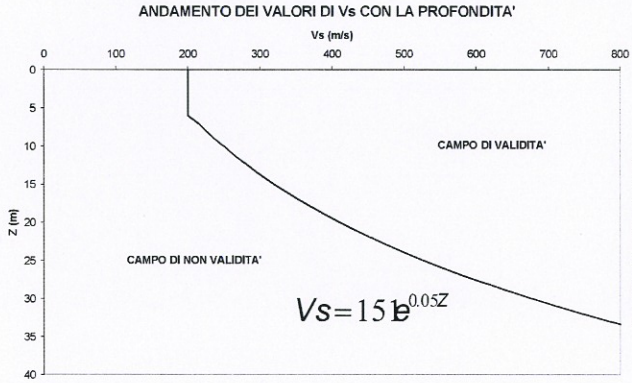
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – ARGILLOSA TIPO 2

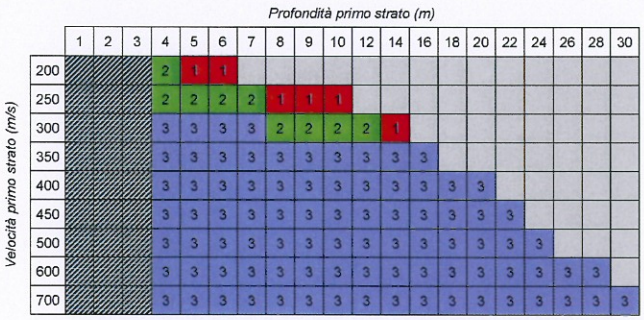
PARAMETRI INDICATIVI

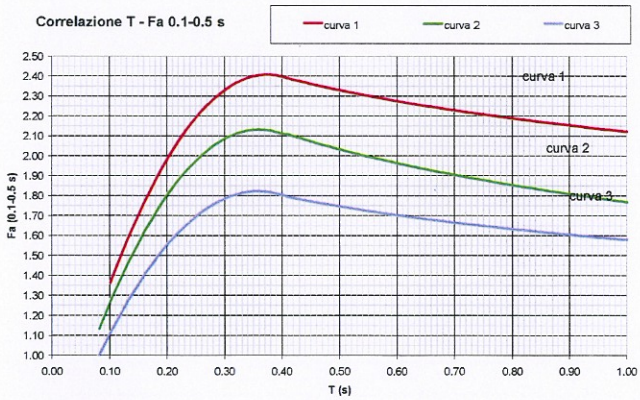
GRANULOMETRIA e NOTE: come per la litologia limoso - argillosa TIPO 1, a cui in aggiunta è possibile associare i seguenti range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per argille con limi ghiaiosi debolmente sabbiosi:

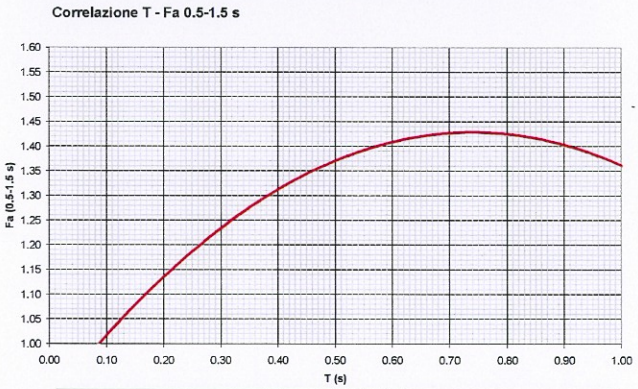
PARAMETRO		INTERVALLO
Peso di volume naturale	γ[kN/m^3]	19.5-20.0
Peso specifico particelle solide	γ_s [kN/m^3]	25.7-26.7
Contenuto d'acqua naturale	w [%]	20-25
Limite di liquidità	w_L [%]	30-50
Limite di plasticità	w_P [%]	15-20
Indice di plasticità	I_P [%]	15-30
Indice dei vuoti	e	0.5-0.7
Grado di saturazione	S_r [%]	90-100
Coefficiente di spinta a riposo	K_0	0.5-0.6
Indice di compressione	C_c	0.15-0.30
Indice di rigonfiamento	C_s	0.02-0.06
Coefficiente di consolidazione secondaria	C_a	0.001-0.005
Grado di consolidazione	OCR	1-3
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	Nspt	15-30











$$Fa_{0.5-1.5} = -T^2 + 1.48T + 0.88$$

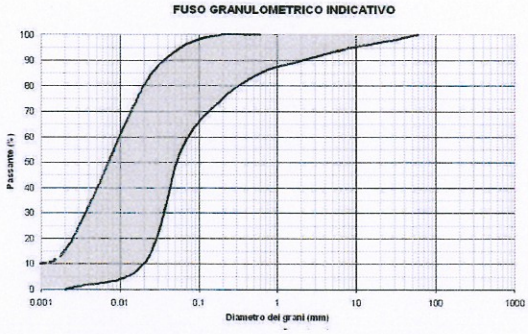
Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 1

PARAMETRI INDICATIVI

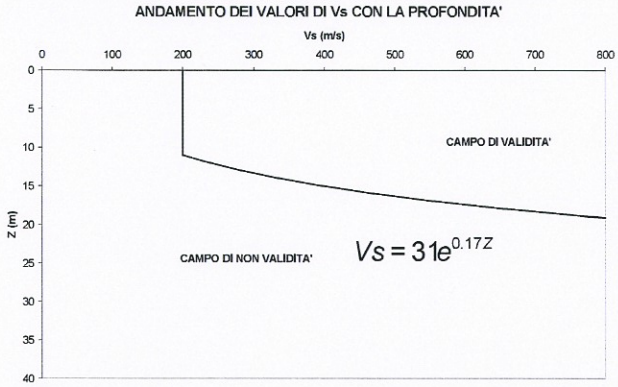
GRANULOMETRIA:

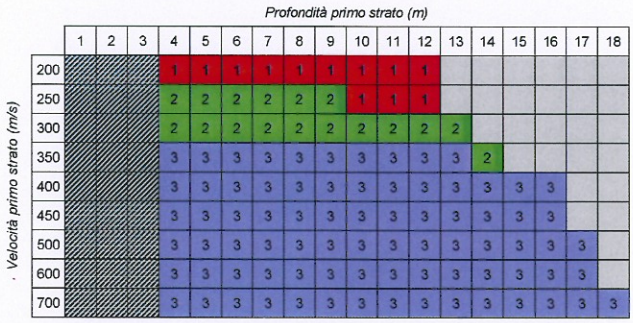
Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

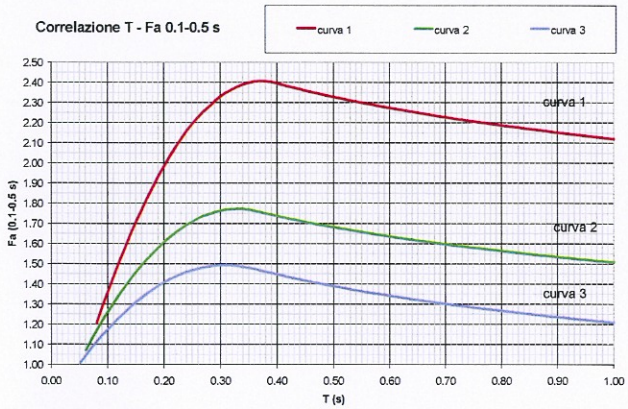


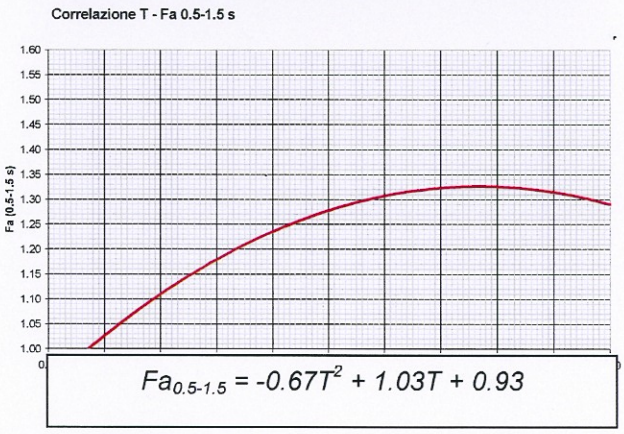
NOTE:

Comportamento coesivo
Frazione limosa ad un massimo del 95%
Presenza di clasti immersi con D_{max} < 2-3 cm
Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%
Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%
A FIANCO: range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi









Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.5T^2 + 6.3T + 0.73$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.51 - 0.25LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.3T^2 + 4.5T + 0.80$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.21 - 0.26LnT$

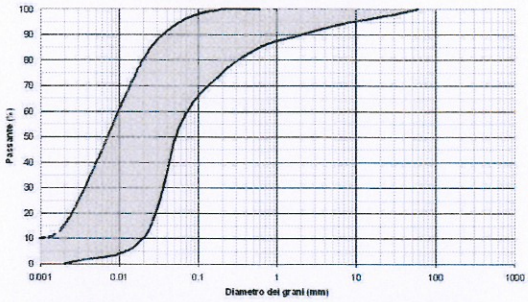
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 2

PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:
Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

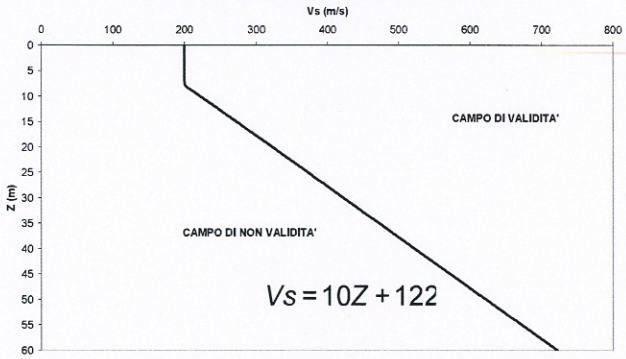
NOTE:
Comportamento coesivo
Frazione limosa ad un massimo del 95%
Presenza di clasti immersi con D_{max} < 2-3 cm
Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%
Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%
A FIANCO: range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO



PARAMETRO		INTERVALLO
Peso di volume naturale	γ[kN/m^3]	18.5-19.5
Peso specifico particelle solide	γ_s[kN/m^3]	26.0-27.9
Contenuto d'acqua naturale	w [%]	25-30
Limite di liquidità	w_L [%]	25-35
Limite di plasticità	w_P [%]	15-20
Indice di plasticità	I_P [%]	5-15
Indice dei vuoti	e	0.6-0.9
Grado di saturazione	S_r [%]	90-100
Coefficiente di spinta a riposo	K_0	0.4-0.5
Indice di compressione	C_c	0.10-0.30
Indice di rigonfiamento	C_s	0.03-0.05
Coefficiente di consolidazione secondaria	C_α	0.002-0.006
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	Nspt	0-20

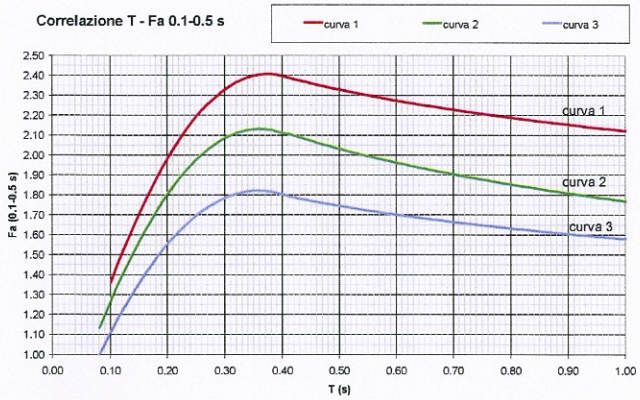
ANDAMENTO DEI VALORI DI Vs CON LA PROFONDITA'



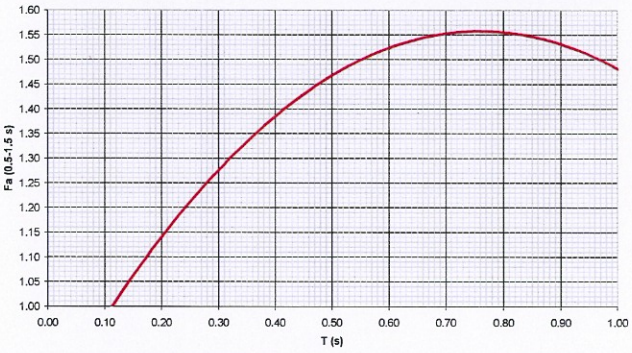
Profondità primo strato (m)

Velocità primo strato (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	35	40	50	60
200				1	1	1	1	1	1	1												
250				2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1							
300				3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2						
350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



$$Fa_{0.5\ 1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$

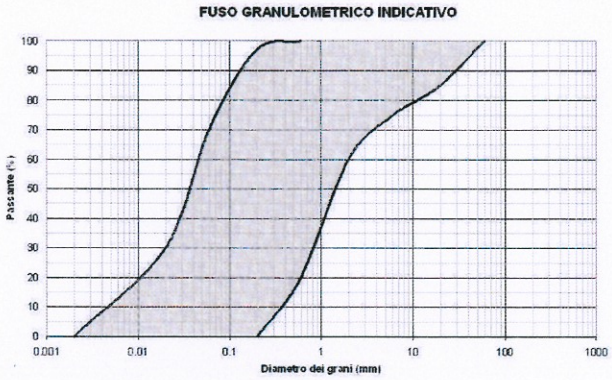
Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \le 0.40$	$0.40 < T \le 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \le 0.40$	$0.40 < T \le 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \le 0.40$	$0.40 < T \le 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:
Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

NOTE:
Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Clasti con D_{max} > 20 cm inferiori al 15%
Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
Frazione limosa fino ad un massimo del 70%



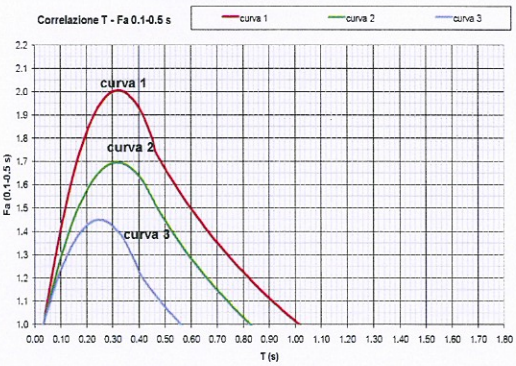
Profondità primo strato (m)

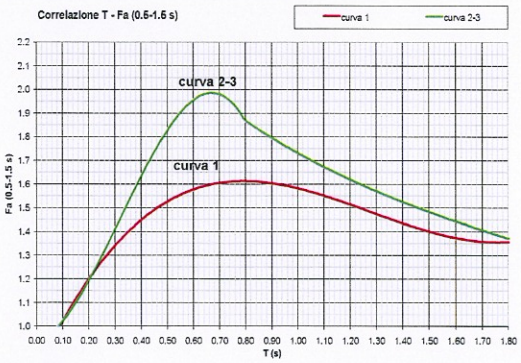
Velocità primo strato (m/s)	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180
200		2	1-2	2	3	3	3	3	3	3												
250		2	1-2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA								
300		2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA						
350		2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA					
400		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA				
450		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA			
500		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA		
600		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	
700		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Vs < 300 m/s	0
Vs > 500 m/s	5 - 12 m

ove
la sigla NA indica *Fa* = 1

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media Vs minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s





Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \le T \le 0.50$	$0.50 < T \le 1.00$	$T > 1.00$
	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = -12.21\ T^2 + 7.79\ T + 0.76$	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = 1.00$
2	$0.03 \le T \le 0.45$	$0.45 < T \le 0.80$	$T > 0.80$
	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = -8.65\ T^2 + 5.44\ T + 0.84$	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = 1.00$
3	$0.03 \le T \le 0.40$	$0.50 < T \le 0.55$	$T > 0.55$
	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = -9.68\ T^2 + 4.77\ T + 0.86$	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$Fa_{0.1\text{-}0.5} = 1.00$

Curva		
1	$0.08 \le T \le 1.80$	
	$Fa_{0.5\text{-}1.5} = 0.57\ T^3 - 2.18\ T^2 + 2.38\ T + 0.81$	
2 3	$0.08 \le T < 0.80$	$0.80 \le T \le 1.80$
	$Fa_{0.5\text{-}1.5} = -6.11\ T^3 + 5.79\ T^2 + 0.44\ T + 0.93$	$Fa_{0.5\text{-}1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

ALLEGATO 2

INDAGINI SISMICHE
MASW

SITO 1 (energizzazione 5m)

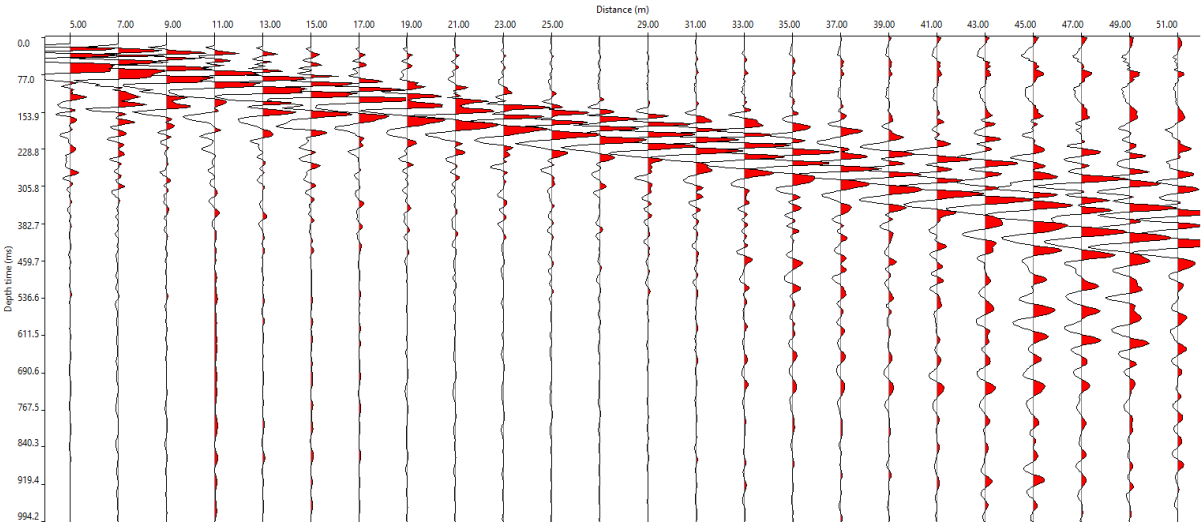


Fig. 1: Sismogramma medio

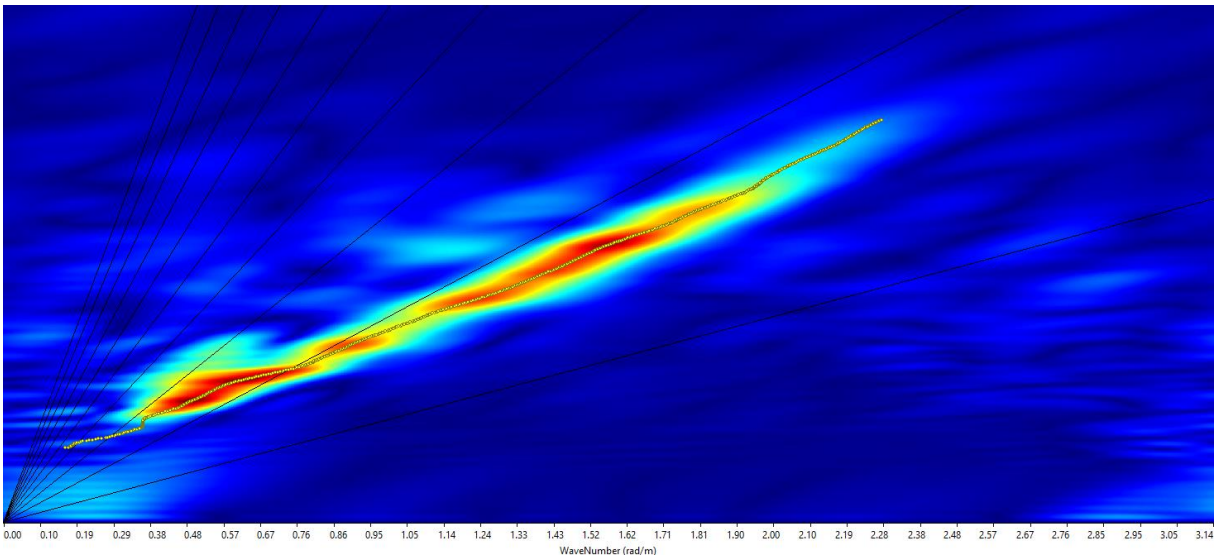


Fig. 2: Spettro Frequenza-velocità

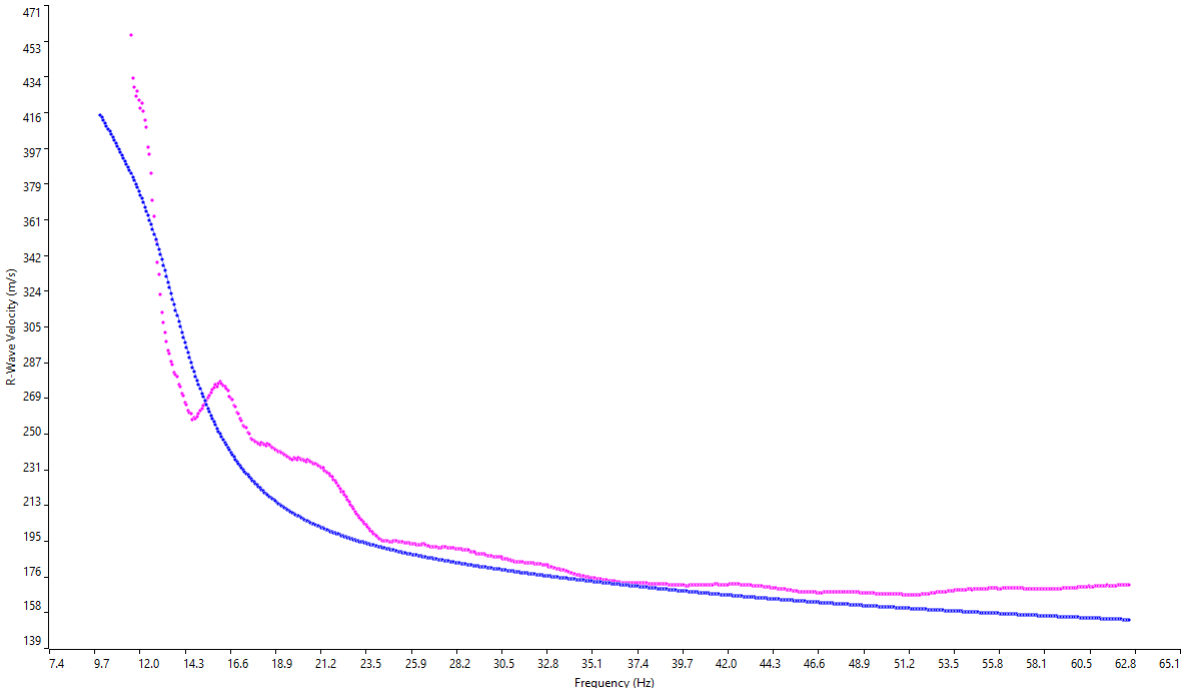


Fig. 3: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

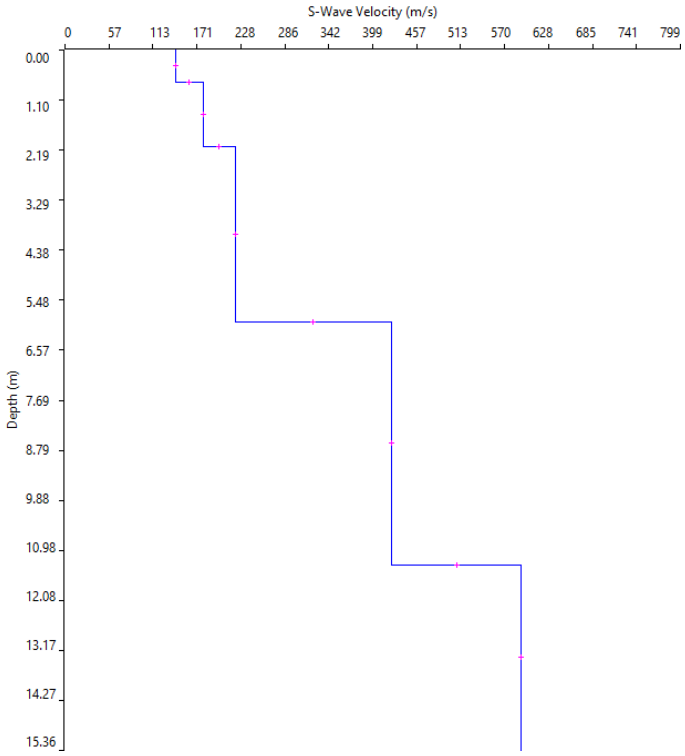


Fig. 4: Distribuzione Vs

SITO 1 (energizzazione 10m)

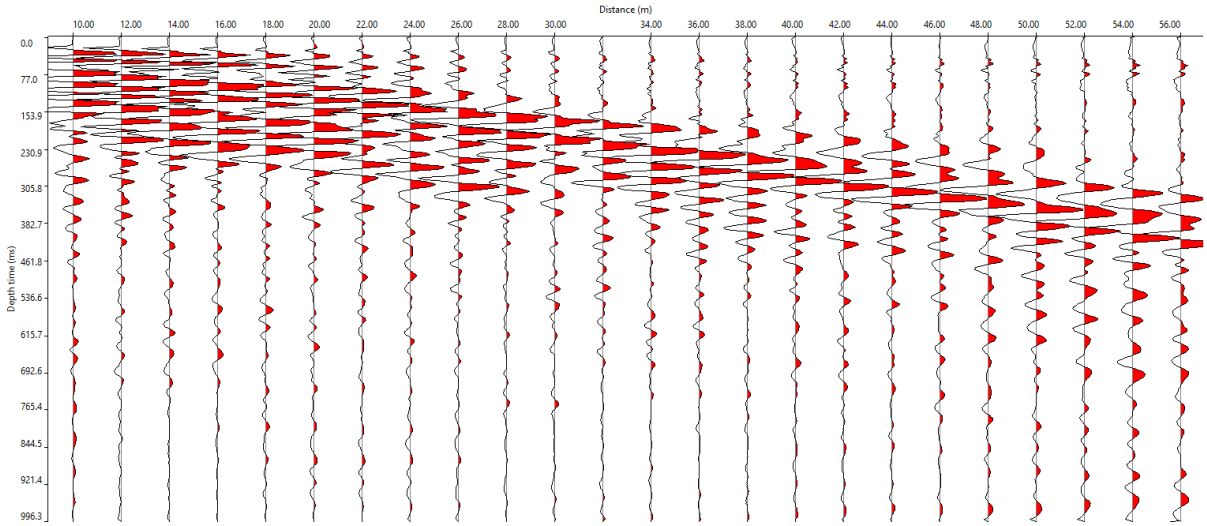


Fig. 5: Sismogramma medio

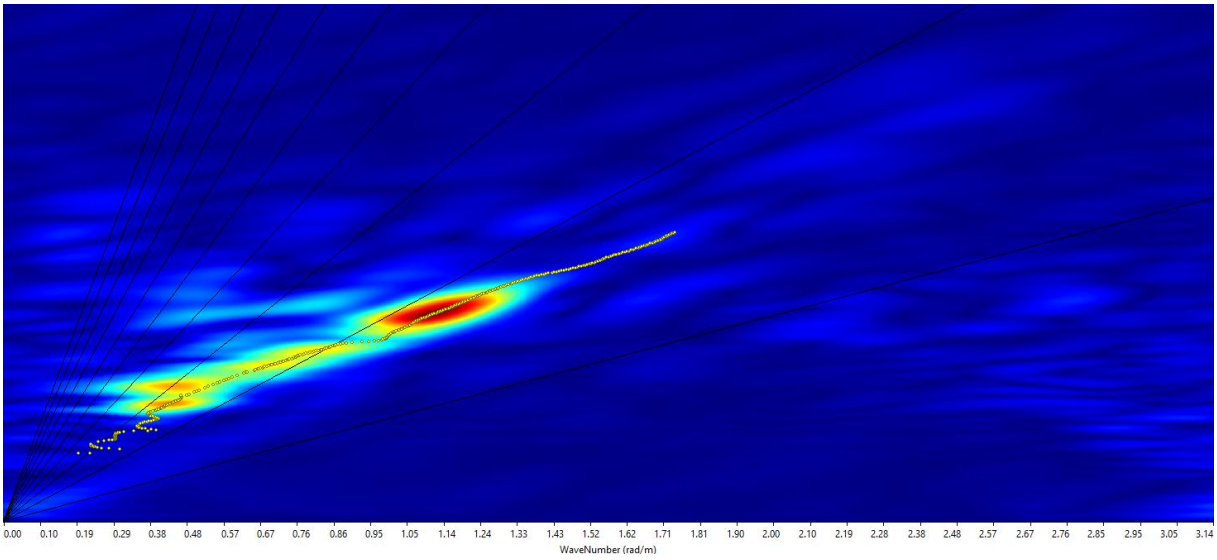


Fig. 6: Spettro Frequenza-velocità

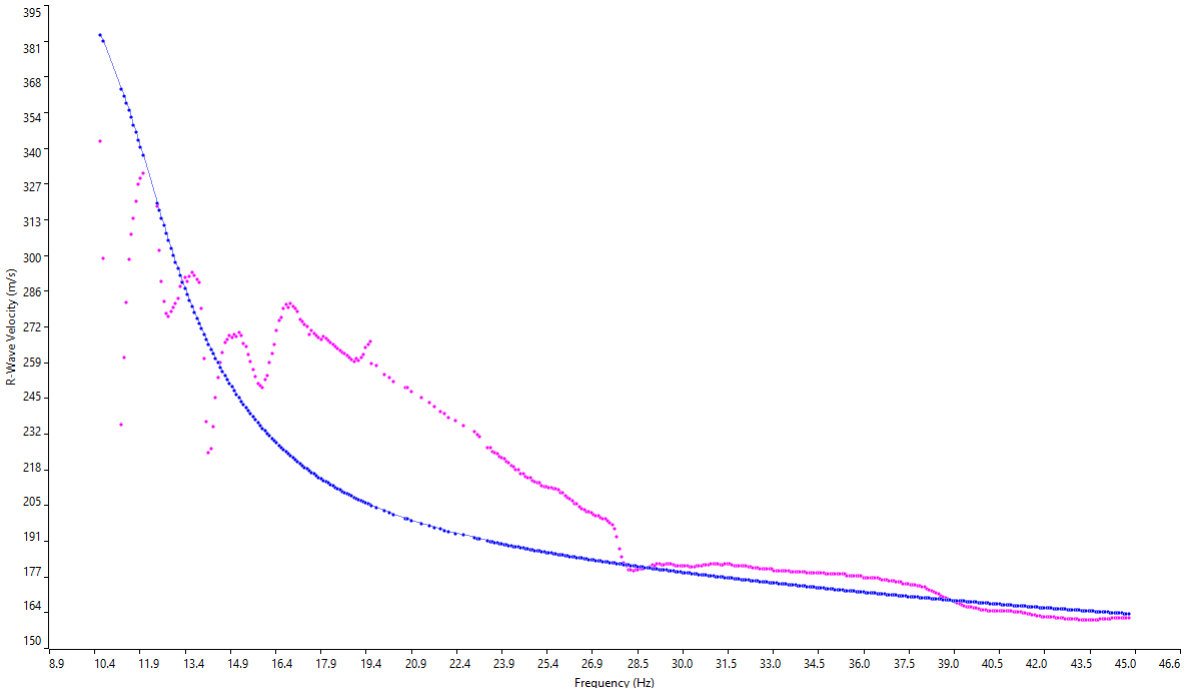


Fig. 7: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

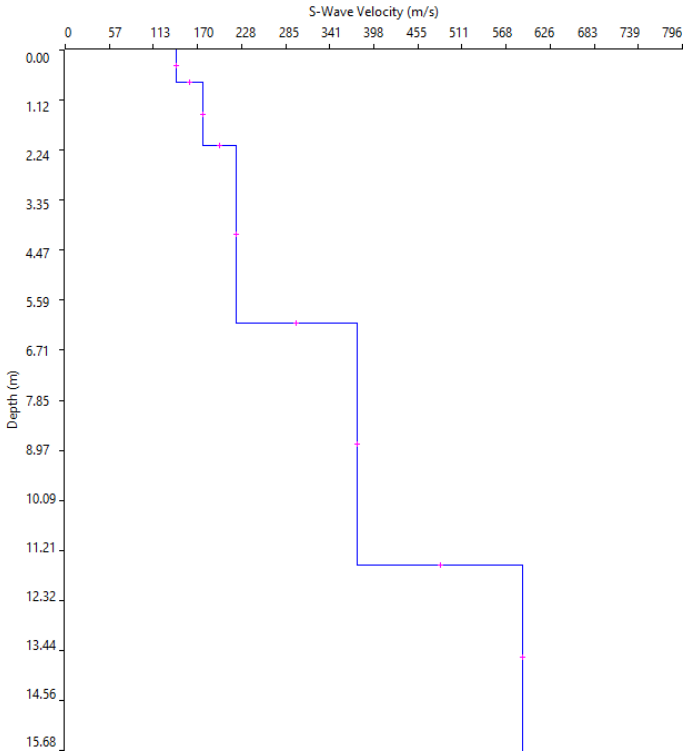


Fig. 8: Distribuzione Vs

SITO 2 (energizzazione 5m)

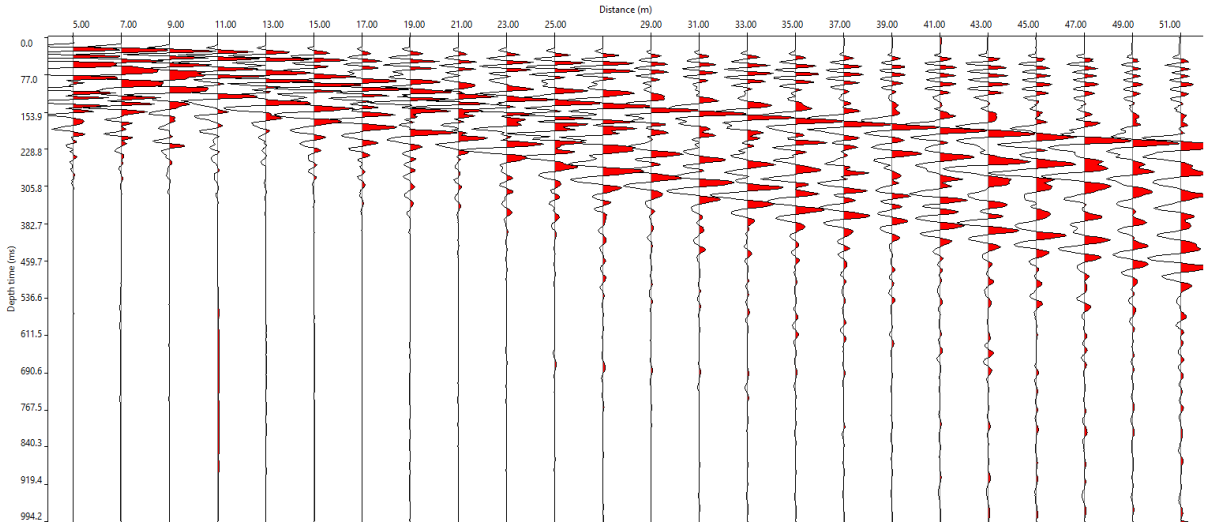


Fig. 9: Sismogramma medio

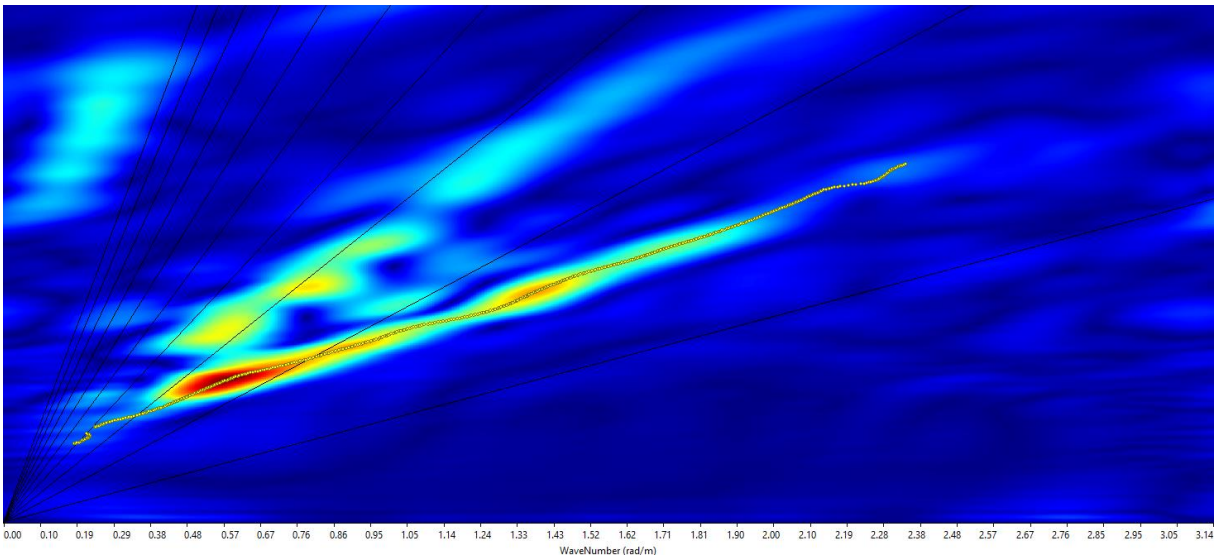


Fig. 10: Spettro Frequenza-velocità

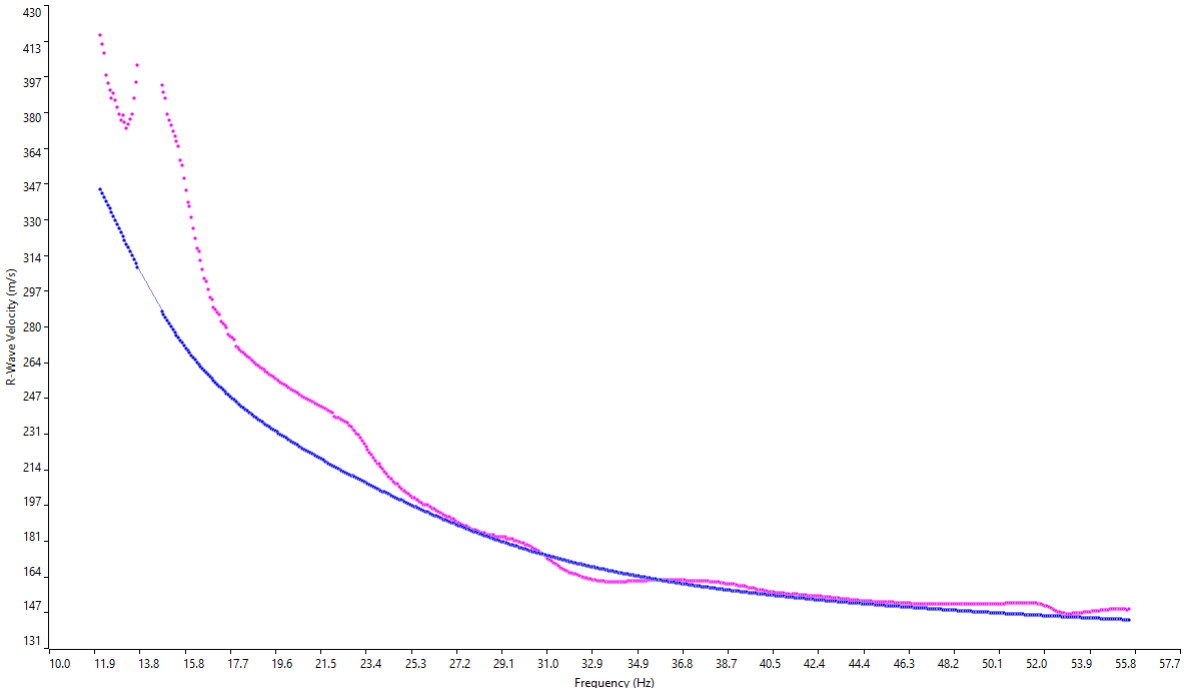


Fig. 11: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

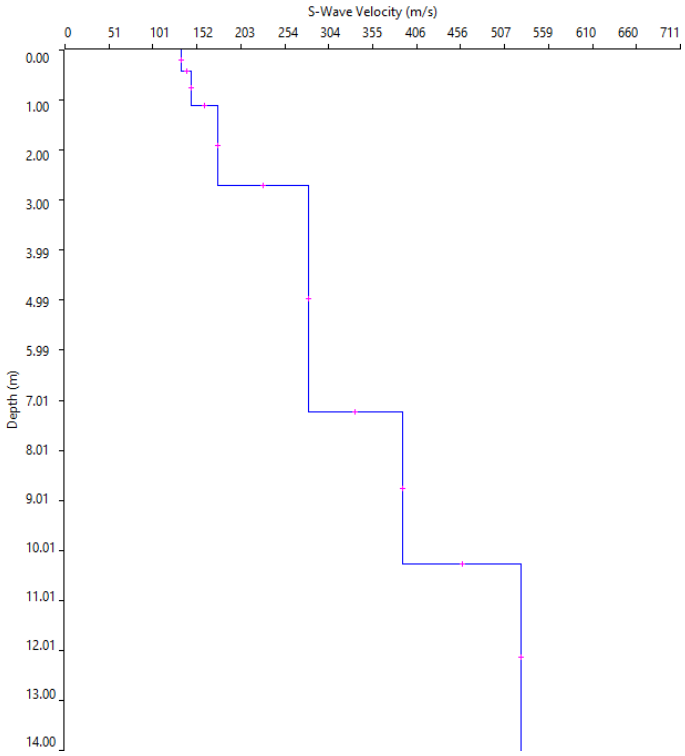


Fig. 12: Distribuzione Vs

SITO 2 (energizzazione 10m)

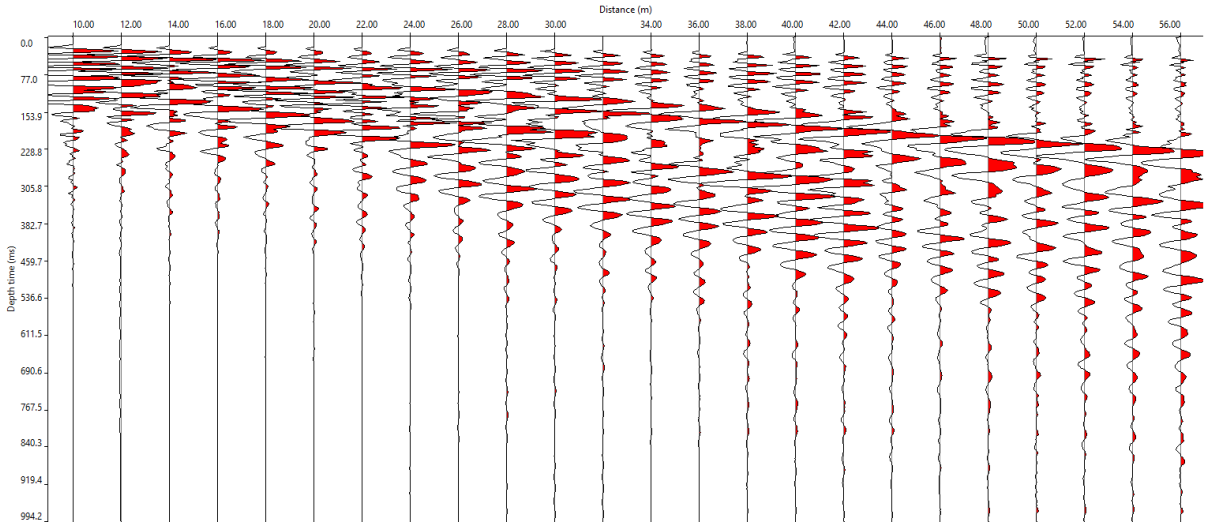


Fig. 13: Sismogramma medio

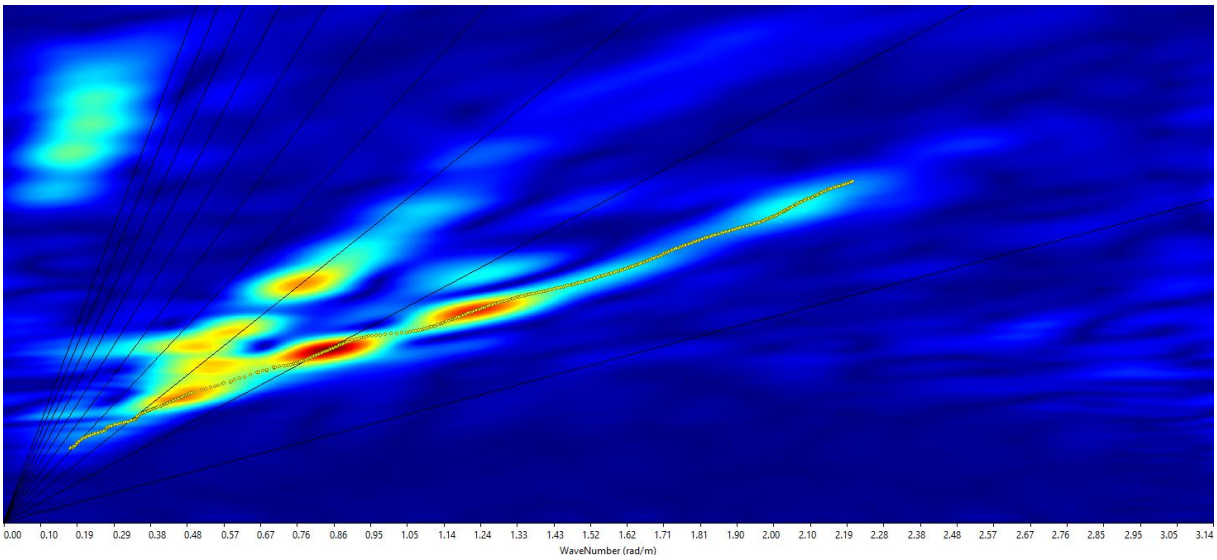


Fig. 14: Spettro Frequenza-velocità

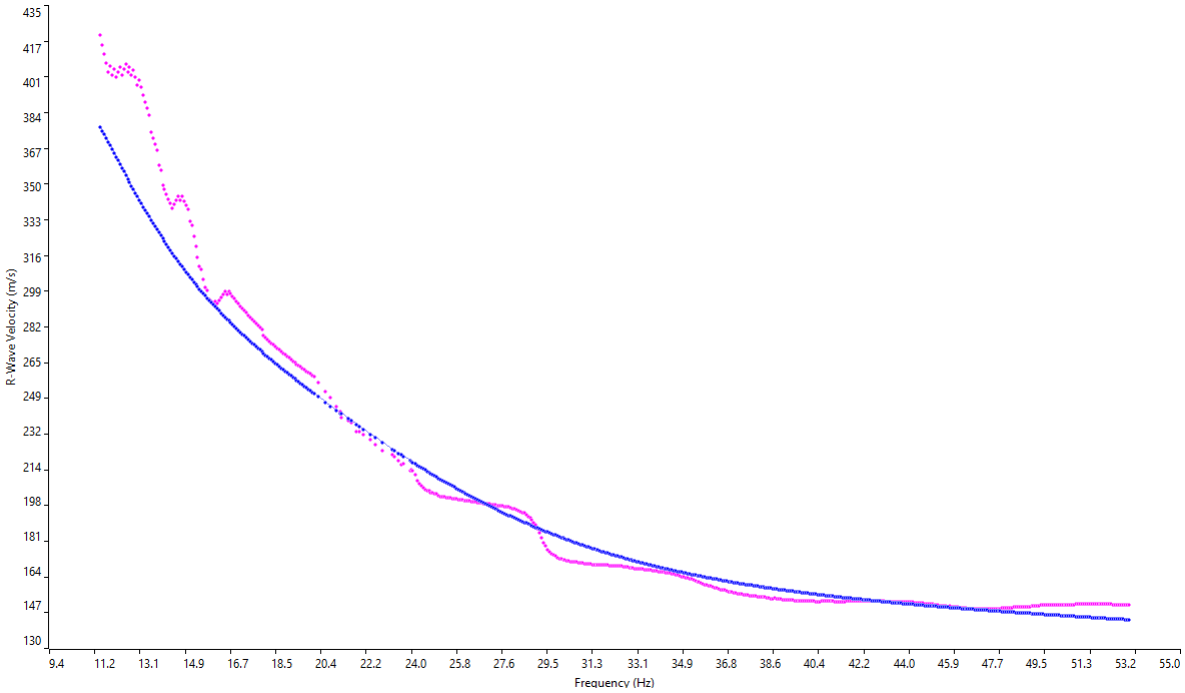


Fig. 15: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

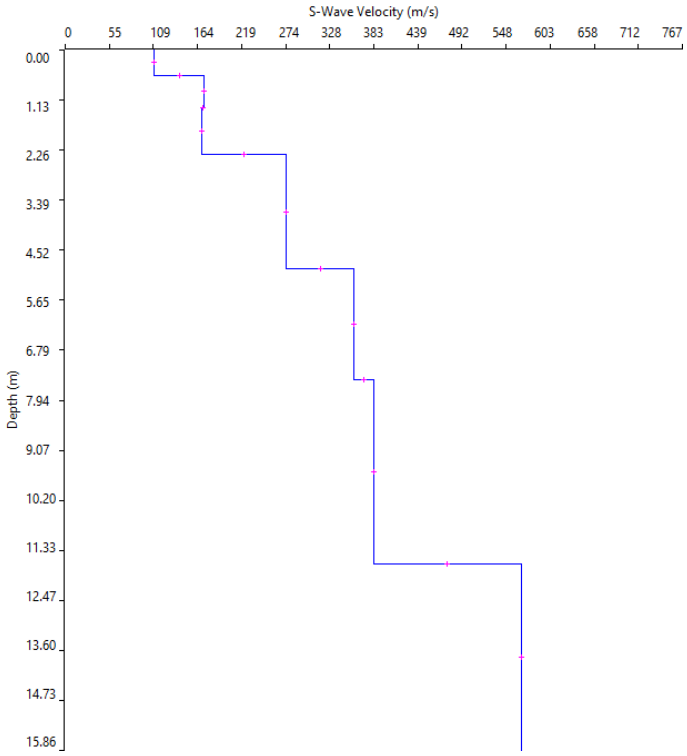


Fig. 16: Distribuzione Vs

SITO 3 (energizzazione 5m)

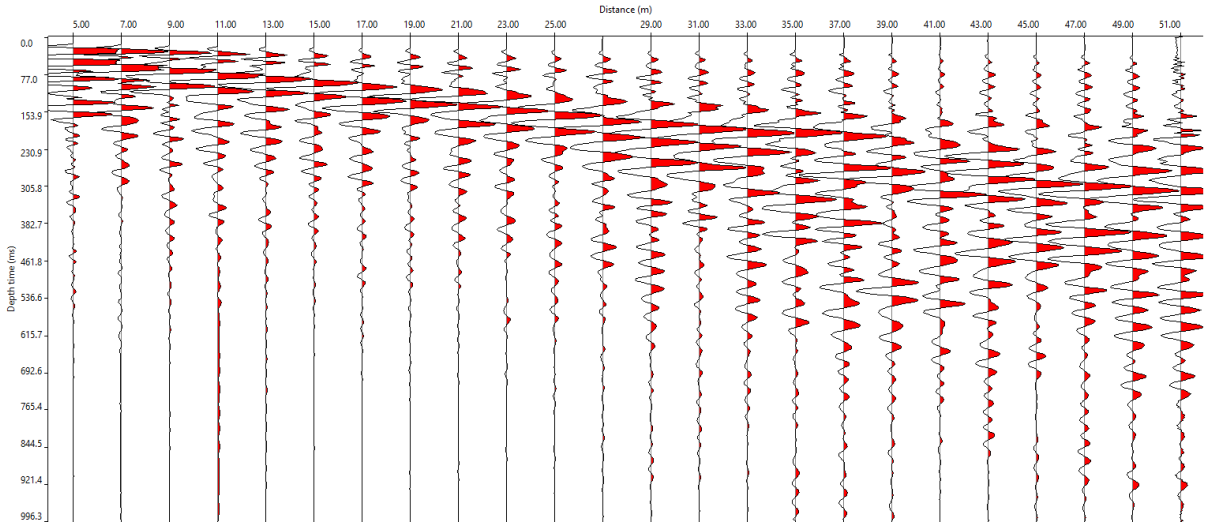


Fig. 17: Sismogramma medio

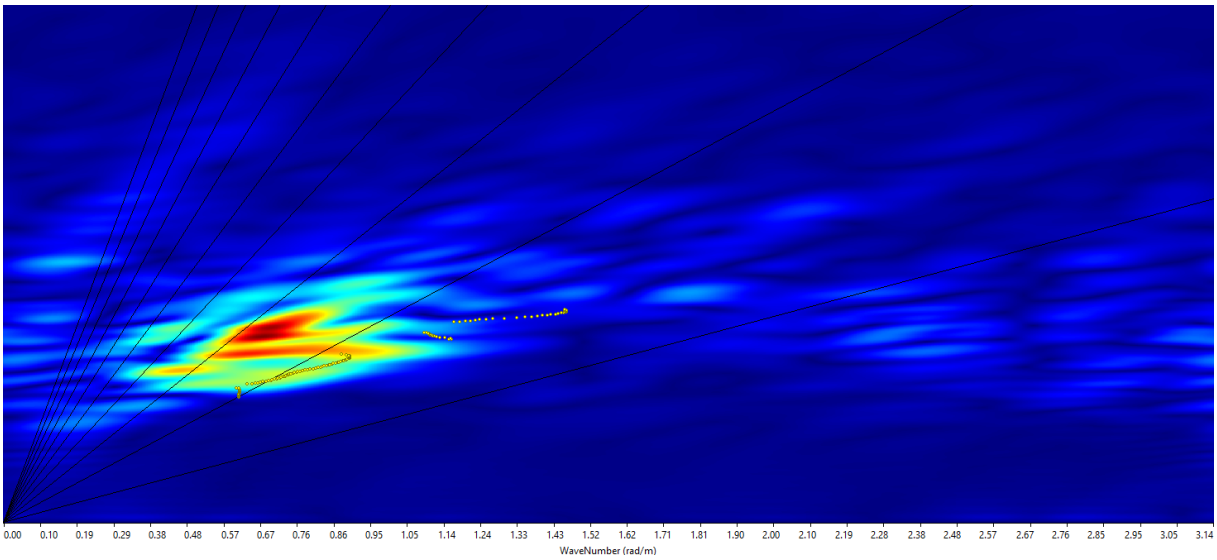


Fig. 18: Spettro Frequenza-velocità

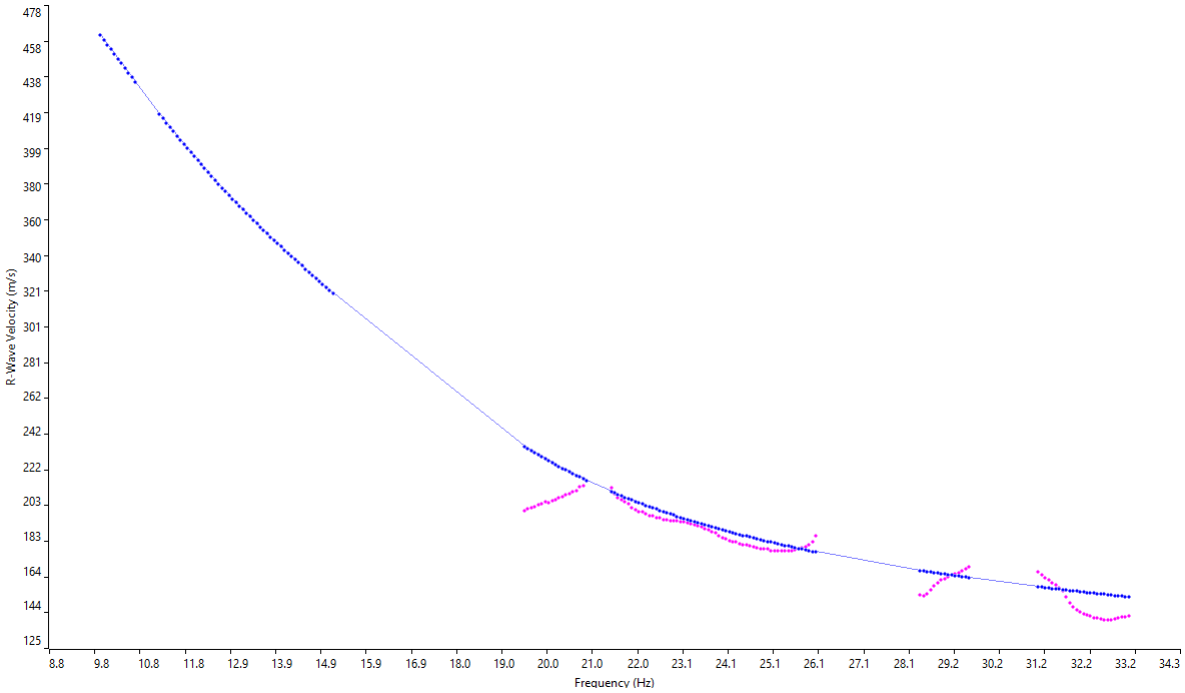


Fig. 19: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

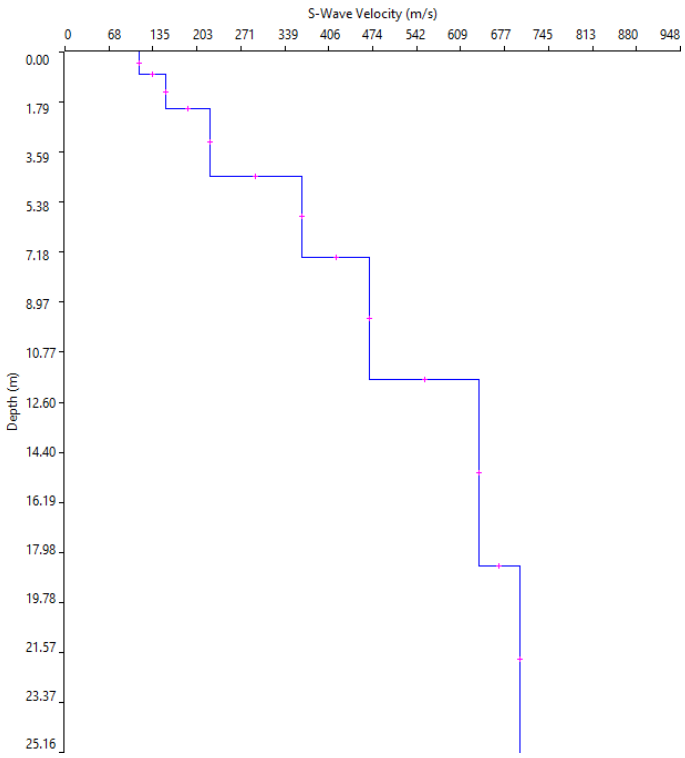


Fig. 20: Distribuzione Vs

SITO 3 (energizzazione 10m)

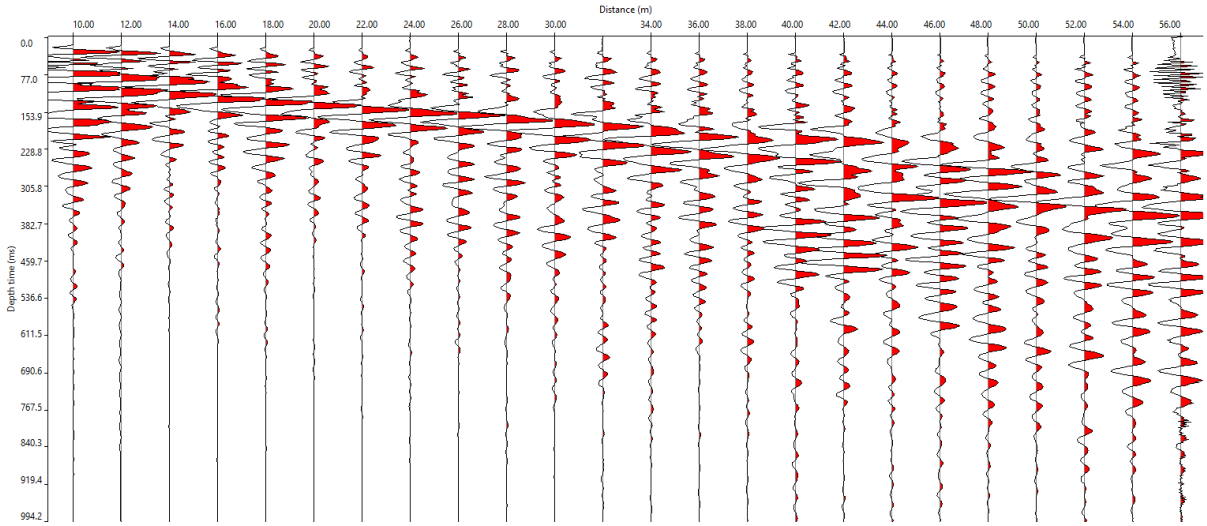


Fig. 21: Sismogramma medio

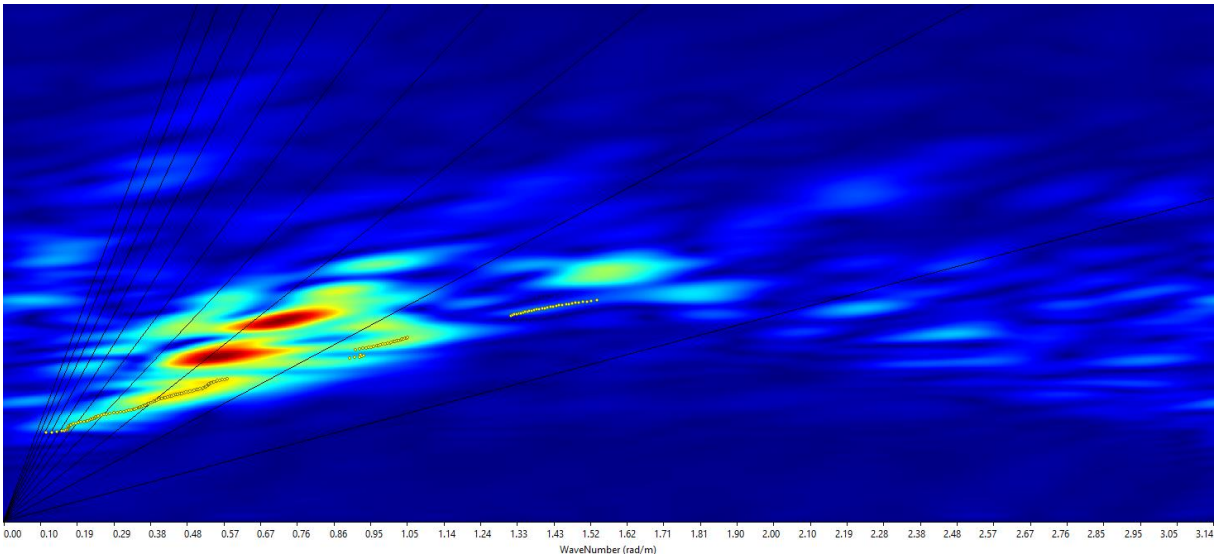


Fig. 22: Spettro Frequenza-velocità

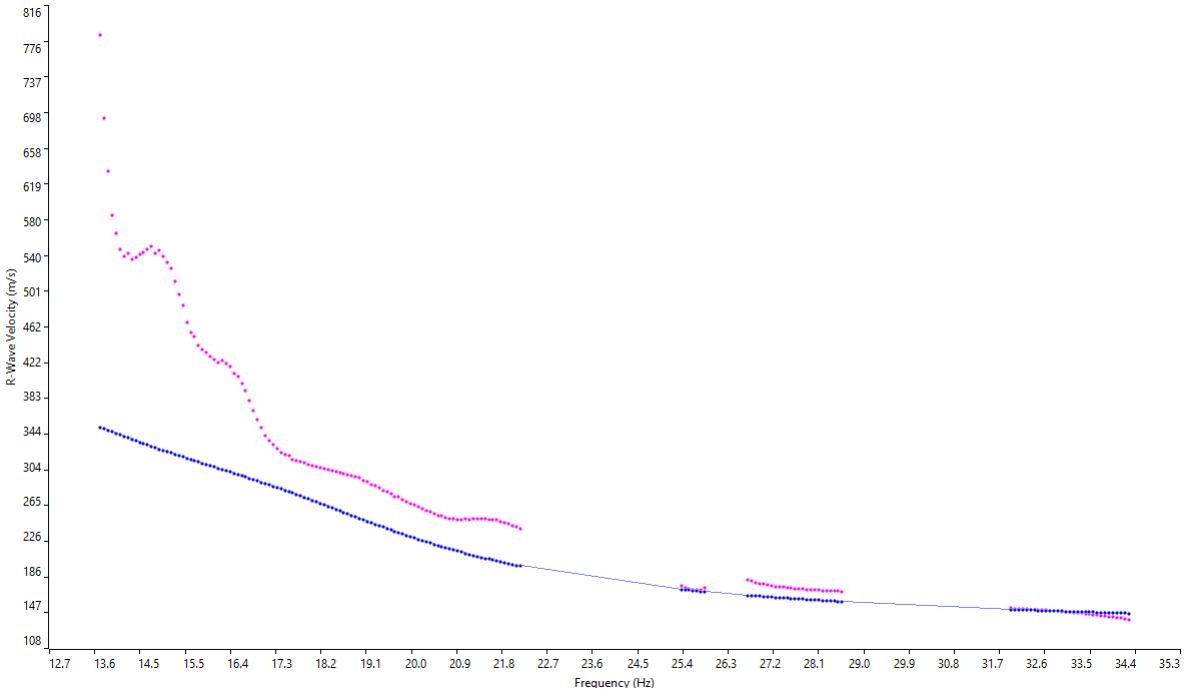


Fig. 23: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

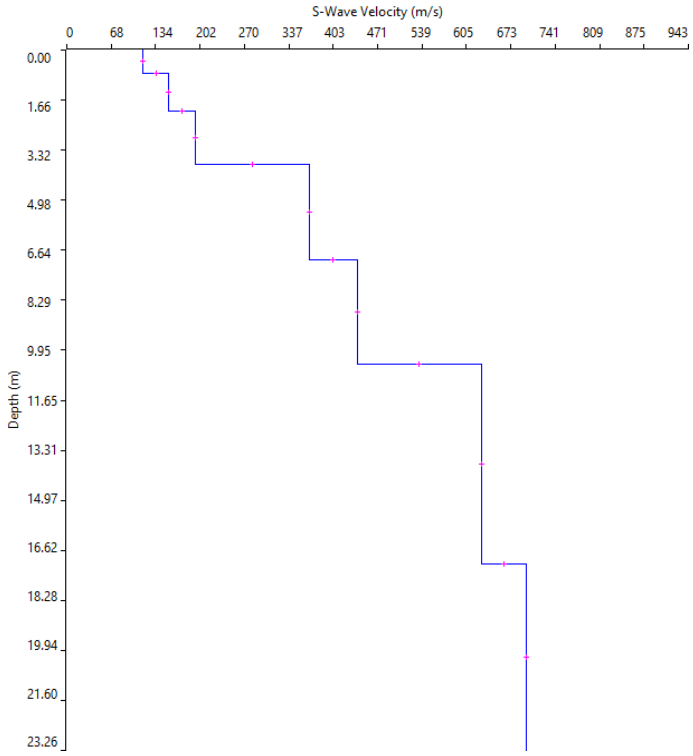


Fig. 24: Distribuzione Vs

SITO 5 (energizzazione 5m)

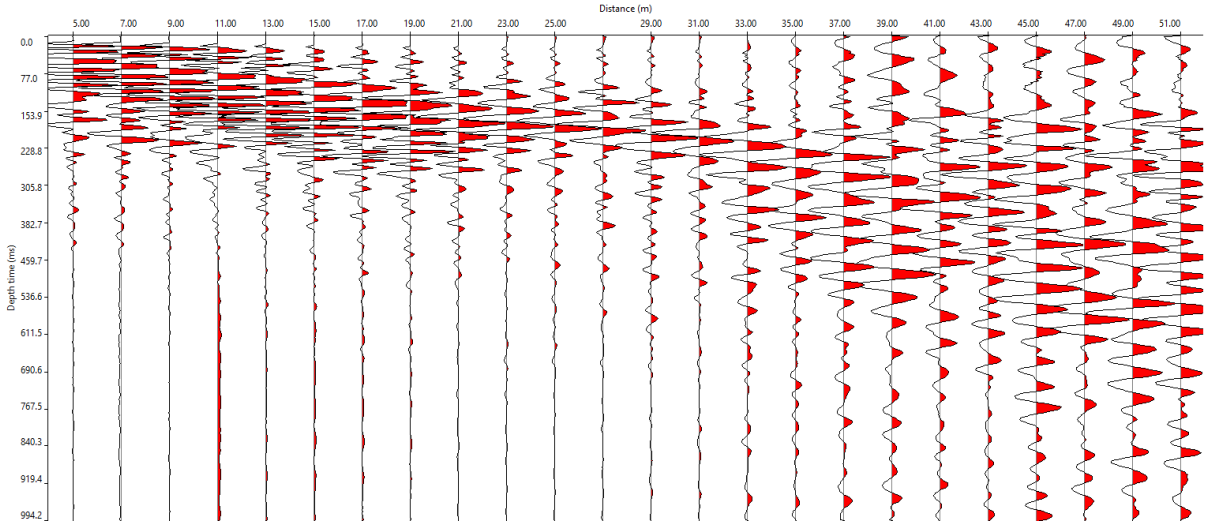


Fig. 25: Sismogramma medio

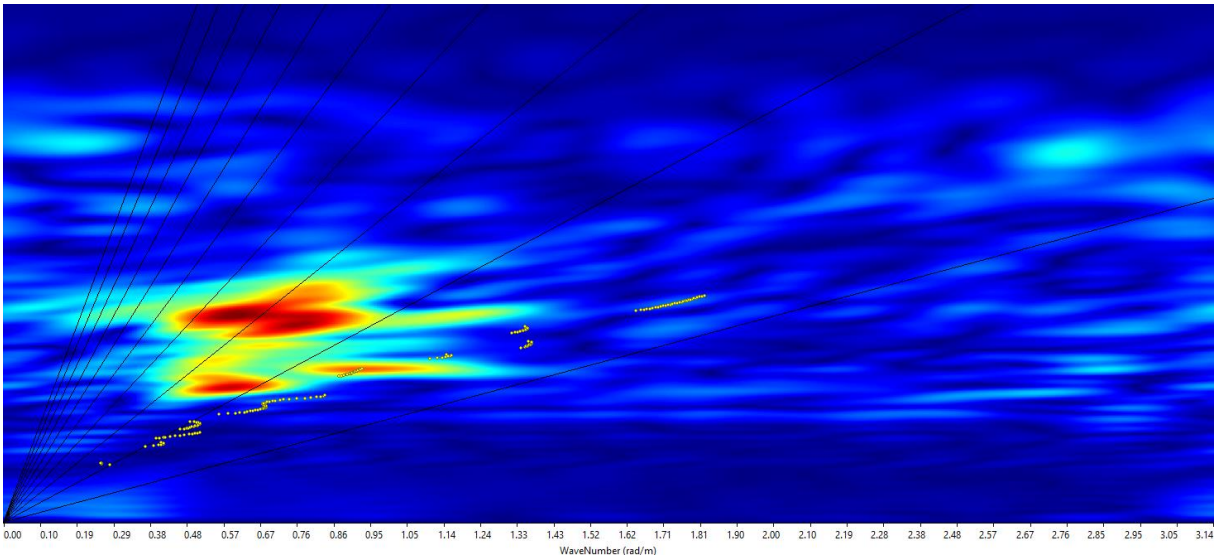


Fig. 26: Spettro Frequenza-velocità

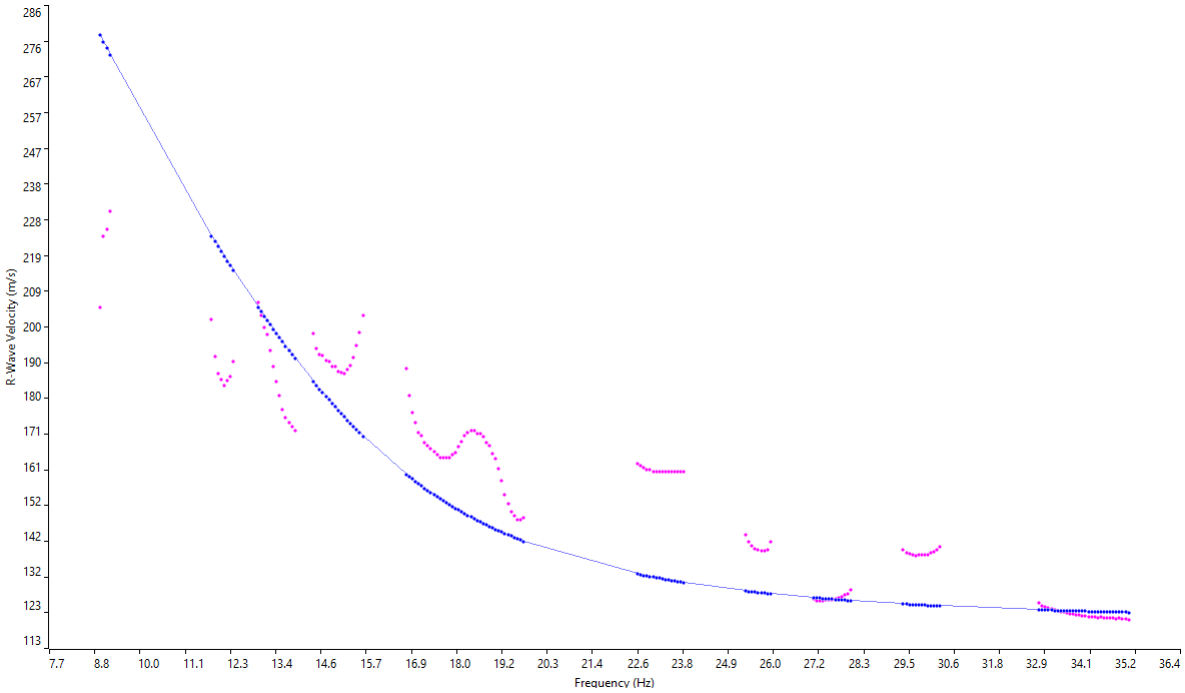


Fig. 27: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

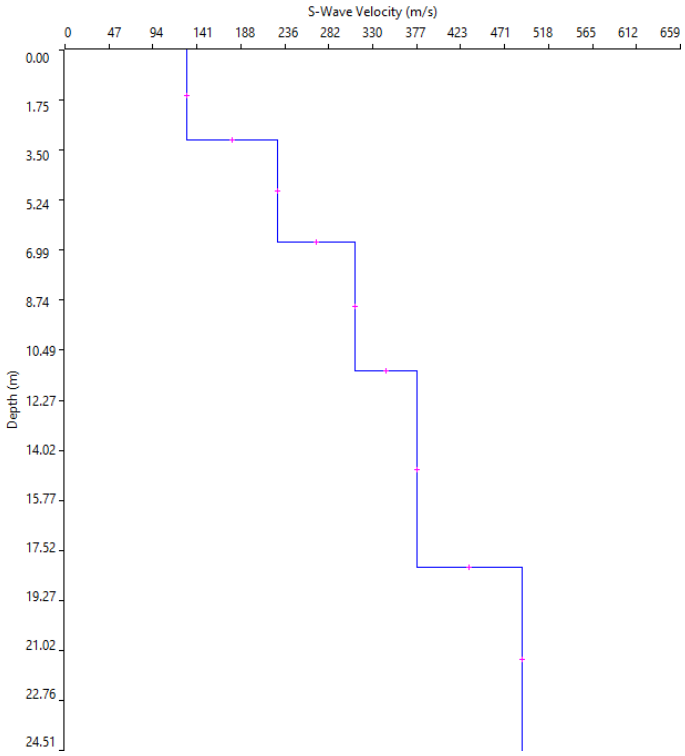


Fig. 28: Distribuzione Vs

SITO 5 (energizzazione 10m)

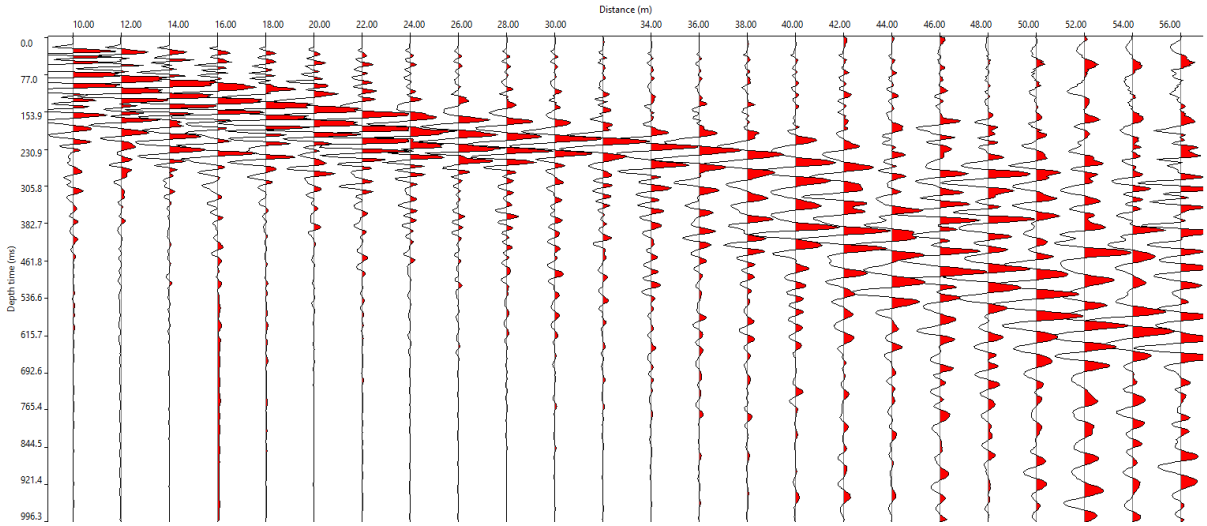


Fig. 29: Sismogramma medio

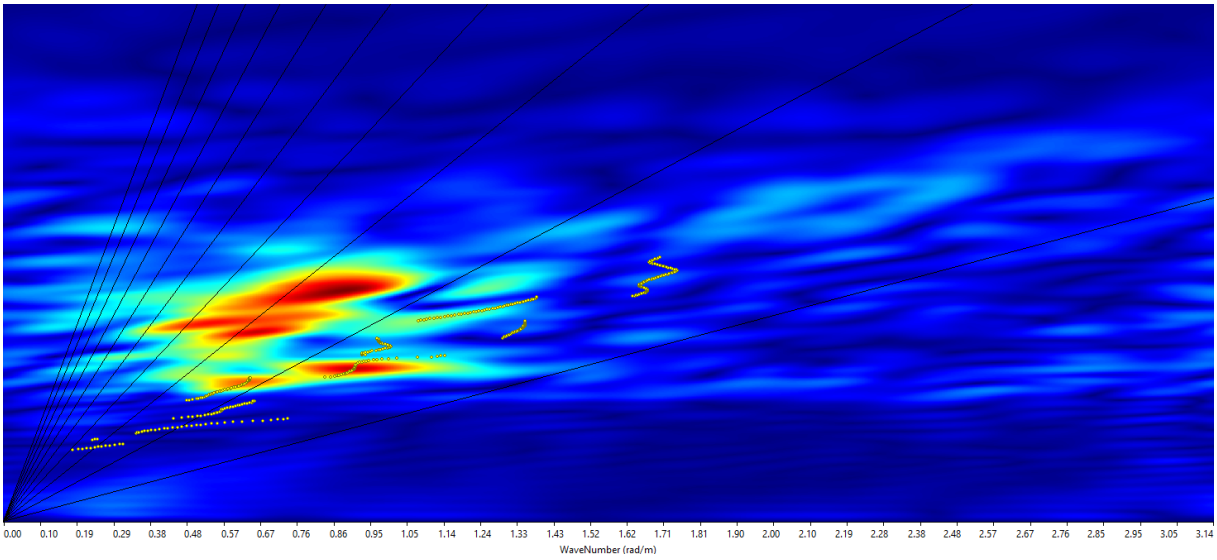


Fig. 30: Spettro Frequenza-velocità

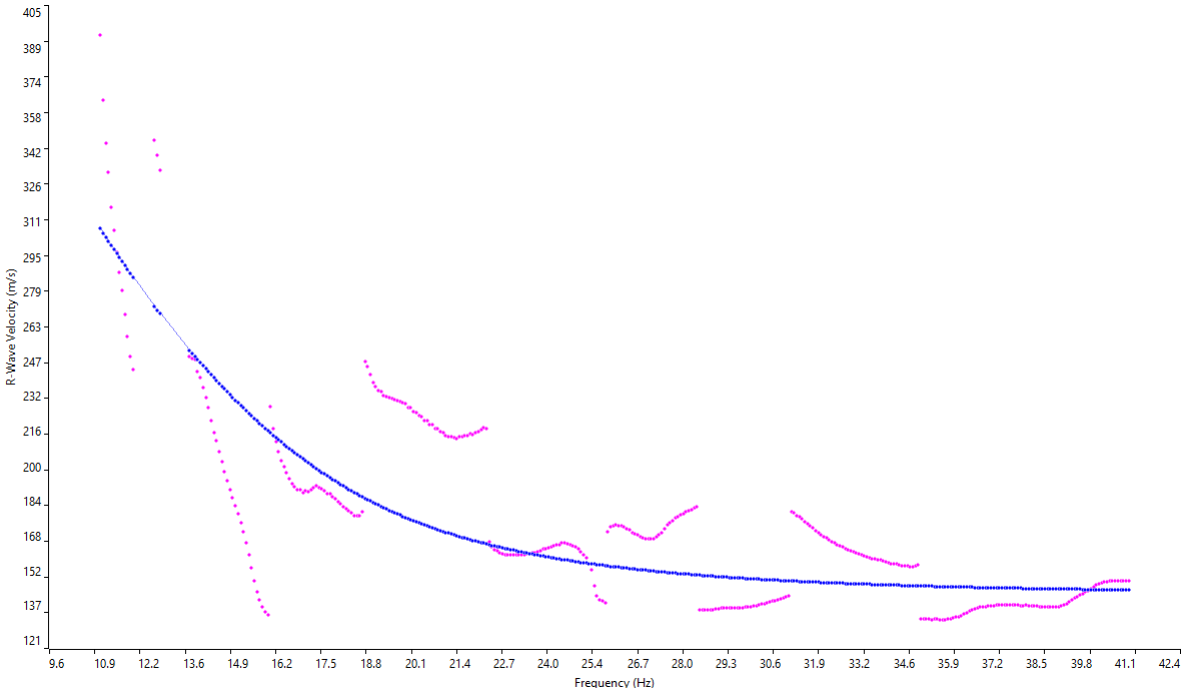


Fig. 31: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

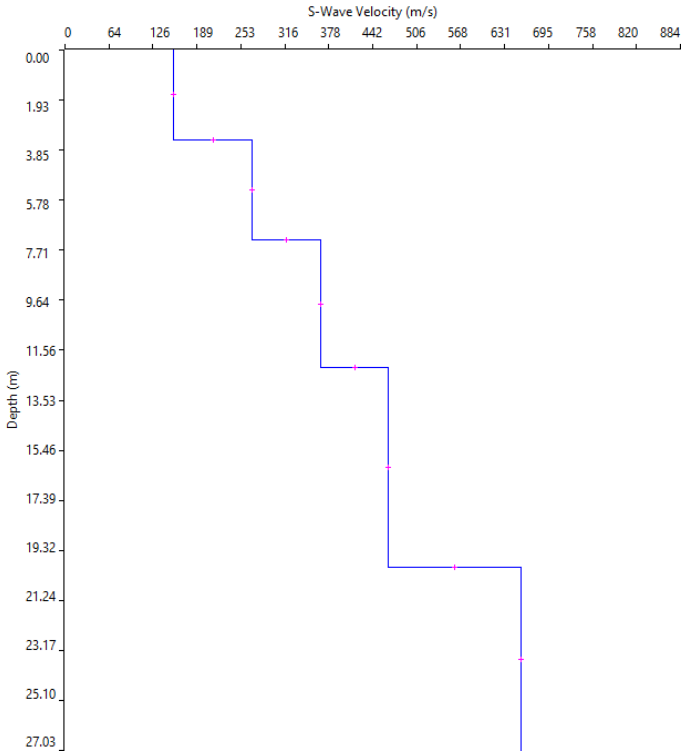


Fig. 32: Distribuzione Vs

SITO A (energizzazione 5m)

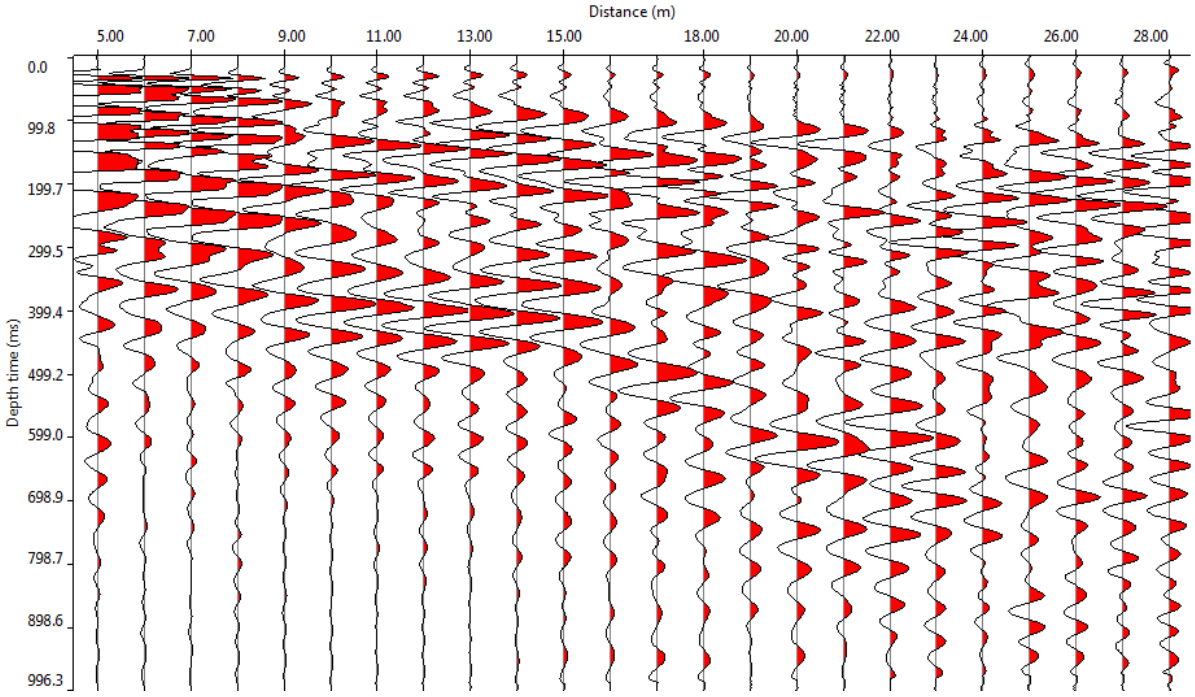


Fig. 1: Sismogramma medio

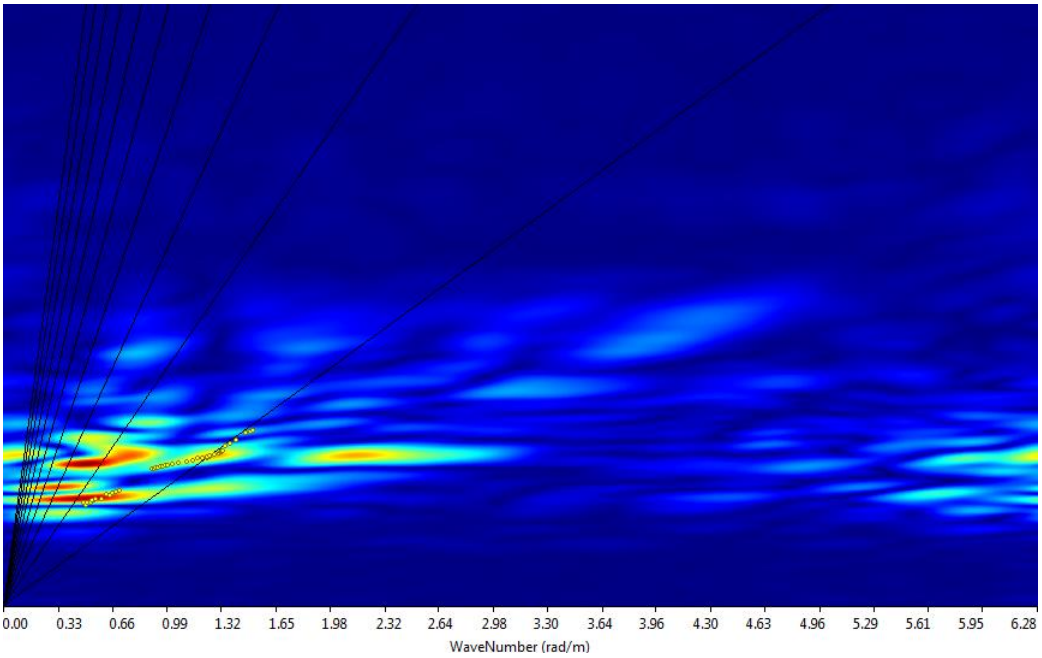


Fig. 2: Spettro Frequenza-velocità

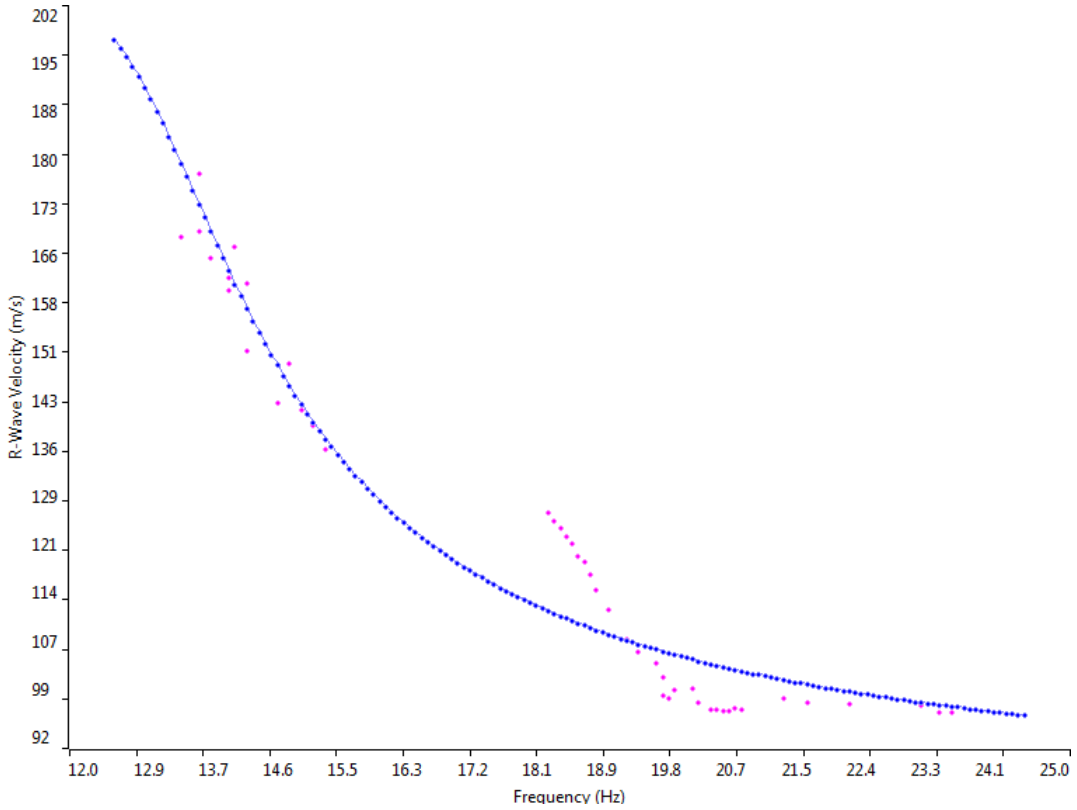


Fig. 3: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

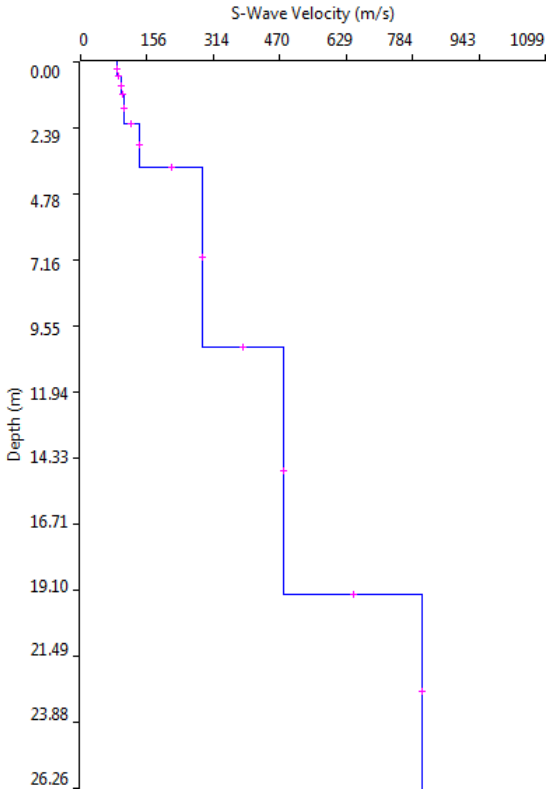


Fig. 4: Distribuzione Vs

SITO A (energizzazione 10m)

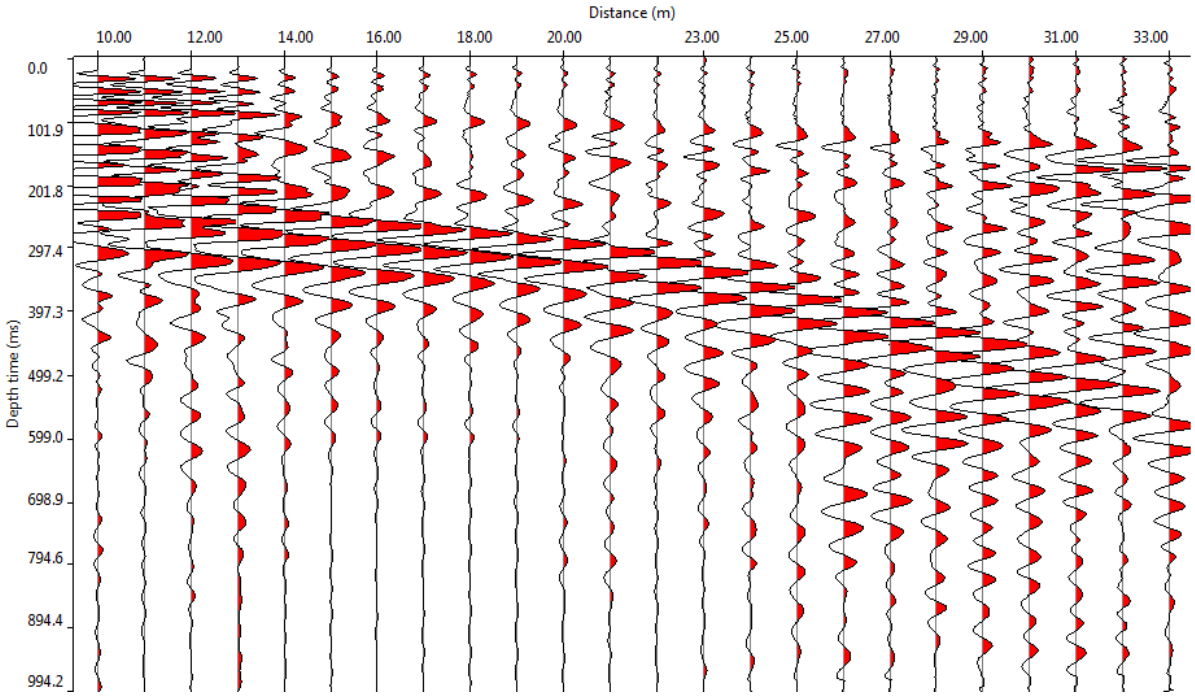


Fig. 5: Sismogramma medio

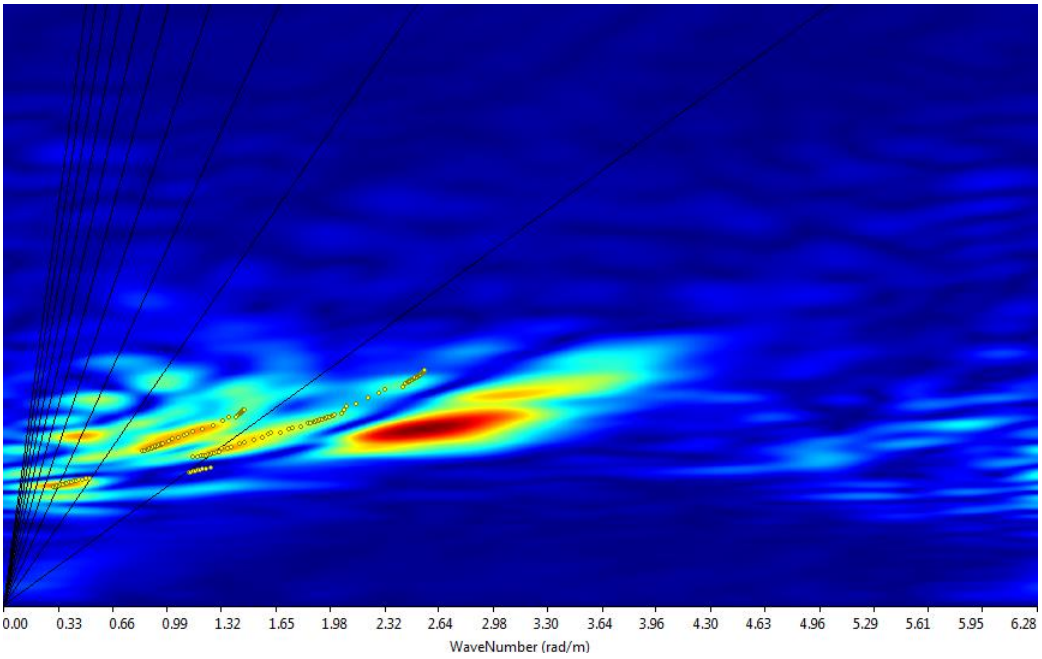


Fig. 6: Spettro Frequenza-velocità

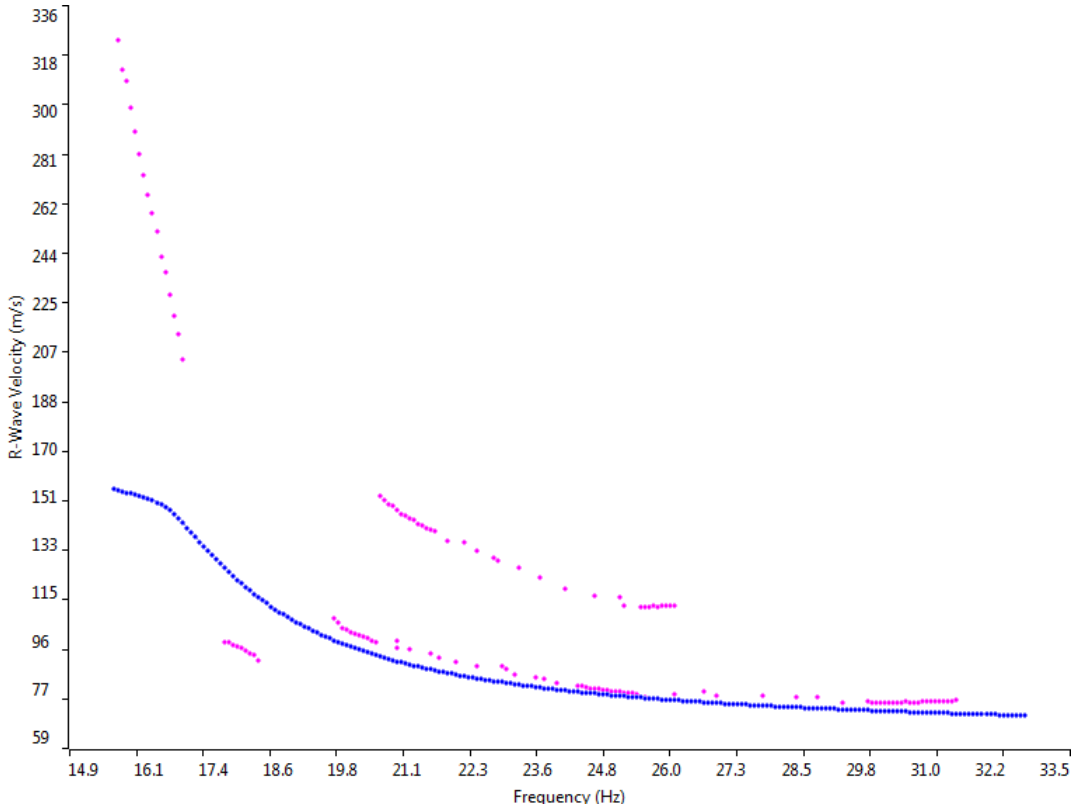


Fig. 7: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

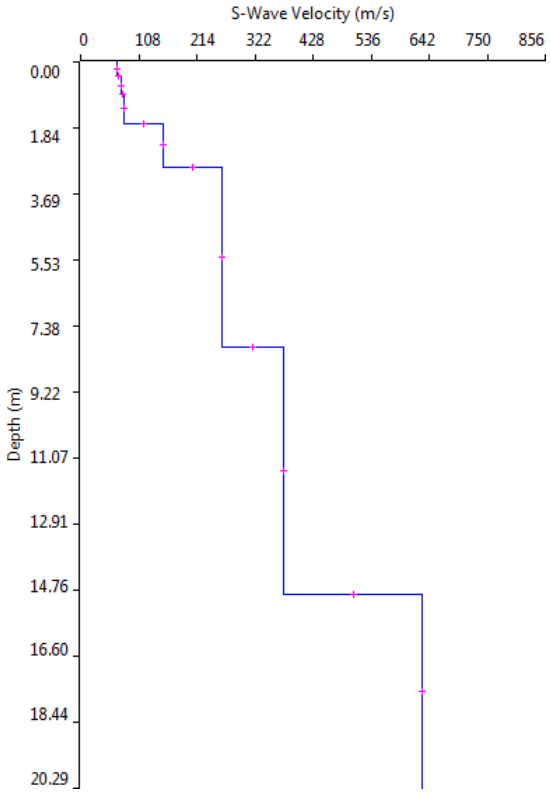


Fig. 8: Distribuzione Vs

SITO B (energizzazione 6m)

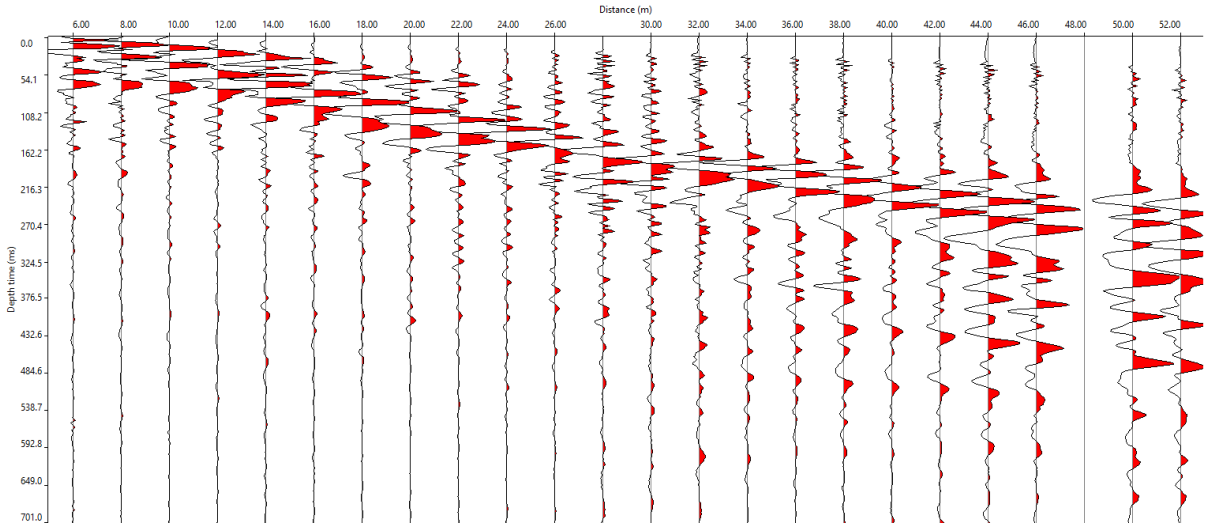


Fig. 1: Sismogramma medio

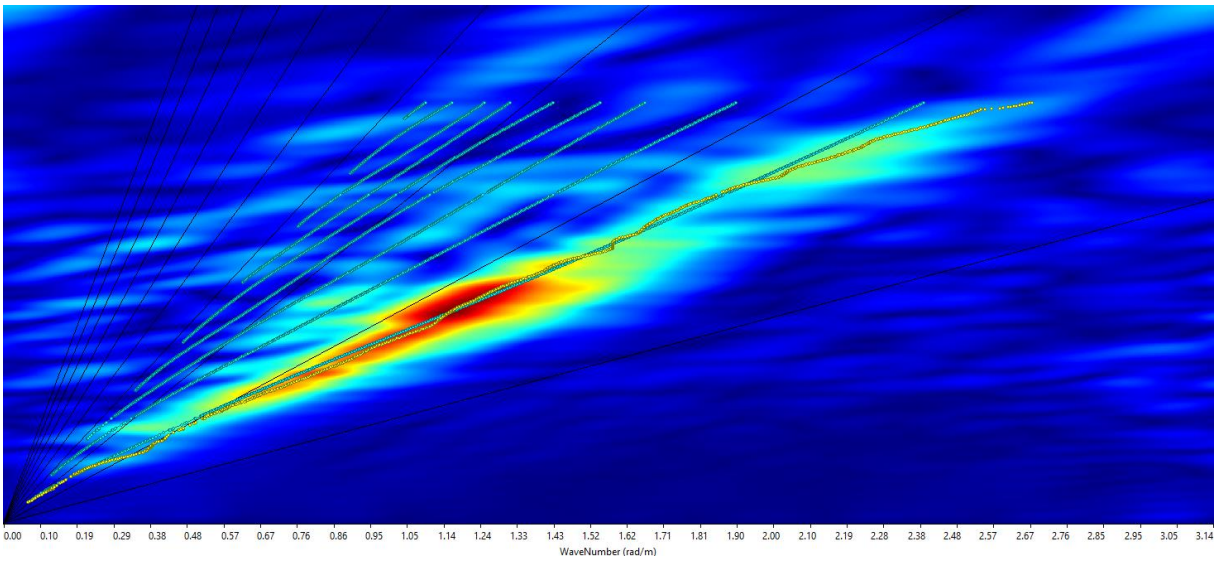


Fig. 2: Spettro Frequenza-velocità

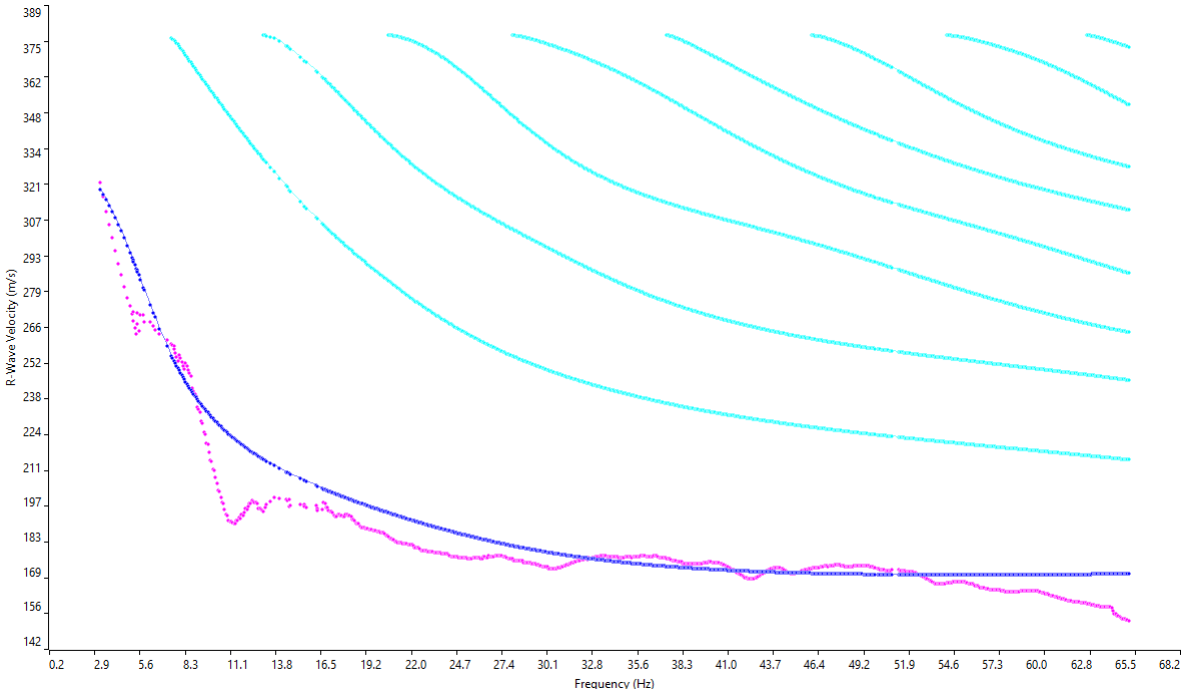


Fig. 3: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

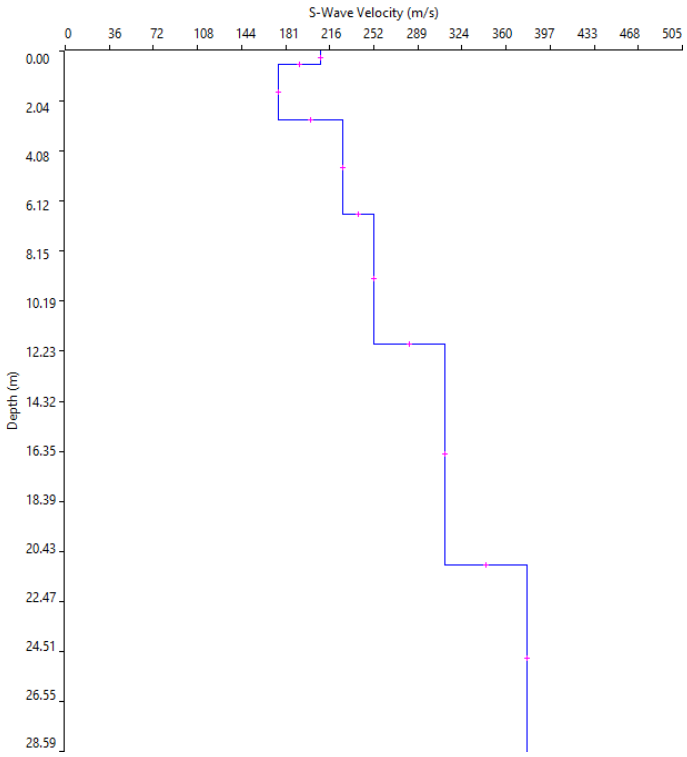


Fig. 4: Distribuzione Vs

SITO B (energizzazione 12m)

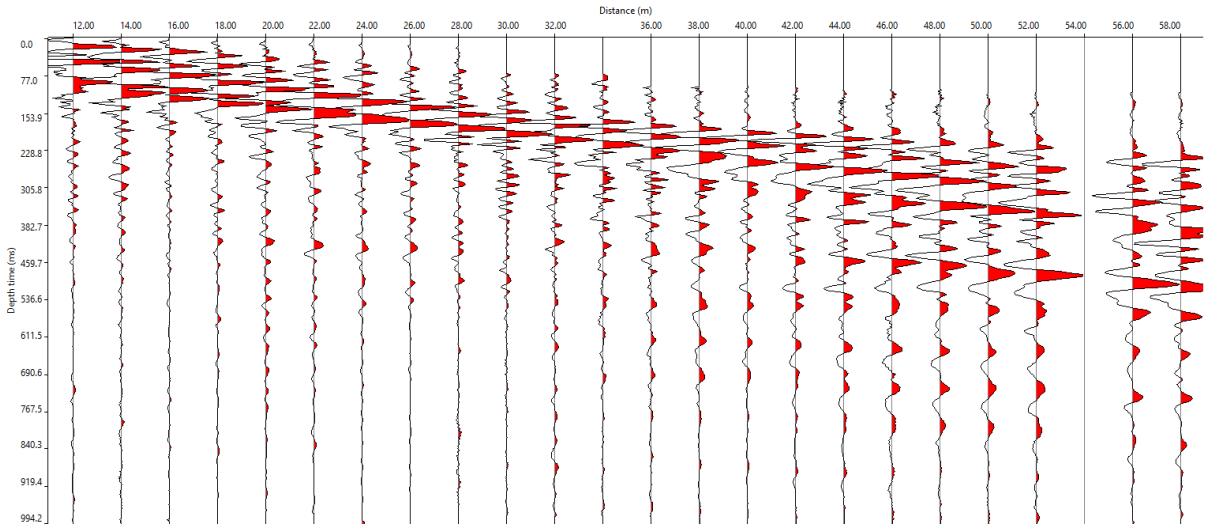


Fig. 5: Sismogramma medio

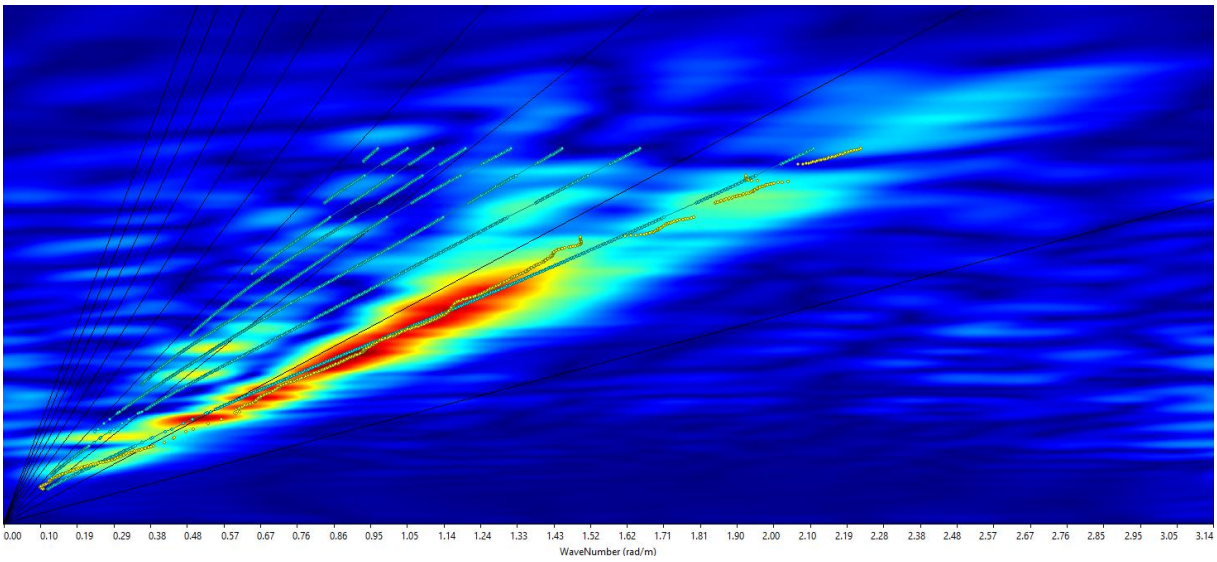


Fig. 6: Spettro Frequenza-velocità

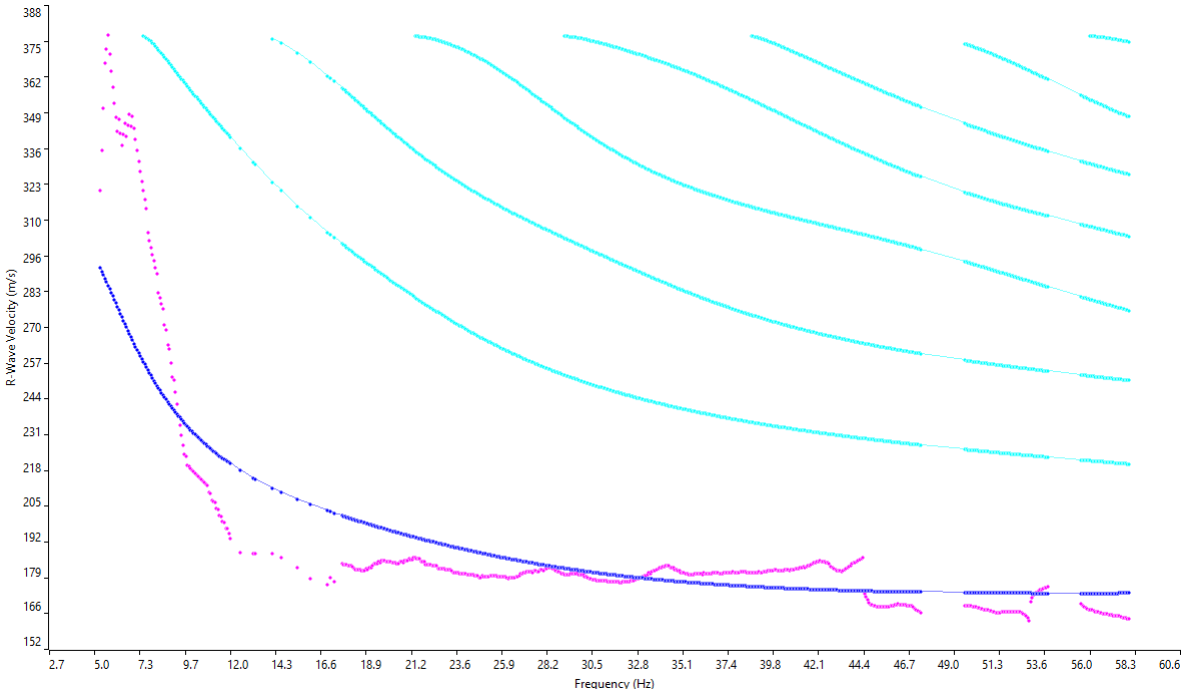


Fig. 7: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

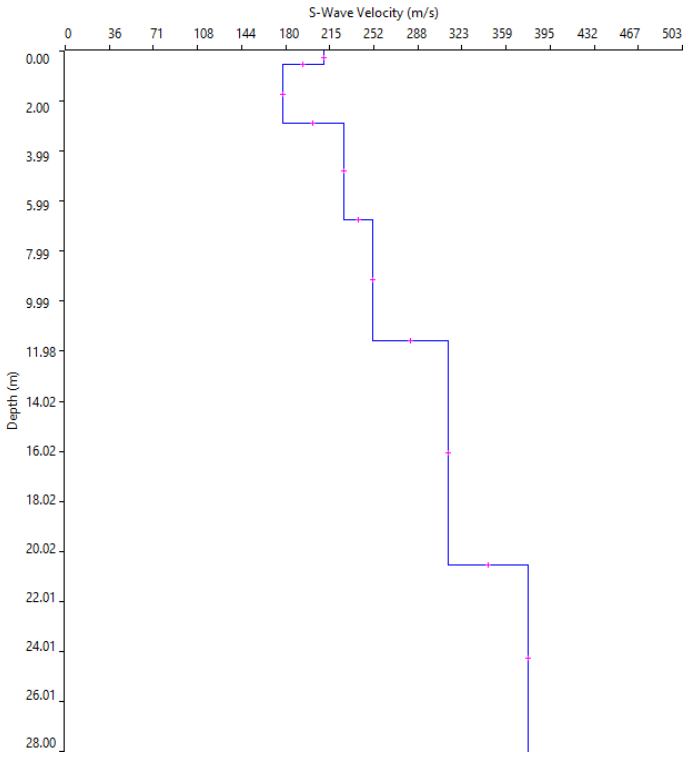


Fig. 8: Distribuzione Vs

SITO C (energizzazione5m)

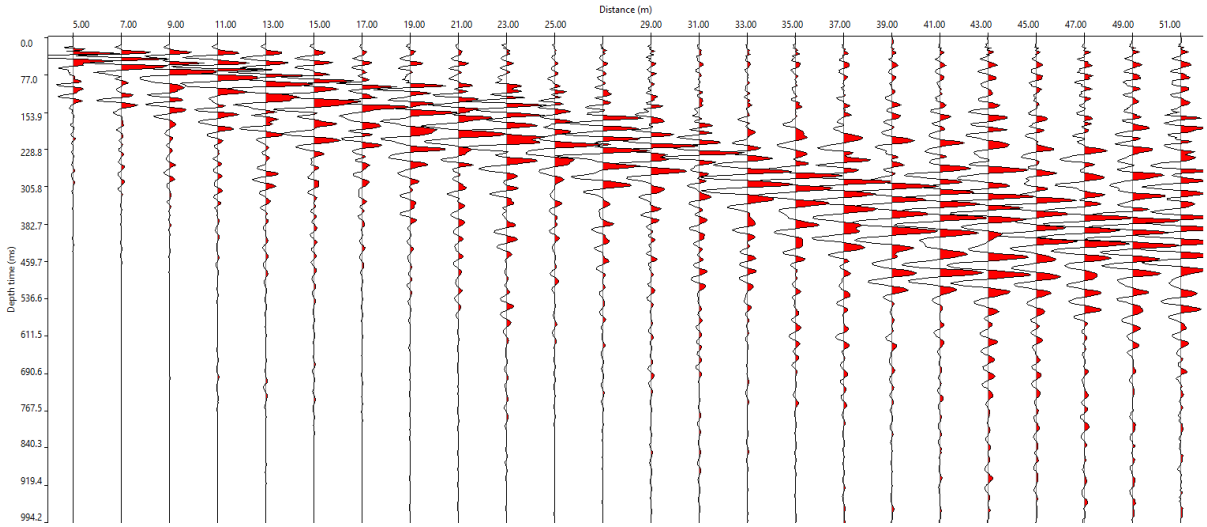


Fig. 1: Sismogramma medio

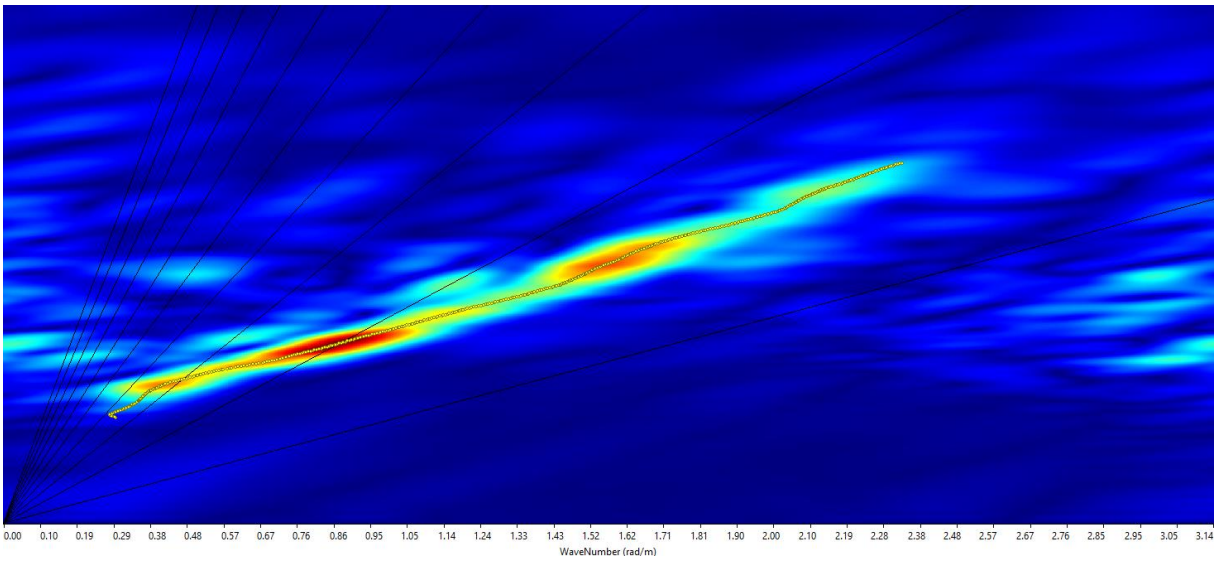


Fig. 2: Spettro Frequenza-velocità

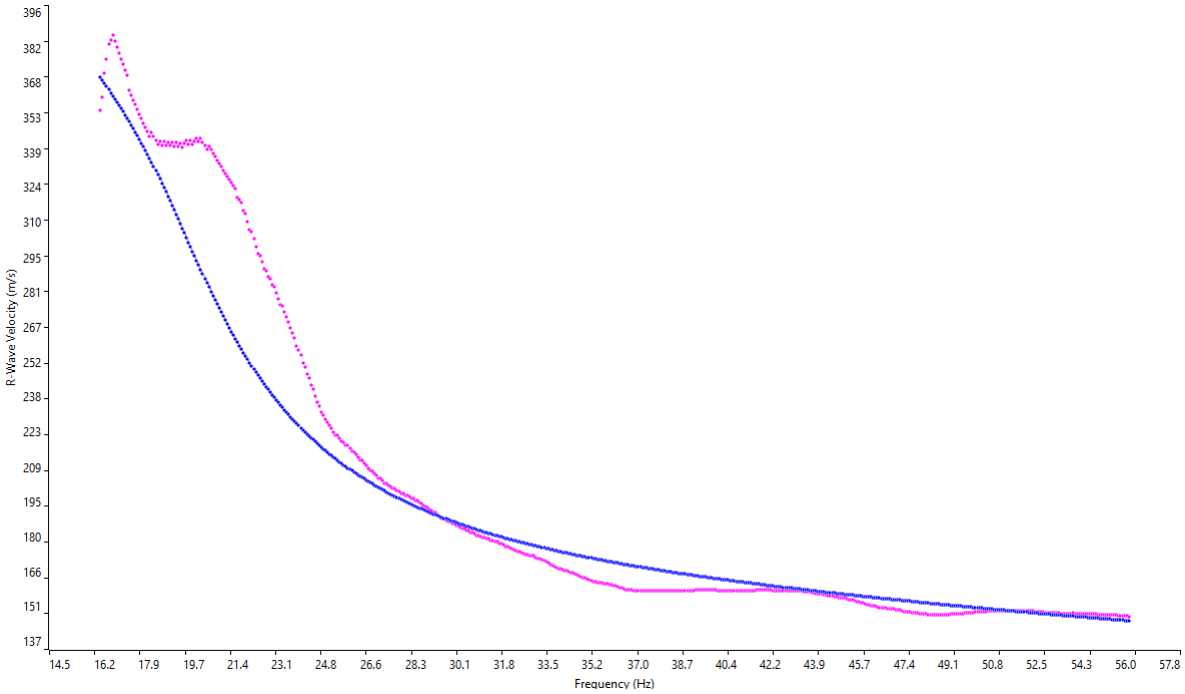


Fig. 3: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

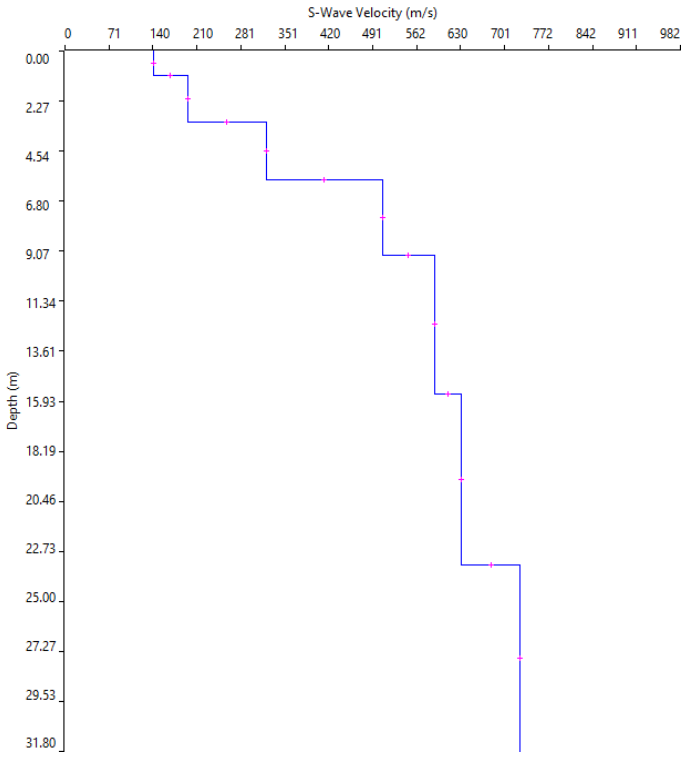


Fig. 4: Distribuzione Vs

SITO C (energizzazione 9m)

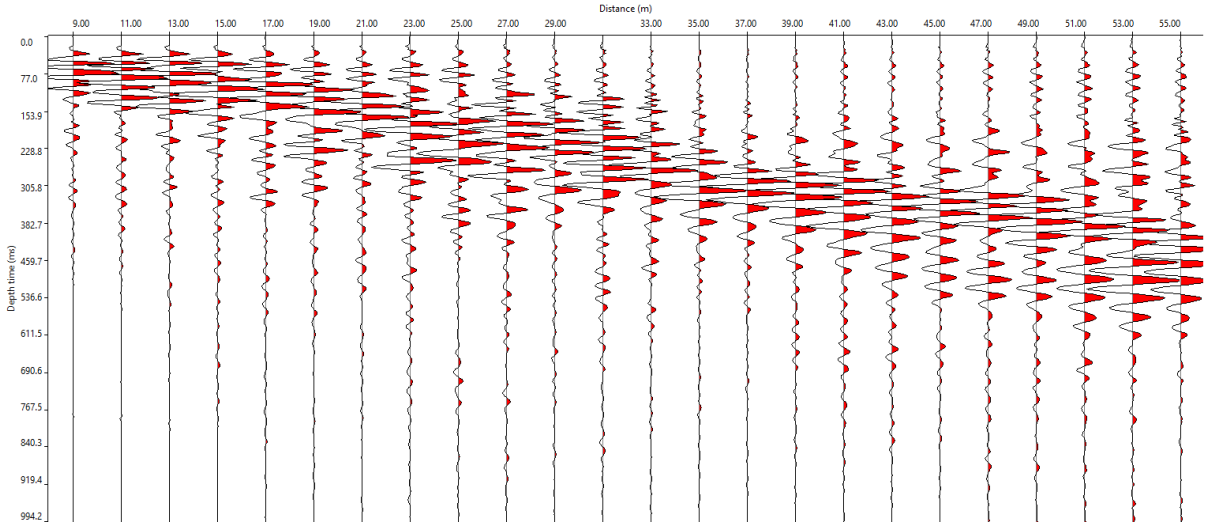


Fig. 5: Sismogramma medio

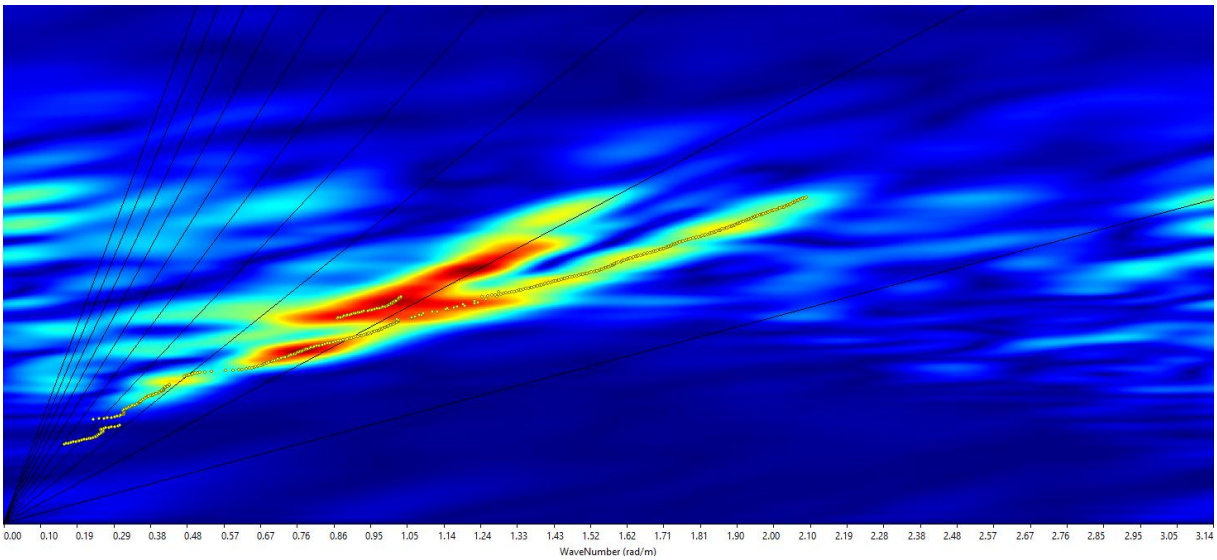


Fig. 6: Spettro Frequenza-velocità

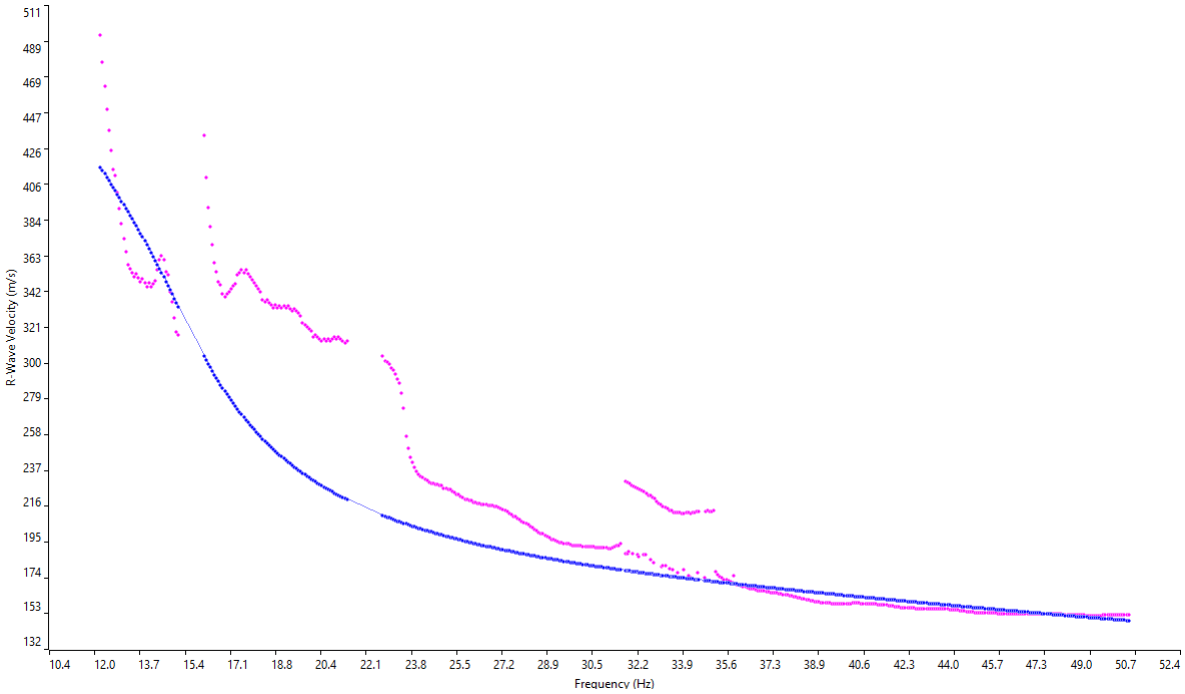


Fig. 7: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

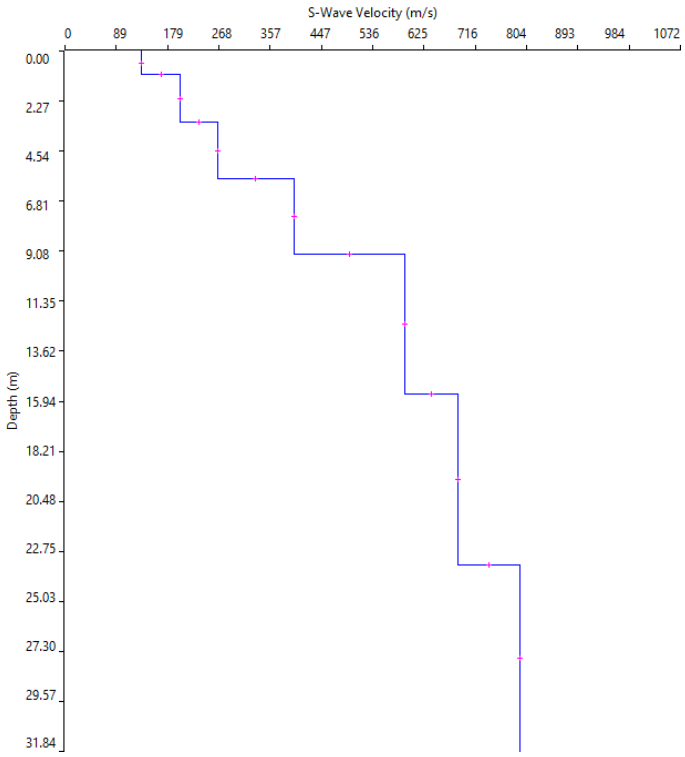


Fig. 8: Distribuzione Vs

SITO D (energizzazione 6m)

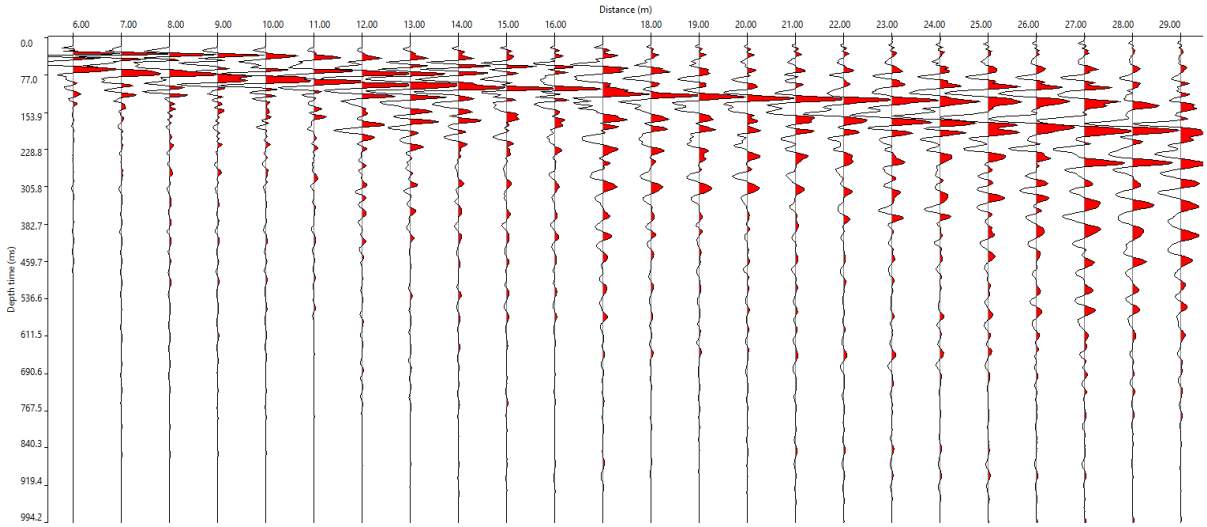


Fig. 1: Sismogramma medio

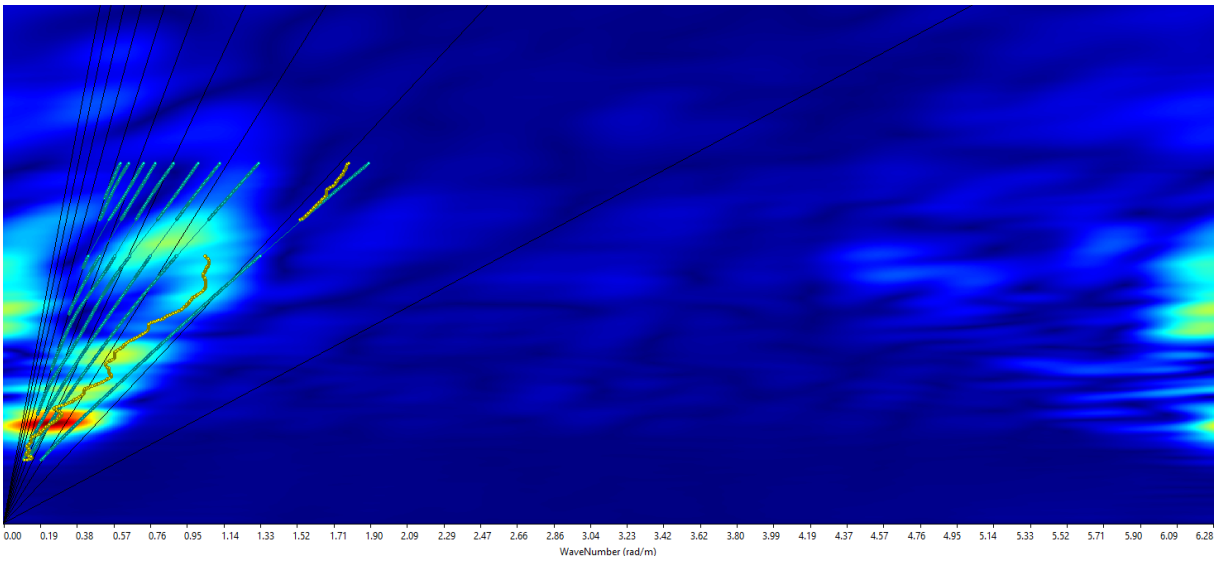


Fig. 2: Spettro Frequenza-velocità

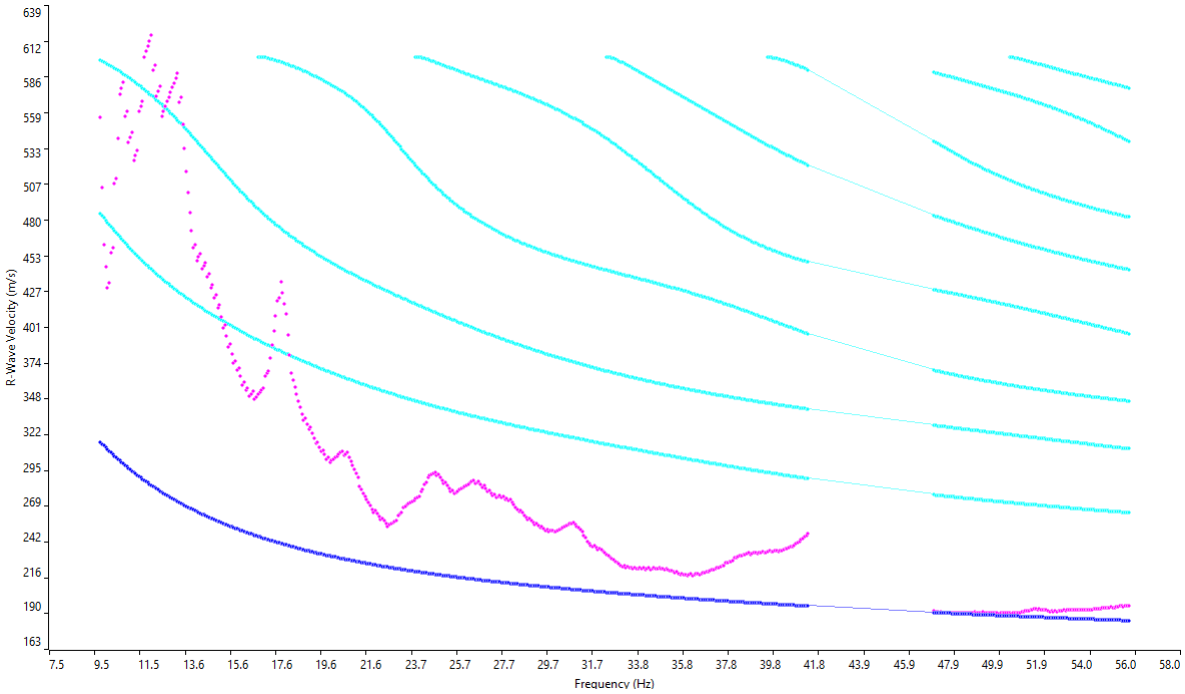


Fig. 3: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

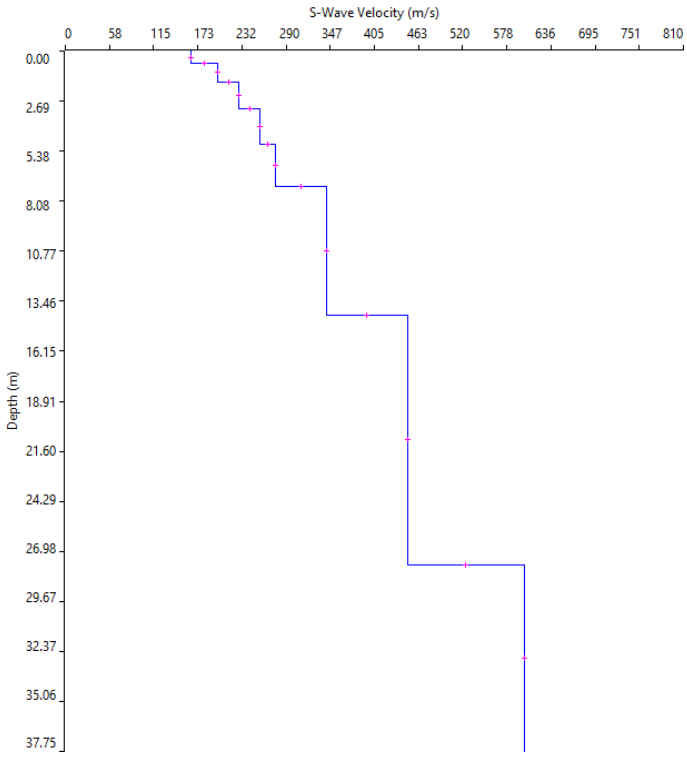


Fig. 4: Distribuzione Vs

SITO D (energizzazione 12m)

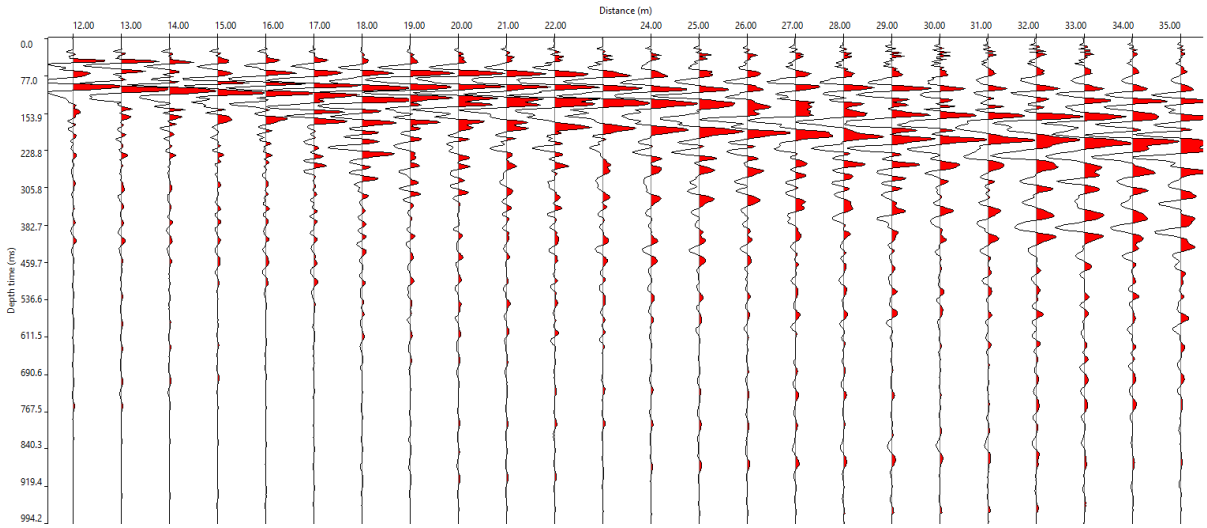


Fig. 5: Sismogramma medio

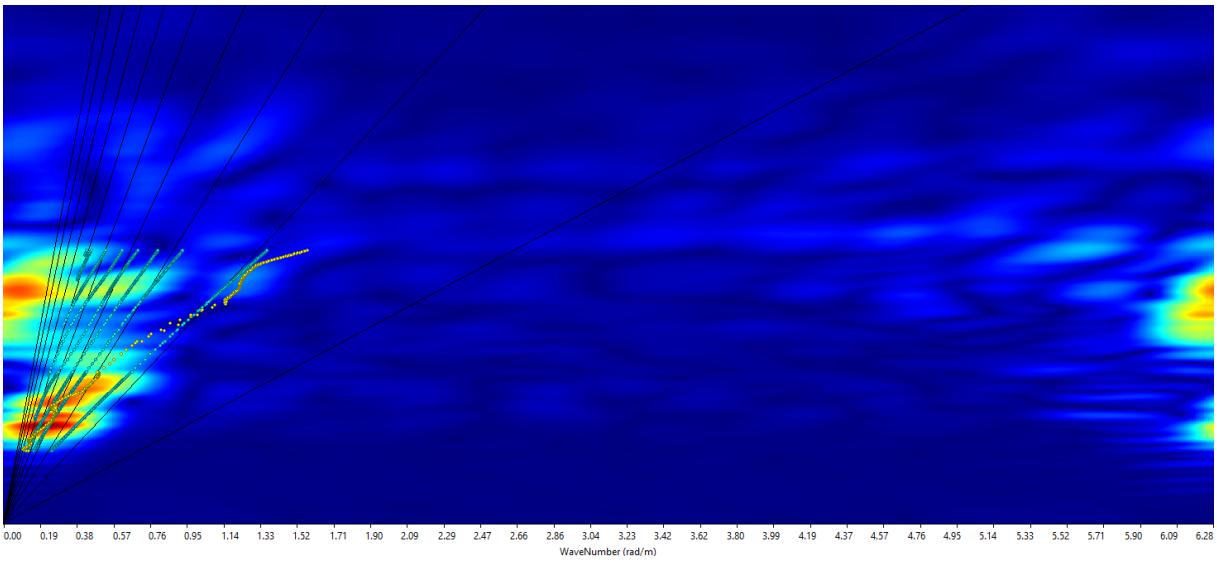


Fig. 6: Spettro Frequenza-velocità

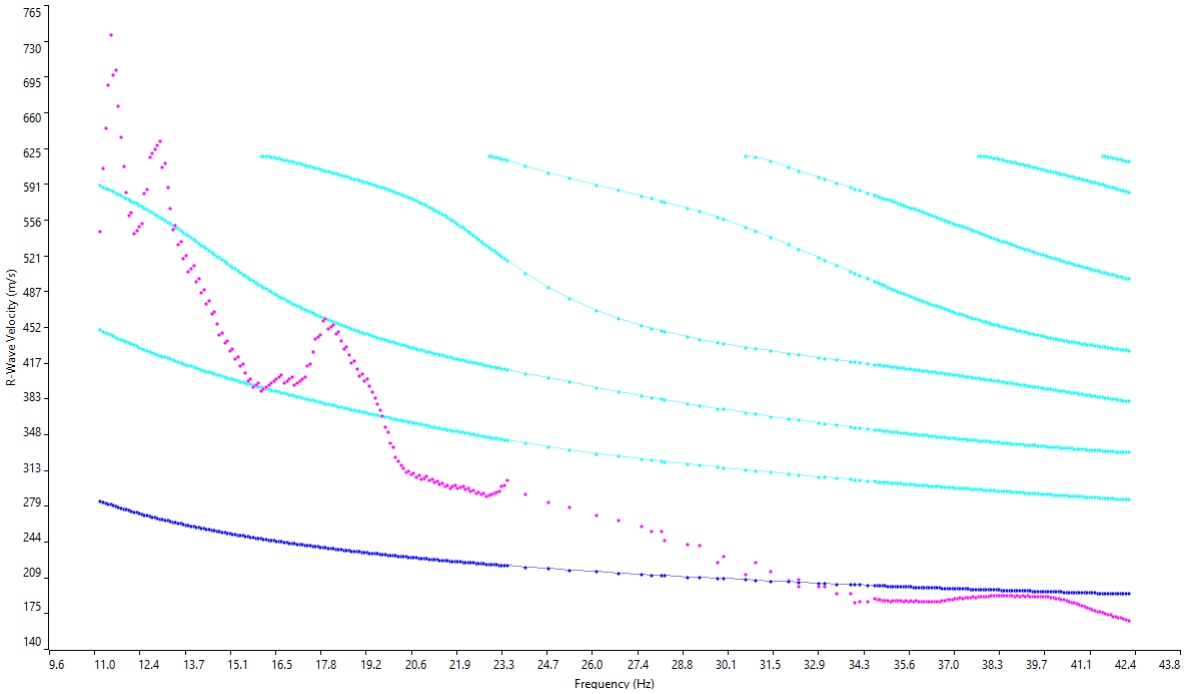


Fig. 7: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

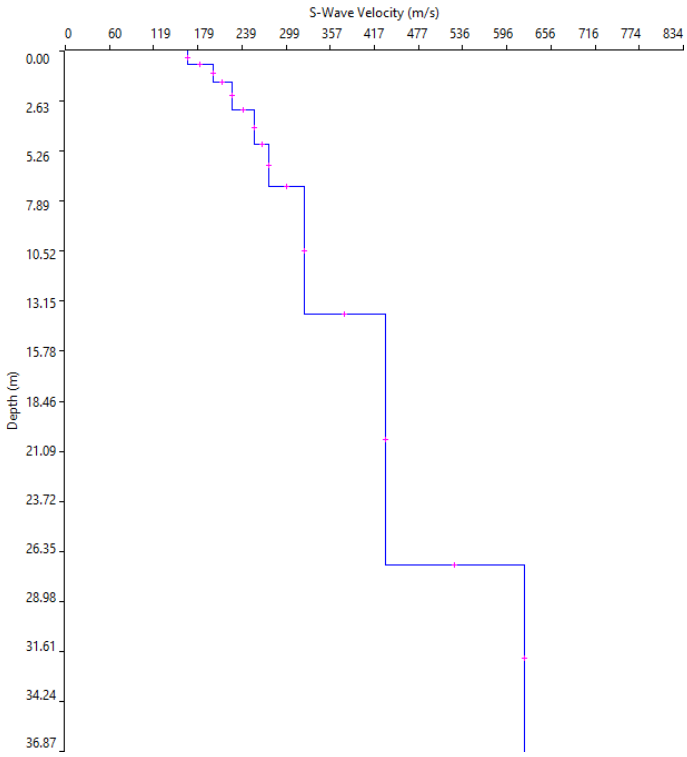


Fig. 8: Distribuzione Vs

SITO E (energizzazione 2,5m)

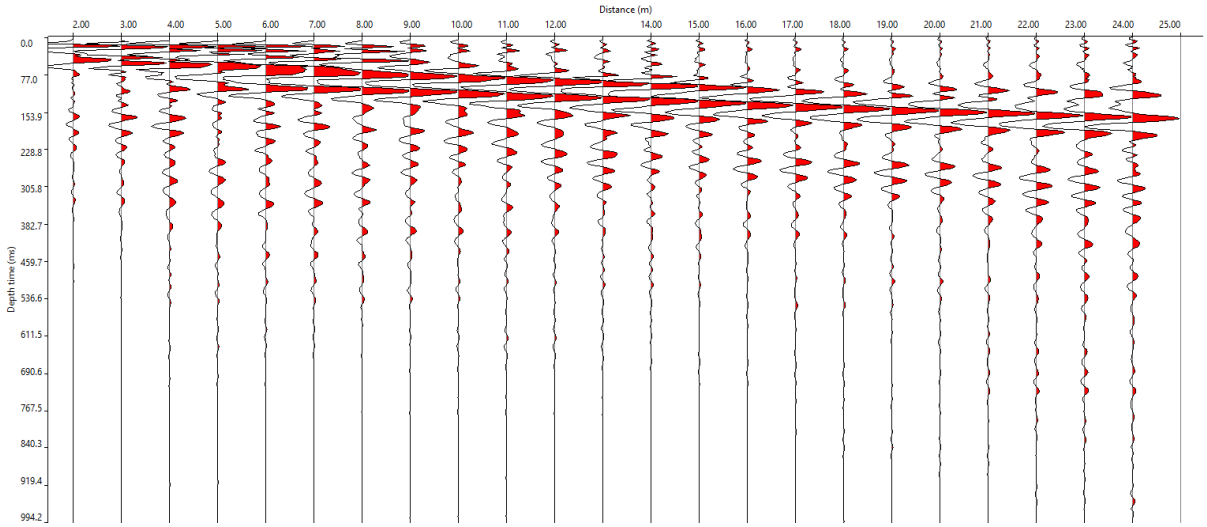


Fig. 1: Sismogramma medio

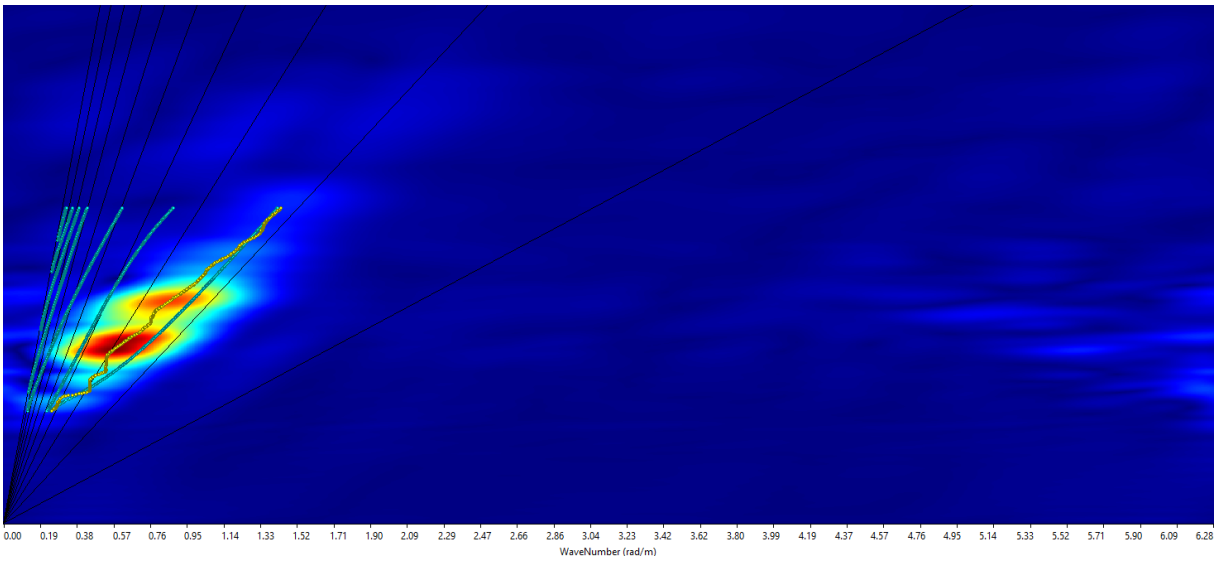


Fig. 2: Spettro Frequenza-velocità

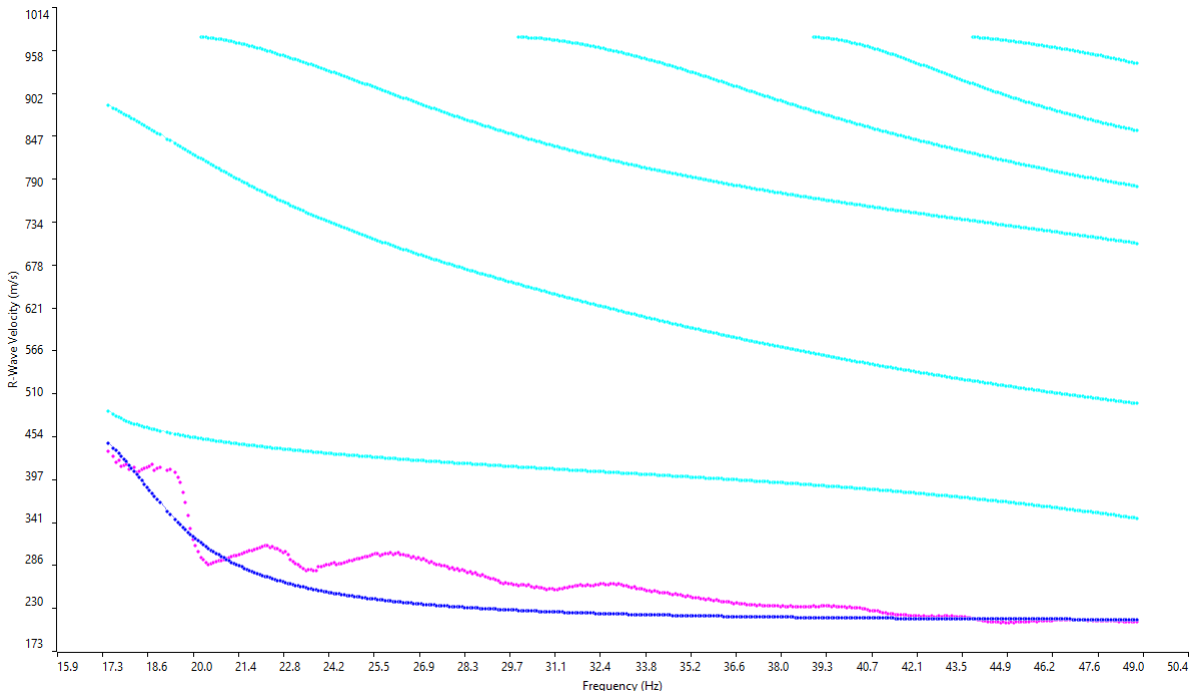


Fig. 3: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

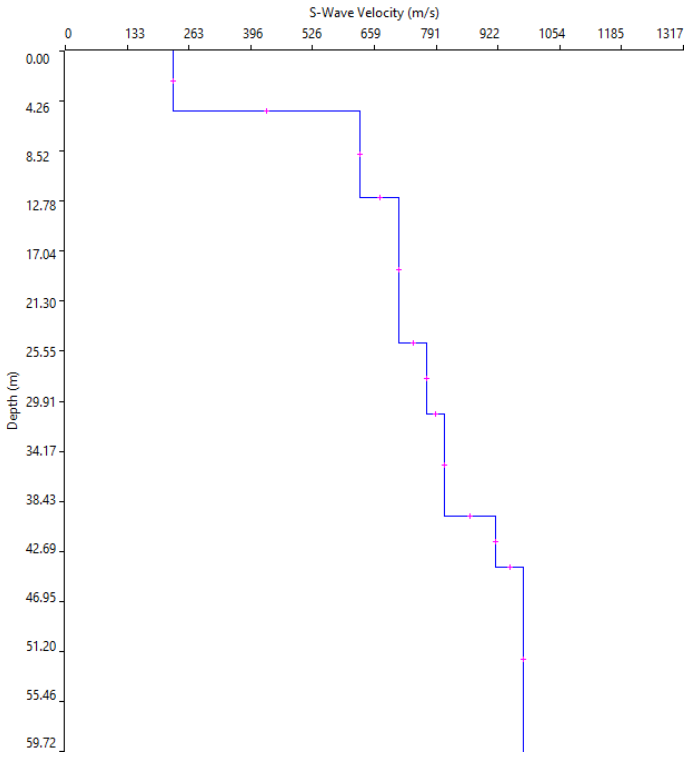


Fig. 4: Distribuzione Vs

SITO E (energizzazione 6m)

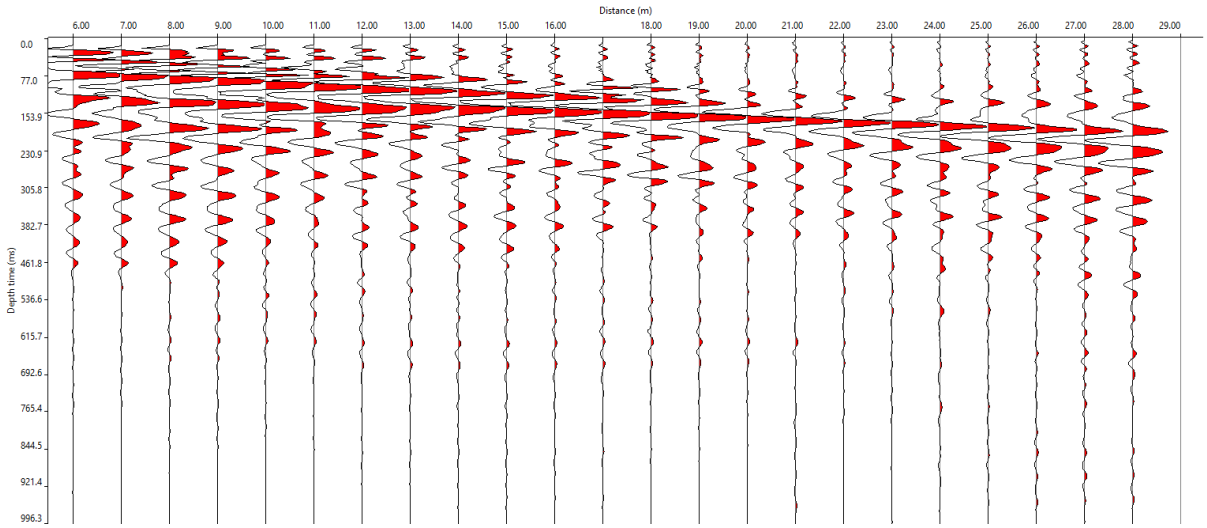


Fig. 5: Sismogramma medio

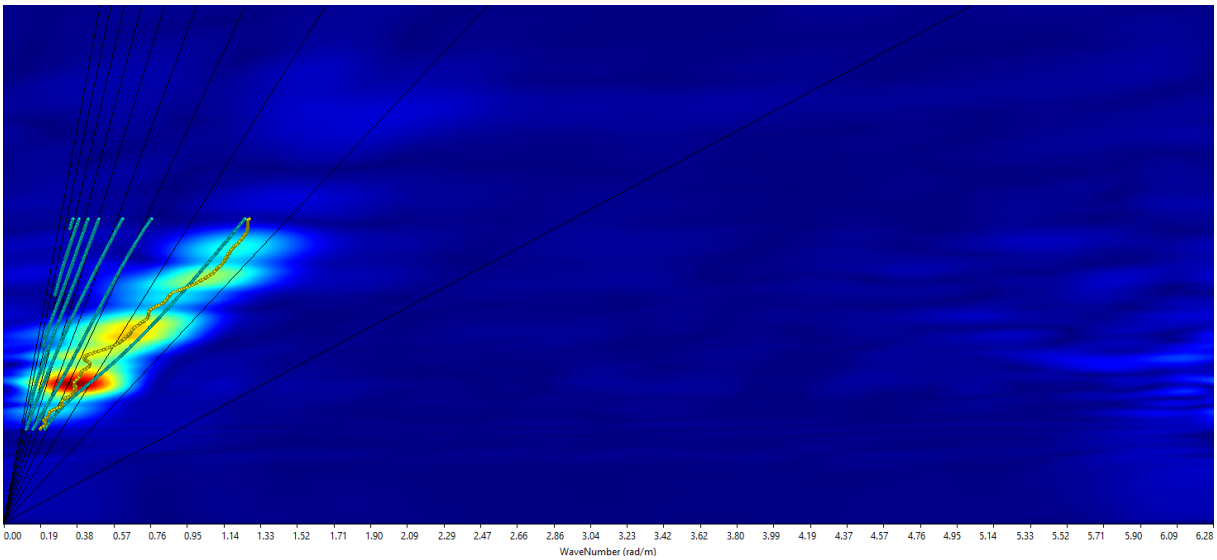


Fig. 6: Spettro Frequenza-velocità

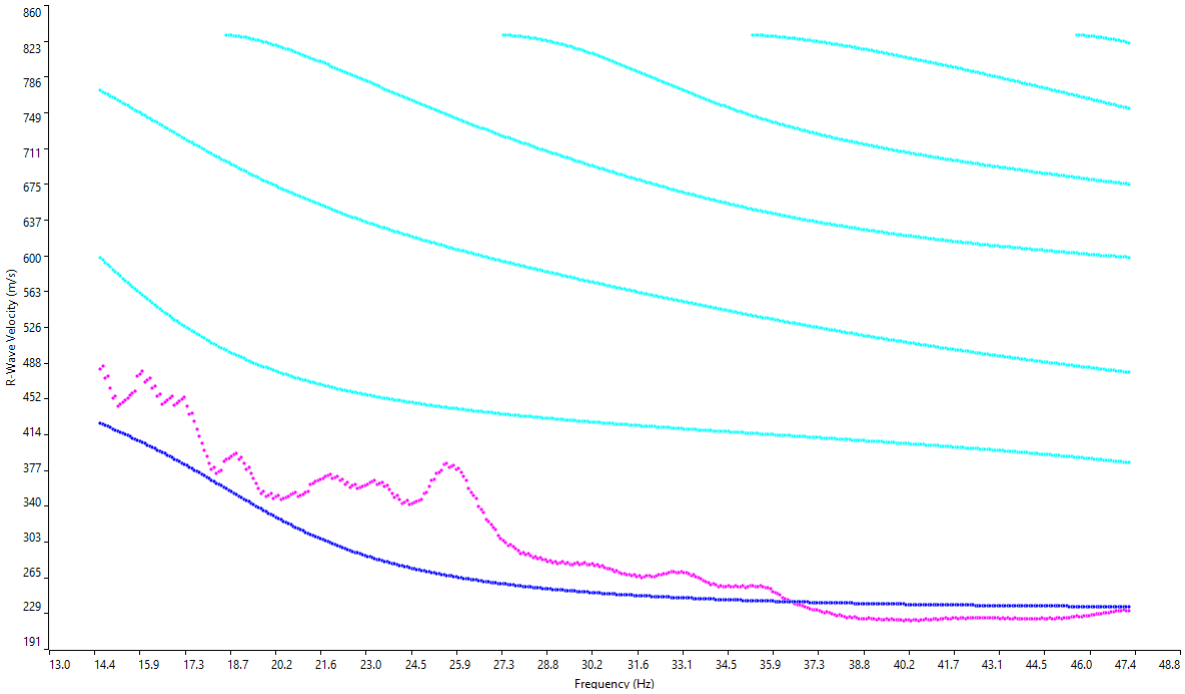


Fig. 7: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

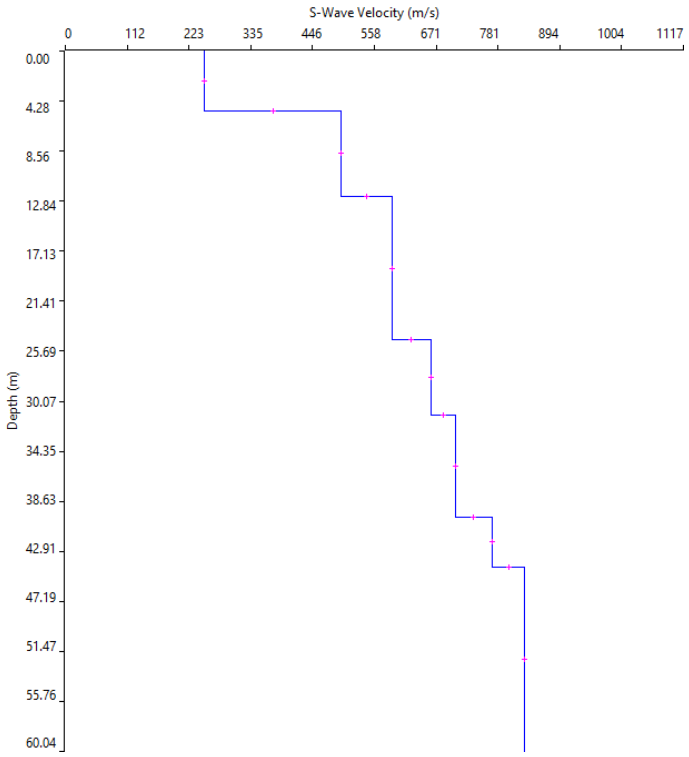


Fig. 8: Distribuzione Vs

SITO F (energizzazione 4m)

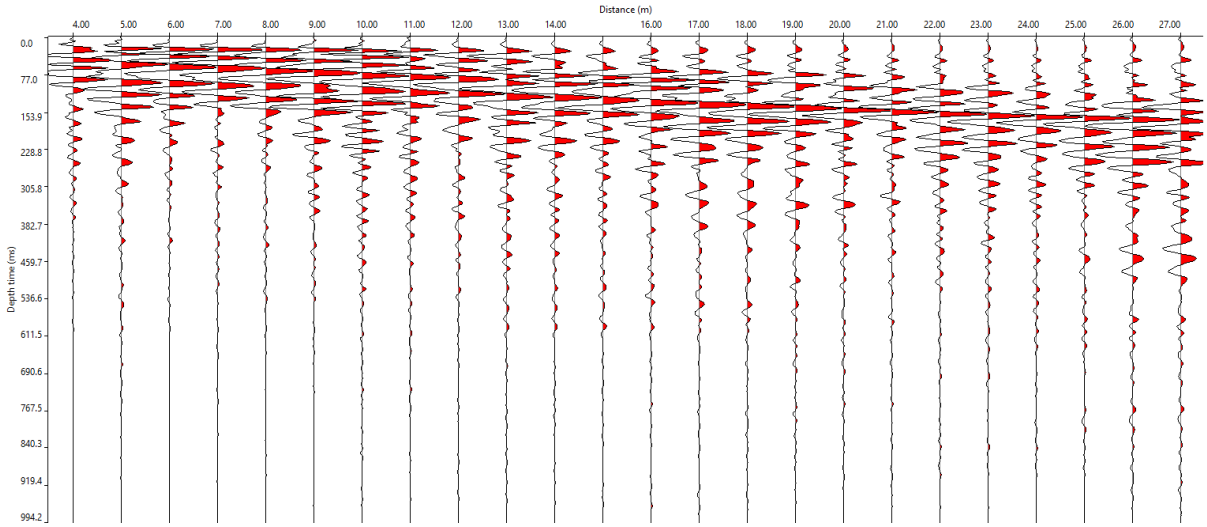


Fig. 1: Sismogramma medio

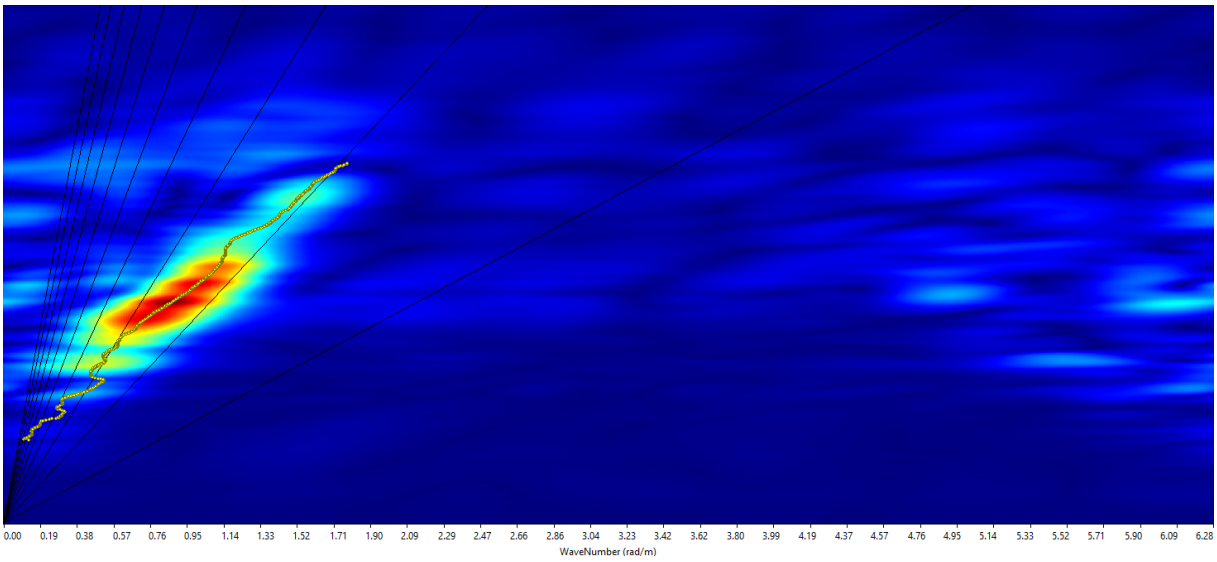


Fig. 2: Spettro Frequenza-velocità

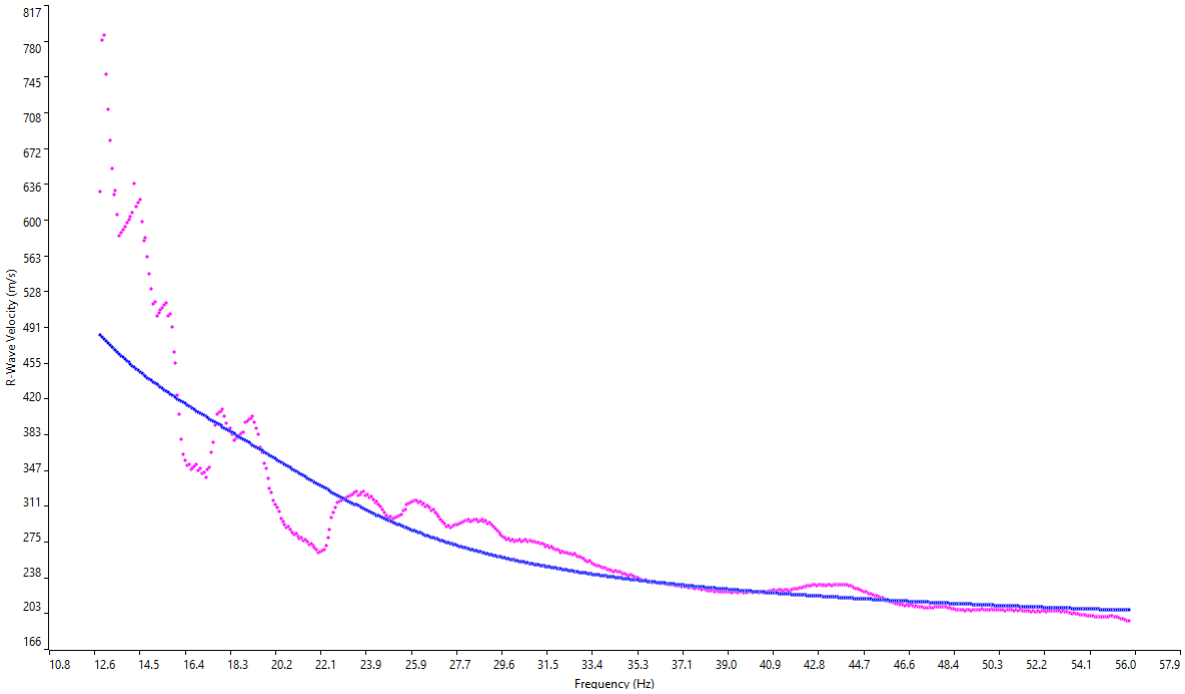


Fig. 3: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

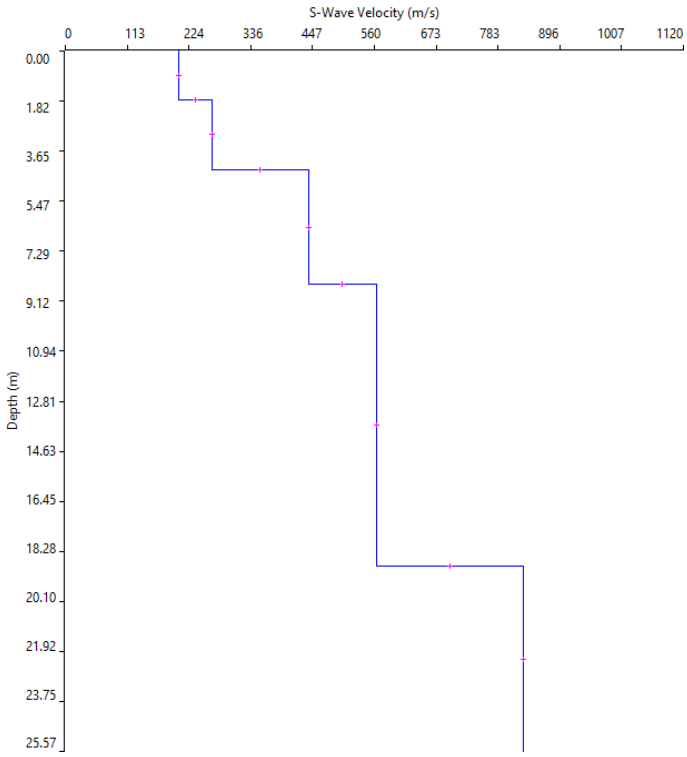


Fig. 4: Distribuzione Vs

SITO F (energizzazione 6m)

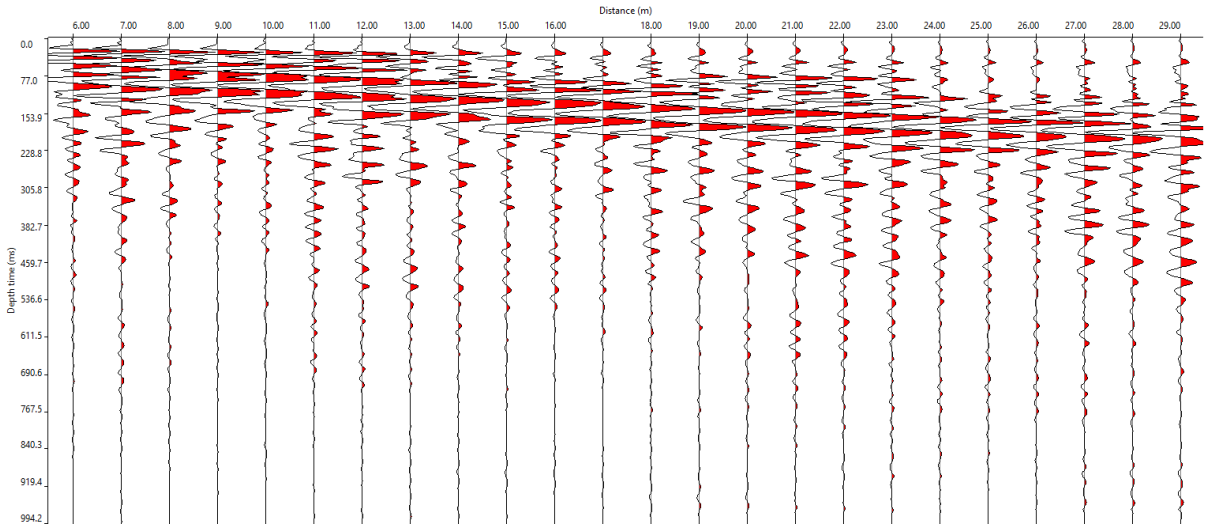


Fig. 5: Sismogramma medio

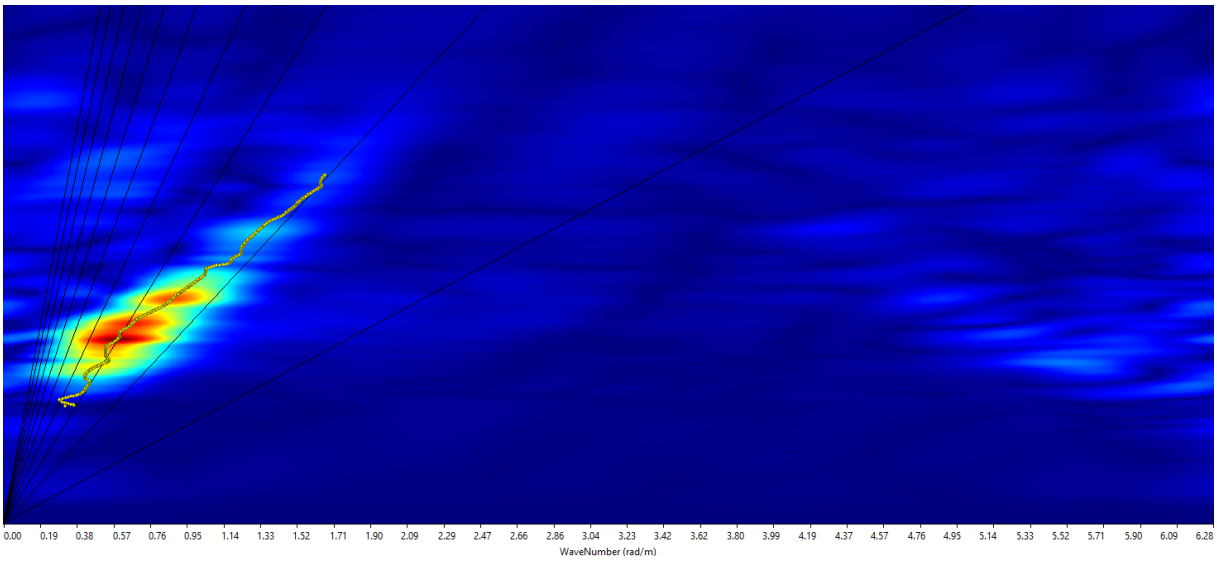


Fig. 6: Spettro Frequenza-velocità

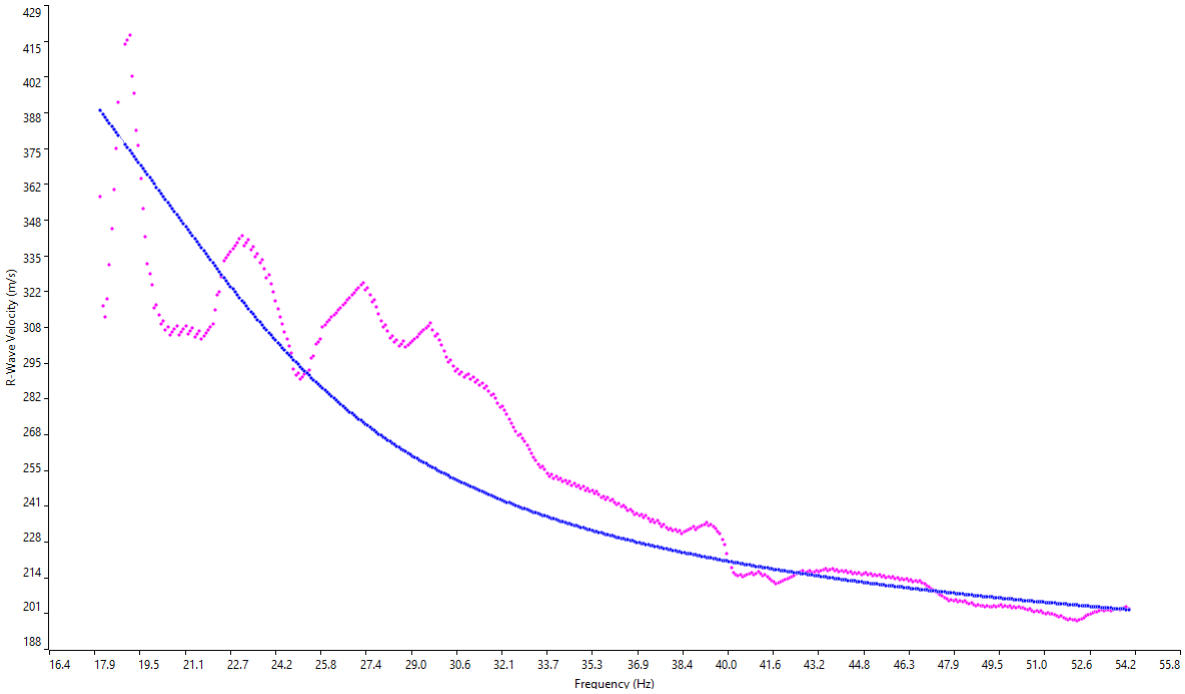


Fig. 7: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

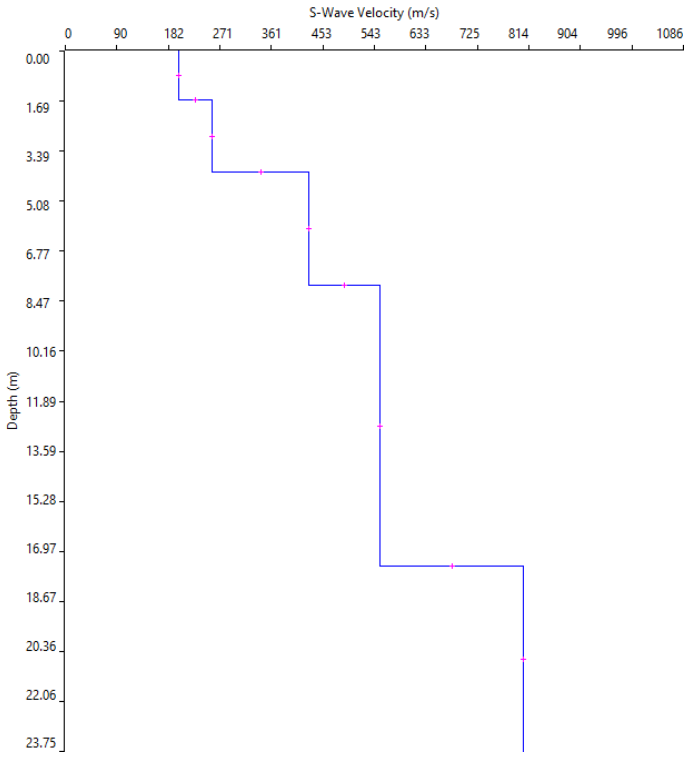


Fig. 8: Distribuzione Vs