



# CONSORZIO di BONIFICA dell' EMILIA CENTRALE

Corso Garibaldi n. 42 42121 Reggio Emilia - [www.emiliacentrale.it](http://www.emiliacentrale.it) - [protocollo@pec.emiliacentrale.it](mailto:protocollo@pec.emiliacentrale.it)  
Tel. 0522-443211 Fax. 0522-443254 C.F. 91149320359

M - PRG.  
18.01

Rev. 3  
del  
01.04.2019

Titolo: Legge n°205/2017 art.1 comma 518. Primo Stralcio del Piano Nazionale degli interventi nel settore idrico – sezione "invasi"

## REALIZZAZIONE DI UNA CASSA DI ESPANSIONE PER LAMINAZIONE DELLE PIENE E ACCUMULO IDRICO A SCOPO IRRIGUO CAVO BONDENO IN COMUNE DI NOVELLARA (RE) - CODICE 518/5

Importo: <b>€. 10.000.000,00</b>				Ente Finanziatore: <b>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti</b>	
Tipologia Progetto				Riferimento Legislativo	Comune
Fattibilità	Definitivo	Esecutivo	Contabilità	<b>Legge n.205/2017 e Legge n. 145/2018</b>	<b>NOVELLARA (RE)</b>
	<b>X</b>				

### ALLEGATI:

Allegato n.

**2**

Titolo:

**RELAZIONI  
SPECIALISTICHE**

Tavola:

**.4**

Oggetto:

**RELAZIONE DI  
CARATTERIZZAZIONE  
SISMICA DEL SUOLO**

Scala:

Il Progettista Generale:

**Dott. Ing. Matteo Giovanardi**

[mgiovanardi@emiliacentrale.it](mailto:mgiovanardi@emiliacentrale.it)

Collaboratori alla Progettazione:

**Dott. Geol. Cesare Sandoni**



Il Responsabile del Procedimento:

**Dott. Ing. Pietro Torri**



[ptorri@emiliacentrale.it](mailto:ptorri@emiliacentrale.it)

Area Progettazione: <b>SLPP</b>	Codice Progetto: <b>105/18/00</b>	Codice CUP: <b>G33H18000060001</b>	Codice CIG:
------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	-------------

Redatto:

Verificato:

Nome File:

Note:

Data Progetto Originale: **16-12-2019**

Data Aggiornamento:

UNI EN ISO 9001:2015

UNI EN ISO 14001:2015

OHSAS 18001:2007





**RELAZIONE SISMICA**  
INERENTE LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI SUOLI  
CASSA DI ESPANSIONE AL CAVO BONDENO E AFFLUENTI  
STRADA DELLA VITTORIA, COMUNE DI NOVELLARA (RE)

**I. PREMESSA**

Su incarico del *Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale*, si è provveduto a produrre la seguente relazione incentrata sulla caratterizzazione sismica dei suoli in base alle NTC 2018 (Decreto 17 Gennaio 2018); il luogo si colloca lateralmente a Strada della Vittoria, nel territorio comunale di Novellara, dove si intende realizzare una cassa di espansione al Cavo Bondeno e affluenti.

Per l'elaborazione dei dati riguardanti la caratterizzazione sismica con riguardo alla definizione della categoria di sottosuolo sismico, ci si è avvalsi di n.4 stendimenti sismici MASW, spaziati sulla superficie, con ubicazione concordata con la Committenza.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

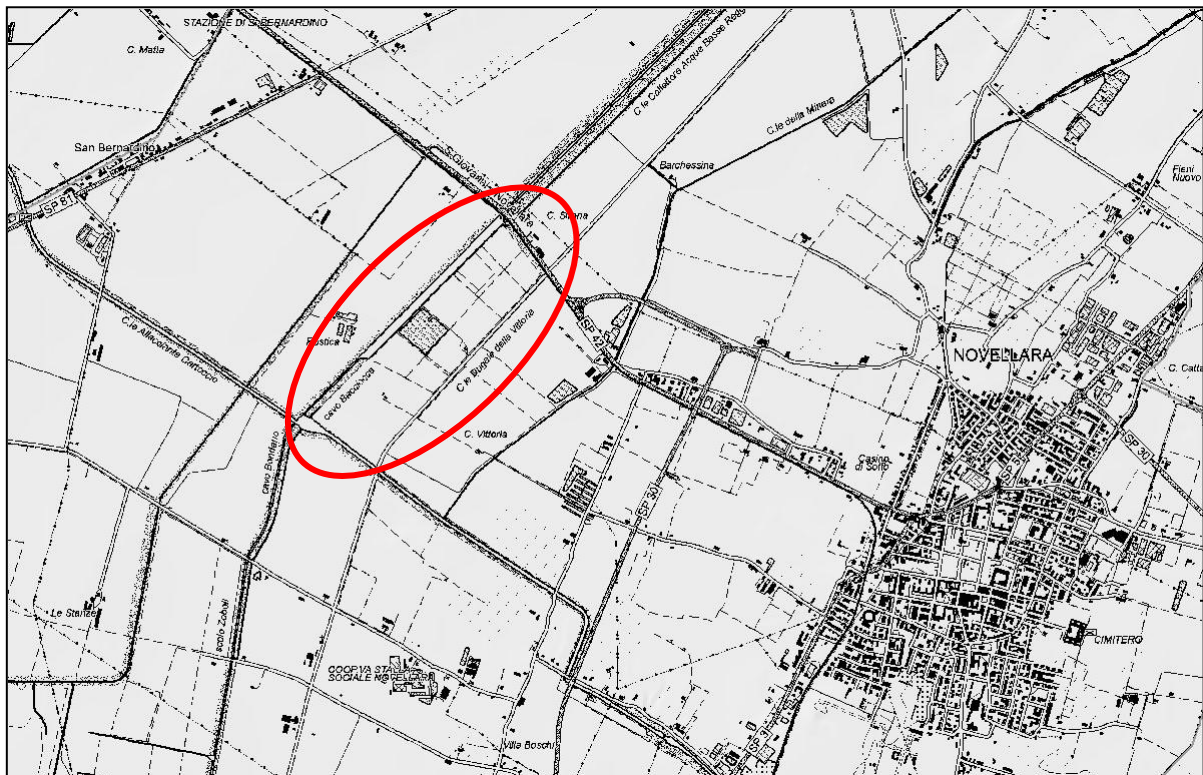
L'area oggetto di studio risulta inserita nella campagna a NW del centro di Novellara, raggiungibile dalla SP42 per Guastalla e quotata a circa mt.19 s.l.m..

La superficie, molto estesa, è approssimabile ad un'area rettangolare, indirizzata ad agricolo con campi coltivati nella porzione SW e per lo più confinata con zone umide e acquitrinose nella restante parte NE.


La stessa superficie confina sul lato lungo di NW con il Cavo Bondeno, sul lato corto di NE con la ferrovia e la SP42, sul lato lungo di SE con la Strada della Vittoria e sul lato corto di SW con l'Allacciante Cartoccio.

Sulla base della normativa relativa al problema sismico, il comune di Novellara compare nell'elenco delle località di zona 3, come richiamato dall'OPCM n.3274 in data 20/03/2003.

Cartograficamente la superficie in esame è ubicata nella tavola C.T.R. 183 SO “Novellara” a scala 1:25.000, nella sezione C.T.R. 183090 “San Bernardino” a scala 1:10.000 e nell’elemento C.T.R. 183093 “San Bernardino” a scala 1:5.000.



## INQUADRAMENTO GEOGRAFICO Scala 1:20.000

 Area in esame

### 3. INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE CON METODO MASW

Nei settori concordati con la Committenza e come riportato in foto satellitare, si è sviluppata un'indagine diretta in sito di tipo sismico a rifrazione, con determinazione sperimentale, mediante inversione (Metodo MASW), del valore di  $V_{s30}$ ; tale procedura ha quindi consentito di definire il profilo sismico verticale in onde S ai fini della determinazione della caratterizzazione sismica del terreno di fondazione ai sensi del testo unitario NTC 2018.

L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza.

Il legame velocità (k) - frequenza (f) è detto spettro di dispersione; la curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Con riferimento al modello geotecnico sintetico determinato con le indagini in sito, viene tracciata una curva di dispersione teorica che lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

In seguito, i parametri del modello geotecnico preliminare vengono modificati al fine di ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale; questa fase, definita come processo di inversione, consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi caratterizzati da valori di rigidità differente.

Le indagini MASW sono state eseguite disponendo sul terreno 24 sensori velocimetrici (geofoni), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare; dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si sono generate artificialmente le energizzazioni in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo.

Nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger); da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato dei segnali ricevuti dai sensori.

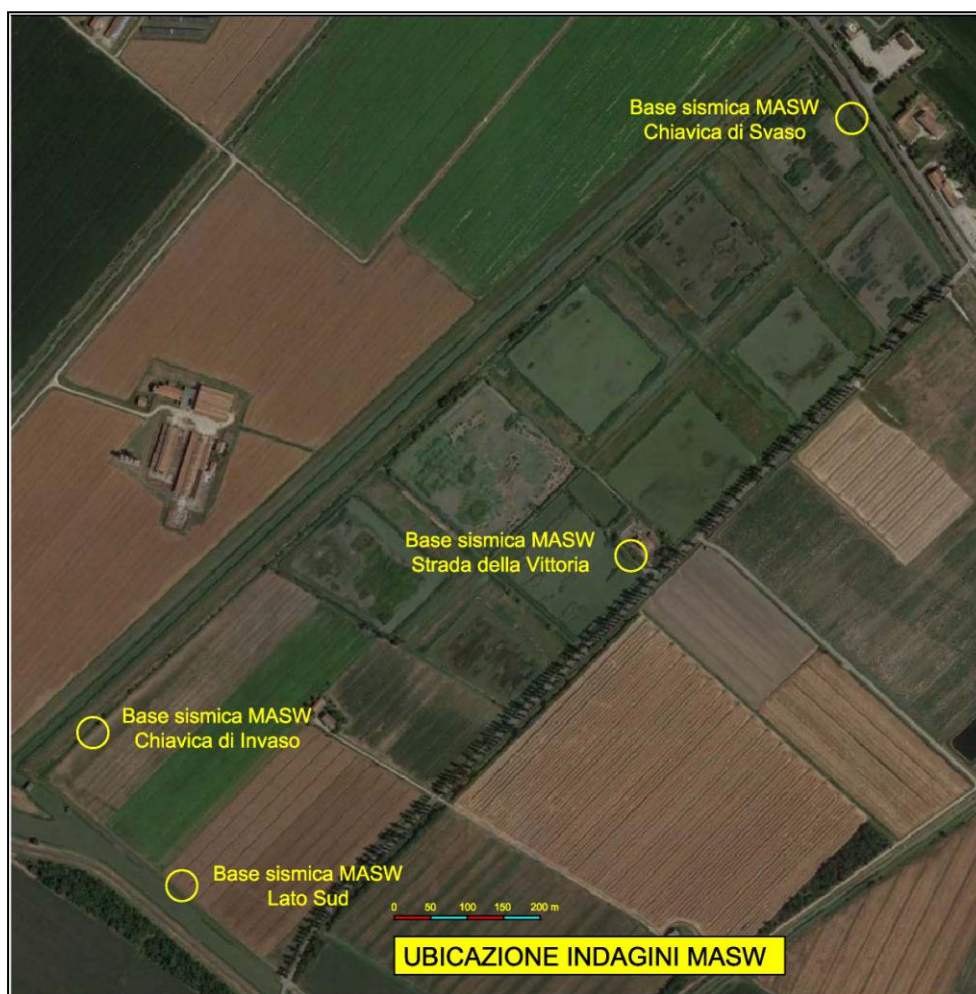
L'elaborazione ha riguardato l'intero campionamento della registrazione avente durata 1024 mS e una frequenza di campionamento di 500  $\mu$ S, per la quale si è tenuta in considerazione la traccia sismica rilevata a seguito dell'energizzazione effettuata mediante mazza battente in posizione di sparo estremo sinistro rispetto alla base sismica, con uno stendimento avente un interasse geofonico pari a mt. 1,50.

Gli stendimenti sismici sono stati prodotti in numero di 4 e denominati come segue:

-Stendimento 1	Chiavica di in vaso
-Stendimento 2	Strada della Vittoria
-Stendimento 3	Stendimento lato sud
-Stendimento 4	Chiavica di invaso

Si riporta di seguito l'elaborazione dei dati e le caratteristiche degli stendimenti sismici effettuati.





La strumentazione utilizzata per il rilievo sismico presenta le sotto riportate caratteristiche tecniche:

- Acquisitore a 24 canali fabbricato dalla ditta Pasi mod. 16S24 dotato di convertitore analogico/digitale
- Risoluzione 24bit
- 24 geofoni a frequenza di risonanza pari 4.5 Hz e distorsione inferiore allo 0,2%
- N.2 Cavi telemetrici con 12 connettori cadauno per collegamento geofoni – lunghezza 60 mt
- Energizzazione è stata utilizzata una mazza di 10 Kg battente su un piattello metallico
- Start trigger mediante geofono da 10 Hz posto a contatto del piattello metallico.

Le caratteristiche geometriche e di registrazione della base sismica sono le seguenti:

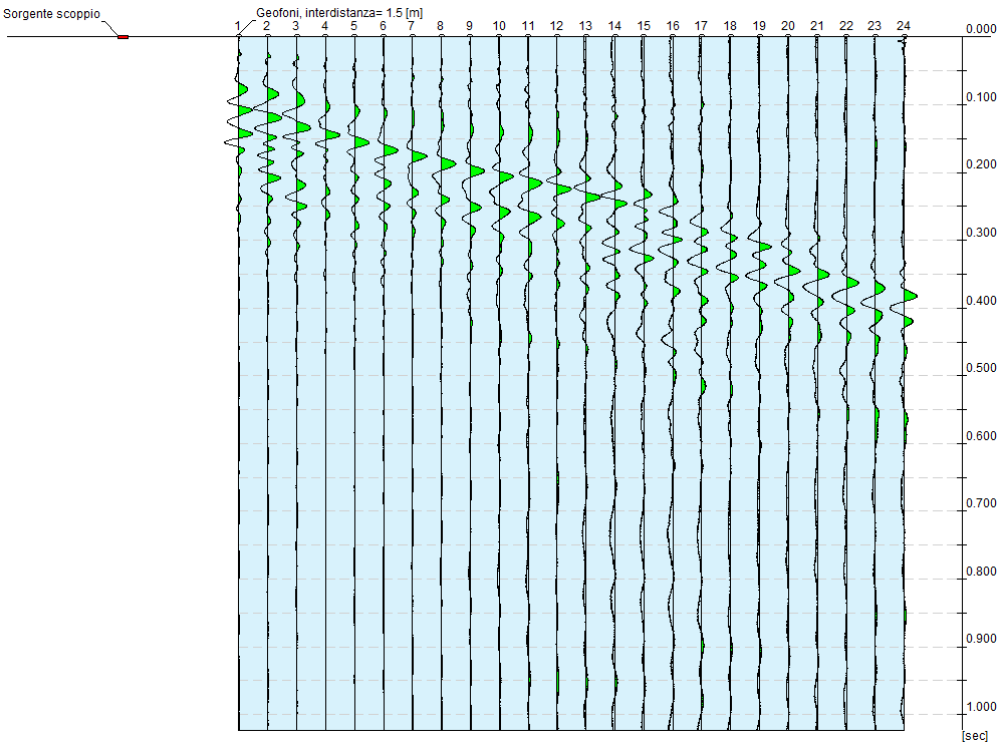
- Tipo di stendimento: Lineare
- Equidistanza geofonica: 1.50 ml
- Lunghezza complessiva: 34.50 ml.
- Tempo di campionamento: 1024 mS
- Frequenza di campionamento: 500  $\mu$ S
- Filtri inseriti in fase di acquisizione: nessuno

Per l'acquisizione dei dati sono state effettuate ripetute energizzazioni disposte ad una estremità dello stendimento ad una distanza massima pari a di 9,00 m dall'ultimo geofono.



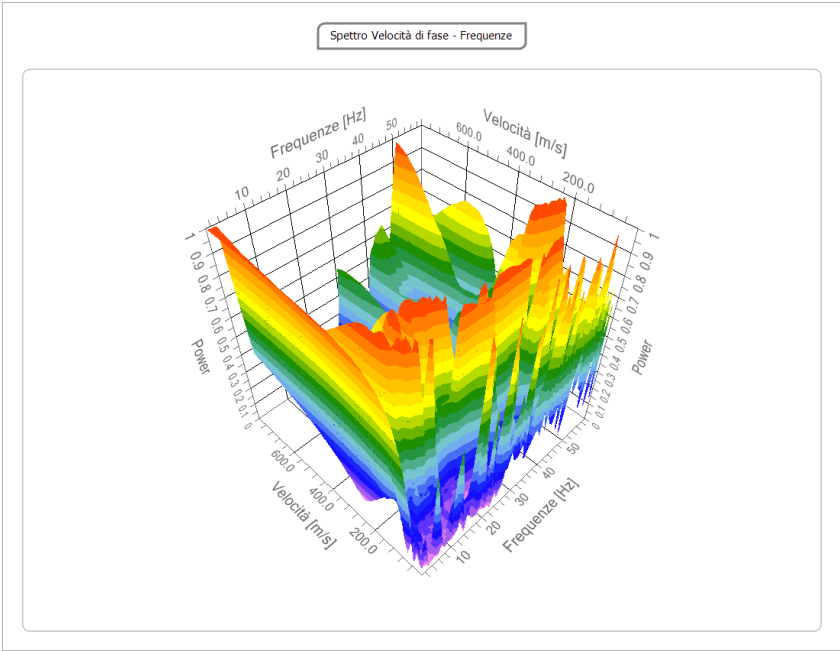
**Elaborazione Base Sismica Chiavica di Svaso**

**ANDAMENTO DELLA REGISTRAZIONE DELLE TRACCE SISMICHE RILEVATE DURANTE L'ACQUISIZIONE**



**PARAMETRI DI ELABORAZIONE ED ANDAMENTO DELL'ANALISI SPETTRALE**

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



**TABELLA RIPORTANTE I VALORI DELLA CURVA DI DISPERSIONE**

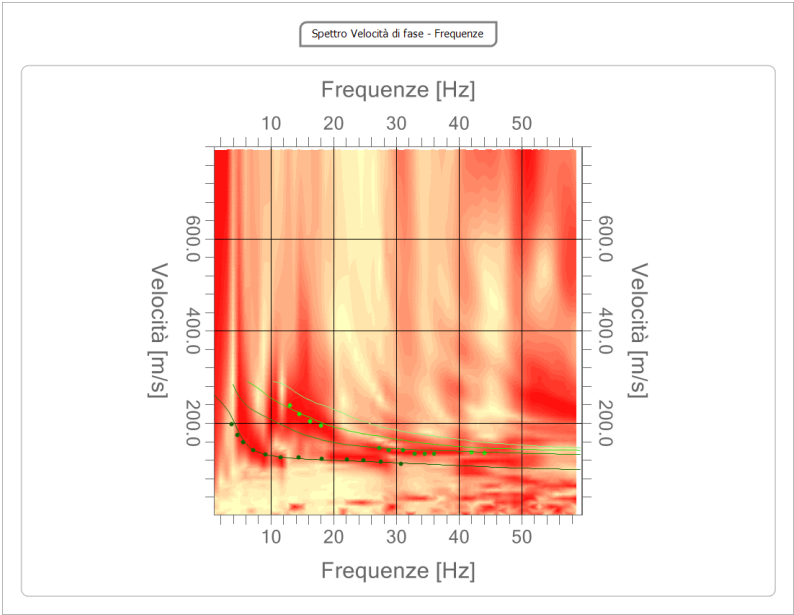
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	3.8	197.1	0
2	4.7	174.2	0
3	5.6	157.9	0
4	7.2	141.5	0
5	9.2	131.7	0
6	11.6	125.2	0
7	13.0	237.9	2
8	14.4	125.2	0
9	14.6	219.9	2
10	16.2	203.6	2
11	18.0	193.8	2
12	18.2	121.9	0
13	22.1	120.3	0
14	24.8	118.6	0
15	27.5	115.4	0
16	27.3	146.4	1
17	28.9	141.5	1
18	30.8	112.1	0
19	31.1	141.5	1
20	32.9	133.3	1
21	34.5	133.3	1
22	36.1	133.3	1
23	42.1	136.6	2
24	44.1	135.0	2



Ubicazione base sismica



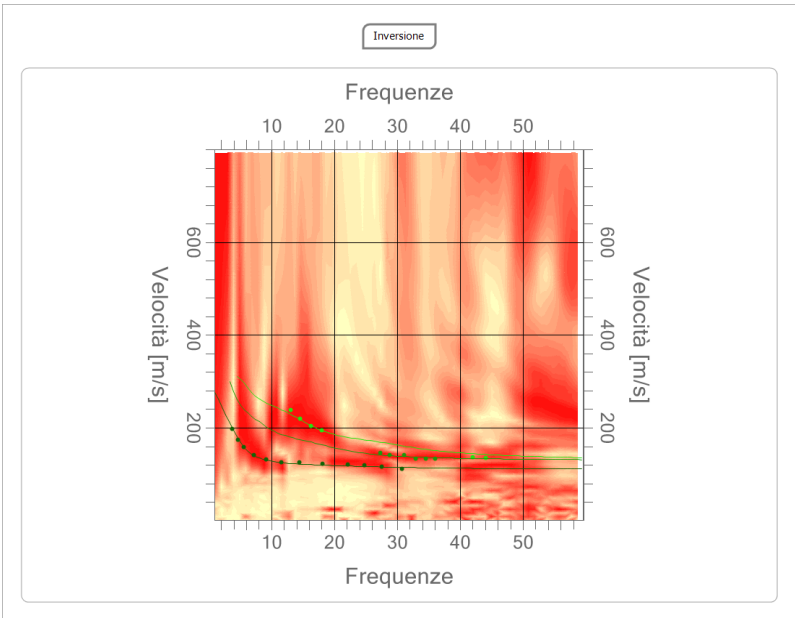
**ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE**



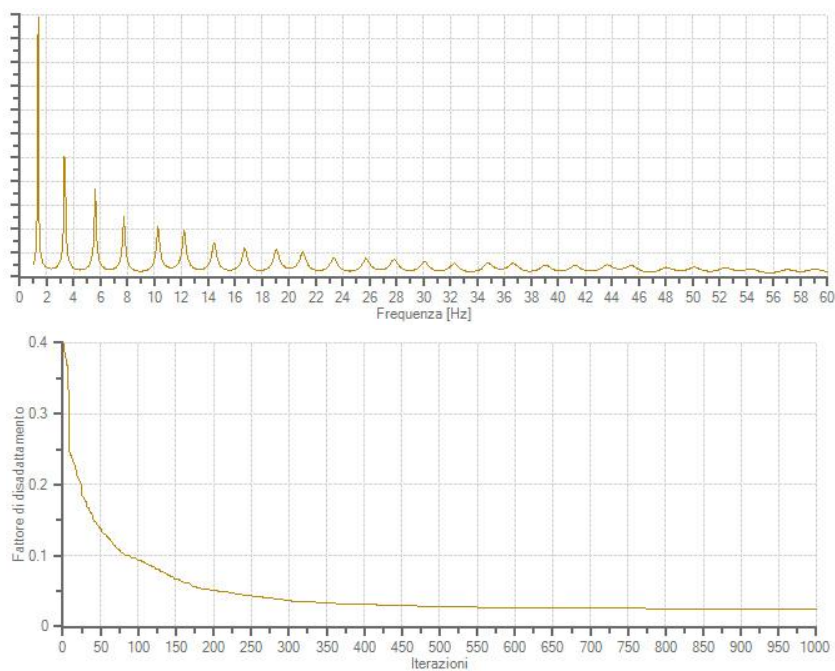
**ANDAMENTO DELLA CURVA OTTENUTA CON IL PROCESSO DI INVERSIONE**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.97	1.97	1850.0	0.4	No	287.9	117.5
2	7.97	6.00	1810.0	0.4	Si	320.6	130.9
3	12.58	4.61	1820.0	0.4	Si	441.2	180.1
4	18.11	5.53	1830.0	0.4	Si	460.3	187.9
5	30.08	11.97	1840.0	0.4	Si	625.7	255.5
6	45.40	15.33	1850.0	0.4	Si	626.7	255.9
7	Oo	oo	1860.0	0.4	Si	763.7	311.8

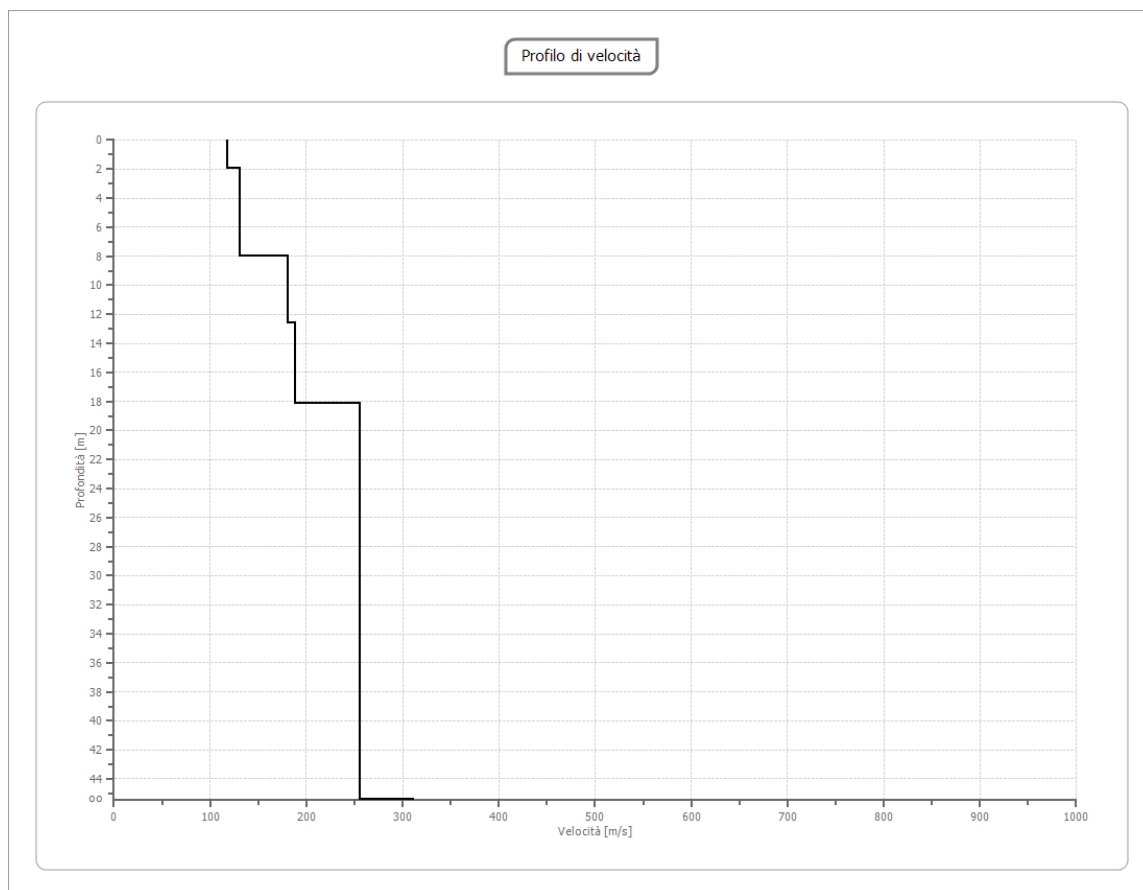
**ANDAMENTO DELLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO E DISADATTAMENTO**







#### ANDAMENTO IN PROFONDITA' DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



All termine della elaborazione si è riscontrata una convergenza dei valori (Errore dell'elaborazione) pari a **0,054%**, con un fattore di disadattamento della soluzione pari a **0,024**.

#### TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA'

G0: Modulo di deformazione al taglio (\*);

Ed: Modulo edometrico (\*);

M0: Modulo di compressibilità volumetrica (\*);

Ey: Modulo di Young (\*);

\*) Valori validi per piccolissime deformazioni comprese nel tratto lineare elastico del legame costitutivo dei materiali (deformazioni tangenziali inferiori alla soglia elastica).

N.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	densità [Kg/cm <sup>3</sup> ]	Coefficiente di Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.97	1.97	117.54	287.92	1800.00	0.40	24.87	149.22	116.06	69.64	23.00	52.62
2	7.97	6.00	130.87	320.57	1860.00	0.40	31.86	191.15	148.67	89.20	7.00	90.28
3	12.58	4.61	180.14	441.24	1870.00	0.40	60.68	364.07	283.17	169.90	20.00	449.56
4	18.11	5.53	187.91	460.27	1880.00	0.40	66.38	398.28	309.78	185.87	16.00	555.86
5	30.08	11.97	255.46	625.74	1890.00	0.40	123.34	740.03	575.58	345.35	58.00	2601.32
6	45.40	15.33	255.85	626.71	1900.00	0.40	124.38	746.26	580.42	348.25	36.00	2621.70
7	oo	oo	311.78	763.71	1910.00	0.40	185.67	1114.00	866.44	519.87	0.00	N/A

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine MASW ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali ( $V_s$ ) fino a una profondità di **mt.45,40** dal piano campagna, profondità alla quale non si sono riscontrati valori di velocità superiori a 800 m/s, pertanto di seguito è stato calcolato il valore di  $V_{s,30}$  a cui fare riferimento per la determinazione della categoria di sottosuolo.

Velocità onde Vs da elaborazione MASW				
Strato	Base strato [m]	$h_i$ [m]	$V_{s,i}$ [m/s]	$h_i / V_{s,i}$ [s]
1	1.97	1.97	117.54	0.016760
2	7.97	6.00	130.87	0.045847
3	12.58	4.61	180.14	0.025591
4	18.11	5.53	187.91	0.029429
5	30.08	11.89	255.46	0.046543
6	45.40	0.00	255.85	0.000000

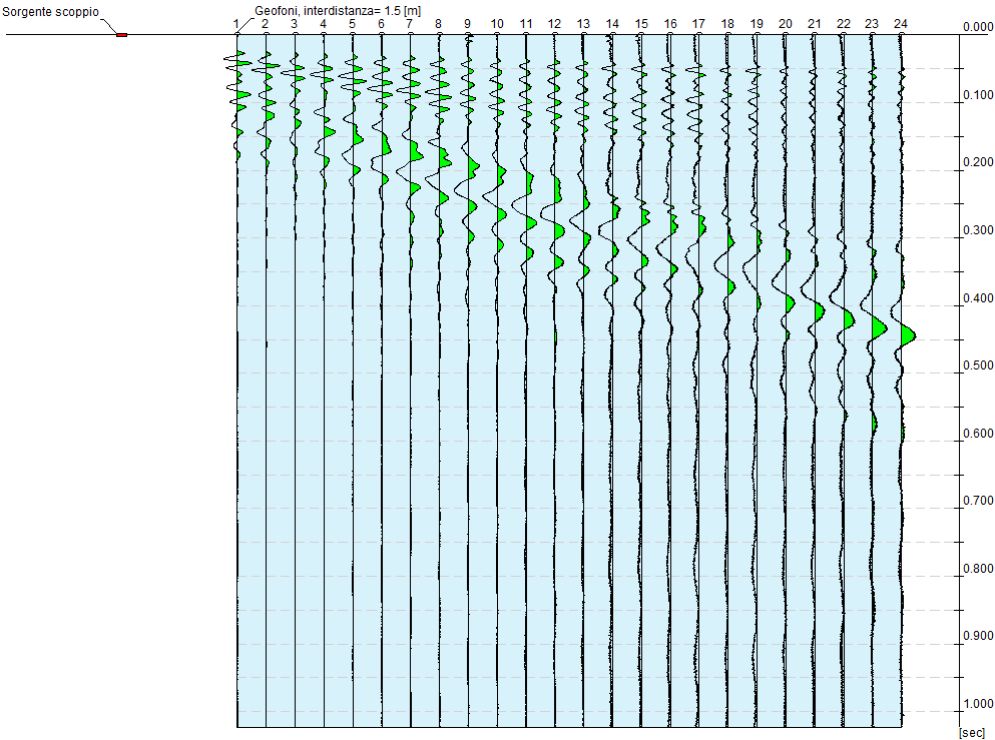
Calcolo del valore di $V_{s,30}$		
$V_{s,30}$ calcolato	<b>182.74</b>	[m/s]
Errore strumentale	0.054	[%]
$V_{s,30}$ - Max	<b>182.84</b>	[m/s]
$V_{s,30}$ - Min	<b>182.64</b>	[m/s]

Come riportato nella precedente tabella ai sensi del D. Min. Infrastrutture e Trasporti del 17/01/2018 il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ( $V_{s,30}$ ) ottenuto mediante l'indagine M.A.S.W. è risultato pari a **182,74 m/s**, il quale, tenuto in considerazione l'errore derivante dall'elaborazione dei dati, risulta essere compreso tra **182,64 e 182,84 m/s**.



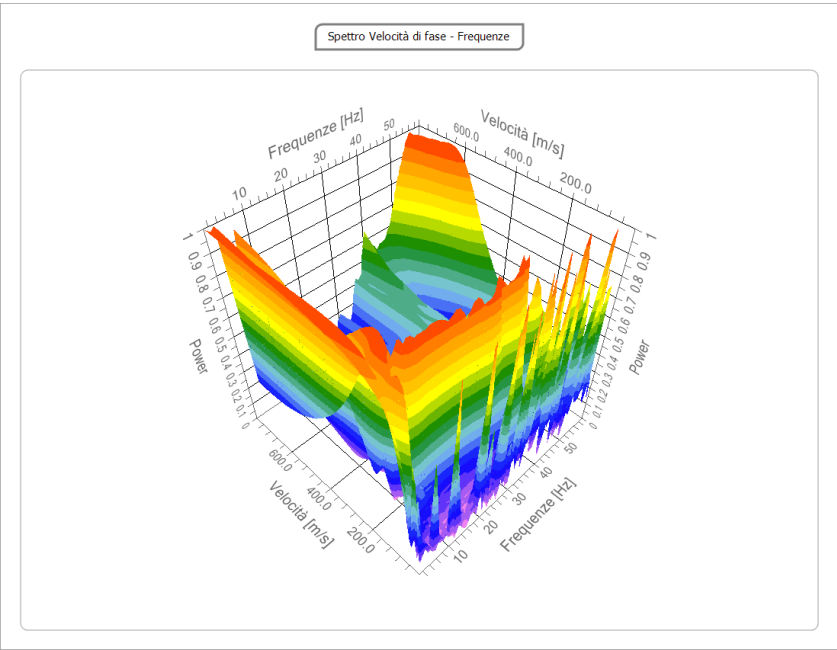
**Elaborazione Base Sismica Strada della Vittoria**

**ANDAMENTO DELLA REGISTRAZIONE DELLE TRACCE SISMICHE RILEVATE DURANTE L'ACQUISIZIONE**



**PARAMETRI DI ELABORAZIONE ED ANDAMENTO DELL'ANALISI SPETTRALE**

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



**TABELLA RIPORTANTE I VALORI DELLA CURVA DI DISPERSIONE**

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	4.0	187.3	0
2	5.3	156.2	0
3	7.2	138.3	0
4	9.2	131.7	0
5	11.6	125.2	0
6	14.8	120.3	0
7	18.2	121.9	0
8	21.8	118.6	0
9	24.7	115.4	0
10	27.7	112.1	0
11	29.6	112.1	0
12	30.8	131.7	1
13	32.2	126.8	1
14	34.3	126.8	1
15	36.1	123.5	1
16	37.6	123.5	1
17	38.5	136.6	2
18	40.1	133.3	2
19	42.1	131.7	2
20	43.9	130.1	2

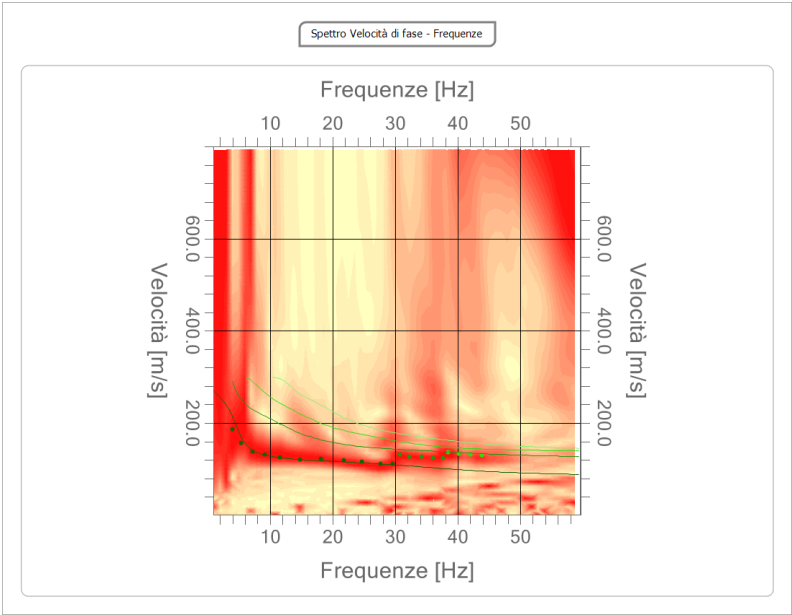


Ubicazione base sismica



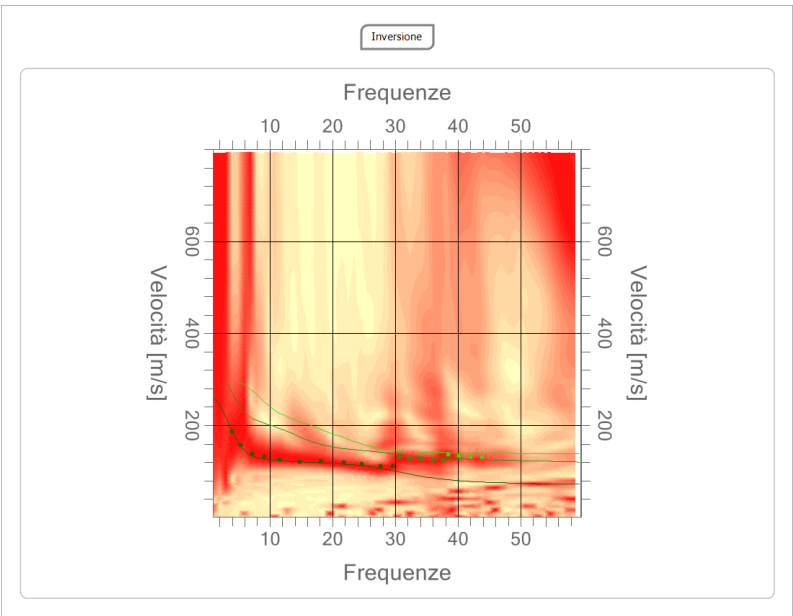


**ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE**



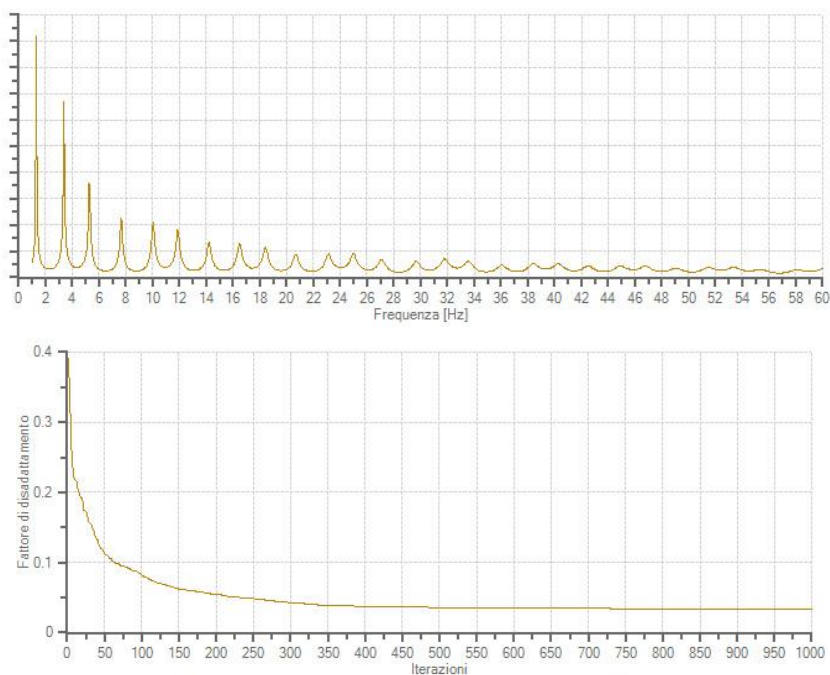
**ANDAMENTO DELLA CURVA OTTENUTA CON IL PROCESSO DI INVERSIONE**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.00	1.00	1850.0	0.4	No	182.1	74.3
2	6.74	5.74	1810.0	0.4	Si	336.2	137.3
3	10.25	3.50	1820.0	0.4	Si	334.5	136.6
4	12.75	2.50	1830.0	0.4	Si	434.5	177.4
5	28.35	15.61	1840.0	0.4	Si	534.9	218.4
6	33.08	4.73	1850.0	0.4	Si	665.4	271.7
7	oo	oo	1860.0	0.4	Si	716.8	292.6

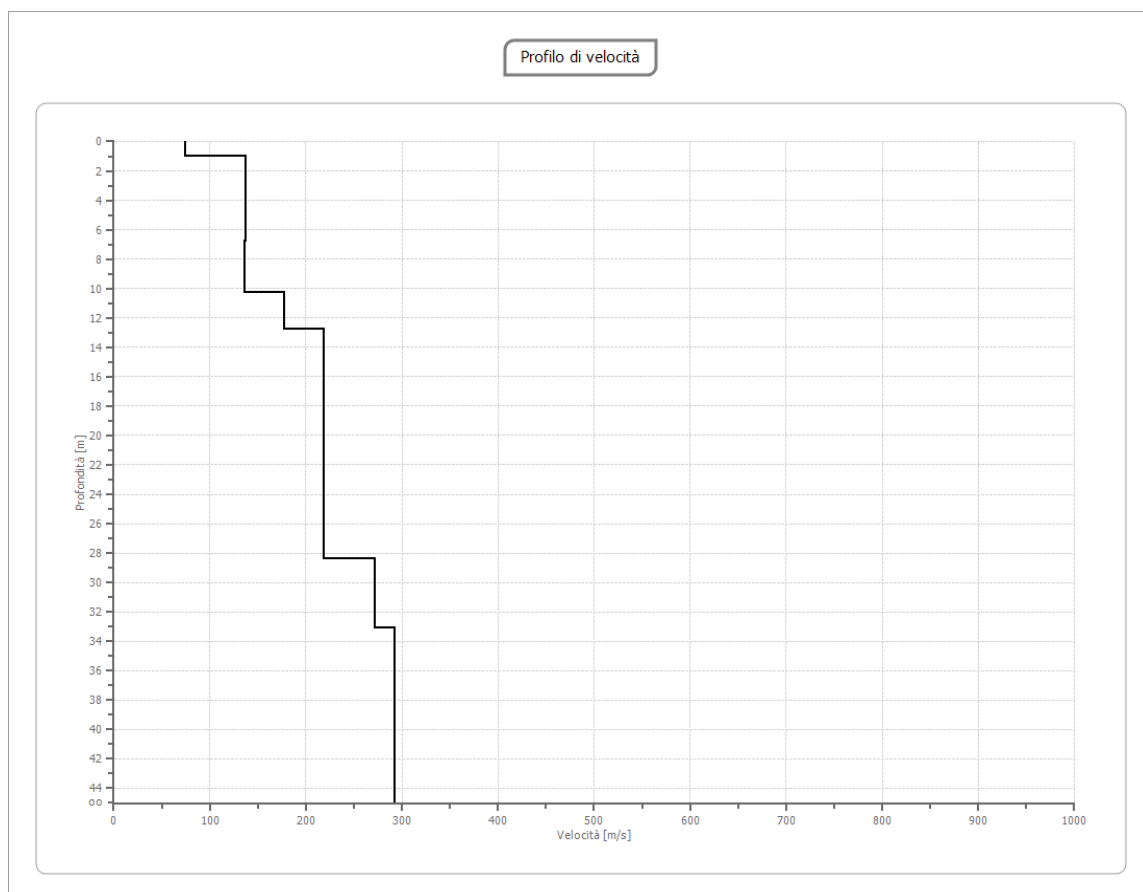




#### ANDAMENTO DELLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO E DISADATTAMENTO



#### ANDAMENTO IN PROFONDITA' DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



Al termine della elaborazione si è riscontrata una convergenza dei valori (Errore dell'elaborazione) pari a **0,174%**, con un fattore di disadattamento della soluzione pari a **0,044**.

**Figura 1: TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA'**

G0: Modulo di deformazione al taglio (\*);

Ed: Modulo edometrico (\*);

M0: Modulo di compressibilità volumetrica (\*);

Ey: Modulo di Young (\*);

\*) Valori validi per piccolissime deformazioni comprese nel tratto lineare elastico del legame costitutivo dei materiali (deformazioni tangenziali inferiori alla soglia elastica).

N.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	densità [Kg/cm <sup>3</sup> ]	Coefficiente di Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.00	1.00	74.35	182.11	1800.00	0.40	9.95	59.70	46.43	27.86	3.00	5.27
2	6.74	5.74	137.27	336.24	1860.00	0.40	35.05	210.28	163.55	98.13	12.00	114.73
3	10.25	3.50	136.57	334.52	1870.00	0.40	34.88	209.26	162.76	97.65	5.00	111.81
4	12.75	2.50	177.38	434.50	1880.00	0.40	59.15	354.93	276.05	165.63	16.00	416.10
5	28.35	15.61	218.35	534.85	1890.00	0.40	90.11	540.66	420.52	252.31	28.00	1182.16
6	33.08	4.73	271.65	665.41	1900.00	0.40	140.21	841.26	654.31	392.59	63.00	3542.73
7	∞	∞	292.64	716.82	1910.00	0.40	163.57	981.41	763.32	457.99	0.00	N/A

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine MASW ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali ( $V_s$ ) fino a una profondità di **mt.33,08** dal piano campagna, profondità alla quale non si sono riscontrati valori di velocità superiori a 800 m/s, pertanto di seguito è stato calcolato il valore di  $V_{s,30}$  a cui fare riferimento per la determinazione della categoria di sottosuolo.

Velocità onde Vs da elaborazione MASW				
Strato	Base strato [m]	$h_i$ [m]	$V_{s,i}$ [m/s]	$h_i / V_{s,i}$ [s]
1	1.00	1.00	74.35	0.013450
2	6.74	5.74	137.27	0.041815
3	10.25	3.51	136.57	0.025701
4	12.75	2.50	177.38	0.014094
5	28.35	15.60	218.35	0.071445
6	33.08	1.65	271.65	0.006074

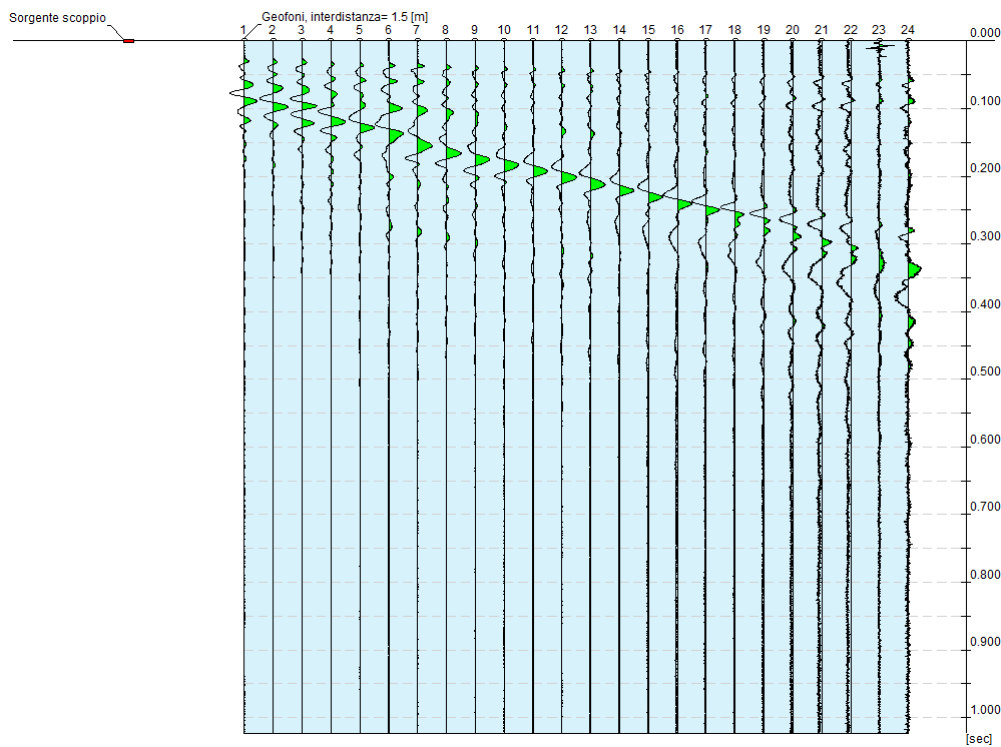
Calcolo del valore di $V_{s,30}$		
$V_{s,30}$ calcolato	<b>173.83</b>	[m/s]
Errore strumentale	0.174	[%]
$V_{s,30}$ - Max	<b>174.14</b>	[m/s]
$V_{s,30}$ - Min	<b>173.53</b>	[m/s]

Come riportato nella precedente tabella ai sensi del D. Min. Infrastrutture e Trasporti del 17/01/2018 il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ( $V_{s,30}$ ) ottenuto mediante l'indagine M.A.S.W. è risultato pari a **173,83 m/s**, il quale, tenuto in considerazione l'errore derivante dall'elaborazione dei dati, risulta essere compreso tra **173,53 e 174,14 m/s**.



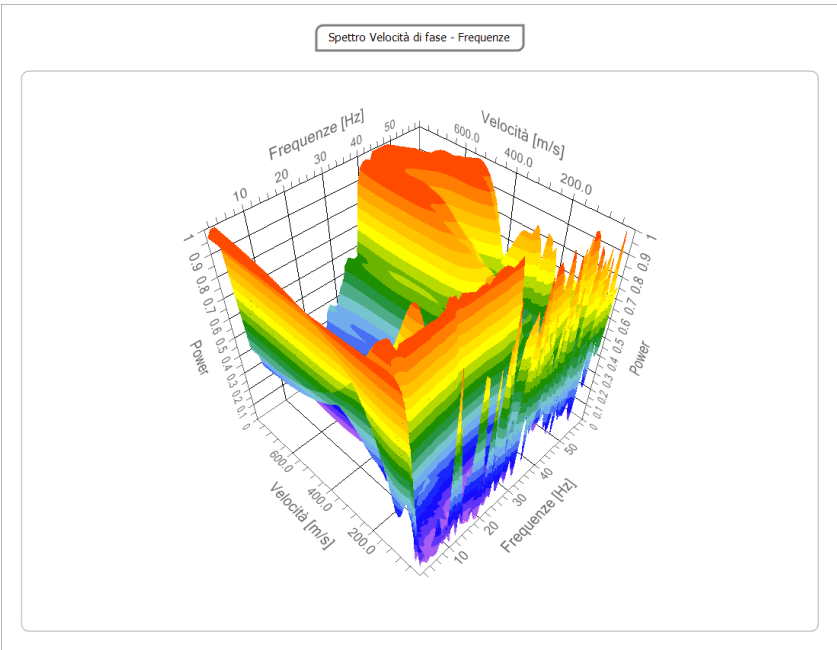
**Elaborazione Base Sismica Lato Sud**

**ANDAMENTO DELLA REGISTRAZIONE DELLE TRACCE SISMICHE RILEVATE DURANTE L'ACQUISIZIONE**



**PARAMETRI DI ELABORAZIONE ED ANDAMENTO DELL'ANALISI SPETTRALE**

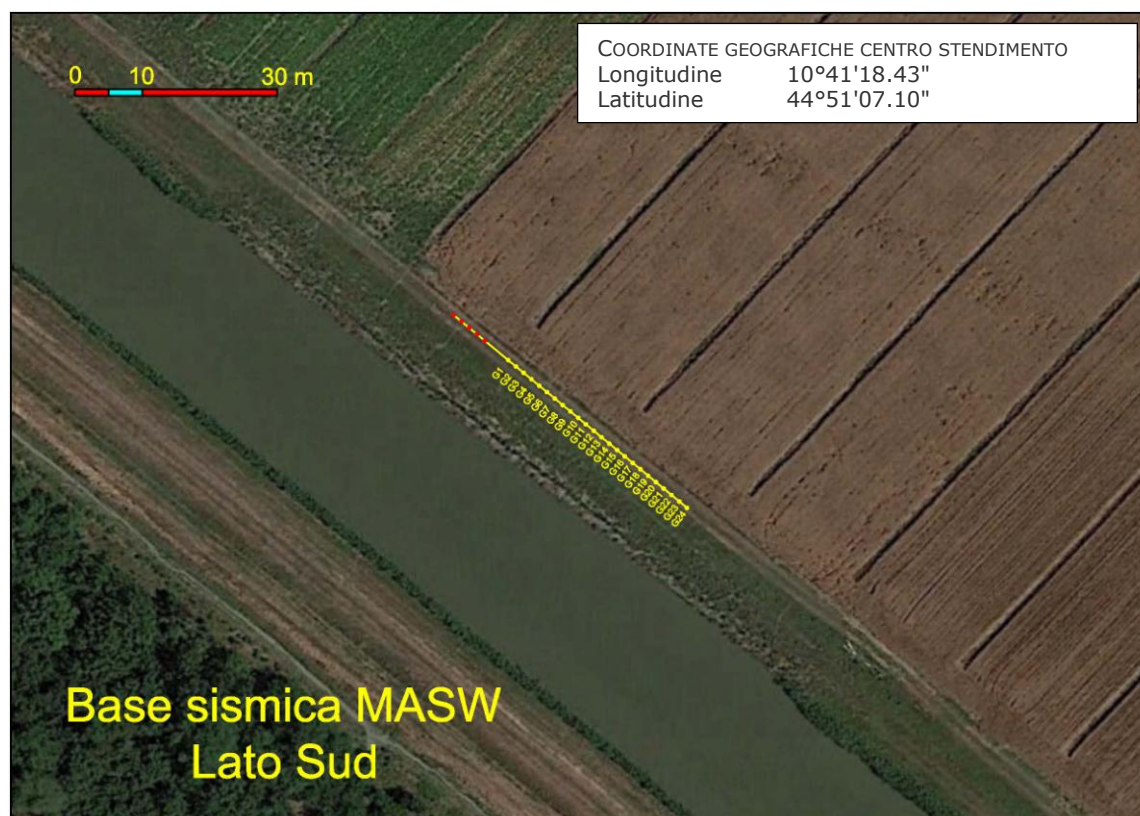
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1





**TABELLA RIPORTANTE I VALORI DELLA CURVA DI DISPERSIONE**

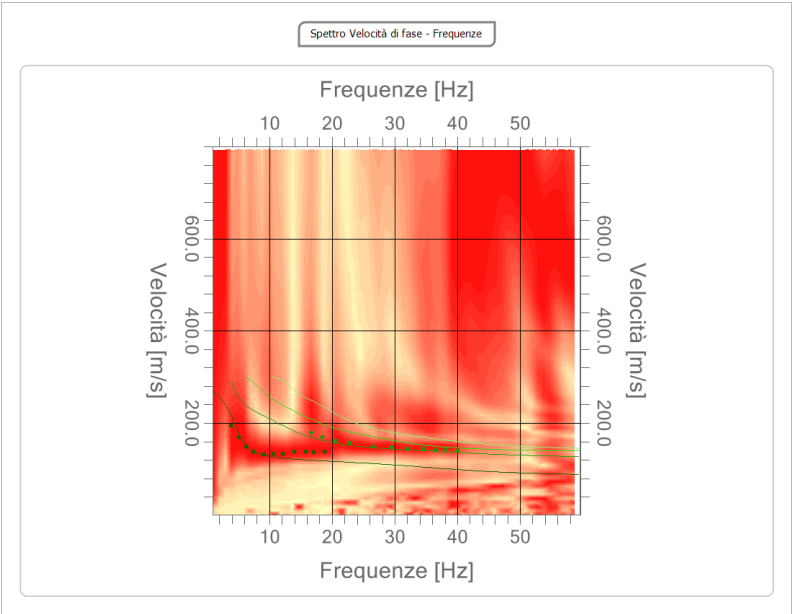
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	3.9	193.8	0
2	5.1	169.3	0
3	6.3	149.7	0
4	7.5	138.3	0
5	9.2	131.7	0
6	10.6	133.3	0
7	12.2	133.3	0
8	14.0	138.3	0
9	15.8	138.3	0
10	16.6	179.1	1
11	17.1	136.6	0
12	18.4	169.3	1
13	18.8	138.3	0
14	20.6	161.1	1
15	22.9	156.2	1
16	26.5	149.7	1
17	29.5	148.1	1
18	32.0	144.8	1
19	34.5	144.8	1
20	36.5	141.5	1
21	38.2	143.2	1
22	40.0	139.9	1



Ubicazione base sismica

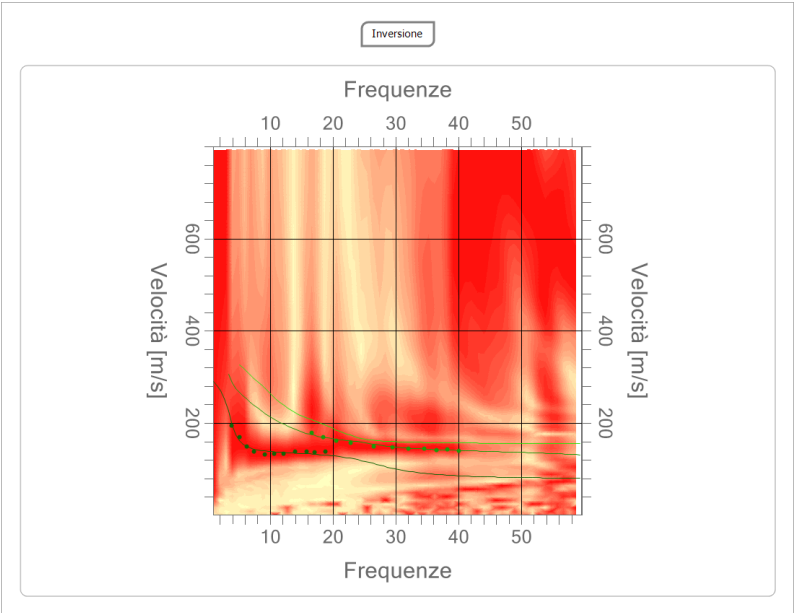


**ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE**



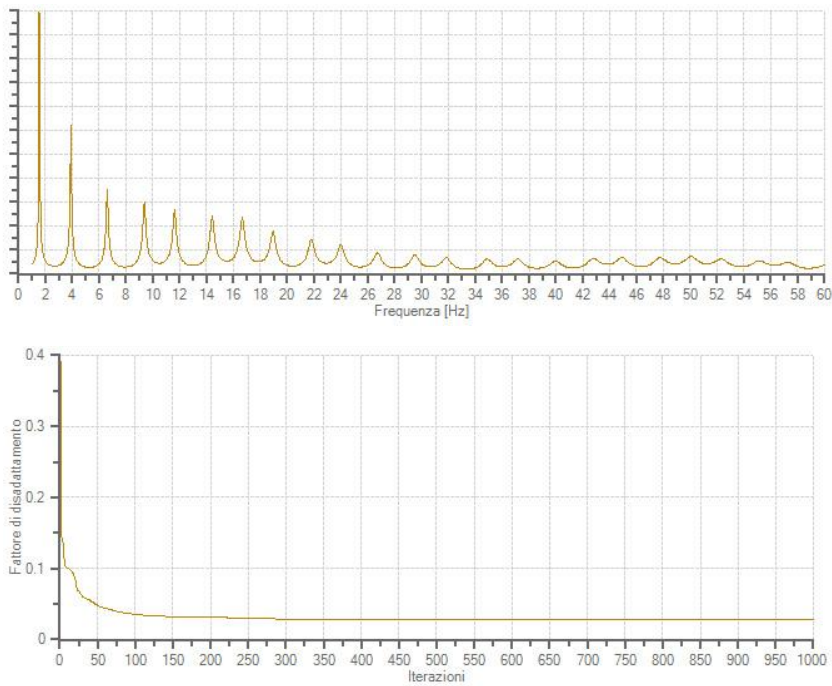
**ANDAMENTO DELLA CURVA OTTENUTA CON IL PROCESSO DI INVERSIONE**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.29	1.29	1850.0	0.4	No	205.6	83.9
2	7.18	5.89	1810.0	0.4	Si	377.2	154.0
3	13.60	6.42	1820.0	0.4	Si	377.8	154.3
4	23.53	9.93	1830.0	0.4	Si	523.2	213.6
5	30.12	6.59	1840.0	0.4	Si	734.9	300.0
6	43.49	13.37	1850.0	0.4	Si	742.7	303.2
7	oo	oo	1860.0	0.4	Si	798.1	325.8

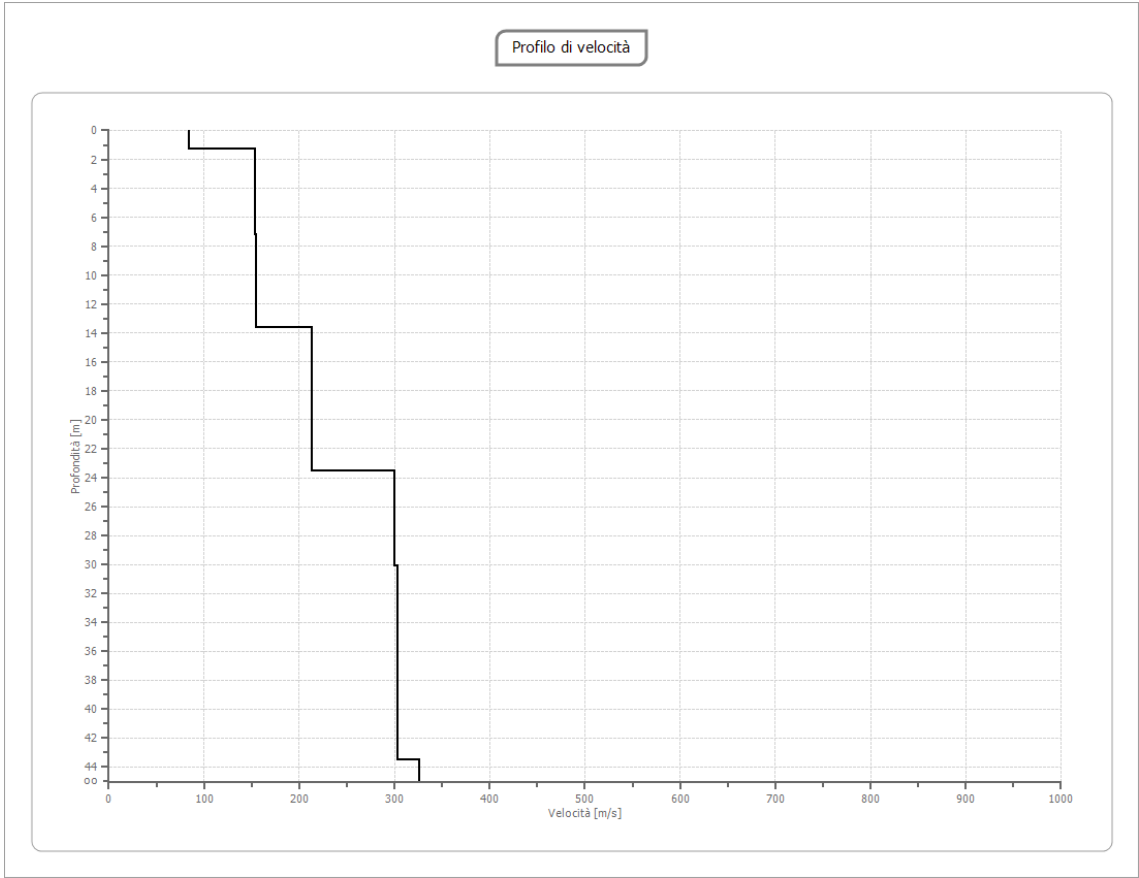




**ANDAMENTO DELLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO E DISADATTAMENTO**



**ANDAMENTO IN PROFONDITA' DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO**



Al termine della elaborazione si è riscontrata una convergenza dei valori (Errore dell'elaborazione) pari a **0,078%**, con un fattore di disadattamento della soluzione pari a **0,029**.

**Figura 2: TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA'**

G0: Modulo di deformazione al taglio (\*);

Ed: Modulo edometrico (\*);

M0: Modulo di compressibilità volumetrica (\*);

Ey: Modulo di Young (\*);

\*) Valori validi per piccolissime deformazioni comprese nel tratto lineare elastico del legame costitutivo dei materiali (deformazioni tangenziali inferiori alla soglia elastica).

N.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	densità [Kg/cm <sup>3</sup> ]	Coefficiente di Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.29	1.29	83.94	205.62	1800.00	0.40	12.68	76.10	59.19	35.51	5.00	9.69
2	7.18	5.89	153.98	377.18	1860.00	0.40	44.10	264.61	205.81	123.48	22.00	204.38
3	13.60	6.42	154.25	377.84	1870.00	0.40	44.49	266.96	207.64	124.58	8.00	206.18
4	23.53	9.93	213.58	523.16	1880.00	0.40	85.76	514.55	400.21	240.12	28.00	1057.91
5	30.12	6.59	300.03	734.93	1890.00	0.40	170.14	1020.83	793.98	476.39	N/A	N/A
6	43.49	13.37	303.20	742.69	1900.00	0.40	174.67	1048.01	815.12	489.07	98.00	N/A
7	oo	oo	325.83	798.11	1910.00	0.40	202.77	1216.64	946.28	567.77	0.00	N/A

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine MASW ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali ( $V_s$ ) fino a una profondità di **mt.43,49** dal piano campagna, profondità alla quale non si sono riscontrati valori di velocità superiori a 800 m/s, pertanto di seguito è stato calcolato il valore di  $V_{s,30}$  a cui fare riferimento per la determinazione della categoria di sottosuolo.

Velocità onde Vs da elaborazione MASW				
Strato	Base strato [m]	$h_i$ [m]	$V_{s,i}$ [m/s]	$h_i / V_{s,i}$ [s]
1	1.29	1.29	83.94	0.015368
2	7.18	5.89	153.98	0.038252
3	13.60	6.42	154.25	0.041621
4	23.53	9.93	213.58	0.046493
5	30.12	6.47	300.03	0.021565
6	43.49	0.00	303.20	0.000000

Calcolo del valore di $V_{s,30}$		
$V_{s,30}$ calcolato	<b>183.71</b>	[m/s]
Errore strumentale	0.078	[%]
$V_{s,30}$ - Max	<b>183.86</b>	[m/s]
$V_{s,30}$ - Min	<b>183.57</b>	[m/s]

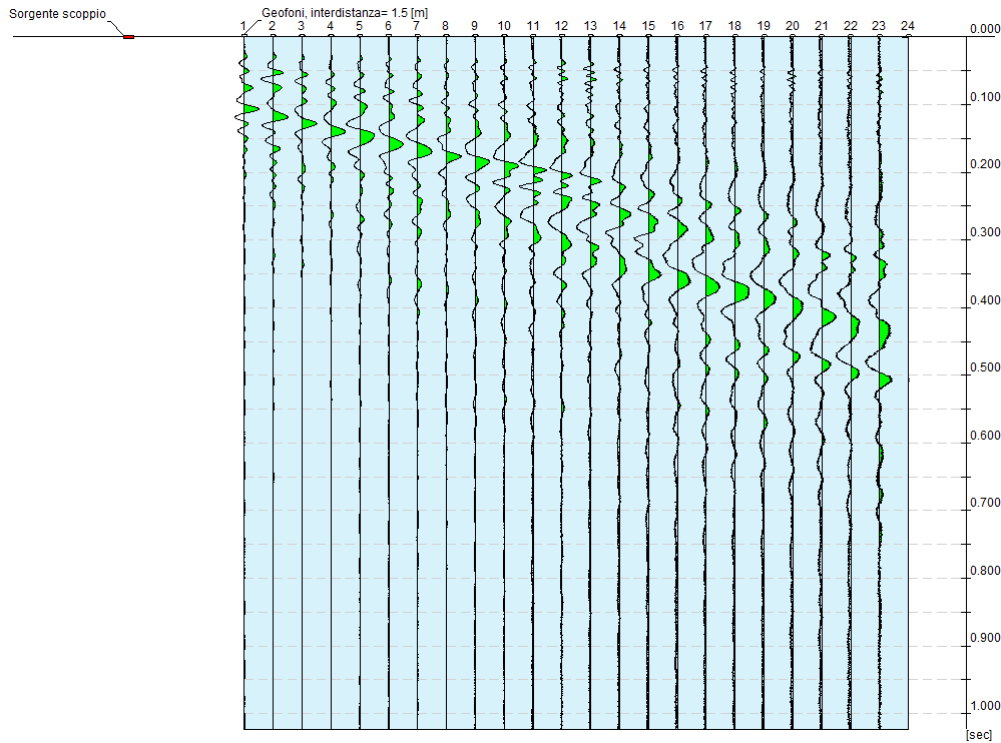
Come riportato nella precedente tabella ai sensi del D. Min. Infrastrutture e Trasporti del 17/01/2018 il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ( $V_{s,30}$ ) ottenuto mediante l'indagine M.A.S.W. è risultato pari a **183,71 m/s**, il quale, tenuto in considerazione l'errore derivante dall'elaborazione dei dati, risulta essere compreso tra **183,57 e 183,86 m/s**.





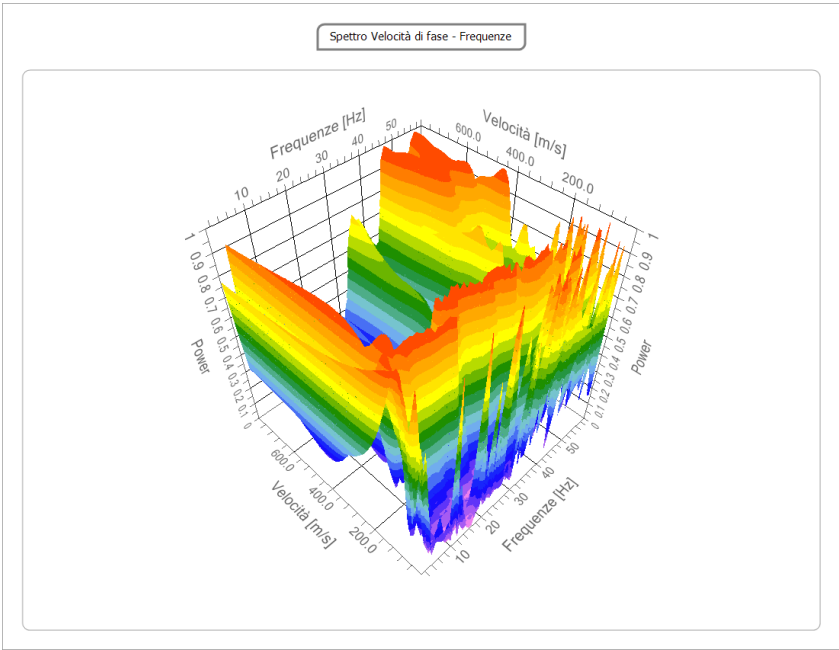
**Elaborazione Base Sismica Chiavica di Invaso**

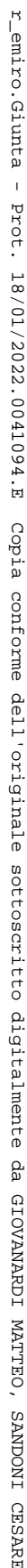
**ANDAMENTO DELLA REGISTRAZIONE DELLE TRACCE SISMICHE RILEVATE DURANTE L'ACQUISIZIONE**



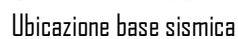
**PARAMETRI DI ELABORAZIONE ED ANDAMENTO DELL'ANALISI SPETTRALE**

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



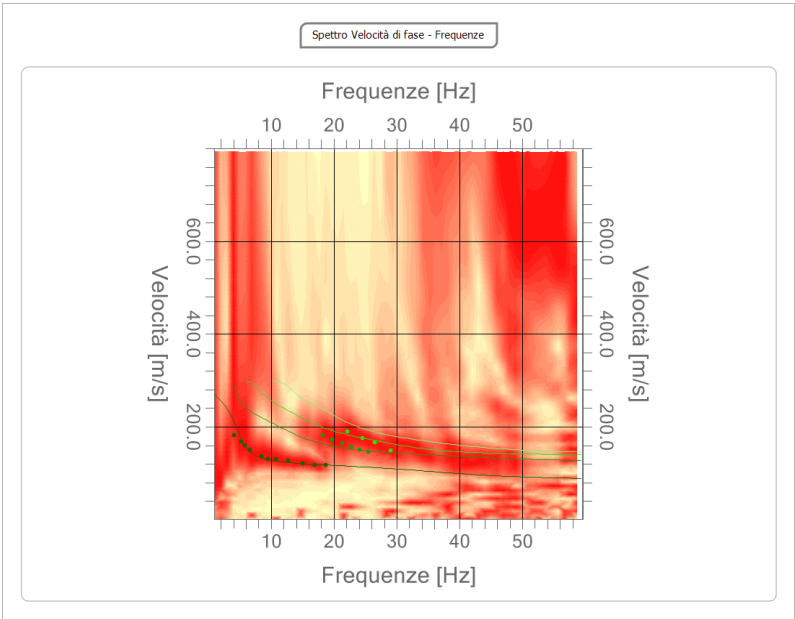


n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	4.1	182.4	0
2	5.2	167.7	0
3	5.8	159.5	0
4	6.6	151.3	0
5	8.4	136.6	0
6	9.5	130.1	0
7	10.7	130.1	0
8	12.8	126.8	0
9	15.0	120.3	0
10	17.0	117.0	0
11	18.3	182.4	1
12	18.7	117.0	0
13	19.7	172.6	1
14	21.3	164.4	1
15	22.1	190.5	2
16	22.7	156.2	1
17	24.1	151.3	1
18	24.5	175.8	2
19	25.5	146.4	1
20	26.5	166.0	2
21	29.0	149.7	2



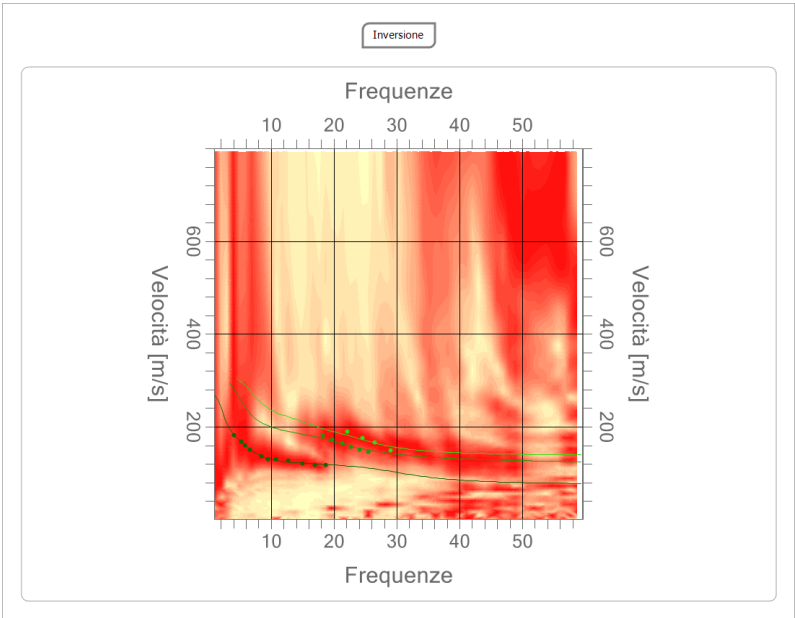


ANDAMENTO DELLA CURVA DI DISPERSIONE



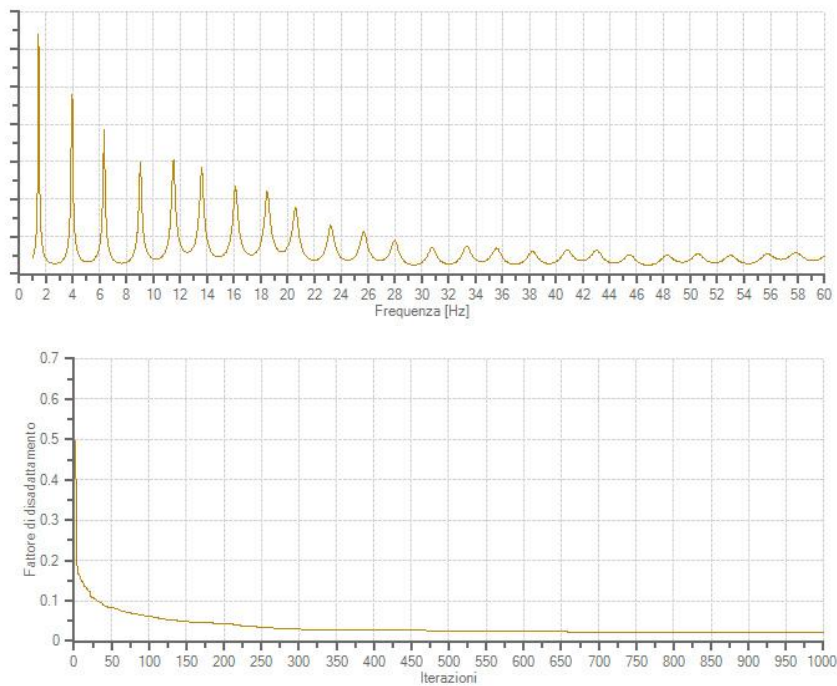
ANDAMENTO DELLA CURVA OTTENUTA CON IL PROCESSO DI INVERSIONE

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.09	1.09	1850.0	0.4	No	197.0	80.4
2	2.68	1.59	1810.0	0.4	Si	336.2	137.3
3	7.96	5.28	1820.0	0.4	Si	334.3	136.5
4	17.92	9.96	1830.0	0.4	Si	477.1	194.8
5	31.74	13.82	1840.0	0.4	Si	530.9	216.7
6	36.09	4.35	1850.0	0.4	Si	550.4	224.7
7	oo	oo	1860.0	0.4	Si	745.2	304.2

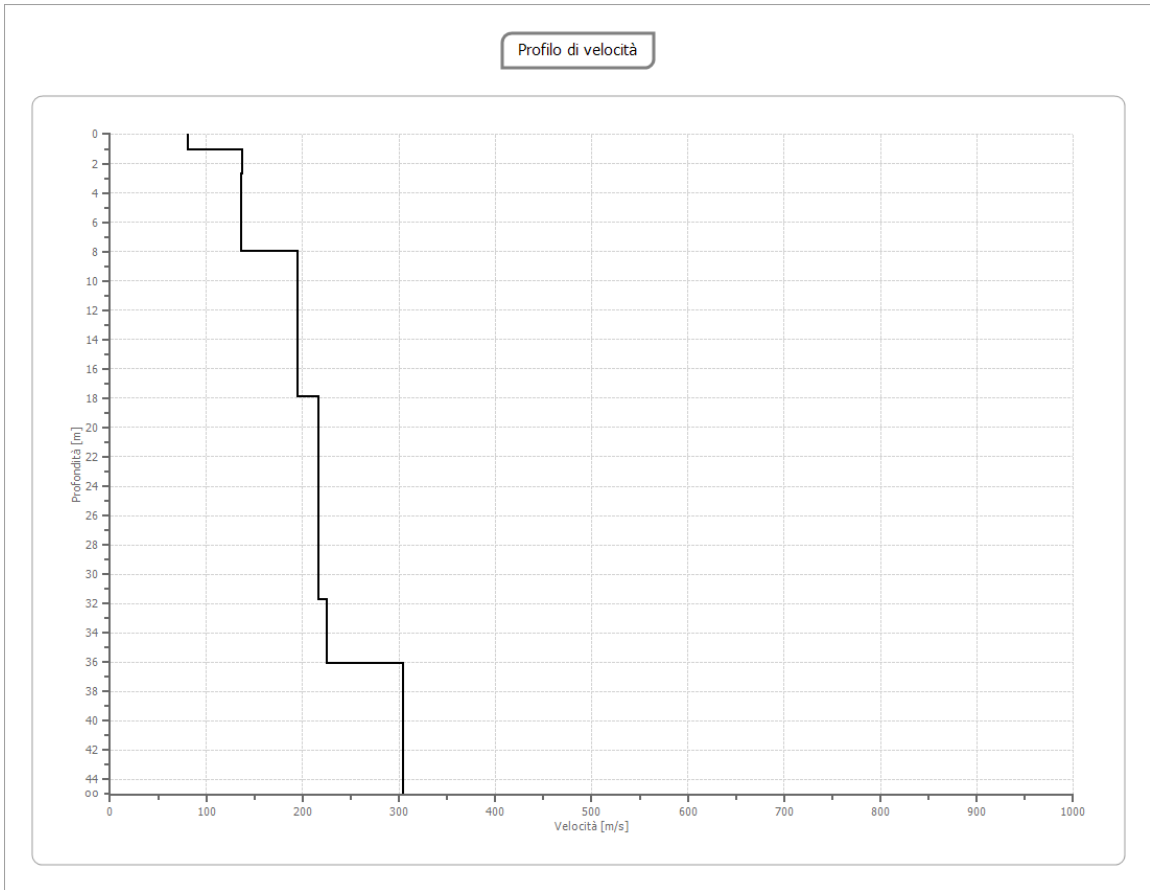




**ANDAMENTO DELLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO E DISADATTAMENTO**



**ANDAMENTO IN PROFONDITA' DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO**





Al termine della elaborazione si è riscontrata una convergenza dei valori (Errore dell'elaborazione) pari a **0,059%**, con un fattore di disadattamento della soluzione pari a **0,023**.

**Figura 3: TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA'**

G0: Modulo di deformazione al taglio (\*);

Ed: Modulo edometrico (\*);

M0: Modulo di compressibilità volumetrica (\*);

Ey: Modulo di Young (\*);

\*) Valori validi per piccolissime deformazioni comprese nel tratto lineare elastico del legame costitutivo dei materiali (deformazioni tangenziali inferiori alla soglia elastica).

N.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	densità [Kg/cm <sup>3</sup> ]	Coefficiente di Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.09	1.09	80.42	196.99	1800.00	0.40	11.64	69.85	54.33	32.60	5.00	7.81
2	2.68	1.59	137.26	336.23	1860.00	0.40	35.04	210.27	163.54	98.13	28.00	114.71
3	7.96	5.28	136.47	334.28	1870.00	0.40	34.83	208.96	162.53	97.52	8.00	111.42
4	17.92	9.96	194.78	477.12	1880.00	0.40	71.33	427.97	332.86	199.72	24.00	665.89
5	31.74	13.82	216.74	530.91	1890.00	0.40	88.79	532.72	414.34	248.60	22.00	1139.00
6	36.09	4.35	224.69	550.38	1900.00	0.40	95.92	575.55	447.65	268.59	19.00	1365.03
7	oo	oo	304.21	745.16	1910.00	0.40	176.76	1060.54	824.87	494.92	0.00	N/A

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine MASW ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali ( $V_s$ ) fino a una profondità di **mt.36,09** dal piano campagna, profondità alla quale non si sono riscontrati valori di velocità superiori a 800 m/s, pertanto di seguito è stato calcolato il valore di  $V_{s,30}$  a cui fare riferimento per la determinazione della categoria di sottosuolo.

Velocità onde Vs da elaborazione MASW				
Strato	Base strato [m]	$h_i$ [m]	$V_{s,i}$ [m/s]	$h_i / V_{s,i}$ [s]
1	1.09	1.09	80.42	0.013554
2	2.68	1.59	137.26	0.011584
3	7.96	5.28	136.47	0.038690
4	17.92	9.96	194.78	0.051135
5	31.74	12.08	216.74	0.055735
6	36.09	0.00	224.69	0.000000

Calcolo del valore di $V_{s,30}$		
$V_{s,30}$ calcolato	<b>175.75</b>	[m/s]
Errore strumentale	0.059	[%]
$V_{s,30}$ - Max	<b>175.85</b>	[m/s]
$V_{s,30}$ - Min	<b>175.65</b>	[m/s]

Come riportato nella precedente tabella ai sensi del D. Min. Infrastrutture e Trasporti del 17/01/2018 il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ( $V_{s,30}$ ) ottenuto mediante l'indagine M.A.S.W. è risultato pari a **175,75 m/s**, il quale, tenuto in considerazione l'errore derivante dall'elaborazione dei dati, risulta essere compreso tra **175,65 e 175,85 m/s**.

#### 4. ASPETTI SISMICI E CLASSIFICAZIONE SISMICA

La Provincia di Reggio Emilia è caratterizzata da una sismicità da media (zona 2) a medio-bassa (zona 3), con terremoti storici che sovente hanno raggiunto una intensità pari al VII-VIII grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS); i terremoti più intensi hanno raggiunto una magnitudo compresa fra 5,5 e 6 della Scala Richter e intensità del IX-X grado della scala MCS e gran parte di questi eventi sono caratterizzati da meccanismi focali di tipo compressivo.

La sismicità sul territorio provinciale non è omogenea, concentrandosi in prevalenza sull'asse appenninico legato al fronte della struttura nota come *trust* pedeappenninico, connessa nel medio alto Appennino al settore della Garfagnana, storicamente capace di generare sismi di magnitudo superiore a 6, e nel settore di bassa pianura alla presenza di una struttura anticlinale sepolta nota con il nome di Dorsale Ferrarese che ha causato gli ultimi forti sismi del maggio-giugno 2012.

Dal Catalogo Parametrico Italiano dei Terremoti si sono estratta la storia sismica di Novellara.

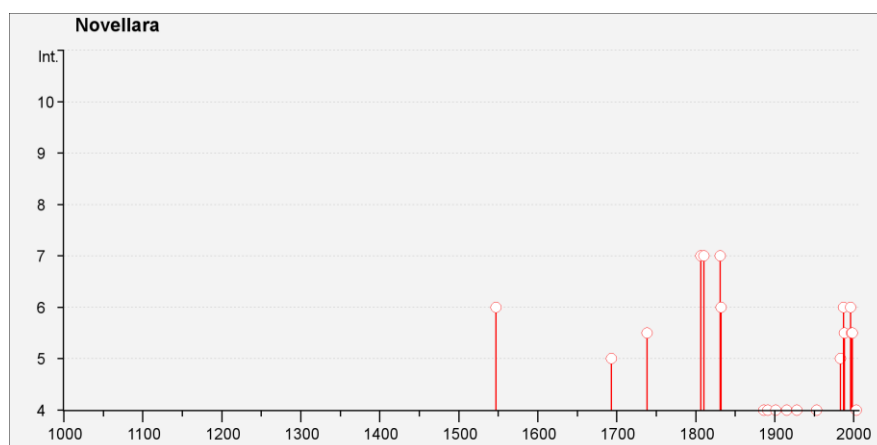


Diagramma della storia sismica di Novellara, limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4. Da INGV - Database Macrosismico Italiano 2004

In riferimento alla zonazione Z69, il territorio comunale di Novellara è compreso nella “zona sorgente” ZS912 “Dorsale Ferrarese” ovvero nella zona delle Pieghe Ferraresi.

La zona sismogenetica 912 rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale; in tale settore la sismicità evidenzia l'andamento del fronte compressivo sepolto più avanzato (a ridosso del Po).

Si riportano a seguire, dai dati INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), per vicinanza e stretta connessione con il sito in esame, gli ultimi eventi sismici del maggio-giugno 2012 che hanno interessato la bassa pianura modenese:

Terremoti recenti di Magnitudo superiore a 5 del maggio-giugno 2012 in Provincia di Modena (Fonte INGV)

Zona Sismica	Prov.	Ora UTC	Mag.	Lat - Lon
Navi di Modena	(MO)	03/06/2012 19:20:43	5,1	44.899, 10.943
Navi di Modena	(MO)	29/05/2012 11:00:25	5,2	44.879, 10.947
San Possidonio	(MO)	29/05/2012 10:55:57	5,3	44.888, 11.008
Medolla	(MO)	29/05/2012 07:00:03	5,8	44.851, 11.086
Finale Emilia	(MO)	20/05/2012 02:03:53	5,9	44.890, 11.230

Gli eventi sismici del maggio 2012 sono contraddistinti da due principali sequenze dinamiche distinte, riconducibili a due differenti sistemi di rottura, anche se con ogni probabilità tra loro collegati in termini di causa-effetto; la prima sequenza, iniziata il 20 maggio nella zona di Finale Emilia (MO) che ha generato uno sciame sismico in cui si identificano 3 scosse significative con magnitudo superiore a 5 e migrazione dei centri focali in direzione est verso il ferrarese (successivi epicentri dei sismi con  $M_I > 5,0$  a Bondeno e Vigarano Mainarda) e la seconda sequenza sismica iniziata il 29 maggio anch'essa con 3 scosse principali di magnitudo locale superiore a 5, localizzata più ad occidente (epicentri dei sismi con  $M_I > 5,0$  a Medolla, Mirandola e a SV di San Possidonio).

Successivamente a questa fase si è distinta una terza sequenza sismica a partire dal 03 Giugno 2012 (Novi di Modena con  $M_I = 5,1$ ).

La mappa delle repliche dei due eventi principali mostra un allineamento E-W per circa 40-50 km tra le province di Modena e Ferrara.

Il tipo di meccanismo focale indica per le sequenze sismiche un meccanismo compressivo con direzione di massima compressione N-S e piani di faglia orientati E-W; le principali caratteristiche delle scosse principali del 20 maggio e del 29 maggio sono riportate nella successiva tabella.

ID	Data	Ora (UTC)	Lat.	Long.	Prof. (km)	ML	Distretto Sismico
IA	20/05/12	02.03.53	44,89°	11,23°	6,3	5,9	Pianura_padana_emiliana
IIA	20/05/12	02.07.31	44,86°	11,37°	5	5,1	Pianura_padana_emiliana
IIIA	20/05/12	13.18.02	44,83°	11,49°	4,7	5,1	Pianura_padana_emiliana
IB	29/05/12	07.00.03	44,85°	11,09°	10,2	5,8	Pianura_padana_emiliana
IIB	29/05/12	10.55.57	44,89°	11,01°	6,8	5,3	Pianura_padana_emiliana
IIIB	29/05/12	11.00.25	44,88°	10,95°	5,4	5,2	Pianura_padana_emiliana

La prima sequenza con *mainschock* del 20 Maggio 2012 alle ore 02:03:52 UCT (04:03:52 italiane) è avvenuta con epicentro nel comune di Finale Emilia e gli eventi successivi con  $M_I > 5,0$  mostrano una migrazione progressiva in direzione Est; tali eventi si collocano in corrispondenza del *thrust* posto alla base dell'alto di Bondeno-Ferrara con una direzione WNW-ESE e una immersione in direzione sud.

La seconda sequenza con *mainschock* del 29 Maggio 2012 alle ore 07:00:03 UTC (09:00:03 italiane) è avvenuta con epicentro nel comune di Medolla e gli eventi successivi con  $M_I > 5,0$  mostrano una migrazione progressiva in direzione ovest; tali eventi si collocano in corrispondenza del *thrust* posto alla base dell'alto di Finale Emilia-Mirandola-Novì di Modena, con una direzione W-E e una immersione verso sud.

Il picco massimo d'accelerazione registrato, in occasione dell'evento più forte (IA) è di 0.309 g, e corrisponde alla componente verticale (Up-Down); inferiori risultano i picchi corrispondenti alle due componenti orizzontali (0.264 in direzione Sud-Nord e 0.261 in direzione Ovest-Est).

Per quanto riguarda la durata, si può stimare una *bracketed duration* di circa 8.1 sec con riferimento alla componente Nord-Sud (da "Rapporto preliminare dei diffusi fenomeni di liquefazione verificatisi durante il terremoto in pianura Emiliana del maggio 2012" - Crespellani T., Facciorusso J., Ghinelli A., Madiati C., Renzi S., Vannucchi G.).

Secondo l'INGV, le informazioni storiche per l'area sismogenetica (912), nella quale rientrano le zone interessate dai recenti fenomeni sismici della bassa pianura emiliana evidenziano un'attività non molto frequente; la sismicità storica è considerata nel complesso come relativamente moderata, confrontabile con quella di altri settori della pianura padana (ad esempio l'area fra Reggiano e Parmense), che negli ultimi anni ha avuto terremoti relativamente frequenti di magnitudo compresa fra 4,5 e 5,5.

Sotto il profilo storico, per ritrovare nel settore della bassa emiliana un evento di severità comparabile (in termini di intensità macrosismica) a quelli principali del maggio 2012, occorre risalire al terremoto del 17 novembre 1570, quando quattro scosse fortissime provocarono molti danni alla città di Ferrara e a numerose località del circondario, ove furono particolarmente danneggiate chiese e campanili; la sequenza fu molto complessa e si ebbero numerose repliche fino ai primi mesi del 1572.

Storicamente nell'area compresa fra Ferrara e Mirandola sono noti alcuni terremoti di magnitudo prossima a 5.5 sul versante ferrarese (1346, 1561), nell'area di Finale Emilia e Bondeno (1574, 1908, 1986), nel mantovano (1901) e nella zona di Cento (1922).

Un altro evento storico di interesse, studiato di recente, è quello avvenuto nel 1639 con epicentro nei pressi di Finale Emilia, località ove produsse effetti del VII-VIII grado MCS (Scala Mercalli-Cancani-Sieberg); diversi terremoti sul versante sud-occidentale, di energia relativamente moderata, hanno interessato l'area di Carpi e l'area reggiana, ultimo dei quali quello del 15 ottobre 1996, (Mw 5.4) localizzato fra Bagnolo in Piano e Correggio.

## **5. CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO**

Sino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità; i Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, che corrispondono al 45% della superficie del territorio nazionale, nel quale risiede il 40% della popolazione.

Dopo il terremoto del 2002 in Puglia e Molise viene emanata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 2003, che ha riclassificato l'intero territorio nazionale in quattro zone a diversa pericolosità, eliminando le zone non classificate; i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale sono basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato, in un certo intervallo di tempo, da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

Di fatto, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nel quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.

In base alla suddetta Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274/2003, il territorio nazionale è suddiviso in zone sismiche, a ciascuna delle quali è stato assegnato un valore del parametro dell'accelerazione orizzontale di picco  $a_g$ ; i valori di  $a_g$  (convenzionali su suolo di tipo A), espressi come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni e sono contraddistinti dai seguenti valori per ogni zona sismica:

*Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06)*

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

Il territorio del comune di Novellara, secondo la riclassificazione sismica introdotta dall'OPCM n.3274/2003, è stato inserito in zona 3.

Il Ministro delle Infrastrutture, di concerto con il Ministro dell'Interno e con il Capo Dipartimento della Protezione civile emana il 14 gennaio 2008 il Decreto Ministeriale che approva le nuove norme tecniche per le costruzioni, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 - Suppl. Ordinario n. 30; dopo un periodo di transizione e di sovrapposizione con le precedenti normative, l'applicazione di tali norme diventa obbligatoria dal 1 luglio 2009, come previsto dalla legge n.77 del 24 giugno 2009.

Di recente è entrato in vigore l'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 Gennaio 2018) che riprende il vecchio testo del 2008 inserendo alcune modifiche.

Secondo le norme delle NTC 2008 riprese dalle recenti NTC 2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, deve essere valutata la classificazione dei terreni compresi fra il piano di imposta delle fondazioni ed un substrato rigido di riferimento (bedrock).

In particolare la caratterizzazione del sottosuolo in relazione ai possibili effetti sismici è determinata in funzione del valore di  $V_{s30}$  (velocità media di propagazione delle onde di taglio entro mt.30 metri di profondità).

In riepilogo, le basi sismiche con il metodo MASW hanno ottenuto i seguenti valori di  $V_{s30}$  (per successivo arrotondamento):

-Stendimento 1	Chiavica di in svaso	$V_{s30}=183$ m/sec
-Stendimento 2	Strada della Vittoria	$V_{s30}=174$ m/sec
-Stendimento 3	Stendimento lato sud	$V_{s30}=184$ m/sec
-Stendimento 4	Chiavica di invaso	$V_{s30}=176$ m/sec

In merito alla categoria di sottosuolo sismico in base al punto 3.2.2. del D.M. 14.01.2018, si attribuiscono le seguenti categoria di sottosuolo:

-Stendimento 1	Chiavica di in svaso	$V_{s30}=183$ m/sec	Categoria di sottosuolo C
-Stendimento 2	Strada della Vittoria	$V_{s30}=174$ m/sec	Categoria di sottosuolo D
-Stendimento 3	Stendimento lato sud	$V_{s30}=184$ m/sec	Categoria di sottosuolo C
-Stendimento 4	Chiavica di invaso	$V_{s30}=176$ m/sec	Categoria di sottosuolo D

La definizione del tipo di terreno e dei parametri caratteristici sismici del sottosuolo classificati come C e come D sono indicati al capo 3.2.2. (categorie di sottosuolo) e così descritti:

#### Categoria C

-Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < Cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

#### Categoria 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.

Per pendii con inclinazione maggiore di 15 gradi la risposta sismica locale deve essere moltiplicata per un fattore  $S_T$  (D.M.14.01.08) denominato coefficiente di amplificazione topografica; per il sito in esame, disposto su di un'area subpianeggiante si assume  **$T_I$  con  $S_T=1,0$** .



## 6. CONCLUSIONI

A riepilogo della presente si rileva in merito alle caratteristiche sismiche della superficie in esame:

-la classificazione sismica della superficie inserita in zona 3 (Comune di Novellara) secondo OPCM n.3274/03;

-la determinazione di un valore di  $V_{s30}$  pari a 183 e 184 m/sec rispettivamente a seguito dell'elaborazione degli stendimenti n.1 (Chiavica di in svaso) e n.3 (Stendimento lato sud) con attribuzione di una categoria di sottosuolo C in base alle NTC 2018;

-la determinazione di un valore di  $V_{s30}$  pari a 174 e 176 m/sec rispettivamente a seguito dell'elaborazione degli stendimenti n.2 (Strada della Vittoria) e n.4 (Chiavica di invaso) con attribuzione di una categoria di sottosuolo D in base alle NTC 2018;

-l'attribuzione di una categoria topografica TI secondo NTC 2018 con valore di  $S_T$  (coefficiente di amplificazione topografica) pari a 1,00.

L'analisi ha determinato i soli esiti delle indagini geofisiche prodotte in termine di  $V_{s30}$ , senza prevedere lo scandaglio geomeccanico per valutare i possibili effetti sito indotti per processi di liquefazione.

**PRO-GEO S.G.A.**  
**Dr.Geol.Cesare Sandoni**



Modena, 22 Maggio 2018