



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. 9-31/07/2010

Comune di Leffe

Via Papa Giovanni XXIII, 8 – Leffe (BG)



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

Relazione Geologica

Bergamo, luglio 2010



Massimo Elitropi *Renato Caldarelli*



Sommario

1	PREMESSA	3
2	ANALISI DELLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CARTA DELLA PERICOLOSITÀ	
	SISMICA LOCALE (TAV. 1)	4
2.1	Introduzione	4
2.2	Zonazione della pericolosità sismica locale	7
2.2.1	PRIMO LIVELLO	7
2.2.2	SECONDO LIVELLO	8
2.2.3	TERZO LIVELLO	21
3	CARTA DEI VINCOLI (TAV. 2)	26
4	CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA AL P.A.I. (TAV. 5)	28
5	CARTA DI SINTESI (TAV. 3)	29
5.1	Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti	29
5.2	Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico	29
5.3	Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico	30
5.4	Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche	30
6	CARTA DELLA FATTIBILITÀ (TAV. 4)	31
6.1	Classi di fattibilità geologica	31
6.2	La fattibilità geologica nel comune di Lefte	33
6.2.1	CLASSE 2	33
6.2.2	CLASSE 3	34
6.2.3	CLASSE 4	36
6.3	Normativa sismica	37
6.3.1	EFFETTI DI INSTABILITÀ (PSL Z1)	37
6.3.2	ZONE CON TERRENI DI FONDAZIONI PARTICOLARMENTE SCADENTI (PSL Z2)	37
6.3.3	EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE MORFOLOGICA (PSL Z3)	38
6.3.4	EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA (PSL Z4)	39

Allegati

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

Tavole

- 1 Carta della Pericolosità Sismica Locale (scala 1:5.000);
- 2 Carta dei Vincoli (scala 1:5.000);
- 3 Carta di Sintesi (scala 1:5.000)
- 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 P.A.I. (scala 1:5.000).



1 PREMESSA

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

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

La zonazione sismica è stata aggiunta alla carta della fattibilità geologica senza modifiche sostanziali alle perimetrazioni contenute nello "*Studio Geologico*" comunale del 1995, aggiornato nel giugno 2006 *ai sensi della L.R. 41/1997*, che ha distinto gli elementi di pericolosità naturale presenti sul territorio di Leffe.

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



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

2.1 Introduzione

L'analisi sismica è articolata in tre livelli successivi di approfondimento implementati in relazione alla zona sismica di appartenenza del comune (O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003), agli scenari di pericolosità sismica locale e alla tipologia delle costruzioni in progetto (allegato 5 alla D.G.R. 8/7374 e successive integrazioni).

Le zone sismiche sono quattro e sono così definite:

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 Lefte 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
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 valutata riferendosi a una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, in base ai valori riportati nell'Allegato B al citato D.M.. La suddivisione del territorio 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 tematiche di inquadramento 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).

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.

TAB. 3: SCENARI DI PERICOLOSITÀ, EFFETTI E CLASSI DI PERICOLOSITÀ ASSOCIATE

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI	CLASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA
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°

L'analisi di terzo livello prevede un approccio quantitativo. Va sempre applicata per l'analisi degli effetti di instabilità (PSL Z1), per l'analisi 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

Il territorio di Leffe è suddiviso in quattro classi di pericolosità sismica locale e sei classi miste nelle quali coesistono differenti tematismi.

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

Sono distinti i seguenti scenari:

- **Z1a:** movimenti franosi attivi con pericolosità H3; non sono previsti ulteriori livelli di analisi oltre al primo poiché queste aree ricadono in classe di fattibilità 4.
- **Z1b:** movimenti franosi quiescenti e zone potenzialmente franose o esposte a pericolo di frana con pericolosità H2; il progetto di edifici ricadenti nel perimetro di questo scenario richiede il terzo livello di approfondimento.

Classe Z2 – In questo ambito sono compresi i terreni di fondazione particolarmente scadenti appartenenti alla Formazione di Leffe (Pliocene sup. – Pliocene inf.).

A questo settore è assegnata la classe di pericolosità H2.

Il progetto di edifici ricadenti nel perimetro di questo scenario richiede il terzo livello di approfondimento sismico.

Classe Z3 – In questo ambito sono comprese le aree soggette ad amplificazione topografica il cui sottosuolo è costituito da terreni con **andamento delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (Vs)** maggiore o uguale a 800 m/s. Questo scenario richiede il secondo livello di approfondimento ed eventualmente il terzo in fase progettuale.

Sono distinti i seguenti scenari:

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



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

Gli scenari di pericolosità sismica locale **Z3a**, zona di ciglio, e **Z3b**, zona di cresta rocciosa, sono rappresentati nella carta della pericolosità sismica locale da linee.

Il *Fattore di Amplificazione* è calcolato per la quota di cresta o di ciglio e successivamente interpolato linearmente sino alla base del pendio dove assume valore pari all'unità. Possono pertanto essere soggette ad amplificazione topografica anche aree non collocate nelle immediate vicinanze delle creste e delle scarpate.

Classe Z4 – In questo ambito sono raggruppate le aree soggette ad amplificazione litologica e geometrica. A questo scenario è associata la classe di pericolosità H2.

Sono distinti i seguenti scenari:

- **Z4a**: terreni di fondovalle formati da depositi alluvionali e/o fluvioglaciali con tessitura mista;
- **Z4b**: falde di detrito, conoidi alluvionali e conoidi deltizio lacustri;
- **Z4d**: argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale.

In fase progettuale è prevista l'analisi di terzo livello delle amplificazioni litologiche solo qualora l'analisi di secondo livello non soddisfi i valori soglia del *Fattore di Amplificazione (Fa)* fissati dalla Regione Lombardia.

2.2.2 Secondo livello

La procedura di secondo livello consiste in una valutazione semiquantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di fattore di amplificazione (*Fa*) e nel confronto con i valori soglia del territorio comunale stabiliti dalla Regione Lombardia e dalle Norme Tecniche per le Costruzioni per ciò che concerne gli effetti di amplificazione morfologica (Tab. 4).



TAB. 4: VALORI SOGLIA PER IL COMUNE DI LEFFE

	Creste e scarpate	suolo tipo A	suolo tipo B	suolo tipo C	suolo tipo D	suolo tipo E
periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	1,4 – 1,2		1,4	1,8	2,2	2,0
periodo compreso tra 0,5 – 1,5 s	//		1,7	2,4	4,2	3,1

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

La procedura di calcolo del *fattore di amplificazione (Fa)* è differente nel calcolo degli effetti morfologici (scenari Z3) e degli effetti litologici (scenari Z4).

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

La procedura di valutazione degli effetti litologici (scenari Z4) presuppone la conoscenza della litologia dei materiali presenti, della stratigrafia del sito e dell'**andamento delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (Vs) nel primo sottosuolo**. Mediante queste informazioni e l'utilizzo delle schede litologiche preparate dalla Regione Lombardia è possibile la stima del *Fa*.

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

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

Gli effetti morfologici riguardano i suoli di tipo A così come sono definiti dall'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003.

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



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

Zona di ciglio

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

✚ le scarpate sono suddivise in tre tipologie (Fig. 1):

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

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

Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano:

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

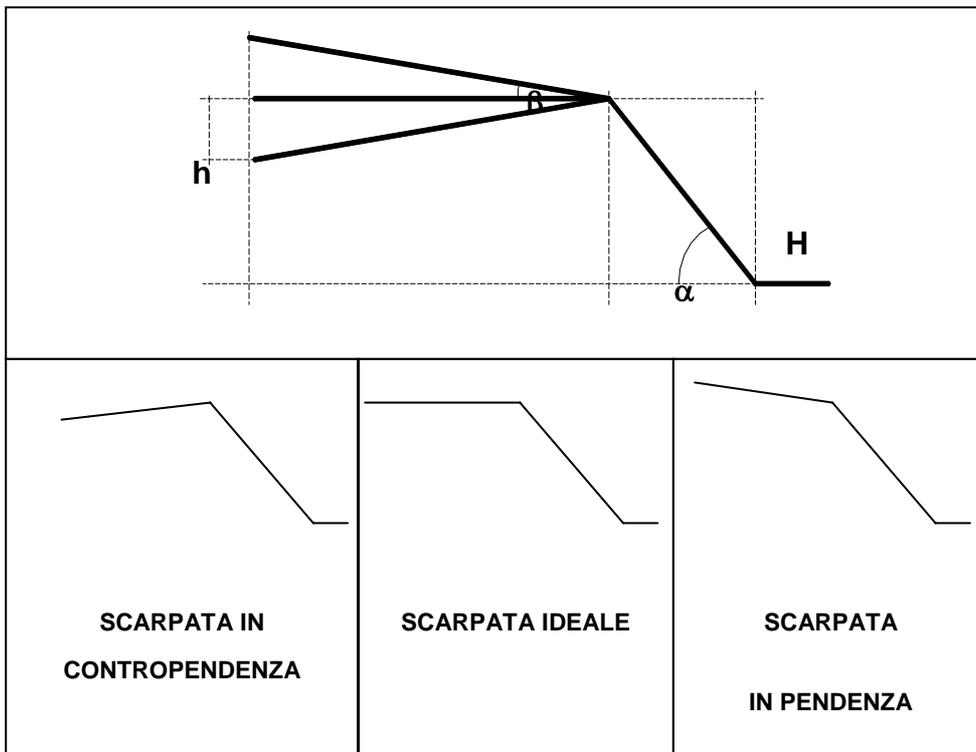


Fig. 1: Estratto della scheda per il riconoscimento della tipologia di scarpata (Allegato 1)

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

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

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

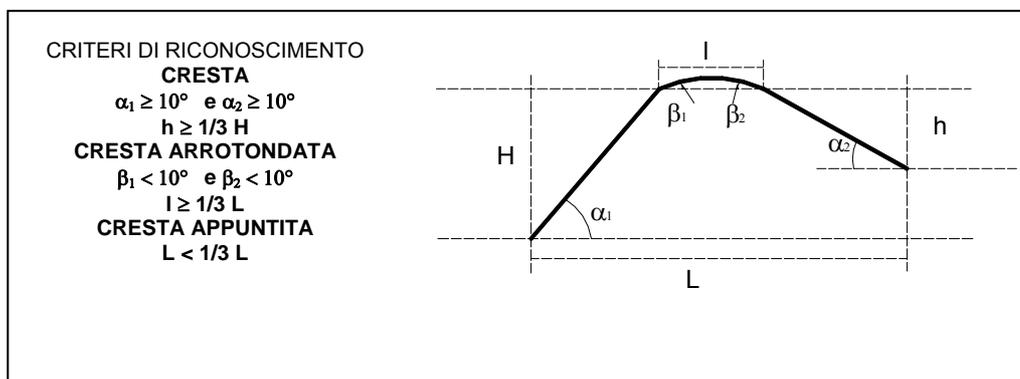
Il F_a assegnato al ciglio superiore della scarpata principale va scalato linearmente fino ad assumere valore pari all'unità all'interno della relativa area di influenza.



Zona di cresta rocciosa

Le creste rocciose sono suddivise in due categorie:

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



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

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

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

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



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

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

Successivamente tale valore deve essere confrontato con i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia.

Valori soglia per il fenomeno dell'amplificazione topografica

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

TAB. 6: VALORI SOGLIA St (NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2008 - NTC08).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica		St
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $1 \leq 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Analisi dei risultati ottenuti

L'analisi di secondo livello per il fenomeno dell'amplificazione topografica è stata condotta prendendo in considerazione le creste e le scarpate morfologiche più rilevanti del territorio comunale. Sono quindi state analizzate 24 sezioni topografiche, 14 relative allo scenario delle scarpate (Z3a) e 10 relative allo scenario delle creste (Z3b).

L'applicazione della procedura semplificata per il calcolo del fattore di amplificazione, la cui procedura è stata descritta nei precedenti capitoli, ha consentito di ricavare i valori del fattore di amplificazione di sito che sono stati confrontati con i relativi valori soglia, come riassunto nella seguente tabella 7.

Come si evince da tale confronto i valori di Fa calcolati nell'ambito del presente studio sono sempre risultati verificati.



TAB. 7: CONFRONTO TRA I VALORI CALCOLATI E I VALORI SOGLIA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE.

Sezione	Scenario	Fa	Soglia	
C 1	Cresta appuntita	1,3	1,4 + 0,1	T4
			1,2 + 0,1	T3
C 2	Cresta appuntita	1,3	1,4 + 0,1	T4
			1,2 + 0,1	T3
C 3	Cresta appuntita	1,3	1,4 + 0,1	T4
			1,2 + 0,1	T3
C 4	Cresta appuntita	1,3	1,4 + 0,1	T4
			1,2 + 0,1	T3
C 5	Cresta appuntita	1,3	1,4 + 0,1	T4
			1,2 + 0,1	T3
C 6	Cresta appuntita	1,2	1,4 + 0,1	T4
			1,2 + 0,1	T3
C 7	Cresta appuntita	1,2	1,4 + 0,1	T4
			1,2 + 0,1	T3
C 8	Cresta appuntita	1,2	1,4 + 0,1	T4
			1,2 + 0,1	T3
C 9	Cresta arrotondata	1,1	1,4 + 0,1	T4
			1,2 + 0,1	T3
C 10	Cresta arrotondata	1,1	1,4 + 0,1	T4
			1,2 + 0,1	T3
S 1	Scarpata	1,1	1,2 + 0,1	T2
S 2	Scarpata	1,1	1,2 + 0,1	T2
S 3	Scarpata	1,1	1,2 + 0,1	T2
S 4	Scarpata	1,1	1,2 + 0,1	T2
S 5	Scarpata	1,1	1,2 + 0,1	T2
S 6	Scarpata	1,1	1,2 + 0,1	T2
S 7	Scarpata	1,2	1,2 + 0,1	T2
S 8	Scarpata	1,2	1,2 + 0,1	T2
S 9	Scarpata	1,2	1,2 + 0,1	T2
S 10	Scarpata	1,2	1,2 + 0,1	T2
S 11	Scarpata	1,1	1,2 + 0,1	T2
S 12	Scarpata	1,1	1,2 + 0,1	T2
S 13	Scarpata	1,2	1,2 + 0,1	T2
S 14	Scarpata	1,2	1,2 + 0,1	T2



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

Procedura

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

Attualmente sono disponibili 6 schede per 6 differenti litologie prevalenti.

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

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

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

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

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

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

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



Il *fattore di amplificazione* ottenuto, con un'approssimazione di +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 negli scenari di Pericolosità Sismica Locale Z4a, Z4b, Z4c e Z4d (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_s**.

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



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

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

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

Procedura in sito

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

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



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

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

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

Interpretazione delle misure

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

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

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



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

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

Le prospezioni sismiche sono state interpretate mediante il software SWAN (GeoStudi 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 V_s con la profondità. Il profilo così ottenuto può essere ulteriormente modificato per aumentare il grado di interpolazione tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

Analisi dei risultati ottenuti

Sono state realizzate quattro prove MASW nei siti individuati dai numeri da 1 a 4.

L'ubicazione delle prove è stata fortemente condizionata dall'elevato grado di urbanizzazione del territorio.

Le prove 1, 2 e 4 hanno interessato i terreni del terrazzo alluvionale recente che formano il primo sottosuolo della maggior parte dell'abitato del capoluogo, e che ricadono nello scenario di pericolosità sismica locale Z4a.



La prova 3 è stata realizzata in prossimità della località Impiadelle, sulla falda di depositi eluvio, colluviali che caratterizzano la fascia pedemontana meridionale del comune di Leffe nello scenario di pericolosità sismica locale Z4d.

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. 8) e confrontarlo con i valori soglia (Tab. 9).

TAB. 8: FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

	periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	periodo compreso tra 0,5 – 1,5	Vs30 m/s
Sito 1	1,7	1,1	261
Sito 2	1,3	1,0	731 / 710
Sito 3	1,6	1,1	422 / 442
Sito 4	1,3	1,0	760 / 686

TAB. 9: 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
Soglia	1,4	1,7	1,8	2,4	2,2	4,2	2,0	3,1
Sito 1			1,7	1,1				
Sito 2	1,3	1,0						
Sito 3							1,6	1,1
Sito 4							1,3	1,0

L'eterogeneità litologica insita nei depositi alluvionali ha determinato risposte diverse nei tre siti indagati, seppure ricadenti nella stessa unità litologica e nello stesso scenario di pericolosità sismica (Z4a). Il valori di Vs30 hanno collocato il sottosuolo rispettivamente nelle classi C (sito 1), B (sito 2) ed E (sito 4) (Tab. 9).

L'indagine eseguita nel sito 3 (scenario Z4d) ha identificato il terreno come un suolo di tipo E.



2.2.2.3 Considerazioni conclusive

Amplificazione topografica

L'analisi di secondo livello ha analizzato gli scenari di pericolosità sismica locale di cresta e scarpata morfologica.

Dal confronto con i rispettivi valori di soglia è risultato che i valori di F_a calcolati mediante la procedura semplificata regionale sono inferiori o uguali al valore soglia (Tab. 6). Lo spettro previsto dalla normativa sismica nazionale (NTC08, D.M. 14 gennaio 2008) risulta pertanto sufficientemente cautelativo per ciò che concerne il fenomeno dell'amplificazione topografica nel territorio comunale di Lefte.

In fase progettuale dovrà essere considerata dal tecnico incaricato la presenza di scenari di Pericolosità Sismica Locale che rientrino nella casistica della classe Z3 e valutato il relativo fattore di amplificazione.

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

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

Amplificazione litologica

I terreni appartenenti allo scenario di pericolosità sismica locale Z4 sono stati caratterizzati attraverso le 4 prove MASW descritte (Tab. 9).

L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha rilevato che nei siti indagati e appartenenti agli scenari di pericolosità sismica locale Z4a, Z4b e Z4d, non è necessario implementare il terzo livello di approfondimento sismico poichè 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).

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



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 instabilità (PSL Z1)

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

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

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

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

- ✚ inquadramento geologico in un intorno significativo ed esecuzione di alcune sezioni geologiche e topografiche (scala 1:10.000);
- ✚ individuazione dei parametri dell'input sismico (valori del picco di accelerazione, valore di picco di velocità);
- ✚ rilievi geomeccanici per la classificazione degli ammassi rocciosi;



- ✚ identificazione dei principali cinematismi di rotture degli ammassi rocciosi;
- ✚ descrizione e rilievo della pista di scendimento dei massi;
- ✚ costruzione del modello numerico delle piste di scendimento e verifiche di caduta massi con vari metodi e statistiche di arrivo.

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

I terreni caratterizzati dalla presenza di depositi di origine lacustre, appartenenti all'unità geologica della formazione di Lefte, sono stati inseriti nello scenario di pericolosità sismica locale Z2.

In questi terreni il verificarsi di un evento sismico può causare cedimenti differenziali con conseguenti problemi di stabilità delle strutture.

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

2.2.3.3 Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3)

Gli scenari di pericolosità sismica locale **Z3a**, scarpate morfologiche, e **Z3b**, creste morfologiche sono rappresentati nella carta della pericolosità sismica locale da linee.

L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha individuato le scarpate nonché le principali creste morfologiche e accertato per questi lineamenti la congruità con i valori soglia previsti dalla normativa.

In fase progettuale dovrà essere considerata dal tecnico incaricato la presenza di scenari di Pericolosità Sismica Locale che rientrino nella casistica della classe Z3 e valutato il relativo fattore di amplificazione.

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

- ✚ aree di cresta o scarpata nel caso si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani;



- ✚ aree di cresta o scarpata se in un intorno significativo dell'area di progetto si rilevino asperità morfologiche ricadenti nella casistica delle PSL Z3 ed il fattore di amplificazione, calcolato caso per caso, sia maggiore del valore soglia St.

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

Le metodologie strumentali prevedono lo sviluppo di una campagna di acquisizione dati tramite prove specifiche (nell'allegato 5 alla D.G.R. 8/7374 sono indicati a titolo esemplificativo il metodo di Nakamura (1989) ed il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981)).

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

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

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

2.2.3.4 Effetti di amplificazione litologica (PSL Z4)

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

Per l'analisi dell'amplificazione litologica le metodologie strumentali prevedono lo sviluppo di una campagna di acquisizione dati tramite prove specifiche (nell'allegato 5 alla D.G.R. 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 Leffe sono presenti:

- ✚ **Vincoli di polizia idraulica:** sul reticolo idrografico principale (individuato in base alla L. 1/2000 e successive modificazioni) ai sensi del R.D. n. 523/1904 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. 7/7868 del 2002).
- ✚ 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.

Nella tavola sono riportate le aree di dissesto con legenda uniformata al P.A.I. individuate nella tavola 8 dello studio “Integrazione alla Indagine geologica di supporto al Piano Regolatore Generale ai sensi della L.R. 41/97” (GEA, 2005). In tale studio sono stati riconosciuti e cartografati i seguenti tematismi:

- Trasporto di massa sui conoidi:
 - **Cp**, aree di conoidi attivi o potenzialmente attivi parzialmente protette da opere di difesa e di sistemazione a monte - (pericolosità elevata);
 - **Cn**, aree di conoidi non recentemente riattivatisi o completamente protette da opere di difesa – (pericolosità media o moderata).
- Aree franose:
 - **Fa**, aree interessate da frane attive - (pericolosità molto elevata);
 - **Fq**, aree interessate da frane quiescenti - (pericolosità elevata);



- esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua:
 - **Ee**, aree coinvolgibili dai fenomeni con pericolosità molto elevata.

Agli ambiti ricadenti in tali perimetrazioni si applicano le prescrizioni contenute nell'art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI.

✚ **Zone 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.



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

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

Sulla tavola sono riportate le aree di dissesto come sono state individuate nell'aggiornamento ai sensi della L.R. 41/97 dello "Studio Geologico" del 1995 e parzialmente aggiornate allo stato di fatto attuale.

Sono stati individuati i seguenti tematismi:

✚ Trasporto di massa sui conoidi:

- **Cp**, aree di conoidi attivi o potenzialmente attivi parzialmente protette da opere di difesa e di sistemazione a monte - (pericolosità elevata);
- **Cn**, aree di conoidi non recentemente riattivatisi o completamente protette da opere di difesa - (pericolosità media o moderata).

✚ Aree franose:

- **Fa**, aree interessate da frane attive - (pericolosità molto elevata);
- **Fq**, aree interessate da frane quiescenti - (pericolosità elevata);

✚ Esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua:

- **Ee**, aree coinvolgibili dai fenomeni con pericolosità molto elevata;

Agli ambiti ricadenti in tali perimetrazioni si applicano le prescrizioni contenute nell'art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI.



5 CARTA DI SINTESI (TAV. 3)

La Carta di Sintesi è costituita da una serie di poligoni ognuno dei quali definisce una porzione di territorio caratterizzata da pericolosità omogenea per la presenza di uno o più fenomeni di rischio in atto o potenziale, o da vulnerabilità idrogeologica. La sovrapposizione di più ambiti genera poligoni misti per pericolosità determinata da più fattori.

La delimitazione dei poligoni è basata sulla valutazione della pericolosità e l'area 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.

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

cr: area soggetta a crolli di massi localizzata sulle pendici settentrionali del Monte Crocione.

fa: area franosa attiva; franosità superficiale e soliflusso diffuso.

fq: area di frana quiescente.

sl1: area a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di scivolamenti di coperture detritiche fini (argilla e limo) su pendii acclivi.

sl2: area a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di scivolamenti di coperture detritiche a tessitura mista su pendii poco acclivi.

5.2 Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico

tor: area di pertinenza torrentizia, le cui dinamiche sono governate dallo scorrimento di acque all'interno di solchi di ruscellamento concentrato o torrenti. Le criticità sono causate dall'erosione accelerata delle sponde e possibilità di innesco di scivolamenti superficiali. Sono comprese le fasce perimetrali alle incisioni torrentizie lungo i versanti collinari.

cn: area di conoide non recentemente riattivatasi o completamente protetta.



ac1: area che presenta evidenti morfologie carsiche con un'elevata conducibilità idraulica e vulnerabilità dell'acquifero carsico. Comprende due aree collocate sul pianoro del Monte Crocione.

ac2: area a morfologia carsica e conducibilità idraulica da media a ridotta ed elevata vulnerabilità dell'acquifero carsico. Comprende l'intero altopiano del Monte Crocione.

5.3 Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico

in: area potenzialmente inondabile.

5.4 Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche

sub: area interessata da un progressivo abbassamento del piano campagna dovuto alla compattazione dei materiali (subsidenza).

gt1: area prevalentemente limosa, argillosa, con limitata capacità portante. Individua i sedimenti lacustri appartenenti alla Formazione di Leffe affioranti lungo il confine nord occidentale del territorio comunale.

gt2: area prevalentemente limosa, sabbiosa, con bassa, discreta capacità portante. Individua i depositi eluviali e colluviali soprastanti il substrato roccioso.

gt3: area con consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali dovute a eterogeneità di facies, compresi i depositi alluvionali attuali e recenti affioranti più o meno estesamente lungo gli alvei delle aste torrentizie.



6 CARTA DELLA FATTIBILITÀ (TAV. 4)

6.1 Classi di fattibilità geologica

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

È opportuno ricordare che 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.

6.2 La fattibilità geologica nel comune di Lefte

6.2.1 Classe 2

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

Sono compresi i settori pianeggianti del territorio di Lefte e quelli poco acclivi in assenza di fenomeni di dissesto a larga scala.



L'utilizzo delle aree ricadenti nella classe 2 di fattibilità e finalizzato a nuove infrastrutture, nuove edificazioni, ampliamenti e/o sopraelevazioni di strutture esistenti, qualora determinino un significativo aumento dei carichi sul terreno o scavi di profondità superiore a 1,5 metri, o la trasformazione della morfologia del territorio comportanti modifiche alla quota del piano di campagna esistente superiori a un metro, è subordinato alla realizzazione di approfondimenti di carattere geotecnico e/o idrogeologico riferiti alle specifiche problematiche presenti nell'area in relazione ai singoli progetti.

Per i piani attuativi in cui sono previsti gli interventi sopra descritti l'indagine dovrà riferirsi all'intera area di urbanizzazione al fine di supportare la progettazione e la realizzazione di eventuali opere di sistemazione e bonifica del comparto in oggetto e che non dovranno incidere negativamente sulle aree limitrofe.

Fatte salve le specifiche condizioni rilevate dall'Ufficio Tecnico Comunale in relazione a particolari soluzioni progettuali, sono esclusi dall'obbligo di cui sopra le seguenti tipologie di opere:

- le derivazioni locali di linee elettriche, di telecomunicazione e di distribuzione dei gas interrati, le condotte idriche e fognarie.
- la posa in opera di cartelli e recinzioni.
- gli interventi di sistemazione idraulico-forestale, di ordinaria e straordinaria manutenzione della viabilità agro-silvo-pastorale comportanti scavi e movimenti di terra inferiori ai 50 mc nella loro totalità.

Qualsiasi modifica alle destinazioni d'uso di queste aree è subordinata alla realizzazione di accertamenti geognostici sulla base di quanto contenuto nel D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008.

6.2.2 Classe 3

In questa classe ricadono le zone dove sono state riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni per l'entità e la natura dei pericoli individuati sia localmente che nelle aree immediatamente limitrofe.

In relazione alle condizioni di pericolo riscontrate sono state individuate cinque sottoclassi.



- 3a

La sottoclasse 3a comprende quelle parti del territorio di Leffe che presentano terreni a granulometria fine su pendii inclinati.

L'utilizzo di queste aree è subordinato alla realizzazione di approfondimenti ed indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 giugno 2008) necessari per la caratterizzazione puntuale dei parametri geotecnici del sottosuolo nonché della situazione idrogeologica locale in un intorno significativo, al fine di procedere all'analisi di stabilità del complesso pendio-opera.

Si applicano altresì le prescrizioni previste dall'art. 9, comma 3, delle N.d.A. del P.A.I..

- 3b

Nella sottoclasse 3b sono inserite le aree caratterizzate dalla presenza di conoidi non recentemente riattivatisi o protette.

L'utilizzo di queste aree è subordinato alla realizzazione approfondimenti e indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 giugno 2008) necessari per la caratterizzazione puntuale dei parametri geotecnici del sottosuolo nonché della situazione idrogeologica e idraulica locale in un intorno significativo, al fine di procedere all'analisi di stabilità del complesso pendio-opera.

- 3c

Nella sottoclasse 3c sono comprese quelle parti del territorio comunale costituite da terreni con scadenti proprietà meccaniche, soggette a lento abbassamento del piano campagna dovuto alla compattazione dei materiali del bacino lacustre di Leffe e possibili ristagni di acqua superficiale.

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di indagini geognostiche ad hoc al fine di caratterizzare puntualmente i parametri meccanici del sottosuolo, nonché la situazione idrogeologica locale al fine di prevedere, già in fase progettuale, quegli accorgimenti tecnici necessari a garantire la salubrità dei locali.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per le fasce di rispetto delle captazioni idropotabili (capitolo 3) per quegli ambiti che ricadono nella relativa perimetrazione.



- 3d

La sottoclasse 3d individua quelle aree interessate dalla presenza di frane quiescenti.

A tali zone devono essere applicate le norme di cui all'art. 9, comma 3, delle N.d.A. del P.A.I..

- 3e

Nella sottoclasse 3e sono comprese quelle aree a elevata vulnerabilità che ricadono all'interno del bacino idrogeologico degli acquiferi carsici, formate da substrato roccioso affiorante e subaffiorante con evidente morfologia carsica.

L'utilizzo di queste aree è subordinato alla realizzazione di approfondimenti idrogeologici e ambientali che attestino su base scientifica l'idoneità degli interventi proposti in relazione alle specifiche caratteristiche geologiche e idrogeologiche del sito e/o propongano soluzioni per la mitigazione del rischio.

Si dovrà prestare particolare attenzione a quegli interventi potenzialmente pericolosi per la risorsa idrica sotterranea quali lo sviluppo di pratiche agricole-zootecniche, lo spandimento o lo stoccaggio di concimi organici e/o chimici, di sostanze inquinanti e la realizzazione di perforazioni per pozzi.

6.2.3 Classe 4

Nella classe 4 l'alta pericolosità e/o vulnerabilità comporta gravi limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso. Dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti saranno consentite esclusivamente le opere relative a interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b) e c) della L.R. 12/05.

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico potranno essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili e dovranno comunque essere puntualmente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, dovrà essere allegata un'apposita



relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di rischio presente.

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

- 4a

Nella sottoclasse 4a ricadono le aree di pertinenza torrentizia, le aree interessate da movimenti franosi superficiali, le aree soggette a crollo, transito e accumulo di massi, le aree potenzialmente inondabili nonché le aree in evidente dissesto idrogeologico.

Interventi tesi al consolidamento dei versanti e/o alla mitigazione del pericolo esistente potranno consentire una modifica del grado di pericolosità presente.

- 4b

La sottoclasse 4b è circoscritta nell'altopiano del Monte Crocione ed individua le aree di alimentazione dell'acquifero carsico con conducibilità idraulica e vulnerabilità molto elevata.

6.3 Normativa sismica

Al mosaico della fattibilità sono sovrapposte due campiture 'trasparenti' che individuano le aree dove è richiesta l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico senza passaggi intermedi.

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

6.3.1 Effetti di instabilità (PSL Z1)

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

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



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

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

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

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

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

6.3.3 Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3)

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

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

L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha individuato le scarpate, nonché le principali creste morfologiche e accertato per questi lineamenti la congruità con i valori soglia previsti dalla normativa.



In fase progettuale dovrà essere considerata dal tecnico incaricato la presenza di scenari di Pericolosità Sismica Locale che rientrino nella casistica della classe Z3 e valutato il relativo fattore di amplificazione.

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

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

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

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

6.3.4 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 e appartenenti agli scenari di pericolosità sismica locale Z4a, Z4b e Z4d, non è necessario implementare il terzo livello di approfondimento sismico poichè 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).



Il terzo livello di approfondimento dovrà essere applicato rispettando le direttive tecniche regionali riassunte nel paragrafo 2.2.3.4. Tali approfondimenti dovranno essere preceduti dalla definizione della classe sismica di appartenenza del suolo (A, B, C, D, E).

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

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

Dott. Geol. Renato Caldarelli

Dott. Geol. Massimo Elitropi

Renato Caldarelli

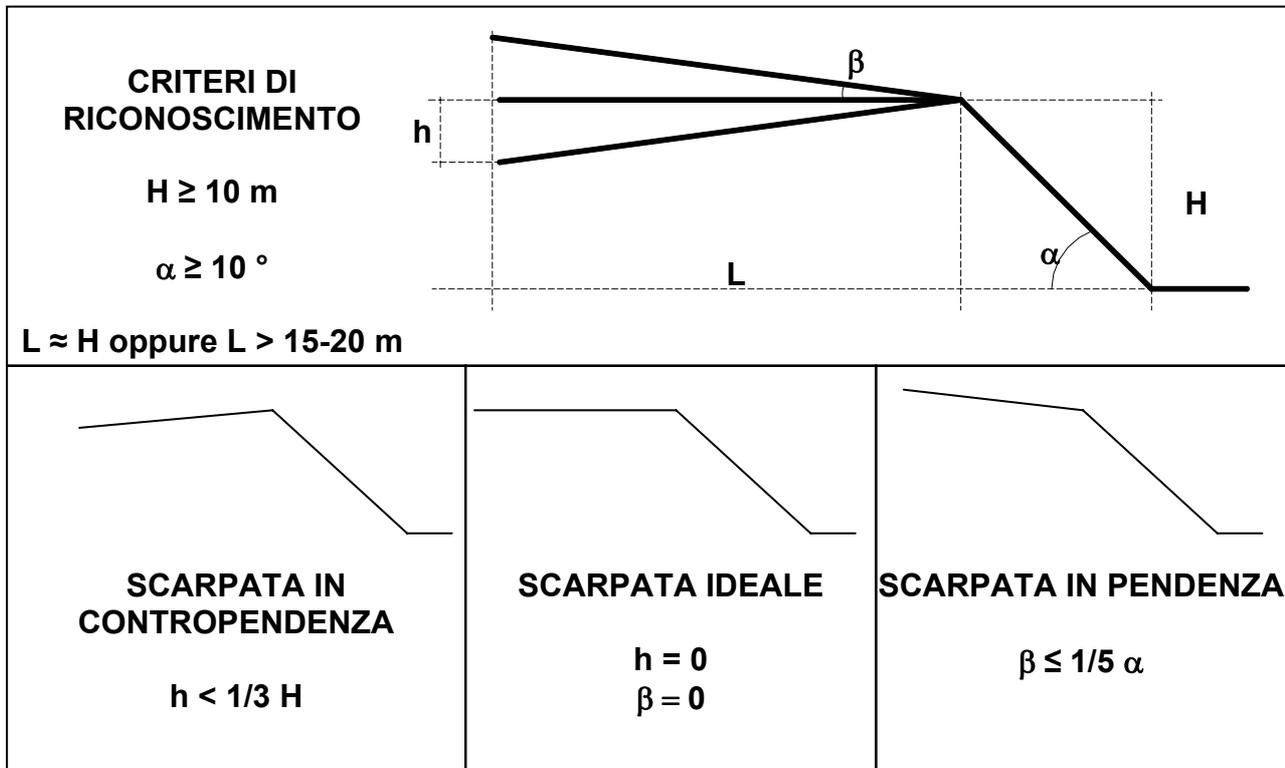


Massimo Elitropi

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	

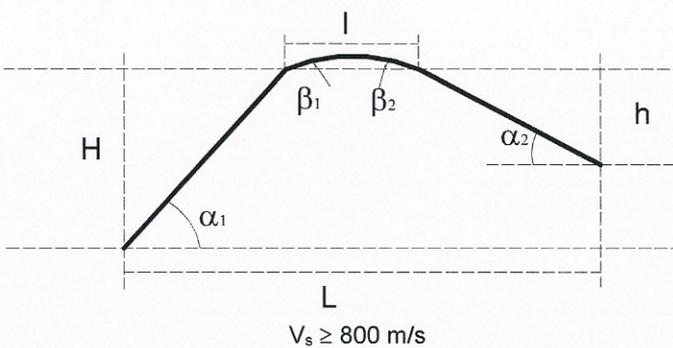
EFFETTI MORFOLOGICI – CRESTE - SCENARIO Z3b

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

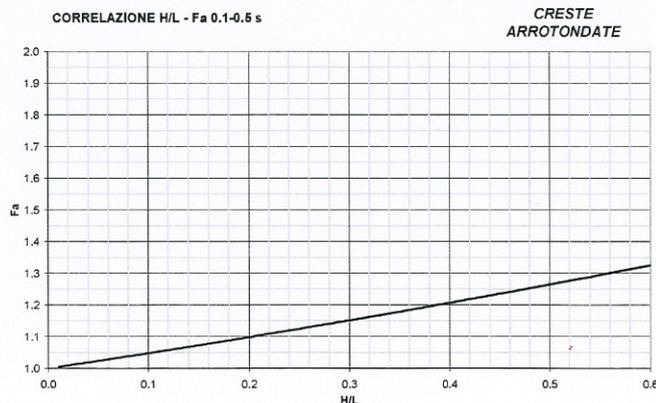
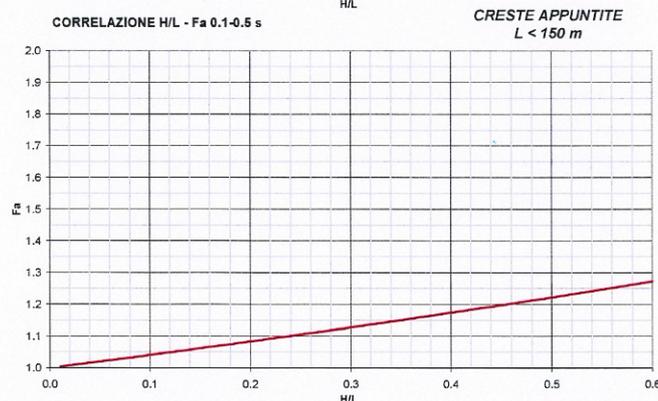
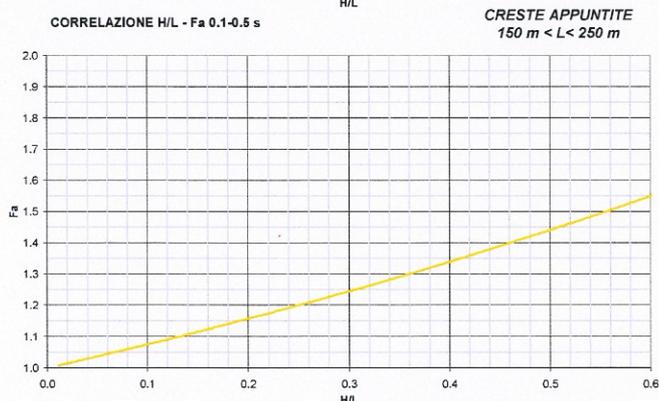
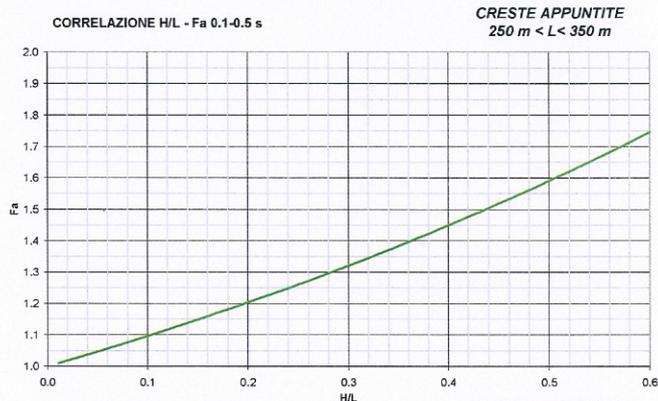
CRESTA
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

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

CRESTA APPUNTITA
 $l < 1/3 L$



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



EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA GHIAIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

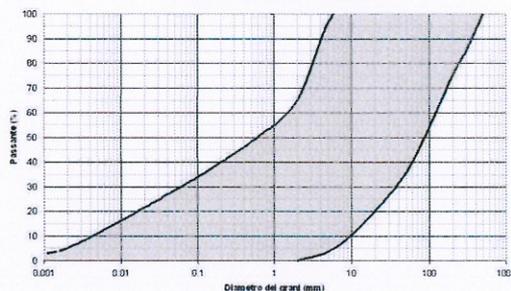
GRANULOMETRIA:

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

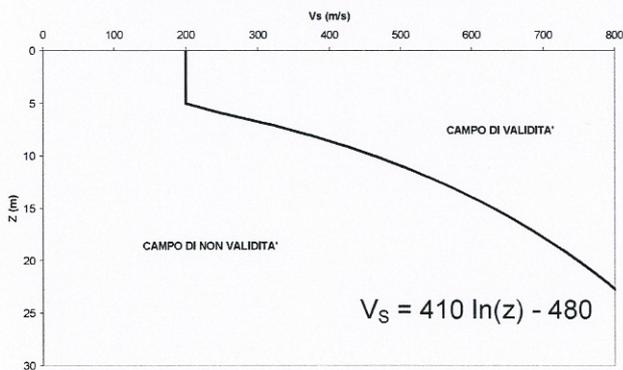
NOTE:

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

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO



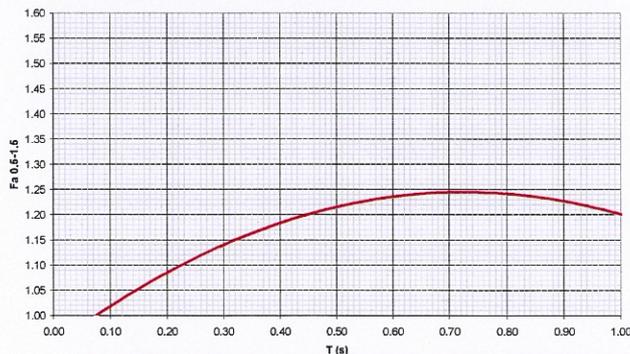
ANDAMENTO DEI VALORI DI V_s CON LA PROFONDITA'



Profondità primo strato (m)

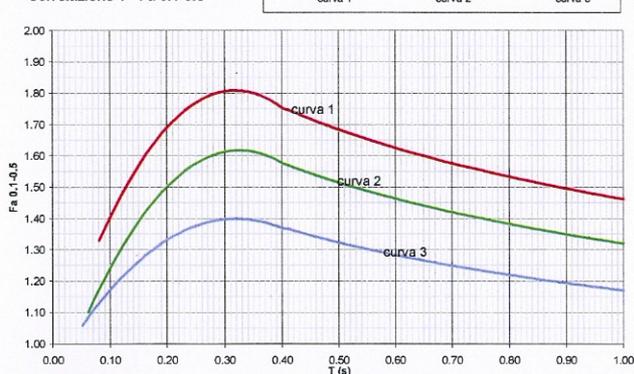
Profondità primo strato (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	
200				1	1										
250				2	2	2									
300				3	3	3	3								
350				3	3	3	3	3							
400				3	3	3	3	3	3						
450				3	3	3	3	3	3	3					
500				3	3	3	3	3	3	3	3				
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3			
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Correlazione T - Fa 0.5-1.5 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

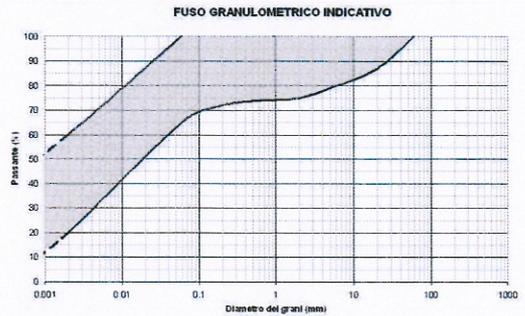
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

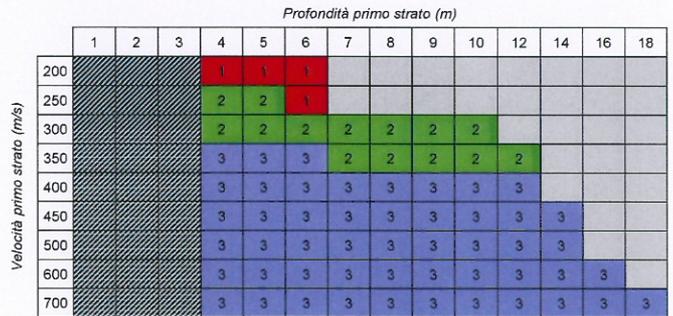
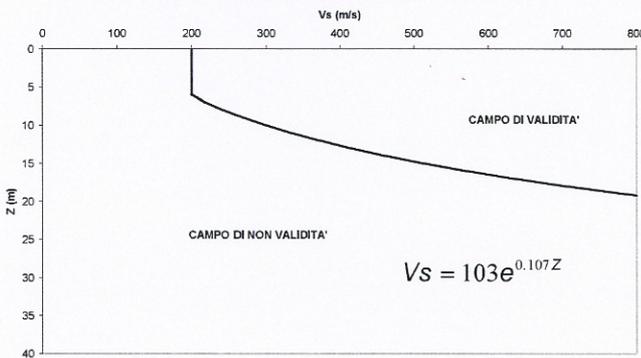
Da limi ghiaioso – argillosi debolmente sabbiosi ad argille con limi passando per limi argillosi, limi con sabbie argillose, limi e sabbie con argille, argille ghiaiose, argille ghiaiose debolmente limose ed argille con sabbie debolmente limose

NOTE:

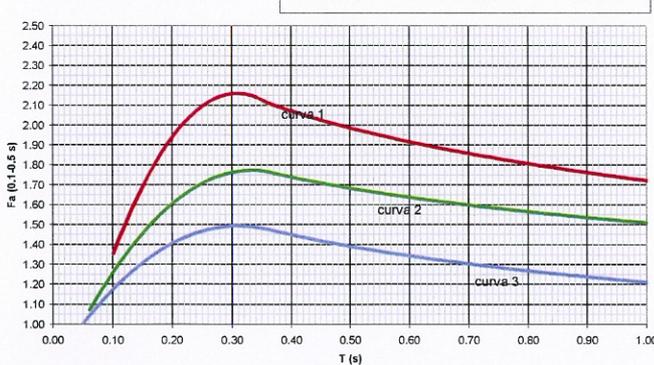
- Comportamento coesivo
- Struttura matrice-sostenuta
- Frazione limosa superiore al 40%
- Presenza di clasti immersi con $D_{max} < 2-3$ cm
- Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 25%
- Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 35%
- Frazione argillosa compresa tra 20% e 60%
- Presenza di eventuali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



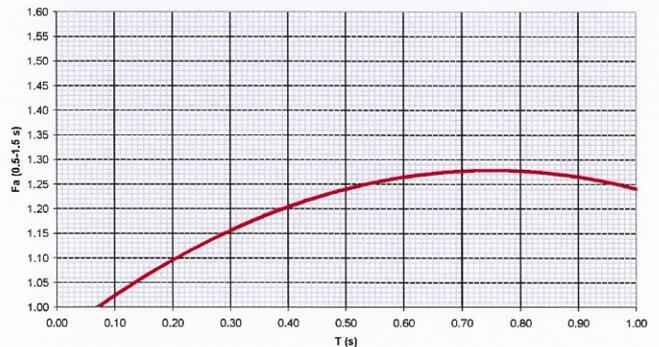
ANDAMENTO DEI VALORI DI Vs CON LA PROFONDITA'



Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



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

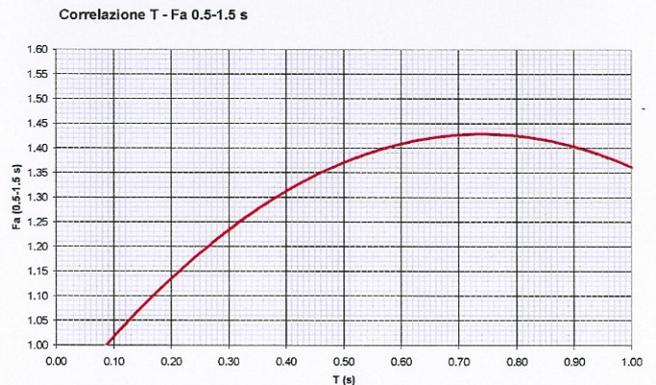
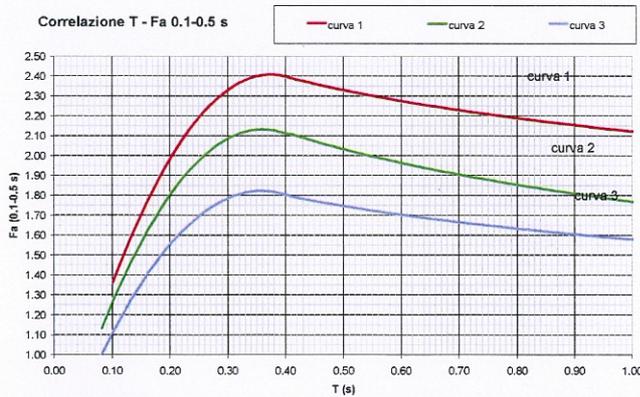
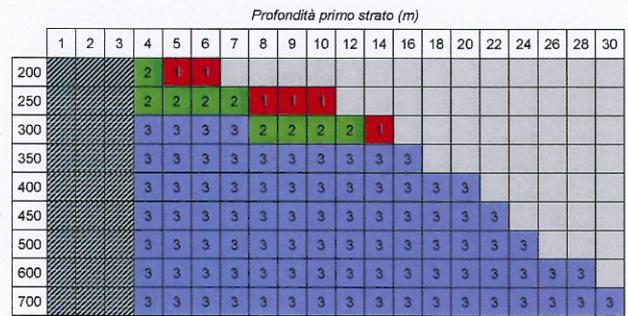
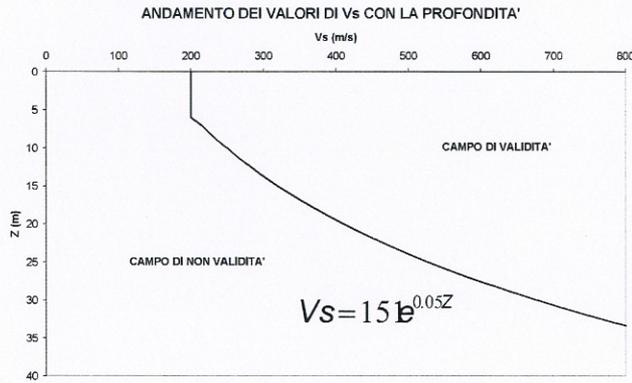
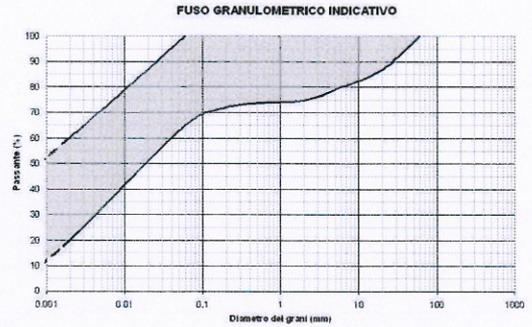
Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -18.7T^2 + 11.5T + 0.39$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.72 - 0.38LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.5T^2 + 6.3T + 0.73$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.51 - 0.25LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.35$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

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	γ [kN/m ³]	19.5-20.0
Peso specifico particelle solide	γ_s [kN/m ³]	25.7-26.7
Contenuto d'acqua naturale	w [%]	20-25
Limite di liquidità	w _L [%]	30-50
Limite di plasticità	w _P [%]	15-20
Indice di plasticità	I _P [%]	15-30
Indice dei vuoti	e	0.5-0.7
Grado di saturazione	S _r [%]	90-100
Coefficiente di spinta a riposo	K ₀	0.5-0.6
Indice di compressione	C _c	0.15-0.30
Indice di rigonfiamento	C _s	0.02-0.06
Coefficiente di consolidazione secondaria	C _a	0.001-0.005
Grado di consolidazione	OCR	1-3
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	N _{spt}	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

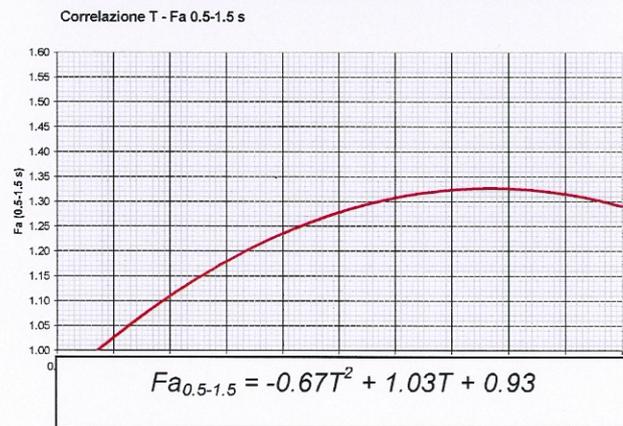
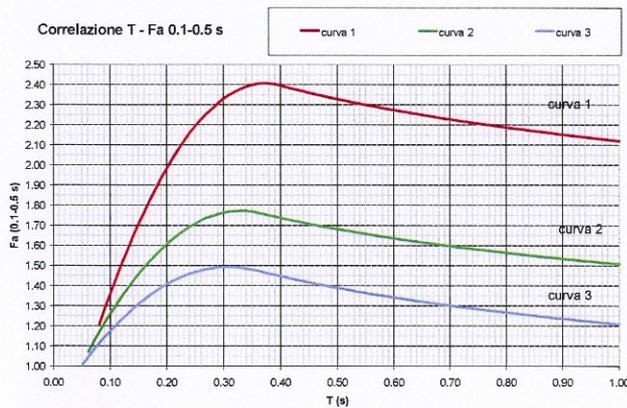
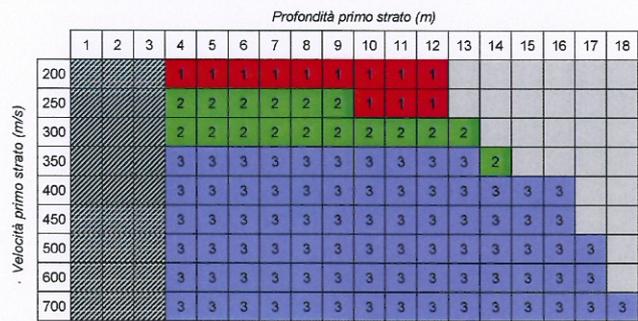
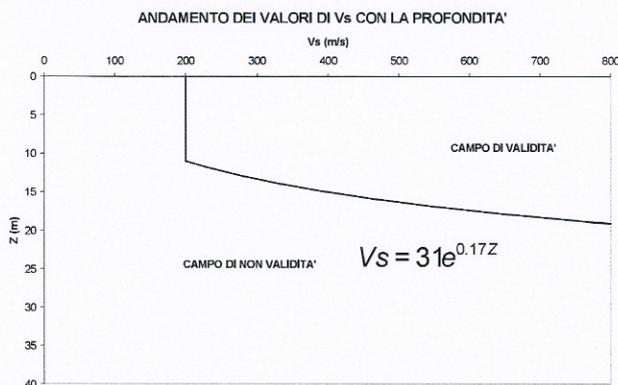
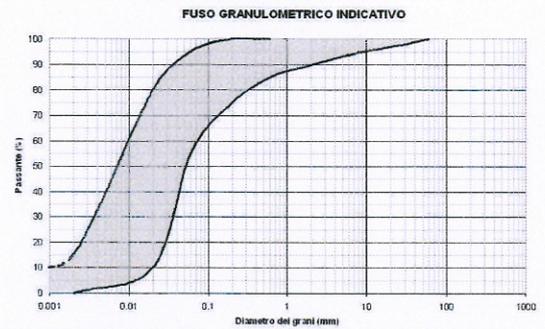
PARAMETRI INDICATIVI

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

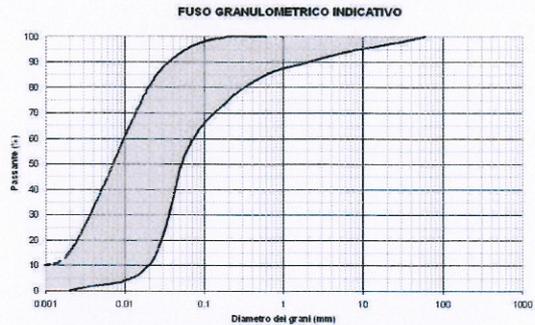
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

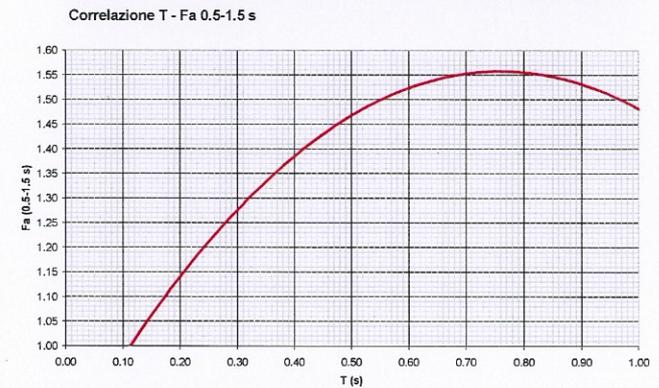
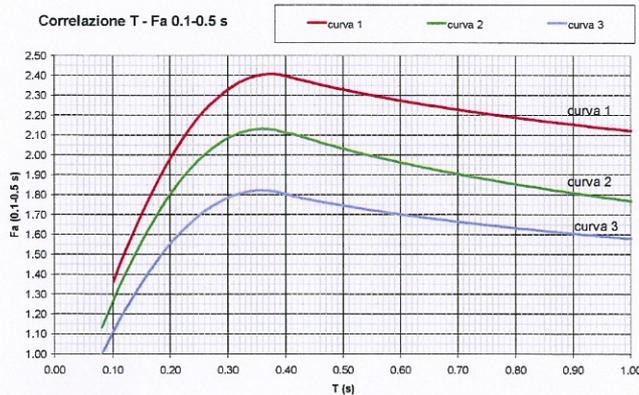
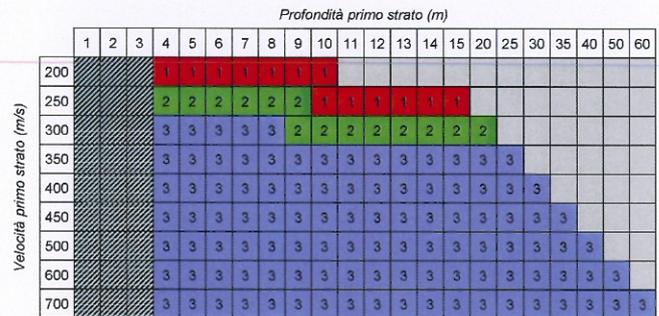
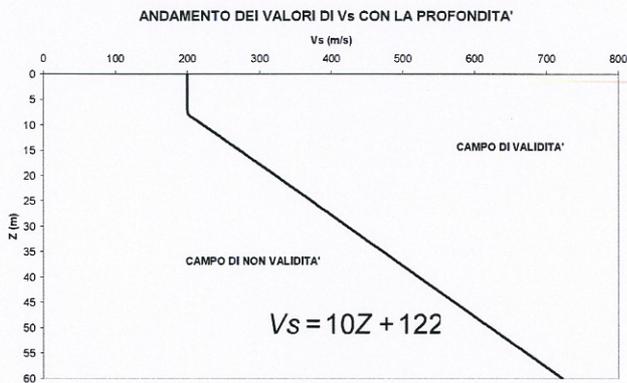
Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

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	γ (kNm ³) 18.5-19.5
Peso specifico particelle solide	γ_s (kNm ³) 26.0-27.9
Contenuto d'acqua naturale	w (%) 25-30
Limite di liquidità	w _L (%) 25-35
Limite di plasticità	w _p (%) 15-20
Indice di plasticità	I _p (%) 5-15
Indice dei vuoti	e 0.6-0.9
Grado di saturazione	S _r (%) 90-100
Coefficiente di spinta a riposo	K ₀ 0.4-0.5
Indice di compressione	C _c 0.10-0.30
Indice di rigonfiamento	C _s 0.03-0.05
Coefficiente di consolidazione secondaria	C _α 0.002-0.006
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	N _{spt} 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

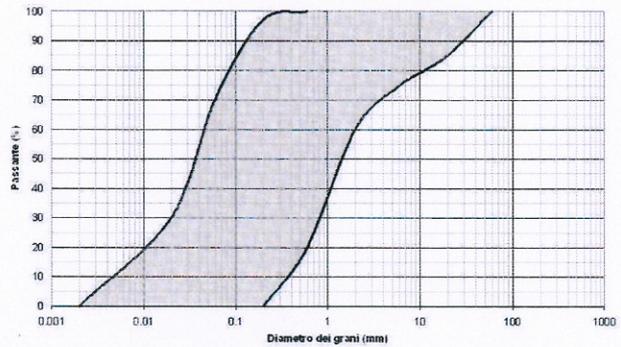
GRANULOMETRIA:

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

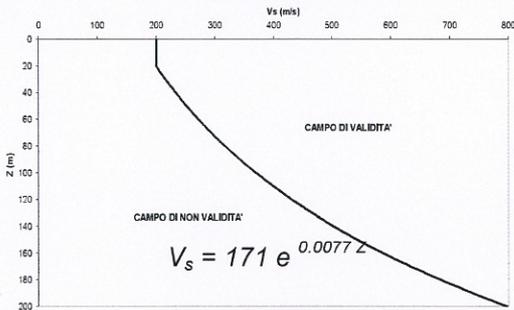
NOTE:

- 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



$$V_s = 171 e^{0.0077 Z}$$

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

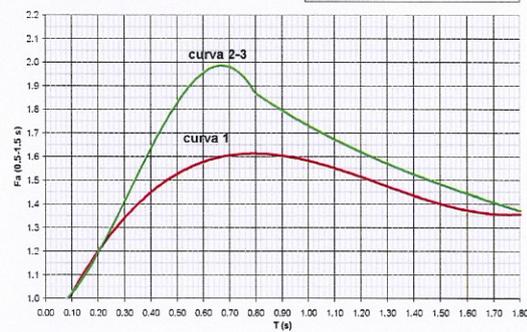
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s



Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



Correlazione T - Fa (0.5-1.5 s)



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

Curva	
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)

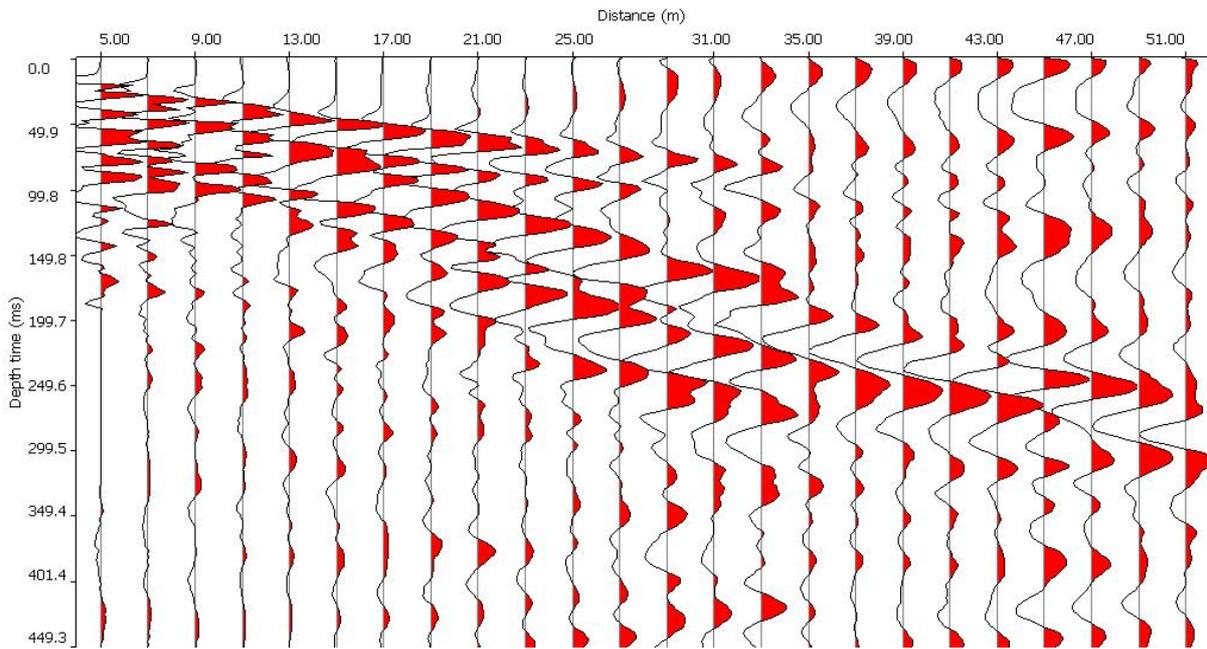


Fig. 1: Sismogramma medio

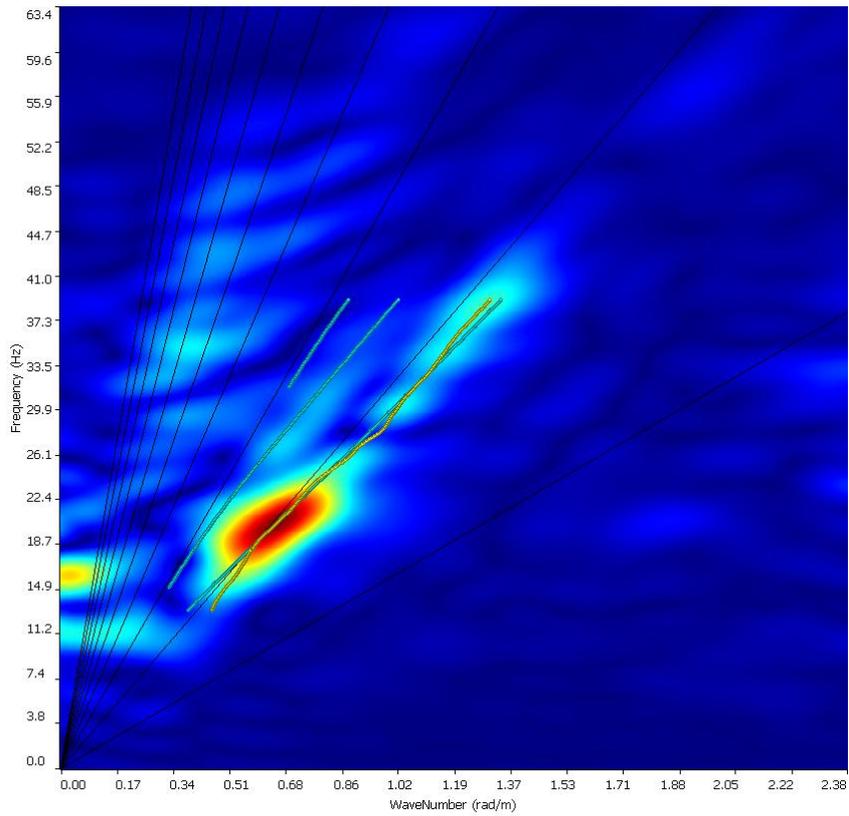


Fig. 2: Spettro Frequenza-velocità

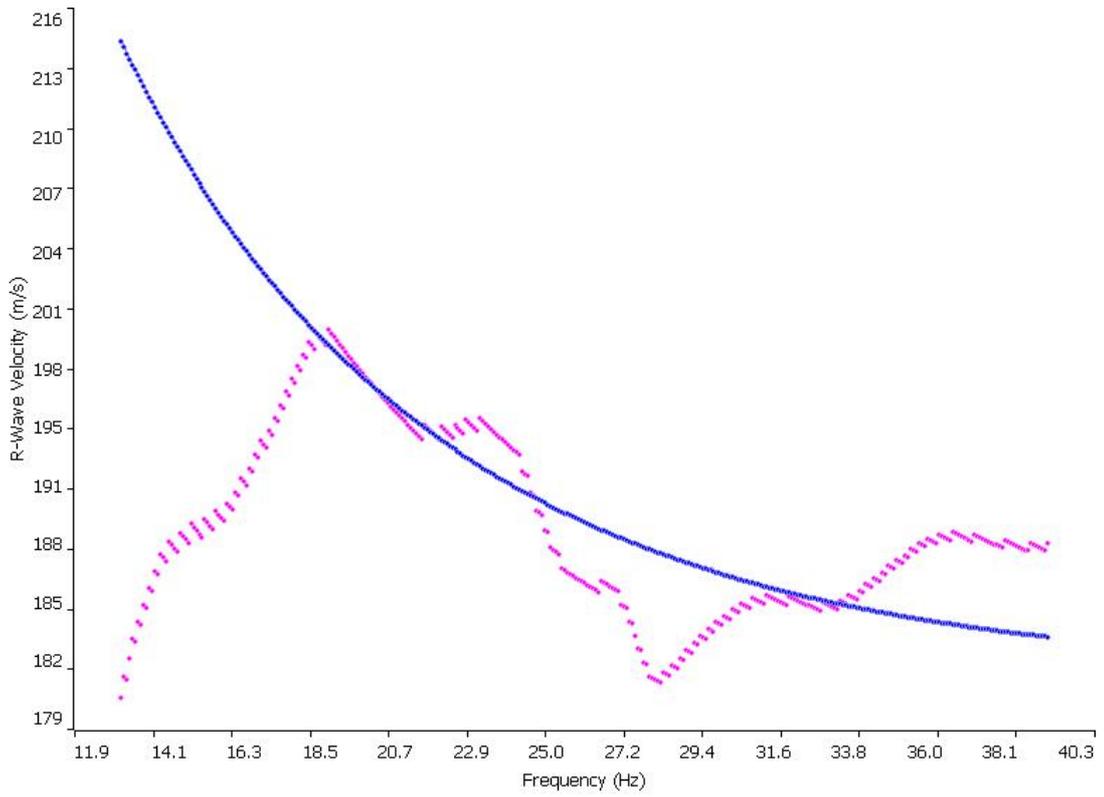


Fig. 3: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

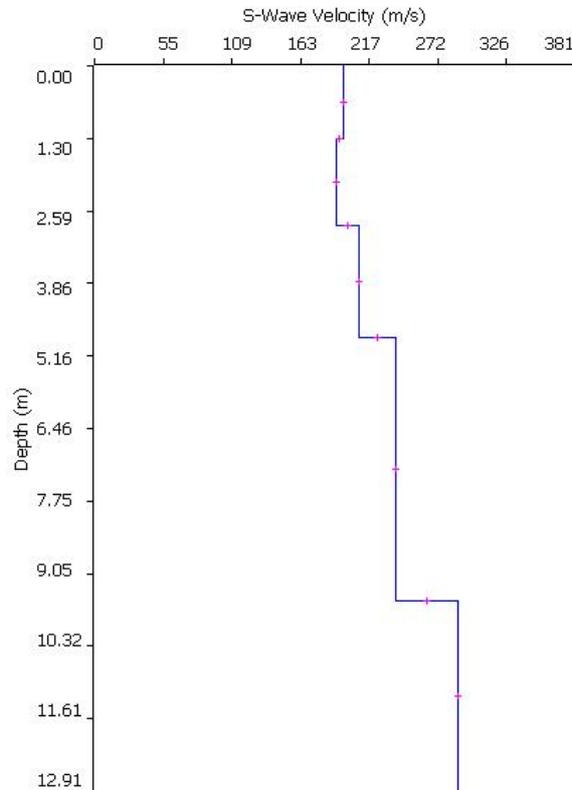


Fig. 4: Distribuzione Vs

SITO 2 (energizzazione 5m)

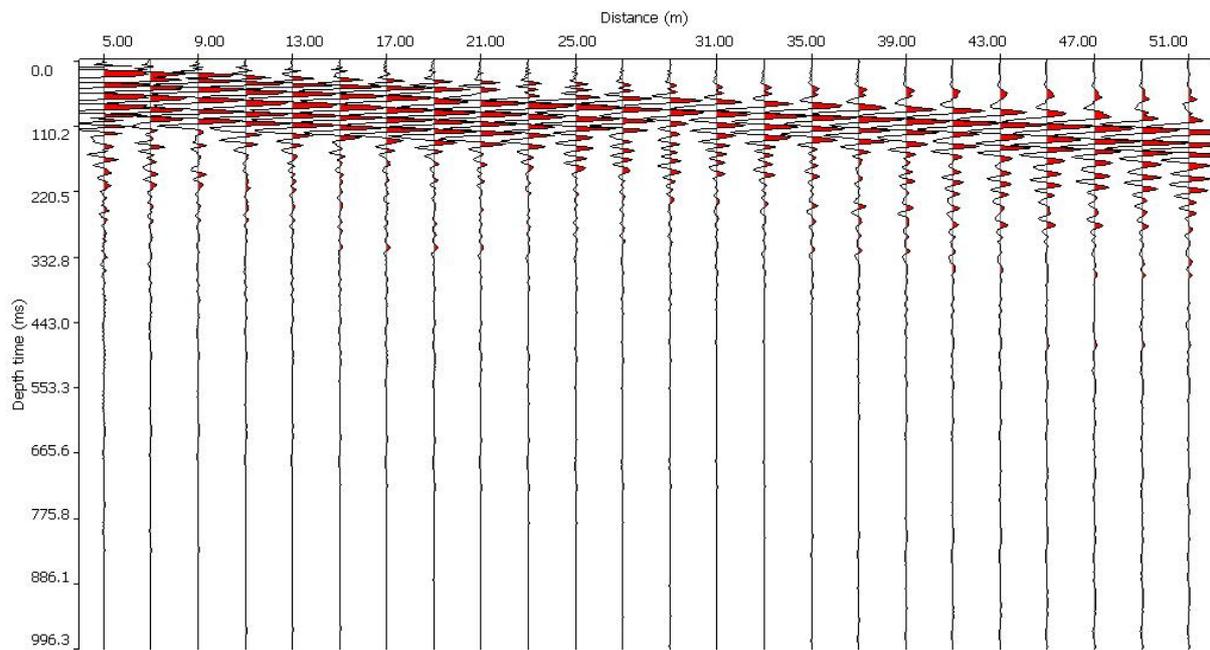


Fig. 5: Sismogramma medio

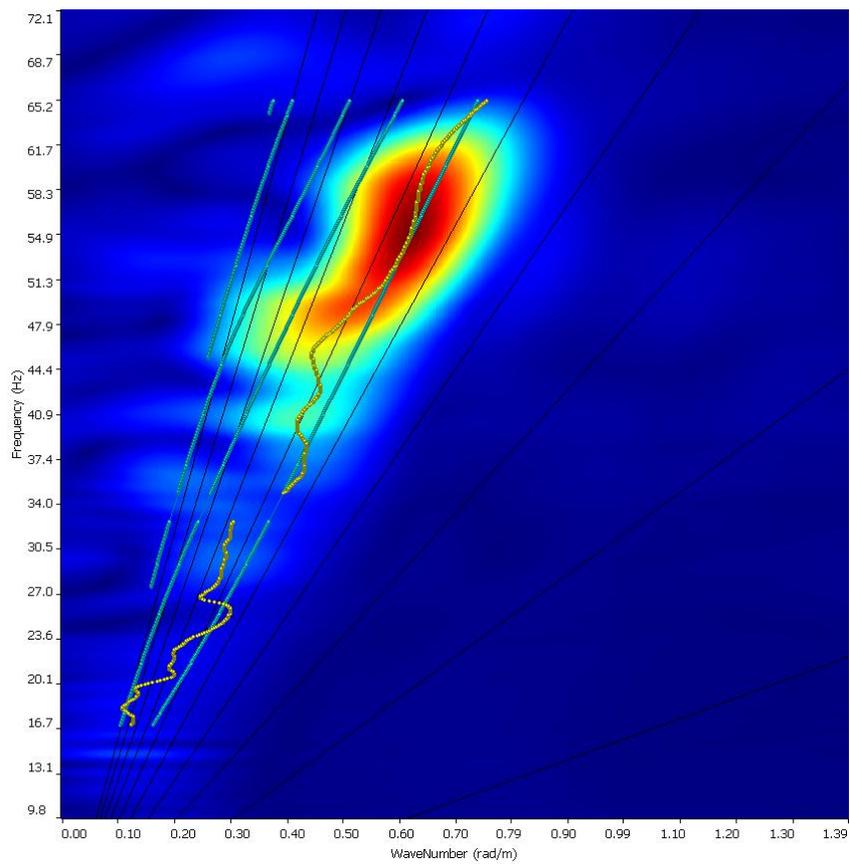


Fig. 6: Spettro Frequenza-velocità

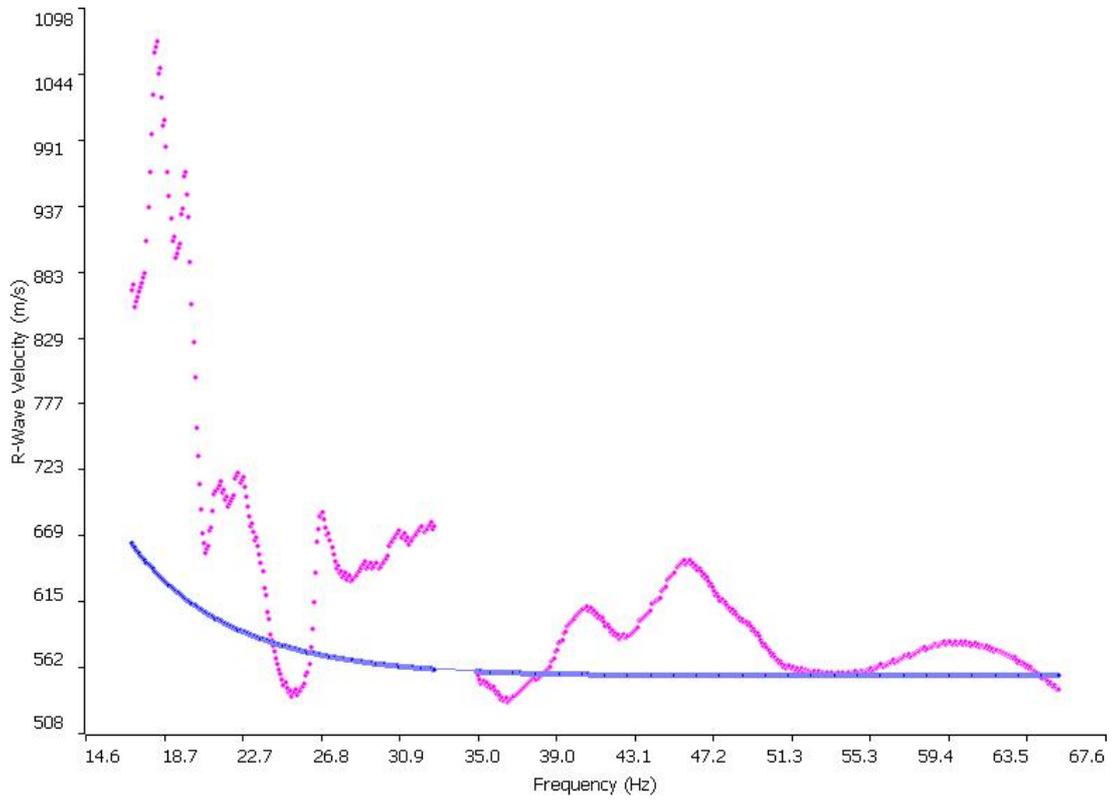


Fig. 7: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

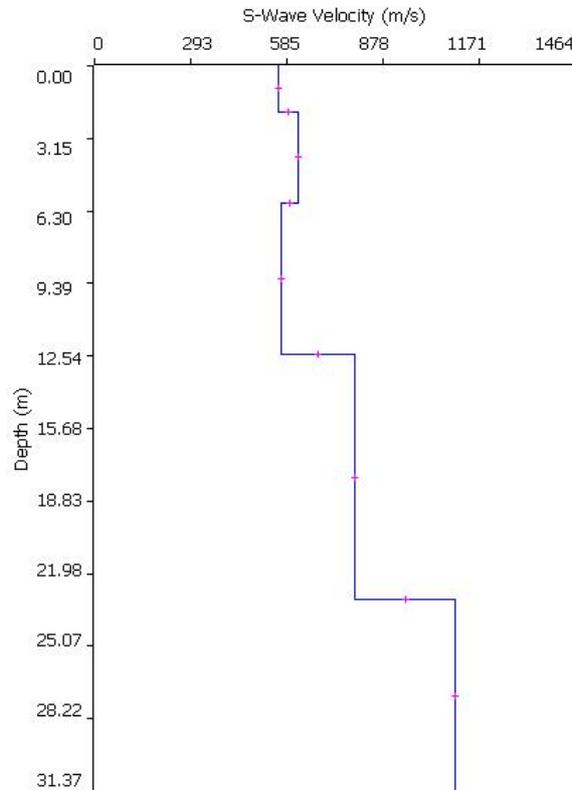


Fig. 8: Distribuzione Vs

SITO 2 (energizzazione 10m)

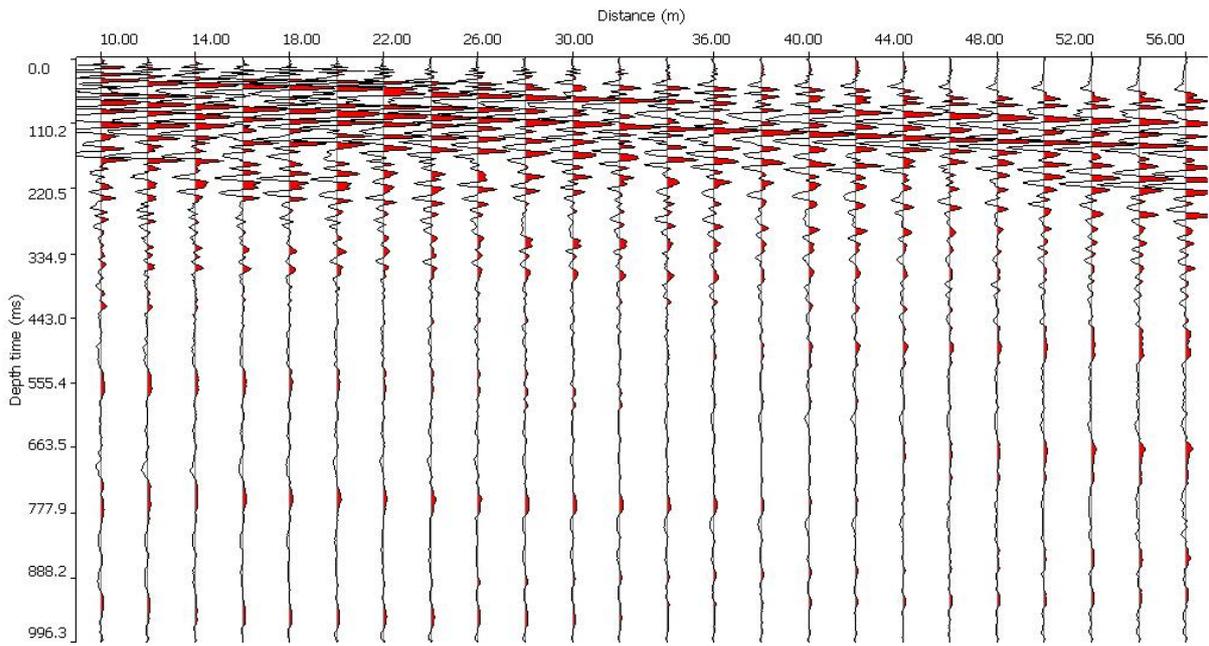


Fig. 9: Sismogramma medio

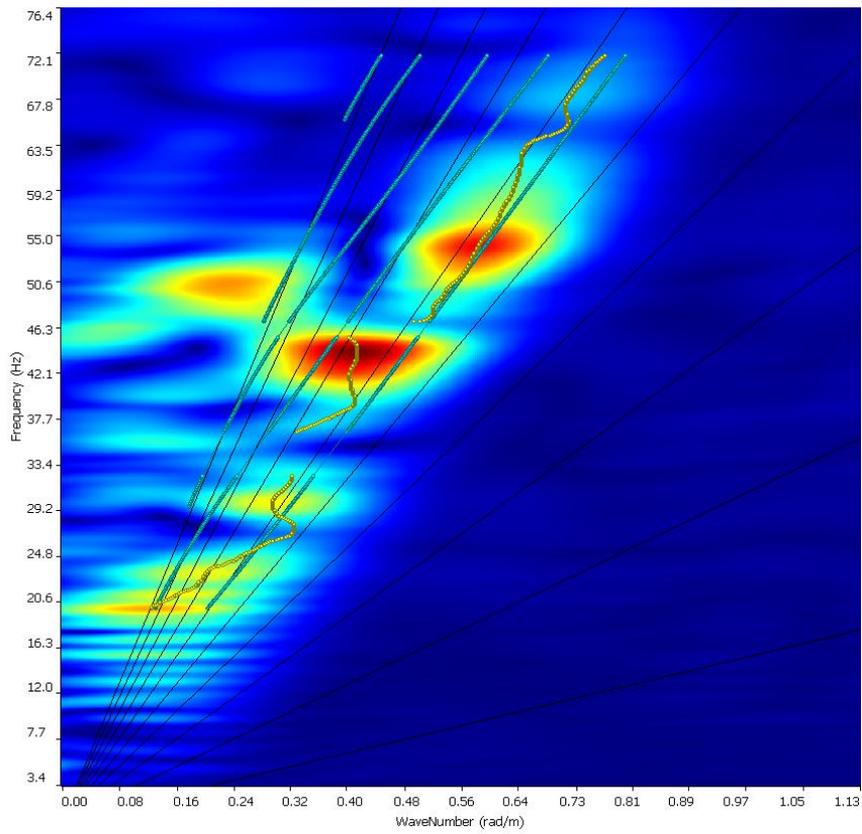


Fig. 10: Spettro Frequenza-velocità

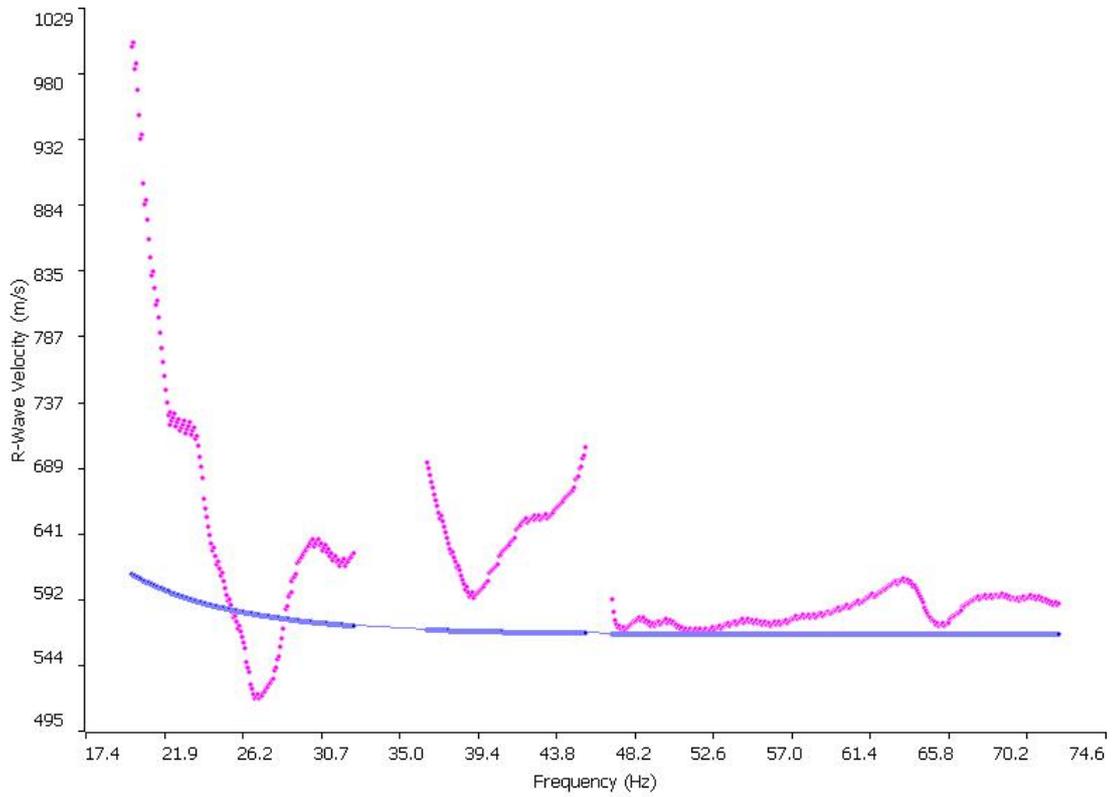


Fig. 11: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

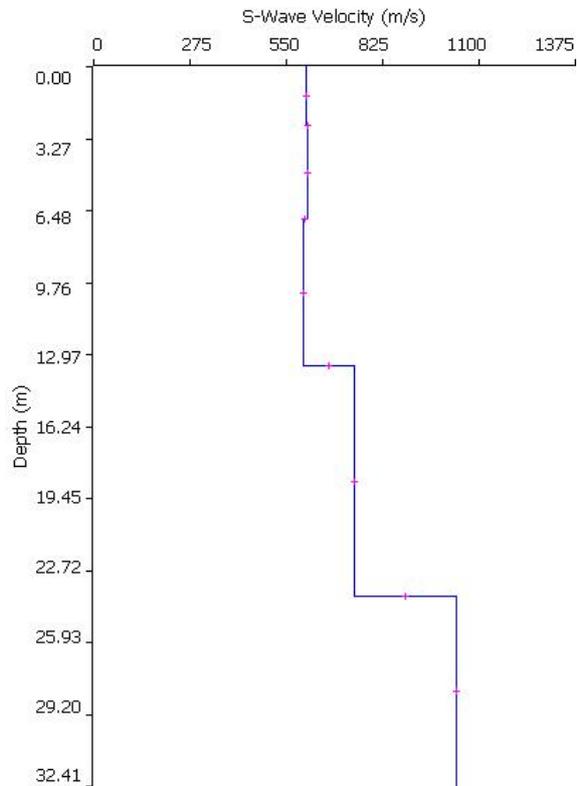


Fig. 12: Distribuzione Vs

SITO 3 (energizzazione 5m)

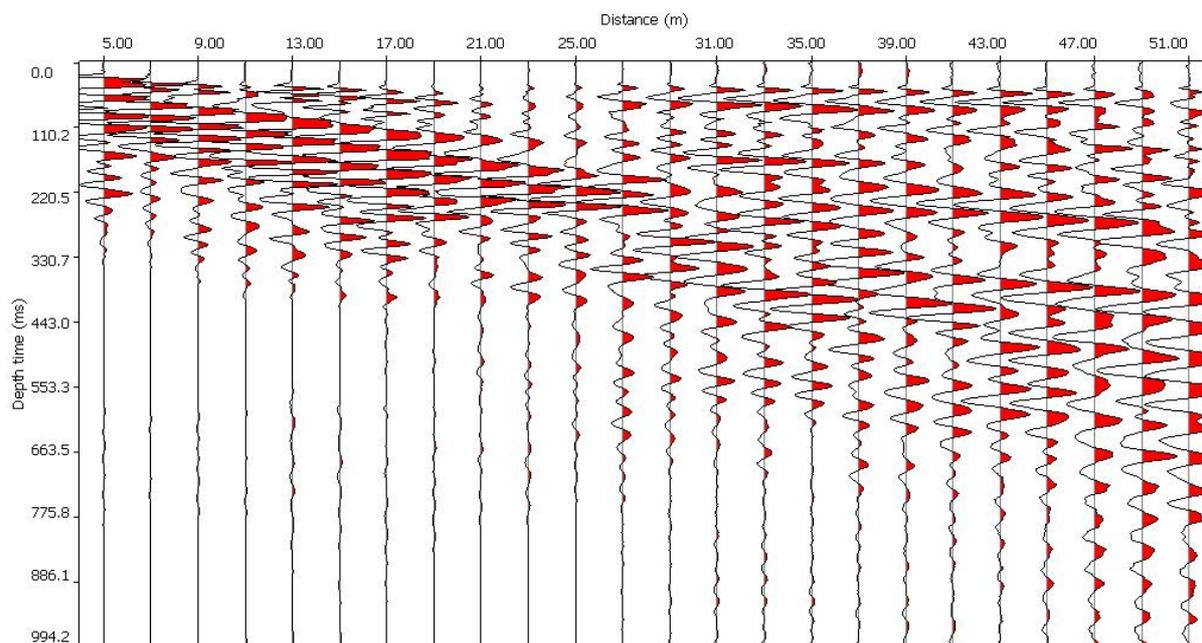


Fig. 13: Sismogramma medio

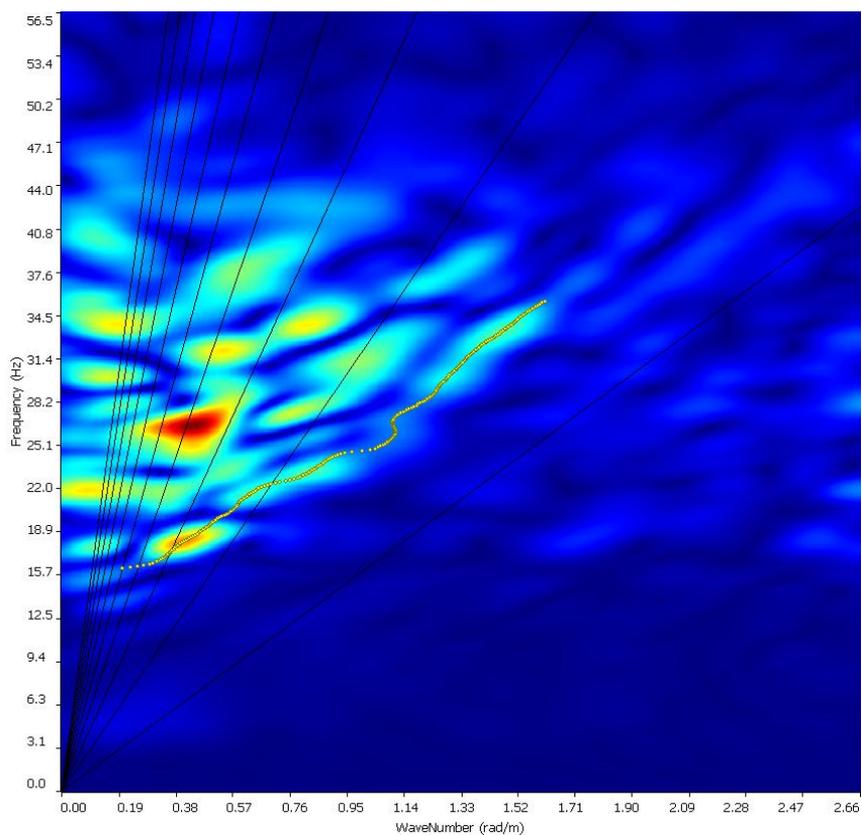


Fig. 14: Spettro Frequenza-velocità

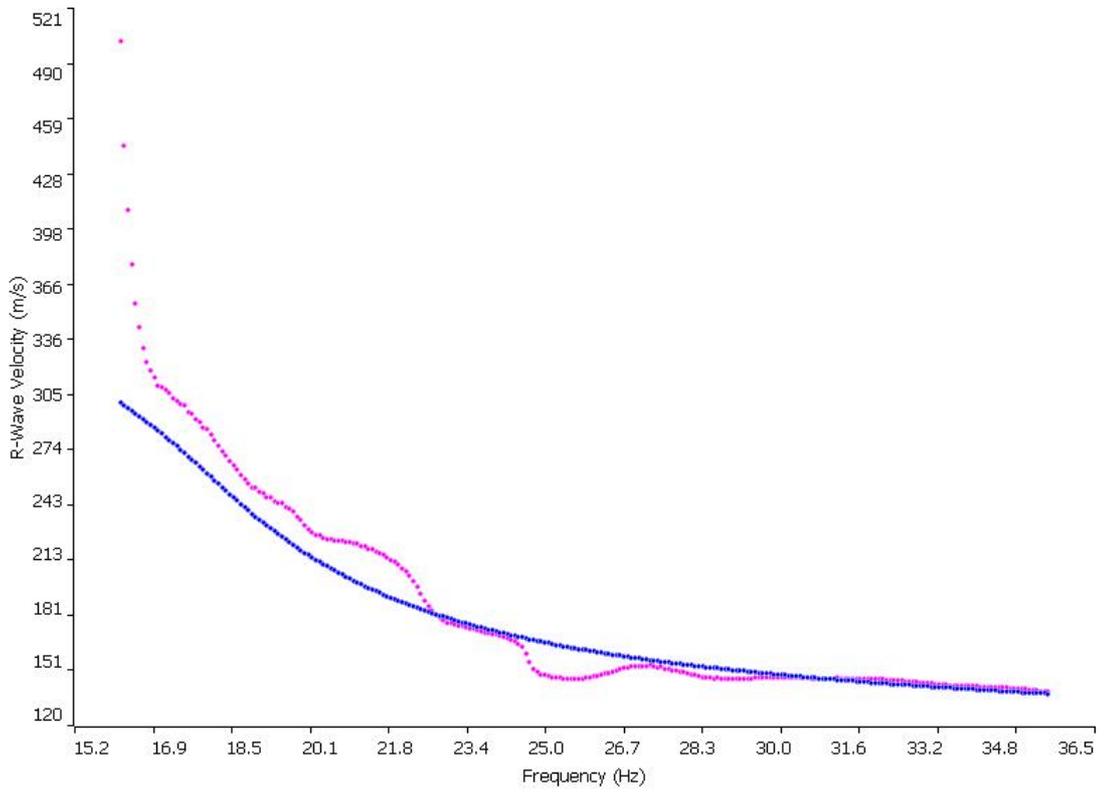


Fig. 15: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

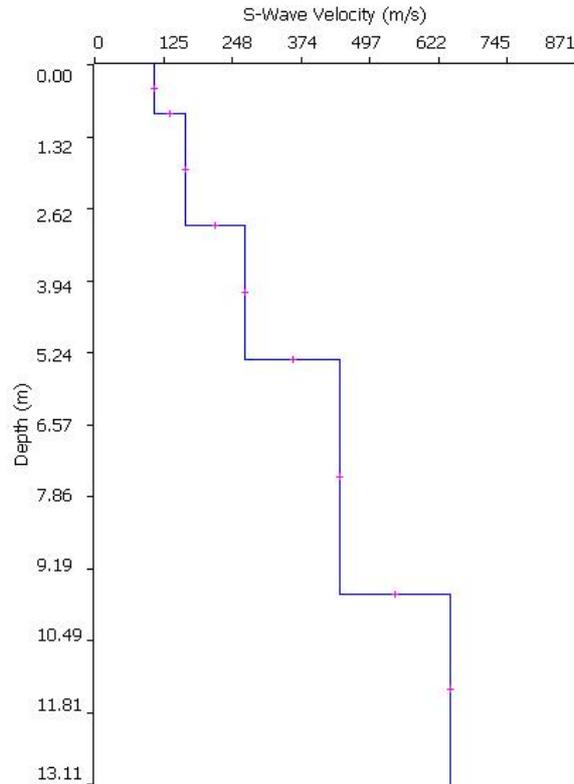


Fig. 16: Distribuzione Vs

SITO 3 (energizzazione 10m)

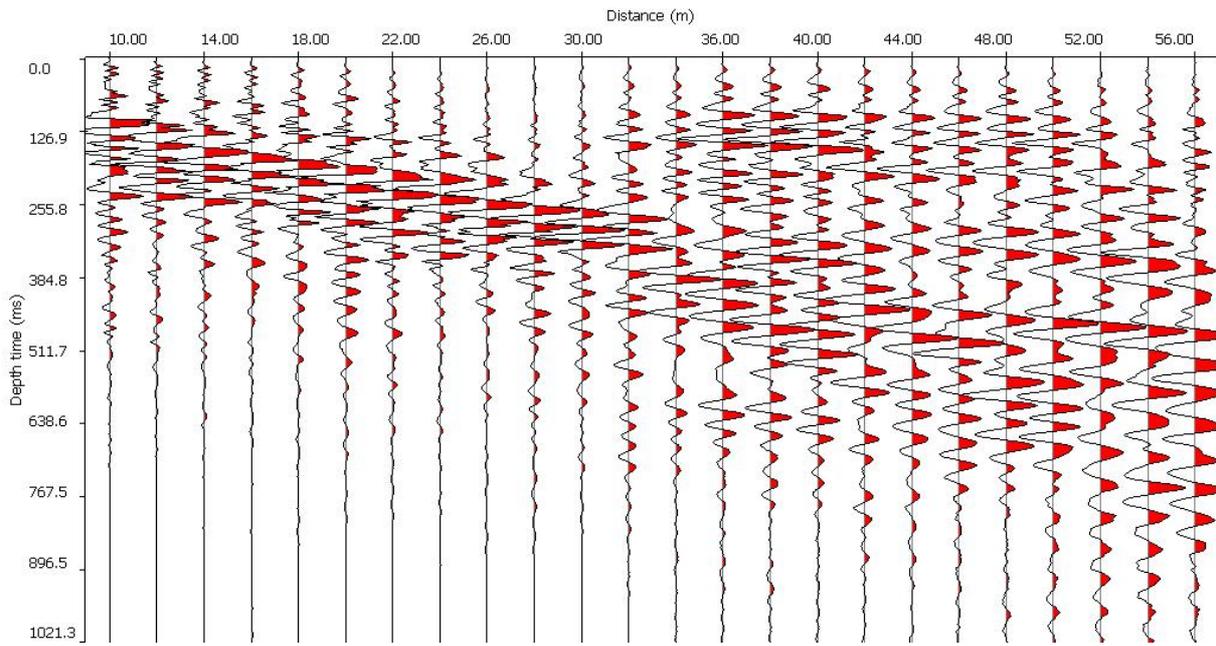


Fig. 17: Sismogramma medio

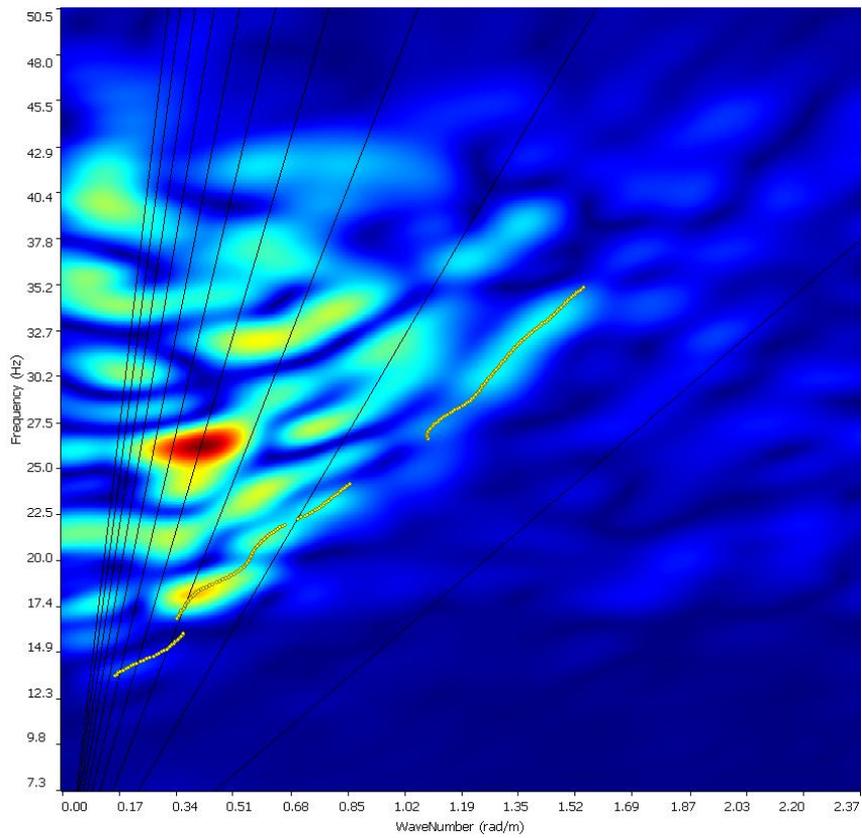


Fig. 18: Spettro Frequenza-velocità

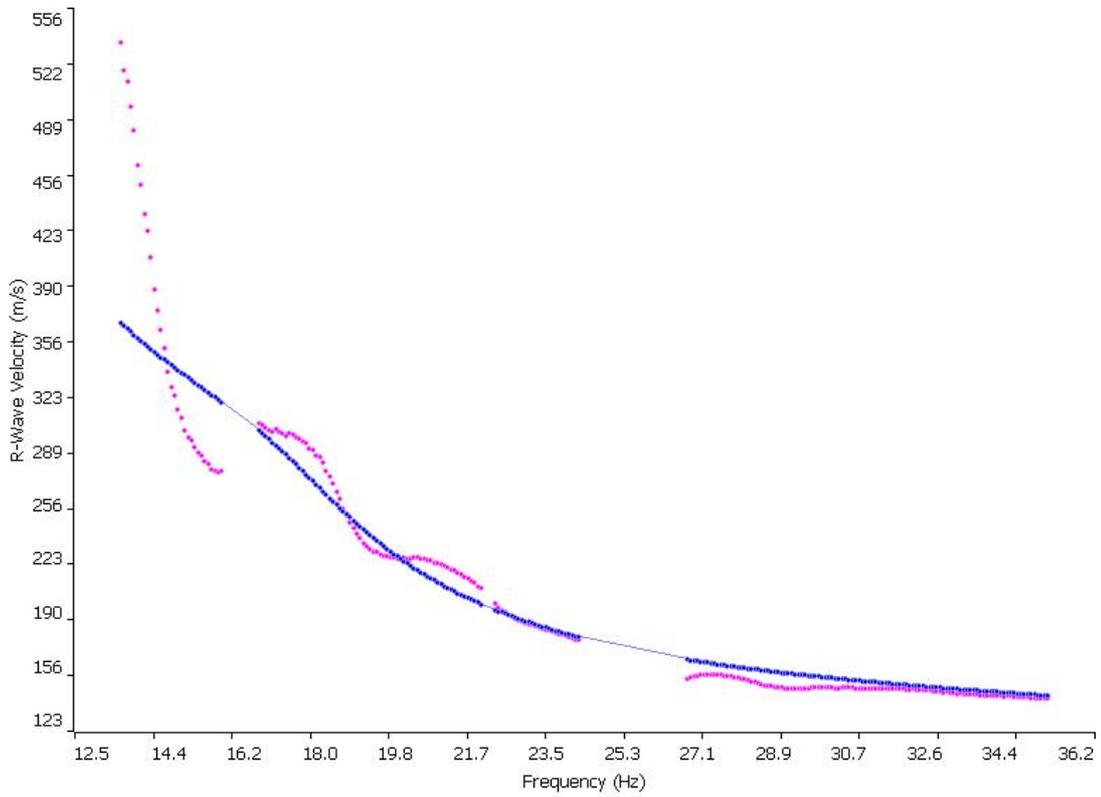


Fig. 19: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

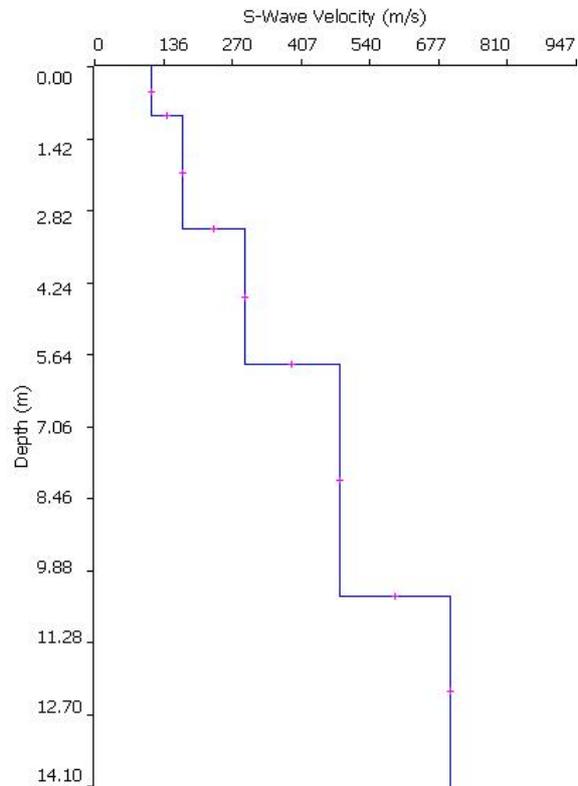


Fig. 20: Distribuzione Vs

SITO 4 (energizzazione 7m)

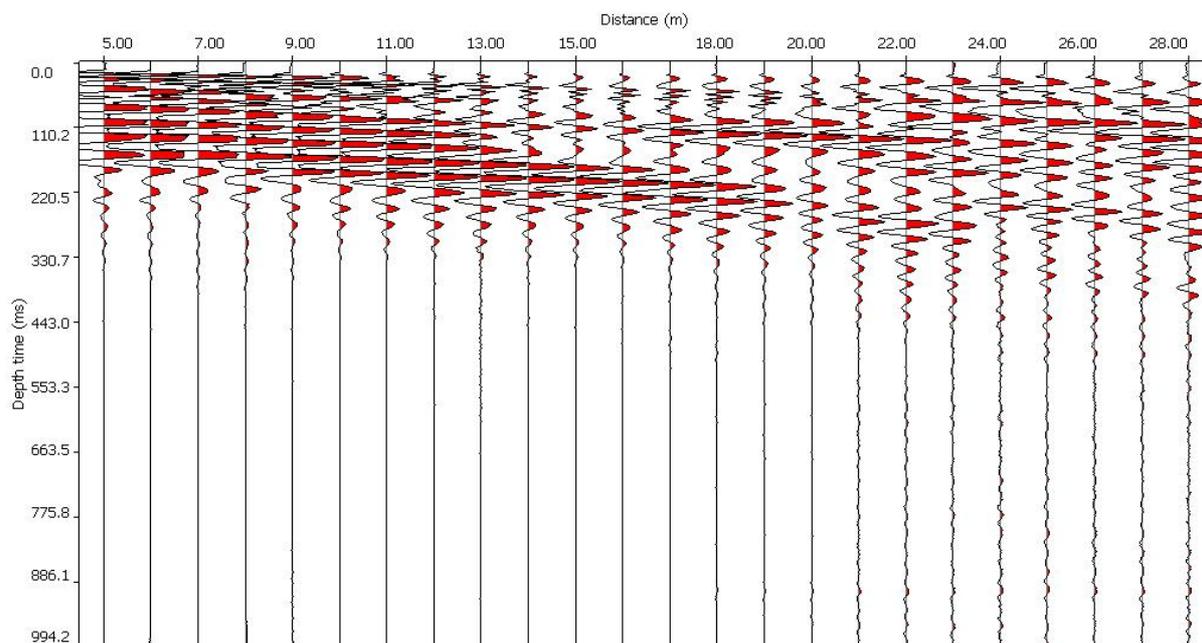


Fig. 21: Sismogramma medio

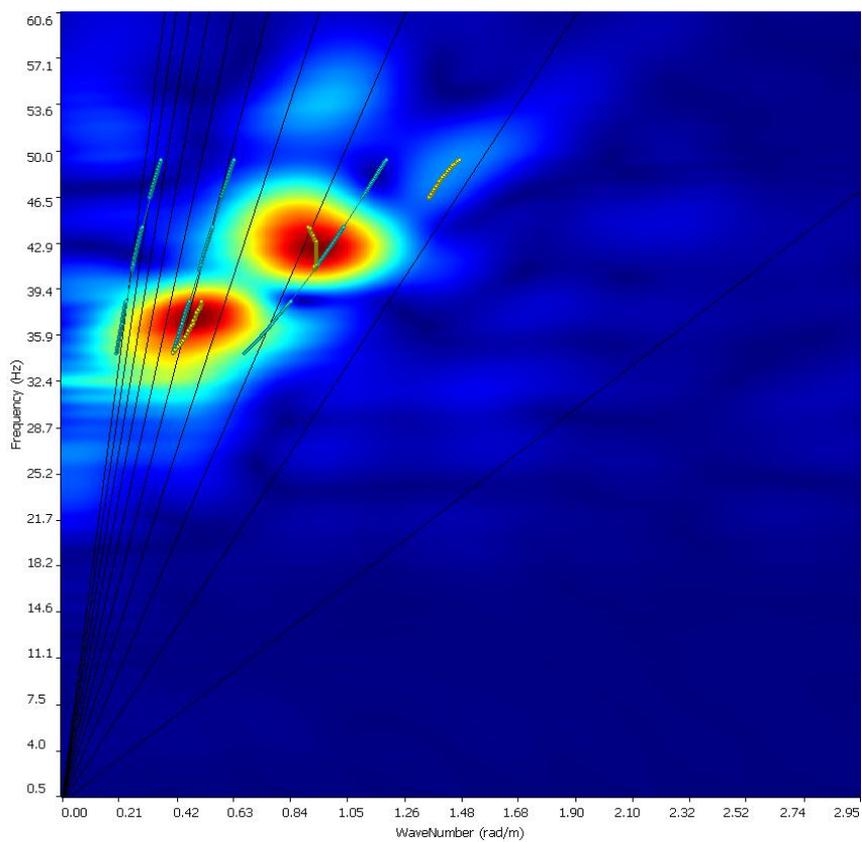


Fig. 22: Spettro Frequenza-velocità

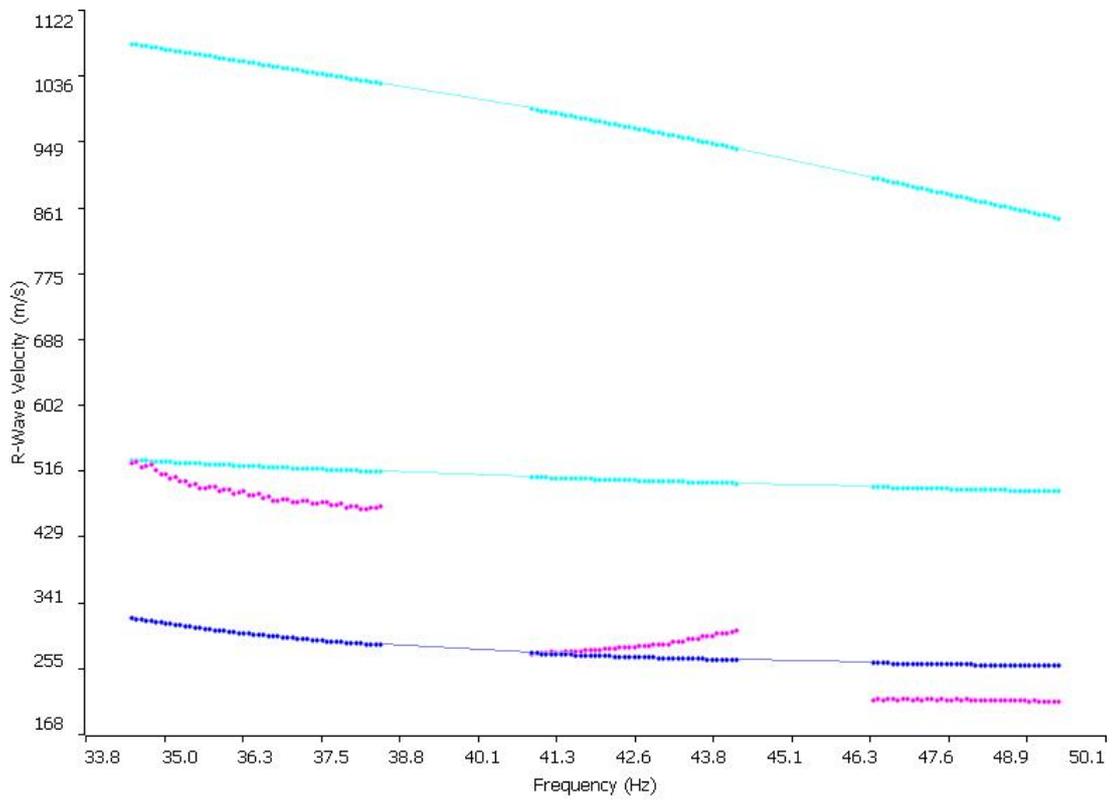


Fig. 23: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

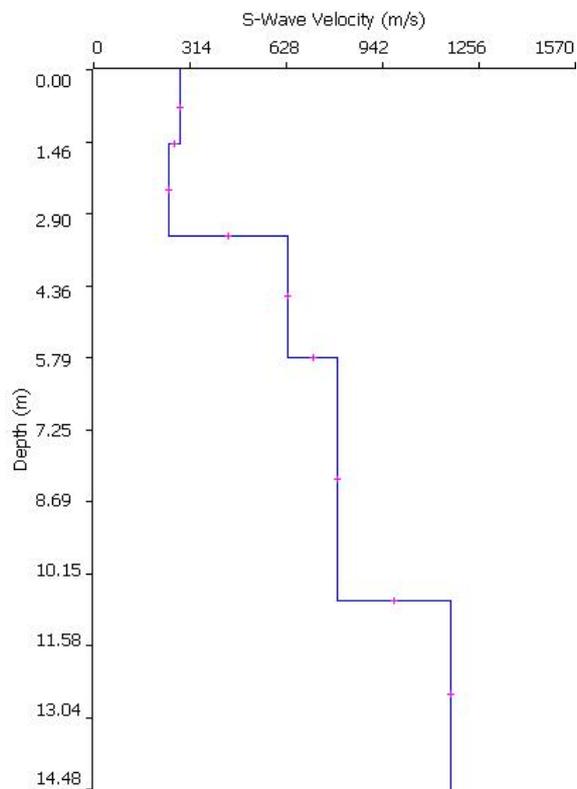


Fig. 24: Distribuzione Vs

SITO 4 (energizzazione 10m)

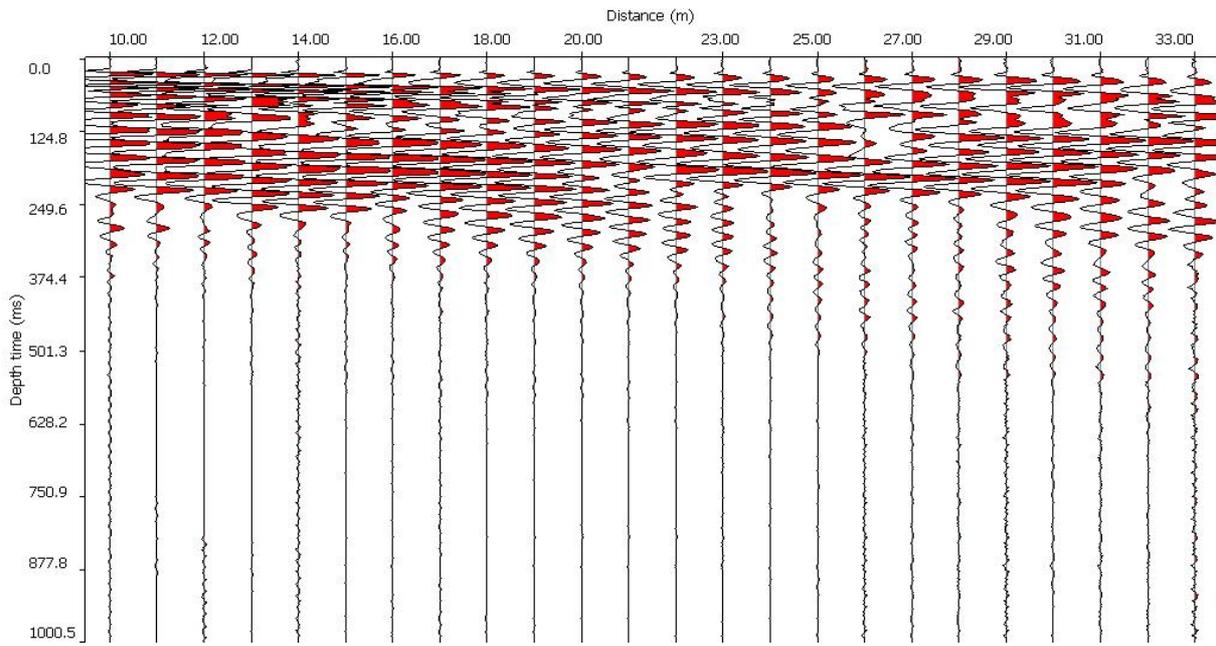


Fig. 25: Sismogramma medio

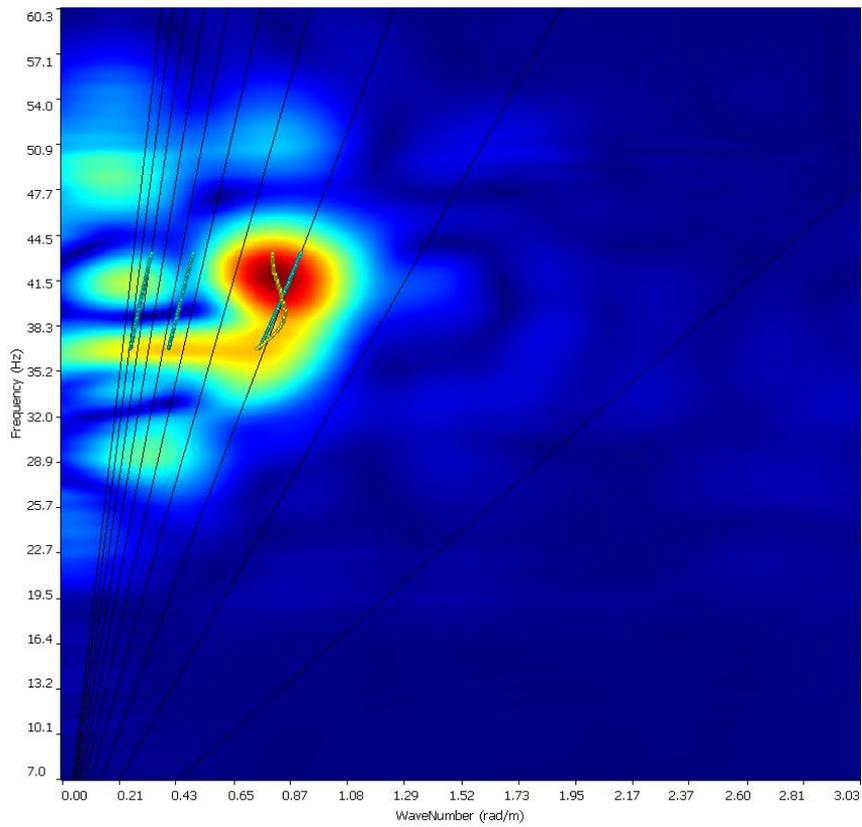


Fig. 26: Spettro Frequenza-velocità

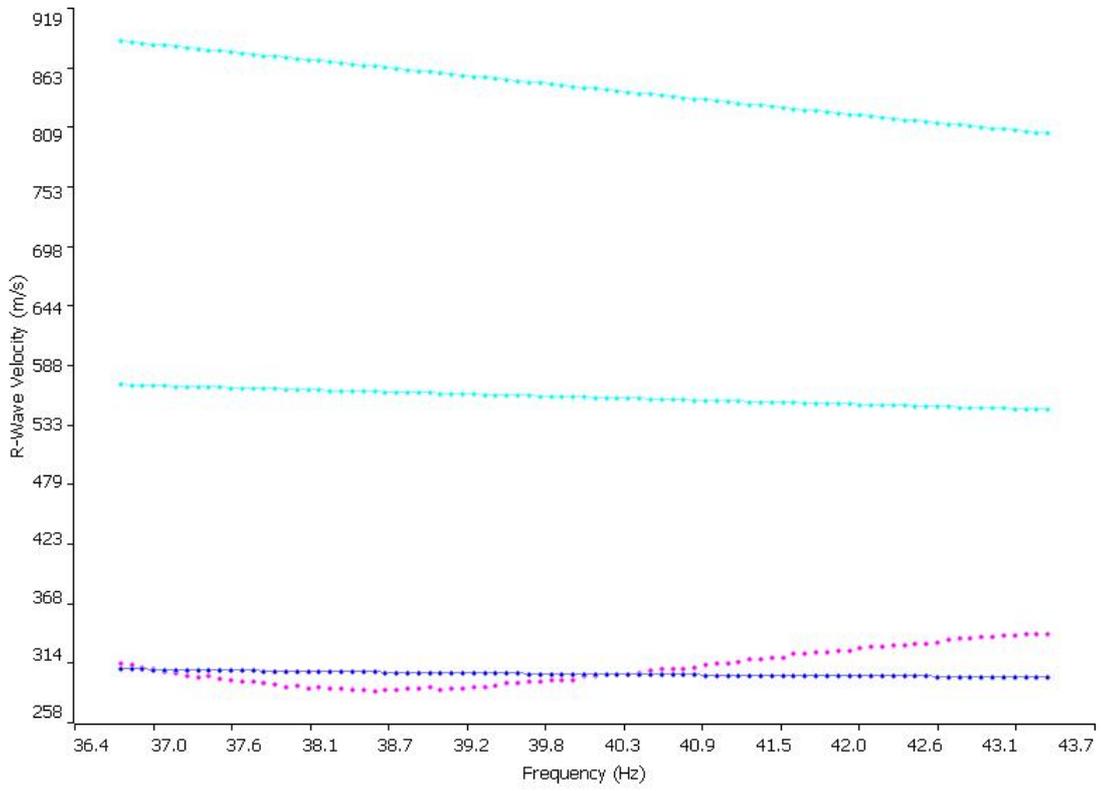


Fig. 27: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

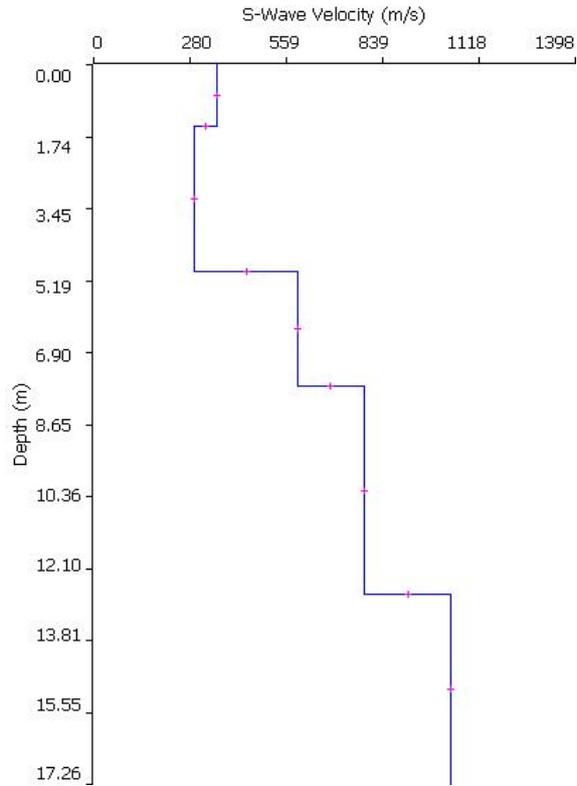


Fig. 28: Distribuzione Vs