



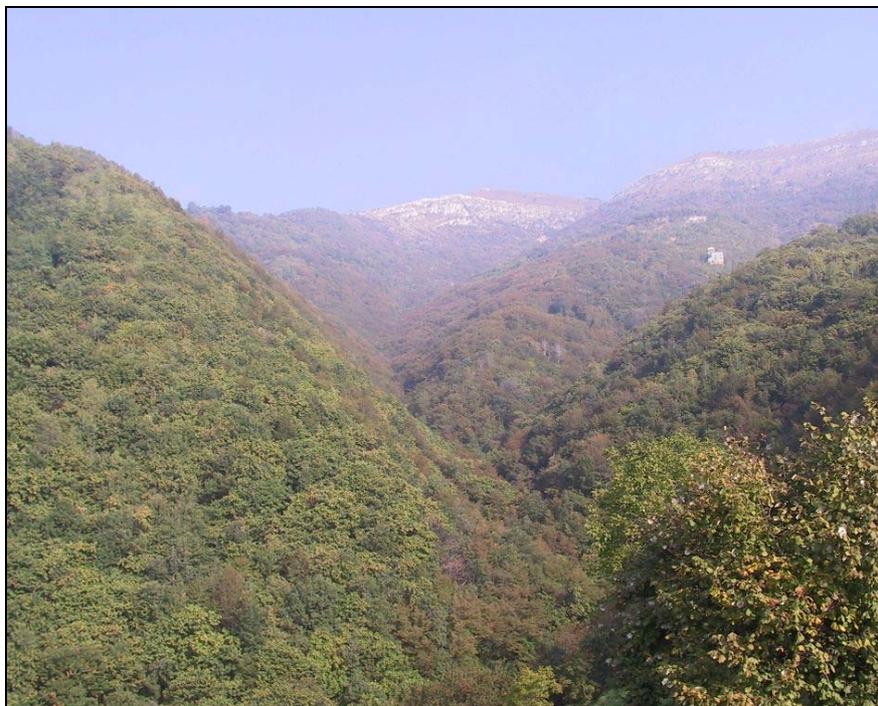
**studio associato**

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

REL. 2-16/03/2010

## Comune di Palazzago

Via Maggiore, 17 – Palazzago (Bg)



**AGGIORNAMENTO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL P.G.T.  
ai sensi della D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005  
e della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008**

*Relazione Geologica*

marzo 2010



*Massimo Elitropi* *Renato Caldarelli*



## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ANALISI DELLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CARTA DELLA PERICOLOSITÀ</b>	
	<b>SISMICA LOCALE (TAV. 1)</b>	<b>4</b>
2.1	Introduzione	4
2.2	Zonazione della pericolosità sismica locale	6
2.2.1	<b>PRIMO LIVELLO</b>	6
2.2.2	<b>SECONDO LIVELLO</b>	8
2.2.3	<b>TERZO LIVELLO</b>	20
<b>3</b>	<b>CARTA DEI VINCOLI (TAV. 2)</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA AL P.A.I. (TAV. 5)</b>	<b>25</b>
4.1	Aree di dissesto P.A.I.	25
<b>5</b>	<b>CARTA DI SINTESI (TAV. 3)</b>	<b>26</b>
5.1	Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti	26
5.2	Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico	26
5.3	Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche	27
<b>6</b>	<b>CARTA DI FATTIBILITÀ DELLE AZIONI DI PIANO (TAV. 4)</b>	<b>28</b>
6.1	Classi di fattibilità geologica	28
6.2	La fattibilità geologica nel comune di Palazzago	30
6.2.1	<b>CLASSE 2</b>	30
6.2.2	<b>CLASSE 3</b>	31
6.2.3	<b>CLASSE 4</b>	32
6.3	Normativa sismica	33
6.3.1	<b>EFFETTI DI INSTABILITÀ (PSL Z1)</b>	33
6.3.2	<b>EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE MORFOLOGICA (PSL Z3)</b>	33
6.3.3	<b>EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA (PSL Z4)</b>	34

## Allegati

- 1 Schede regionali per la valutazione del Fattore di Amplificazione;
- 2 Velocità delle onde S, prove MASW Vs30.

## Tavole

- 1 Carta della Pericolosità Sismica Locale (scala 1:10.000);
- 2 Carta dei Vincoli (scala 1:10.000);
- 3N-S Carta di Sintesi (scala 1:5.000);
- 4A Carta della Fattibilità Geologica delle azioni di piano (scala 1:10.000);
- 4N-S Carta della Fattibilità Geologica delle azioni di piano (scala 1:5.000);
- 5 Carta del dissesto con legenda uniformata P.A.I. (scala 1:5.000).





## 1 PREMESSA

Con l'entrata in vigore della "Legge per il governo del territorio" (L.R. 12/05 dell'11 marzo 2005) la Regione Lombardia ha modificato l'approccio culturale alla materia urbanistica, sostituendo il principio della pianificazione con quello del governo del territorio. La successiva D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005, aggiornata con la D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008, ha definito i criteri e gli indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della Legge Regionale.

L'elemento tecnico di maggiore novità introdotto è rappresentato dall'elaborato della carta della pericolosità sismica con la quale sono individuate quelle parti del territorio comunale che, per litologia e/o conformazione geomorfologica del paesaggio, presentano maggiore sensibilità ad un potenziale evento sismico.

La zonazione sismica è stata aggiunta alla carta della fattibilità geologica senza modifiche sostanziali alle perimetrazioni contenute nello "*Studio Geologico di Supporto del Piano Regolatore Generale*" del 1998 che ha distinto gli elementi di pericolosità naturale presenti sul territorio di Palazzago.

A tale studio si rimanda per la consultazione della documentazione di analisi propedeutica agli elaborati di seguito descritti.



## 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 (O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003), agli scenari di pericolosità sismica locale e alla tipologia delle costruzioni in progetto (allegato 5 alla D.G.R. 8/7374 e successive integrazioni).

Le zone sismiche sono quattro e sono così definite:

**TABELLA 1: ZONE SISMICHE**

Zona	Valori di $a_g$
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

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

Il territorio comunale di Palazzago ricade nella zona sismica 4 (bassa sismicità).

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
4	Obbligatorio	nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- nelle aree indagate con il 2° livello quando $F_a$ calcolato > valore soglia comunale; - nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

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 di inquadramento tematiche e confrontate con gli scenari previsti dalle direttive tecniche (Tabella 3).



A ciascuna area così individuata è attribuita una classe di pericolosità sismica ed il relativo livello di approfondimento. Le campiture che definiscono lo scenario di pericolosità sismica sono rappresentate nell'omonima tavola (TAV. 1).

L'applicazione del secondo livello di analisi consente di verificare se i valori di spettro elastico, previsti dal D.M. 14 settembre 2005, sono adatti alle tipologie di opere in progetto oppure se è necessario implementare il terzo livello di analisi per la definizione di nuovi spettri.

**TABELLA 3: SCENARI DI PERICOLOSITÀ, EFFETTI E CLASSI DI PERICOLOSITÀ ASSOCIATE**

<b>Sigla</b>	<b>SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</b>	<b>EFFETTI</b>	<b>CLASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA</b>
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità	H3
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti		H2 - livello di approfondimento 3°
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana		H2 - livello di approfondimento 3°
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni	H2 - livello di approfondimento 3°
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	H2 - livello di approfondimento 2° (3°)
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	H2 - livello di approfondimento 2°
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	H2 - livello di approfondimento 3°

L'analisi di terzo livello prevede un approccio quantitativo. Va sempre applicata a progetti di edifici strategici e/o rilevanti che prevedono affollamenti significativi (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03), per l'analisi del potenziale di liquefazione del terreno, e dell'amplificazione litologica quando i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia non sono verificati.

Con gli aggiornamenti alle direttive tecniche contenute nella d.g.r. n 8/7374 del 28 maggio 2008 tale approfondimento deve essere preceduto dall'analisi della classe sismica di appartenenza del suolo.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto sono definite le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni).



**A** - *Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi* caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 metri.

**B** - *Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti*, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica  $N_{spt} > 50$ , o coesione non drenata  $C_u > 250$  kPa).

**C** - *Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza*, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < N_{spt} < 50$ ,  $70 < C_u < 250$  kPa).

**D** - *Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti*, caratterizzati da valori di  $V_{s30} < 180$  m/s ( $N_{spt} < 15$ ,  $C_u < 70$  kPa).

**E** - *Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali*, con valori di  $V_{s30}$  simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m e giacenti su di un substrato di materiale più rigido con  $V_{s30} > 800$  m/s.

## **2.2 Zonazione della pericolosità sismica locale**

### **2.2.1 Primo livello**

Il territorio di Palazzago è suddiviso in quattro classi di pericolosità sismica locale.

**Classe Z1** – In questa classe sono raggruppate le aree dove un potenziale evento sismico può causare effetti di instabilità.

Sono distinti i seguenti scenari:

- + **Z1a**: movimenti franosi attivi con pericolosità H3; non sono previsti ulteriori livelli di analisi oltre al primo poiché queste aree ricadono in classe di fattibilità



4. Fa parte di questo scenario un'area a forte instabilità localizzata in sponda idrografica destra del Torrente Bregogna.

- ✚ **Z1b**: zone caratterizzate da movimenti franosi quiescenti con pericolosità H2; il progetto di edifici strategici e/o rilevanti, come definiti nel d.d.u.o. n. 19904/03, ricadenti nel perimetro di questo scenario richiede il terzo livello di approfondimento. Fanno parte di questo scenario un paio di frane quiescenti ubicate sui rilievi collinari meridionali.

**Classe Z3** – In questo ambito sono comprese le aree soggette ad amplificazione topografica e caratterizzate da un **andamento delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ )** maggiore o uguale a 800 m/s.

Sono distinti i seguenti scenari:

- ✚ **Z3a**: zona di ciglio con altezza minore di 10 metri (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica). A questo settore è assegnata la classe di pericolosità H2.

Il progetto di edifici strategici e/o rilevanti, come definiti nel d.d.u.o. n. 19904/03, richiede il secondo livello di approfondimento ed eventualmente il terzo;

- ✚ **Z3b**: zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo appuntita/arrotondata. A questo settore è assegnata la classe di pericolosità H2.

Il progetto di edifici strategici e/o rilevanti, come definiti nel d.d.u.o. n. 19904/03, richiede il secondo livello di approfondimento ed il terzo nel caso di costruzioni con strutture flessibili (sviluppo verticale indicativamente compreso tra 5 e 15 piani).

Gli scenari di pericolosità sismica locale **Z3a**, zona di ciglio e **Z3b**, zona di cresta rocciosa, sono rappresentati nella carta della pericolosità sismica locale da linee. Tali elementi individuano gli ambiti soggetti ad amplificazione topografica. In questi ambiti 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.

**Classe Z4** – In questo ambito sono raggruppate le aree soggette ad amplificazione litologica e geometrica.



Sono distinti i seguenti scenari:

- ✚ **Z4a:** vi appartengono i terreni di fondovalle formati da depositi alluvionali e/o fluvioglaciali, con tessitura mista granulare e/o coesiva;
- ✚ **Z4b:** vi sono compresi le zone pedemontane di falda di detrito, coincidenti con le falde di detrito di cava;
- ✚ **Z4d:** vi appartengono i depositi di origine colluviale che raccordano i rilievi con i fondovalle, litologicamente eterogenei, costituiti in prevalenza da argille intercalate a livelli limoso-sabbiosi.

A questo scenario è associata la classe di pericolosità H2.

Nel progetto di edifici strategici e/o rilevanti, come definiti nel d.d.u.o. n. 19904/03, è prevista l'analisi di terzo livello delle amplificazioni litologiche solo qualora l'analisi di secondo livello non soddisfi i valori soglia del *Fattore di Amplificazione (Fa)* fissati dalla Regione Lombardia.

### **2.2.2 Secondo livello**

La procedura di secondo livello 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 e dalle Norme Tecniche per le Costruzioni per ciò che concerne gli effetti di amplificazione morfologica (Tabella 4).

L'individuazione dei *fattori di amplificazione* è stata ottenuta rispettando le indicazioni contenute nell'allegato 5 della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008.

La procedura di calcolo del *Fattore di Amplificazione* differisce se riferita agli effetti morfologici (scenari Z3) piuttosto che litologici (scenari Z4).

Nelle aree ricadenti in classe Z3, la procedura presuppone l'identificazione del tipo di rilievo morfologico mediante la misura di parametri quali l'altezza del rilievo, la larghezza della base e l'estensione della cresta. La stima del *Fa* avviene mediante l'utilizzo delle schede morfologiche preparate dalla Regione Lombardia (Allegato 1).



**TABELLA 4: VALORI DI SOGLIA PER IL COMUNE DI PALAZZAGO**

	Creste e scarpate	suolo tipo A	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

La procedura di valutazione degli effetti litologici (scenari Z4) 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*.

#### **2.2.2.1 Applicazione del secondo livello per le aree soggette ad amplificazione topografica**

La procedura consente la stima del *fattore di amplificazione* negli scenari di cresta rocciosa, scarpata o cocuzzolo, caratterizzati da pendii con inclinazione di almeno 10° e i cui rilievi sono costituiti da materiale con **Vs** ≥ 800 m/s.

Gli effetti morfologici riguardano sostanzialmente i suoli di tipo A.

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.

Una volta individuate le creste e/o le scarpate, devono essere ricavati i parametri geometrici delle forme (Figura 1 e Figura 2), secondo i modelli stabiliti dalla Regione Lombardia.

#### Zona di ciglio

La zona di ciglio è caratterizzata da irregolarità con fronti di altezza (H) maggiore o uguale a 10 metri ed inclinazione ( $\alpha$ ) del fronte principale maggiore o uguale a 10°.

 le scarpate sono suddivise in tre tipologie (Figura 1):



- ✚ scarpate ideali con fronte superiore orizzontale;
- ✚ scarpate in pendenza con fronte superiore inclinato nello stesso verso del fronte principale;
- ✚ scarpate in contropendenza con fronte superiore inclinato nello verso opposto rispetto al fronte principale.

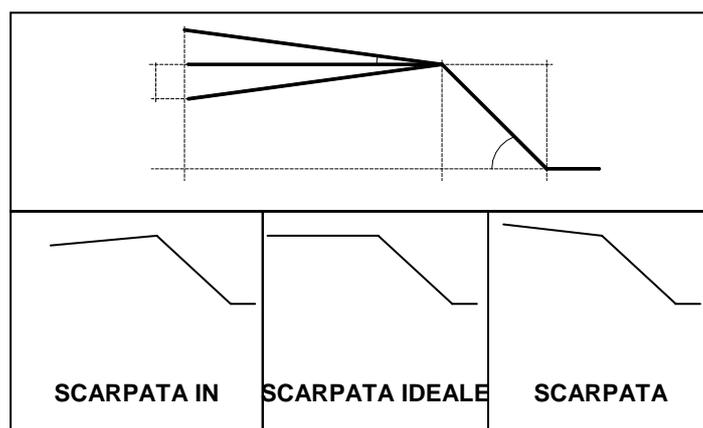


Figura 1: Estratto della scheda per il riconoscimento della tipologia di scarpata (Allegato 1)

L'altezza  $H$  esprime la differenza di quota tra il piede ed il ciglio del fronte principale. La geometria del fronte superiore è espressa dal parametro  $h$ , al quale corrisponde la differenza di quota tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica.

Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano:

- ✚ un fronte superiore di estensione paragonabile al dislivello altimetrico massimo ( $H$ ) o comunque non inferiore ai 15-20 metri;
- ✚ l'inclinazione ( $\beta$ ) del fronte superiore inferiore o uguale ad un quinto dell'inclinazione ( $\alpha$ ) del fronte principale, nel caso delle scarpate in pendenza (per  $\beta \geq 1/5\alpha$  la morfologia è da considerare pendio);
- ✚ il dislivello altimetrico minimo ( $h$ ) minore di un terzo del dislivello altimetrico massimo ( $H$ ), nel caso di scarpate in contropendenza (per  $h \geq 1/3H$  la morfologia è da considerare cresta appuntita).

Il  $Fa$  è da assegnare utilizzando lo schema contenuto nella Tabella 5, i cui dati di ingresso descrivono la geometria della scarpata.



**TABELLA 5: SCHEMA PER L'ASSEGNAZIONE DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE ED IL CALCOLO DELL'AREA DI INFLUENZA A MONTE DEL CIGLIO SUPERIORE DELLA SCARPATA.**

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $F_a$	Area di influenza
$10\text{ m} \leq H \leq 20\text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1,1	$A_i = H$
$20\text{ m} < H \leq 40\text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1,2	$A_i = 3/4 H$
$H > 40\text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1,1	$A_i = 2/3 H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1,2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1,3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1,2	
	$\alpha > 70^\circ$	1,1	

Il  $F_a$  assegnato al ciglio superiore della scarpata principale va scalato in maniera lineare fino ad assumere valore pari all'unità all'interno della relativa area di influenza.

### Zona di cresta rocciosa

Le creste rocciose possono essere suddivise in due categorie:

- ✚ creste appuntite: caratterizzate da un rilievo con una larghezza di cresta (I) molto inferiore alla larghezza della base (L);
- ✚ creste arrotondate: caratterizzate da un rilievo con una larghezza di cresta paragonabile a quella della base oppure pari ad almeno 1/3 di essa; la zona di cresta deve essere pianeggiante o subpianeggiante con inclinazioni inferiori ai  $10^\circ$ .

I parametri che descrivono la morfologia della cresta e che consentono l'utilizzo della scheda di valutazione sono i seguenti:

- ✚ larghezza alla base del rilievo L;
- ✚ larghezza in cresta del rilievo I;
- ✚ dislivello altimetrico massimo H e minimo dei versanti h;
- ✚ coefficiente di forma H/L.

All'interno della scheda di valutazione sono state scelte, per ogni rilievo analizzato, le curve più appropriate per il calcolo del fattore di amplificazione nell'intervallo 0,1 – 0,5.

Il  $F_a$  calcolato, approssimato alla prima cifra decimale, va assegnato all'area corrispondente alla larghezza di cresta (I). Lungo il versante il  $F_a$  si scala linearmente sino ad assumere valore pari all'unità alla base del pendio.



Successivamente tale valore deve essere confrontato con i valori soglia ricavati dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008.

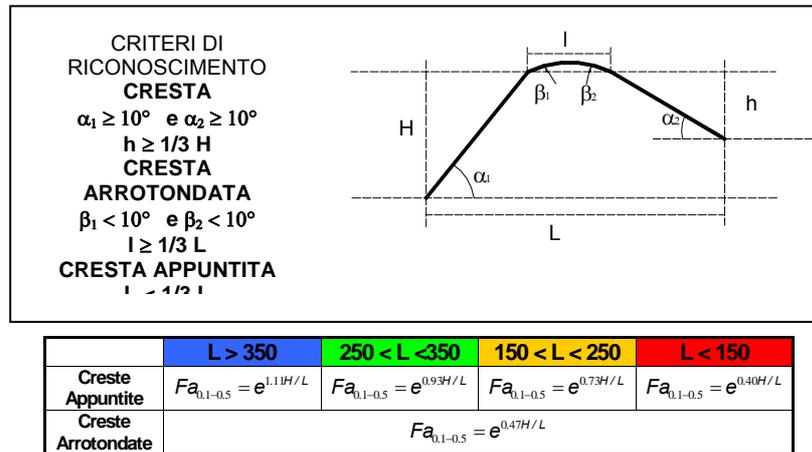


Figura 2: Estratto della scheda per il riconoscimento della tipologia di cresta ed il calcolo del fattore di amplificazione (Allegato 1)

### Valori soglia per il fenomeno dell'amplificazione topografica

Sono riportati i valori soglia (St) desunti dalle Norme tecniche per le Costruzioni 2008 (Tabella 6) che vanno considerati con un margine di errore di  $\pm 0,1$ .

**TABELLA 6: VALORI SOGLIA ST (NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2008 - NTC08).**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica		St
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

### 2.2.2.2 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 ed 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 (Allegato 1).

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 utilizzare 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 è stata utilizzata la scheda litologica corrispondente, negli altri casi è stata utilizzata 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) è 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:

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

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo.

Laddove le prospezioni non abbiano investigato una profondità tale da raggiungere strati con **Vs** = 800 m/s, tale limite è stato interpolato manualmente.

Il valore del *fattore di amplificazione* ottenuto, con un'approssimazione di  $\pm 0,1$  è stato confrontato con i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia.

Nell'applicazione del secondo livello di approfondimento agli scenari di pericolosità sismica locale Z4a, Z4b e Z4d, lo sviluppo della velocità delle onde S con la profondità è stato ottenuto mediante l'esecuzione di prospezioni geofisiche di tipo MASW (Allegato 2).



## 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 a 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 (**V<sub>s</sub>**), 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 rigidità 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 **V<sub>s</sub>**.

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).



La Figura 3 mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S ( $V_s$ ) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

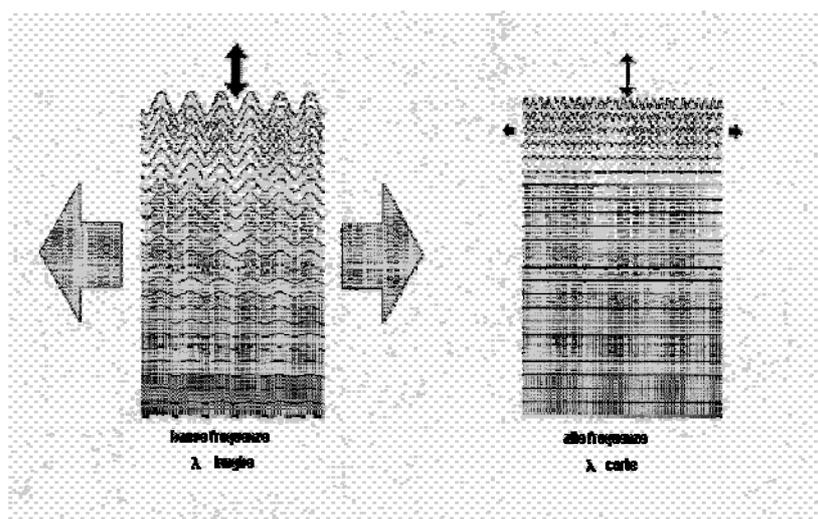


Figura 3: Proprietà di dispersione delle onde superficiali

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 lungo 48 metri con 24 geofoni e una spaziatura dei punti di ricezione pari a 2 metri. In tutte le prove eseguite sono stati impostati due punti di energizzazione (shots) il primo a una distanza di 5 metri dal primo geofono e il secondo a una distanza di 10 metri.



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 propri 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  $V_s$  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

Sono state realizzate quattro prove MASW nei siti individuati dai numeri da 1 a 4 sui terreni appartenenti allo scenario di pericolosità sismica locale Z4a (TAV. 1).

La prova 1 è stata eseguita sui depositi alluvionali recenti che occupano il fondovalle del torrente Bregogna e in parte la zona terminale dei suoi affluenti nel suo tratto a



monte della frazione Annunciata; più precisamente poco a valle della confluenza della Valle Pradel con l'alveo del Bregogna.

Le prove 2, 3 e 4 sono state realizzate sui depositi fluvioglaciali di età pleistocenica che occupano i fondovalle della porzione meridionale del territorio comunale. La prova numero 2 è stata eseguita all'interno di un campo nei pressi della via Al Mare, in sponda orografica sinistra del torrente Bregogna. Le prove 3 e 4 sono state realizzate nelle depressioni vallive che si estendono, con direzione nord-sud, nella parte meridionale di Palazzago, in particolare la 3 in località Gromlongo e la 4 in località Secchia di Sotto.

Nel confronto con i valori soglia previsti dalla normativa sismica sono stati utilizzati i fattori di amplificazione più cautelativi.

Dai profili delle **Vs** (Allegato 1) è stato possibile ricavare il *fattore di amplificazione* (Tabella 7) e confrontarlo con i valori soglia (Tabella 8).

**TABELLA 7: FATTORI DI AMPLIFICAZIONE STIMATI**

	periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	periodo compreso tra 0,5 – 1,5	Vs30 m/s
Sito 1	1,2	1,0	639 – 628
Sito 2	1,4	1,1	465 – 477
Sito 3	2,0	1,5	324 – 321
Sito 4	1,7	1,1	383 – 370

**TABELLA 8: 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
<b>Soglia</b>	<b>1,4</b>	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>	<b>2,4</b>	<b>2,2</b>	<b>4,2</b>	<b>2,0</b>	<b>3,1</b>
Sito 1	1,2	1,0						
Sito 2	1,4	1,1						
Sito 3			2,0	1,5				
Sito 4	1,7	1,1						

Le velocità delle onde S calcolate collocano prevalentemente i terreni nella classe B ed in un caso in classe C.



### 2.2.2.3 Considerazioni conclusive

#### Amplificazione litologica

I terreni appartenenti allo scenario di pericolosità sismica locale Z4b sono stati caratterizzati attraverso l'esecuzione delle prove MASW dalla numero 1 alla numero 4.

Le prove 1 e 2, eseguite su suoli di tipo B, hanno fornito *Fattori di Amplificazione* sempre inferiori alle soglie regionali, sia per l'intervallo di oscillazione 0,1- 0,5 s che per quello 0,5 – 1,5.

La prova 3 è stata eseguita su un suolo di tipo C. Il *Fattore di Amplificazione* calcolato è risultato, per l'intervallo di oscillazione 0,1-0,5 s, pari a 2,0. Considerando una variabilità di  $\pm 0,1$ , come previsto dalla normativa regionale, anche in questo caso il valore soglia risulta sufficientemente cautelativo. Per l'intervallo di oscillazione 0,5 -1,5 s il valore di *Fa* calcolato è 1,5, inferiore alla soglia regionale.

La prova 4 è stata eseguita su un suolo di tipo B. Il *Fattore di Amplificazione* calcolato per l'intervallo di oscillazione 0,1 - 0,5 s è risultato 1,7, e quindi superiore alla soglia regionale, mentre nell'intervallo di oscillazione 0,5 - 1,5 s il valore *Fa* calcolato, 1,5 è risultato verificato.

L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha evidenziato una certa variabilità litologica dei terreni appartenenti allo scenario Z4, che è quello maggiormente urbanizzato. In generale i *Fattori di Amplificazione* calcolati sono risultati sempre inferiori alla soglia regionale per l'intervallo di oscillazione 0,5 – 1,5 s, mentre è necessario applicare il terzo livello di approfondimento sismico per progetti di edifici strategici e rilevanti con periodo di oscillazione compreso tra 0,1 e 0,5s.

In fase progettuale dovrà essere sempre verificata la classe di appartenenza del sottosuolo ed il calcolo del *Fattore di Amplificazione*.

#### Amplificazione topografica

L'analisi di secondo livello non è stata estesa agli scenari di cresta e di scarpata morfologica poiché lo strumento urbanistico non prevede la realizzazione di edifici strategici e rilevanti in tali ambiti.



La metodologia prevede che in caso di progetto di edifici strategici e rilevanti è necessario valutare se in un intorno significativo dell'area di progetto sussistano geometrie del terreno compatibili con tali scenari. In caso di risposta affermativa dovrà essere ricavato il *fattore di amplificazione* in conformità con la normativa vigente e come descritto nei capitoli precedenti. In caso di superamento del valore soglia (Tab. 6) dovrà essere applicato il terzo livello di approfondimento sismico.

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

Sulla base degli aggiornamenti alle direttive tecniche proposti con D.G.R. n 8/7374 del 28 maggio 2008, tale approfondimento dovrà essere preceduto dall'analisi della classe sismica di appartenenza del suolo.

### **2.2.3 Terzo livello**

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

Le metodologie strumentali prevedono lo sviluppo di una campagna di acquisizione dati tramite prove specifiche (nell'allegato 5 alla D.G.R. 8/7374 sono indicati a titolo esemplificativo il metodo di Nakamyre (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.



### 2.2.3.1 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.

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 ( $\gamma$ ), angolo di attrito ( $\Phi$ ) 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 ( $F_s$ ) in condizioni statiche, del valore del coefficiente di accelerazione orizzontale critica ( $k_c$ ) 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.



### 2.2.3.2 Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3)

Gli scenari di pericolosità sismica locale **Z3a**, scarpate morfologiche, e **Z3b**, creste morfologiche sono rappresentati nella carta della pericolosità sismica locale da linee. Tali elementi individuano gli ambiti soggetti ad amplificazione topografica. In questi ambiti 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.

Nello scenario Z3 dovrà essere applicare 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. 8/7374 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.



### **2.2.3.3 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. 8/1566 sono indicate a titolo esemplificativo il metodo di Nakamyre (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 CARTA DEI VINCOLI (TAV. 2)

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 Palazzago sono presenti:

- ✚ **Vincoli di polizia idraulica:** sul reticolo idrografico identificato ai sensi del R.D. n. 523/1904 art.96, D.G.R. 7/7868 del 25 gennaio 2002 e della D.G.R. 7/13950 del 1 agosto 2003. In questa fase, che definiamo transitoria, il reticolo idrico principale è vincolato ai sensi del R.D. n. 523/1904 art. 96, mentre il reticolo idrico minore dal regolamento allegato allo “Studio del reticolo minore”.
- ✚ Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L. 183/89, art. 17 comma 5 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 26/04/2001 e recepita dalla Regione Lombardia nella D.G.R. 7/7365 dell'11/12/2001.

Nel territorio di Palazzago sono stati perimetrati le aree di dissesto idrogeologico così classificate:

➤ Aree franose:

- **Fq**, frana quiescente;
  - **Fs**, frana stabilizzata.
- ✚ **Ambiti estrattivi** individuati dal *Piano Cave della Provincia di Bergamo* del 2006, all'interno dei quali valgono le norme previste dalla Legge Regionale 14/98 per le attività di cava, ambiti estrattivi ATEc2 e ATEa8.
  - ✚ **Aree di valore paesaggistico e ambientale a spiccata connotazione geologica:** nel territorio di Palazzago è stata individuata la località tipo della *Formazione dell'Albenza* (elenco presente nell'allegato 14 alla D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008), tutelata ai sensi dell'art. 22 della D.G.R. 8/6447 del 16 gennaio 2008 e non ancora perimetrata ufficialmente.



#### 4 CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA AL P.A.I. (TAV. 5)

La *Carta del dissesto con legenda uniformata al P.A.I.* è inserita quale proposta di aggiornamento all'Elaborato 2 del P.A.I..

##### 4.1 Aree di dissesto P.A.I.

Sulla tavola sono state individuate i seguenti tematismi:

✚ Aree franose (Allegato 5):

- **Fq**, frana quiescente – (pericolosità elevata);
- **Fs**; frana stabilizzata – (pericolosità molto bassa).



## 5 CARTA DI SINTESI (TAV. 3)

La Carta di Sintesi è costituita da 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.

La delimitazione dei poligoni è basata su valutazioni attinenti alla pericolosità e alle aree di influenza dei fenomeni, ricavate dallo studio geologico depositato in comune.

In fase di aggiornamento sono stati eseguiti dei sopralluoghi puntuali per la valutazione dello stato di attività delle aree franose.

### **5.1 Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti**

**fr:** area a franosità superficiale e soliflusso diffusi;

**fq:** area di frana inattiva o quiescente;

**sl1:** area a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di scivolamenti su versanti acclivi con substrato roccioso affiorante e/o subaffiorante e pendenze superiori al 50%;

**sl2:** area a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di scivolamenti su versanti acclivi con copertura detritica a tessitura mista e pendenze comprese tra il 20% e il 50%;

**sl3:** area a pericolosità potenziale da poco acclive a mediamente acclive su substrato roccioso affiorante e/o subaffiorante;

**ae:** ex area estrattiva a pericolosità potenziale per distacco di blocchi di roccia da scarpate subverticali.

### **5.2 Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico**

**tor:** area di pertinenza torrentizia le cui dinamiche sono governate dallo scorrimento di acque all'interno di solchi di ruscellamento concentrato o torrenti. Le criticità sono causate dall'erosione accelerata delle sponde e possibilità di innesco di



scivolamenti superficiali. Sono comprese le fasce perimetrali le incisioni torrentizie lungo i versanti collinari;

**in1:** area frequentemente inondabile;

**In2:** area a moderato rischio di inondazione.

### **5.3 Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche**

**gt1:** area prevalentemente argillosa e limoso argillosa con inclusi carbonatici, torbosi e lenti ghiaiose con limitata, discreta capacità portante;

**gt2:** area prevalentemente sabbiosa e limosa con ghiaie subordinate con discreta, modesta capacità portante;

**gt3:** area con consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali comprese le facies colluviali, il detrito di frana e di cava.



## **6 CARTA DI FATTIBILITÀ DELLE AZIONI DI PIANO (TAV. 4)**

### **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 i cambiamenti di destinazione d'uso di una qualsiasi parte del territorio devono derivare dalla lettura incrociata della carta della fattibilità e della carta dei vincoli dove sono rappresentate le limitazioni derivanti dalla normativa in vigore.

La D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008 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) – 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 gli eventuali approfondimenti da effettuare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori.*



### **Classe 3 (gialla) – 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 deve in alternativa:*

- se dispone fin da subito di elementi sufficienti, definire puntualmente per le eventuali*
- 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 es. 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. Si specifica che le indagini e gli approfondimenti prescritti per le classi di fattibilità 2, 3 e 4 (limitatamente ai casi consentiti) devono essere realizzati prima della progettazione degli interventi in quanto propedeutici alla pianificazione dell'intervento e alla progettazione stessa.*

*Copia delle indagini effettuate e della relazione geologica di supporto deve essere consegnata, congiuntamente alla restante documentazione, in sede di presentazione dei Piani attuativi (l.r. 12/05, art. 14) o in sede di richiesta del permesso di costruire (l.r. 12/05, art. 38).*

*Si specifica che gli approfondimenti di cui sopra, non sostituiscono, anche se possono comprendere, le indagini previste dalle Norme Tecniche per le costruzioni, di cui alla normativa nazionale.*

### **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, 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 é strettamente necessario provvedere al loro trasferimento, dovranno essere predisposti idonei piani di protezione civile ed inoltre deve 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.*

## **6.2 La fattibilità geologica nel comune di Palazzago**

### **6.2.1 CLASSE 2**

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

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

#### **- 2a**

Nella sottoclasse 2a ricadono le aree pianeggianti o subpianeggianti il cui sottosuolo è formato da terreni argillosi e limoso argillosi con inclusi carbonatici, torbosi e lenti ghiaiose con limitata, discreta capacità portante e circolazione idrica superficiale canalizzata.



L'utilizzo di queste aree è subordinato alla realizzazione di un approfondimento di studio necessario per la caratterizzazione del sottosuolo nonché della situazione idrogeologica locale in un intorno significativo, al fine di prevedere già in fase progettuale quegli accorgimenti tecnici necessari a garantire la salubrità dei locali.

Tale approfondimento potrà essere effettuato mediante indagini geognostiche ad hoc, oppure essere basato sulla conoscenza della situazione geologica idrogeologica locale derivante dall'esperienza del tecnico incaricato.

#### **- 2b**

La sottoclasse 2b individua le aree da poco acclivi a mediamente acclivi su substrato roccioso affiorante e/o subaffiorante e circolazione idrica superficiale canalizzata. Ricadono in questa sottoclasse le propaggini meridionali delle colline, compresi i depositi colluviali che raccordano i rilievi alla pianura fluvioglaciale.

L'utilizzo di queste aree è subordinato alla realizzazione di un approfondimento di studio necessario per la caratterizzazione del sottosuolo nonché della situazione idrogeologica locale in un intorno significativo, al fine di prevedere già in fase progettuale quegli accorgimenti tecnici necessari a garantire la salubrità dei locali e la stabilità del complesso pendio-opera.

Tale approfondimento potrà essere effettuato mediante indagini geognostiche ad hoc, oppure essere basato sulla conoscenza della situazione geologica idrogeologica locale derivante dall'esperienza del tecnico incaricato.

### **6.2.2 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 due sottoclassi.

#### **- 3a**

La sottoclasse 3a comprende gran parte del territorio comunale di Palazzago in quanto individua tutte quelle aree a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di scivolamenti su versanti acclivi con substrato roccioso affiorante e/o subaffiorante e copertura detritica a tessitura mista



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 14 gennaio 2008), necessarie per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale e di un intorno significativo, al fine di procedere all'analisi di stabilità del complesso pendio opera.

### **- 3b**

In questa sottoclasse ricade un'area a moderato rischio di esondazione situata nei pressi dell'alveo del torrente Dordo.

Limitatamente a questa fascia ogni intervento di nuova edificazione dovrà essere accompagnato da una valutazione della compatibilità idraulica al fine di prevedere già in fase progettuale, quegli accorgimenti tecnici necessari a minimizzare le conseguenze di un eventuale allagamento.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per la sottoclasse 2a.

### **6.2.3 CLASSE 4**

In classe 4 dovrà essere esclusa qualsiasi 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 ad 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.

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.

Non sono state distinte sottoclassi. In questo ambito ricadono i terreni con consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali su versanti acclivi, le aree di pertinenza fluviale e torrentizia nonché le aree in evidente dissesto idrogeologico comprese le ex aree di cava.



### **6.3 Normativa sismica**

Il comune di Palazzago ricade nella zona sismica 4, così come definita nell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003.

La normativa regionale prevede l'applicazione del secondo livello di approfondimento sismico nelle zone a PSL Z3 e Z4 solo nelle aree in cui è prevista la realizzazione di edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al D.D.U.O. N. 19904/03).

Al mosaico della fattibilità sono sovrapposte tre campiture trasparenti che individuano le aree in cui è necessario applicare il terzo livello di approfondimento sismico in fase di progettazione.

Nelle aree in cui coesistono differenti scenari di Pericolosità Sismica Locale dovranno essere approfonditi gli aspetti relativi a ciascuno scenario e utilizzati per la progettazione i parametri più restrittivi, a favore della sicurezza.

#### **6.3.1 Effetti di instabilità (PSL Z1)**

L'analisi di terzo livello prevede la quantificazione dell'instabilità delle zone franose intesa come valutazione degli indici di stabilità in condizioni statiche, pseudostatiche e dinamiche. L'analisi prevede un approccio puntuale, finalizzato alla quantificazione dei singoli movimenti.

Gli approfondimenti devono essere eseguiti secondo le indicazioni riportate nell'allegato 5 della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008 e riassunte nel paragrafo 2.2.3.1.

#### **6.3.2 Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3)**

Gli scenari di pericolosità sismica locale **Z3a**, zona di ciglio, e **Z3b**, zona di cresta rocciosa, sono rappresentati nella carta della pericolosità sismica locale da linee. Tali elementi individuano gli ambiti soggetti ad amplificazione topografica.

In questi ambiti 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 di progettazione si dovrà pertanto accertare se l'ambito oggetto di studio è potenzialmente soggetto ad amplificazione topografica, in quanto parte, da prossima fino a distale, di un ciglio di scarpata o di una cresta rocciosa.

Il terzo livello di approfondimento dovrà essere applicato rispettando le direttive tecniche regionali riassunte nel paragrafo 2.2.3.2.

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.

### 6.3.3 Effetti di amplificazione litologica (PSL Z4)

Nello scenario Z4 è richiesta l'applicazione del secondo livello di approfondimento nel progetto di edifici strategici e rilevanti che prevedano affollamenti significativi (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03) e l'approfondimento di terzo livello per l'analisi dell'amplificazione litologica, quando il *fattore di amplificazione* calcolato è maggiore del valore soglia.

L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha quasi sempre soddisfatto i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia. Solo nella prova MASW n. 4, il  $F_a$  è risultato superiore alla soglia per il periodo di oscillazione 0,1 – 0,5 s.

Qualora tale condizione si realizzi nelle verifiche di secondo livello per il progetto di edifici strategici e rilevanti dovrà essere applicato il terzo livello di approfondimento.

Il terzo livello di approfondimento dovrà essere applicato rispettando le direttive tecniche regionali riassunte nel paragrafo 2.2.3.3 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.

*Massimo Elitropi*

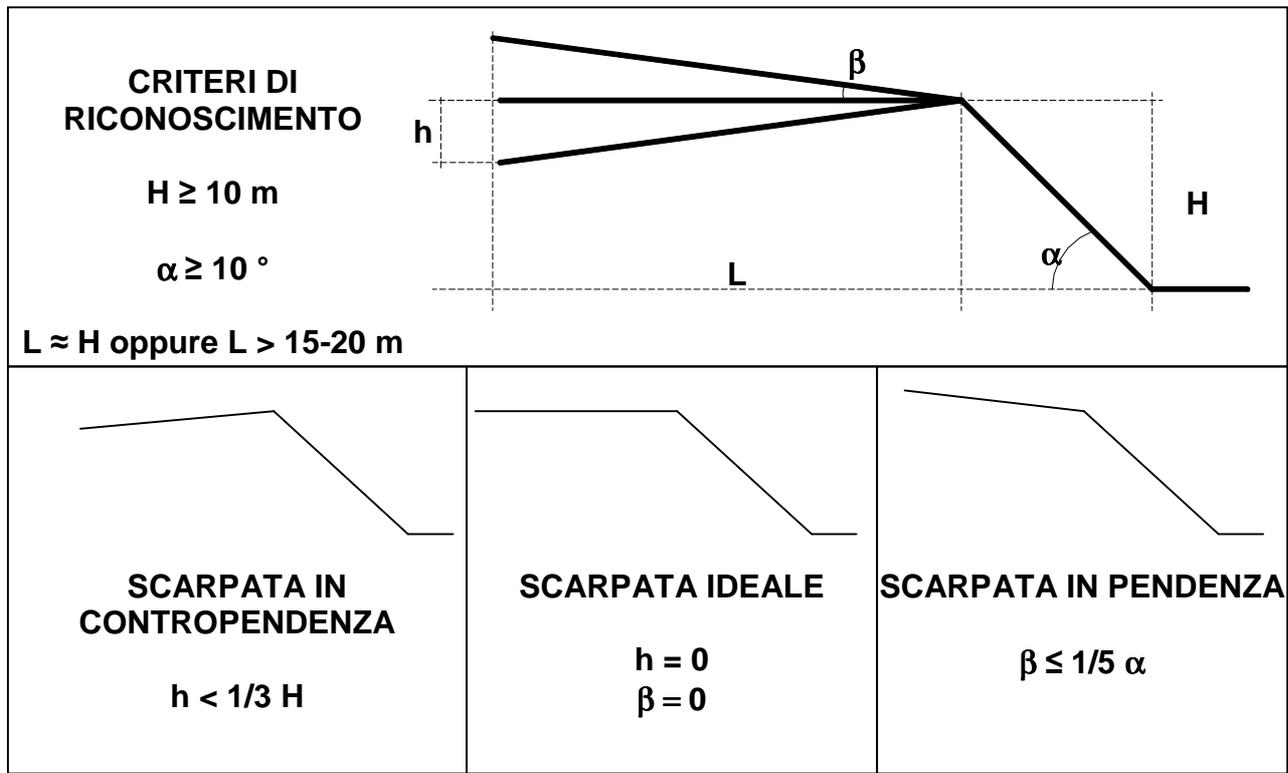


*Renato Caldarelli*

**ALLEGATI**

**SCHEDE REGIONALI PER LA  
VALUTAZIONE DEL FATTORE DI  
AMPLIFICAZIONE**

**EFFETTI MORFOLOGICI – SCARPATA - SCENARIO Z3a**



Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $Fa_{0.1-0.5}$	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{2}{3} H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

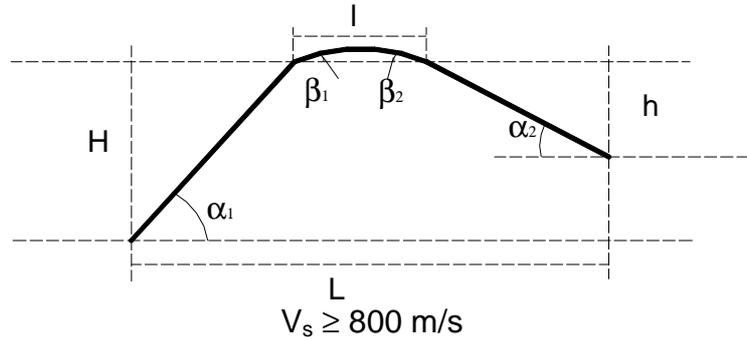
**EFFETTI MORFOLOGICI – CRESTE - SCENARIO Z3b**

**CRITERI DI RICONOSCIMENTO**

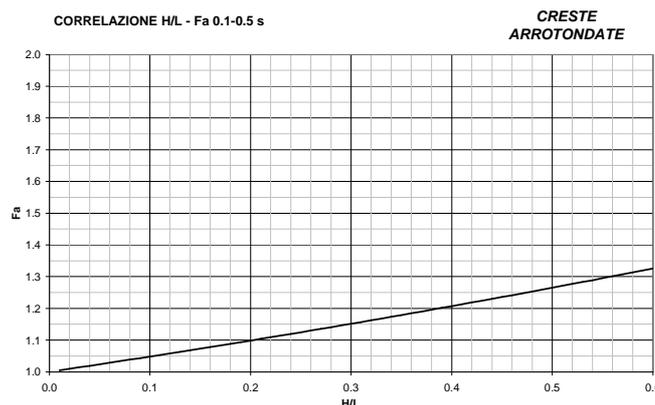
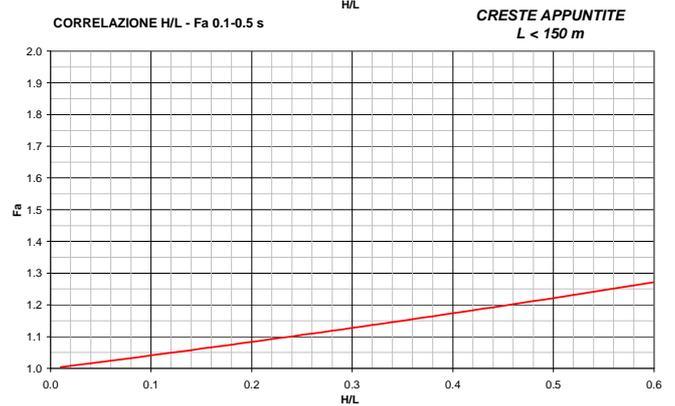
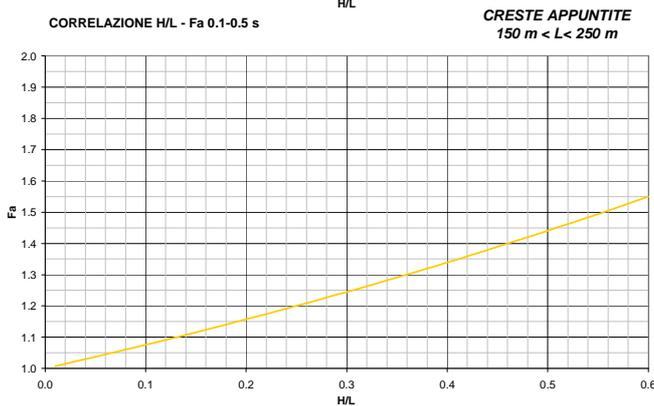
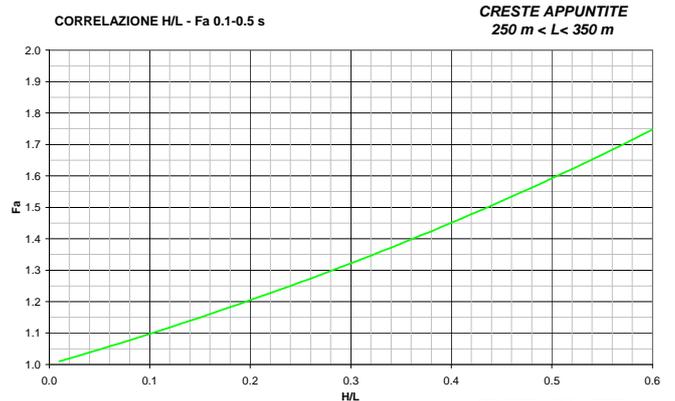
**CRESTA**  
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$  e  $\alpha_2 \geq 10^\circ$   
 $h \geq 1/3 H$

**CRESTA ARROTONDATA**  
 $\beta_1 < 10^\circ$  e  $\beta_2 < 10^\circ$   
 $l \geq 1/3 L$

**CRESTA APPUNTITA**  
 $l < 1/3 L$



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



**EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA GHIAIOSA**

**PARAMETRI INDICATIVI**

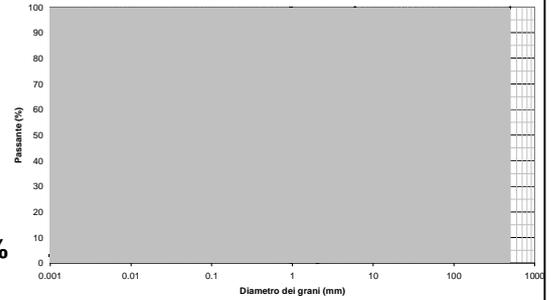
**GRANULOMETRIA:**

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

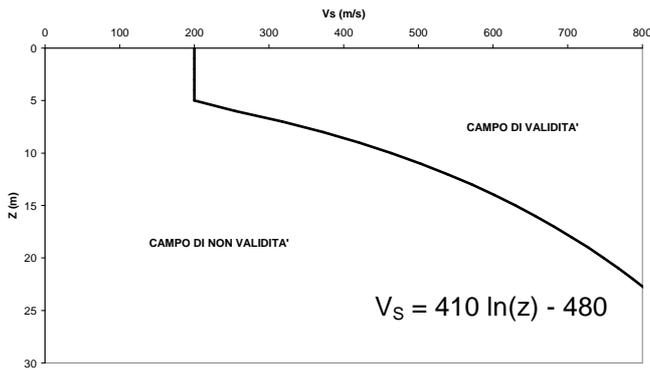
**NOTE:**

- 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

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO



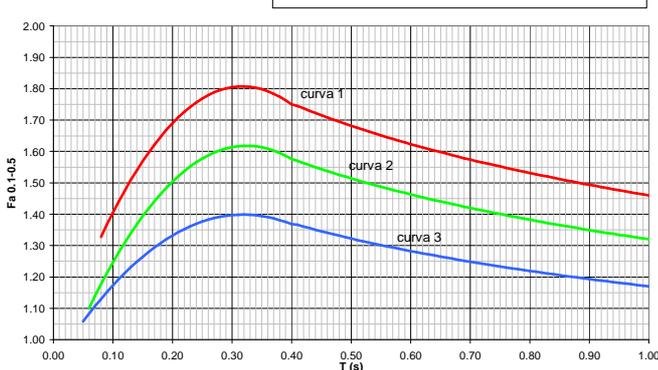
ANDAMENTO DEI VALORI DI  $V_s$  CON LA PROFONDITA'



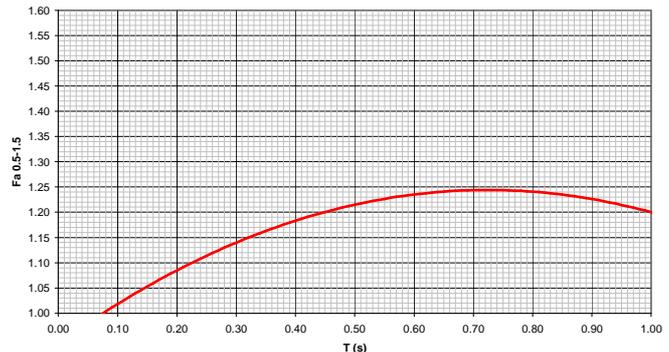
Profondità primo strato (m)

	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	3					
500				3	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	3

Correlazione T - Fa 0.1-0.5



Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



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

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**

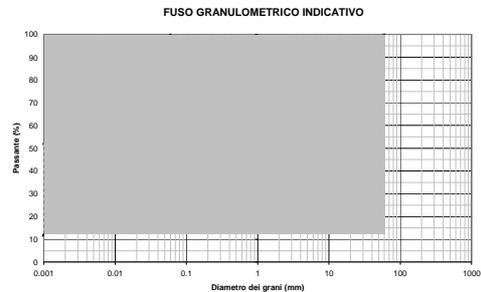
**PARAMETRI INDICATIVI**

**GRANULOMETRIA:**

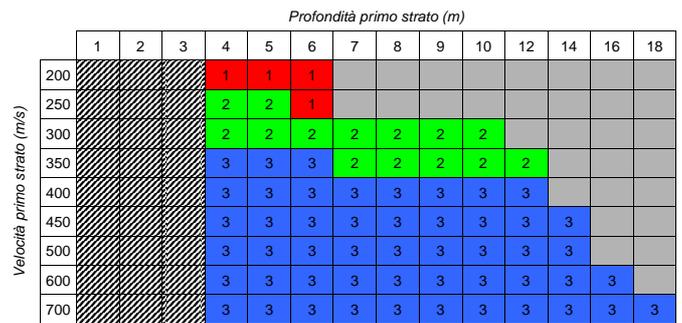
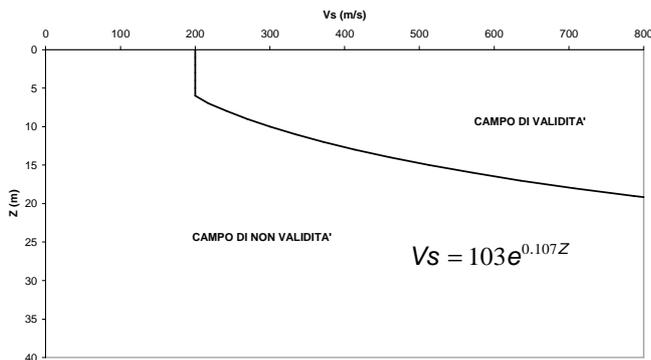
Da limi ghiaioso – argillosi debolmente sabbiosi ad argille con limi passando per limi argillosi, limi con sabbie argillose, limi e sabbie con argille, argille ghiaiose, argille ghiaiose debolmente limose ed argille con sabbie debolmente limose

**NOTE:**

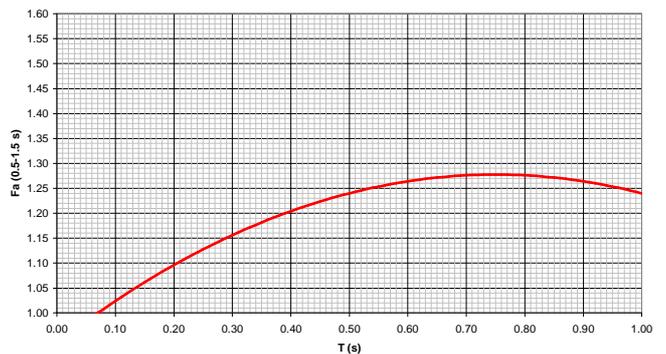
- Comportamento coesivo
- Struttura matrice-sostenuta
- Frazione limosa superiore al 40%
- Presenza di clasti immersi con  $D_{max} < 2-3$  cm
- Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 25%
- Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 35%
- Frazione argillosa compresa tra 20% e 60%
- Presenza di eventuali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



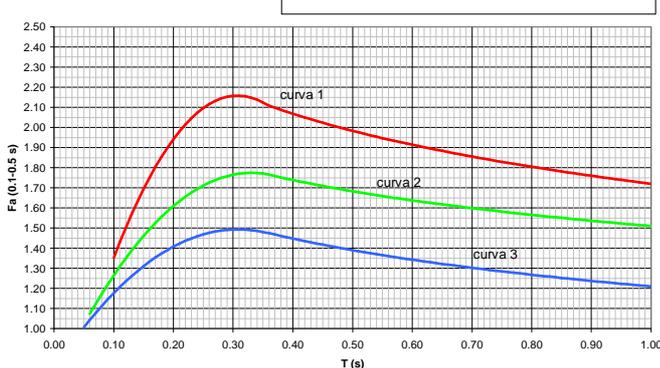
ANDAMENTO DEI VALORI DI Vs CON LA PROFONDITA'



Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



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

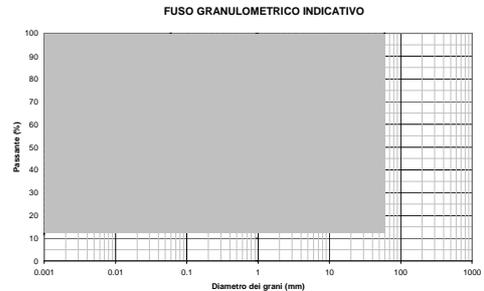
Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -18.7T^2 + 11.5T + 0.39$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.72 - 0.38LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.5T^2 + 6.3T + 0.73$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.51 - 0.25LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.35$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

**EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – ARGILLOSA TIPO 2**

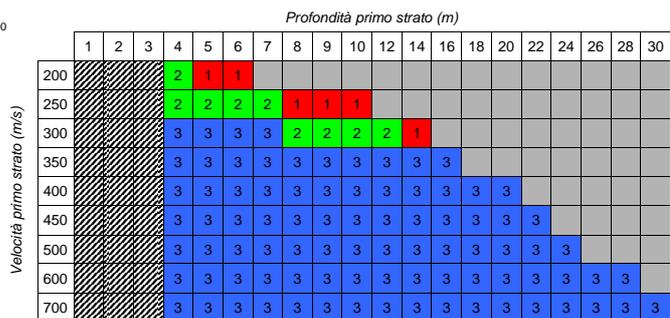
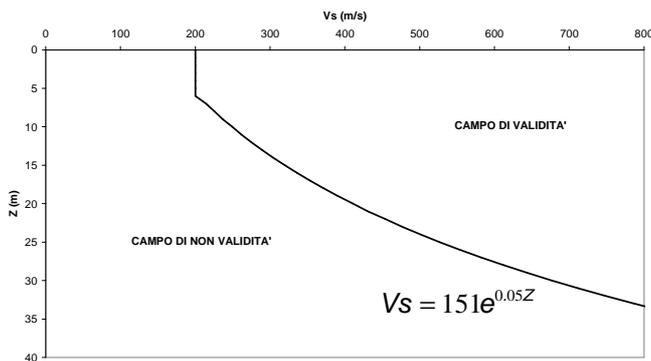
**PARAMETRI INDICATIVI**

**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:

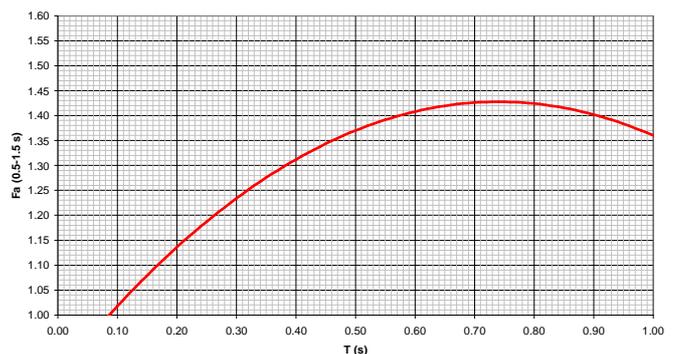
PARAMETRO		INTERVALLO
Peso di volume naturale	$\gamma [kN/m^3]$	19.5-20.0
Peso specifico particelle solide	$\gamma_s [kN/m^3]$	25.7-26.7
Contenuto d'acqua naturale	w [%]	20-25
Limite di liquidità	w <sub>L</sub> [%]	30-50
Limite di plasticità	w <sub>P</sub> [%]	15-20
Indice di plasticità	I <sub>P</sub> [%]	15-30
Indice dei vuoti	e	0.5-0.7
Grado di saturazione	S <sub>r</sub> [%]	90-100
Coefficiente di spinta a riposo	K <sub>0</sub>	0.5-0.6
Indice di compressione	C <sub>c</sub>	0.15-0.30
Indice di rigonfiamento	C <sub>s</sub>	0.02-0.06
Coefficiente di consolidazione secondaria	C <sub>a</sub>	0.001-0.005
Grado di consolidazione	OCR	1-3
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	N <sub>spt</sub>	15-30



**ANDAMENTO DEI VALORI DI Vs CON LA PROFONDITA'**

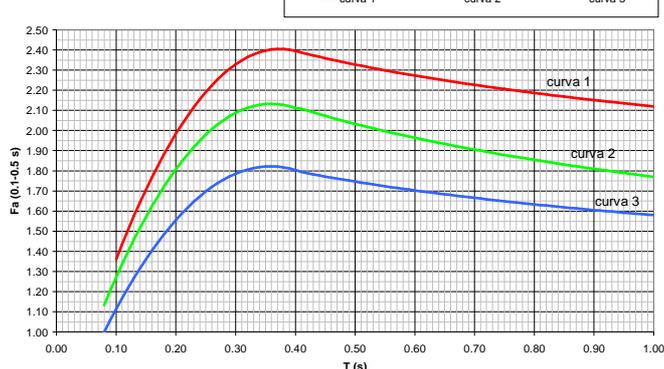


**Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s**



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

**Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s**



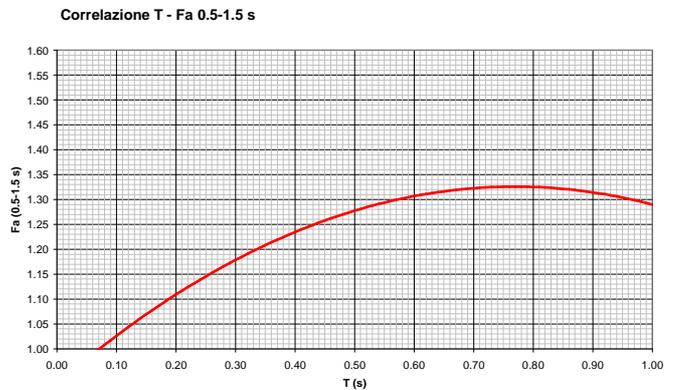
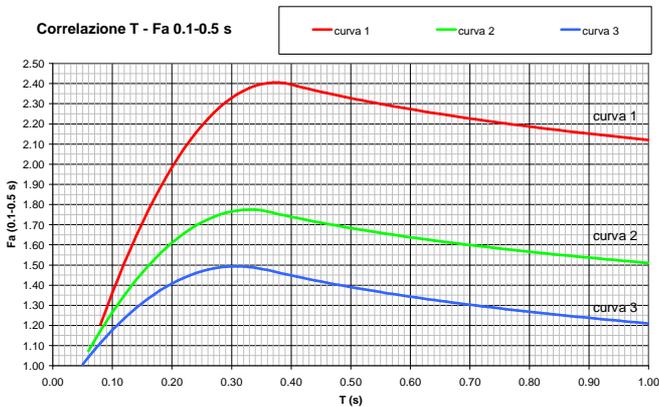
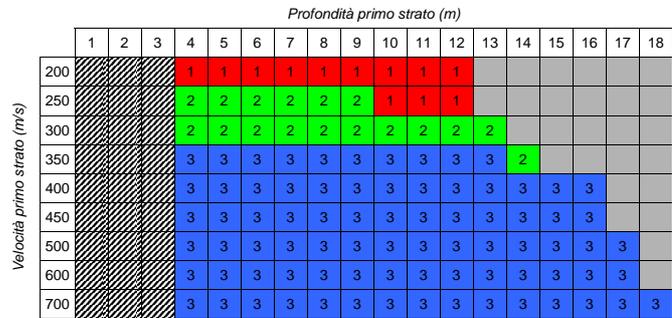
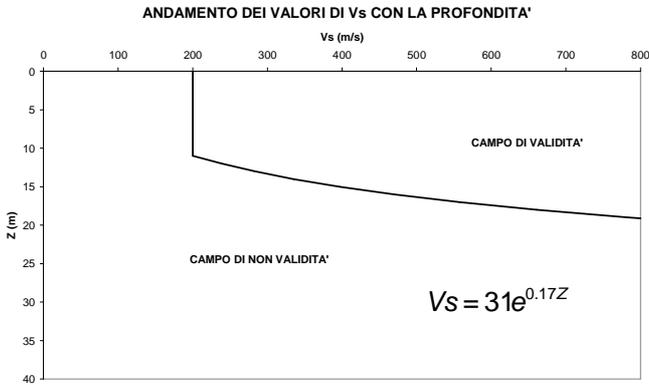
Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5}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

**EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 1**

**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 arillosi

**PARAMETRI INDICATIVI**



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.67T^2 + 1.03T + 0.93$$

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

**EFFETTI LITOLGICI – 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**

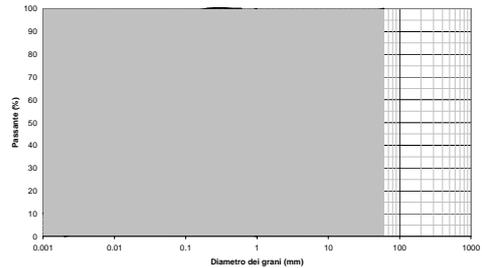
**Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%**

**Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%**

**Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%**

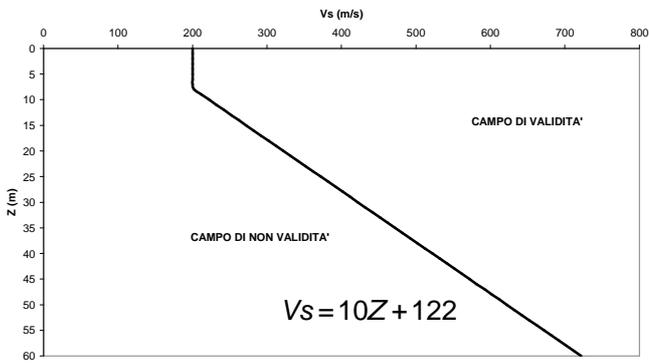
**A FIANCO: range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi**

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO

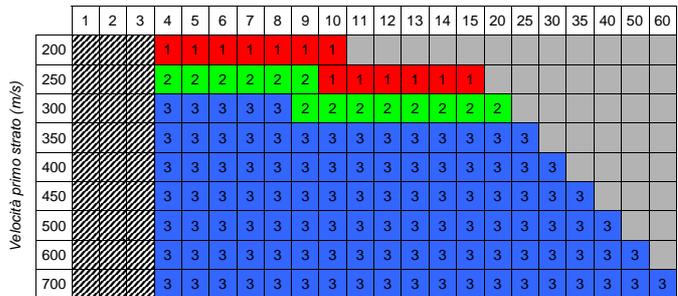


PARAMETRO	INTERVALLO
Peso di volume naturale	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) 18.5-19.5
Peso specifico particelle solide	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> ) 26.0-27.9
Contenuto d'acqua naturale	w [%] 25-30
Limite di liquidità	w <sub>L</sub> [%] 25-35
Limite di plasticità	w <sub>p</sub> [%] 15-20
Indice di plasticità	I <sub>p</sub> [%] 5-15
Indice dei vuoti	e 0.6-0.9
Grado di saturazione	S <sub>r</sub> [%] 90-100
Coefficiente di spinta a riposo	K <sub>0</sub> 0.4-0.5
Indice di compressione	C <sub>c</sub> 0.10-0.30
Indice di rigonfiamento	C <sub>s</sub> 0.03-0.05
Coefficiente di consolidazione secondaria	C <sub>α</sub> 0.002-0.006
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	N <sub>spt</sub> 0-20

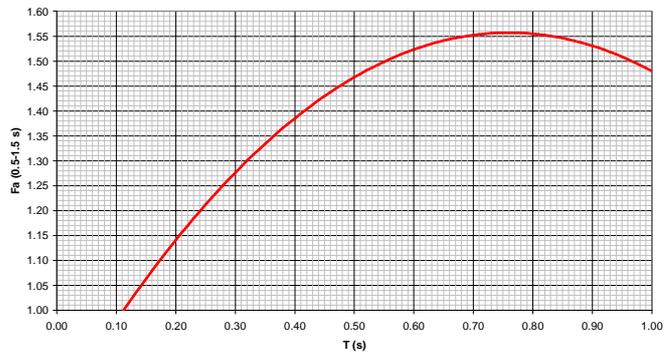
ANDAMENTO DEI VALORI DI Vs CON LA PROFONDITA'



Profondità primo strato (m)

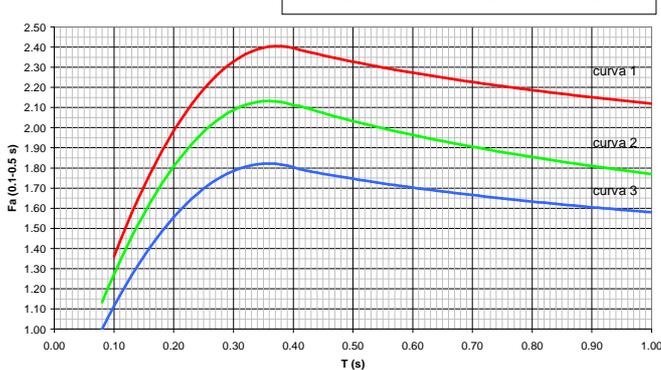


Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



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

Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



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 SABBIOSA**

**PARAMETRI INDICATIVI**

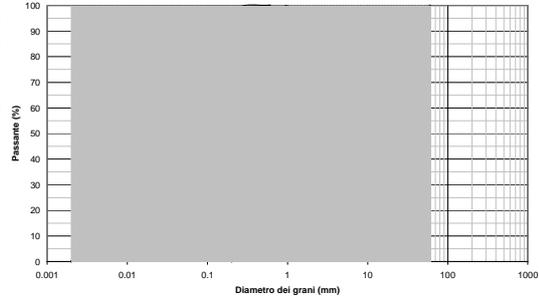
**GRANULOMETRIA:**

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

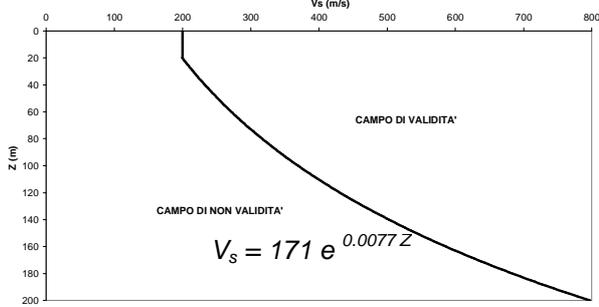
**NOTE:**

- 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%

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO



ANDAMENTO DELLE Vs CON LA PROFONDITA' LITOLOGIA SABBIOSA



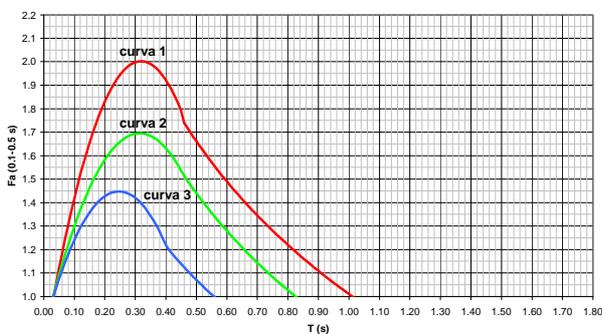
Profondità primo strato (m)	Profondità primo strato (m)																					
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180
200	2	1-2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
250	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
300	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3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

ove la sigla NA indica  $Fa = 1$

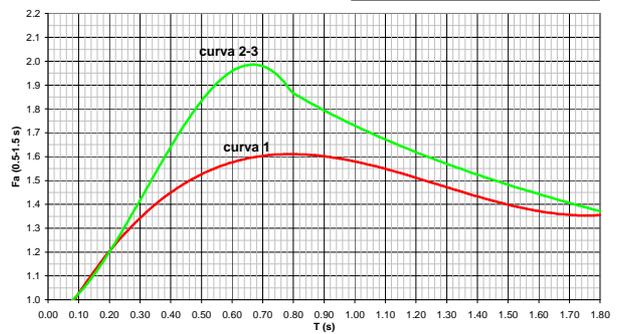
il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1  
**CONDIZIONE:** strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media Vs minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s	0
$V_s > 500$ m/s	5 - 12 m

Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



Correlazione T - Fa (0.5-1.5 s)



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

Curva	Tratto rettilineo	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$	
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.716 - 0.61 \ln T$

**VELOCITÀ DELLE ONDE S,  
PROVE MASW VS30**

## SITO 1 (energizzazione 5m)

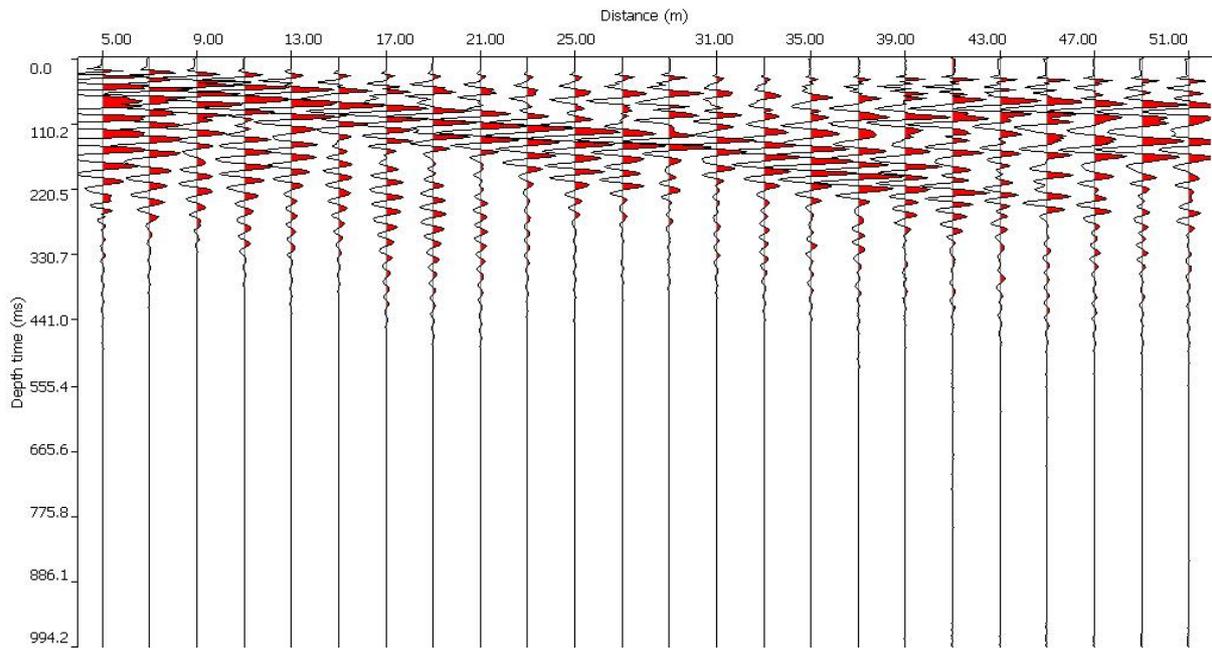


Fig. 1: Sismogramma medio

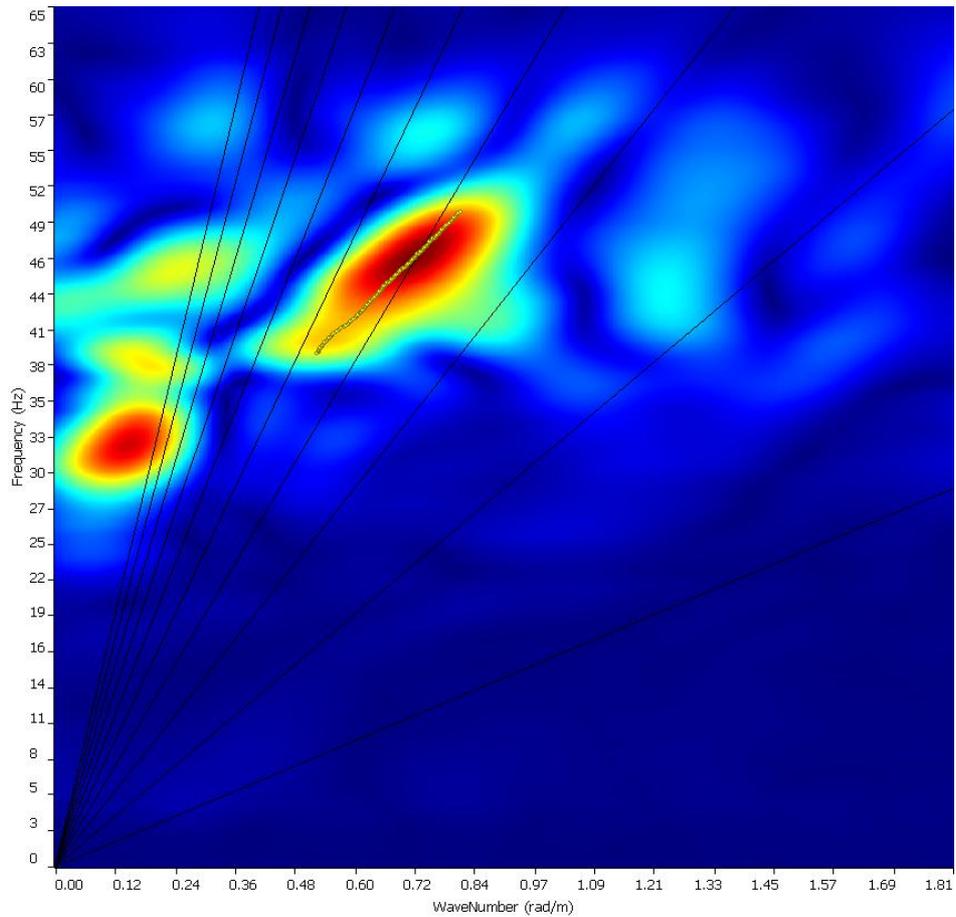
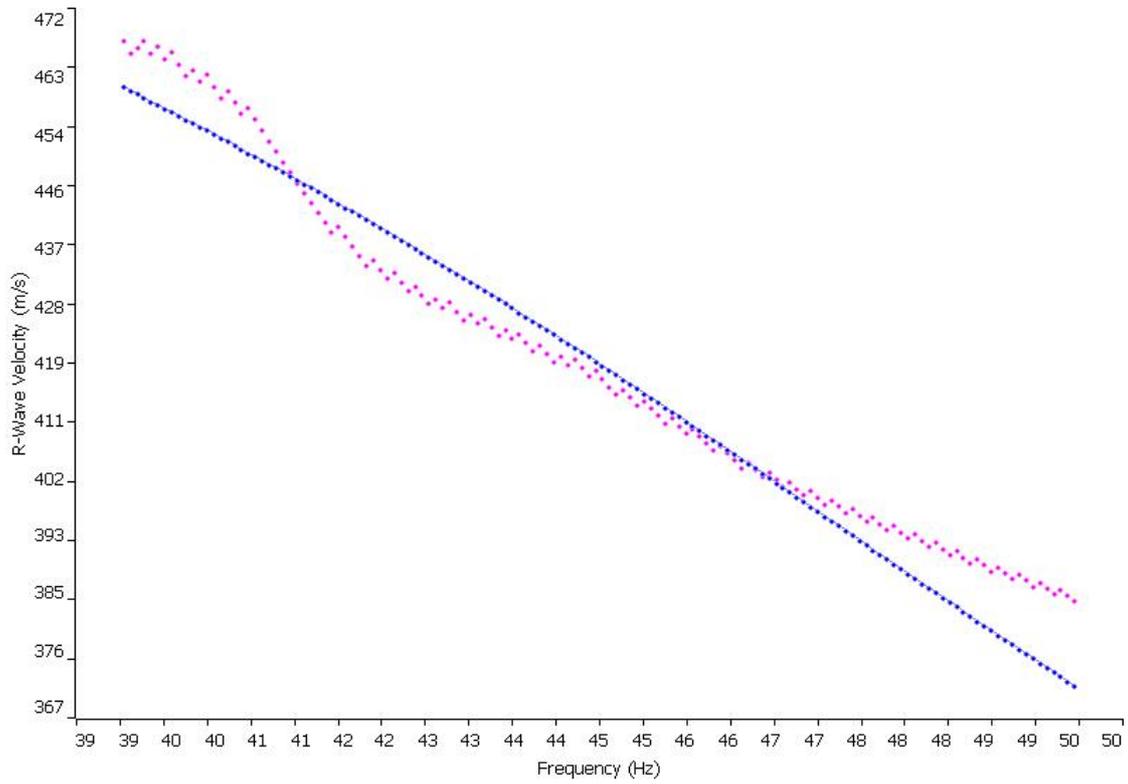
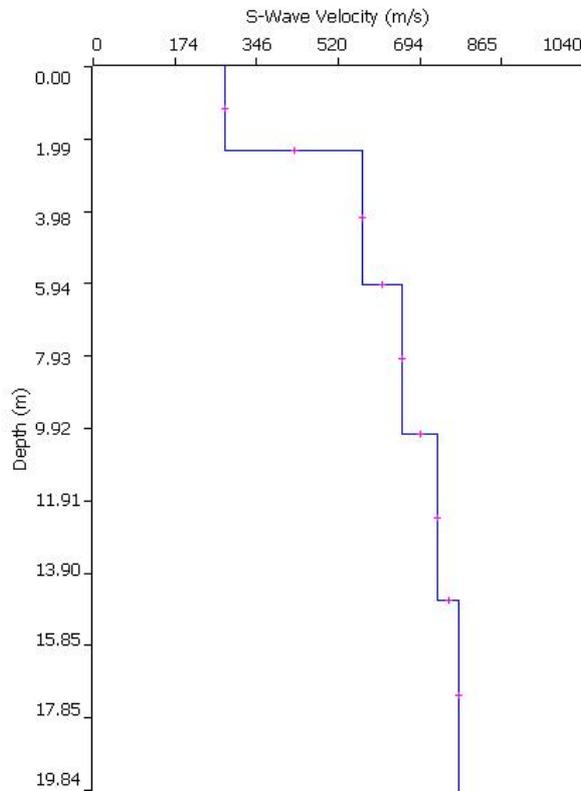


Fig. 2: Spettro Frequenza-velocità

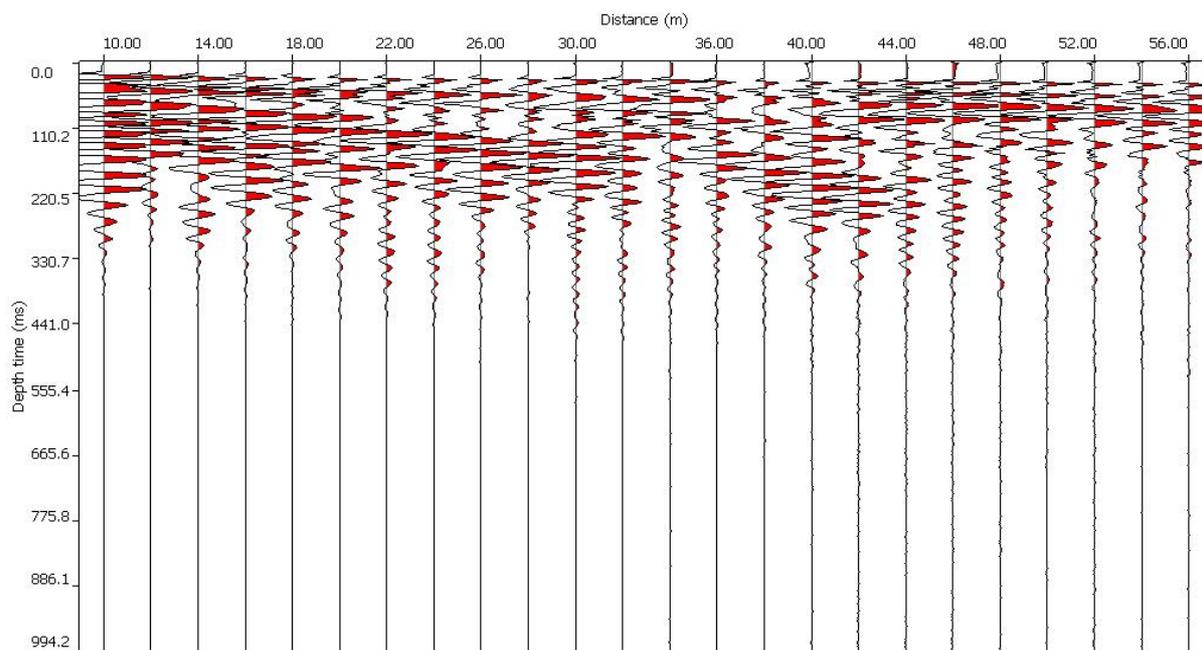


**Fig. 3: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)**

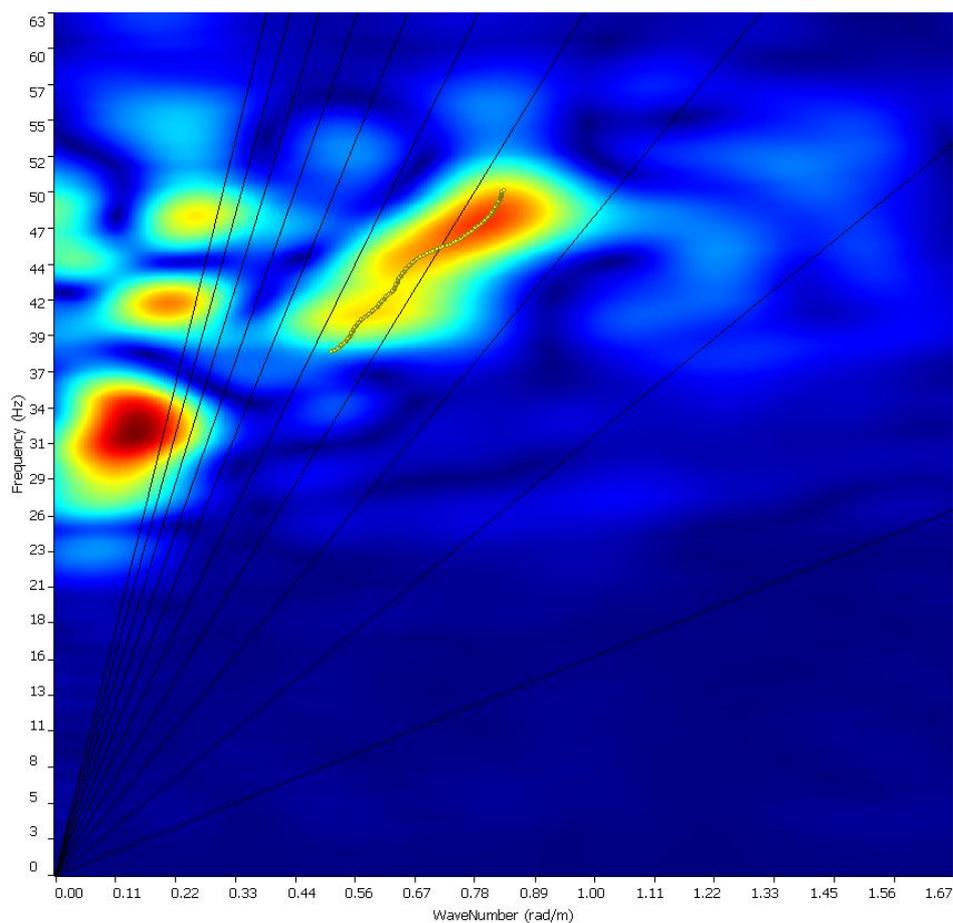


**Fig. 4: Distribuzione Vs**

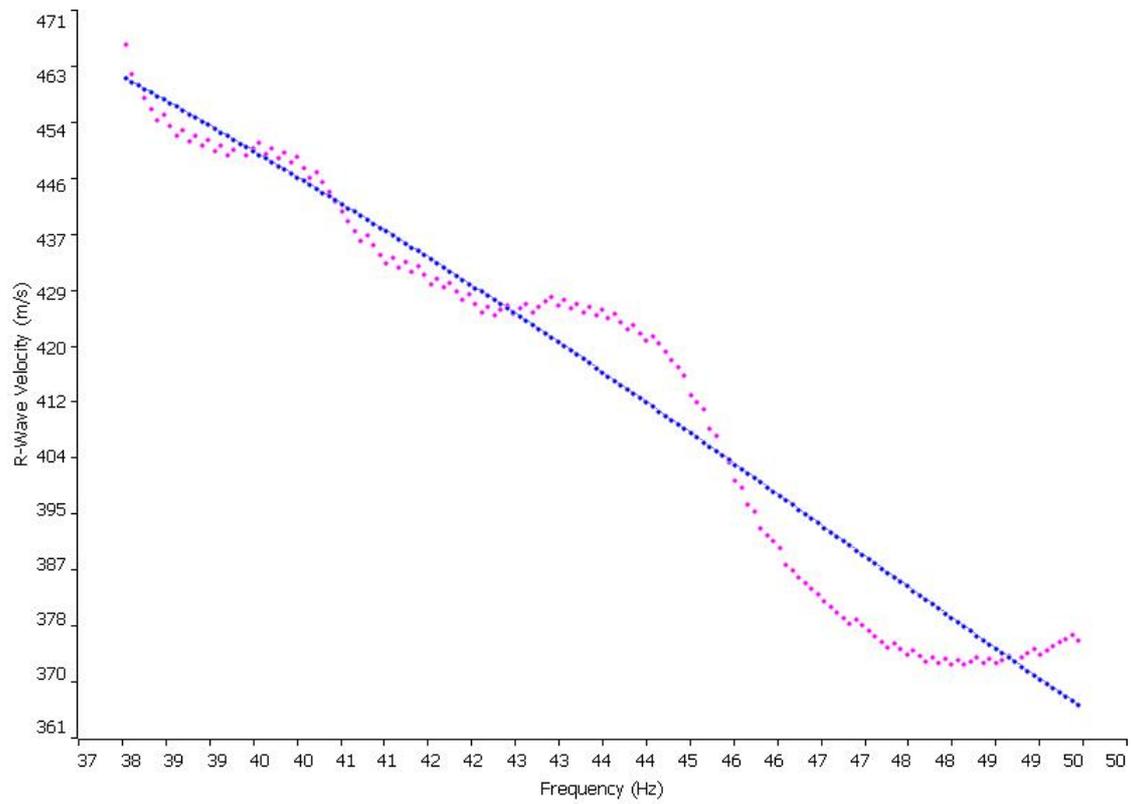
### SITO 1 (energizzazione 10m)



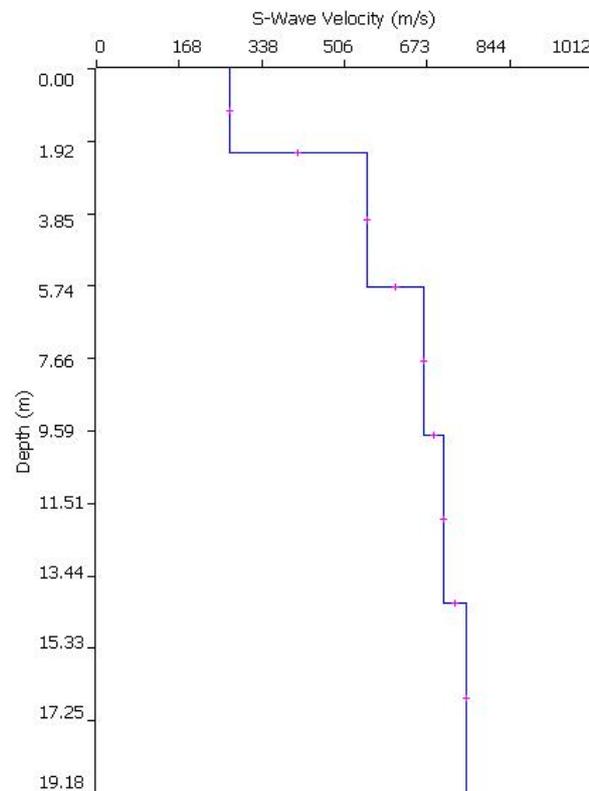
**Fig. 5: Sismogramma medio**



**Fig. 6: Spettro Frequenza-velocità**



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



**Fig. 8: Distribuzione Vs**

## SITO 2 (energizzazione 5m)

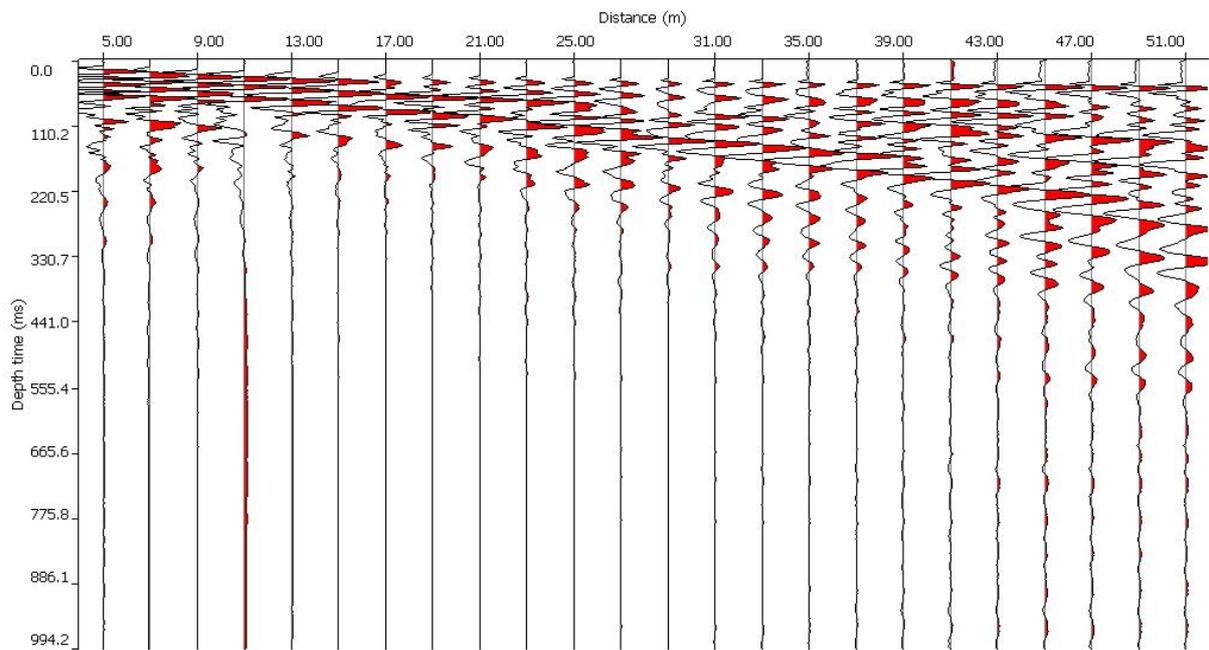


Fig. 9: Sismogramma medio

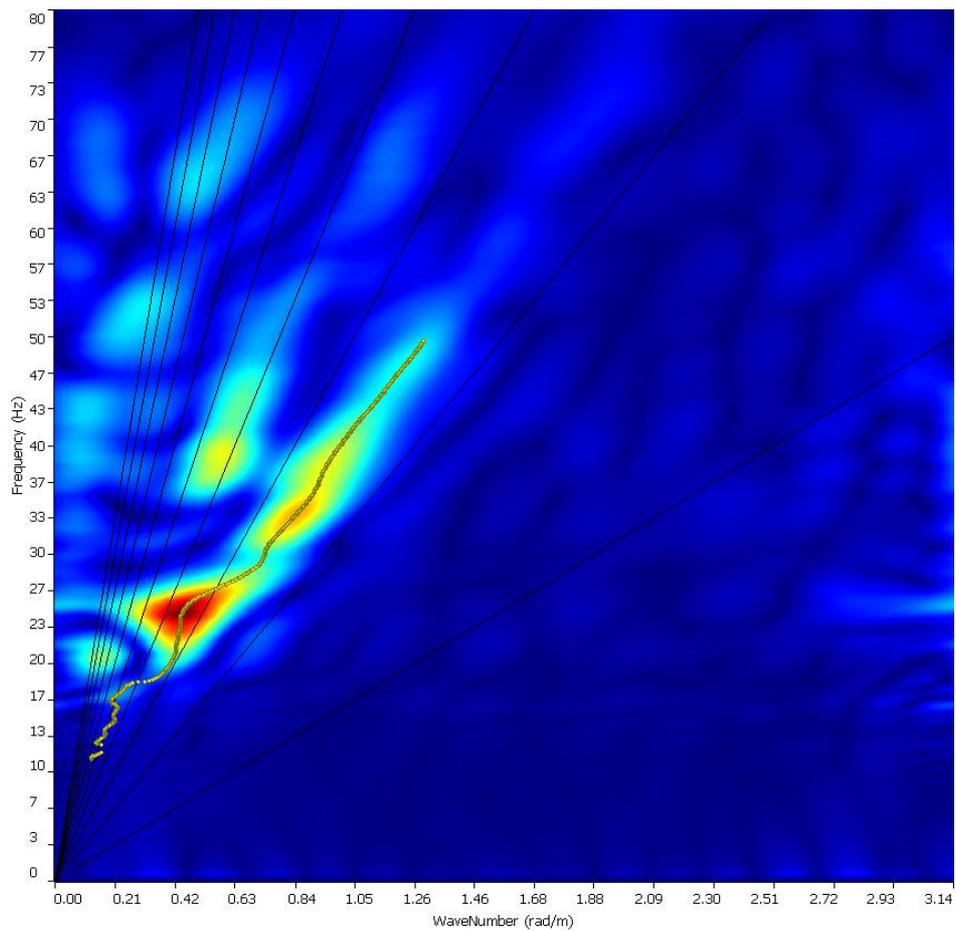
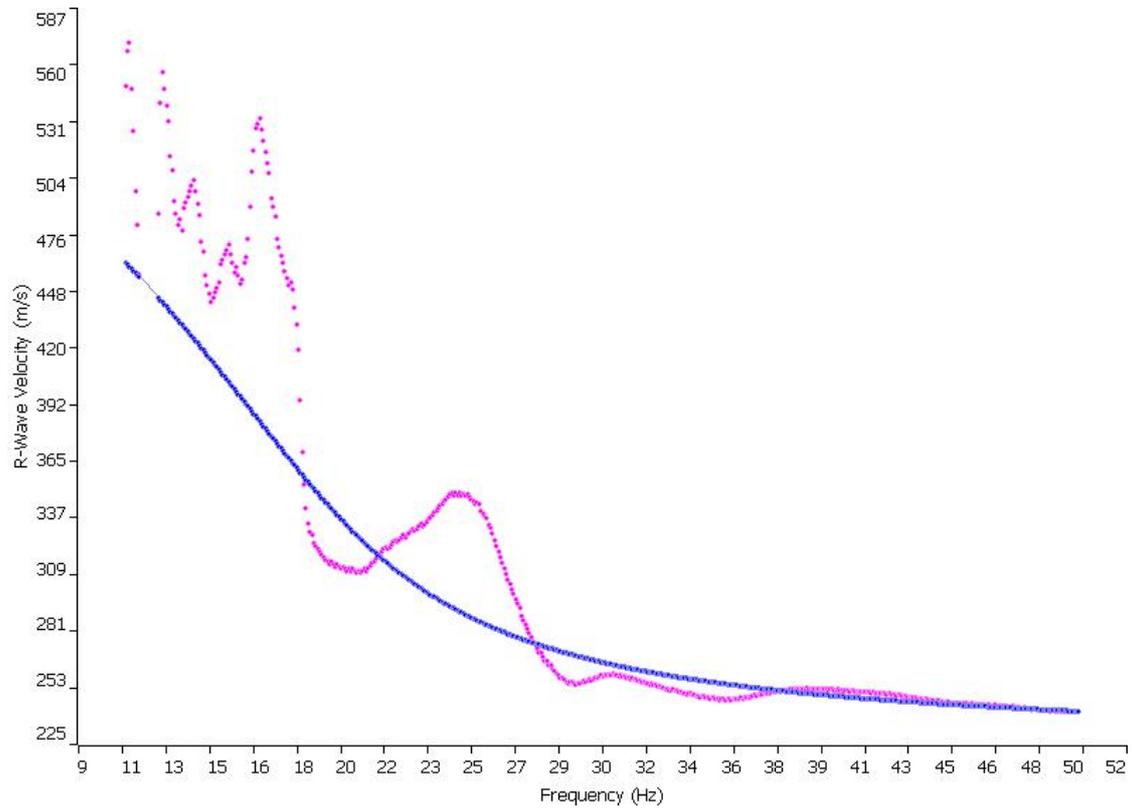
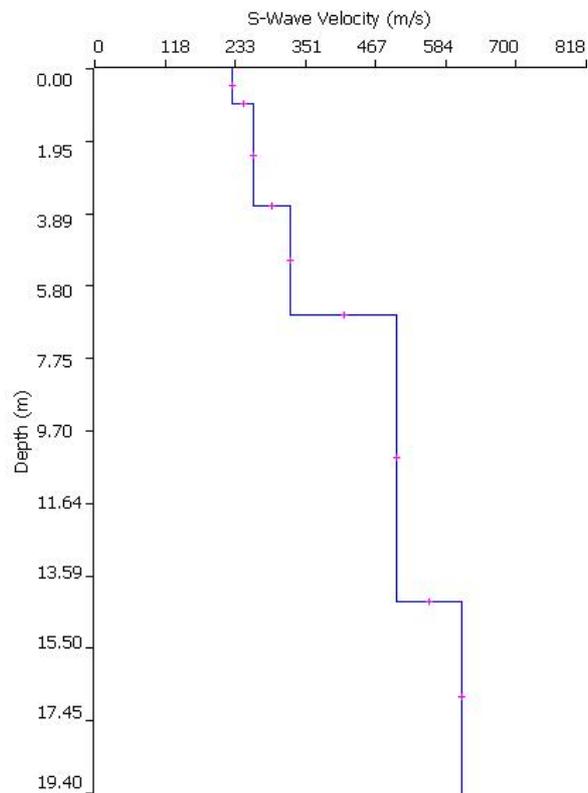


Fig. 10: Spettro Frequenza-velocità



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



**Fig. 12: Distribuzione Vs**

### SITO 2 (energizzazione 10m)

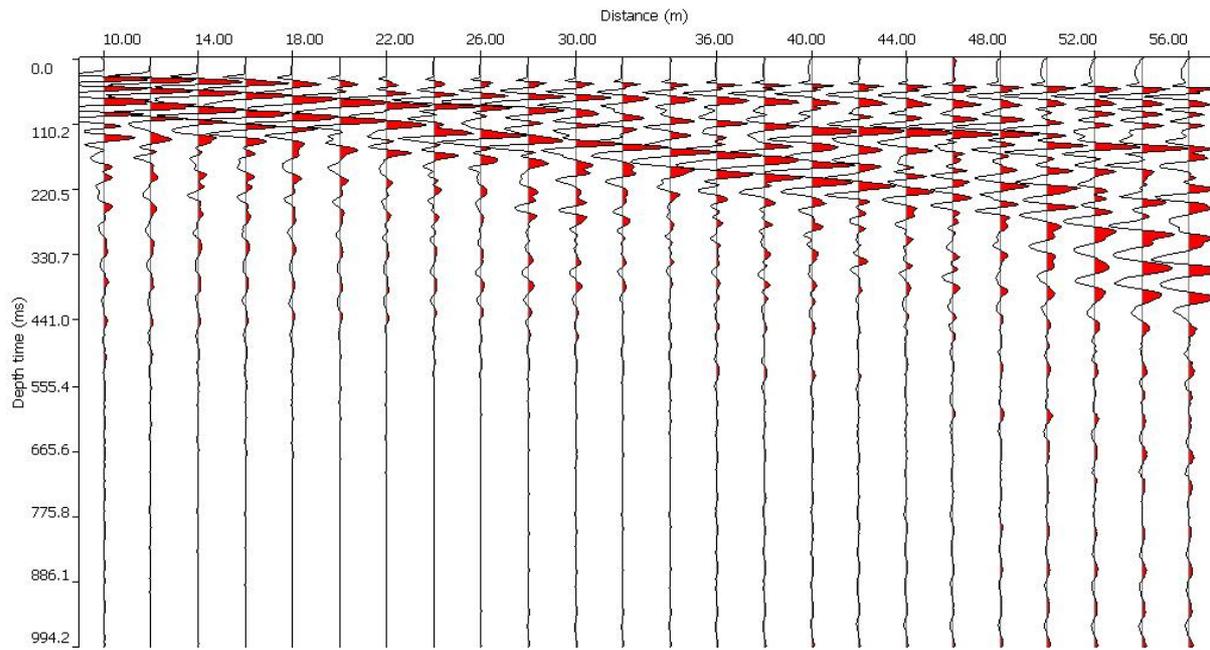


Fig. 13: Sismogramma medio

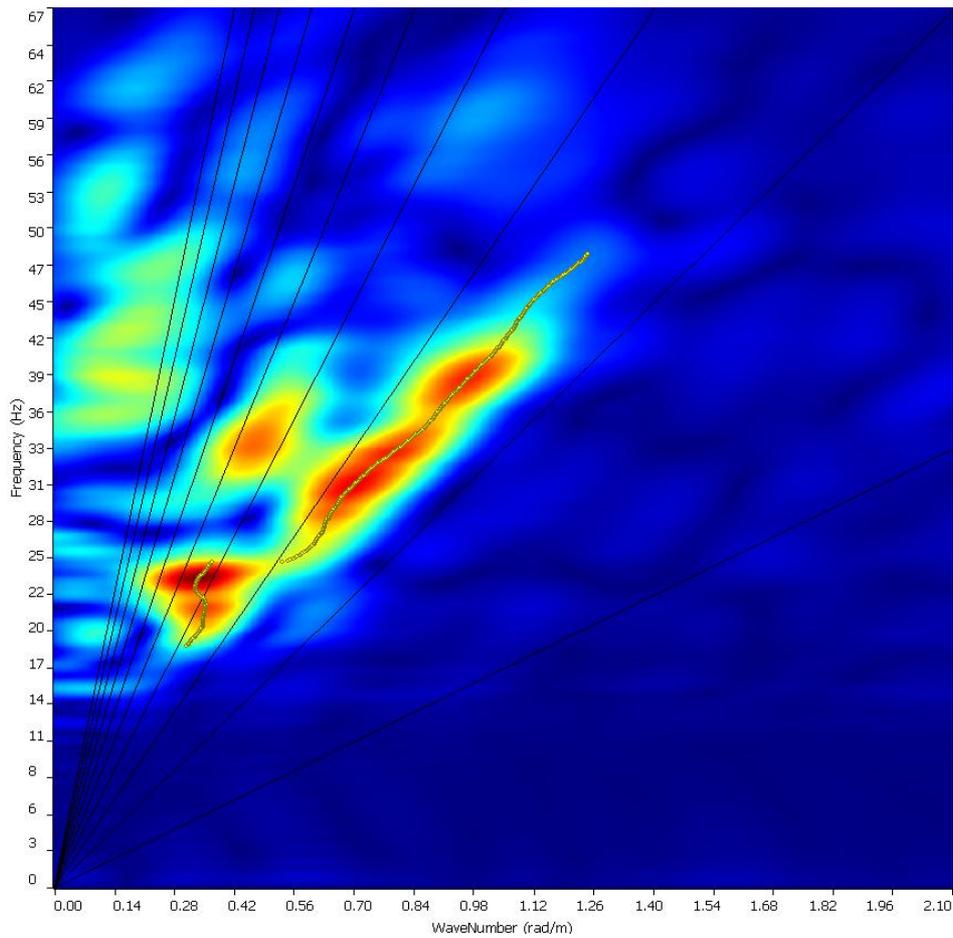
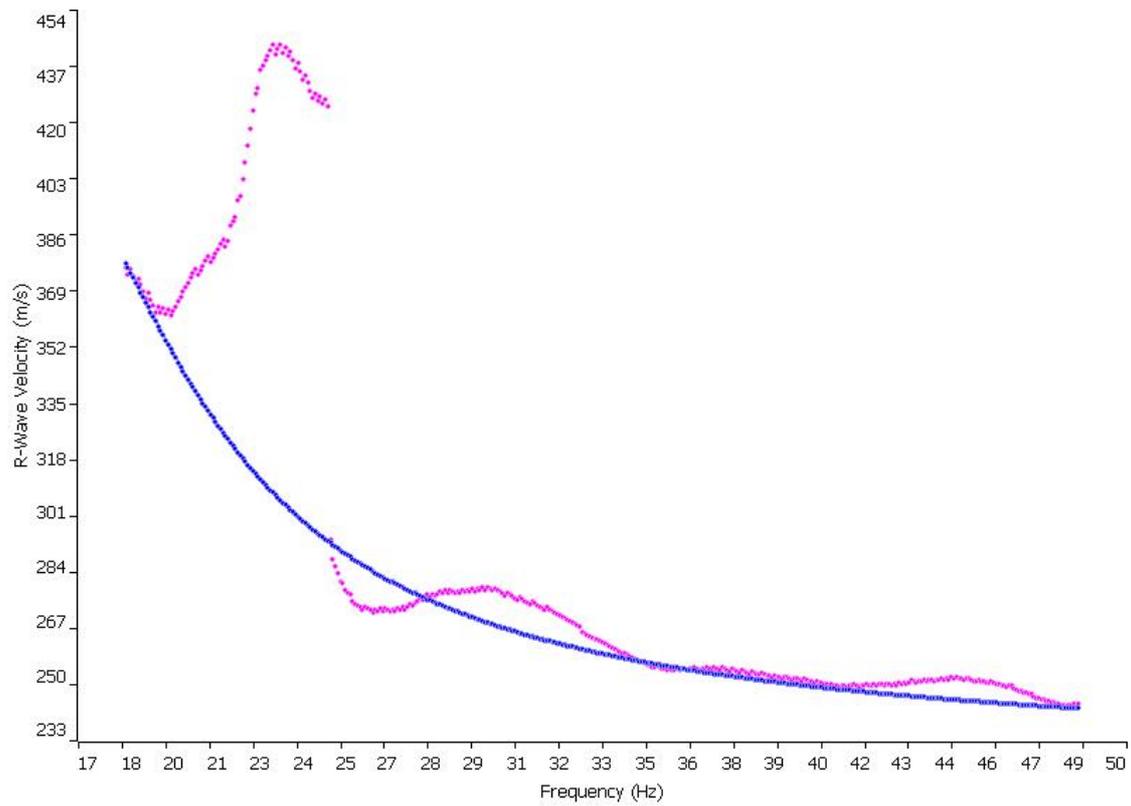
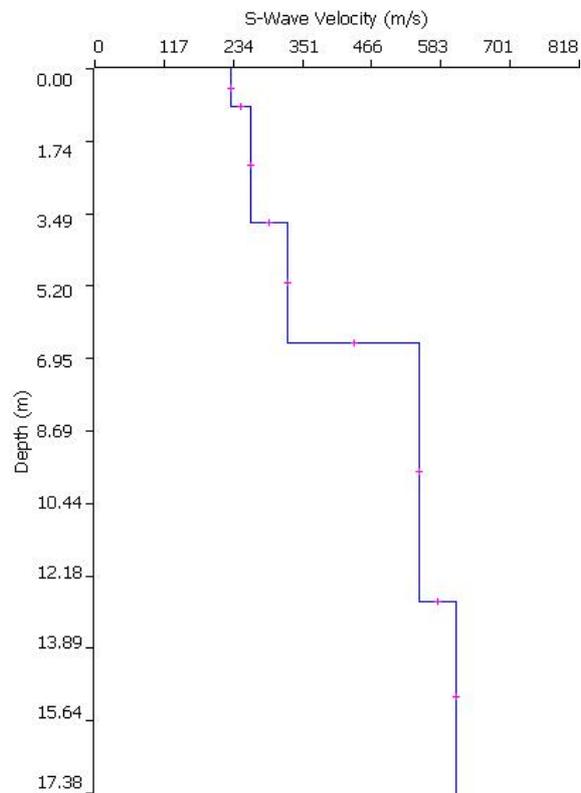


Fig. 14: Spettro Frequenza-velocità



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



**Fig. 16: Distribuzione Vs**

### SITO 3 (energizzazione 5m)

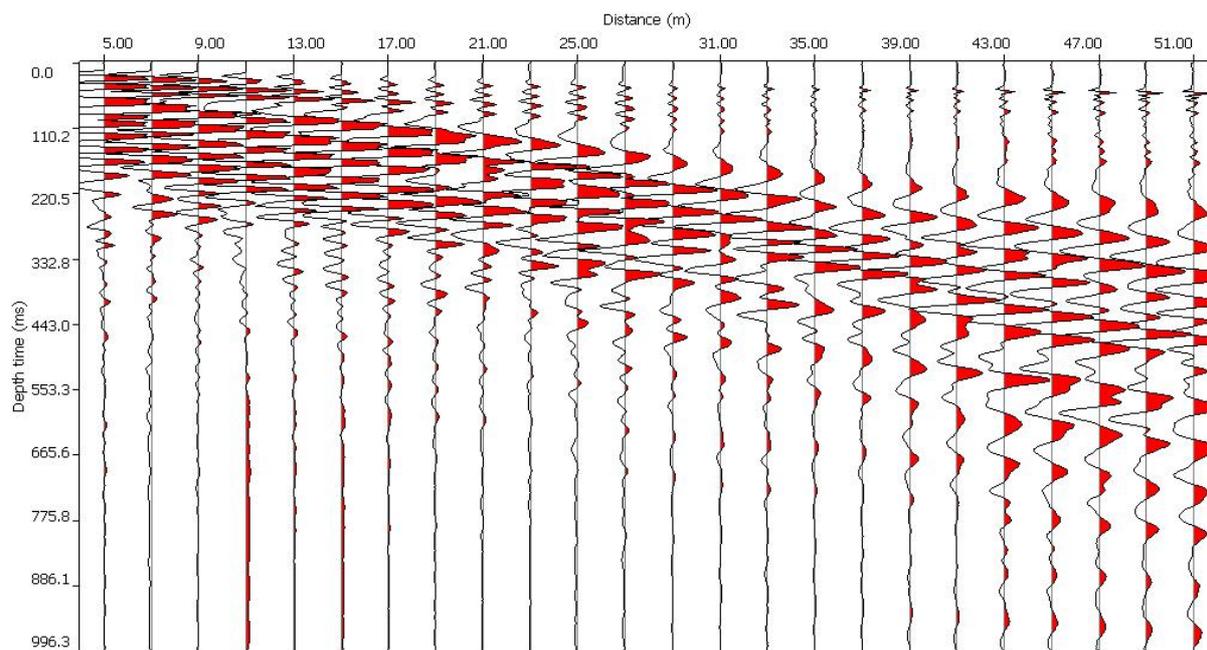


Fig. 17: Sismogramma medio

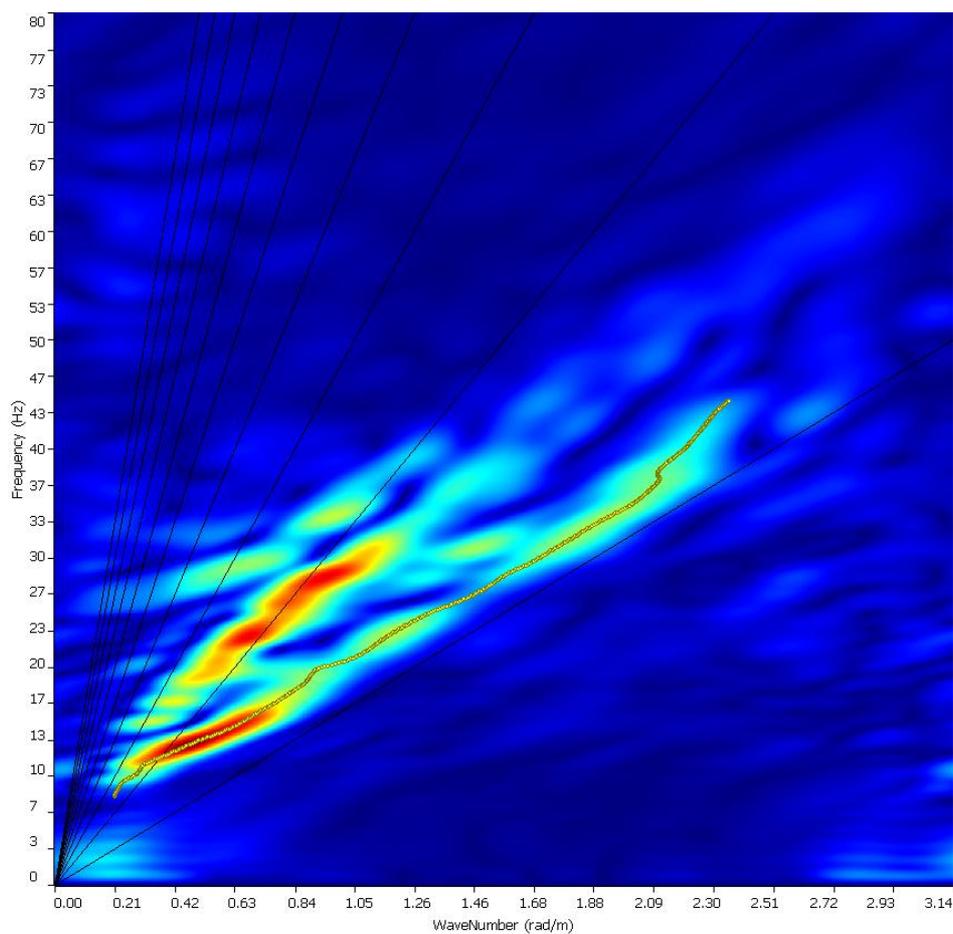
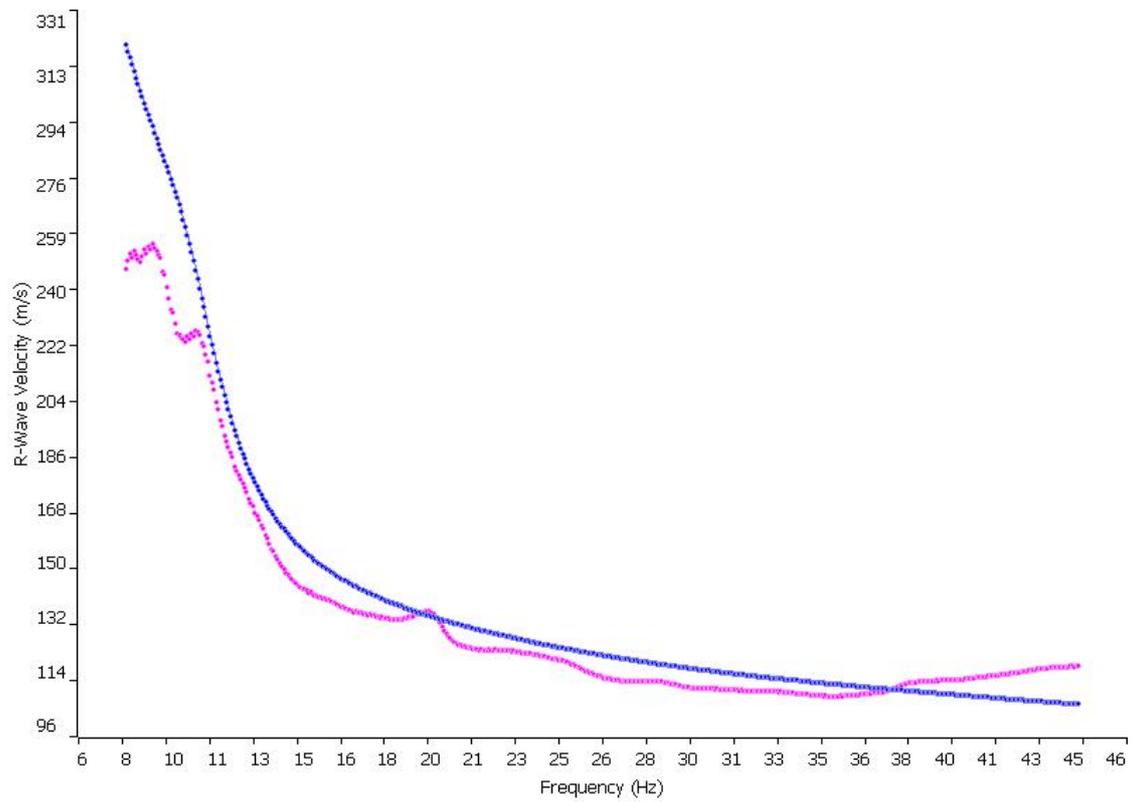
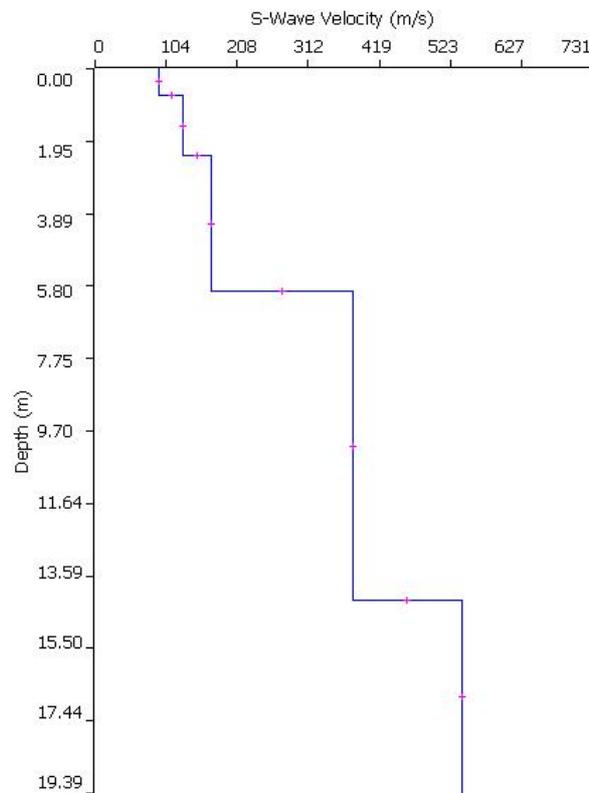


Fig. 18: Spettro Frequenza-velocità

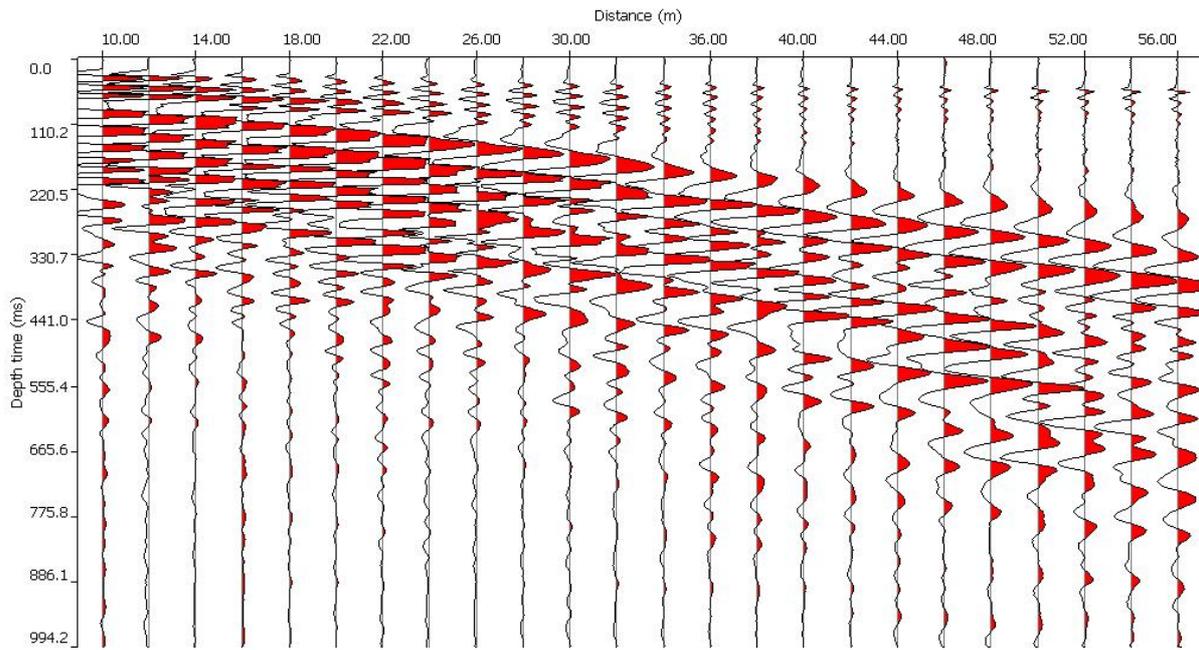


**Fig. 19: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)**

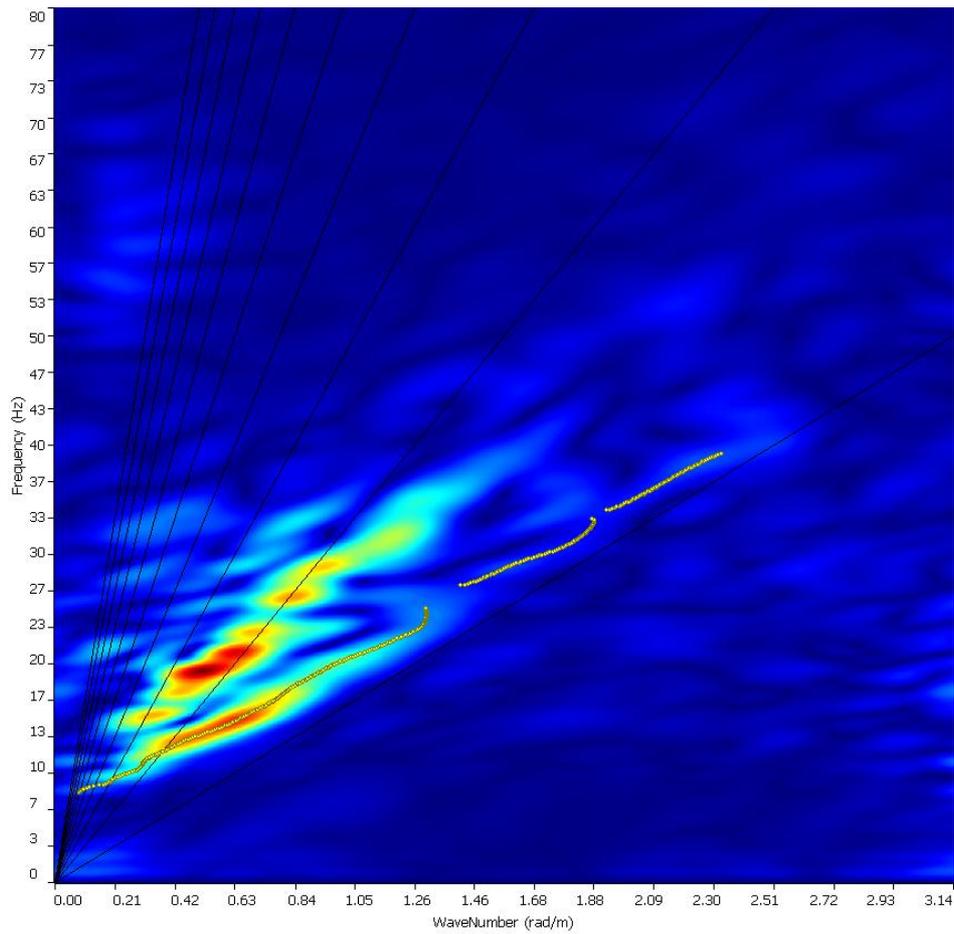


**Fig. 20: Distribuzione Vs**

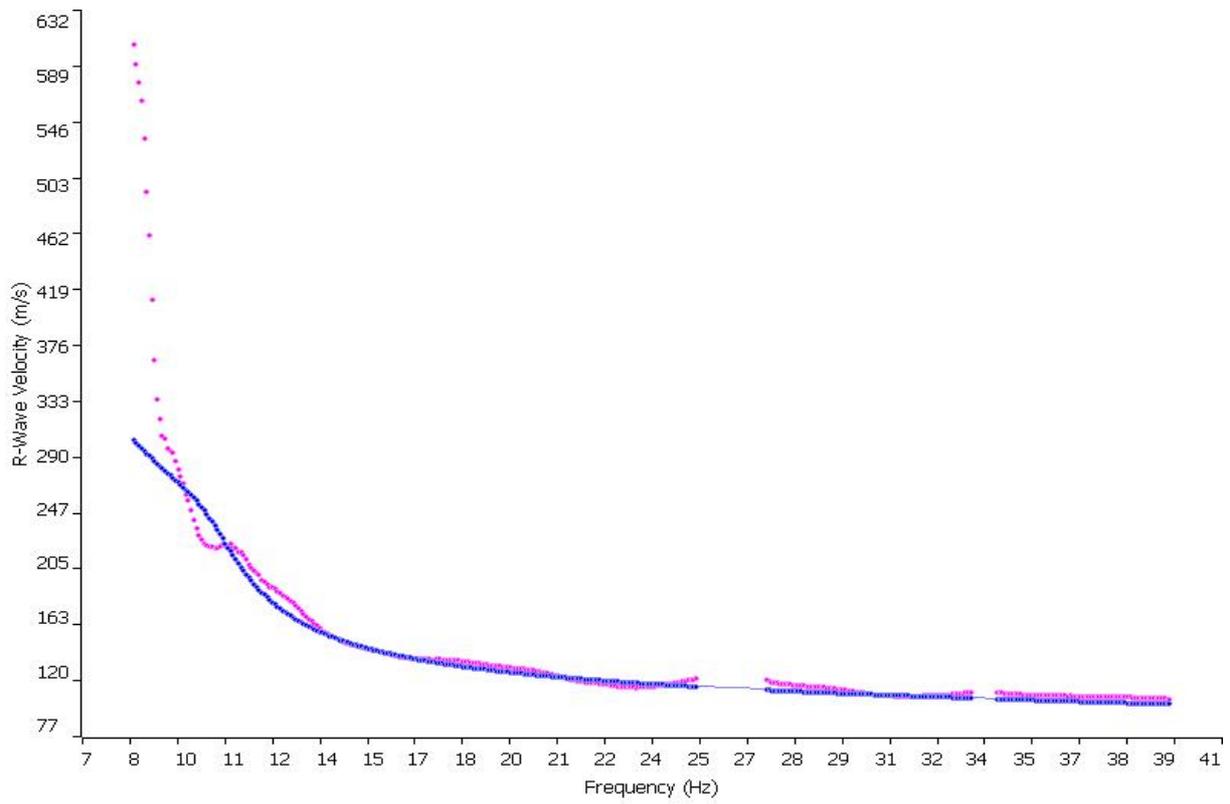
### SITO 3 (energizzazione 10m)



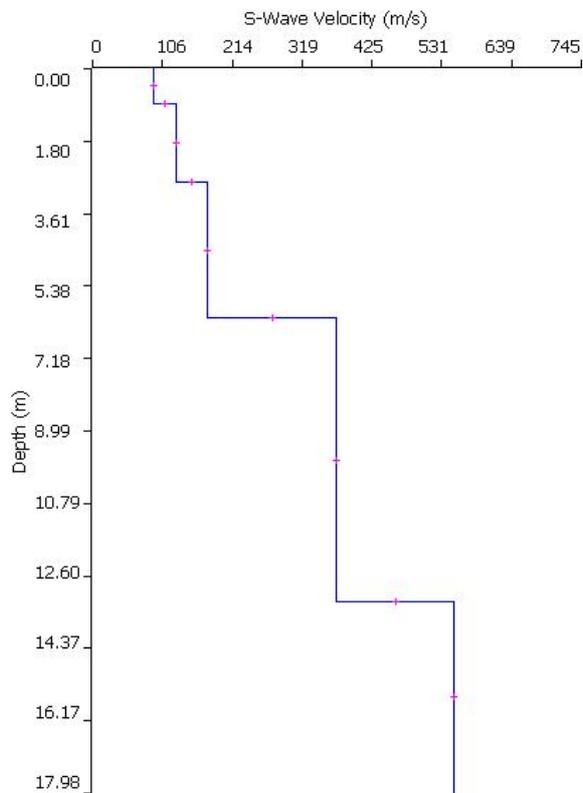
**Fig. 21: Sismogramma medio**



**Fig. 22: Spettro Frequenza-velocità**



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



**Fig. 24: Distribuzione Vs**

### SITO 4 (energizzazione 5m)

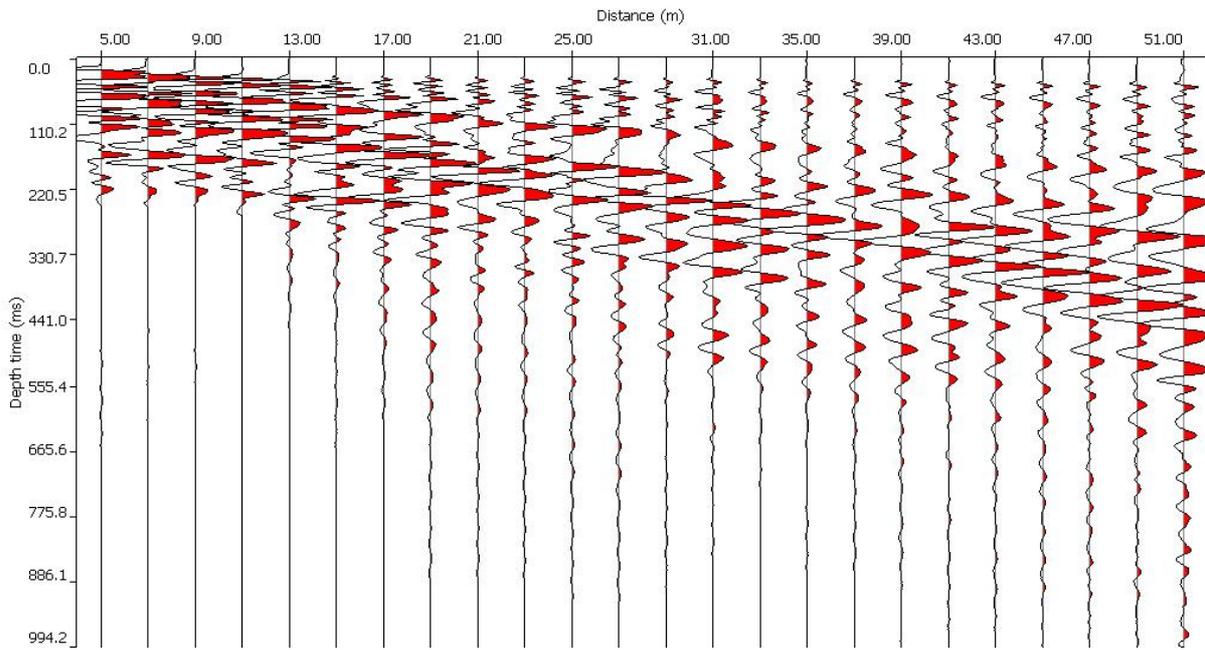


Fig. 25: Sismogramma medio

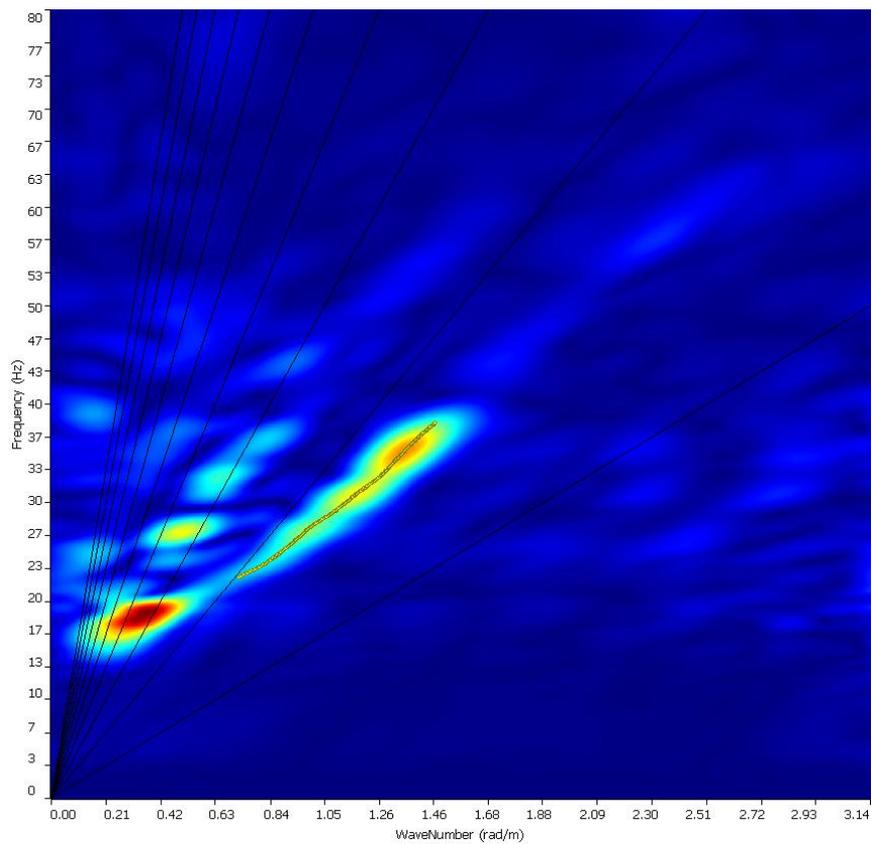
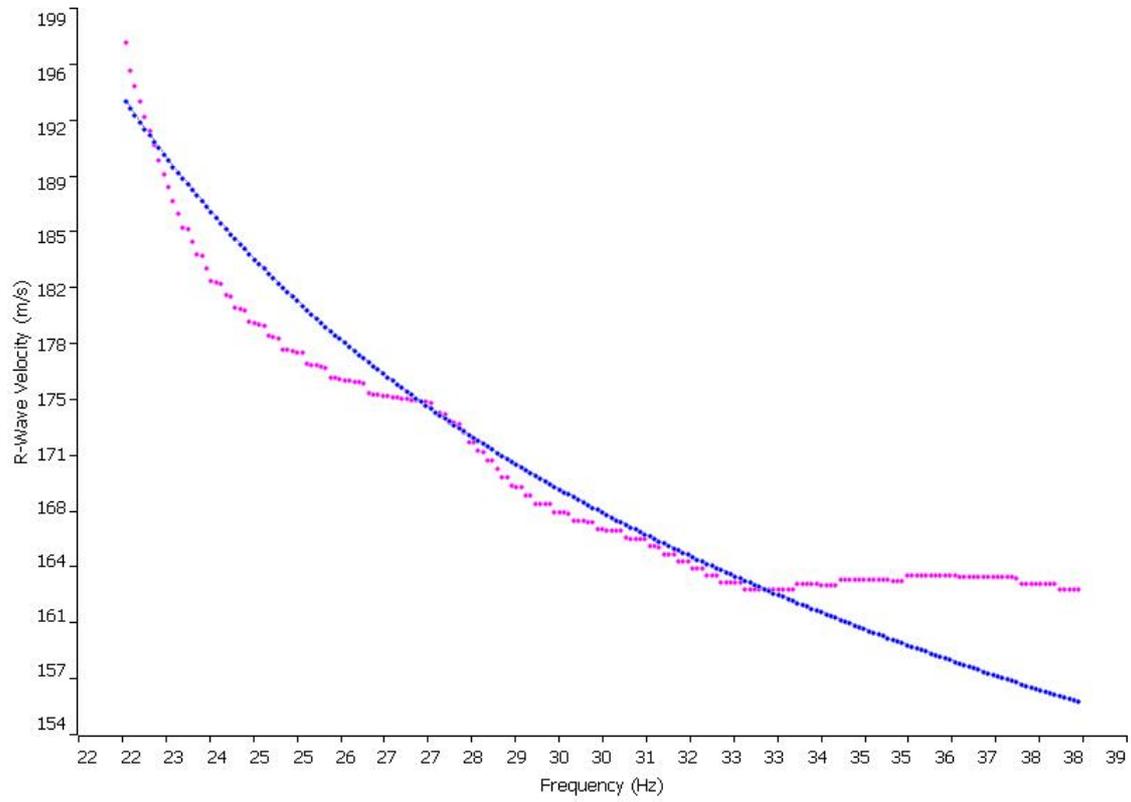
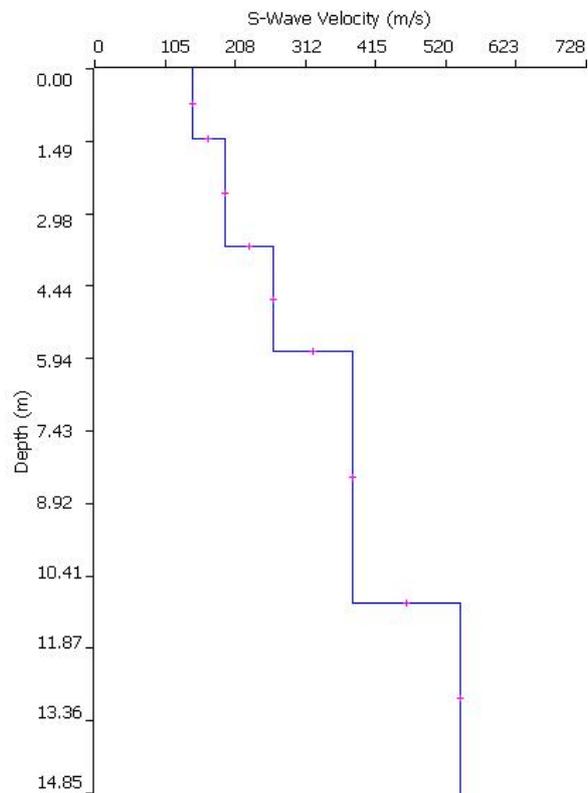


Fig. 26: Spettro Frequenza-velocità

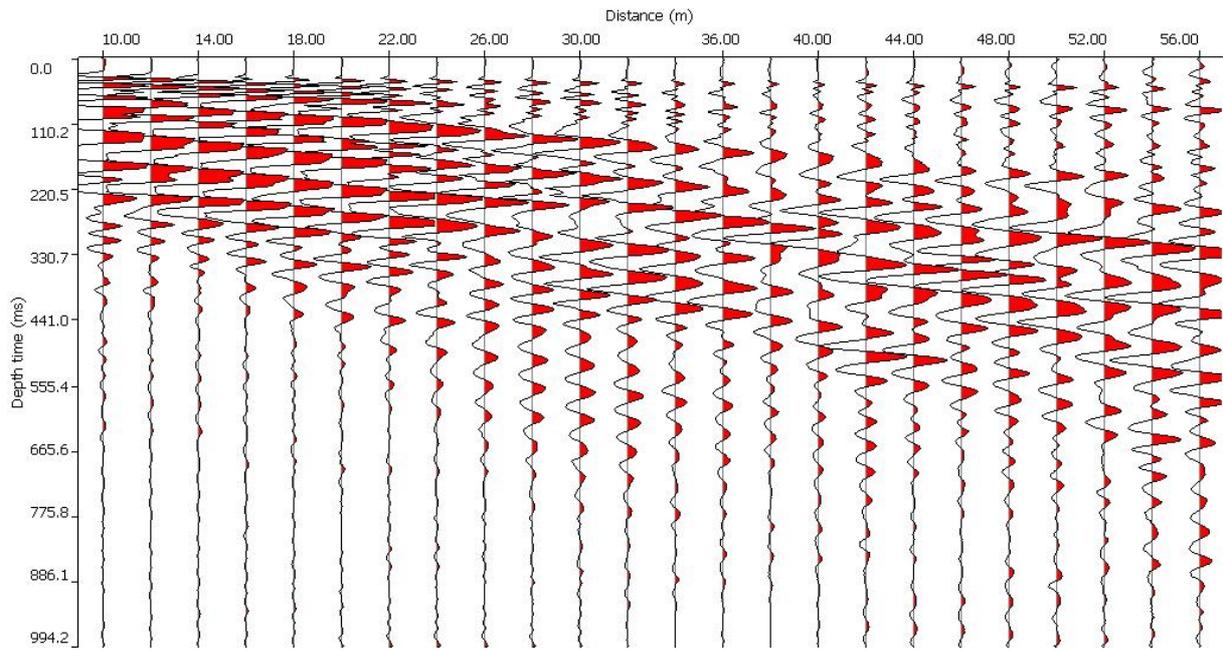


**Fig. 27: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)**

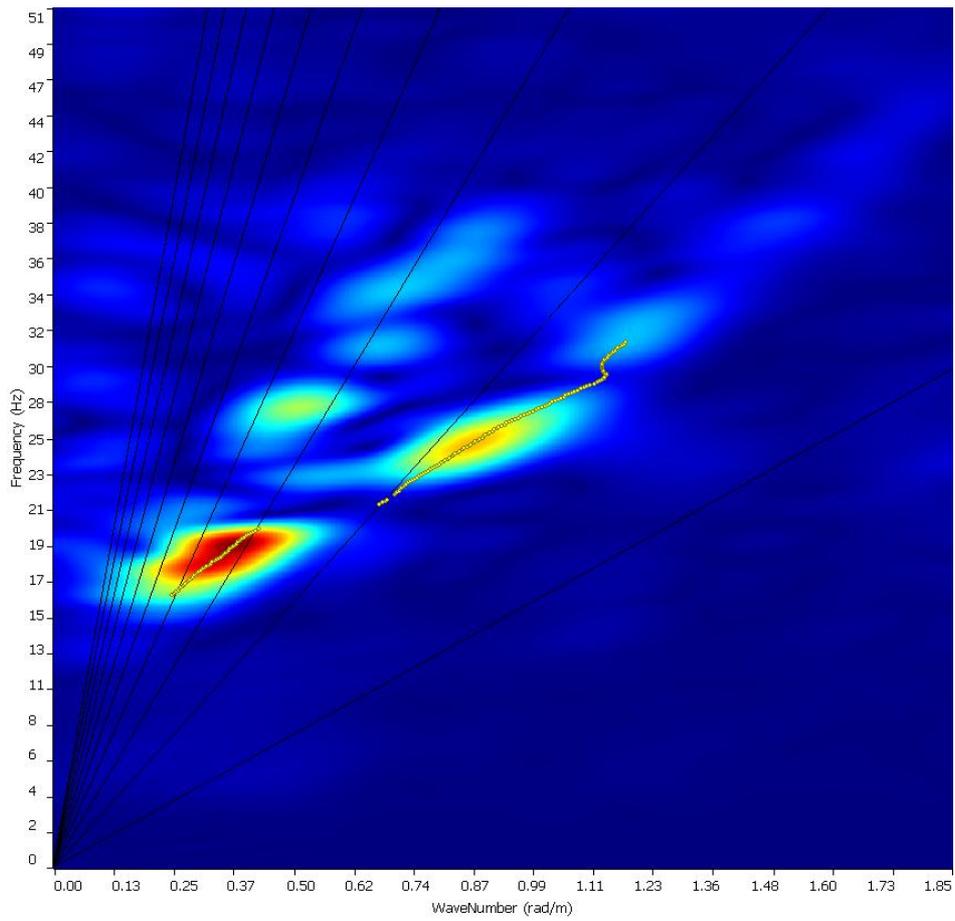


**Fig. 28: Distribuzione Vs**

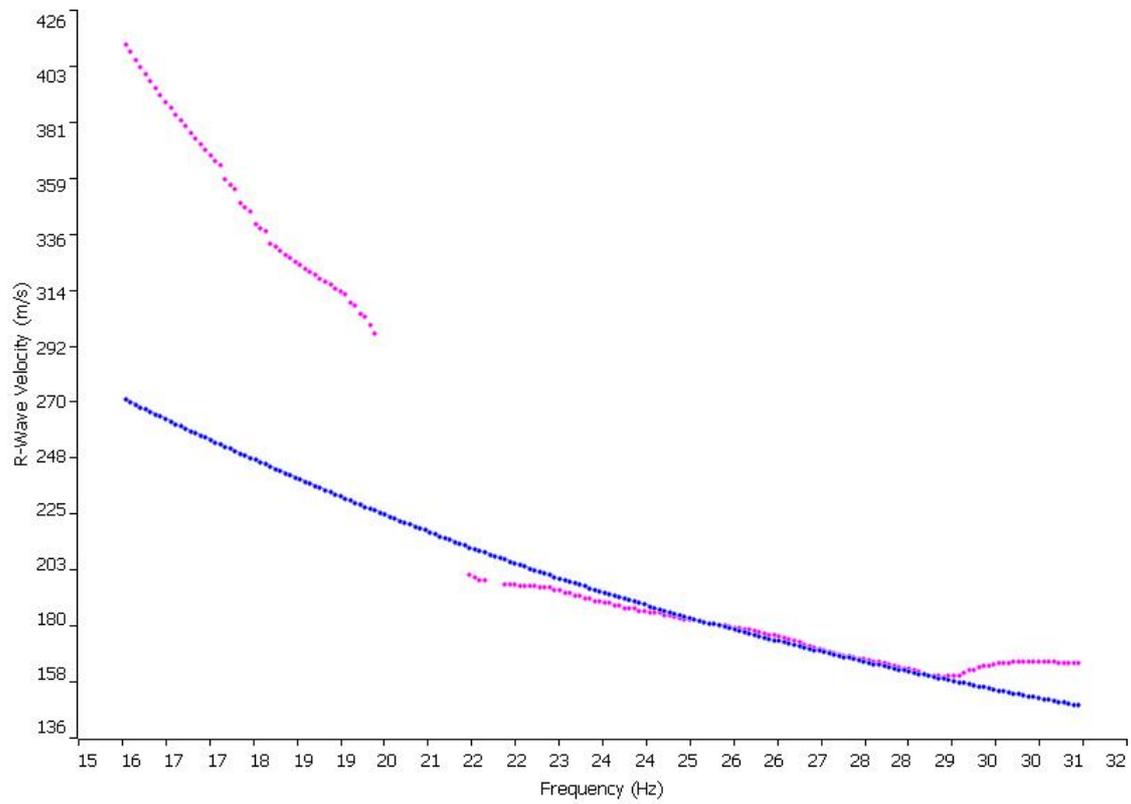
### SITO 4 (energizzazione 10m)



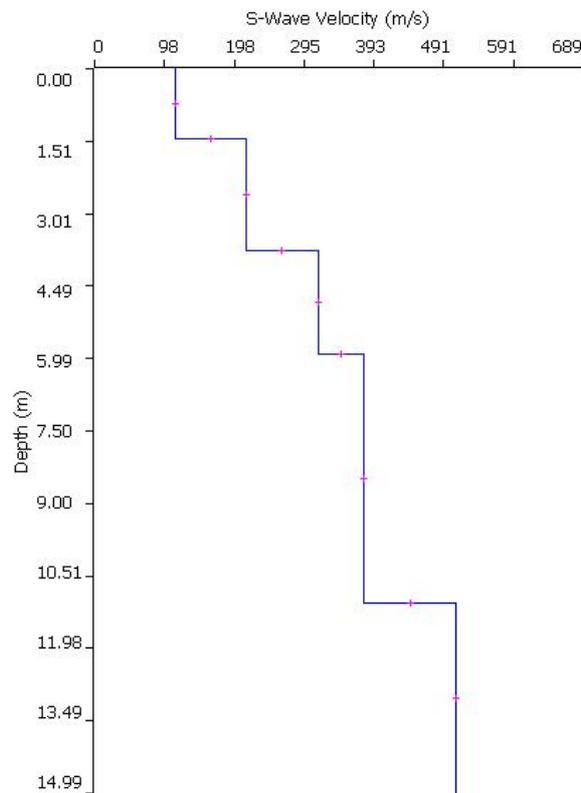
**Fig. 29: Sismogramma medio**



**Fig. 30: Spettro Frequenza-velocità**



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



**Fig. 32: Distribuzione Vs**