



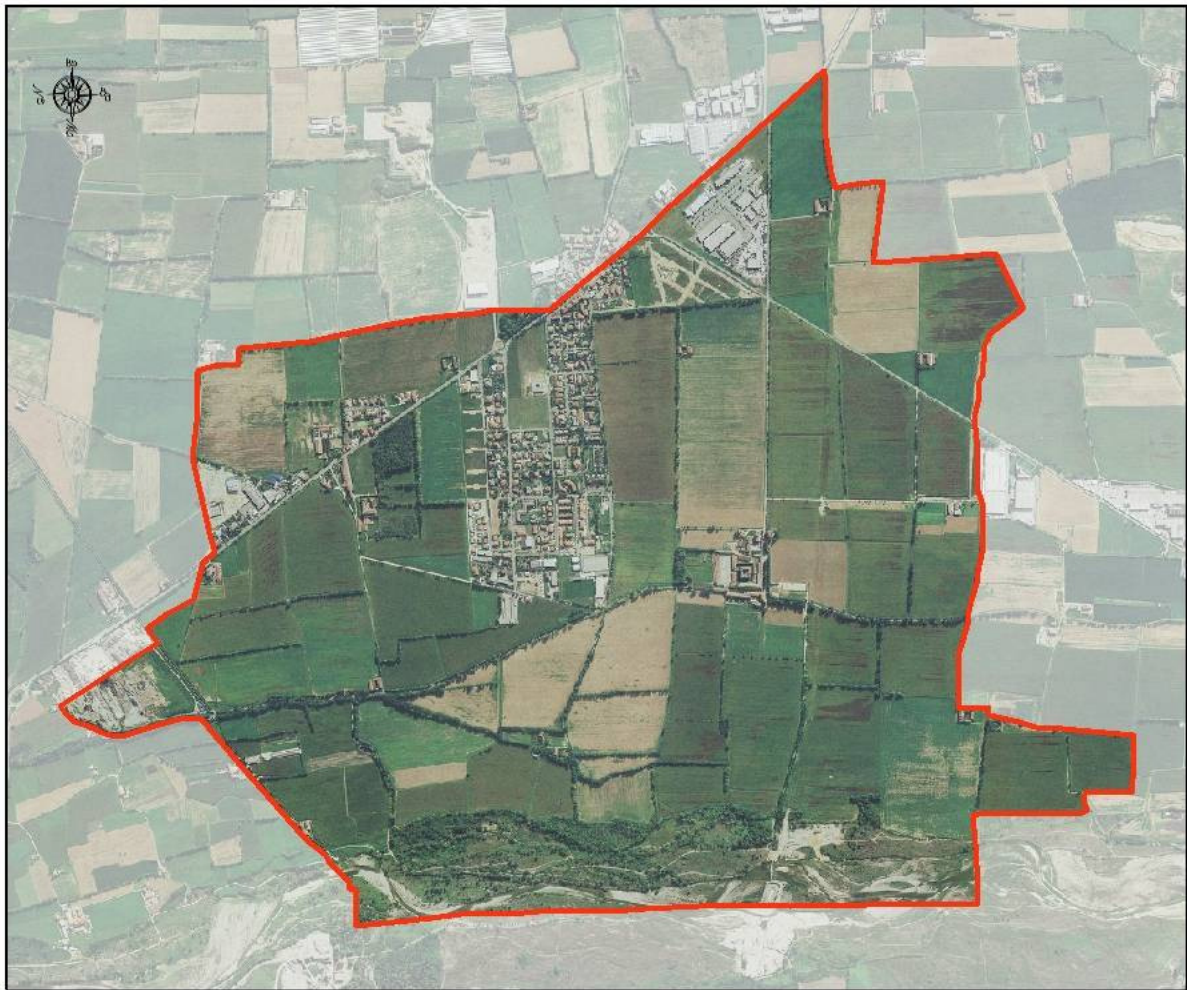
studio associato

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. SS-17 28/12/2010

# Comune di Cavernago

Via Giovanni XXIII, 24 – Cavernago (BG)



## AGGIORNAMENTO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL P.G.T. ai sensi della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008

*Relazione Geologica*

Bergamo, dicembre 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 SISMICA LOCALE (TAV. 1)</b>	<b>4</b>
2.1	Introduzione	4
2.2	Zonazione della pericolosità sismica locale	7
2.2.1	<b>PRIMO LIVELLO</b>	7
2.2.2	<b>SECONDO LIVELLO</b>	7
2.2.3	<b>TERZO LIVELLO</b>	16
<b>3</b>	<b>CARTA DEI VINCOLI (TAV. 2)</b>	<b>17</b>
3.1	Carta del dissesto con legenda uniformata al P.A.I. (TAV. 5)	18
3.1.1	<b>FASCE P.A.I.</b>	18
3.2	Aree di salvaguardia delle captazioni idropotabili	22
3.2.1	<b>AREE DI TUTELA ASSOLUTA</b>	22
3.2.2	<b>AREE DI RISPETTO</b>	22
<b>4</b>	<b>CARTA DI SINTESI (TAV. 3)</b>	<b>23</b>
4.1	Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche	23
4.2	Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico	23
4.3	Aree vulnerabili dal punto di vista idraulica	24
<b>5</b>	<b>CARTA DELLA FATTIBILITÀ (TAV. 4)</b>	<b>25</b>
5.1	Classi di fattibilità geologica	25
5.2	La fattibilità geologica nel comune di Cavernago	27
5.2.1	<b>CLASSE 2</b>	27
5.2.2	<b>CLASSE 3</b>	28
5.2.3	<b>CLASSE 4</b>	29
5.3	Normativa sismica	30
5.3.1	<b>EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA (PSL Z4)</b>	30

## Allegati

- 1 Schede regionali per la valutazione del Fattore di Amplificazione;
- 2 Velocità delle onde S, prove MASW Vs30;
- 3 Edifici strategici e rilevanti – D.D.U.O. 19904 del 21/11/2003.

## Tavole

- 1 Carta della Pericolosità Sismica Locale (scala 1:10.000);
- 2 Carta dei Vincoli (scala 1:5.000);
- 3 Carta di Sintesi (scala 1:5.00);
- 4A Carta della Fattibilità Geologica per le azioni di piano (scala 1:10.000);
- 4B Carta della Fattibilità Geologica per le azioni di piano (scala 1:5.000);
- 5 Carta del dissesto con legenda uniformata al P.A.I..







## 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 a un potenziale evento sismico.

Il presente studio è un aggiornamento dello "*Studio geologico del territorio comunale ai sensi della L.R. 41/97*" redatto nel 2003. Per la consultazione della documentazione di analisi propedeutica agli elaborati di seguito descritti si rimanda allo studio del 2003 depositato presso gli uffici comunali di Cavernago.



## 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:

**TAB. 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 Cavernago ricade nella zona sismica 3 (bassa sismicità).

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

**TAB. 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
2-3	Obbligatorio	nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- nelle aree indagate con il 2° livello quando $F_a$ calcolato > valore soglia comunale; - nelle zone PSL Z1, Z2.

Ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione non è più valutata riferendosi a una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, in base ai dati tabellati nell'Allegato B del citato D.M..



La suddivisione del territorio in zone sismiche, ai sensi dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria.

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

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

**TAB. 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 PERICOLOSITÀ 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		
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°

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

L'analisi di terzo livello prevede un approccio quantitativo. Va sempre applicata per l'analisi degli effetti di instabilità (PSL Z1), per l'analisi dei cedimenti e/o del potenziale di liquefazione del terreno (Z2) e nel caso di progetti che prevedano la realizzazioni di edifici con struttura flessibile e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i



15 piani nelle zone di amplificazione topografica (PSL Z3). In tutti gli altri casi, aree soggette ad amplificazione litologica (PSL Z4) e topografica, il terzo livello di approfondimento sismico va applicato quando i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia non sono verificati.

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 si definiscono infatti 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

L'omogeneità geomorfologica e litologica che caratterizza il territorio comunale di Cavernago ha determinato l'inserimento di tutto il territorio nella classe di pericolosità sismica locale **Z4a**. Viene distinta unicamente la zona della discarica, in località Biancinella, poiché le attività di scavo e riporto hanno determinato condizioni stratigrafiche diverse da quelle originali e pertanto inserita nello scenario **Z2**.

La zona Z4a individua quelle aree il cui sottosuolo è formato da depositi alluvionali e fluvioglaciali granulari e coesivi con classe di pericolosità sismica H2. Tale scenario richiede il secondo livello di approfondimento, ed eventualmente il terzo, nel caso di interferenza con l'urbanizzato e l'urbanizzabile.

La zona Z2 comprende le aree caratterizzate da terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale) e richiede l'applicazione diretta del terzo livello di approfondimento sismico.

### 2.2.2 Secondo livello

La procedura di secondo livello consiste in una valutazione semiquantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di fattore di amplificazione ( $F_a$ ) 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 (Tab. 4).

**TAB. 4: VALORI SOGLIA PER IL COMUNE DI CAVERNAGO**

	suolo tipo A	suolo tipo B	suolo tipo C	suolo tipo D	suolo tipo E
periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	--	1,5	1,9	2,3	2,0
periodo compreso tra 0,5 – 1,5 s	--	1,7	2,4	4,3	3,1

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

La procedura di calcolo del *fattore di amplificazione* è diversa per gli effetti morfologici (scenari Z3) piuttosto che litologici (scenari Z4).



Nel territorio di Cavernago non sono presenti aree che ricadono nello scenario Z3.

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 ( $V_s$ )** nel primo sottosuolo. Mediante queste informazioni e l'utilizzo delle schede litologiche preparate dalla Regione Lombardia è possibile la stima del  $F_a$ .

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

#### Procedura

Il primo punto della procedura di secondo livello prevede l'identificazione della litologia prevalente e il raffronto del profilo delle  $V_s$  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  $V_s$  con la profondità utilizzando gli abachi riportati nelle schede di valutazione.

Nel caso in cui l'andamento delle  $V_s$  con la profondità non ricada nel campo di validità della scheda litologica corrispondente deve essere utilizzata la scheda che presenta l'andamento delle  $V_s$  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  $F_a$  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  $V_s$  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  $V_s$  sono lo spessore e la velocità dello strato  $i$ -esimo.

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

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

Lo sviluppo della velocità delle onde S con la profondità è stato ottenuto mediante l'esecuzione di prospezioni geofisiche di tipo MASW nello Scenario di Pericolosità Sismica Locale Z4a (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 ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

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

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), 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 1 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<sub>s</sub>**) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

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



## Procedura in sito

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

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

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

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

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

## Interpretazione delle misure

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

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale **Vs** dalla curva di dispersione e sono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali. Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, sono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile



alle attività umane. Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni). Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

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

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

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



ulteriormente modificato per aumentare il grado di interpolazione tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

### La metodologia a RIFRAZIONE

#### Procedura in sito

La base sismica è stata ottenuta con la stesa di un cavo sismico per una lunghezza di 70 metri e l'utilizzo di 12 geofoni disposti con spaziatura 6 metri. L'esecuzione dell'indagine ha previsto 5 punti di energizzazione (shots).

La lunghezza dello stendimento definisce la profondità di indagine raggiungibile, mentre l'interdistanza tra i geofoni, il dettaglio della restituzione interpretativa. Questi due parametri devono quindi essere calibrati in modo da consentire di raggiungere il massimo dettaglio possibile per definire la profondità di indagine richiesta.

L'acquisizione dei dati a rifrazione è stata realizzata con l'impiego di geofoni a componente orizzontale, collegati al sismografo tramite un cavo multipolare.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati a rifrazione è un sismografo modello 16S24 prodotto dalla ditta Pasi di Torino; tale strumentazione è dotata di sommatoria del segnale con possibilità di filtratura diversa, in funzione dei disturbi da eliminare. L'energizzazione del terreno (sorgente di energia), è stata ottenuta impiegando un apposito cannoncino prodotto dalla ditta Four limited.

Sono state effettuate più ripetizioni dell'energizzazione per garantire una maggiore apprezzabilità dei segnali raccolti dall'acquisitore dati.

#### Interpretazione delle misure

L'elaborazione dei dati acquisiti in campagna è stata garantita dall'utilizzo di uno specifico programma di calcolo: InterSism 1.0 (GeoSoft) che utilizza metodi di calcolo diversi in funzione del tipo di indagine effettuata.

Nel caso specifico è stato applicato il Metodo del Reciproco Generalizzato (GRM). Definendo il numero e la posizione dei punti di ginocchio delle curve dromocrone, il programma effettua dapprima la traslazione dei segmenti di ogni dromocrona per ciascuna energizzazione e appartenenti allo stesso rifrattore per allinearli con un procedimento iterativo che permette di attribuire maggiore peso ai segmenti che



hanno un maggior numero di geofoni in comune. Per la valutazione dell'andamento delle dromocrone nei tratti non coperti dalle registrazioni il programma determina la pendenza media nei tratti di dromocrona noti nelle due direzioni, utilizzando le pendenze medie precedentemente calcolate.

Successivamente viene applicata l'analisi secondo il metodo GRM identificare la geometria dei rifrattori; il programma utilizza una procedura automatizzata che, partendo da un valore di XY di tentativo pari a zero (con cui ottiene la funzione tempo/profondità convenzionale) e della profondità presunta precedentemente calcolata al di sotto di ciascun geofono, sperimenta diversi valori di XY e determina la distanza XY ottimale, cioè la distanza per la quale i raggi diretti e inversi emergono in prossimità dello stesso punto sul rifrattore.

Tale interpretazione ha consentito di ricavare una stratigrafia delle onde Vs (Allegato 2) che suddivide il terreno in due unità geosismiche e permette il calcolo del valore Vs30 che in questo caso è pari a 566 m/s.

### Analisi dei risultati ottenuti

Nell'analisi di secondo livello sono state utilizzati i risultati ottenuti da 5 indagini geofisiche, 4 prove MASW ed una classica prova di sismica a rifrazione. Tre prove MASW sono state realizzate nell'ambito di questo incarico e sono individuate con i numeri da 1 a 3, una prova MASW è stata estratta da un precedente studio ed è individuata dal numero 4, mentre la prova di sismica a rifrazione era stata realizzata nell'ambito dell'attività progettuale dell'asilo di via A. Manzoni.

Tutte le prove sono state realizzate su terreni appartenenti al "Livello fondamentale della Pianura", come indicato nella Carta Geomorfologica dello "Studio Geologico del territorio comunale ai sensi della L.R. 41/97" di Cavernago.

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

Dai profili delle Vs (Allegato 2) è stato possibile ricavare il *fattore di amplificazione* (Tab. 5) e confrontarlo con i valori soglia (Tab. 6).



**TAB. 5: FATTORI DI AMPLIFICAZIONE CALCOLATI**

	periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	periodo compreso tra 0,5 – 1,5	Vs30 m/s
Sito 1	1,2	1,0	636 – 667
Sito 2	1,2	1,0	571 – 572
Sito 3	1,2	1,0	914 – 888
Sito 4	1,3	1,0	656 – 665
Sito 5	1,4	1,1	566

**TAB. 6: CONFRONTO TRA I VALORI CALCOLATI E I 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>1,5</b>	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>	<b>2,4</b>	<b>2,3</b>	<b>4,3</b>	<b>2,0</b>	<b>3,1</b>
Sito 1	1,2	1,0						
Sito 2	1,2	1,0						
Sito 3	1,2	1,0						
Sito 4	1,3	1,0						
Sito 5	1,4	1,1						

Le velocità delle onde S calcolate attribuiscono il sottosuolo di Cavernago alla classe B.

Nel sito 3, le velocità rilevate sono risultate particolarmente elevate, presumibilmente per la presenza di livelli conglomeratici che pongono la stratigrafia di questo sito al limite con un sottosuolo di tipo A, per il quale non sono previsti valori soglia (Tab. 6).

### 2.2.2.2 Considerazioni conclusive

#### Amplificazione litologica

I terreni appartenenti allo scenario di pericolosità sismica locale Z4a sono stati caratterizzati attraverso i risultati delle prove di sismica a rifrazione riportati nella tabella 6.

I *Fattori di amplificazione* calcolati sono risultati sempre inferiori al valore soglia indicato dalla Regione Lombardia sia per l'intervallo di oscillazione 0,1-0,5 s che per quello 0,5-1,5 s.



L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha permesso di verificare, per i siti esaminati, la validità della normativa vigente che risulta sufficientemente cautelativa per tutta l'area urbanizzata e urbanizzabile del territorio comunale (TAV. 2).

### **2.2.3 Terzo livello**

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

#### **2.2.3.1 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 Cavernago al sono presenti:

- ✚ 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, compreso il quadro del dissesto comprensivo delle aree a rischio idrogeologico molto elevato introdotto con gli aggiornamenti al PS 267.
- ✚ Vincoli di **polizia idraulica**: sul reticolo idrografico principale (individuato in base alla L. 1/2000 e successive modificazioni) ai sensi del R.D. n. 523/1904 art. 96 "Testo unico delle leggi sulle opere idrauliche" e successive disposizioni regionali in materia, e su quello minore secondo le relative direttive regionali (D.G.R. 7868 del 2002).
- ✚ **Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile** (pozzi e sorgenti): D.L. 152/99, D.L. 258/00 e D.G.R. 7-12693/2003:
  - Aree di tutela assoluta: si tratta delle aree di raggio uguale a 10 m di protezione assoluta delle captazioni di acque sotterranee destinate al consumo umano, pozzi o sorgenti. Per tali ambiti valgono le prescrizioni contenute nel documento "direttive per la disciplina delle attività all'interno delle aree di rispetto (comma 6 art.21 del DLGS 11 maggio 1999, n. 152 e successive modificazioni)" approvato con D.G.R. 10 aprile 2003 n. 7/12693 e pubblicato sul B.U.R.L. Serie Ordinaria n. 17 del 22 aprile 2003.

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

- Aree di rispetto: sono porzioni di territorio circostanti le zone di protezione assoluta con raggio di 200 m dal centro la captazione. Nel caso delle sorgenti tale perimetrazione è limitata al tratto di bacino a monte della captazione. Per tali ambiti valgono le prescrizioni contenute nel documento "direttive per la



disciplina delle attività all'interno delle aree di rispetto (comma 6 art.21 del DLGS 11 maggio 1999, n. 152 e successive modificazioni)" approvato con D.G.R. 10 aprile 2003 n. 7/12693 e pubblicato sul B.U.R.L. Serie Ordinaria n. 17 del 22 aprile 2003. Tale normativa dovrà essere applicata a tutti i settori di ciascuna classe e/o sottoclasse di fattibilità inclusi nella perimetrazione dell'area di rispetto.

### **3.1 Carta del dissesto con legenda uniformata al P.A.I. (TAV. 5)**

La *Carta del dissesto con legenda uniformata al P.A.I.* riporta sostanzialmente l'estensione delle tre fasce fluviali.

#### **3.1.1 Fasce P.A.I.**

Nel P.A.I. sono riportate tre fasce fluviali, definite come al punto 1 dell'allegato 3 delle NdA del Piano. La cartografia allegata al P.A.I. (prot. 014021 del 27.11.2003) ha evidenziato un errore nel tracciamento dei limiti di fascia A e B che è stato successivamente corretto dall'Autorità di Bacino.

Le fasce sono così distinte:

- fascia di deflusso della piena (fascia A) costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante la piena;
- fascia di esondazione (fascia B), esterna alla precedente, costituita dalla porzione di territorio interessata da inondazione al verificarsi della piena di riferimento;
- area di inondazione per piena catastrofica (fascia C), costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quella di riferimento.

#### ***Fascia A – fascia di deflusso della piena***

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

- a. Le attività di trasformazione dello stato dei luoghi, che modifichino l'assetto morfologico, idraulico, infrastrutturale, edilizio, fatte salve le prescrizioni dei successivi articoli;



- b. La realizzazione di nuovi impianti di smaltimento e di recupero dei rifiuti, l'ampliamento degli stessi impianti esistenti, nonché l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti, così come definiti dal D.Lgs. 22/97, fatto salvo quanto previsto al punto "l" delle attività consentite;
- c. La realizzazione di nuovi impianti di trattamento delle acque reflue, nonché l'ampliamento degli impianti esistenti di trattamento delle acque reflue, fatto salvo quanto previsto al punto "m" delle attività consentite;
- d. Le coltivazioni erbacee non permanenti e arboree, fatta eccezione per gli interventi di bioingegneria forestale e gli impianti di rinaturalizzazione con specie autoctone, per un'ampiezza di almeno 10 m dal ciglio di sponda, al fine di assicurare il mantenimento o il ripristino di una fascia continua di vegetazione spontanea lungo le sponde dell'alveo inciso, avente funzione di stabilizzazione delle sponde e riduzione della velocità della corrente;
- e. La realizzazione di complessi ricettivi all'aperto;
- f. Il deposito a cielo aperto, ancorché provvisorio, di materiali di qualsiasi genere.

Sono invece consentiti:

- a. I cambi colturali, che potranno interessare esclusivamente aree attualmente coltivate;
- b. Gli interventi volti alla ricostruzione degli equilibri naturali alterati e alla eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica;
- c. Le occupazioni temporanee se non riducono la capacità di portata dell'alveo, realizzate in modo da non arrecare danno o da risultare di pregiudizio per la pubblica incolumità in caso di piena;
- d. I prelievi manuali di ciottoli, senza taglio di vegetazione, per quantitativi non superiori a 150 m<sup>3</sup> annui;
- e. La realizzazione di accessi per natanti alle cave di estrazione ubicate in golena, per il trasporto all'impianto di trasformazione, purché inserite in programmi individuati nell'ambito dei Piani di settore;
- f. I depositi temporanei conseguenti e connessi ad attività estrattiva autorizzata ed agli impianti di trattamento del materiale estratto e presente nel luogo di



produzione da realizzare secondo le modalità prescritte dal dispositivo di autorizzazione;

- g. Il miglioramento fondiario limitato alle infrastrutture rurali compatibili con l'assetto di fascia;
- h. Il deposito temporaneo a cielo aperto di materiali che per le loro caratteristiche non si identificano come rifiuti, finalizzato ad interventi di recupero ambientale comportanti il ritombamento di cave;
- i. il deposito temporaneo di rifiuti come definito all'art. 6, comma 1, let. M) del D.Lgs. 22/97;
- j. l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti già autorizzate ai sensi del D.Lgs. 22/97 (o per le quali sia stata presentata comunicazione di inizio attività, nel rispetto delle norme tecniche e dei requisiti specificati all'art. 31 dello stesso D.Lgs 22/97) alla data di entrata in vigore del Piano, limitatamente alla durata dell'autorizzazione stessa;
- k. l'adeguamento degli impianti esistenti di trattamento delle acque reflue alle normative vigenti, anche a mezzo di eventuali ampliamenti funzionali.

### ***Fascia B – fascia di esondazione***

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

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

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



- d. gli interventi di sistemazione idraulica quali argini o casse di espansione e ogni altra misura idraulica atta ad incidere sulle dinamiche fluviali, solo se compatibili con l'assetto di progetto dell'alveo derivante dalla limitazione della fascia;
- e. gli impianti di trattamento delle acque reflue, qualora sia dimostrata l'impossibilità della loro localizzazione al di fuori delle fasce, nonché gli ampliamenti e messa in sicurezza di quelli esistenti; i relativi interventi sono soggetti a parere di compatibilità dell'Autorità di bacino;
- f. la realizzazione di complessi ricettivi all'aperto, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente;
- g. l'accumulo temporaneo di letame per uso agronomico e la realizzazione di contenitori per il trattamento e/o stoccaggio degli effluenti zootecnici, ferme restando le disposizioni all'art. 38 del D. Lgs. 153/99 e successive modifiche e integrazioni;
- h. il completamento degli esistenti impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti a tecnologia complessa, quand'esso risultasse indispensabile per il raggiungimento dell'autonomia degli ambiti territoriali ottimali così come individuati dalla pianificazione regionale e provinciale; i relativi interventi sono soggetti a parere di compatibilità dell'Autorità di bacino.

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

### ***Fascia C – area di inondazione per piena catastrofica***

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

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



necessari a garantire la sicurezza dei locali in caso di allagamento (altezza degli impianti elettrici dalla pavimentazione).

### **3.2 Aree di salvaguardia delle captazioni idropotabili**

#### **3.2.1 Aree di tutela assoluta**

Si tratta delle aree di raggio uguale a 10 m di protezione assoluta delle captazioni di acque sotterranee destinate al consumo umano, pozzi o sorgenti. Per tali ambiti valgono le prescrizioni contenute nel documento “direttive per la disciplina delle attività all’interno delle aree di rispetto (comma 6 art. 21 del D.Lgs 11 maggio 1999, n. 152 e successive modificazioni)” approvato con D.G.R. 10 aprile 2003 n. 7/12693 e pubblicato sul B.U.R.L. Serie Ordinaria n. 17 del 22 aprile 2003 (Allegato 3) e ribadito nell’art. 94 del D.Lgs 152 del 3 aprile 2006.

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

#### **3.2.2 Aree di rispetto**

Le zone di rispetto sono porzioni di territorio circostanti le zone di protezione assoluta con raggio di 200 m dal centro la captazione. Nel caso delle sorgenti tale perimetrazione è limitata al tratto di bacino a monte della captazione. Per tali ambiti valgono le prescrizioni contenute nel documento “direttive per la disciplina delle attività all’interno delle aree di rispetto (comma 6 art. 21 del DLGS 11 maggio 1999, n. 152 e successive modificazioni)” approvato con D.G.R. 10 aprile 2003 n. 7/12693 e pubblicato sul B.U.R.L. Serie Ordinaria n. 17 del 22 aprile 2003 e ribadito nell’art. 94 del D.Lgs 152 del 3 aprile 2006. Tale normativa dovrà essere applicata a tutti i settori di ciascuna classe e/o sottoclasse di fattibilità inclusi nella perimetrazione dell’area di rispetto.



## 4 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 della pericolosità e sulle aree di influenza dei fenomeni.

Nel presente studio di aggiornamento si ricomprende, per maggior completezza, la *Carta di Sintesi*, mentre le carte tematiche dalla quale deriva sono inserite negli elaborati allegati al precedente studio.

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

La suddivisione di questo ambito di pericolo rispecchia i limiti delle due unità fisiografiche in cui è suddiviso il territorio di Cavernago. I differenti meccanismi di sedimentazione che sono all'origine della distinzione tra l'unità fisiografica Valle del Serio ed il Livello Fondamentale della Pianura hanno determinato difformità nella composizione tessiturale del primo sottosuolo e un conseguente diverso comportamento meccanico.

**gt1:** area prevalentemente ghiaiosa sabbiosa con discreta buona capacità portante. Individua l'unità fisiografica del Livello Fondamentale della Pianura che in questo settore della provincia presenta una limitata variabilità tessiturale.

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

### 4.2 *Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico*

Zone interessate dalla presenza di centri di pericolo.

**bgp:** discarica di rifiuti speciali Bergamo Pulita s.r.l. in località Cava Biancinella.





### **4.3 Aree vulnerabili dal punto di vista idraulica**

- in1:** area ripetutamente allagata. In essa vi è compreso l'alveo attivo e le fasce immediatamente circostanti il Fiume Serio dove sono riconoscibili attività di deposizione di sedimenti sabbiosi e trasporto di detriti dalle correnti.
- in2:** area frequentemente inondabile. Vi è compreso il campo di inondazione con tracimazione su aree aventi forme relitte di percorso fluviale e parziale tessitura antropica con allagabilità e ristagno delle acque controllata sia dalle forme fluviali relitte che da manufatti e deposizione di sedimenti sabbiosi e limosi.
- trc:** area con moderato rischio di inondazione. Area individuata con criterio geomorfologico con espansione e ristagno delle acque di esondazione controllata da manufatti e con deposizione di sedimenti sabbiosi limosi.



## 5 CARTA DELLA FATTIBILITÀ (TAV. 4)

### 5.1 Classi di fattibilità geologica

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

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

La D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005, successivamente aggiornata dalla 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 dal D.M. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni".*

#### **Classe 2 (gialla) – Fattibilità con modeste limitazioni**

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



### **Classe 3 (arancione) – Fattibilità con consistenti limitazioni**

*La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa. Il professionista 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 sottolinea che gli approfondimenti di cui sopra, non sostituiscono, anche se possono comprendere, le indagini previste dal d.m. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni".*

### **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.*

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

## **5.2 La fattibilità geologica nel comune di Cavernago**

### **5.2.1 Classe 2**

La classe 2 individua le zone dove sono state rilevate modeste limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso. Comprende la maggior parte del territorio comunale e coincide con l'unità fisiografica del Livello Fondamentale della Pianura.

Nel comune di Cavernago quest'unità è contraddistinta da un sottosuolo con discrete, buone proprietà meccanica e da una limitata variabilità dei caratteri tessiturali



Qualsiasi modifica alle destinazioni d'uso di queste aree è subordinata alla realizzazione di un accertamento geognostico sulla base di quanto contenuto nel D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008. Tale accertamento potrà essere effettuato mediante indagini geognostiche ad hoc, oppure essere basato sulla conoscenza della situazione geologica idrogeologica locale derivante dall'esperienza del tecnico incaricato.

Al fine di proteggere l'acquifero da agenti inquinanti e dall'impatto antropico si consiglia di far seguire alle richieste di concessione edilizia:

- un'indicazione quantitativa e qualitativa degli scarichi liquidi prodotti dal fabbricato o dal complesso di cui si richiede la costruzione;
- un'indicazione progettuale dei sistemi di depurazione corrispondenti e/o dei sistemi adottati per l'eliminazione dei materiali residui e la salvaguardia idrogeologica e relativi criteri costruttivi.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per le fasce di rispetto delle captazioni idropotabili agli ambiti che ricadono nelle rispettive perimetrazioni (parag. 3.2).

### **5.2.2 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**

In questa sottoclasse è stata inserita una fascia di terreno ampia 20 metri a ridosso della discarica di rifiuti speciali di II categoria, tipo B, in località Cava Biancinella.

L'utilizzo di questa superficie è subordinato all'accertamento diretto delle caratteristiche meccaniche del sottosuolo mediante indagini geognostiche ad hoc, nonché allo studio delle interferenze sulle principali matrici ambientali del vicino corpo discarica (qualità acqua sotterranea, rete idrografica superficiale e aria).

Per la mitigazione del rischio di inquinamento della falda freatica dovranno essere applicate le prescrizioni di cui alla classe 2.



### **- 3b**

La sottoclasse 3b comprende la perimetrazione in fascia C del PAI (area di esondazione per piena catastofica) e le aree a rischio di allagamento per tracimazione individuate con criterio geomorfologico.

In quest'area gli interventi non dovranno modificare i fenomeni idraulici naturali che possono aver luogo, né costituire significativo ostacolo al deflusso e/o limitare in maniera significativa la capacità d'invaso. A tal fine i progetti dovranno essere corredati da un'analisi di compatibilità idraulica che documenti l'assenza delle suddette interferenze o indichi i rimedi progettuali per ovviare a tale rischio quali ad esempio sopralzi, recinzioni impermeabili ed altri accorgimenti tecnici necessari a garantire la sicurezza dei locali in caso di allagamento (altezza degli impianti elettrici dalla pavimentazione).

Si applicano altresì le prescrizioni previste per la sottoclasse 3a.

### **5.2.3 Classe 4**

#### **- 4a**

La sottoclasse 4a coincide con la perimetrazione inclusa nella fascia A del PAI. Si applicano le relative prescrizioni (paragrafo 3.1.1).

#### **- 4b**

La sottoclasse 4b coincide con la fascia B del P.A.I. Si applicano le relative prescrizioni (paragrafo 3.1.1).

#### **- 4c**

Rientra nella sottoclasse 4c il corpo della discarica Bergamo Pulita s.r.l. e le aree a essa immediatamente adiacenti in località Cava Biancinella.

In questa zona una qualsiasi modifica alla destinazione dovrà essere preceduta da una campagna di indagini geognostiche/geofisiche, nonché analisi di laboratorio, atte ad accertare l'estensione del sito contaminato ed eventuali dispersioni di reflui nel sottosuolo, in applicazione del D.Lgs 152/2006, recante criteri, procedure e metodi per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti contaminati.



### 5.3 Normativa sismica

L'approfondimento sismico di secondo livello è stato applicato alle aree urbanizzate e urbanizzabili, limitrofe agli insediamenti residenziali o produttivi attualmente esistenti.

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

Nello scenario Z4 è richiesta l'applicazione del secondo livello di approfondimento sismico per le aree edificabili e interferenti con l'urbanizzato e l'urbanizzabile, e l'approfondimento di terzo livello solo quando il *fattore di amplificazione* calcolato è maggiore del valore soglia.

L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha rilevato che nei siti indagati non è necessario implementare il terzo livello di approfondimento sismico poiché i *Fattori di amplificazione* sono risultati verificati per entrambi gli intervalli del periodo di oscillazione (0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s).

Qualora i *Fa* calcolati con l'analisi di secondo non fossero verificati, dovrà essere applicato il terzo livello di approfondimento rispettando le direttive tecniche regionali riassunte nel paragrafo 2.2.3.1. Tali approfondimenti dovranno essere preceduti dalla definizione della classe sismica di appartenenza del suolo (A, B, C, D, E).

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

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

Dott. Geol. Renato Caldarelli



Dott. Geol. Massimo Elitropi



**ALLEGATI**

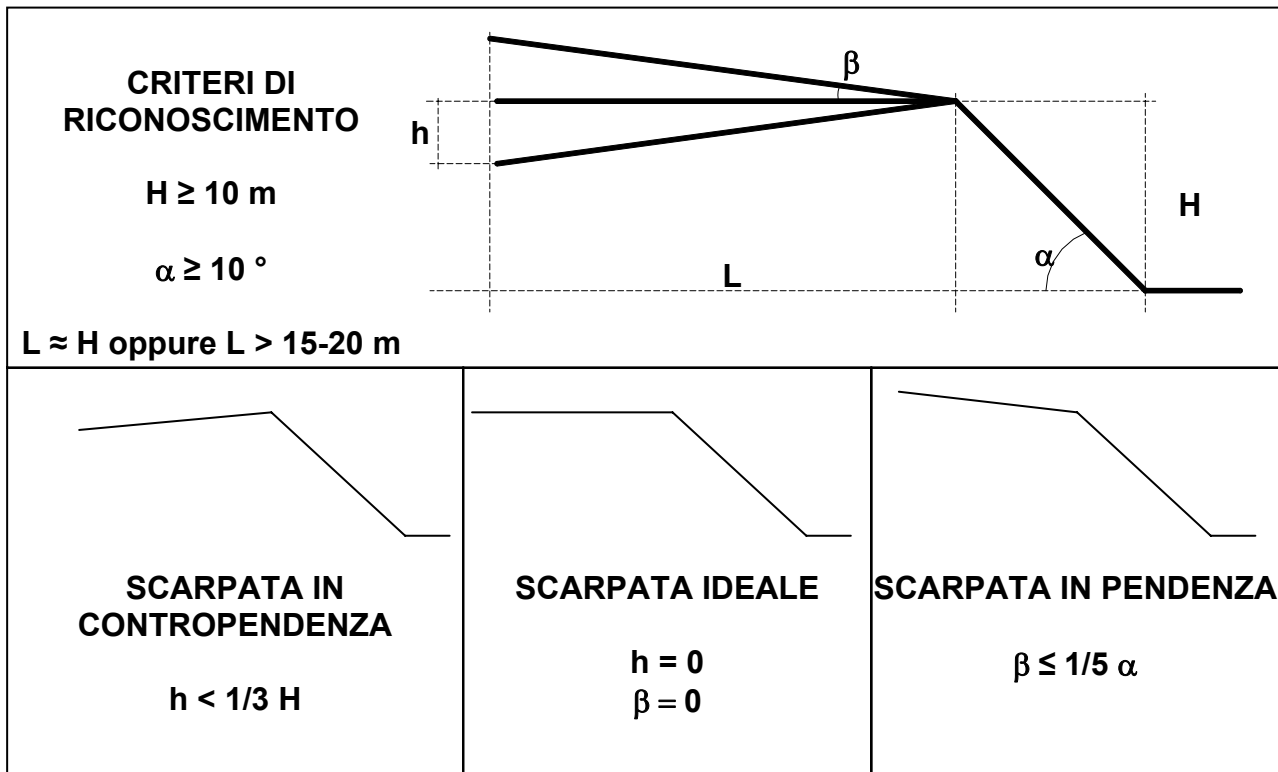




**SCHEDE REGIONALI PER LA  
VALUTAZIONE DEL FATTORE DI  
AMPLIFICAZIONE**



EFFETTI MORFOLOGICI – SCARPATA - SCENARIO Z3a



Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di Fa	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	

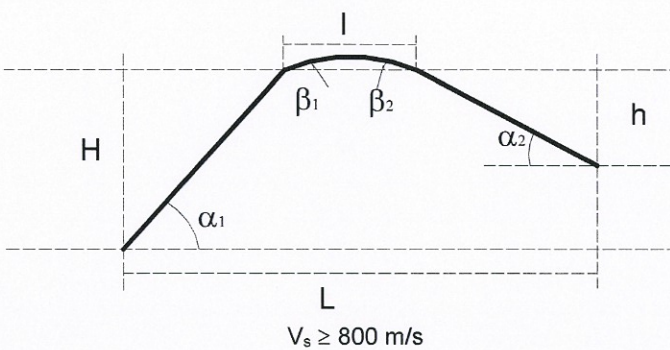
EFFETTI MORFOLOGICI – CRESTE - SCENARIO Z3b

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

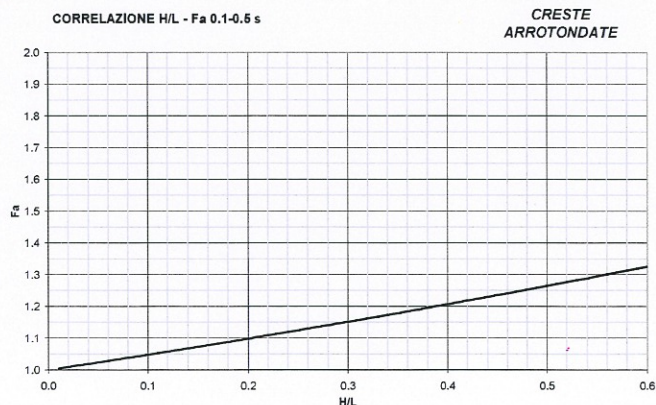
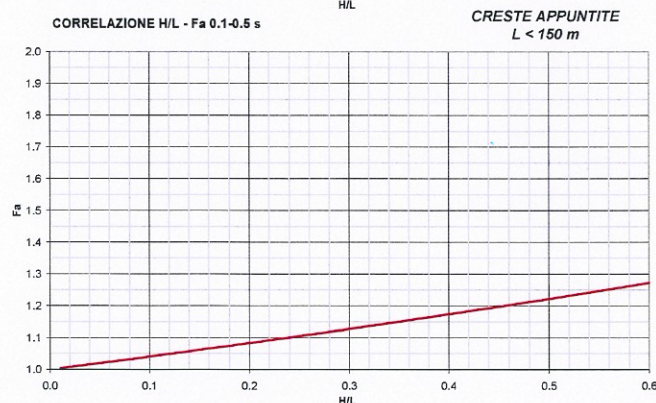
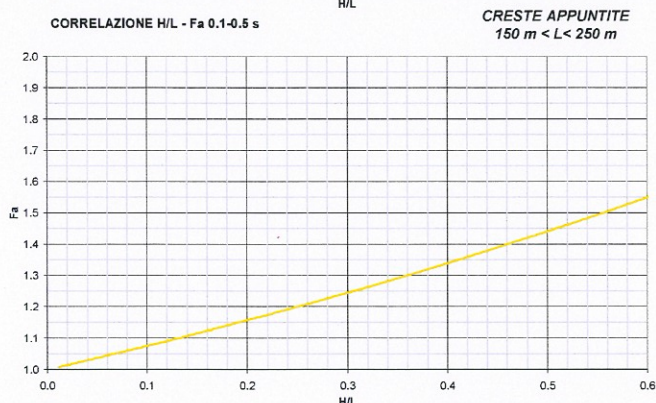
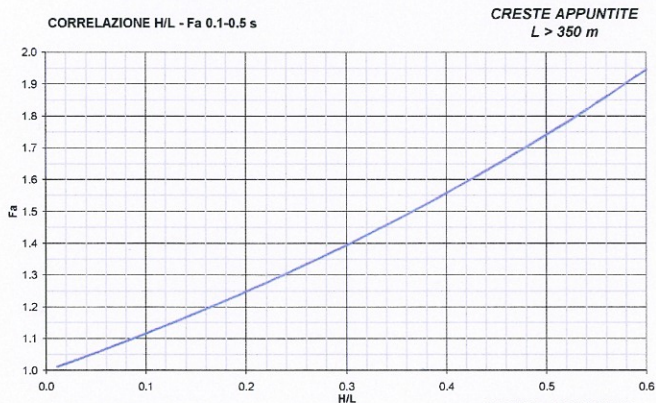
CRESTA  
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$  e  $\alpha_2 \geq 10^\circ$   
 $h \geq 1/3 H$

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 LITOLGICI - SCHEDA LITOLOGIA GHIAIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

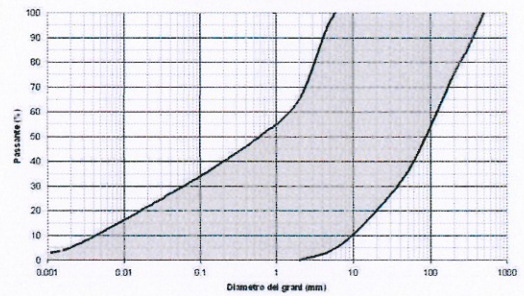
GRANULOMETRIA:

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

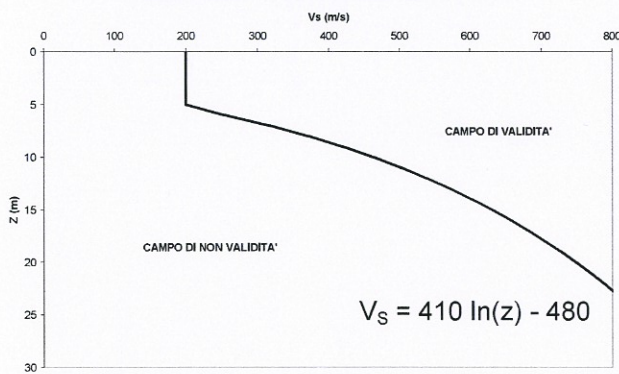
NOTE:

- 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

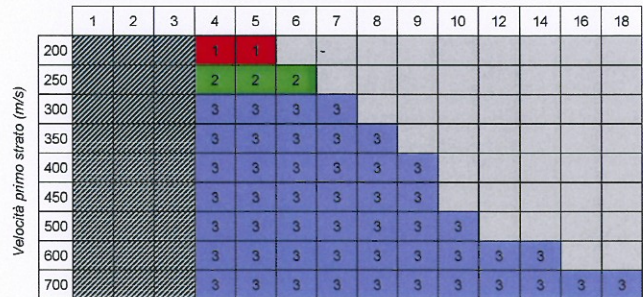
FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO



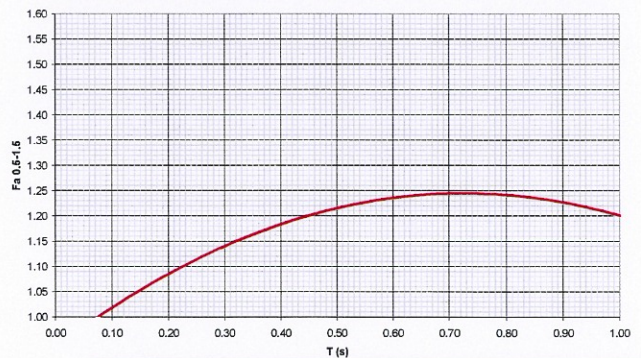
ANDAMENTO DEI VALORI DI  $V_s$  CON LA PROFONDITA'



Profondità primo strato (m)

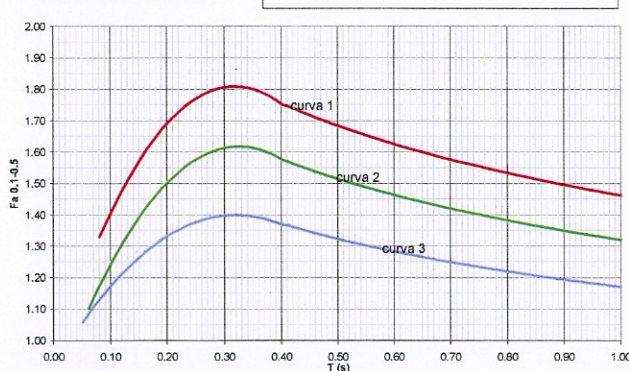


Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



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

Correlazione T - Fa 0.1-0.5



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

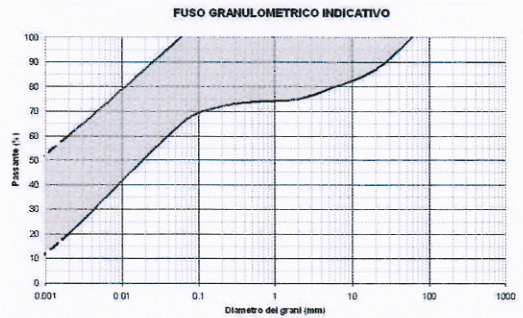
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

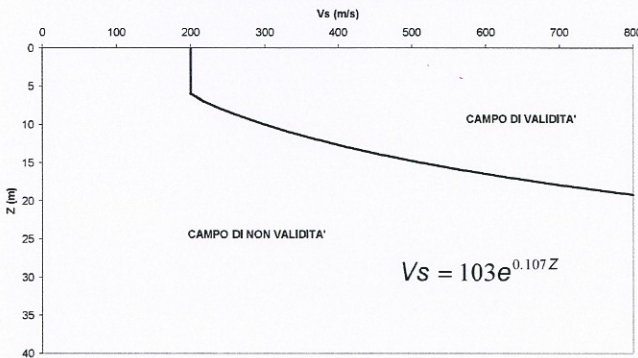
Da limi ghiaioso – argillosi debolmente sabbiosi ad argille con limi passando per limi argillosi, limi con sabbie argillose, limi e sabbie con argille, argille ghiaiose, argille ghiaiose debolmente limose ed argille con sabbie debolmente limose

NOTE:

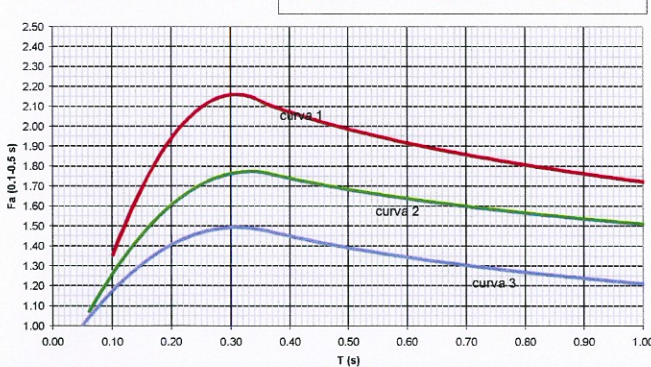
- Comportamento coesivo
- Struttura matrice-sostenuta
- Frazione limosa superiore al 40%
- Presenza di clasti immersi con  $D_{max} < 2-3$  cm
- Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 25%
- Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 35%
- Frazione argillosa compresa tra 20% e 60%
- Presenza di eventuali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



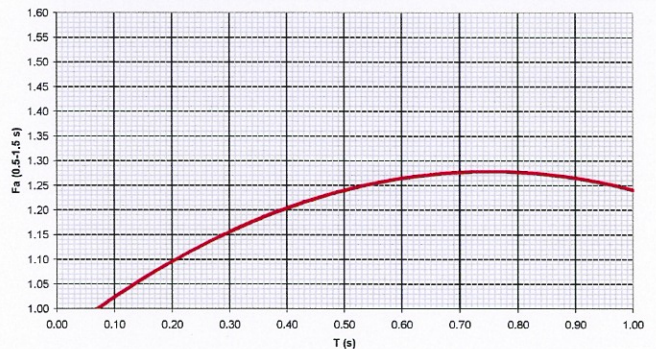
ANDAMENTO DEI VALORI DI Vs CON LA PROFONDITA'



Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



Correlazione T - Fa 0.5-1.5 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	$0.05 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.3T^2 + 4.5T + 0.80$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.21 - 0.26LnT$

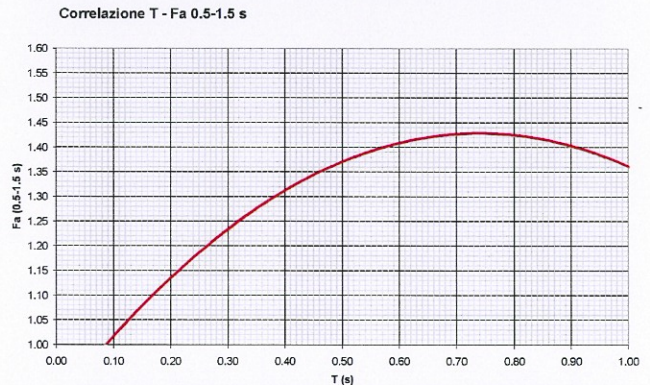
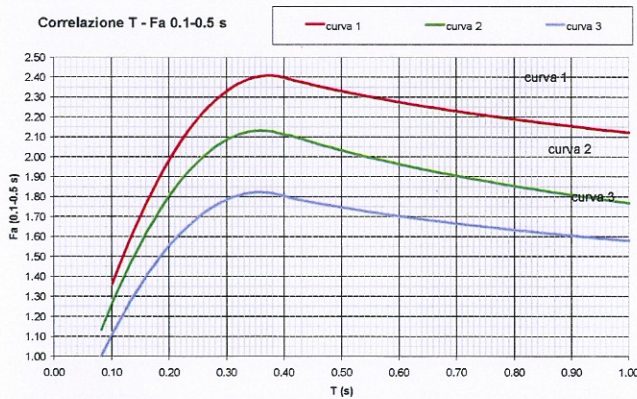
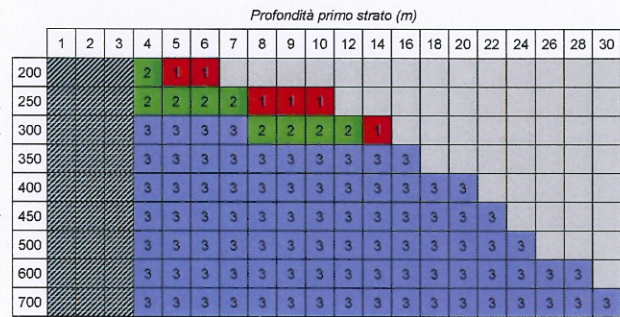
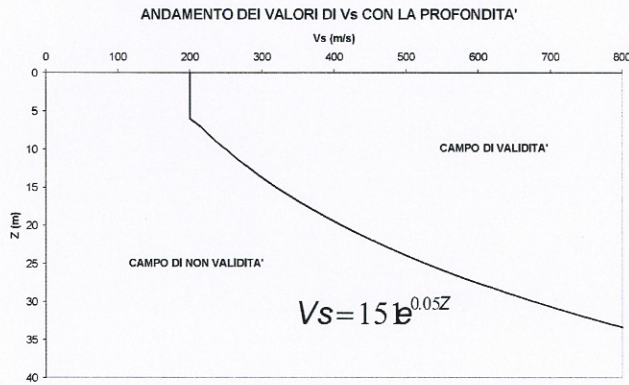
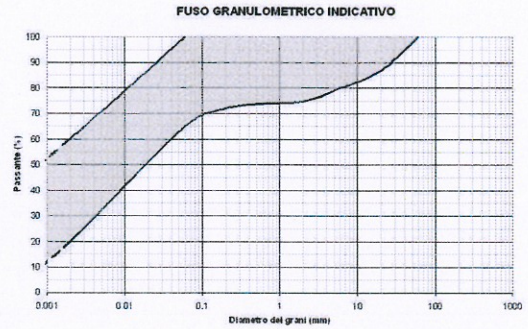


EFFETTI LITOLOGICI - SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO - ARGILLOSA TIPO 2

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 <sup>3</sup> ]	19.5-20.0
Peso specifico particelle solide	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	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



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

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	0.10 < T ≤ 0.40	0.40 < T ≤ 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 ≤ 0.40	0.40 < T ≤ 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 ≤ 0.40	0.40 < T ≤ 1.00
	$Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$



EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 1

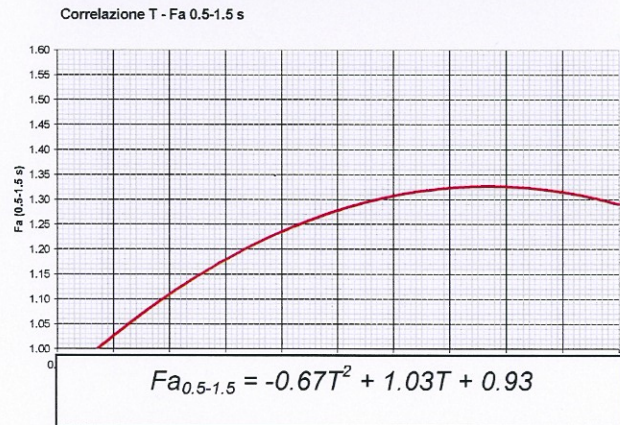
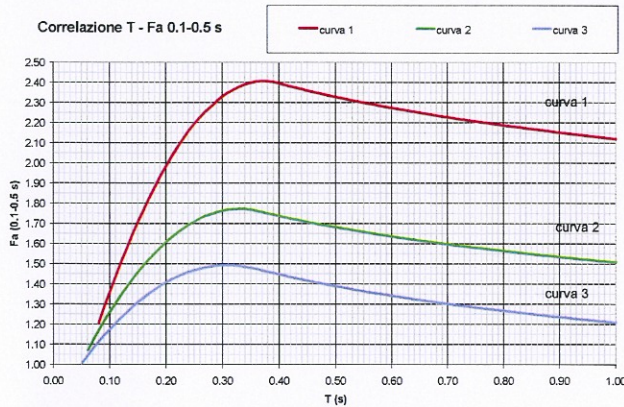
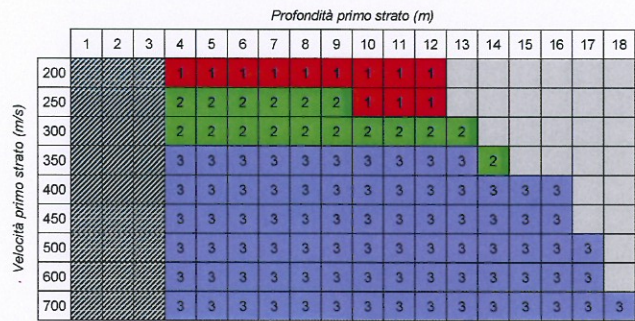
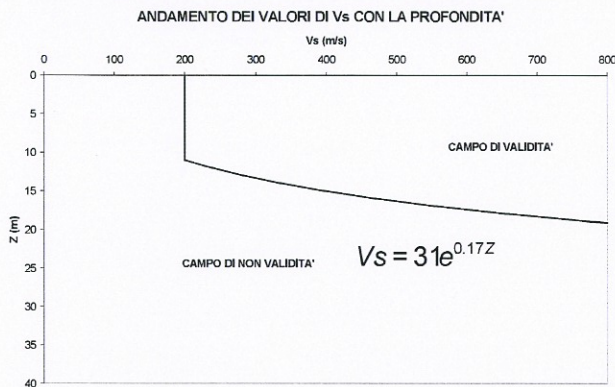
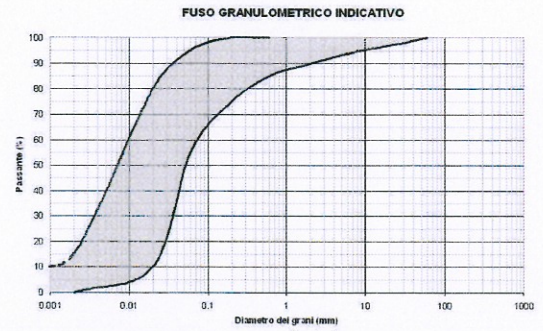
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

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

NOTE:

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



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



EFFETTI LITOLOGICI - SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO - SABBIOSA TIPO 2

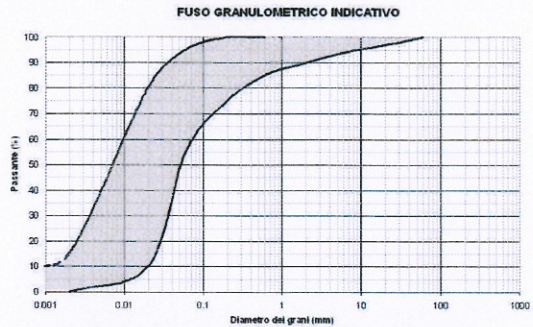
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

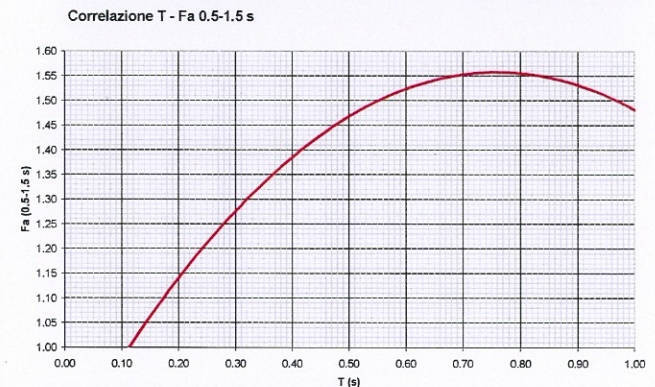
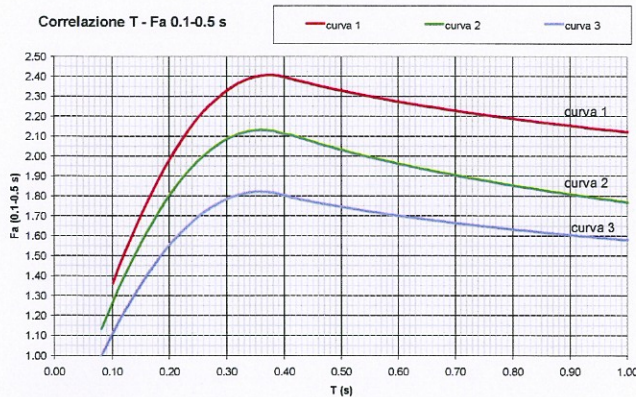
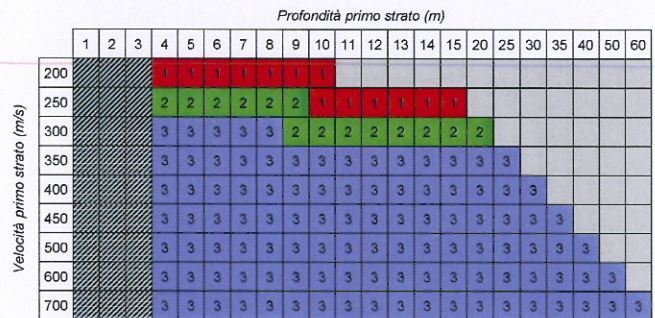
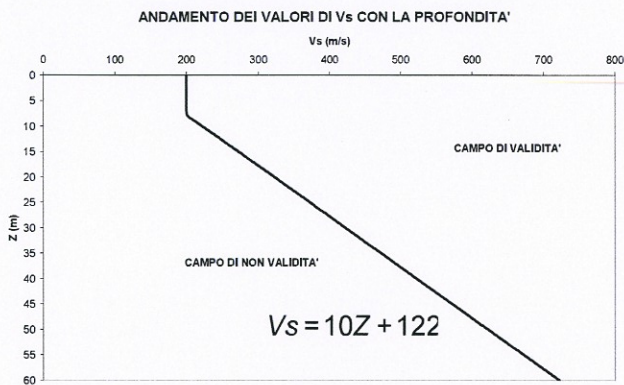
Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

NOTE:

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



PARAMETRO	INTERVALLO
Peso di volume naturale	$\gamma$ (kNm <sup>3</sup> ) 18.5-19.5
Peso specifico particelle solide	$\gamma_s$ (kNm <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



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

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

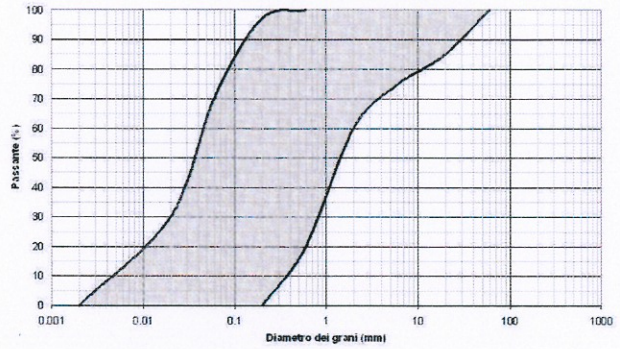
GRANULOMETRIA:

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

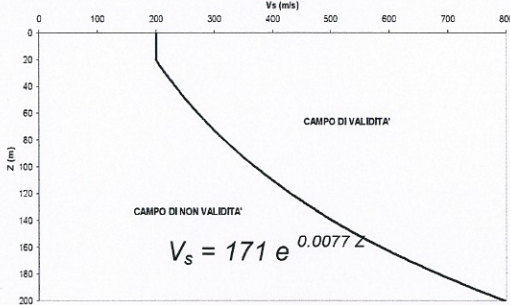
NOTE:

- 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



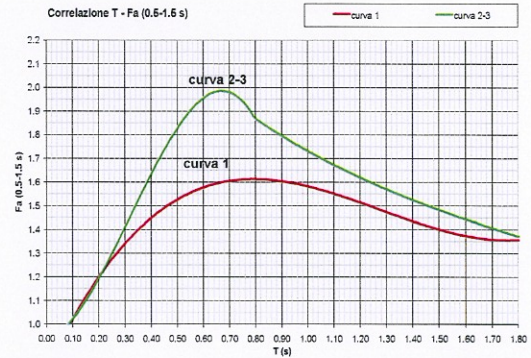
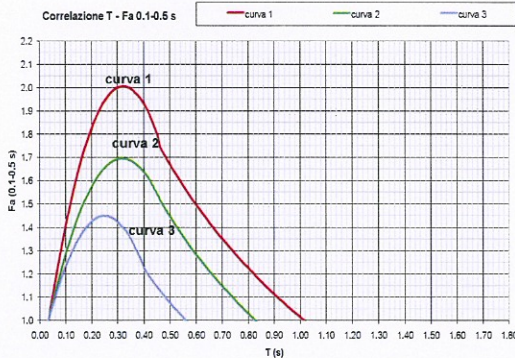
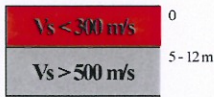
Profondità primo strato (m)

	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	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA								
250	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA								
300	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA								
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	NA	NA						
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA				
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA		
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA

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  $V_s$  minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s



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

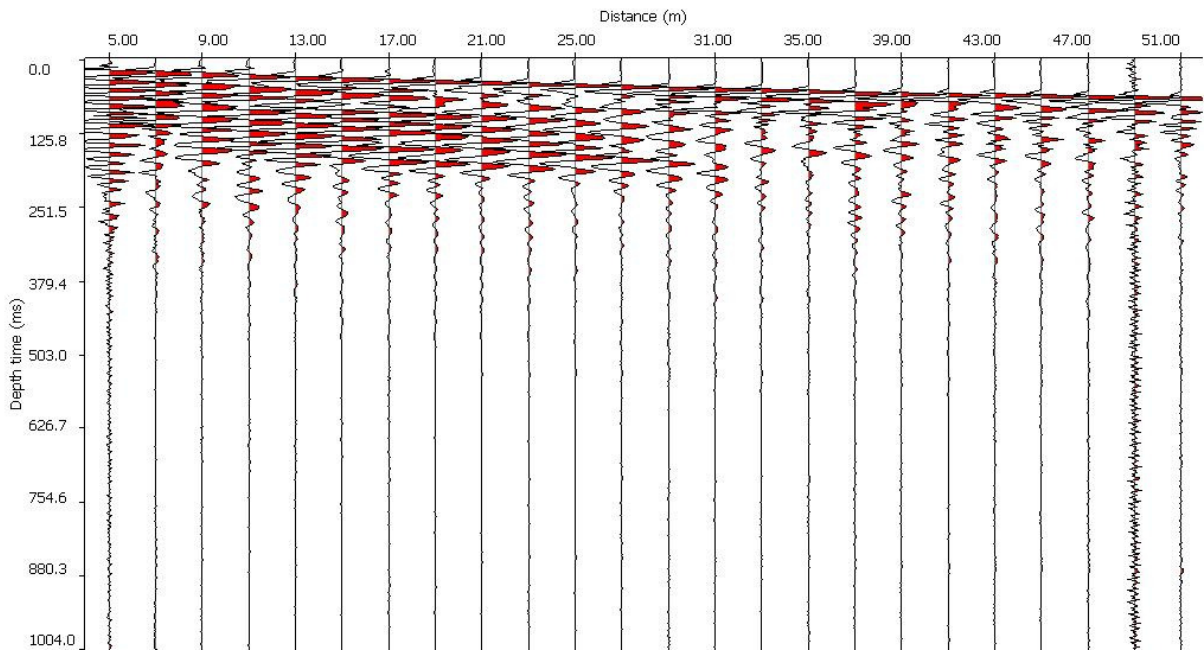
Curva	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^2 - 2.18 T + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T < 0.80$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

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

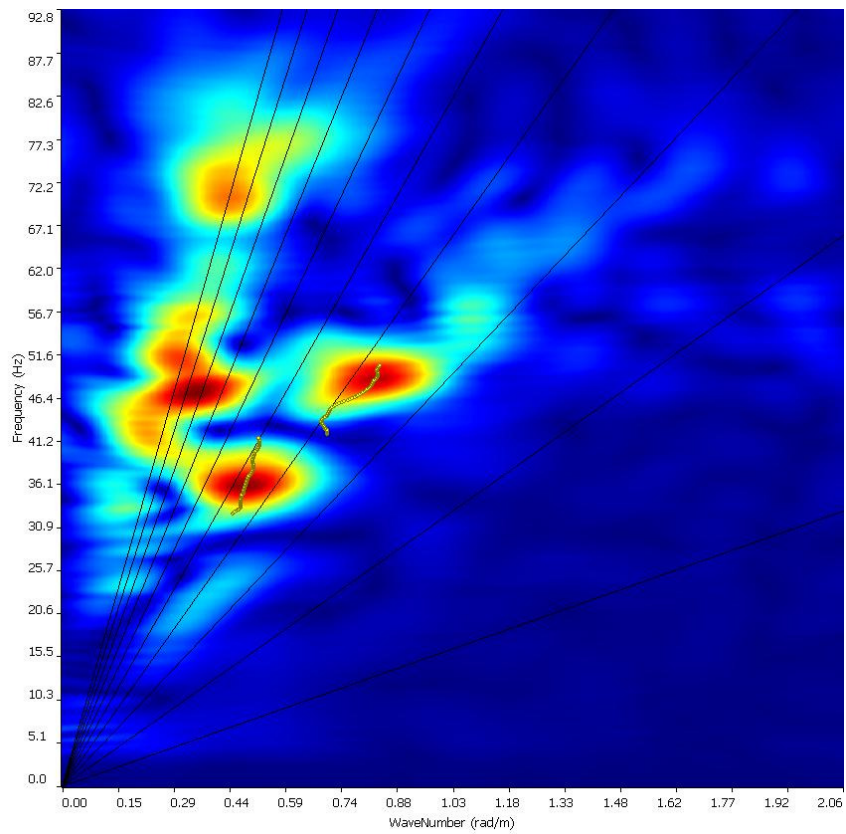




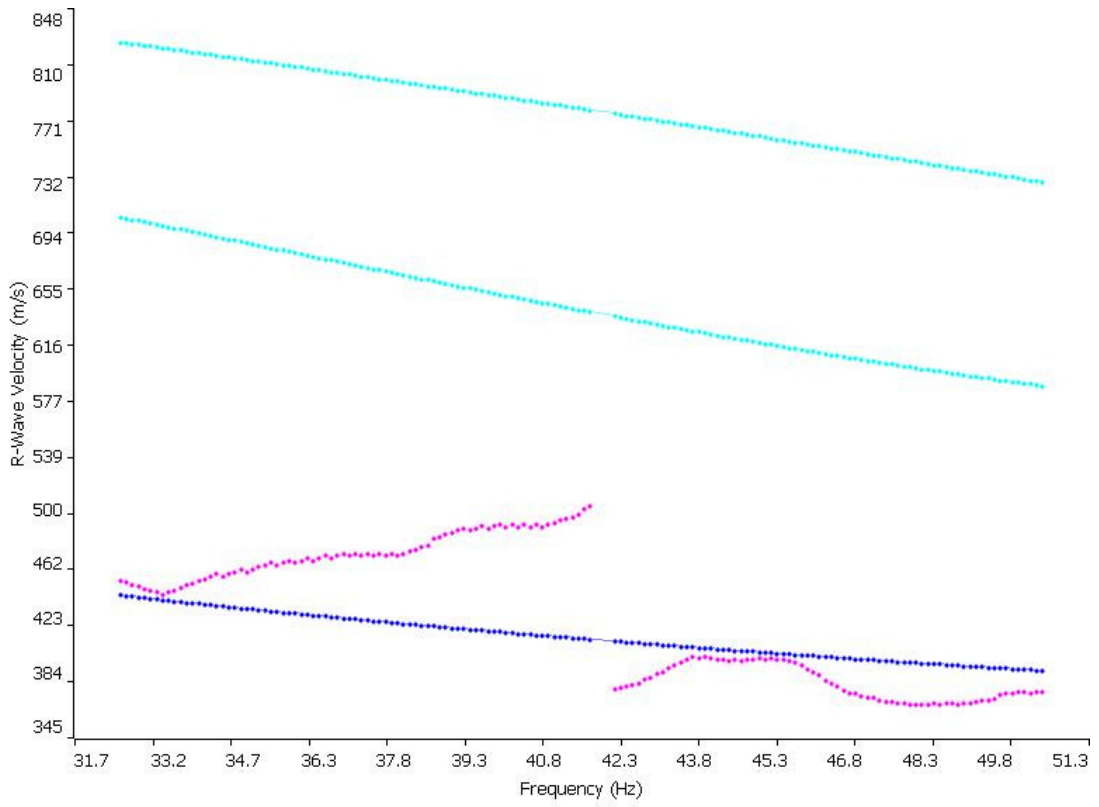
## SITO 1 (energizzazione 5m)



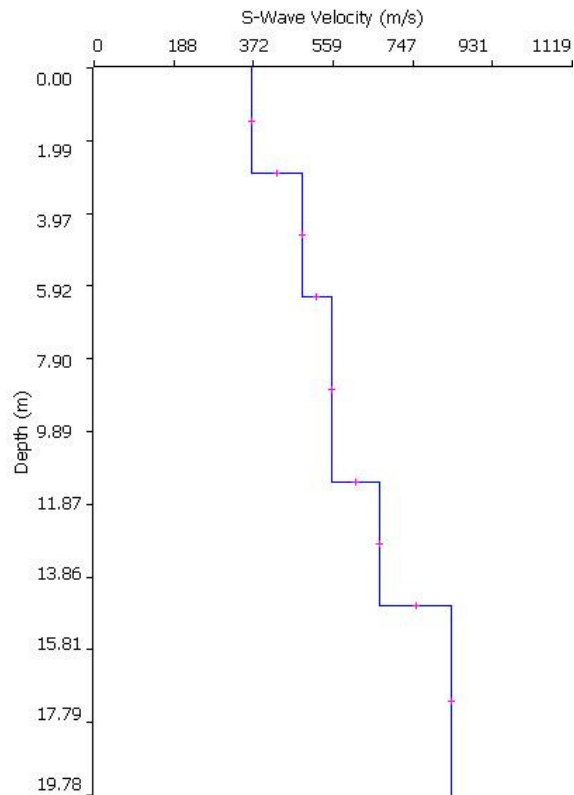
**Fig. 1: Sismogramma medio**



**Fig. 2: Spettro Frequenza-velocità**



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



**Fig. 4: Distribuzione Vs**

## SITO 1 (energizzazione 10m)

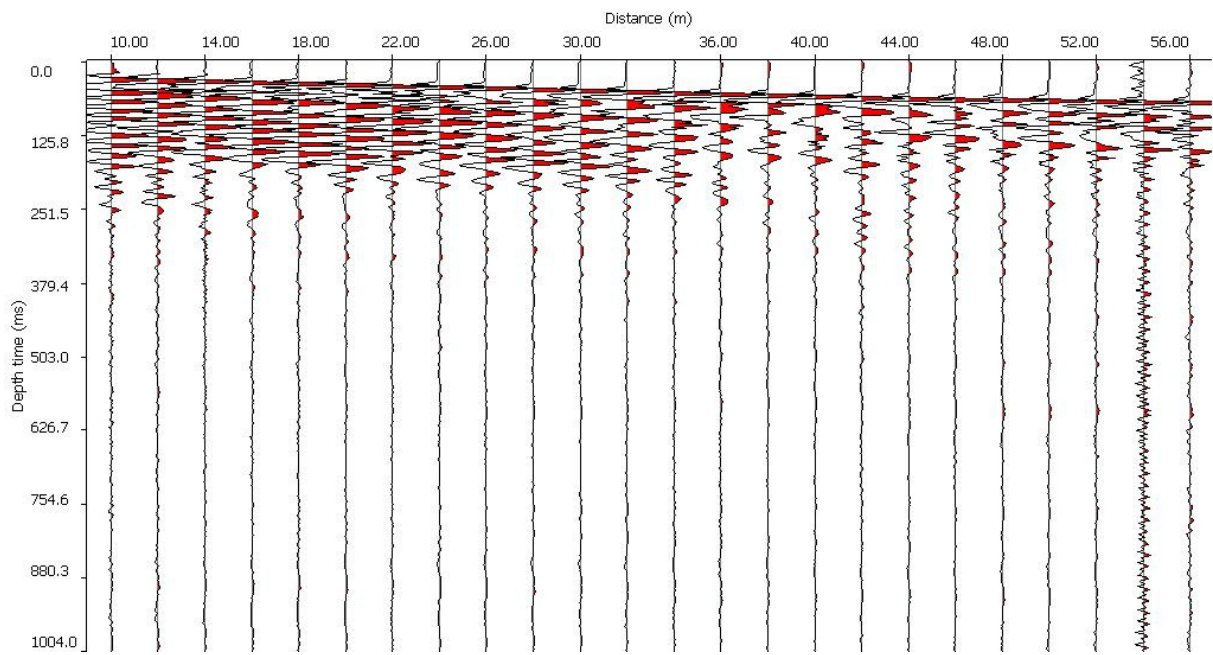


Fig. 5: Sismogramma medio

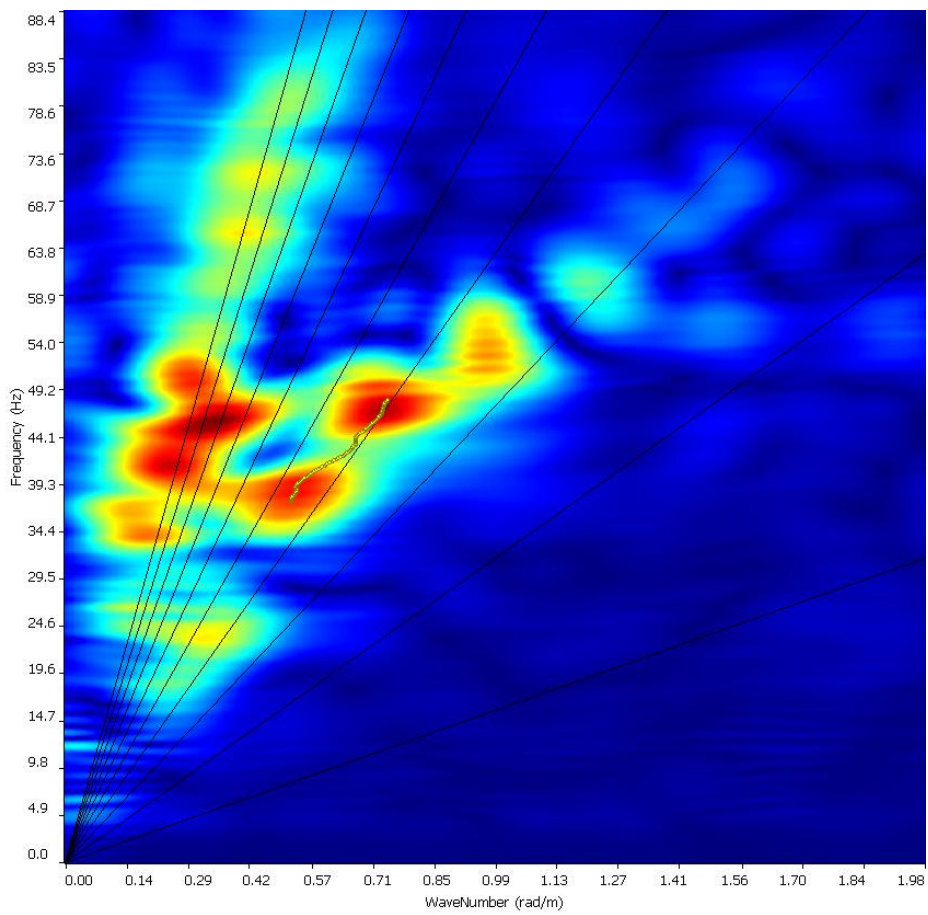
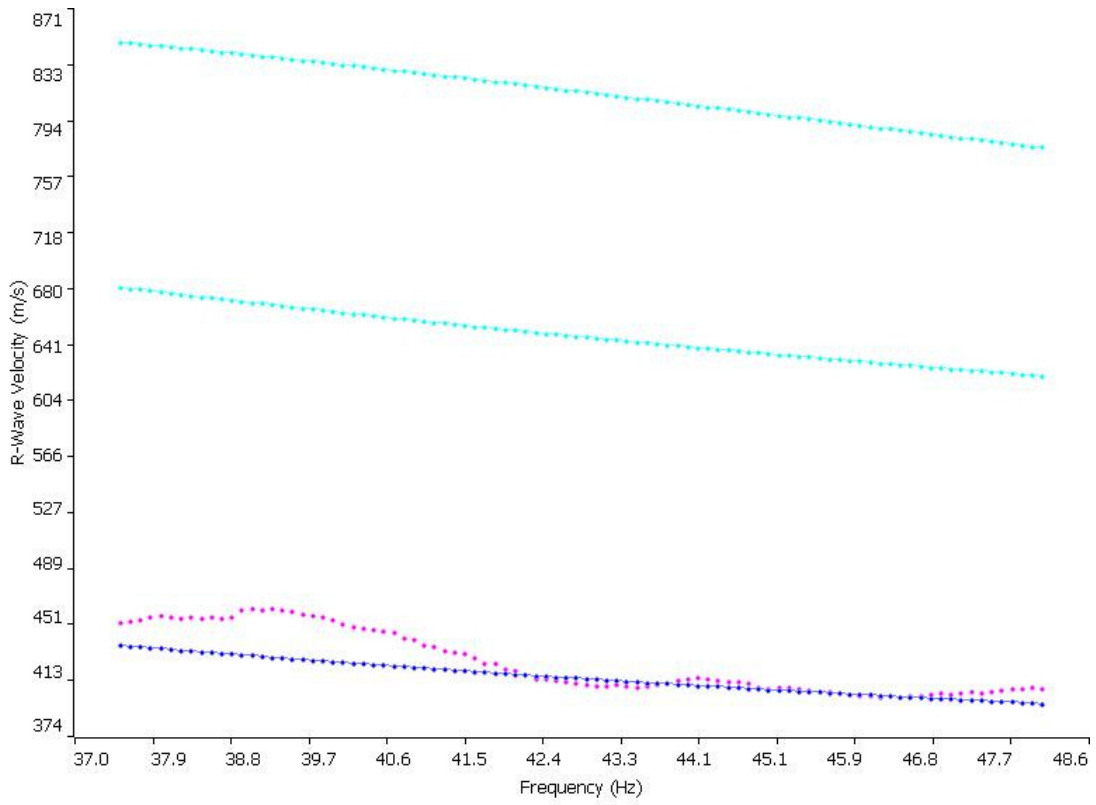
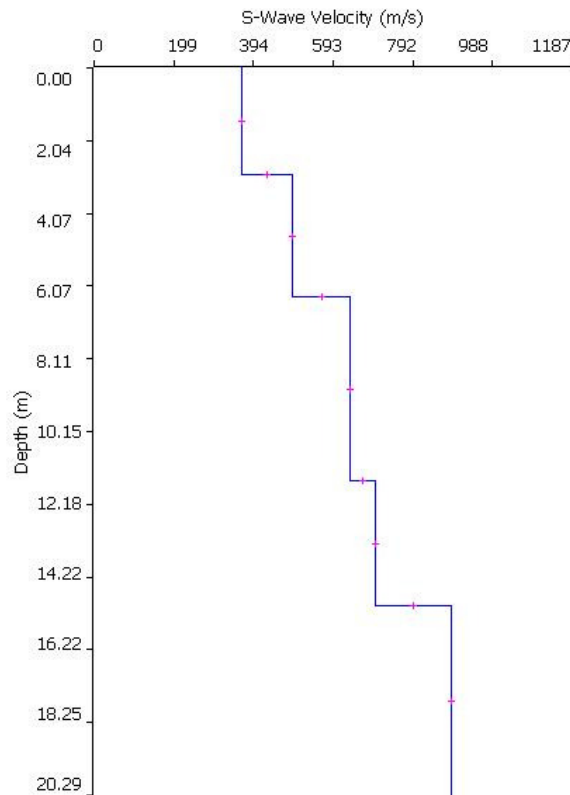


Fig. 6: Spettro Frequenza-velocità





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



**Fig. 8: Distribuzione Vs**

## SITO 2 (energizzazione 5m)

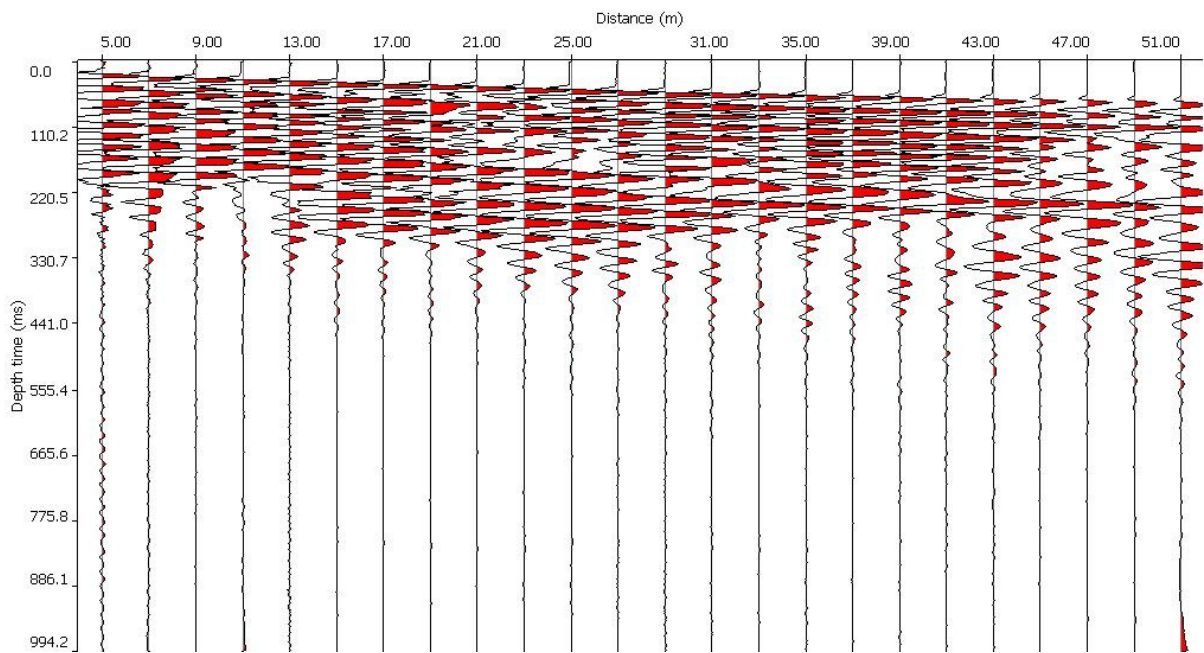


Fig. 9: Sismogramma medio

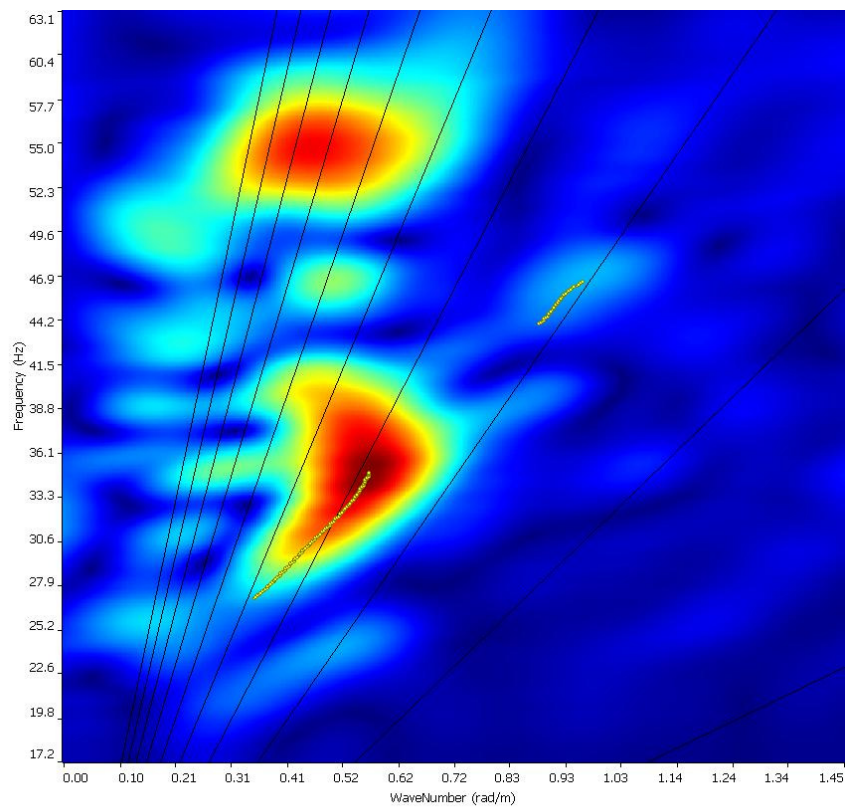
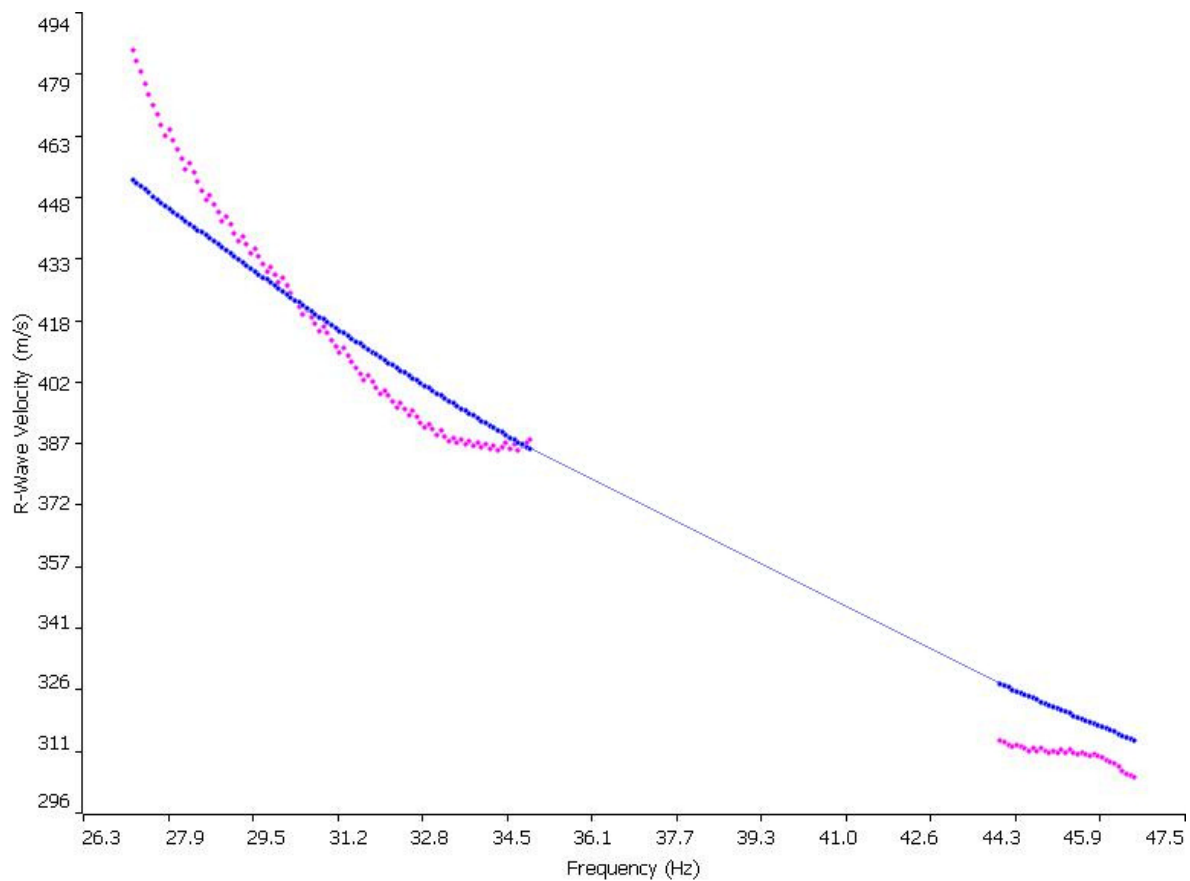
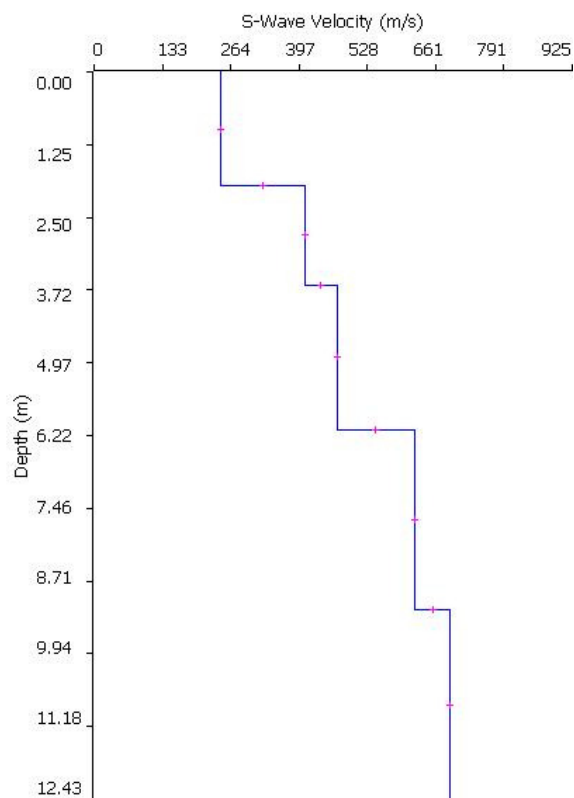


Fig. 10: Spettro Frequenza-velocità

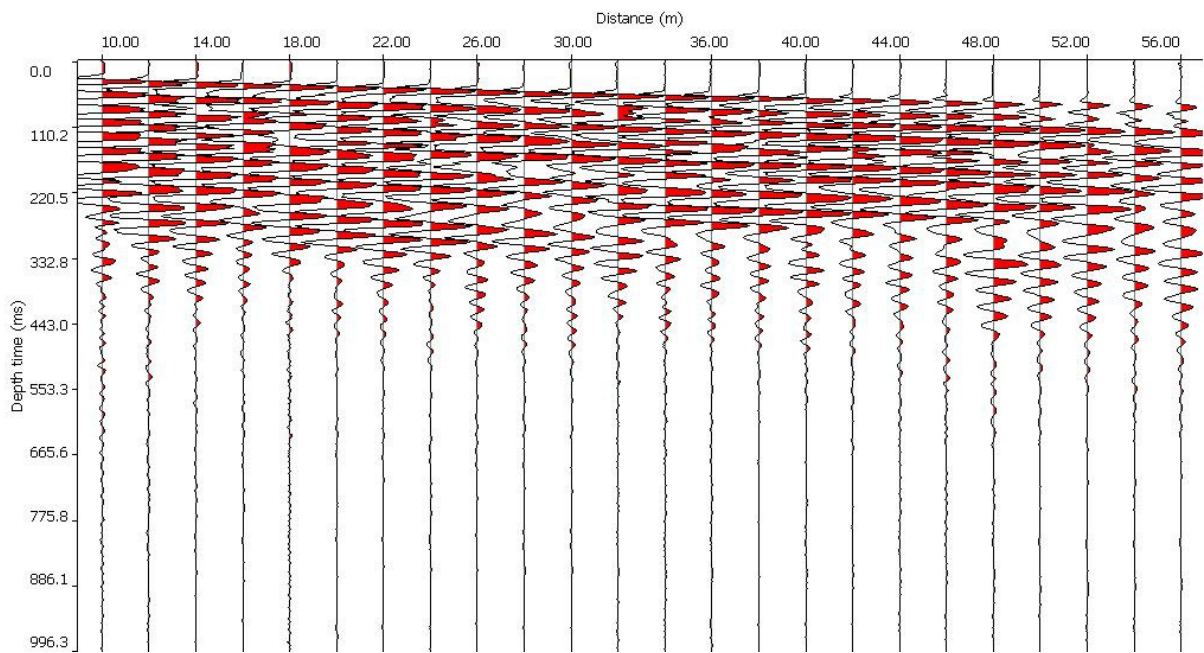


**Fig. 11: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)**

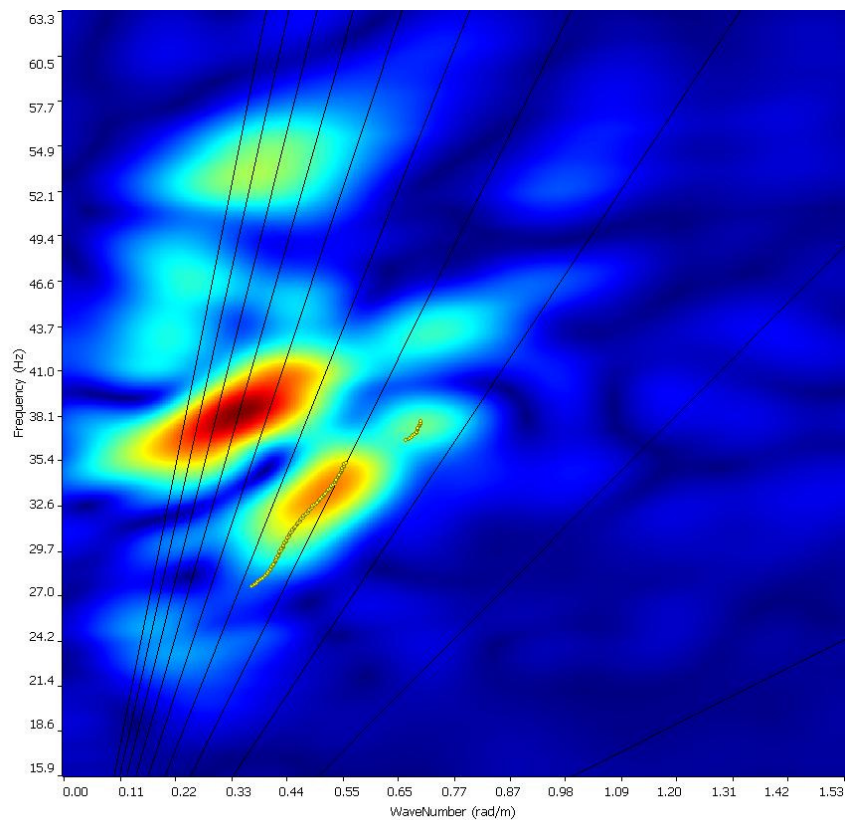


**Fig. 12: Distribuzione Vs**

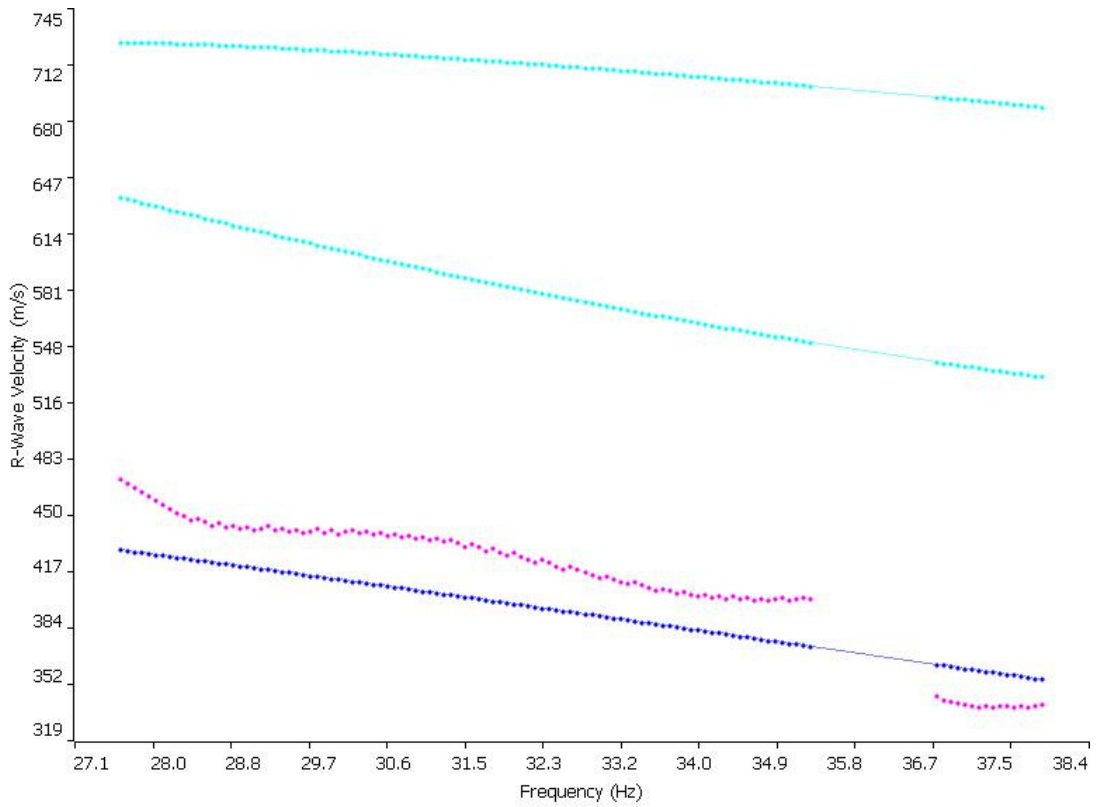
## SITO 2 (energizzazione 10m)



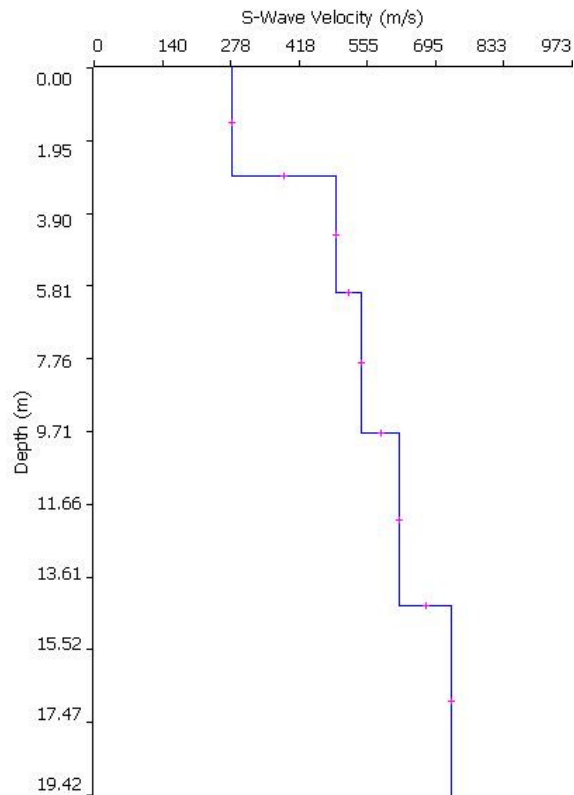
**Fig. 13: Sismogramma medio**



**Fig. 14: Spettro Frequenza-velocità**



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



**Fig. 16: Distribuzione Vs**



### SITO 3 (energizzazione 5m)

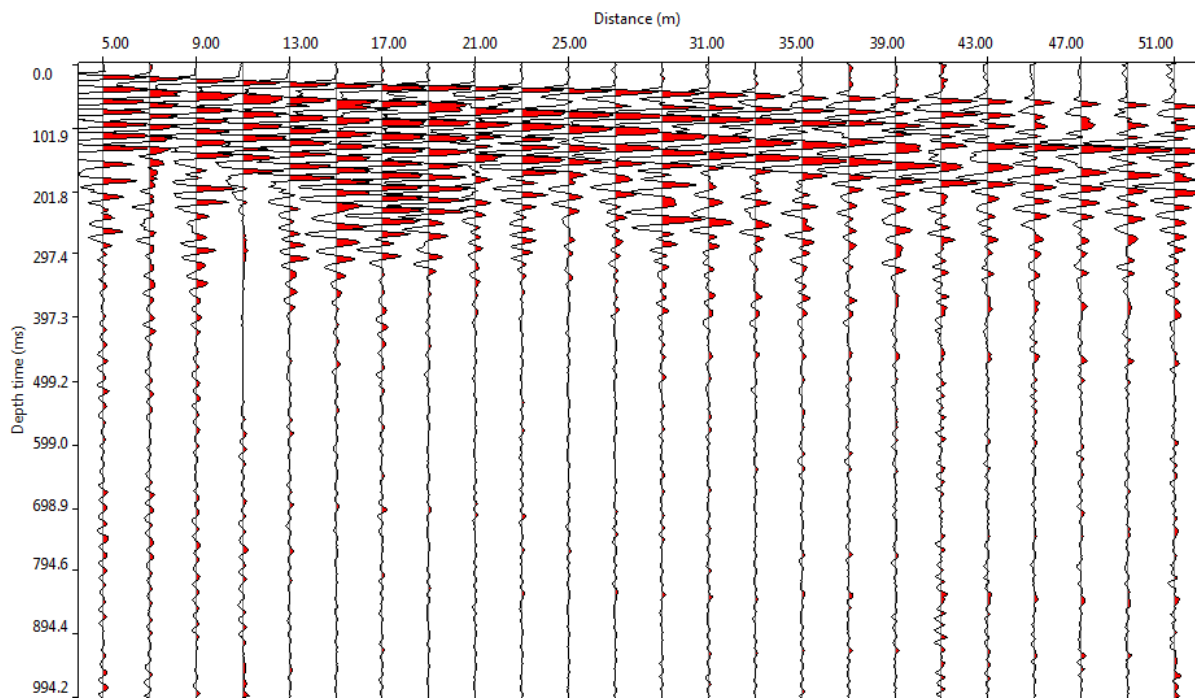


Fig. 17: Sismogramma medio

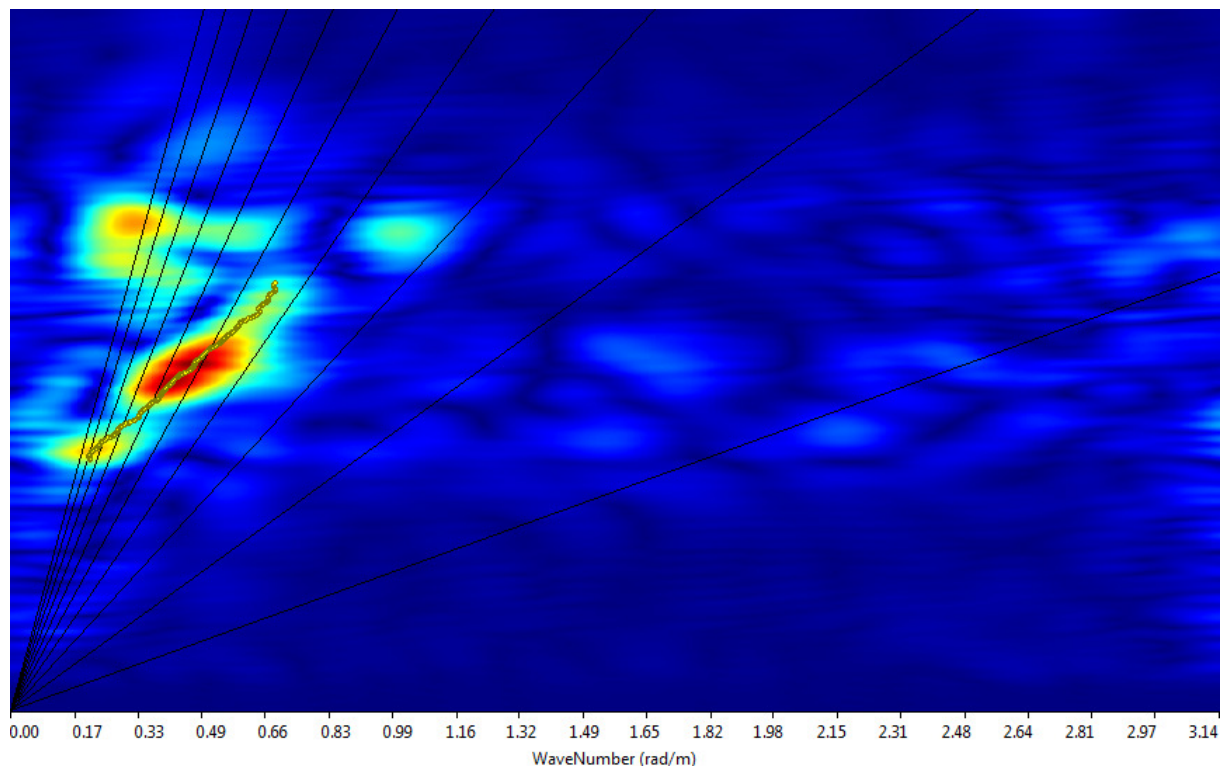
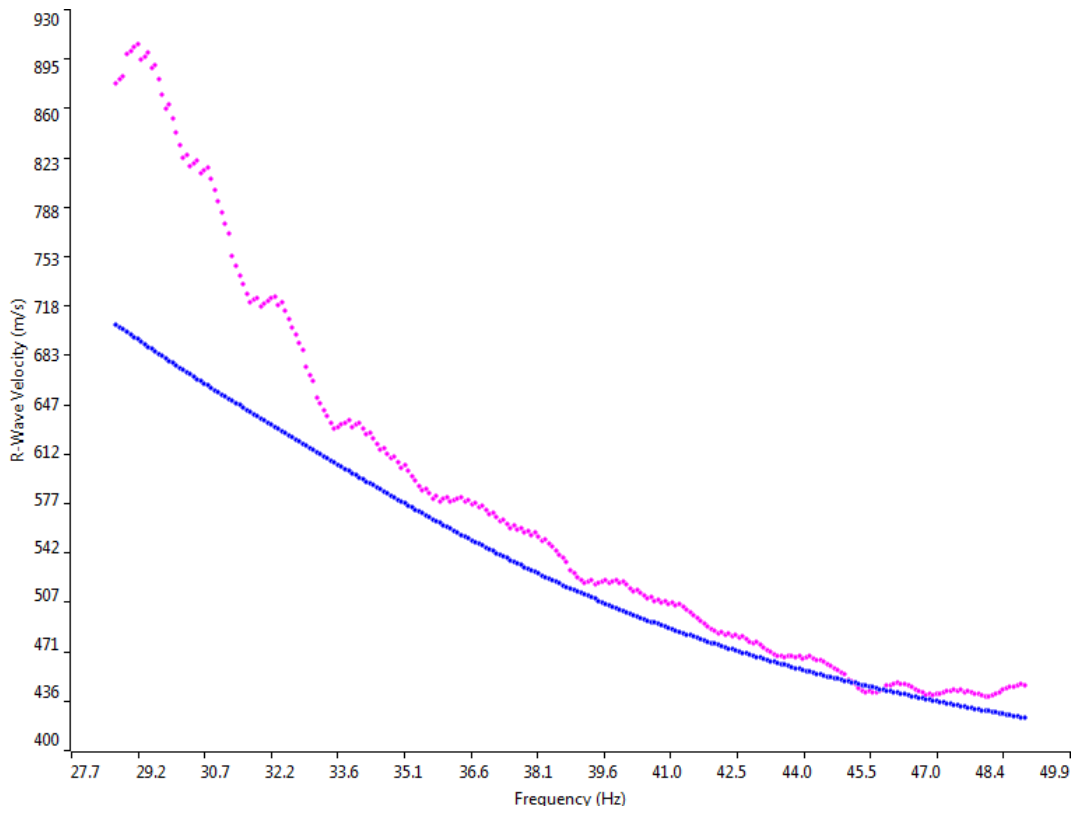
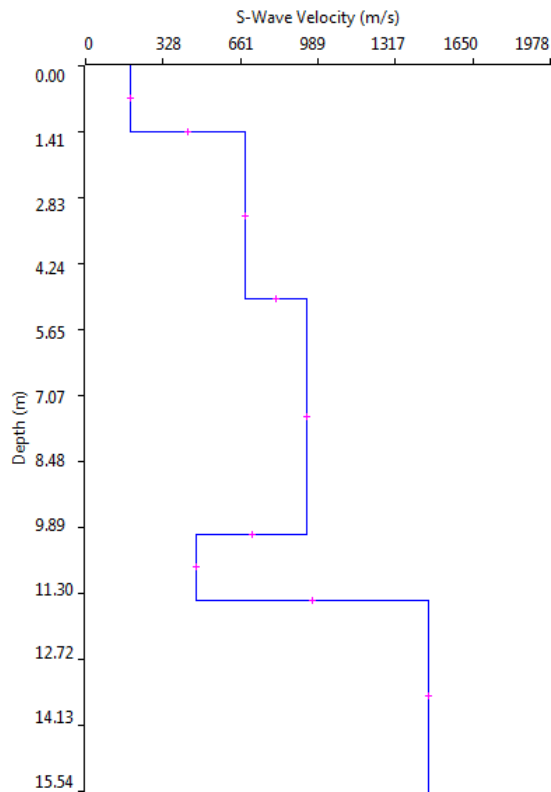


Fig. 18: Spettro Frequenza-velocità



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



**Fig. 20: Distribuzione Vs**

### SITO 3 (energizzazione 10m)

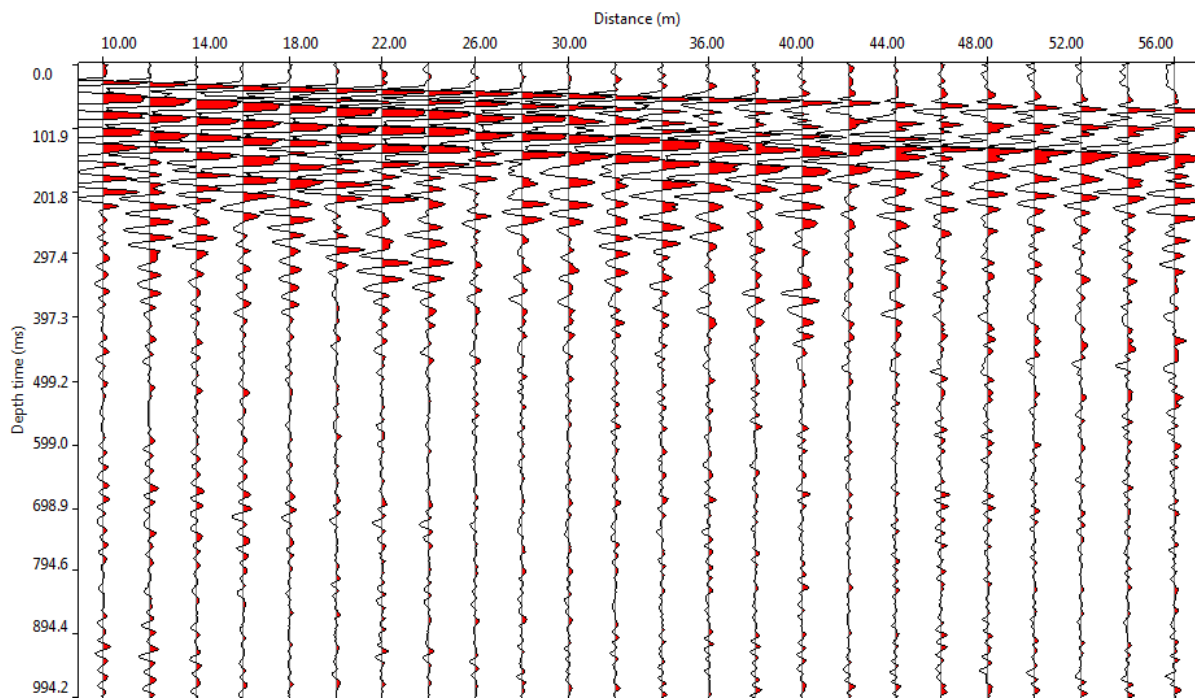


Fig. 21: Sismogramma medio

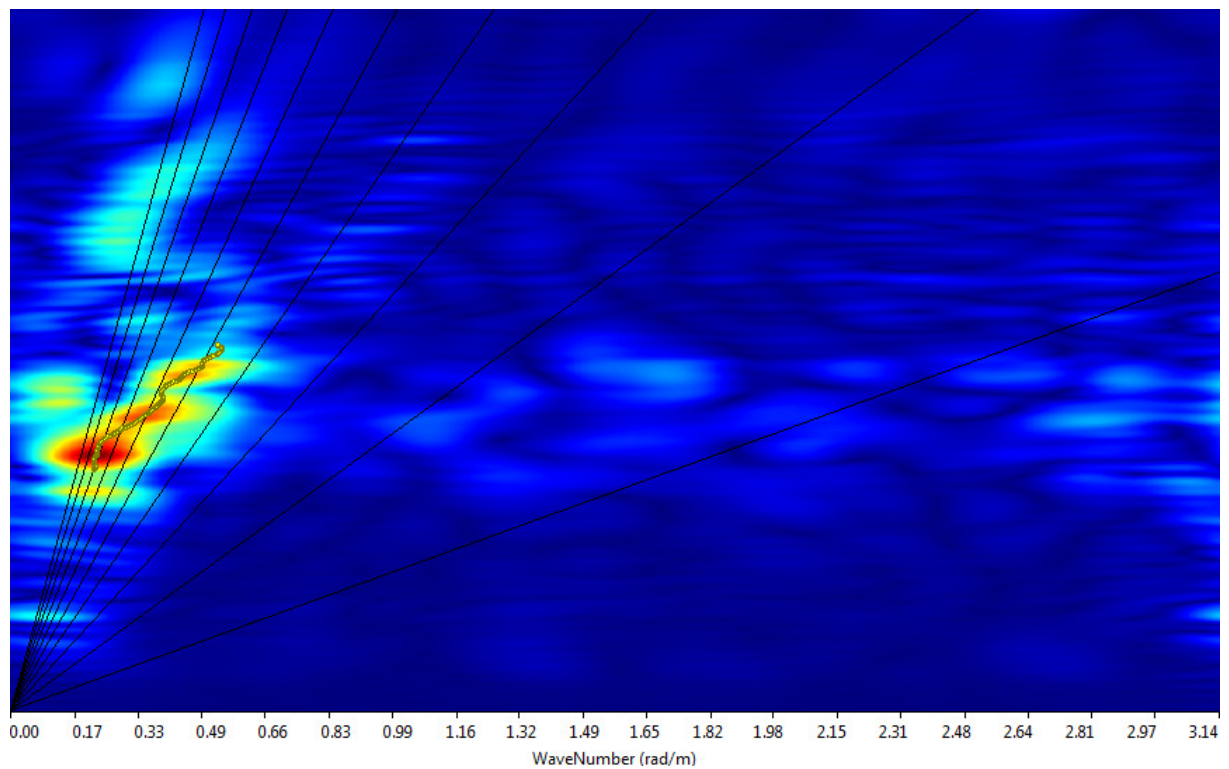
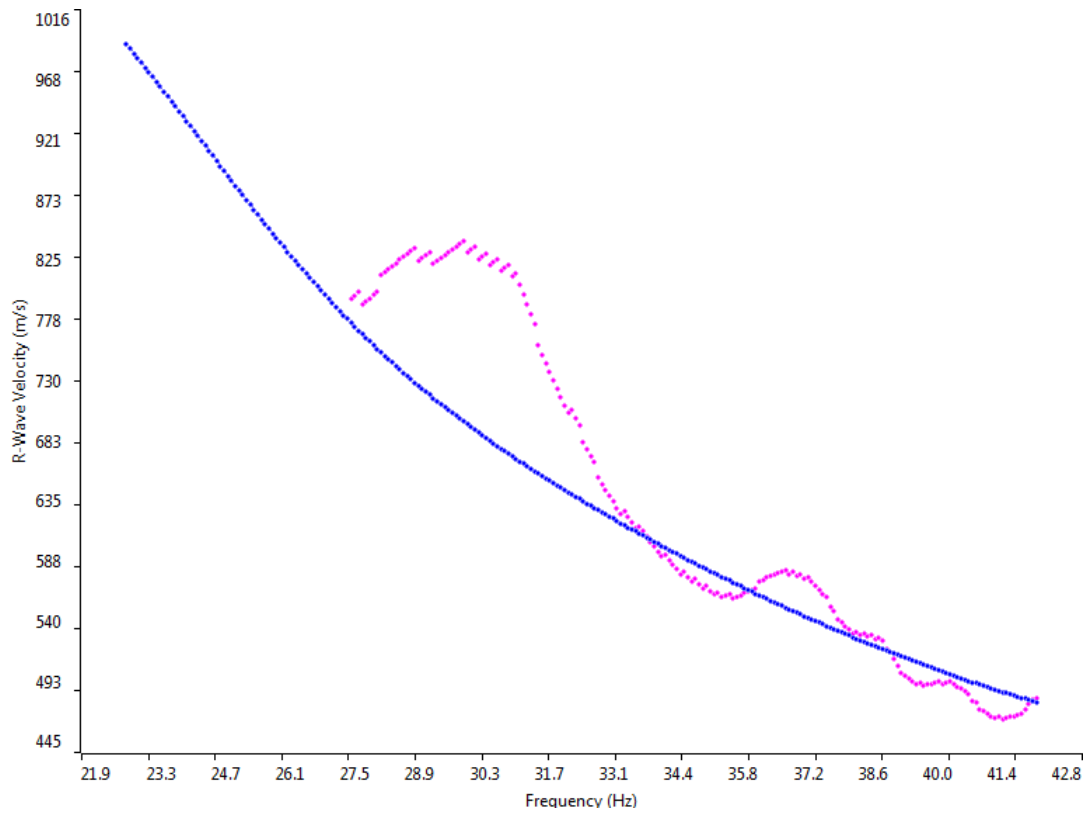
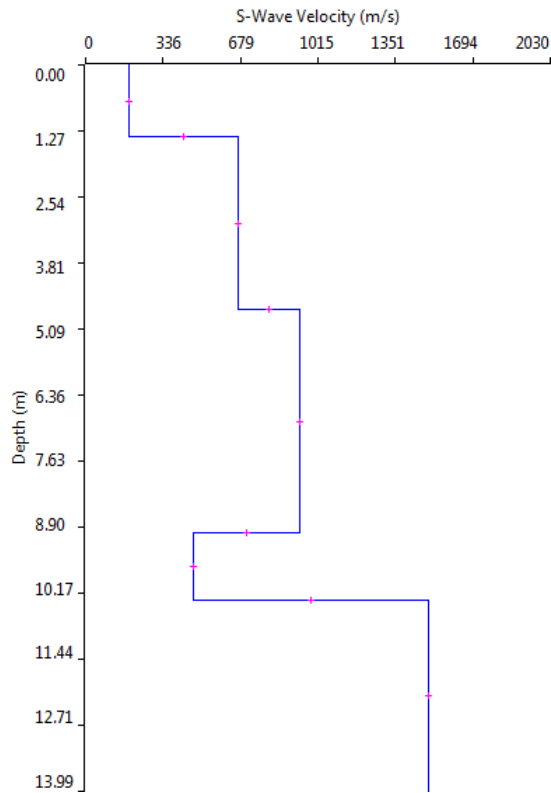


Fig. 22: Spettro Frequenza-velocità





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



**Fig. 24: Distribuzione Vs**

## SITO 4 – EMITEX (energizzazione 7,5m)

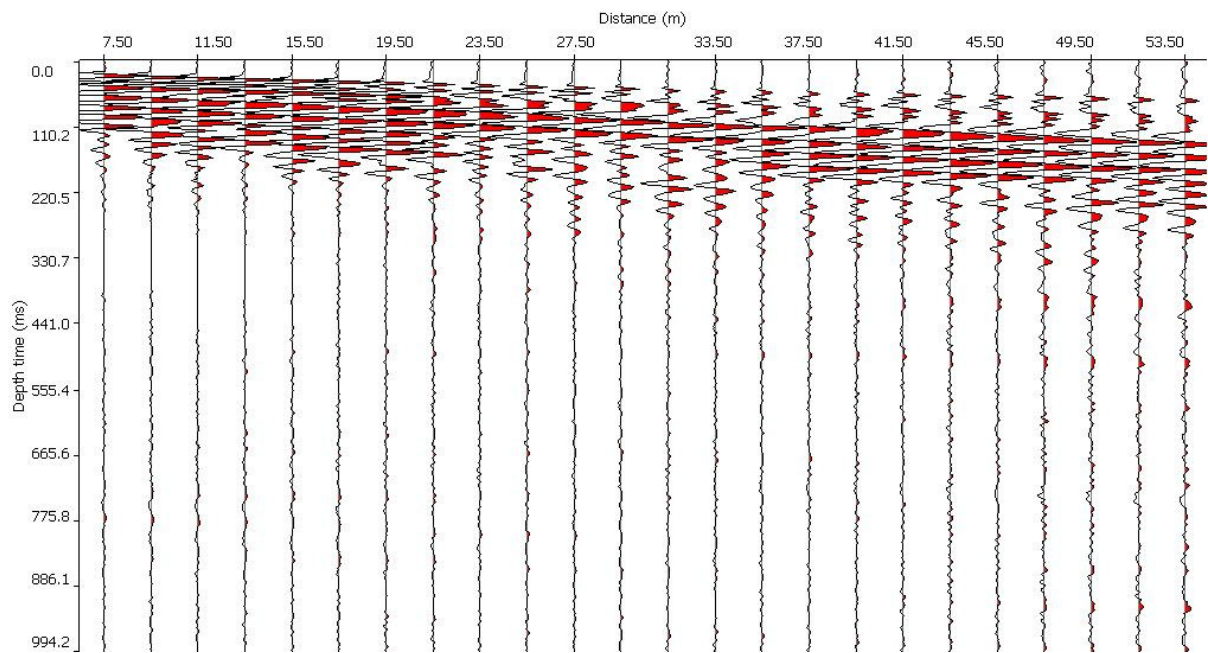


Fig. 25: Sismogramma medio

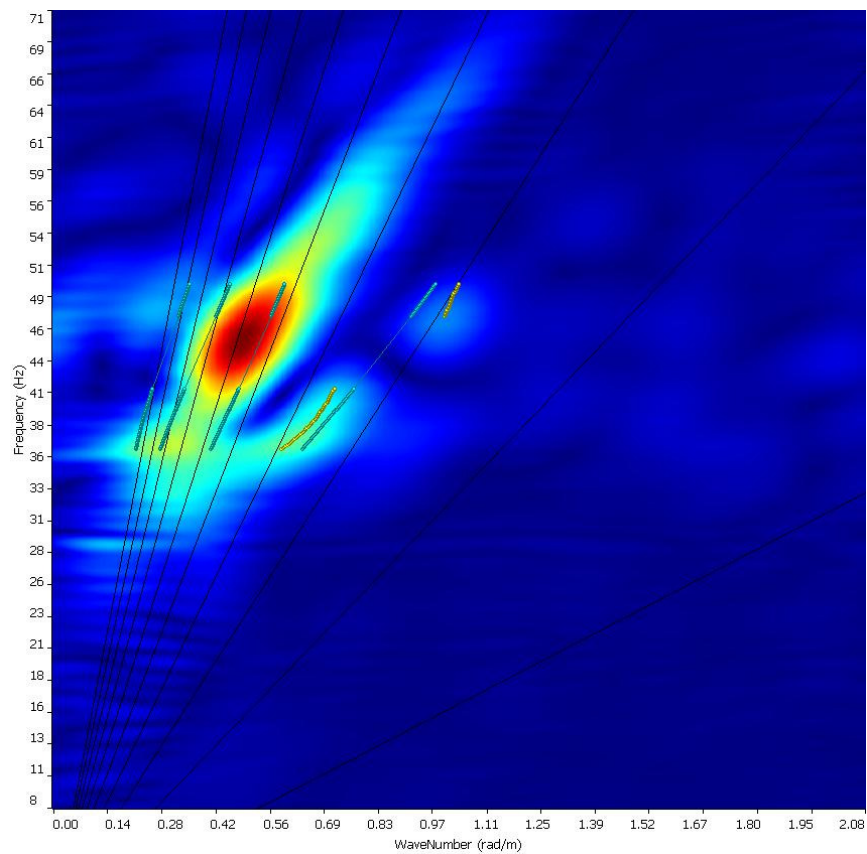
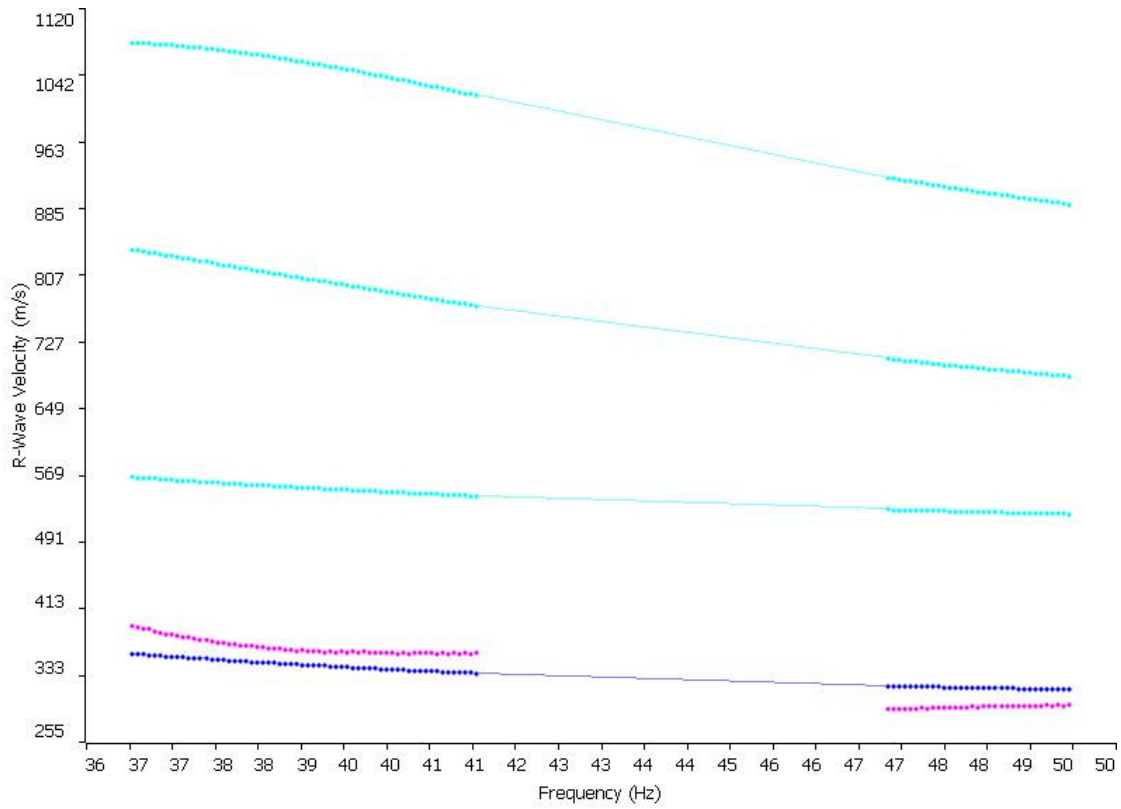
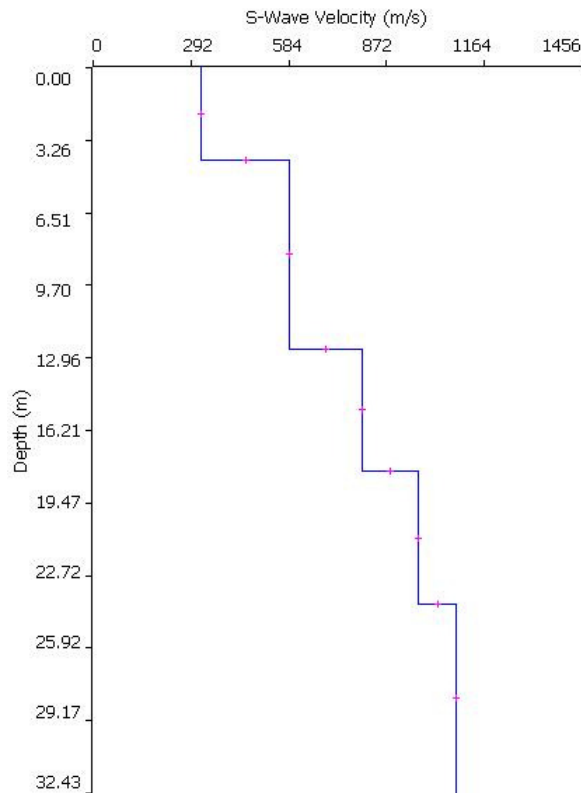


Fig. 26: Spettro Frequenza-velocità



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



**Fig. 28: Distribuzione Vs**

## SITO 4 – EMITEX (energizzazione 15m)

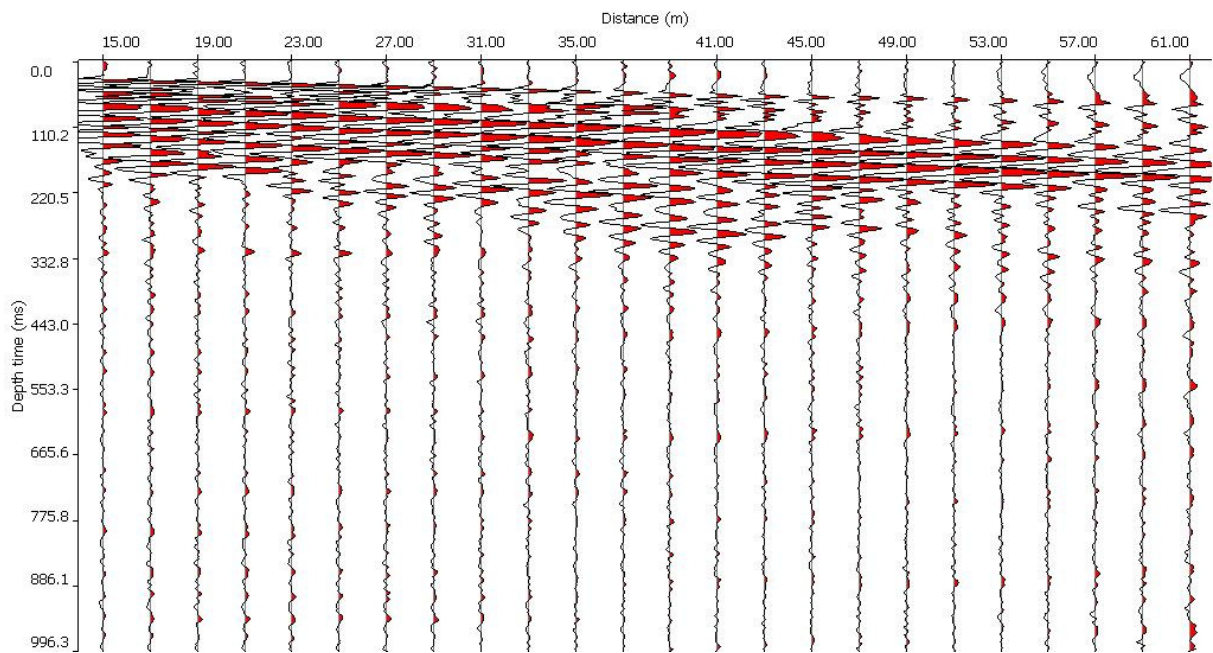


Fig. 29: Sismogramma medio

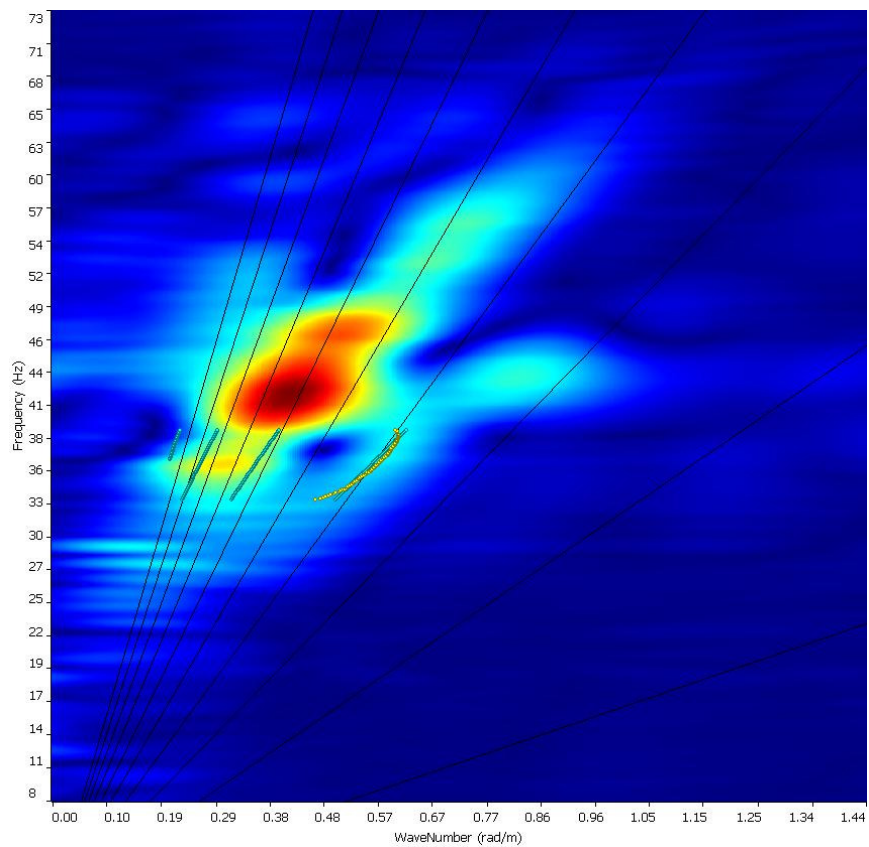
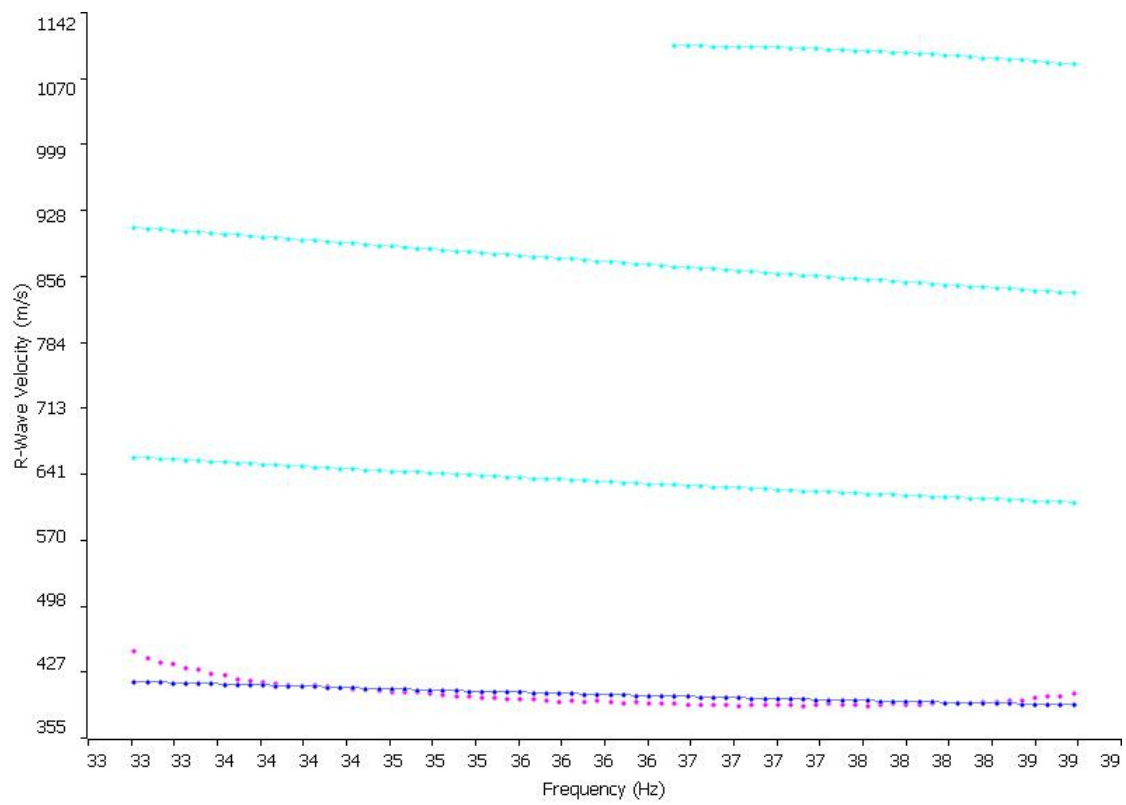
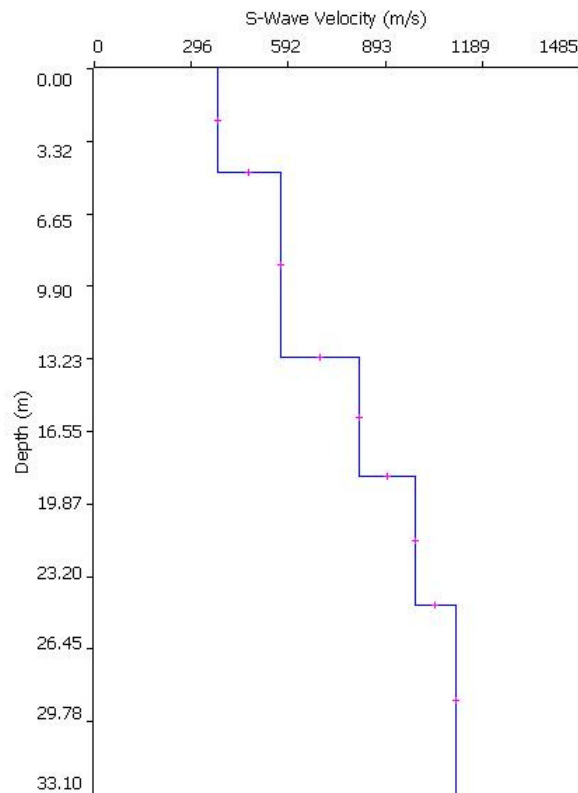


Fig. 30: Spettro Frequenza-velocità



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



**Fig. 32: Distribuzione Vs**



## SITO 5 (Asilo)

Comune di Cavernago  
Base sismica n. 1  
determinazione Vs

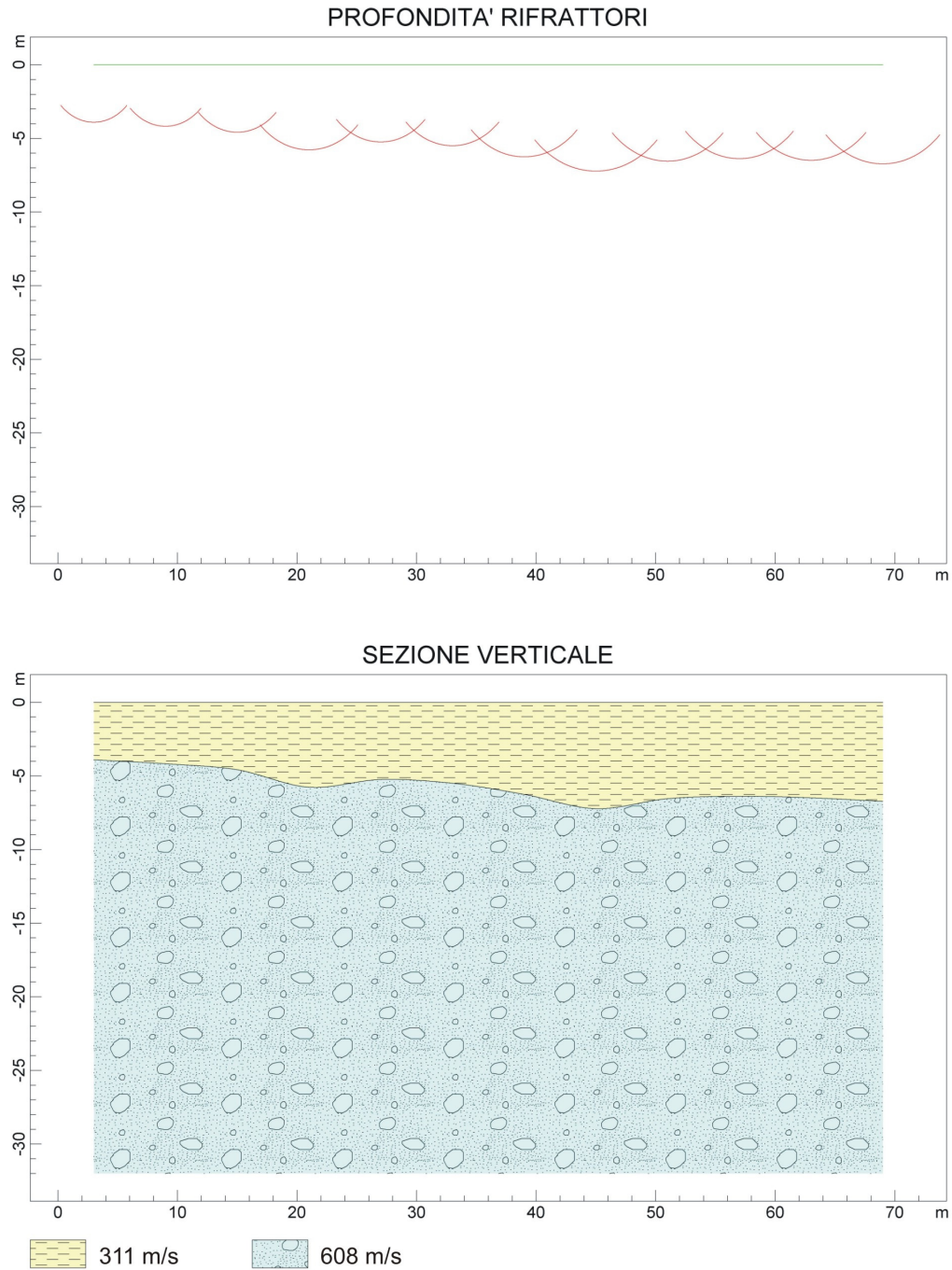


Fig. 33: indagine sismica eseguita nel 2008 a supporto del progetto per l'asilo di via Manzoni

**EDIFICI STRATEGICI E  
RILEVANTI  
D.D.U.O. 19904 del 21/11/2003**





**DECRETO 19904 DEL 21 NOVEMBRE 2003**

Sommario

OGGETTO:.....2  
ALLEGATO A .....3  
ALLEGATO B.....5

**OGGETTO:**

Disposizioni preliminari per l'attuazione dell'Ordinanza Presidenza del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

**IL DIRETTORE GENERALE / IL DIRIGENTE DELL'UNITA' ORGANIZZATIVA**

**RICHIAMATA** l'Ordinanza 20 marzo 2003 n°3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" pubblicata sul Supplemento Ordinario n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 del 8 maggio 2003;

**RICHIAMATO** l'articolo 2, comma 3 e 4 dell'Ordinanza citata nei quali è fatto obbligo di procedere a verifica, da effettuarsi a cura dei rispettivi proprietari, entro 5 anni, ai sensi delle norme allegate all'Ordinanza, sia degli edifici strategici e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale ai fini di protezione civile, sia per gli edifici e le opere infrastrutturali che possano assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso e si dispone, entro 6 mesi dalla data di entrata in vigore dell'Ordinanza, l'elaborazione di un programma delle verifiche stesse;

**VISTA** la delibera n° VII/14964 del 7.11.2003 con cui si attua l'Ordinanza suddetta e si rimanda ad un successivo decreto l'approvazione del programma di cui al punto precedente e la definizione puntuale di una lista tipologica sia degli edifici strategici e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale ai fini di protezione civile, sia degli edifici e delle opere infrastrutturali che possano assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso;

**DECRETA**

1. di approvare l'elenco delle tipologie sia degli edifici e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale ai fini di protezione civile, sia degli edifici e delle opere infrastrutturali che possano assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso da sottoporre a verifica, di cui all'Allegato A che è parte integrante e sostanziale del presente decreto;
2. di approvare il programma temporale delle verifiche di cui l'articolo 2, comma 3 e 4 dell'Ordinanza 20 marzo 2003 n°3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, riportato nell'allegato B che è parte integrante e sostanziale del presente decreto;
3. di pubblicare il presente decreto e gli elenchi allegati sul Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia.

*IL SEGRETARIO*

## ALLEGATO A

### **Elenco degli edifici e delle opere di competenza regionale**

#### **art.2 comma 3 Ordinanza PCM n.3274/03**

*(...“edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile - edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso”...)*

#### **Premesse**

Il seguente elenco fa espressamente riferimento al documento illustrato durante la riunione tecnica preliminare tenutasi a Roma il 15 luglio 2003 presso il Dipartimento di Protezione Civile cui hanno partecipato i rappresentanti delle Regioni.

Un primo elenco delle opere di competenza statale era stato inviato dal Dipartimento della Protezione Civile al Presidente della Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province autonome con nota del 04/7/03 prot. n°DPC/SSN/0028552.

Un secondo elenco delle opere di competenza statale è stato diffuso dal Dipartimento della Protezione Civile con nota del 02/10/2003 n°DPC/VC/8842686. Tale elenco, pur con qualche precisazione, non differisce di molto da quello precedentemente predisposto.

### **1. EDIFICI ED OPERE STRATEGICHE**

**Categorie di edifici e di opere infrastrutturali di interesse strategico di competenza regionale, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile.**

#### **Edifici:**

- a. Edifici destinati a sedi dell'Amministrazione Regionale \*
- b. Edifici destinati a sedi dell'Amministrazione Provinciale \*
- c. Edifici destinati a sedi di Amministrazioni Comunali \*
- d. Edifici destinati a sedi di Comunità Montane \*
- e. Strutture non di competenza statale individuate come sedi di sale operative per la gestione delle emergenze (COM, COC, ecc.)
- f. Centri funzionali di protezione civile
- g. Edifici ed opere individuate nei piani d'emergenza o in altre disposizioni per la gestione dell'emergenza
- h. Ospedali e strutture sanitarie, anche accreditate, dotati di Pronto Soccorso o dipartimenti di emergenza, urgenza e accettazione
- i. Sedi Aziende Unità Sanitarie Locali \*\*
- j. Centrali operative 118

\* *prioritariamente gli edifici ospitanti funzioni/attività connesse con la gestione dell'emergenza*

\*\* *limitatamente gli edifici ospitanti funzioni/attività connesse con la gestione dell'emergenza*

## 2. EDIFICI ED OPERE RILEVANTI

**Categorie di edifici e di opere infrastrutturali di competenza regionale che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.**

### Edifici

- a. Asili nido e scuole, dalle materne alle superiori
- b. Strutture ricreative, sportive e culturali, locali di spettacolo e di intrattenimento in genere
- c. Edifici aperti al culto non rientranti tra quelli di cui all'allegato 1, elenco B, punto 1.3 del Decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, n° 3685 del 21.10.2003
- d. Strutture sanitarie e/o socioassistenziali con ospiti non autosufficienti (ospizi, orfanotrofi, ecc.)
- e. Edifici e strutture aperti al pubblico destinate alla erogazione di servizi, adibiti al commercio\* suscettibili di grande affollamento

### Opere infrastrutturali

- a. Punti sensibili ( ponti, gallerie, tratti stradali, tratti ferroviari) situati lungo strade “ strategiche “ provinciali e comunali non comprese tra la “ grande viabilità “ di cui al citato documento del Dipartimento della Protezione Civile nonché quelle considerate “ strategiche “ nei piani di emergenza provinciali e comunali
- b. Stazioni di linee ferroviarie a carattere regionale (FNM, metropolitane)
- c. Porti, aeroporti ed eliporti non di competenza statale individuati nei piani di emergenza o in altre disposizioni per la gestione dell'emergenza
- d. Strutture non di competenza statale connesse con la produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica
- e. Strutture non di competenza statale connesse con la produzione, trasporto e distribuzione di materiali combustibili (oleodotti, gasdotti, ecc.)
- f. Strutture connesse con il funzionamento di acquedotti locali
- g. Strutture non di competenza statale connesse con i servizi di comunicazione (radio, telefonia fissa e portatile, televisione)
- h. Strutture a carattere industriale, non di competenza statale, di produzione e stoccaggio di prodotti insalubri e/o pericolosi
- i. Opere di ritenuta di competenza regionale;

(\*) Il centro commerciale viene definito (D.Lgs.n.114/1998) quale una media o una grande struttura di vendita nella quale più esercizi commerciali sono inseriti in una struttura a destinazione specifica e usufruiscono di infrastrutture comuni e spazi di servizio gestiti unitariamente. In merito a questa destinazione specifica si precisa comunque che i centri commerciali possono comprendere anche pubblici esercizi e attività paracommerciali (quali servizi bancari, servizi alle persone, ecc.).

## ALLEGATO B

### PROGRAMMA TEMPORALE DELLE VERIFICHE

*(art 2, comma 3 e 4 - Ordinanza PCM n. 3274/03)*

**Il programma temporale delle verifiche da effettuarsi in cinque anni (60 mesi), prevede due fasi distinte:**

*FASE A:* analisi di vulnerabilità sia degli edifici strategici e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale ai fini di protezione civile (edifici ed opere strategiche), sia degli edifici e delle opere infrastrutturali che possano assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso (edifici ed opere sensibili) di cui all'articolo 2, comma 3 e 4 dell'Ordinanza 3274/03;

*FASE B:* verifiche tecniche sui singoli edifici ed opere infrastrutturali di cui sopra.

#### FASE A

##### **Analisi di vulnerabilità**

L'analisi di vulnerabilità, al fine di garantire un livello omogeneo di rilevazione dei dati e della successiva loro elaborazione statistica, verrà condotta a cura della **Regione Lombardia** secondo le seguenti attività:

1. programmazione e coordinamento della campagna di rilevazione;
2. realizzazione, direttamente e/o tramite altri Enti pubblici (Province, Comunità Montane, ecc.) delle rilevazioni stesse, previa qualificazione del personale che verrà impiegato nell'indagine;
3. gestione dei dati delle rilevazioni da inserire in un unico database, eventualmente organizzato per Province;
4. elaborazione dei dati delle rilevazioni finalizzati alla definizione degli livelli di vulnerabilità e di rischio;
5. valutazione ed identificazione degli edifici da sottoporre a specifiche verifiche tecniche.

Per lo svolgimento delle attività sopraelencate, la Regione Lombardia potrà effettuare apposite convenzioni con Enti ed Istituti scientifici qualificati nel settore della prevenzione del rischio sismico.

Le rilevazioni degli edifici e opere infrastrutturali, per l'acquisizione di tutti i dati tecnici delle caratteristiche strutturali e degli eventuali quadri lesionativi, verranno effettuate sulla base delle indicazioni tecniche contenute nel documento "Analisi di fattibilità di un'indagine sulla vulnerabilità degli edifici strategici del territorio lombardo" a cura della Direzione Generale Territorio e urbanistica – Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria strutturale (anno 2003).

##### **Tempi**

L'analisi di vulnerabilità verrà effettuata prioritariamente nei Comuni classificati in zona 2 e 3.

L'ordine di grandezza dei tempi per l'analisi di vulnerabilità è stato valutato a partire dai dati dei 41 Comuni classificati sismici in zona 2: considerando in circa 700 il numero di edifici ed opere



strategici e sensibili da sottoporre ad analisi di vulnerabilità ed estrapolando proporzionalmente questo dato anche ai Comuni in zona 3, il numero degli edifici risulta di circa 4760.

Si stima che una squadra di rilevatori, composta da due tecnici, sia in grado di compilare in una giornata lavorativa mediamente 3 schede di rilevazione complete. Pertanto, utilizzando 5 squadre, il rilevamento di tutti gli edifici ed opere strategiche e sensibili nelle zone 2 e 3 potrà essere realizzato, considerando anche i tempi occorrenti per la fase organizzativa preliminare, in circa 30 mesi.

Nei rimanenti 30 mesi, sulla base delle risorse successivamente messe a disposizione, si effettuerà il rilevamento anche per parte degli edifici ed opere strategiche e sensibili ricadenti in zona 4 (solo determinate Categorie di edifici, come ad esempio scuole, ospedali, sedi Com).

## FASE B

### **Verifiche Tecniche**

La soglia di vulnerabilità al di sopra della quale si effettueranno, a cura delle rispettive proprietà, le verifiche di cui alla presente Fase B, sarà definita in funzione del rischio accettabile per il territorio regionale. Il rischio è infatti funzione della pericolosità sismica di base e dello stato del patrimonio edilizio regionale. La pericolosità sismica di base verrà desunta dai dati e dagli studi già in essere mentre lo stato del patrimonio edilizio verrà rilevato con l'analisi di vulnerabilità di cui alla Fase A. Le risultanze della Fase A permetteranno di definire esattamente il numero di edifici ed opere strategiche e sensibili sui quali effettuare la verifica. Tali verifiche saranno effettuate da tecnici e professionisti del settore abilitati.

### **Tempi**

Le verifiche nelle zone 2 e 3 saranno effettuate nei 30 mesi successivi alla Fase A. Nelle zone 4 le eventuali verifiche necessarie verranno effettuate a partire dall'ultimo anno del programma.

Il seguente programma sarà aggiornato ogniqualvolta si renderà necessario in funzione delle disponibilità finanziarie, delle eventuali variazioni della classificazione sismica e delle eventuali nuove disposizioni in materia.