



studio associato

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

Adottato con delibera di C.C. n°

Approvato con delibera di C.C. n°

Pubblicato sul BURL n°

REL. SS-9 24/10/2018

Città di Besana in Brianza

Via Roma, 1 – Besana in Brianza (MB)

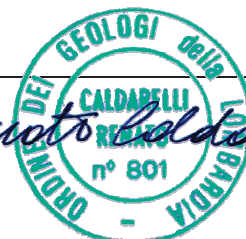
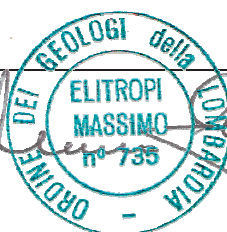


AGGIORNAMENTO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL P.G.T.

ai sensi della D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011

Relazione Geologica

Bergamo, ottobre 2018







1	INTRODUZIONE.....	5
2	ANALISI DELLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (TAV. 1).....	6
2.1	Introduzione.....	6
2.2	Zonazione della pericolosità sismica locale (Tav. 1)	9
2.2.1	<u>Primo livello</u>	9
2.2.2	<u>Secondo livello</u>	10
2.2.3	<u>Terzo Livello</u>	22
3	INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA.....	26
3.1	Indicazioni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica e idrologica	28
4	CARTA DEI VINCOLI (TAV. 2).....	31
4.1	P.G.R.A. – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (TAV. 3).	31
4.2	Aree di dissesto con legenda uniformata al P.A.I. (TAV. 3)	33
4.2.1	<u>Aree di dissesto P.A.I.</u>	33
4.3	Analisi della compatibilità con il PTCP della Provincia di Monza e Brianza.....	34
5	CARTA DI SINTESI (TAV. 4).....	37
5.1	Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti.....	37
5.2	Aree vulnerabili dal punto di vista geotecnico	37
5.3	Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico e idrogeologico.....	37
5.4	Aree di valore paesaggistico e ambientale a spiccata connotazione geologica	38
6	CARTA DI FATTIBILITÀ DELLE AZIONI DI PIANO (TAV. 5).....	39
6.1	Classi di fattibilità geologica.....	39
6.2	La fattibilità geologica nel comune di Besana in Brianza	41
6.2.1	<u>Classe 2</u>	41
6.2.2	<u>Classe 3</u>	42
6.2.3	<u>Classe 4</u>	44
6.3	Normativa sismica.....	45
6.3.1	<u>Zone con terreni di fondazioni particolarmente scadenti (PSL Z2)</u>	45
6.3.2	<u>Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3)</u>	46
6.3.3	<u>Effetti di amplificazione litologica (PSL Z4)</u>	47

ALLEGATI

- 1 Schede regionali per la valutazione del Fattore di Amplificazione
- 2 Velocità delle onde S, prove MASW V_{s30}

TAVOLE

- 1 Carta della Pericolosità Sismica Locale (scala 1:10.000)
- 2 N-S Carta dei Vincoli (scala 1:5.000)
- 3 Carta P.A.I. – P.G.R.A. (scala 1:10.000)
- 4 N-S Carta di sintesi (scala 1:5.000)
- 5 N-S Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano (scala 1:5.000)





1 INTRODUZIONE

Nel 2007 il comune di Besana in Brianza si è dotato della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T., redatta ai sensi della D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005, successivamente integrata nel 2008 e aggiornata nel 2011 (dott. Attardo).

Tale studio viene di seguito aggiornato in ottemperanza alla D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011 e alla modifica nella zonazione sismica introdotta dalla D.G.R. 9/2129 del 2014.

Con la D.G.R. 9/2129 del 11 luglio 2014 a tutti al comune di Besana in Brianza è stata infatti assegnata la zona sismica 3 in luogo della 4. Tale modifica ha comportato l'adeguamento dell'analisi sismica allegata allo studio del 2008.

È stato inoltre recepito il P.G.R.A. (Piano di gestione dei rischi di alluvione), ai sensi della D.G.R. 19 giugno 2017 10/6738.

Sono altresì inseriti gli elementi cartografici, le indicazioni normative e gli aspetti inerenti le misure strutturali e non strutturali concernenti il rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica ai sensi del Regolamento Regionale 7 del 23 novembre 2018, in recepimento dell'art. 58 bis della L.R. 12 del 11 marzo 2018.

Sono stati consultati gli elaborati documentali del progetto di fattibilità tecnica ed economica "Aree di esondazione controllata del Rio Brovada in comune di Besana in Brianza e Triuggio" (ing. Giuffrè, 2017).

Gli elementi territoriali di base quali la geologia, la geomorfologia, l'idrogeologia e la litologia, riconosciuti con il rilevamento in situ e mediante l'analisi fotointerpretativa, insieme alla carta della pericolosità sismica, sono riportati nelle tavole allegate allo studio redatto nel 2007 e alle sue successive modifiche e integrazioni, al quale si rimanda per eventuali approfondimenti.

L'aggiornamento propone la modifica delle tavole dei Vincoli, di Sintesi, del PAI e della Carta della Fattibilità geologica.



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

2.1 Introduzione

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

Le 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 Besana in Brianza ricade nella zona sismica 3.

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 lombardo in zone sismiche, ai sensi della D.G.R. 9/2129 del



11 luglio 2014, individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria.

Il primo livello di approfondimento comporta il riconoscimento delle aree nelle quali è possibile un'amplificazione dell'effetto sismico sulla base delle caratteristiche litologiche, geotecniche e morfologiche ricavabili dalle carte tematiche di inquadramento e confrontate con gli scenari previsti dalle direttive tecniche (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 nella Tav.1 "Carta della Pericolosità sismica Locale" allegata al presente aggiornamento.

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

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

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

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



soggette ad amplificazione litologica (PSL Z4) e topografica, il terzo livello di approfondimento sismico va applicato quando i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia non sono verificati.

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

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si definiscono infatti le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni – NTC2018).

A - *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B – *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C – *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D – *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E – *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.



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

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

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato

N numero di strati

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s

2.2 Zonazione della pericolosità sismica locale (Tav. 1)

2.2.1 Primo livello

Con il primo livello di analisi il territorio di Besana in Brianza è stato suddiviso in quattro scenari diversi, tra classi e sottoclassi di Pericolosità Sismica Locale.

Classe Z2a – In questa classe sono compresi i terreni di fondazione particolarmente scadenti ed è stata assegnata a quelle aree caratterizzate da depositi di origine lacustre.

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 (V_s)** maggiore o uguale a 800 m/s. Questo scenario richiede il secondo livello di approfondimento ed eventualmente il terzo in fase progettuale. Nel territorio di Besana in Brianza sono state individuate molteplici aree ascrivibili allo scenario **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, ...). Alcune morfologie presenti sono individuabili come appartenenti allo scenario **Z3b**: zona di cresta e di cocuzzolo.

Gli scenari di pericolosità sismica locale **Z3a** e **Z3b** sono rappresentati nella *Carta della pericolosità sismica locale* da elementi lineari.

Il *Fattore di Amplificazione* deve essere calcolato per la quota di ciglio e successivamente interpolato linearmente sino alla base del pendio dove assume



valore pari all'unità. Possono pertanto essere soggette ad amplificazione topografica anche aree non collocate nelle immediate vicinanze delle creste e delle scarpate.

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

Sono distinti i seguenti scenari:

- **Z4a:** terreni di fondovalle formati da depositi alluvionali e/o fluvioglaciali con tessitura mista; a essa sono associati i depositi che occupano i fondovalle dei torrenti e dei corsi d'acqua che pervadono il territorio.
- **Z4c:** zone moreniche con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche); ad esso sono associati la maggior parte dei depositi che caratterizzano il territorio comunale.

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 si applica alle zone con Pericolosità Sismica Locale Z3 e Z4. Consiste in una valutazione semiquantitativa della risposta sismica dei terreni in termine di *Fattore di amplificazione (Fa)* e nel confronto con i valori soglia del territorio comunale stabiliti dalla Regione Lombardia (Tab. 4).

TAB. 4: VALORI DI SOGLIA PER IL COMUNE DI BESANA IN BRIANZA

	Creste e scarpate	suolo tipo B	suolo tipo C	suolo tipo D	suolo tipo E
periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	1,4 – 1,2	1,4	1,8	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 ottemperando ai criteri contenuti nell'allegato 5 della D.G.R. 9/2616.



La procedura di calcolo del *fattore di amplificazione* (F_a) varia a seconda se si calcolano gli effetti morfologici (scenari Z3) piuttosto 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 F_a 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 (V_s)** nel primo sottosuolo. Mediante queste informazioni e l'utilizzo delle schede litologiche preparate dalla Regione Lombardia è possibile la stima del F_a .

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

La procedura di secondo livello per gli effetti morfologici fornisce valori del F_a 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 (Figure 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 (Figura 1):
 - scarpate ideali con fronte superiore orizzontale;
 - scarpate in pendenza con fronte superiore inclinato nello stesso verso del fronte principale;
 - scarpate in contropendenza con fronte superiore inclinato 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).

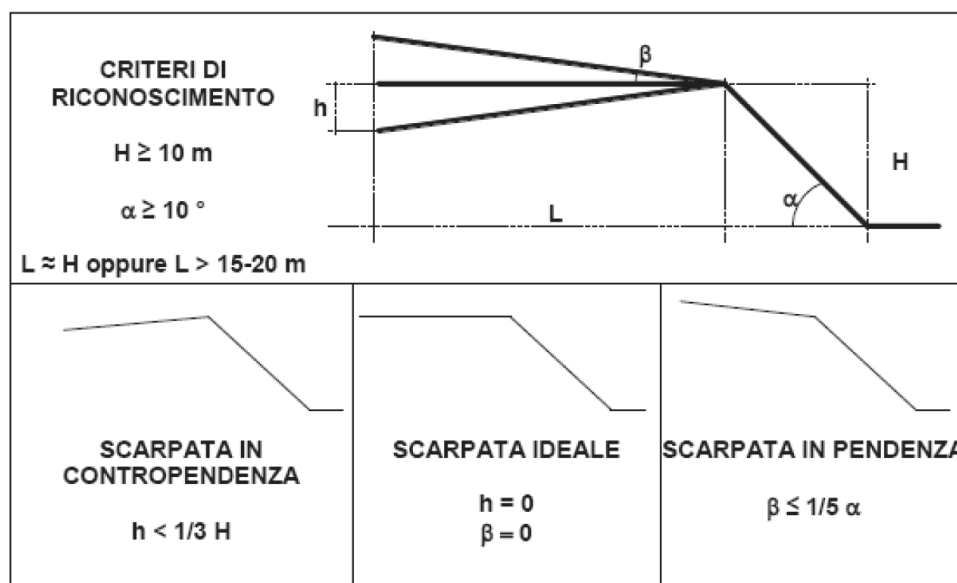


Figura 1: Estratto della scheda per il riconoscimento della tipologia di scarpata (Allegato 1)

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



TAB. 1: SCHEMA PER L'ASSEGNAZIONE DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE ED IL CALCOLO DELL'AREA DI INFLUENZA A MONTE DEL CIGLIO SUPERIORE DELLA SCARPATA.

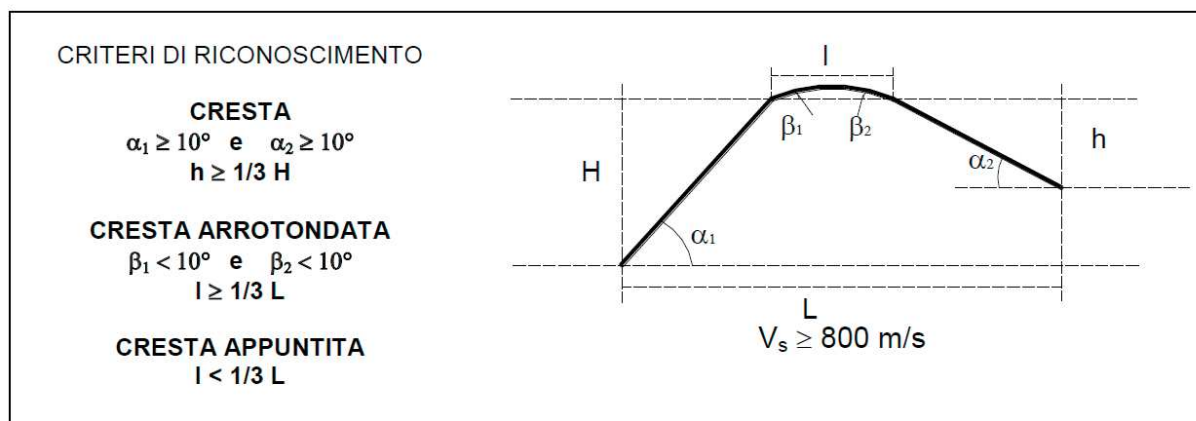
Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di F_a	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1,1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1,2	$A_i = 3/4 H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	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 (l) 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 sub-pianeggiante con inclinazioni inferiori ai 10° .



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

Figura 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 (I). 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 2018 (Tab. 2) che vanno considerati con un margine di errore di $\pm 0,1$.

TAB. 2: VALORI MASSIMI DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA St (NTC18).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica		St
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $1 \leq 15^\circ$	-	1,0
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 di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	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 significative presenti sul territorio.



Sono state analizzate 12 sezioni topografiche relative allo scenario delle scarpate (Z3a) e 6 relative allo scenario delle creste. Le sezioni sono state individuate quando in prossimità delle linee di cresta o scarpata insistono degli edifici mentre sono state tralasciate le aree non edificate.

L'applicazione della procedura semplificata per il calcolo del *Fattore di Amplificazione* ha permesso ottenere i *Fa* di sito. I *Fa* sono stati successivamente confrontati con i relativi valori soglia (tabella 7).

I *Fa* calcolati sono risultati sempre inferiori o uguali al valore soglia.

TAB. 3: CONFRONTO TRA I VALORI CALCOLATI E I VALORI SOGLIA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE.

Sezione	Scenario	Fa	Soglia	Cat.
S 1	Scarpata	1,2	1,2	T2
S 2	Scarpata	1,1	1,2	T2
S 3	Scarpata	1,1	1,2	T2
S 4	Scarpata	1,2	1,2	T2
S 5	Cresta	1,1	1,2	T3
S 6	Cresta	1,1	1,2	T3
S 7	Cresta	1,1	1,2	T3
S 8	Cresta	1,1	1,2	T3
S 9	Cresta	1,1	1,2	T3
S 10	Scarpata	1,2	1,2	T2
S 11	Scarpata	1,2	1,2	T2
S 12	Scarpata	1,1	1,2	T2
S 13	Scarpata	1,1	1,2	T2
S 14	Scarpata	1,1	1,2	T2
S 15	Scarpata	1,2	1,2	T2
S 16	Cresta	1,1	1,2	T3
S 17	Scarpata	1,1	1,2	T2
S 18	Scarpata	1,1	1,2	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 prospezioni geofisiche di tipo MASW ubicate negli scenari di Pericolosità Sismica Locale Z4a e Z4c (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 Astier SRL, 2007). L'utilizzo di questo software consente di preprocessare i dati grezzi acquisiti, epurandoli da eventuali disturbi. Successivamente, partendo dal sismogramma medio di sito, sono calcolati gli spettri FK (Frequenza-Numero d'onda) ed FV (Frequenza-Velocità).

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

Analisi dei risultati ottenuti

Per l'analisi di secondo livello è stata presa in considerazione un'indagine realizzata a supporto di un intervento edilizio, messa a disposizione da parte del Comune di Besana in Brianza, oltre a 5 prospezioni sismiche di tipo MASW, eseguite ad hoc per il presente studio, nei siti individuati dai numeri da 1 a 5.

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

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



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

TAB. 5: FATTORI DI AMPLIFICAZIONE STIMATI

	periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	periodo compreso tra 0,5 – 1,5	V _{seq} [m/s]	Z _{eq} [m]
Sito 1	1,6+0,1	1,3+0,1	425/412	26,79/28,5
Sito 2	1,3+0,1	1,1+0,1	494/492	29,5/29,32
Sito 3	1,3+0,1	1,1+0,1	613/566	25,62/20,68
Sito 4	1,7+0,1	1,3+0,1	462/461	30/30
Sito 5	1,3+0,1	1,3+0,1	453/543	22,15/22,22
Sito A	1,7+0,1	1,5+0,1	495	30

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

Periodo	suolo tipo B		suolo tipo C		suolo tipo D		suolo tipo E	
	0,1 -0,5	0,5 – 1,5	0,1 -0,5	0,5 – 1,5	0,1 -0,5	0,5 – 1,5	0,1 -0,5	0,5 – 1,5
Soglia	1,4	1,7	1,8	2,4	2,2	4,2	2,0	3,1
Sito 1	1,7	1,4	--	--	--	--	--	--
Sito 2	1,4	1,2	--	--	--	--	--	--
Sito 3	1,4	1,2	--	--	--	--	--	--
Sito 4	1,8	1,4	--	--	--	--	--	--
Sito 5	1,3	1,4	--	--	--	--	--	--
Sito A	1,8	1,6	--	--	--	--	--	--

I valori soglia per quanto concerne le strutture con periodo 0,1 – 0,5s in tre casi dei sei analizzati risultano superati dal Fattore di Amplificazione sito specifico mentre gli altri sono verificati anche se prossimi al limite di soglia.

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

2.2.2.3 Considerazioni conclusive

Amplificazione topografica

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

Dal confronto con i valori di soglia è risultato che i valori di F_a calcolati mediante la procedura semplificata regionale sono inferiori/maggiori/uguali al valore soglia (Tab. 2).



Lo spettro previsto dalla normativa sismica nazionale (NTC2018, D.M. 17 gennaio 2018) è pertanto, e per le sezioni analizzate, sufficientemente cautelativo, oppure non sufficientemente cautelativo.

In fase progettuale dovrà quindi 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. 9/2616 del 30 novembre 2011, tale approfondimento dovrà essere preceduto dall'analisi della classe sismica di appartenenza del suolo.

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

Amplificazione litologica

I terreni appartenenti allo scenario di pericolosità sismica locale Z4 sono stati caratterizzati attraverso 6 prove MASW.

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 e Z4c i *Fattori di amplificazione* sono risultati verificati in tre casi su sei per quanto concerne l'intervallo del periodo di oscillazione 0,1-0,5 s, mentre sono risultati sempre verificati per l'intervallo 0,5-1,5 s.

Nei casi in cui il *Fa* è risultato superiore alla soglia regionale è necessario svolgere il 3° livello di approfondimento oppure utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore come indicato ne paragrafo 6.3.3.

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

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)

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 applicato il terzo livello di approfondimento sismico nei seguenti casi:

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

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

Le metodologie strumentali prevedono lo sviluppo di una campagna di acquisizione dati tramite prove specifiche (nell'allegato 5 alla D.G.R. 9/2616 sono indicati a titolo



esemplificativo il metodo di Nakamura (1989) ed il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981)).

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

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

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

2.2.3.4 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. 9/2616 sono indicate a titolo esemplificativo il metodo di Nakamura (1989) ed il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981)). Le metodologie numeriche consistono nella ricostruzione di un modello geometrico e meccanico dell'area di studio e nell'applicazione di codici di calcolo (monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali) per la valutazione della risposta sismica locale.

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



3 INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA

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

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

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

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

Il Comune di Besana in Brianza, nelle more della redazione dello Studio Comunale del Rischio Idraulico, ha redatto il documento semplificato che contiene *“la delimitazione delle aree a rischio idraulico del territorio comunale, di cui al comma 7, lettera a), numeri 3 e 4, definibili in base agli atti pianificatori esistenti, alle documentazioni storiche e alle conoscenze locali anche del gestore del servizio idrico integrato”*.

Delimitazione delle aree a rischio idraulico

Oltre alle aree di esondazione Ee, individuate nel P.A.I. e nel P.R.G. questo aspetto deve essere integrato e approfondito prendendo in considerazione:

- allagamenti storici avvenuti nel territorio comunale
- problematiche note relative a insufficienze del sistema di smaltimento delle acque meteoriche, in collaborazione col gestore del servizio idrico integrato.



Misure strutturali

Le misure strutturali prevedono l'individuazione di aree destinate al rispetto del principio dell'invarianza idraulica, sia per la parte urbanizzata che per gli ambiti di nuova trasformazione.

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

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

Il progetto di fattibilità tecnica ed economica delle "Aree di esondazione controllata del Rio Brovada in Comune di Besana in Brianza e Triuggio" analizza gli aspetti idraulici e idrologici di tale affluente del fiume Lambro. Vengono individuate due aree di laminazione che consentirebbero un invaso temporaneo delle acque di piane accedenti la capacità di smaltimento del torrente Rio Brovada che, durante il verificarsi di recenti eventi temporaleschi (es. 24 e 25 giugno 2014), è esondato in comune di Triuggio, lungo via Brovada e parzialmente lungo piazza Boretti, in prossimità della confluenza nel fiume Lambro.

Una delle due aree di laminazione è stata individuata nei pressi della frazione Calò di Besana in Brianza. È un'area di circa 26.000 m³ a valle dell'attraversamento di via della Valle ed è costituita principalmente da campi coltivati. L'area allagabile individuata interessa sia le fasce boscate lungo il corso d'acqua che le aree coltivate in sponda destra e sinistra idrografica. La realizzazione di tale vasca di laminazione comporta la costruzione di uno sbarramento costituito da terre rinforzate con un setto di calcestruzzo armato nella parte centrale con funzione strutturale. La diga avrà un'altezza complessiva di circa 8,5 metri. Sul fondo sarà presente uno scarico che consentirà il normale deflusso delle acque mentre, sul ciglio dello sbarramento in corrispondenza dell'alveo del torrente sarà realizzato uno stramazzo che regolerà il flusso delle acque laminate qualora venisse raggiunto il massimo riempimento previsto. È inoltre genericamente individuata un'area a destinazione agricola nella porzione settentrionale del comune, a nord della stazione ferroviaria. Per maggiori dettagli si rimanda al Documento semplificato del rischio idraulico comunale redatto ai sensi dell'art. 14 del R.R. 7/2017 (Eurogeo, 2018).



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

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

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

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

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

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

Gli occhi Pollini

Il territorio di Besana in Brianza ricade in quel settore della regione Lombardia denominato Alta Pianura e soggetto al fenomeno degli occhi pollini. Gli occhi pollini sono cavità che vengono a crearsi nei primi metri di sottosuolo per il sommarsi di diversi fattori, uno dei quali è lo scorrimento delle acque all'interno dei sedimenti. Tali cavità possono essere vuote o riempite parzialmente o completamente di materiali fini e, in alcuni casi possono dare luogo a manifestazioni superficiali con la formazione di piccole doline che si aprono occasionalmente nei campi, spesso in concomitanza a forti precipitazioni.

Gli occhi pollini sono suddivisibili in tre categorie principali: cavità nel conglomerato (dimensioni varie da pochi centimetri sino ad alcuni metri di diametro), gallerie di



piccolo diametro (gallerie con diametro di pochi decimetri e lunghezza in genere metrica) e cavità di grande diametro (da pochi decimetri ad alcuni metri)

L'attenzione al fenomeno degli occhi pollini si è fatta vieppiù maggiore negli ultimi anni in quanto il loro manifestarsi ha comportato danni a edifici e infrastrutture mettendo a rischio anche l'incolumità delle persone.

Il PTCP della Provincia di Monza e Brianza ha analizzato tale problematica, suddividendo il territorio in aree a differente suscettibilità del fenomeno degli occhi pollini, rappresentandoli nella *Tavola 8 – Assetto idrogeologico* e normandole dal punto di vista geologico e idrogeologico. Nella Figura 3 è riportato un estratto di tale tavola riferita al comune di Besana in Brianza il quale presenta porzioni del territorio con suscettibilità che Molto Alta, Alta, Moderata e Bassa suscettibilità.

Il verificarsi di tale fenomeno in presenza di edifici e/o infrastrutture può causare lesioni e cedimenti alle strutture, con conseguenze non prevedibili.

Nelle aree a suscettibilità Molto Alta e Alta è da escludere il ricorso alle opere di infiltrazione per il calcolo dell'invarianza idraulica e idrologica.

Nelle zone a Moderata suscettibilità al fenomeno degli occhi pollini è necessario svolgere adeguate indagini geognostiche, al fine di individuare o escludere la presenza di occhi pollini nell'area di interesse, per consentire un'adeguata progettazione delle opere di infiltrazione.

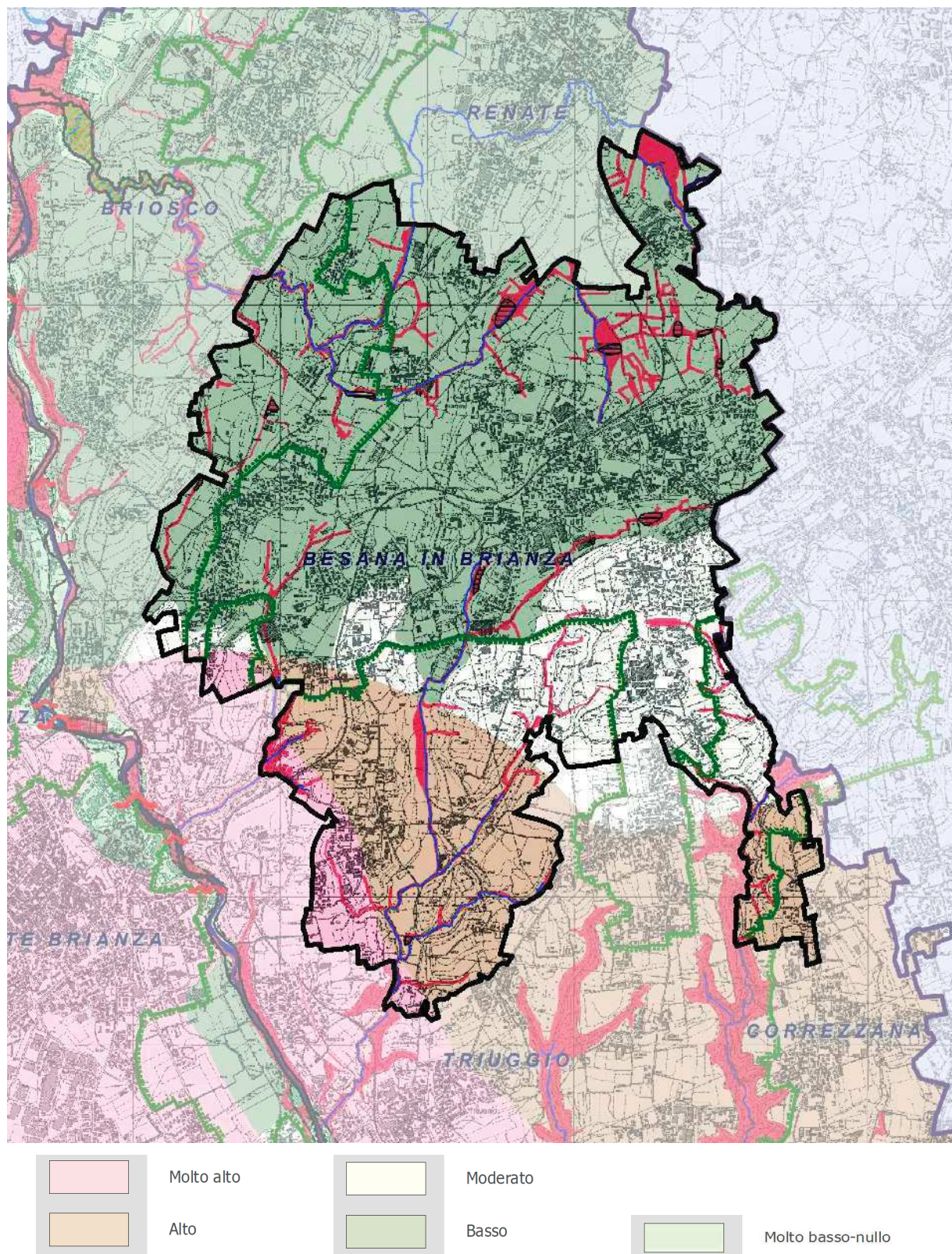


Figura 3: estratto della Tavola 8 – Assetto Idrogeologico del PTCP della Provincia di Monza e Brianza con l'individuazione del grado di suscettività al fenomeno degli "occhi pollini" (scala 1:40.000).



4 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 Besana in Brianza sono presenti:

- **Vincoli di polizia idraulica:** sul reticolo idrografico identificato ai sensi del R.D. n. 523/1904 art.96, D.G.R. 7/7868 del 25 gennaio 2002 e della D.G.R. 7/13950 del 1 agosto 2003. Il reticolo idrico principale è vincolato ai sensi del R.D. n. 523/1904 art. 96, mentre il reticolo idrico minore dal regolamento allegato allo “Studio del reticolo minore” e dal relativo “Regolamento di Polizia idraulica” approvato con D.C.C. n. 46 del 27/06/2008 (inGeo, 2006/2007).
- **Vincoli derivanti dal P.G.R.A.**, il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, in recepimento della Direttiva Alluvioni della Comunità Europea 2007/60/CE.
- **Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino P.A.I.:** ai sensi della Legge 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.
- **Geositi – Aree di valore paesaggistico e ambientale a spiccata connotazione geologica:** il Sasso di Guidino è un masso erratico localizzato nei pressi dell'omonima località Guidino ed è sottoposto a tutela ai sensi della D.G.R. 38948 del 22 maggio 1984.

4.1 P.G.R.A. – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (TAV. 3).

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

La D.G.R. 10/6738 del 19 giugno 2017 definisce le disposizioni regionali concernenti l'attuazione del P.G.R.A. nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai



sensi dell'art.58 delle norme di attuazione del P.A.I. del bacino del Fiume Po. A tale deliberazione si è fatto riferimento per il recepimento del Piano.

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

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

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

Le aree allagabili individuate, per quanto concerne la Regione Lombardia, riguardano i seguenti "ambiti territoriali":

- Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP);
- Reticolo secondario collinare e montano (RSCM);
- Reticolo secondario di pianura naturale e artificiale (RSP);
- Aree costiere lacuali (ACL).

In comune di Besana in Brianza sono presenti ambiti territoriali di pertinenza del reticolo secondario collinare e montano (RSCM).

Le aree allagabili in ambito di RSCM hanno recepito gli azzonamenti della *Carta del dissesto con legenda uniformata al P.A.I.*, inserita quale proposta di aggiornamento all'Elaborato 2 del P.A.I. nella vigente componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. di Besana in Brianza.

I tematismi del P.G.R.A., congiuntamente a quelli del P.A.I. sono individuati nella *Carta PAI – PGRA* (Tavola 3) redatta secondo le indicazioni della D.G.R. 10/6738 del 19 giugno 2017.



4.2 Aree di dissesto con legenda uniformata al P.A.I. (TAV. 3)

La Carta PAI - PGRA è inserita quale proposta di aggiornamento all'Elaborato 2 del P.A.I..

4.2.1 Aree di dissesto P.A.I.

Sulla tavola sono stati individuati i seguenti tematismi:

- esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua:

➤ **Ee**, aree con pericolosità di molto elevata o elevata.

Agli ambiti ricadenti in tali perimetrazioni si applicano le prescrizioni contenute nell'art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I. e in particolare il comma 5:

- **Comma 5:** Fatto salvo quanto previsto dall'art. 3ter del D.L. 12 ottobre 2000, n. 279, convertito in L. 11 dicembre 2000, n. 365, nelle aree **Ee**, sono esclusivamente consentiti:
 - gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
 - gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo degli edifici, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 31 della L. 5 agosto 1978, n. 457;
 - gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superficie e volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico insediativo;
 - gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche e di interesse pubblico e di restauro e di risanamento conservativo di beni di interesse culturale, compatibili con la normativa di tutela;
 - i cambiamenti delle destinazioni colturali, purché non interessanti una fascia di ampiezza di 4 m dal ciglio della sponda ai sensi del R.D. 523/1904;



- gli interventi volti alla ricostituzione degli equilibri naturali alterati e alla eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica;
- le opere di difesa, di sistemazione idraulica e di monitoraggio dei fenomeni; - la ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari e a rete riferite a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili e relativi impianti, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente validato dall'Autorità competente. Gli interventi devono comunque garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni per cui sono destinati, tenuto conto delle condizioni idrauliche presenti;
- l'ampliamento o la ristrutturazione degli impianti di trattamento delle acque reflue;
- l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti già autorizzate ai sensi del D.Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22 (o per le quali sia stata presentata comunicazione di inizio attività, nel rispetto delle norme tecniche e dei requisiti specificati all'art. 31 dello stesso D.Lgs. 22/1997) alla data di entrata in vigore del Piano, limitatamente alla durata dell'autorizzazione stessa. Tale autorizzazione può essere rinnovata fino ad esaurimento della capacità residua derivante dalla autorizzazione originaria per le discariche e fino al termine della vita tecnica per gli impianti a tecnologia complessa, previo studio di compatibilità validato dall'Autorità competente. Alla scadenza devono essere effettuate le operazioni di messa in sicurezza e ripristino del sito, così come definite all'art. 6 del suddetto decreto legislativo.

4.3 Analisi della compatibilità con il PTCP della Provincia di Monza e Brianza

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della provincia di Monza e Brianza contiene elementi di carattere geoambientale utili a definire il quadro del dissesto idrogeologico a livello comunale.

Sono la *Tavola 8–Assetto idrogeologico* e la *Tavola 9–Sistema geologico ed idrogeologico* che individuano e cartografano questi aspetti, normati dagli articoli 8, 9 e 11 delle N.t.A. del PTCP.



Tavola 8 – Assetto idrogeologico

Gli elementi critici dal punto di vista dell'assetto idrogeologico individuati in questa tavola e presenti nel territorio comunale di Besana in Brianza sono:

- Aree esondabili individuate nel P.A.I.
- Aree con classe di fattibilità geologica 4 (derivate dalla precedente componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T.)
- Grado di suscettività al fenomeno degli “occhi pollini”

Le aree esondabili individuate nel P.A.I. sono state descritte nel precedente paragrafo 4.2.

Le classi di fattibilità geologica sono oggetto specifico della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. e pertanto, il presente aggiornamento le modifica sulla scorta della normativa più recente, delle attuali conoscenze del territorio, nonché della differente base topografica resa a disposizione.

Per quanto concerne il grado di suscettività al fenomeno degli occhi pollini valgono le considerazioni del precedente Capitolo 3.

Tavola 9 – Sistema geologico ed idrogeologico

Questa tavola del PTCP, nel territorio comunale di Besana in Brianza, evidenzia il sistema delle acque superficiali e gli elementi geomorfologici ritenuti di particolare rilevanza e oggetto di tutela.

In particolare sono individuati i seguenti elementi:

- Reticolo idrico superficiale
- Elementi geomorfologici:
 - Ambiti vallivi
 - Orli di terrazzo
 - Creste di morena
 - Geosito del “Sasso di Guidino”



Per quanto concerne la tutela del reticolo idrico superficiale si rimanda al Documento di Polizia Idraulica Comunale (InGeo 2006/2007) e alla cartografia di inquadramento della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. (Attardo 2007).

Il Geosito del “Sasso di Guidino”, come precedentemente descritto, è tutelato ai sensi della D.G.R. 38948 del 22 maggio 1984.

Il presente aggiornamento recepisce gli elementi geomorfologici normati dall’art. 11 delle Norme del Piano del PTCP, adeguandone l’estensione alla base cartografica di maggior dettaglio su cui il P.G.T. viene redatto.

L’analisi è stata condotta analizzando gli elementi geomorfologici mappati nella Tavola 9 del PTCP, estendendoli o limitandoli, a seconda delle evidenze riscontrate sul terreno. Il maggior dettaglio della base topografica comunale rispetto a quella del PTCP ha consentito una miglior analisi delle morfologie del territorio. Si deve inoltre considerare che l’urbanizzazione e la rimodellazione della superficie topografica operata per scopi agricoli o per la realizzazione di infrastrutture di mobilità hanno obliterato le morfologie naturali, talvolta cancellandole.

Il presente documento, propone pertanto la modifica della delimitazione e dell’andamento dei seguenti elementi morfologici:

- Ambiti vallivi
- Orli di terrazzo
- Creste di morena

La nuova estensione di tali elementi è quella proposta nella *Tavola 2 – Carta dei vincoli*.



5 CARTA DI SINTESI (TAV. 4)

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

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

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

sl: aree a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di scivolamenti a causa dell'elevata acclività dei versanti (pendenza > 20°).

5.2 *Aree vulnerabili dal punto di vista geotecnico*

op1: aree a suscettibilità alta o molto alta al fenomeno degli occhi pollini, individuata dal PTCP della Provincia di Monza e Brianza.

op2: aree a suscettibilità moderata al fenomeno degli occhi pollini, individuata dal PTCP della Provincia di Monza e Brianza.

gt1: aree prevalentemente limoso-sabbiose con scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni.

gt2: aree prevalentemente ghiaioso-sabbiose con discrete caratteristiche geotecniche dei terreni.

5.3 *Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico e idrogeologico*

in: aree inondabili individuate con criteri geomorfologici con rischio di allagabilità e ristagno delle acque.

tor: aree di pertinenza torrentizia le cui dinamiche sono governate dallo scorrimento di acque all'interno di solchi di ruscellamento concentrato. Le criticità sono causate dall'erosione accelerata delle sponde e possibilità di innesco di scivolamenti superficiali dei depositi sia coesivi che incoerenti.

vul: aree a elevata vulnerabilità degli acquiferi, individuate tramite la metodologia DRASTIC nella prima stesura della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. (Attardo, 2007).



- fl:** aree adiacenti ai corsi d'acqua da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e la realizzazione di interventi di difesa.
- ri:** aree con possibili fenomeni di ristagno delle acque.
- lam:** area destinata alla realizzazione di una vasca di laminazione come previsto dal progetto "Aree di esondazione controllata del Rio Brovada in Comune di Besana in Brianza e Triuggio".

5.4 Aree di valore paesaggistico e ambientale a spiccata connotazione geologica

- geo:** area afferente al monumento naturale regionale del Sasso di Guidino, istituito con la D.G.R. 3894 del 22 maggio 1984.



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

6.1 Classi di fattibilità geologica

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

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

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

Classe 1 (bianca) - Fattibilità senza particolari limitazioni

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

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

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



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

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

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

- se dispone fin da subito di elementi sufficienti, definire puntualmente per le eventuali previsioni urbanistiche le opere di mitigazione del rischio da realizzare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori, in funzione della tipologia del fenomeno che ha generato la pericolosità/vulnerabilità del comparto;*
- se non dispone di elementi sufficienti, definire puntualmente i supplementi di indagine relativi alle problematiche da approfondire, la scala e l'ambito di territoriale di riferimento (puntuale, quali caduta massi, o relativo ad ambiti più estesi coinvolti dal medesimo fenomeno quali ad esempio conoidi, interi corsi d'acqua ecc.) e la finalità degli stessi al fine di accertare la compatibilità tecnico-economica degli interventi con le situazioni di dissesto in atto o potenziale e individuare di conseguenza le prescrizioni di dettaglio per poter procedere o meno all'edificazione.*

Classe 4 (rossa) – Fattibilità con gravi limitazioni

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

Il professionista deve fornire indicazioni in merito alle opere di sistemazione idrogeologica e, per i nuclei abitati esistenti, quando non è strettamente necessario provvedere al loro trasferimento, dovranno essere predisposti idonei piani di emergenza; deve inoltre essere valutata la necessità di predisporre sistemi di



monitoraggio geologico che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto.

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

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

6.2 La fattibilità geologica nel comune di Besana in Brianza

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.

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

- 2a

Alla sottoclasse 2a appartengono le aree pianeggianti o subpianeggianti con inclinazione inferiore ai 20° con terreni aventi discrete proprietà geotecniche.

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 17 gennaio 2018.

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



- 2b

Alla sottoclasse 2b appartengono le aree con le medesime caratteristiche delle classe 2a e con suscettibilità moderata al fenomeno degli occhi pollini.

Oltre alle prescrizioni previste per la classe 2a è necessario svolgere adeguate indagini geognostiche al fine di individuare o escludere la presenza di occhi pollini nell'area di interesse per consentire un'adeguata progettazione delle opere di invarianza idraulica

6.2.2 Classe 3

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

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

- 3a

Alla sottoclasse 3a appartengono le aree pianeggianti del territorio i cui terreni hanno scadenti caratteristiche geotecniche e sono soggetti a ristagno delle acque superficiali ($gt1+ri$) insieme alle aree pianeggianti con discrete caratteristiche geotecniche ma suscettibilità alta/molto alta al fenomeno degli occhi pollini ($op1+gt2$).

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

Nelle aree soggette a ristagno delle acque superficiali è necessario prevedere, già in fase progettuale, quegli accorgimenti tecnici necessari a garantire la salubrità dei locali.

Nelle zone ad alta/molto alta suscettibilità al fenomeno degli occhi pollini è necessario svolgere adeguate indagini geognostiche al fine di individuare o escludere la presenza di occhi pollini nell'area di interesse per consentire un'adeguata progettazione delle opere.



- 3b

Alla sottoclasse 3b appartengono le aree con pendenza superiore ai 20° poste in corrispondenza delle valli fluviali maggiormente incise.

L'utilizzo di queste aree è subordinato alla realizzazione di approfondimenti geognostici ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 17 gennaio 2018) 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.

Nelle zone a moderata, alta o molto alta suscettibilità al fenomeno degli occhi pollini è necessario svolgere adeguate indagini geognostiche al fine di individuare o escludere la presenza di occhi pollini nell'area di interesse per consentire un'adeguata progettazione delle opere.

Nelle aree a suscettibilità Molto Alta e Alta, identificate con la sigla **op1** nella *Carta di Sintesi* (Tav. 4N – 4S) e nella *Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano* (Tav. 5N – 5S), è da escludere il ricorso alle opere di infiltrazione per il calcolo dell'invarianza idraulica e idrologica.

Nelle zone a Moderata suscettibilità al fenomeno degli occhi pollini, identificate con la sigla **op2** nella *Carta di Sintesi* (Tav. 4N – 4S) e nella *Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano* (Tav. 5N – 5S) è necessario svolgere adeguate indagini geognostiche al fine di individuare o escludere la presenza di occhi pollini nell'area di interesse per consentire un'adeguata progettazione delle opere di invarianza idraulica.

- 3c

Alla sottoclasse 3c appartengono ad elevata vulnerabilità degli acquiferi.

L'utilizzo di queste aree è subordinato alla realizzazione di approfondimenti geognostici ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 17 gennaio 2018) necessari per la caratterizzazione puntuale dei parametri geotecnici del sottosuolo nonché della situazione idrogeologica locale al fine di progettare adeguatamente le opere per ridurre l'impatto sulla risorsa idrica sotterranea.

Nelle aree a suscettibilità Molto Alta e Alta, identificate con la sigla **op1** nella *Carta di Sintesi* (Tav. 4N – 4S) e nella *Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano*



(Tav. 5N – 5S), è da escludere il ricorso alle opere di infiltrazione per il calcolo dell'invarianza idraulica e idrologica.

Nelle zone a Moderata suscettibilità al fenomeno degli occhi pollini, identificate con la sigla **op2** nella *Carta di Sintesi* (Tav. 4N – 4S) e nella *Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano* (Tav. 5N – 5S) è necessario svolgere indagini geognostiche di dettaglio al fine di individuare o escludere la presenza di occhi pollini nell'area di interesse per consentire un'adeguata progettazione delle opere di invarianza idraulica.

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. 12/05.0

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

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

- 4a

Nella sottoclasse 4a sono inserite le aree adiacenti ai corsi d'acqua principali che devono restare sgombre da manufatti per consentire l'accessibilità dei mezzi per gli interventi di manutenzione e la realizzazione di eventuali opere di difesa.

Tali aree sono state desunte dal documento di Polizia Idraulica (approvato con D.C.C. n. 46. del 27/08/2008 al quale si rimanda per le azioni consentite e vietate.



Vi sono inoltre ricomprese quelle aree con accentuato pericolo idrogeologico dovuto all'azione erosiva delle acque incanalate sul piede dei versanti e al conseguente pericolo di franamento delle sponde.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I./P.G.R.A. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag. 4.1 e 4.2).

- 4b

Nella sottoclasse 4b sono inserite le aree limitrofe ai corsi d'acqua e soggette a esondazione e/o allagamento.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I./P.G.R.A. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag. 4.1 e 4.2).

- 4Geo

Area afferente al monumento naturale regionale del Sasso di Guidino, istituito con la D.G.R. 3894 del 22 maggio 1984.

- 4Lam

Area destinata alla realizzazione di una vasca di laminazione come previsto dal progetto *“Aree di esondazione controllata del Rio Brovada in Comune di Besana in Brianza e Triuggio”*.

6.3 Normativa sismica

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

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

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

L'analisi di terzo livello prevede la valutazione quantitativa dei cedimenti e dove necessario del potenziale di liquefazione mediante l'esecuzione di accertamenti



geognostici e l'impiego di procedure note in letteratura e scelte a discrezione del professionista incaricato.

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

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.

6.3.2 Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3)

Gli scenari di pericolosità sismica locale **Z3a**, zona di ciglio, 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.

6.3.3 Effetti di amplificazione litologica (PSL Z4)

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

L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha rilevato che nei siti indagati e appartenenti agli scenari di pericolosità sismica locale Z4a e Z4c i *Fattori di amplificazione* sono risultati verificati in tre casi su sei per quanto concerne l'intervallo del periodo di oscillazione 0,1-0,5 s, mentre sono risultati sempre verificati per l'intervallo 0,5-1,5 s.

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

Qualora i *Fa* calcolati con l'analisi di secondo livello non fossero verificati, dovrà essere applicato il terzo livello di approfondimento, rispettando le direttive tecniche



regionali, riassunte nel paragrafo 2.2.3.4. 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.

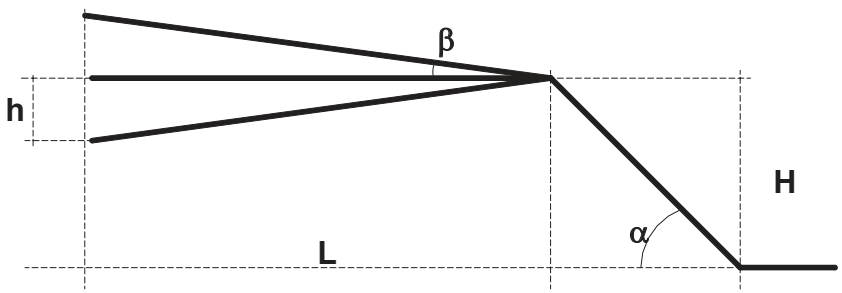
Dott. Massimo Elitropi

Dott. Geol. Renato Caldarelli

ALLEGATI

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

EFFETTI MORFOLOGICI – SCARPATA - SCENARIO Z3a

<p>CRITERI DI RICONOSCIMENTO</p> <p>$H \geq 10 \text{ m}$</p> <p>$\alpha \geq 10^\circ$</p> <p>$L \approx H$ oppure $L > 15-20 \text{ m}$</p>		
<p>SCARPATA IN CONTROPENDENZA</p> <p>$h < 1/3 H$</p>	<p>SCARPATA IDEALE</p> <p>$h = 0$ $\beta = 0$</p>	<p>SCARPATA IN PENDENZA</p> <p>$\beta \leq 1/5 \alpha$</p>

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

$$\alpha_1 \geq 10^\circ \text{ e } \alpha_2 \geq 10^\circ$$

$$h \geq 1/3 H$$

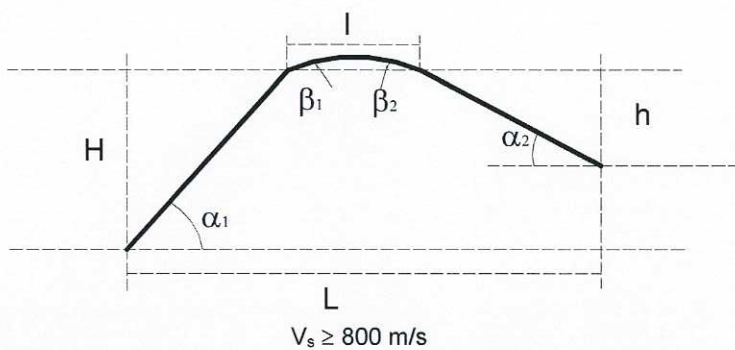
CRESTA ARROTONDATA

$$\beta_1 < 10^\circ \text{ e } \beta_2 < 10^\circ$$

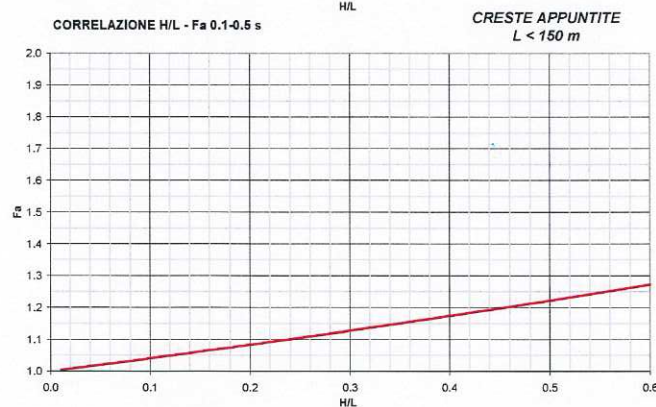
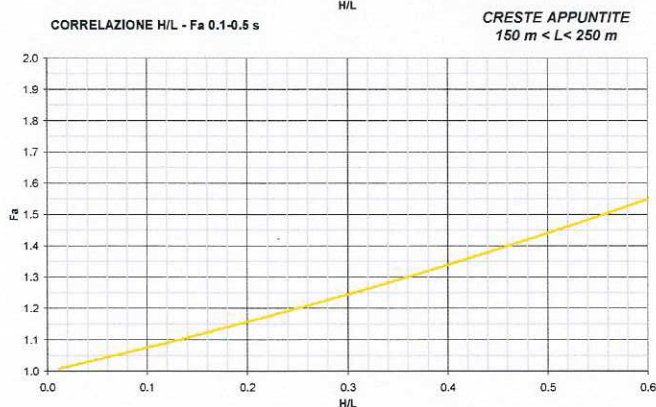
$$l \geq 1/3 L$$

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 LITOLGICI - SCHEDA LITOLOGIA GHIAIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

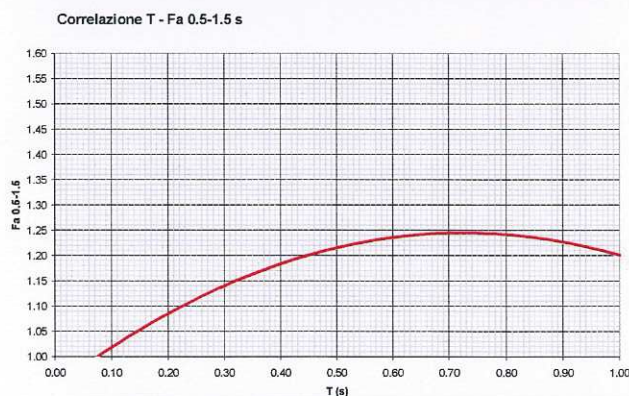
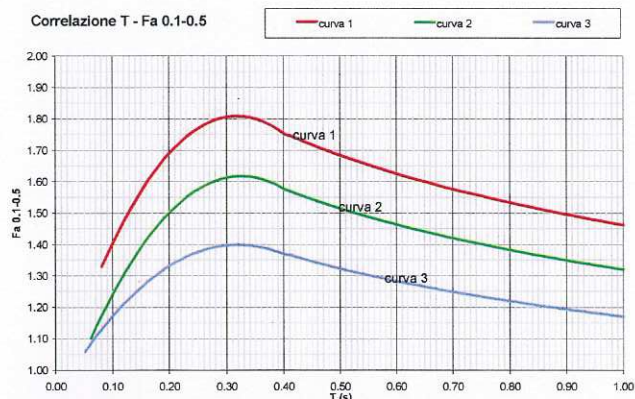
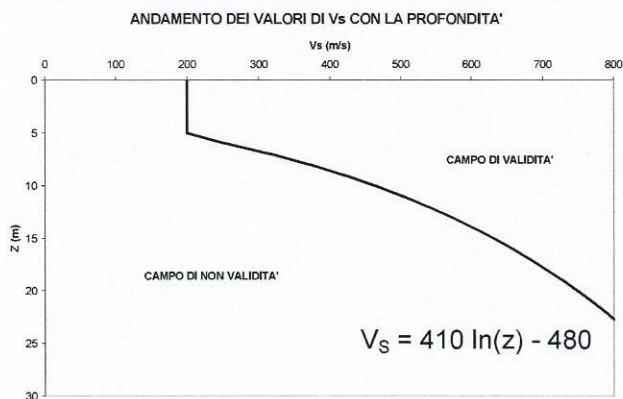
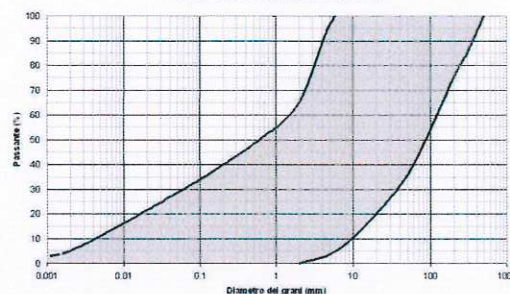
GRANULOMETRIA:

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

NOTE:

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

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO



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

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

EFFETTI LITOLGICI – 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%

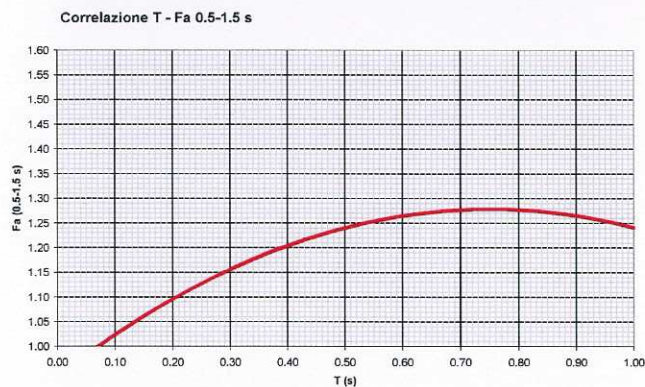
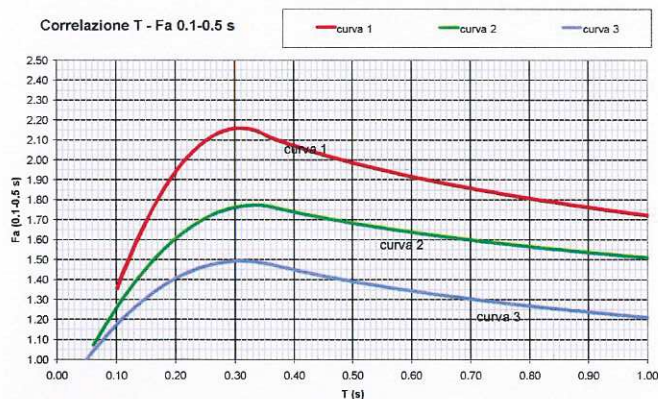
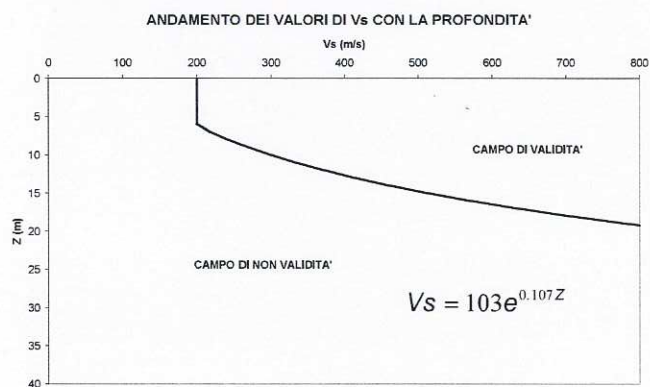
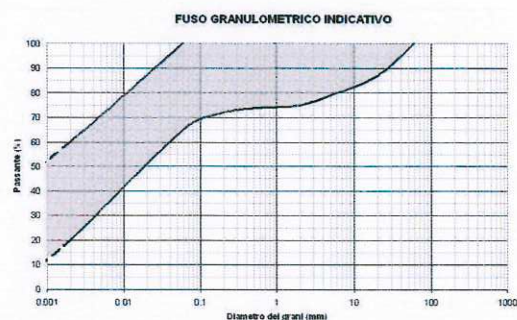
Presenza di clasti immersi con $D_{\max} < 2-3$ cm

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



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

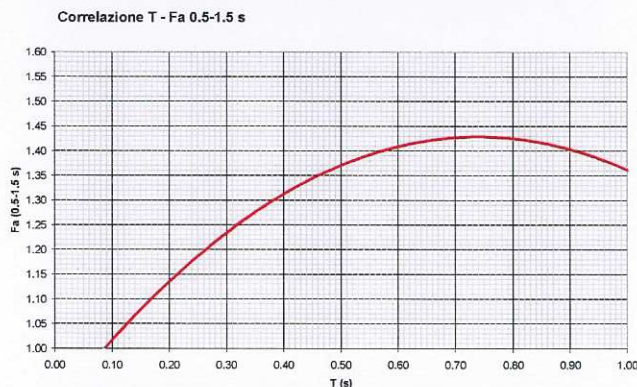
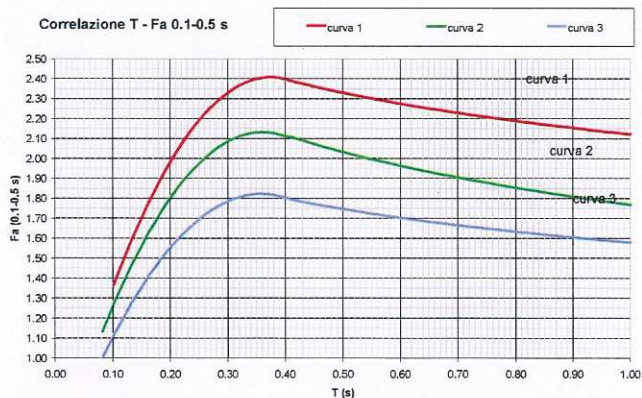
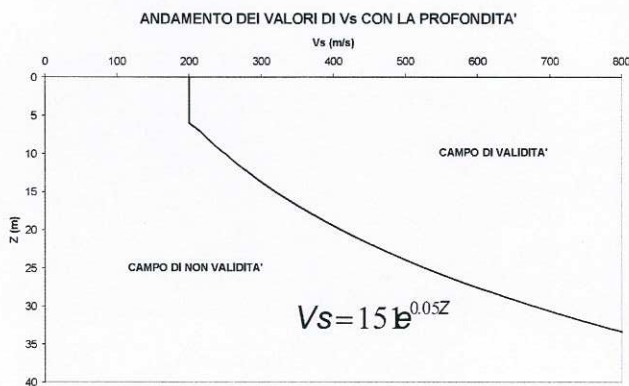
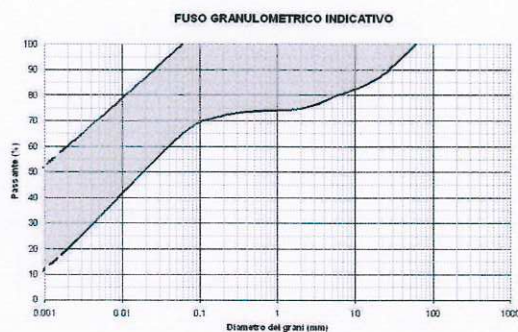
Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$F_{a_{0.1-0.5}} = -18.7T^2 + 11.5T + 0.39$	$F_{a_{0.1-0.5}} = 1.72 - 0.38\ln T$
2	$0.06 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$F_{a_{0.1-0.5}} = -9.5T^2 + 6.3T + 0.73$	$F_{a_{0.1-0.5}} = 1.51 - 0.25\ln T$
3	$0.05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

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

EFFETTI LITOLGICI – 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%

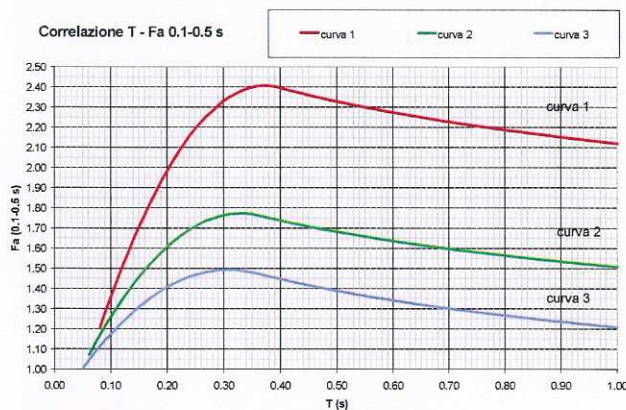
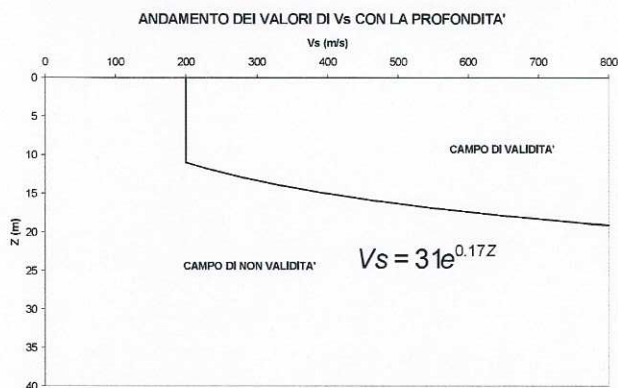
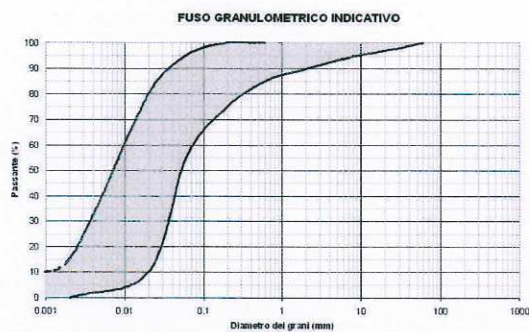
Presenza di clasti immersi con $D_{\max} < 2-3$ cm

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

Correlazione T - $Fa_{0.5-1.5}$ 

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

EFFETTI LITOLGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 2

PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

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

NOTE:

Comportamento coesivo

Frazione limosa ad un massimo del 95%

Presenza di clasti immersi con $D_{\max} < 2-3$ cm

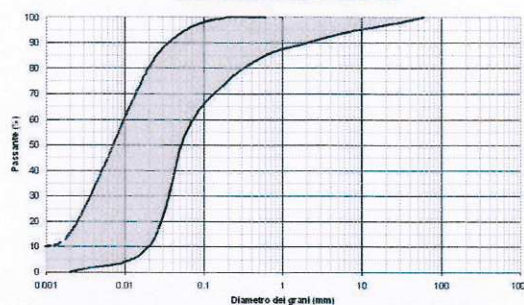
Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%

Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%

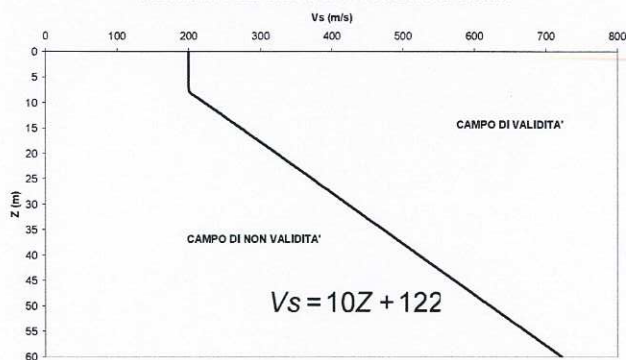
Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%

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

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO



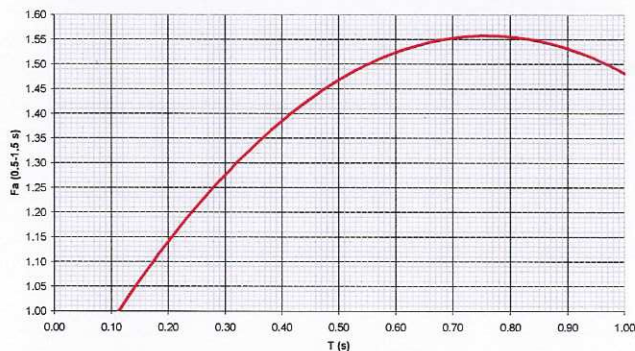
PARAMETRO		INTERVALLO
Peso di volume naturale	γ [kN/m ³]	18.5-19.5
Peso specifico particelle solide	γ_s [kN/m ³]	26.0-27.9
Contenuto d'acqua naturale	w [%]	25-30
Limite di liquidità	w_L [%]	25-35
Limite di plasticità	w_p [%]	15-20
Indice di plasticità	I_p [%]	5-15
Indice dei vuoti	e	0.6-0.9
Grado di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

ANDAMENTO DEI VALORI DI V_s CON LA PROFONDITA'

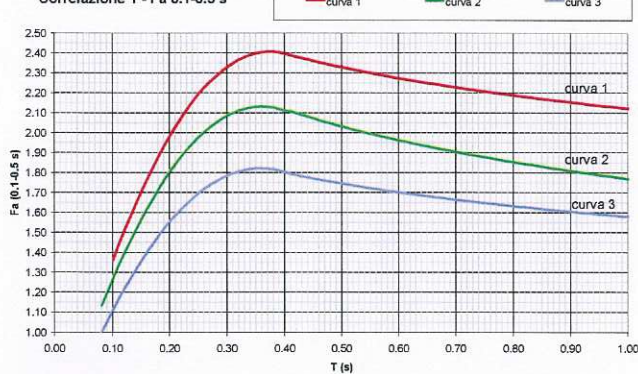
Profondità primo strato (m)



Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



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

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

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

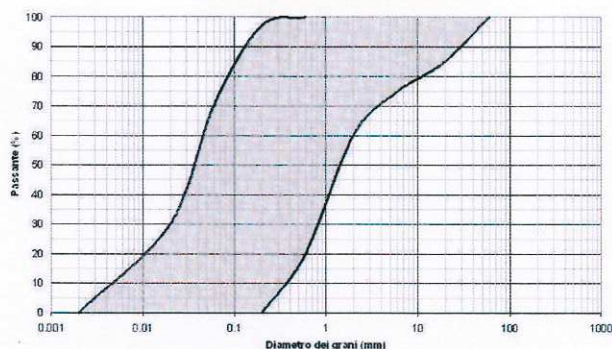
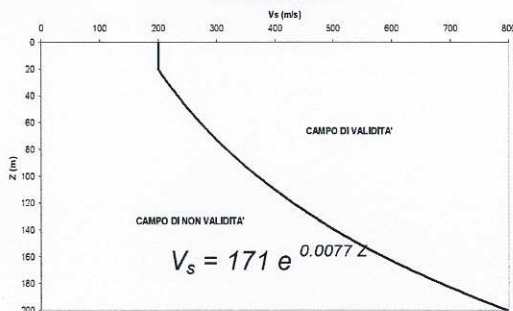
Struttura granulo-sostenuta

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 V_s CON LA PROFONDITA' LITOLOGIA SABBIOSA

Profondità primo strato (m)

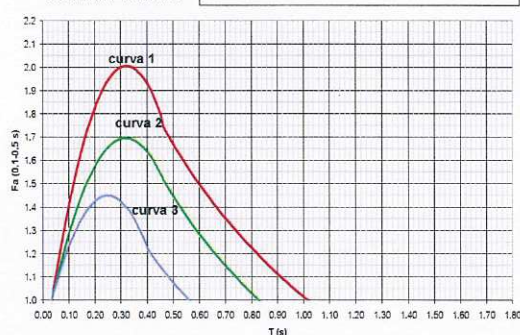
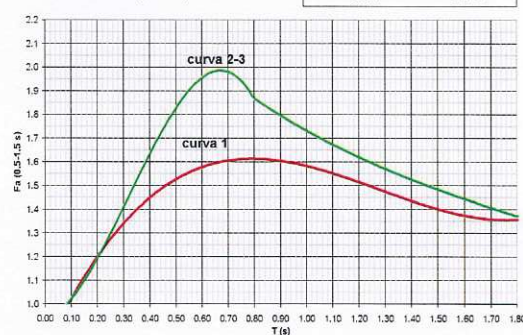
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180
200	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	NA	NA	NA								
250	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	NA	NA	NA								
300	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	NA	NA	NA	NA							
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	NA	NA	NA	NA	NA						
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA					
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA				
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	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 - $Fa_{0.1-0.5}$ sCorrelazione 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	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

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

SITO 1 (energizzazione 6m)

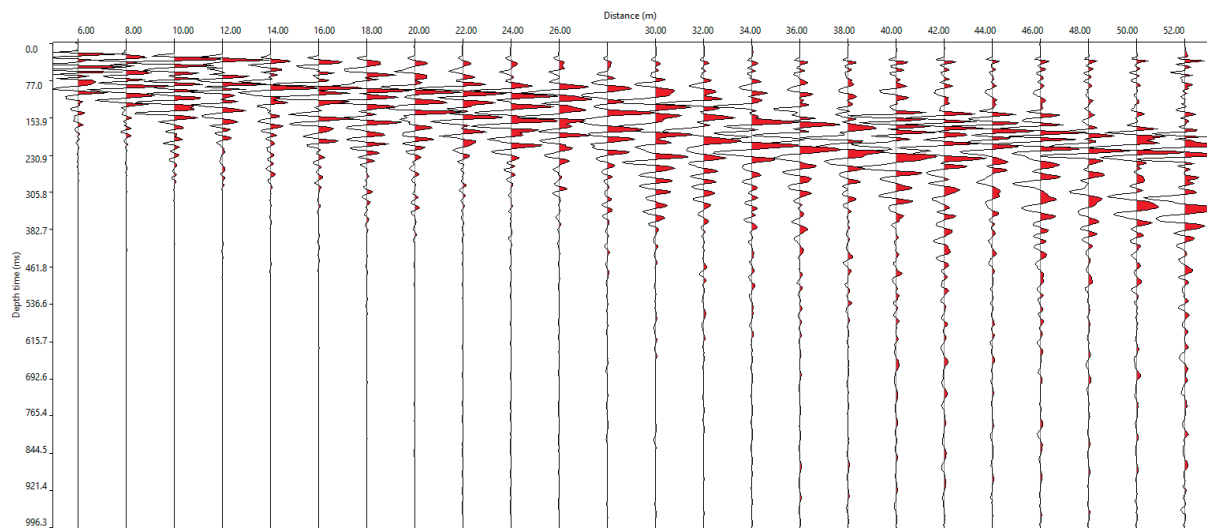


Fig. 1: Sismogramma medio

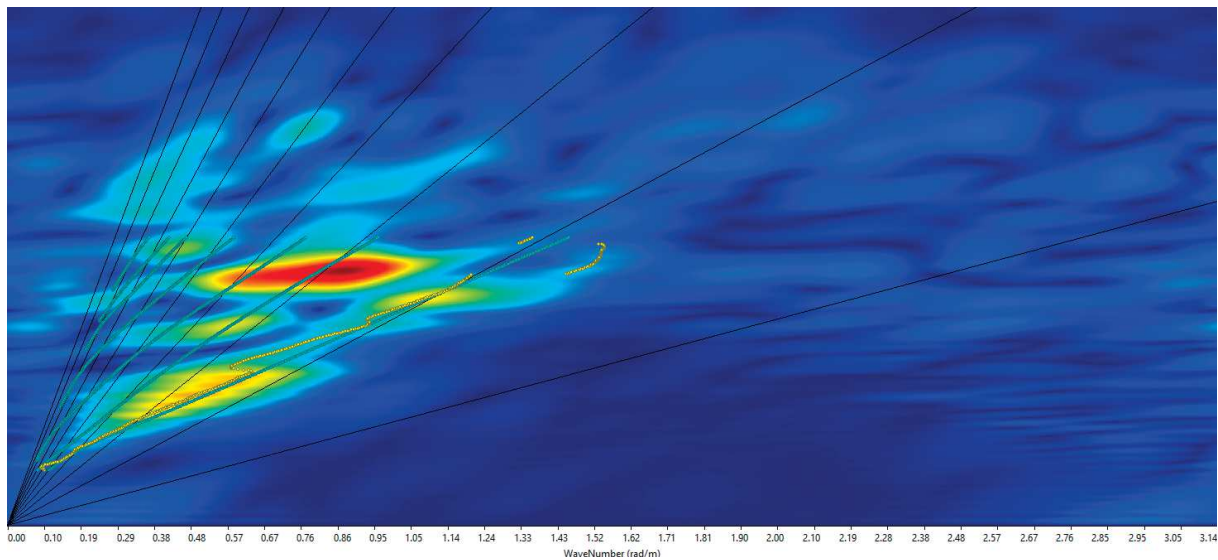


Fig. 2: Spettro Frequenza-velocità

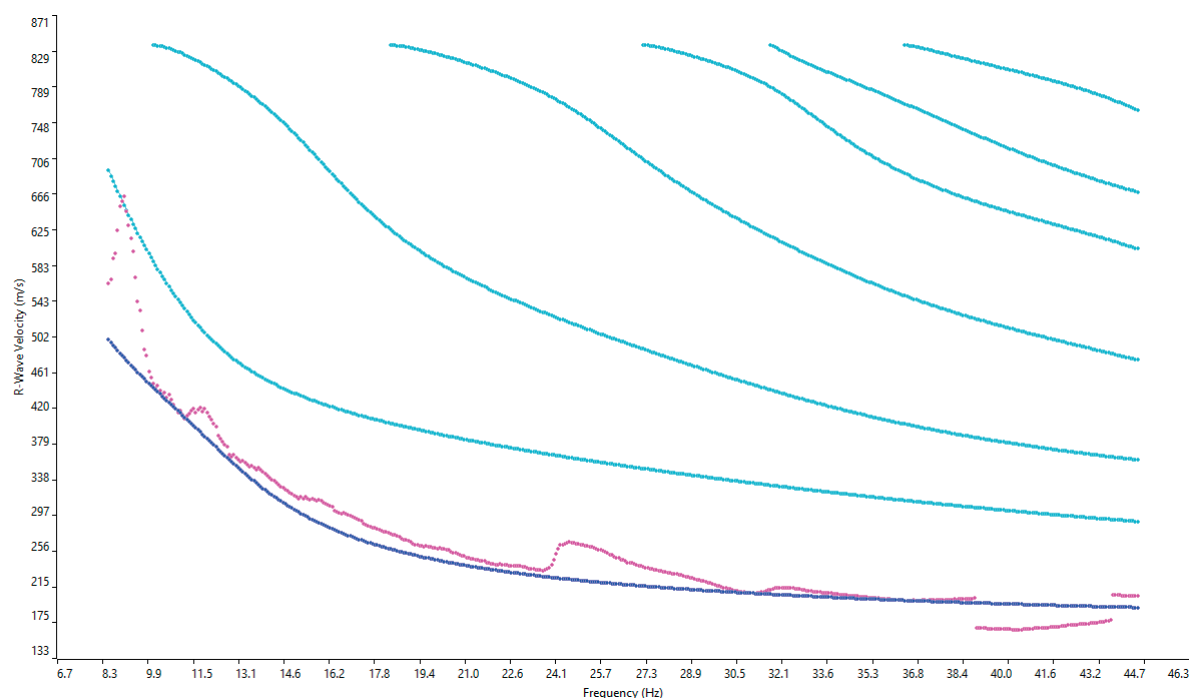


Fig. 3: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

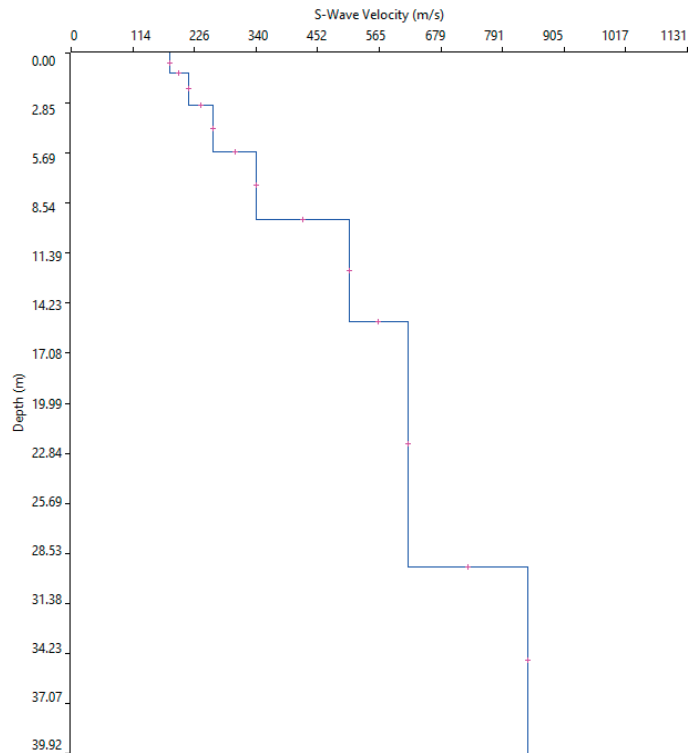


Fig. 4: Distribuzione Vs

SITO 1 (energizzazione 12m)

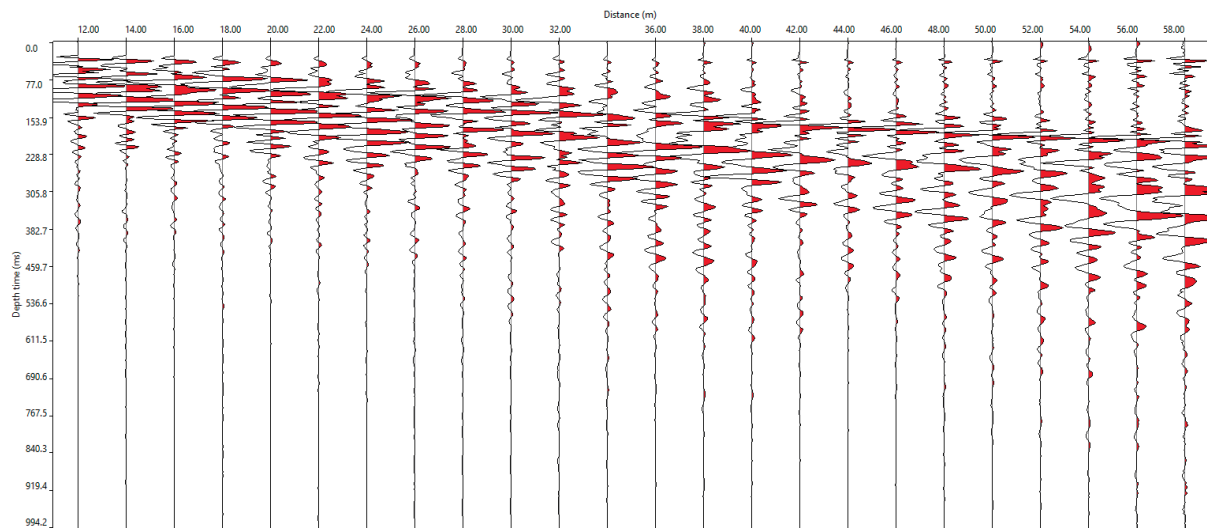


Fig. 5: Sismogramma medio

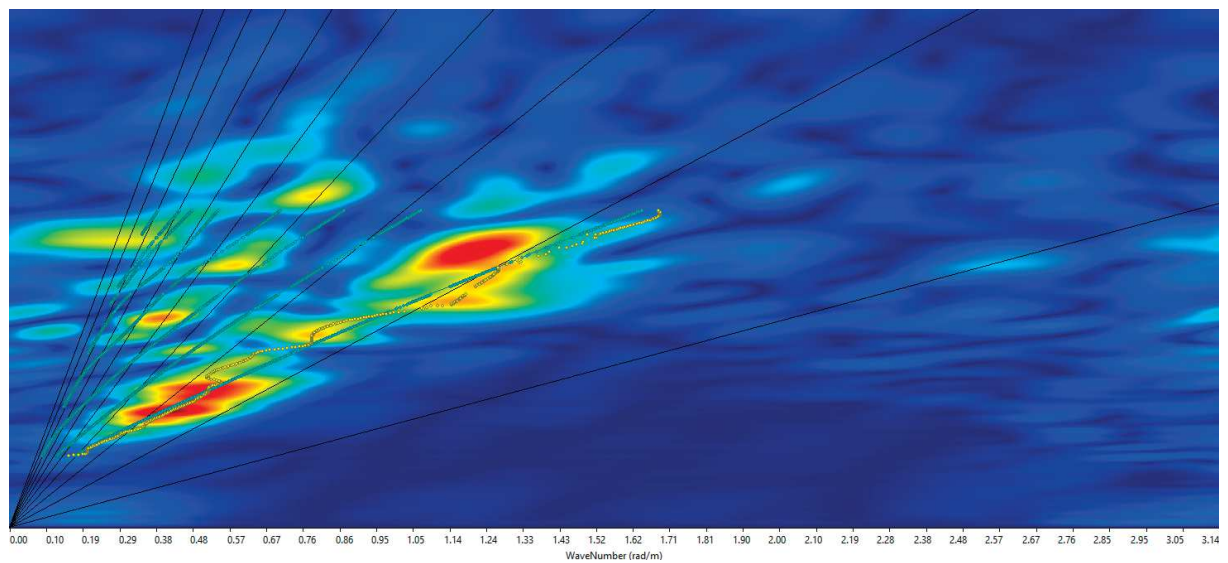


Fig. 6: Spettro Frequenza-velocità

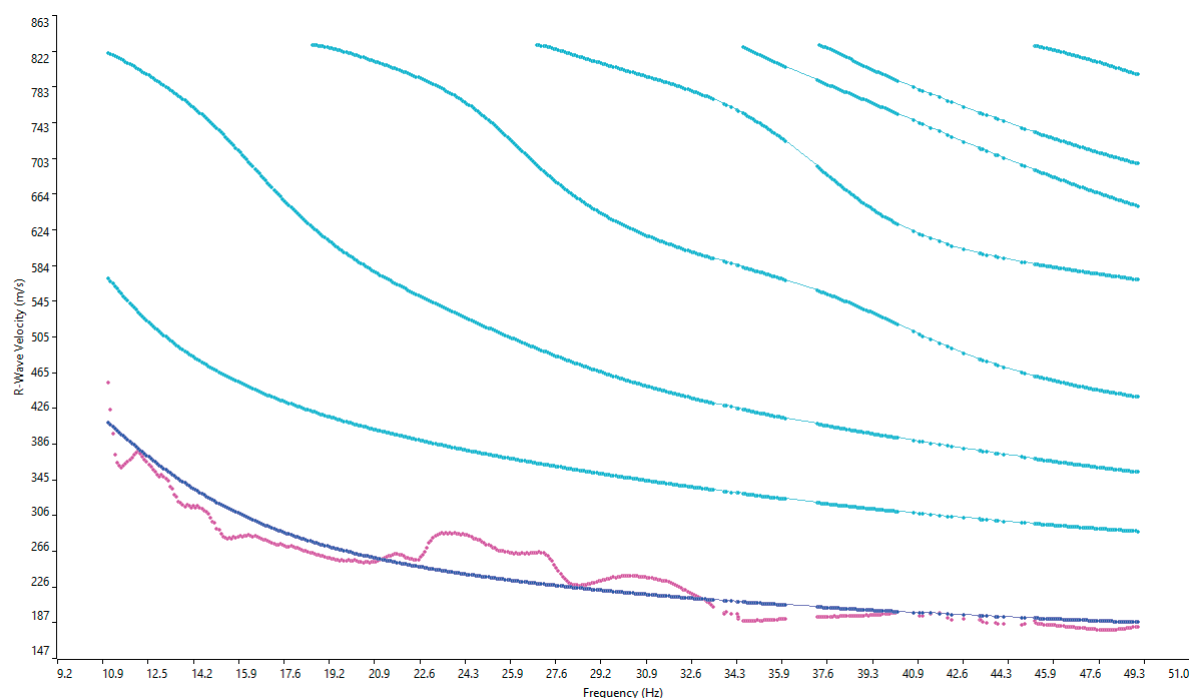


Fig. 7: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

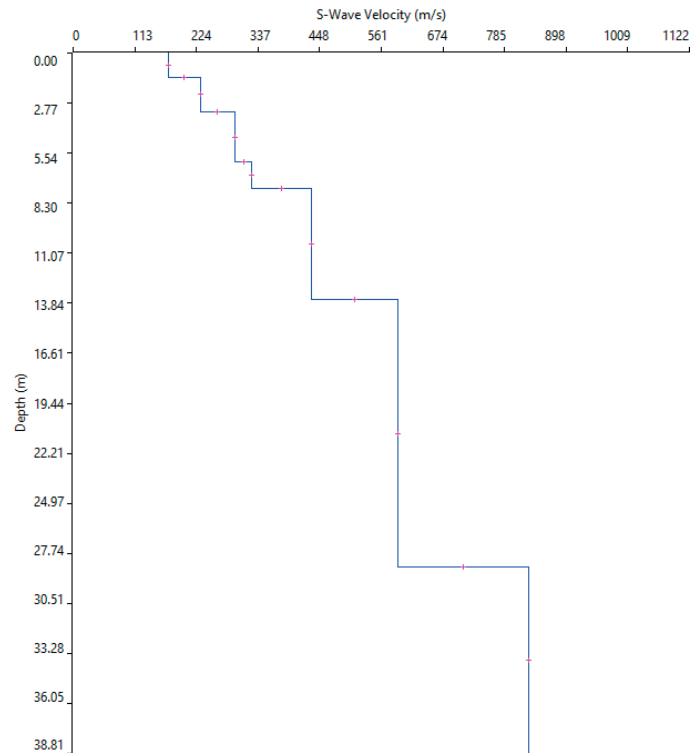


Fig. 8: Distribuzione V_s

SITO 2 (energizzazione 5m)

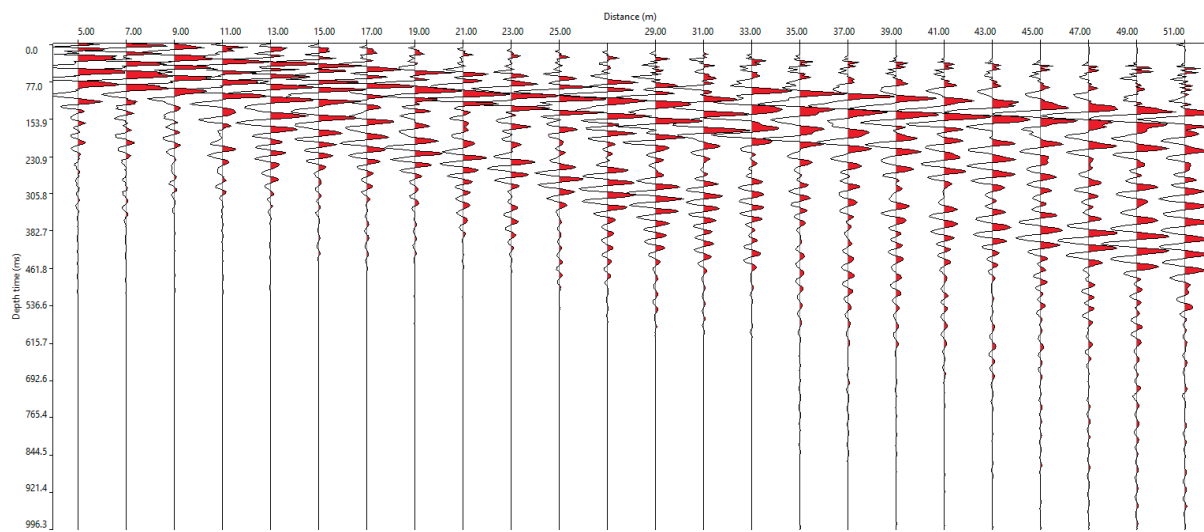


Fig. 9: Sismogramma medio

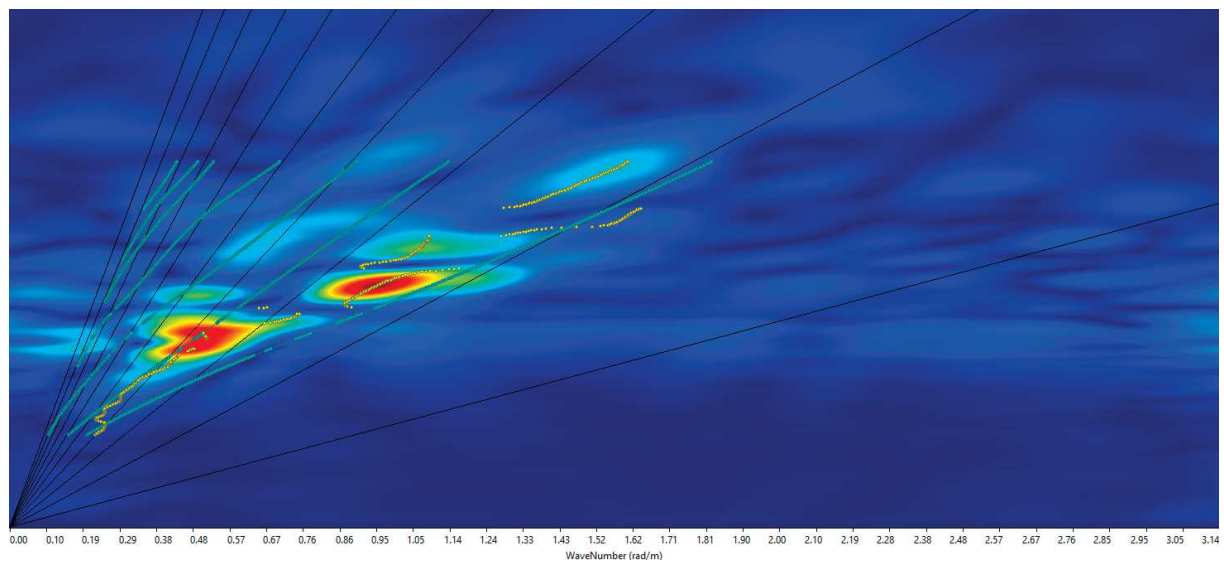


Fig. 10: Spettro Frequenza-velocità

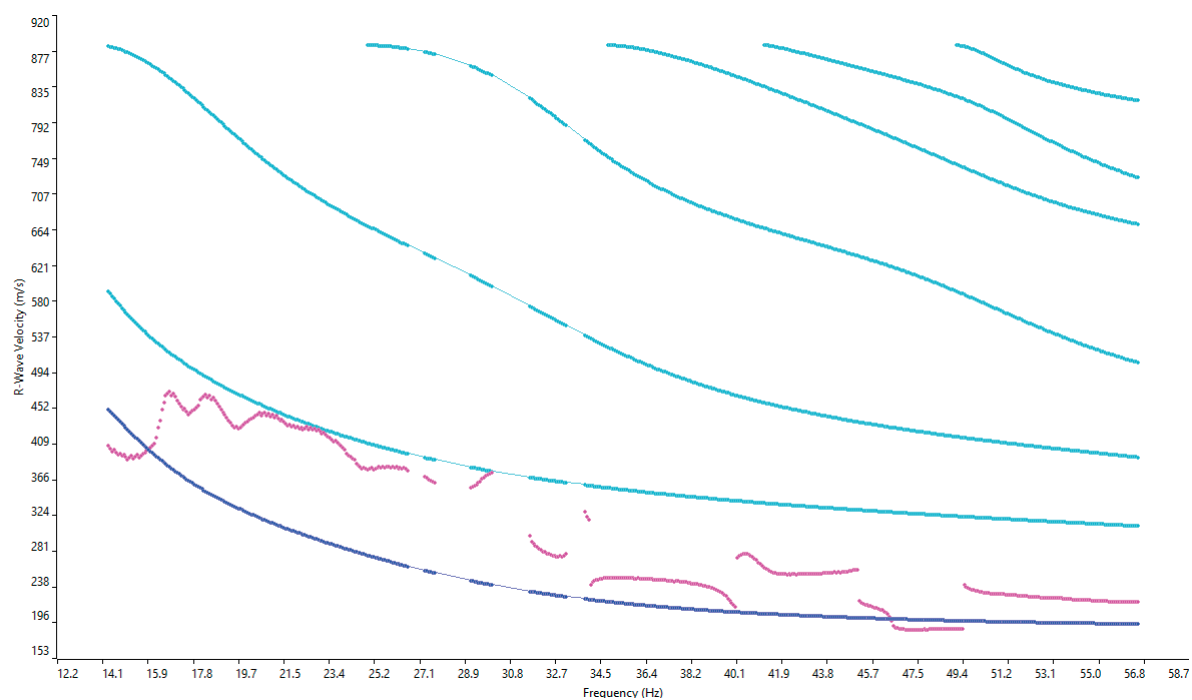


Fig. 11: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

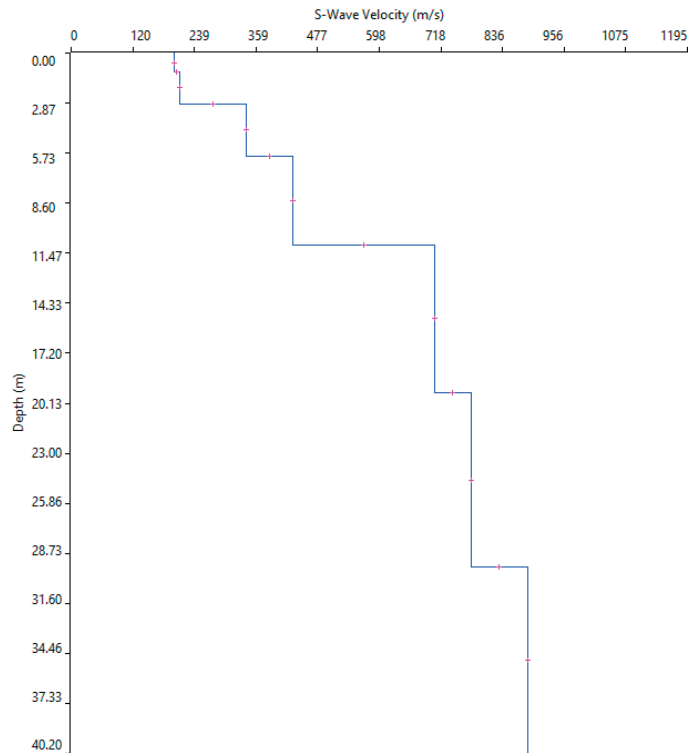


Fig. 12: Distribuzione Vs

SITO 2 (energizzazione 10m)

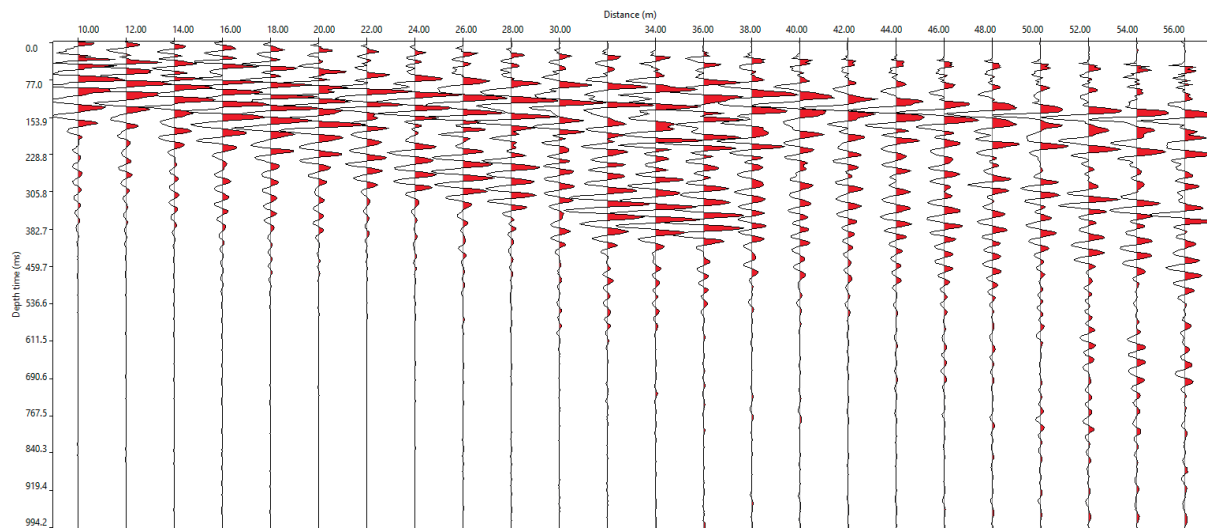


Fig. 13: Sismogramma medio

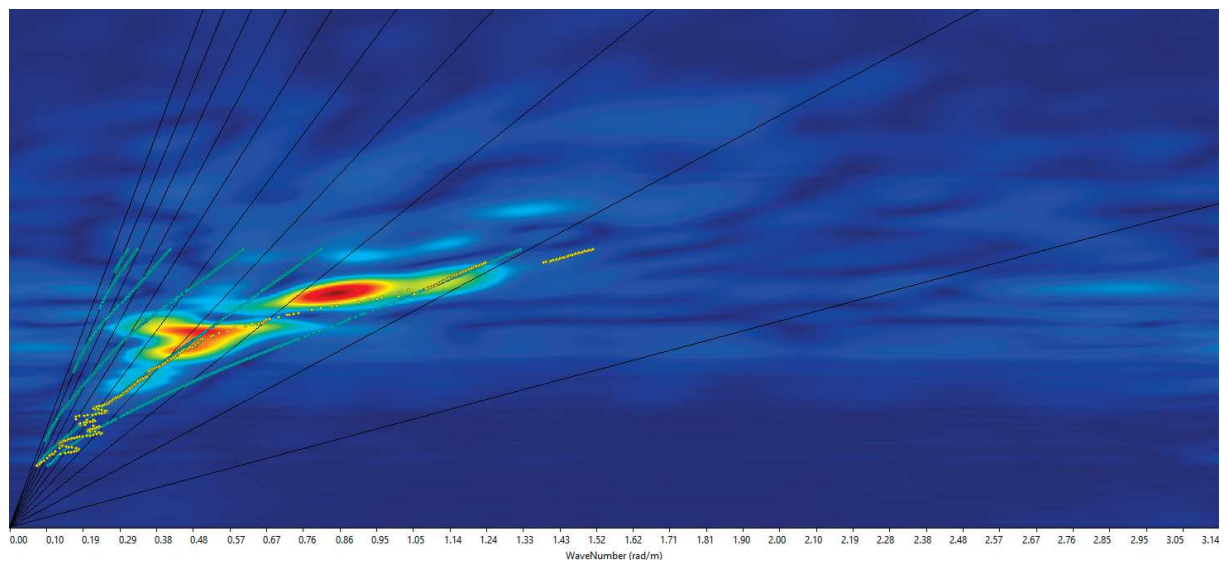


Fig. 14: Spettro Frequenza-velocità

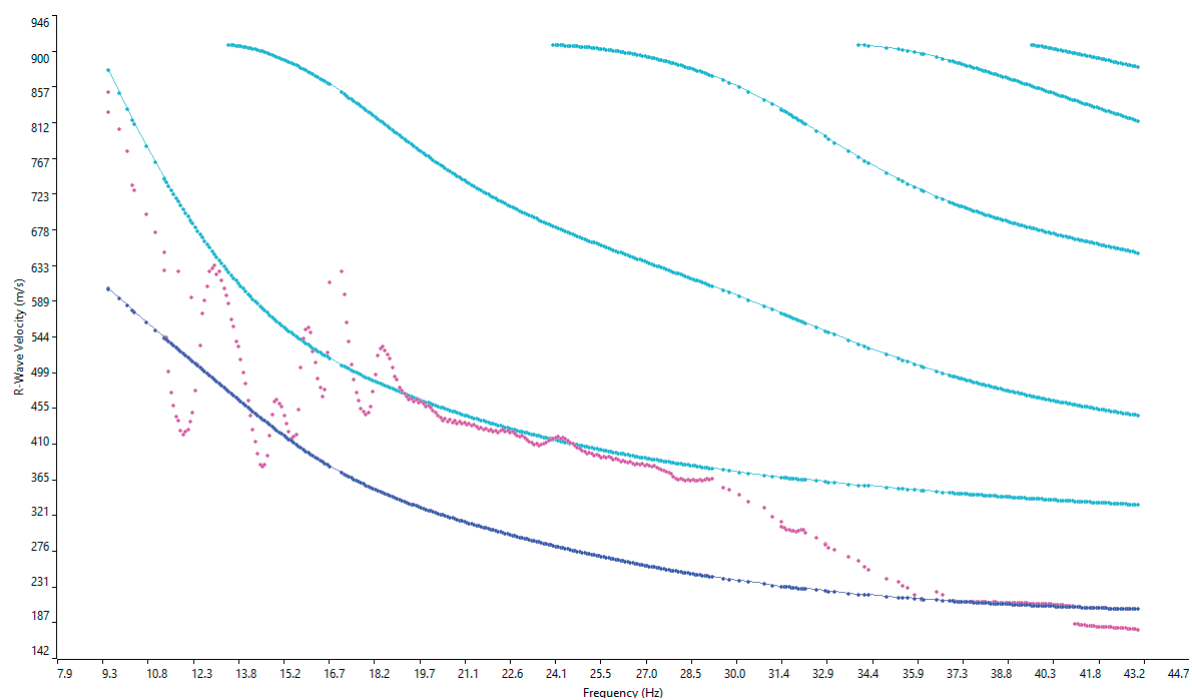


Fig. 15: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

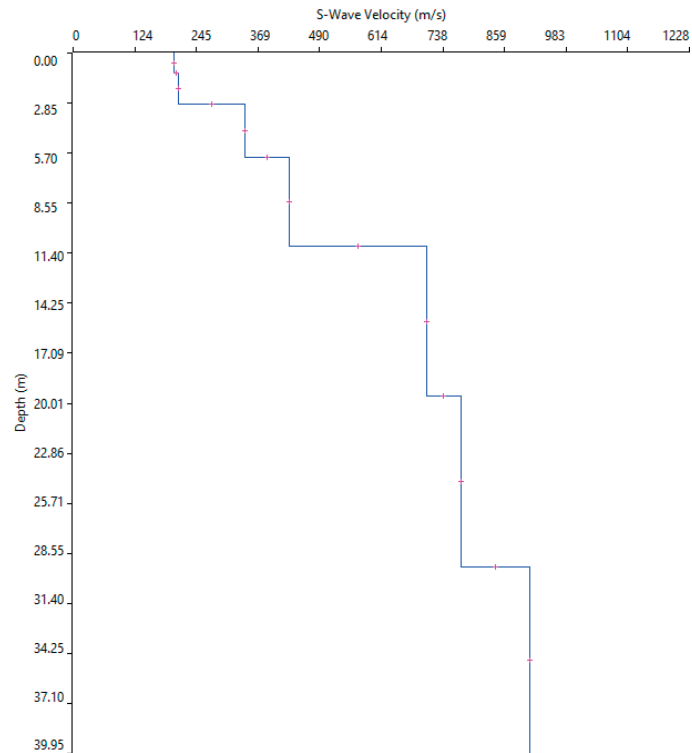


Fig. 16: Distribuzione Vs

SITO 3 (energizzazione 6m)

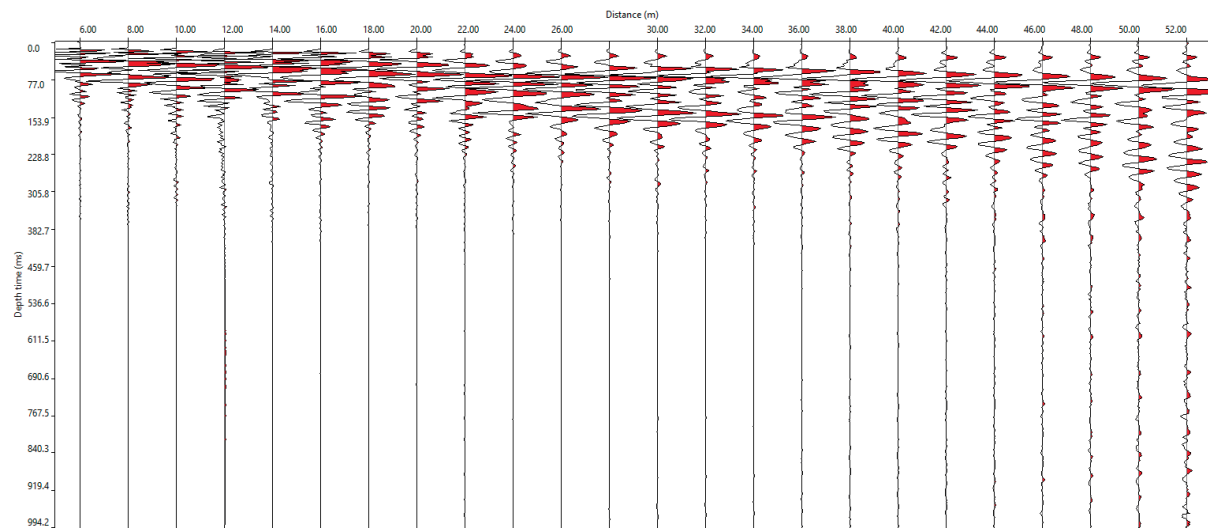


Fig. 17: Sismogramma medio

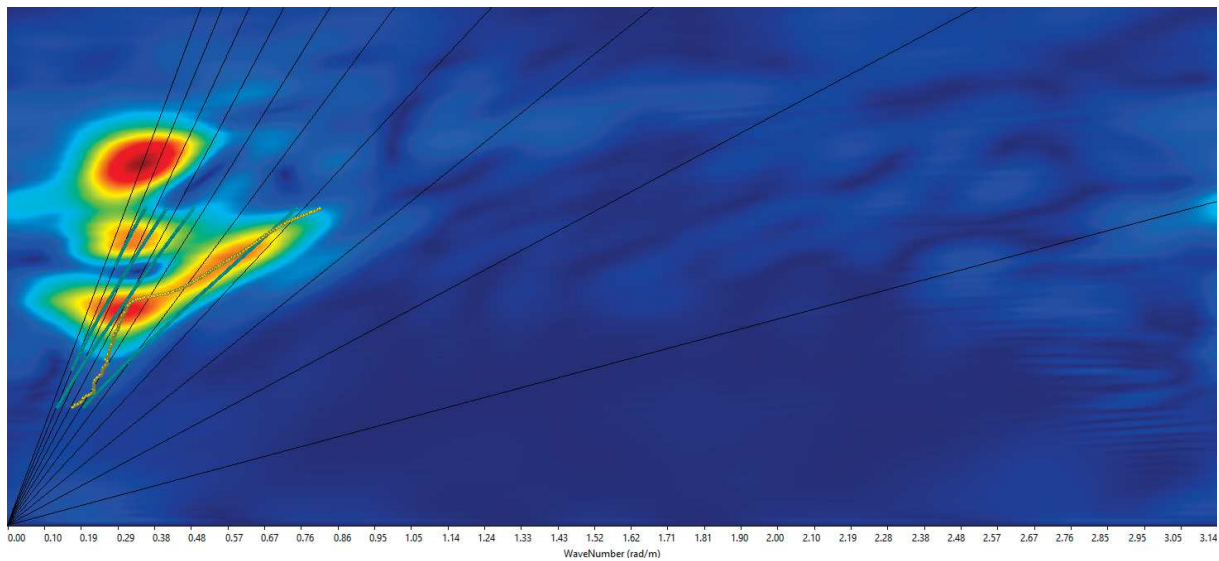


Fig. 18: Spettro Frequenza-velocità

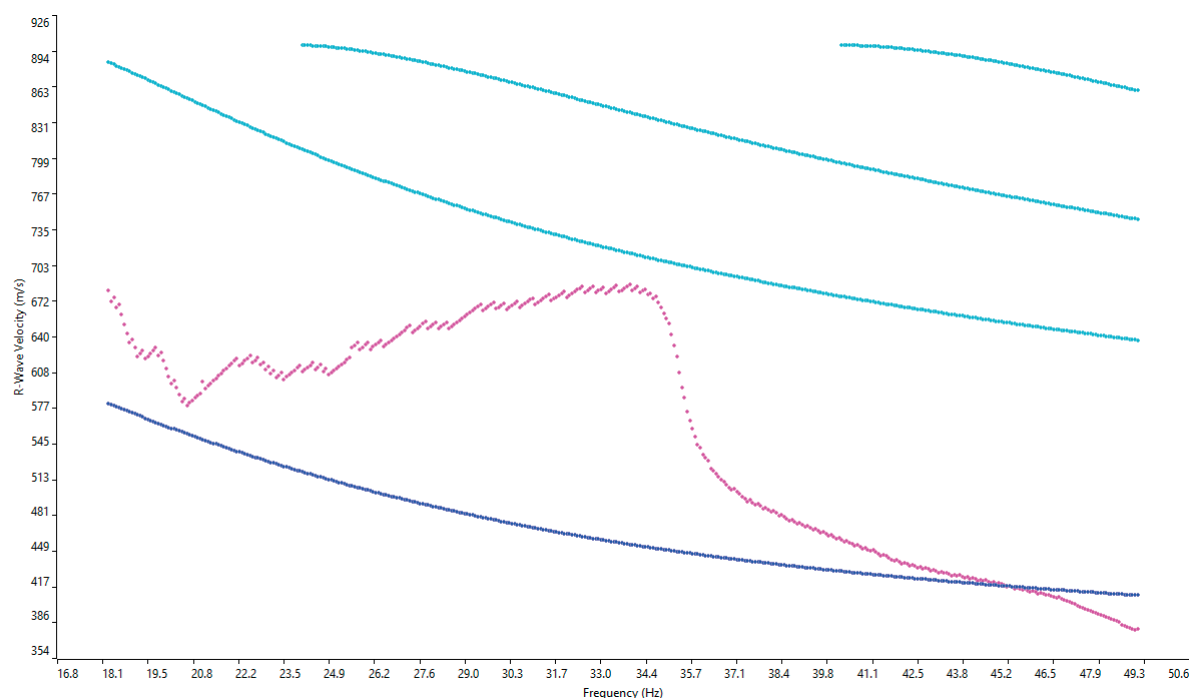


Fig. 19: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

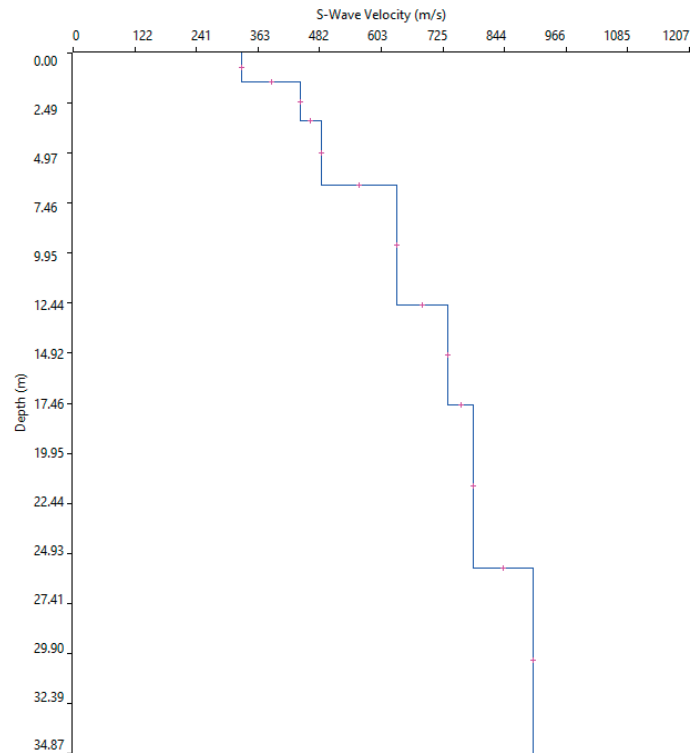


Fig. 20: Distribuzione Vs

SITO 3 (energizzazione 12m)

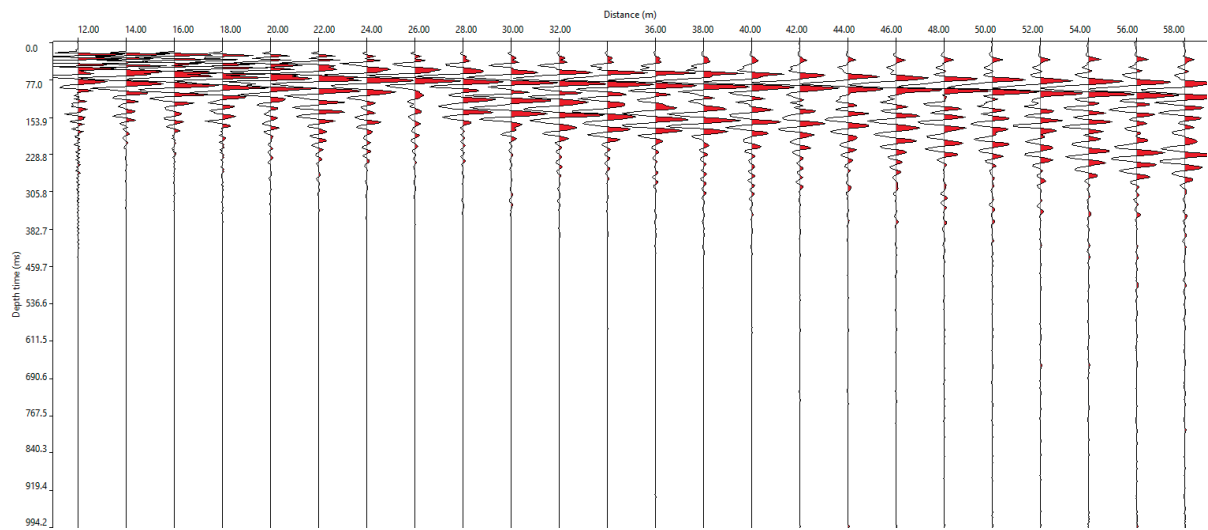


Fig. 21: Sismogramma medio

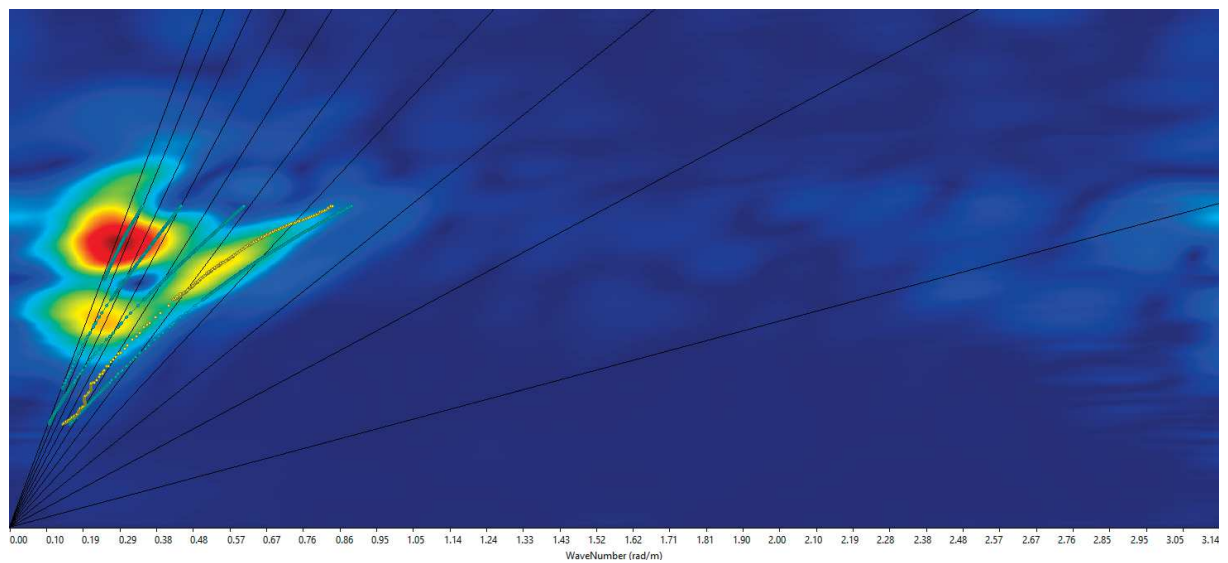


Fig. 22: Spettro Frequenza-velocità

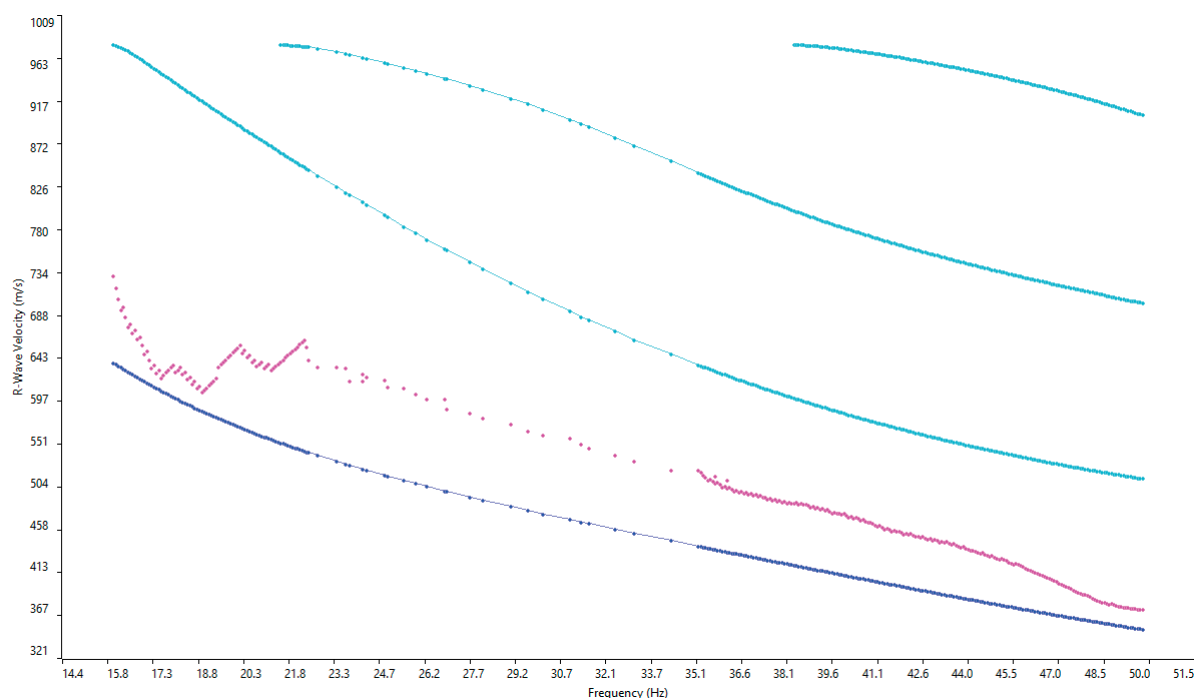


Fig. 23: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

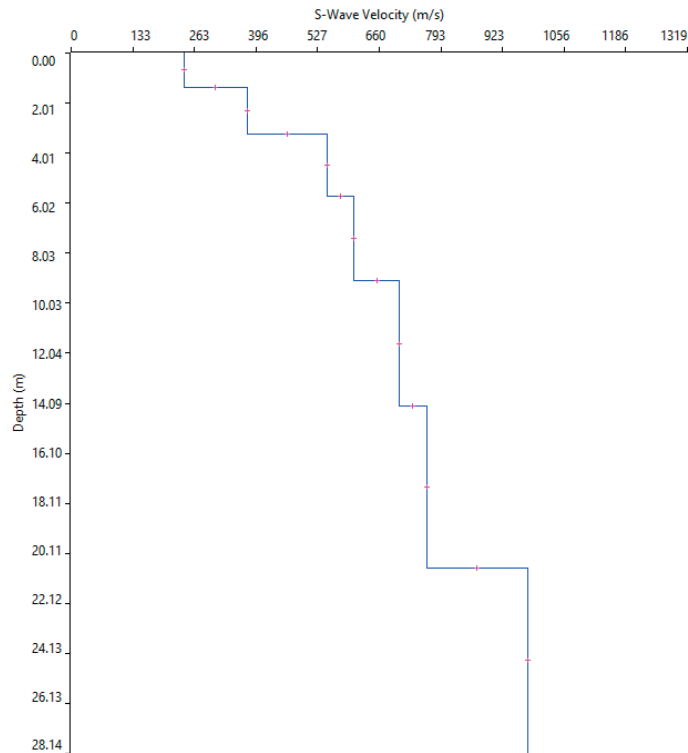


Fig. 24: Distribuzione Vs

SITO 4 (energizzazione 7m)

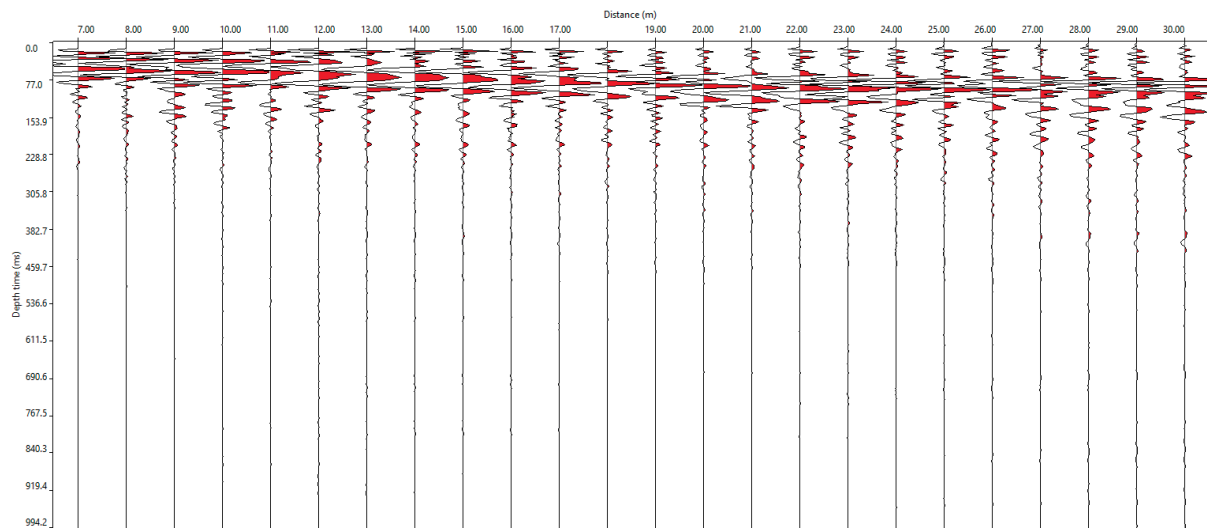


Fig. 25: Sismogramma medio

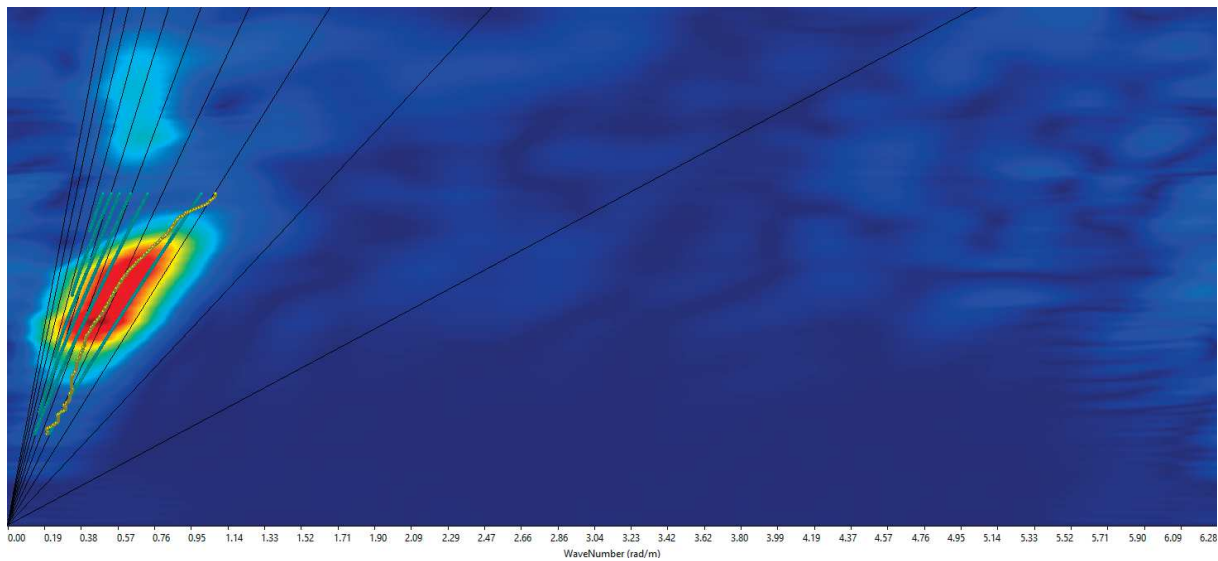


Fig. 26: Spettro Frequenza-velocità

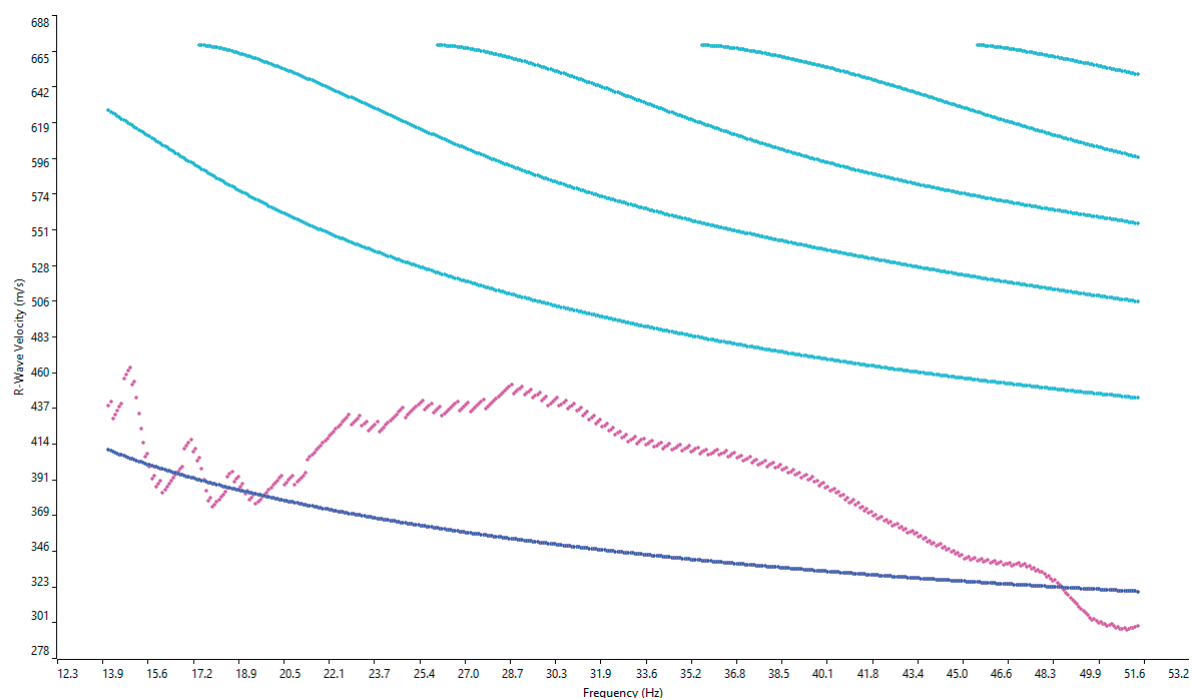


Fig. 27: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

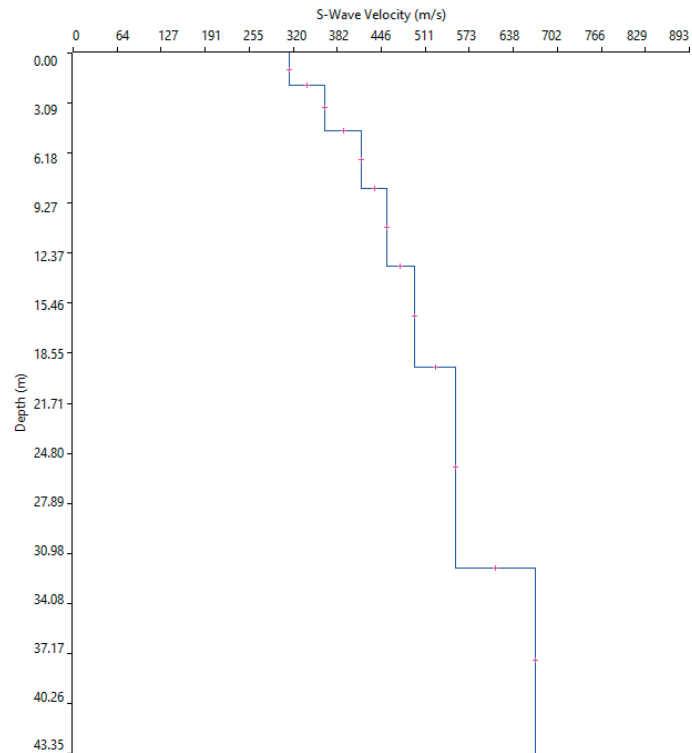


Fig. 28: Distribuzione Vs

SITO 4 (energizzazione 11m)

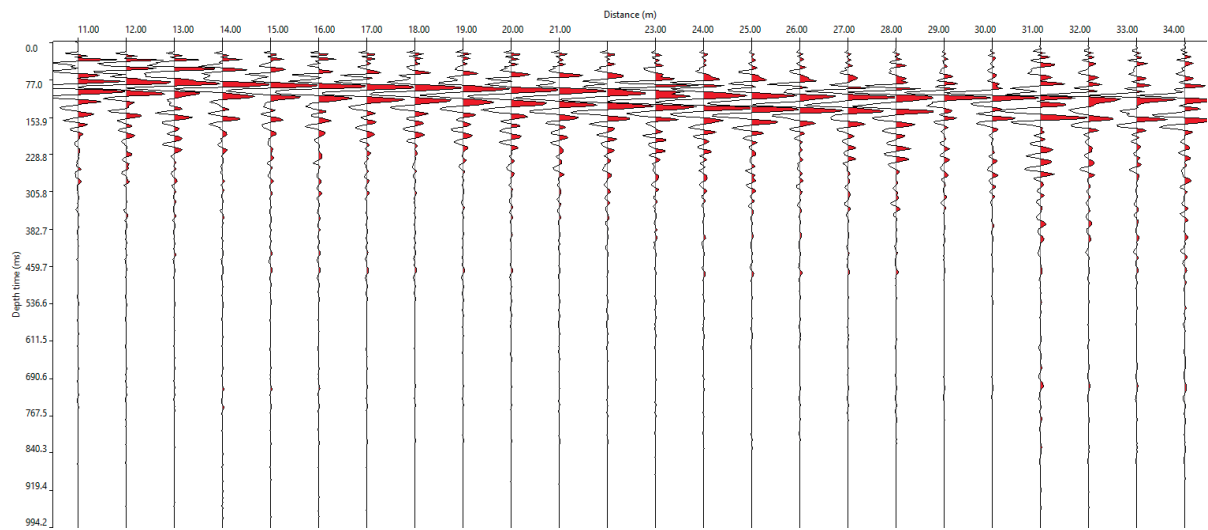


Fig. 29: Sismogramma medio

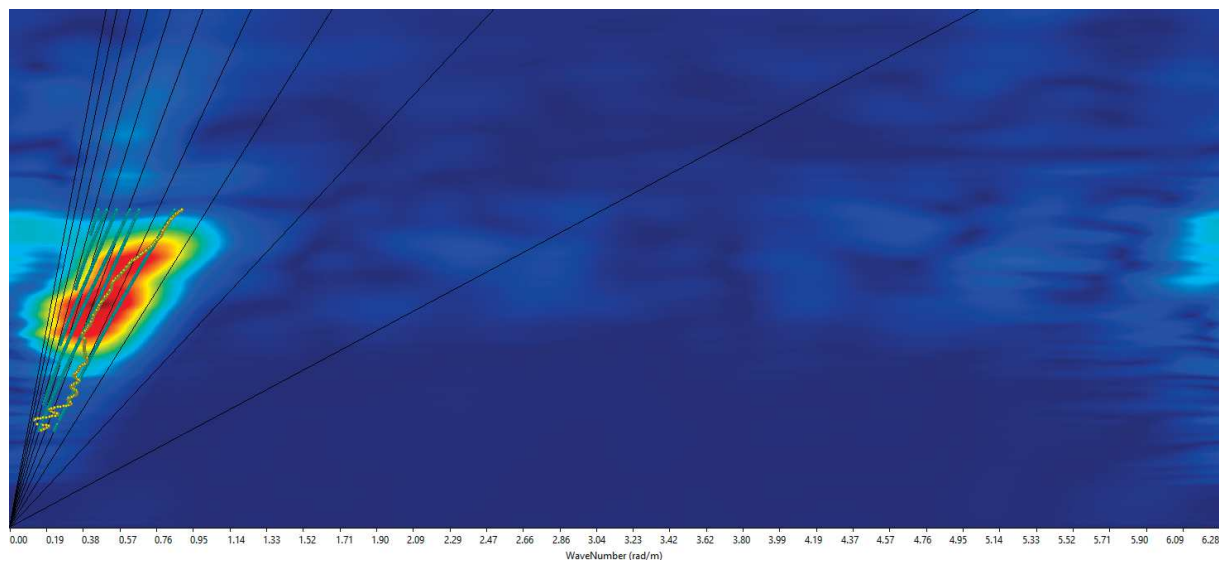


Fig. 30: Spettro Frequenza-velocità

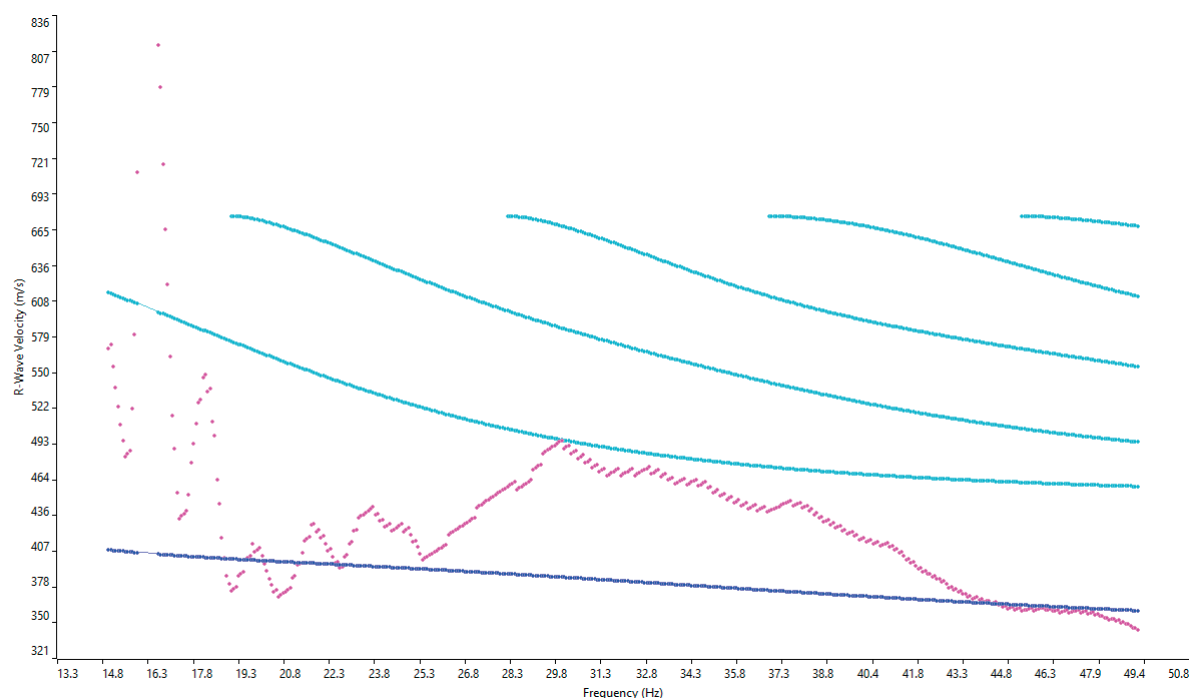


Fig. 31: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

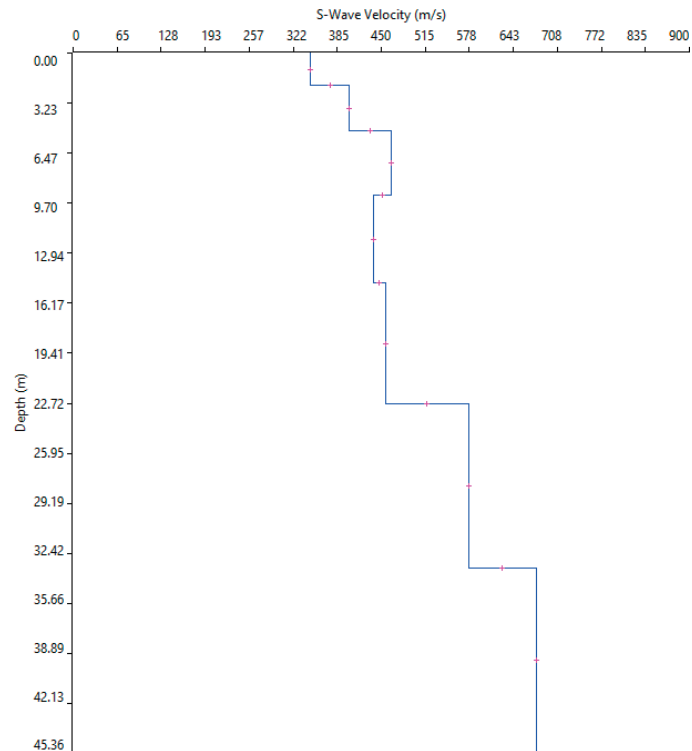


Fig. 32: Distribuzione Vs

SITO 5 (energizzazione 5m)

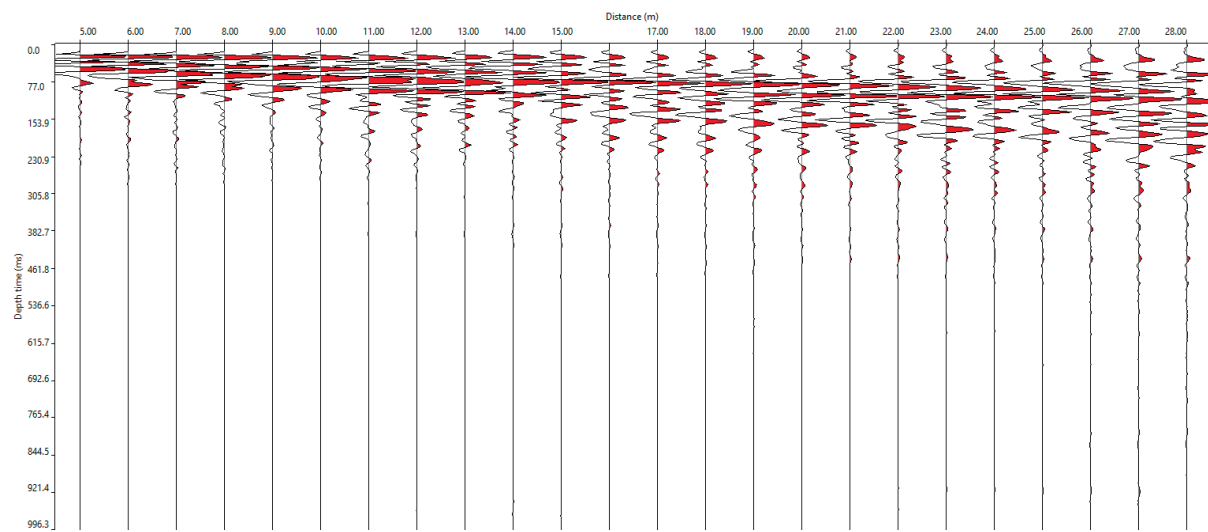


Fig. 33: Sismogramma medio

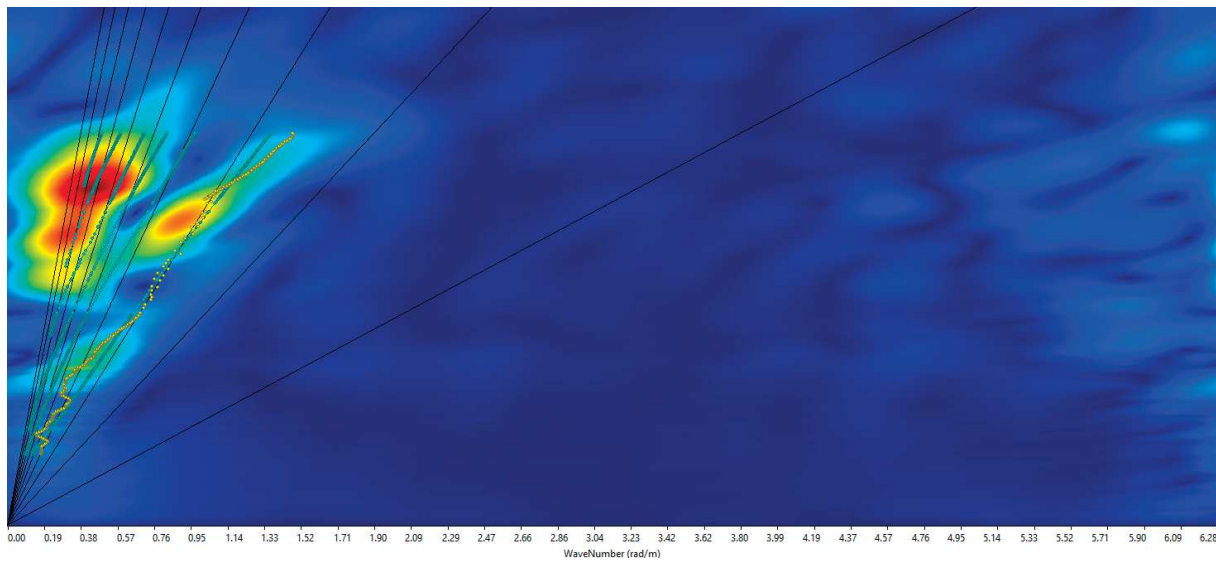


Fig. 34: Spettro Frequenza-velocità

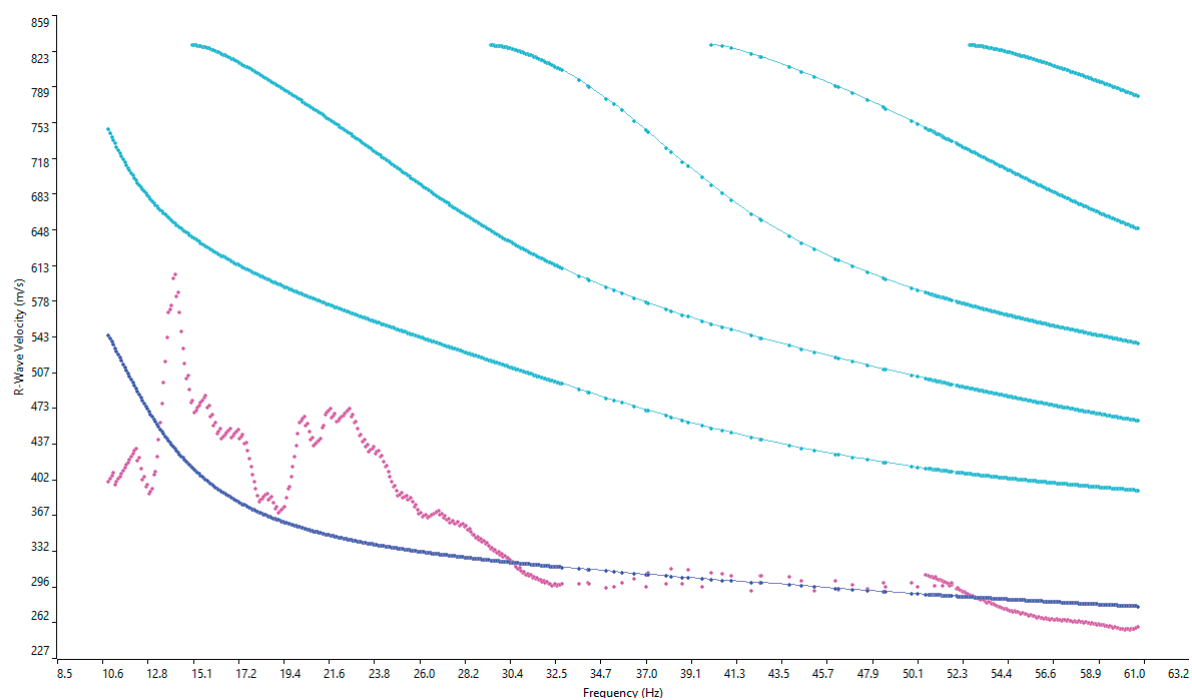


Fig. 35: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

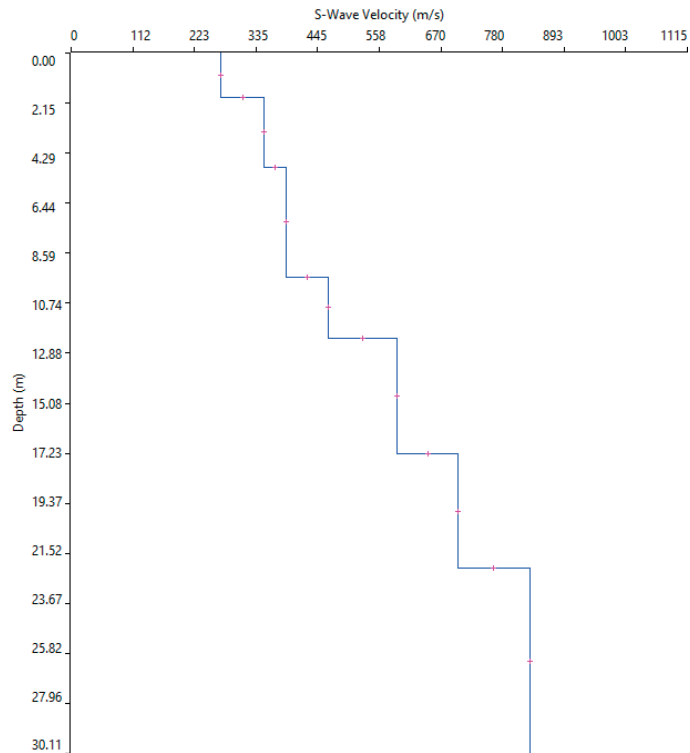


Fig. 36: Distribuzione Vs

SITO 5 (energizzazione 11m)

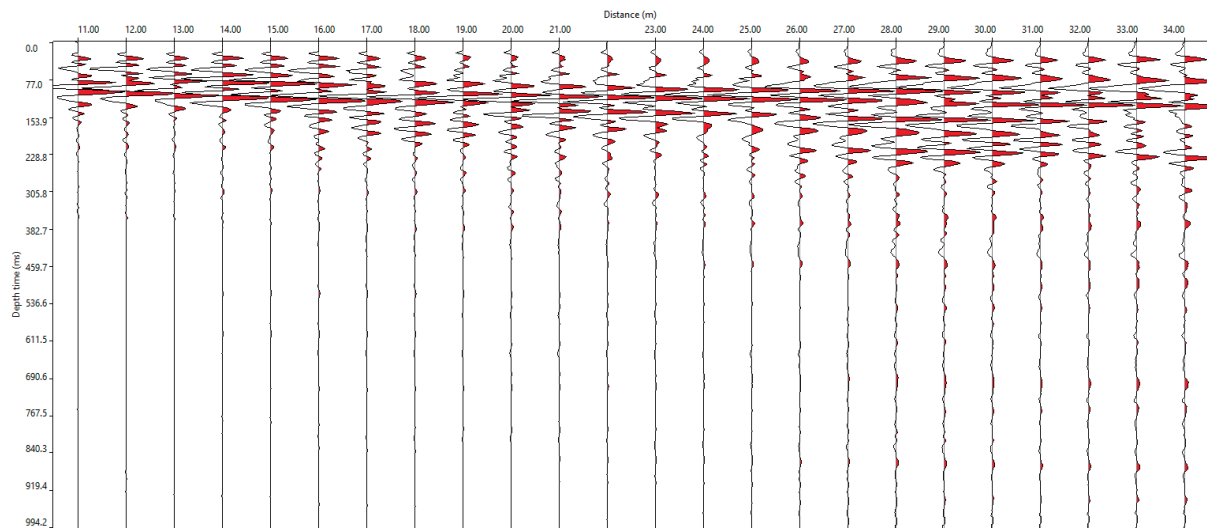


Fig. 37: Sismogramma medio

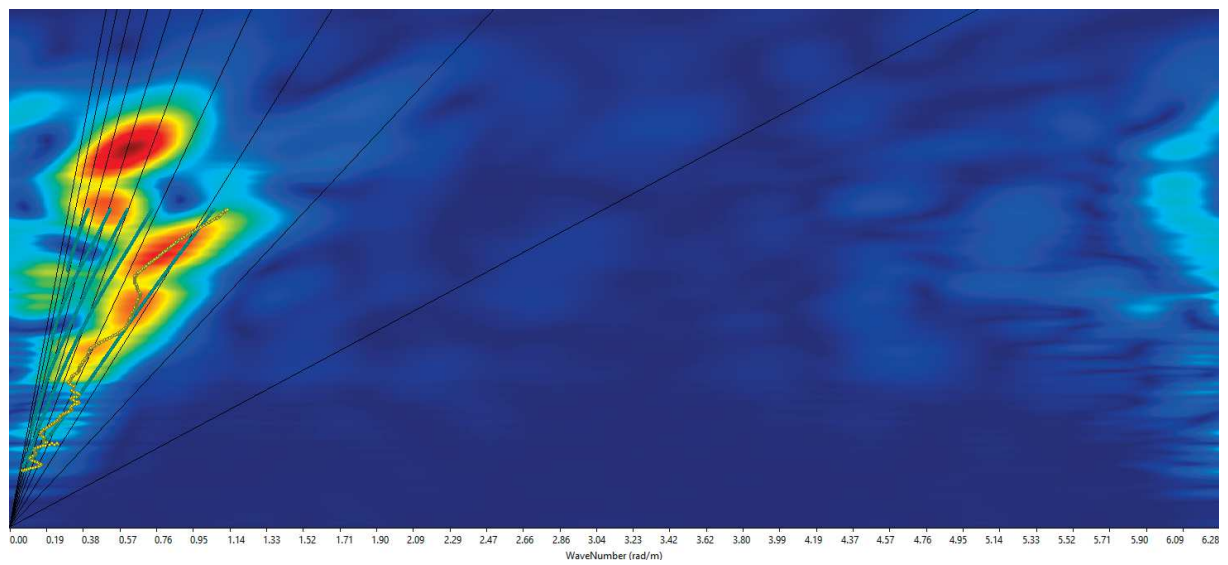


Fig. 38: Spettro Frequenza-velocità

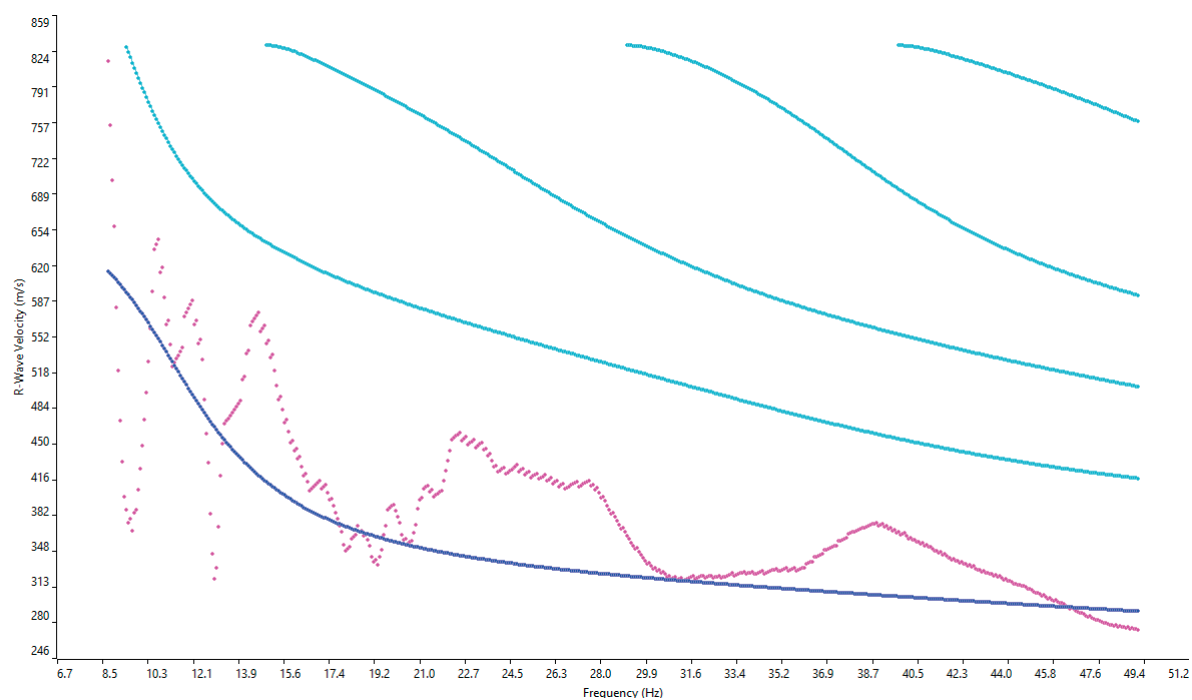


Fig. 39: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

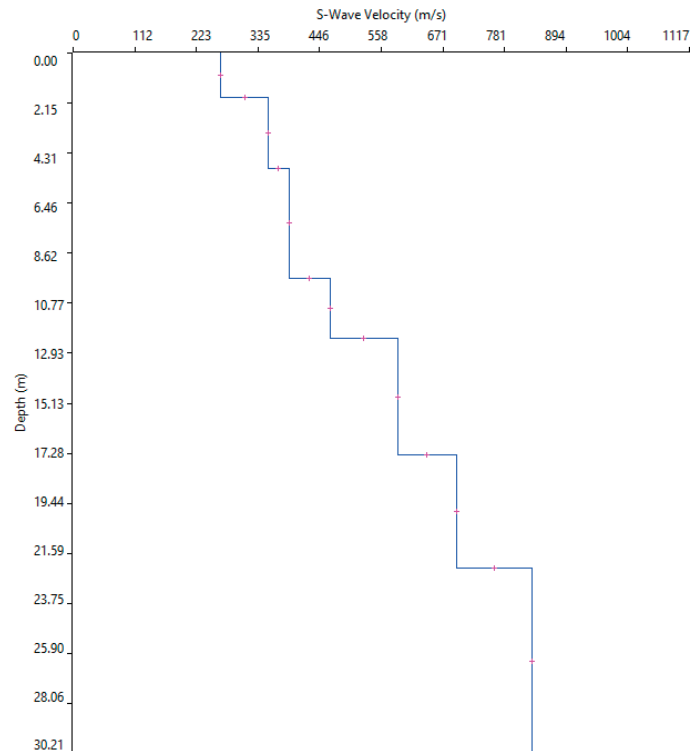


Fig. 40: Distribuzione Vs

SITO A

