

REGIONE EMILIA ROMAGNA  
Provincia di Reggio Emilia  
COMUNE DI BAISO (RE)

Committente: Sig. CILLONI GIORGIO  
Via Viani  
42122 REGGIO EMILIA



## **RELAZIONE GEOLOGICA e SISMICA**

**Richiesta di inserimento nel P.O.C. del Comune di  
Baiso di terreni in proprietà di Cilloni Giorgio censiti  
catastalmente al foglio 1 mappale 389.**

Reggio Emilia, gennaio 2017

Dott. Geol. Paolo Melli



## INDICE

Premessa	pag. n. 3
Cap. 1 - Ubicazione e Morfologia	pag. n. 4
Cap. 2 - Inquadramento Geomorfologico	pag. n. 4
Cap. 3 - Caratteristiche Idrogeologiche	pag. n. 6
3.1 - Esondabilità	pag. n. 6
Cap. 4 - Stabilità	pag. n. 7
Cap. 5 - Prove dirette – Indagini Geognostiche	pag. n. 7
5.1 - CPT1 Stratigrafie e resistenze del terreno	pag. n. 9
5.2 - CPT2 Stratigrafie e resistenze del terreno	pag. n. 13
5.3 - CPT3 Stratigrafie e resistenze del terreno	pag. n. 17
Cap. 6 - Modellazione Sismo Stratigrafica e valutazione degli effetti sismici di sito	pag. n. 21
6.1 - MASW	pag. n. 21
6.2 - Risultati ottenuti	pag. n. 31
6.3 - Definizione livello di approfondimento	pag. n. 31
6.4 - Analisi semplificata di II livello	pag. n. 32
Cap. 7 - Considerazioni finali	pag. n. 35

## **PREMESSA.**

Lo studio e le relative indagini per la richiesta di inserimento nel P.O.C. del comune di Baiso sono stati eseguiti secondo quanto disposto dal DM 14/1/2008.

Particolare attenzione è stata riservata a quanto previsto negli indirizzi per la microzonazione sismica in Emilia Romagna e l'approfondimento di secondo livello per il rischio sismico è stato condotto in conformità con quanto previsto dalla Delibera della giunta regionale n.2193/2015.

Sono stati inoltre consultati elementi cartografici e normativi del PTCP 2010 di Reggio Emilia.

Sono anche stati utilizzati altri lavori da me svolti in zona, studi ufficiali esistenti e la Carta Geologica del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli.

Per la determinazione delle caratteristiche lito-stratigrafiche e geotecniche locali del primo sottosuolo sono stati eseguite tre prove penetrometriche statiche (**CPT1 – CPT2 – CPT3**) spinte a rifiuto.

Per la modellazione sismo-stratigrafica è stata eseguita una indagine geofisica **MASW**.

Le prove sono ubicate in planimetria allegata.

## Cap. 1 - UBICAZIONE E MORFOLOGIA

I terreni oggetto del presente studio sono censiti catastalmente al foglio 1 mappale 389.

La posizione è di terrazzo alluvionale posto al piede di versante destro dell'ampia valle del Torrente Tresinaro.

All'area, posta a valle di una lottizzazione esistente si accede da via Borgo Visignolo.

Il terreno, incolto, presenta moderata pendenza verso Nord.

La quota è prossima a 215 – 220 m s.l.m. circa.

## Cap. 2 - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La Carta Geologica del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli definisce i terreni interessati dall'ambito come depositi appartenenti al **Sintema Emiliano**

**Romagnolo Superiore.**

Più in particolare i depositi quaternari presenti sull'area (**AES8**) appartengono al **Subsintema di Ravenna** - limi sabbiosi e limi argillosi – olocene.

Immediatamente a valle dello stradello che porta al Molino Costi affiorano depositi dell'**Unità di Modena (AES8a)**.

Si tratta di argille e argille limose intercalate a terreni misti.

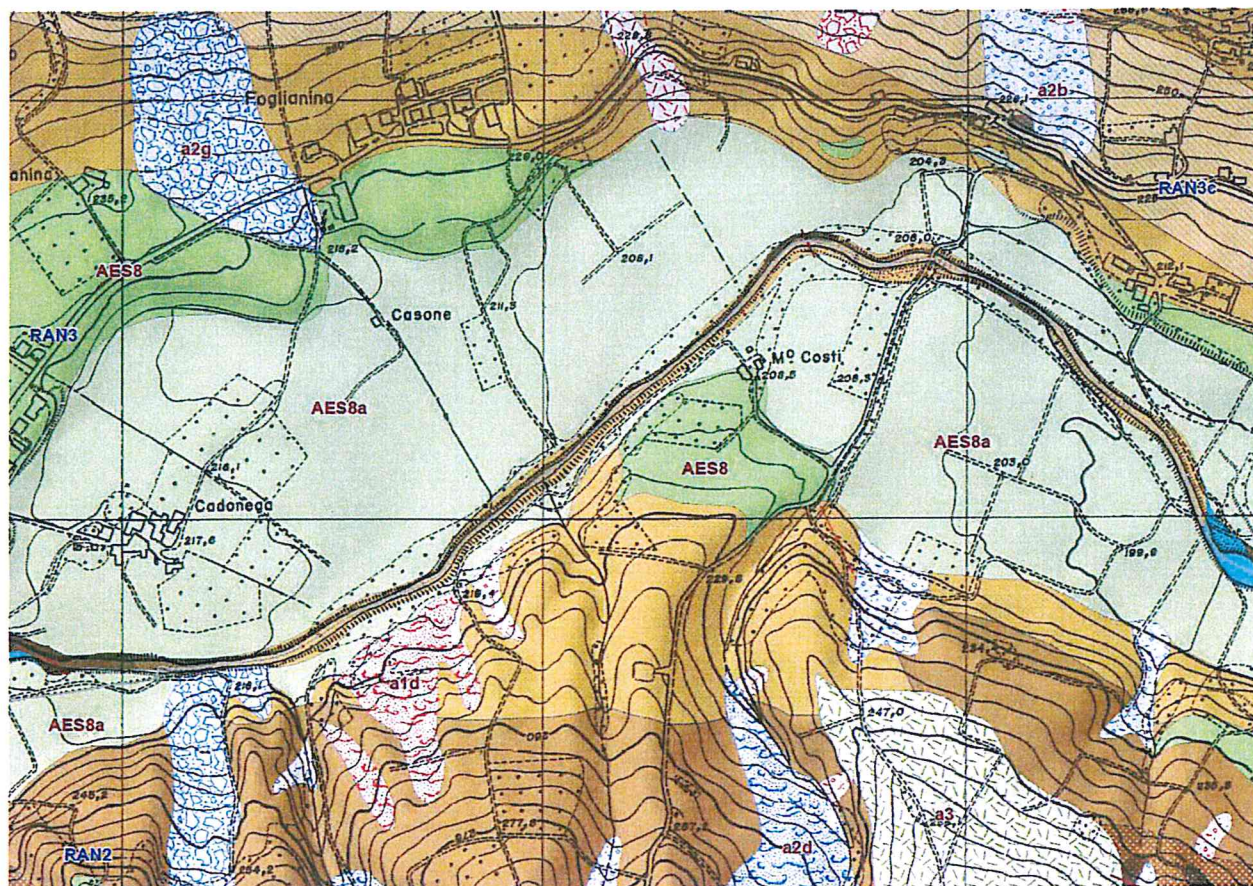
Questi depositi ricoprono rocce di formazione marina (**RAN 3**) della **Formazione di Ranzano**.

Il membro di Varano dè Melegari (**RAN 3**) è costituito da torbiditi arenaceo pelitiche di colore grigio verdastro, in strati sottili e medi, con prevalenza delle peliti sulle arenarie.

Lo spessore delle coperture alluvionali è, dalle prove statiche, di 5,60 m in CPT1, di 5,00 m in CPT2, di 6,40 m in CPT3.



## Stralcio della Carta Geologica del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli



### Legenda

Province



Comuni



Griglia 10.000



Punti di osservaz. e misura (10K)



stratificazione dritta

Coperture quaternarie (10K)



AES8 - Subsystema di Ravenna



AES8a - Unità di Modena



a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento



a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango



a1g - Deposito di frana attiva complessa



a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento



a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango

a2g - Deposito di frana quiescente complessa

a3 - Deposito di versante s.l.

a4 - Deposito eluvio-cultivale

b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

Limiti di unità geologiche (10K)

— contatto stratigrafico o litologico certo

- - - contatto stratigrafico o litologico incerto

- - - faglia incerta

— limite di natura incerta

Affioramenti (aree) (10K)



Unità geologiche (10K)

ANT - Mame di Antognola

RAN2 - Formazione di Ranzano - membro della Val Pessola

RAN2a - Formazione di Ranzano - membro della Val Pessola - litofacies arenaceo-conglomeratica

RAN3 - Formazione di Ranzano - membro di Varano de' Melegari

RAN3c - Formazione di Ranzano - membro di Varano de' Melegari - litofacies arenacea

### **Cap. 3 - CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE**

La zona esaminata è situata al piede del versante destro della valle del Torrente Tresinaro in posizione morfologica di terrazzo alluvionale sopraelevato sul fondo vallivo e con pendenza verso Nord Nord Est.

Il terrazzo (**AES8**) è delimitato a ovest dal Torrente Tresinaro e a Est dal Rio Budrioni.

Le acque meteoriche di proiezione sul mappale sgrondano per gravità verso Nord.

Al termine delle prove penetrometriche non è stata rilevata presenza di acque.

La falda subalvea del Torrente Tresinaro non influisce sui depositi alluvionali di copertura data la notevole sopraelevazione di oltre dieci metri.

D'altra parte le prove penetrometriche statiche indicano la presenza di coperture poco permeabili nei primi cinque metri (terreni misti, argille e argille limose).

Sono più permeabili le sabbie che a fine prova portano al passaggio alle rocce di formazione marina (**RAN 3**) costituito da torbiditi arenaceo pelitiche di colore grigio verdastro, in strati sottili e medi, con prevalenza delle peliti sulle arenarie.

#### **3.1 - Esondabilità**

Il fondo vallivo presenta le seguenti quote nella sezione significativa NNE a valle Dell'area considerata:

- 208 m s.l.m. presso il Molino de' Costi a Nord;
- 206 m s.l.m. sul Tresinaro a Nord;
- 206 m s.l.m. a Nord del Tresinaro.

La sezione di valle interessata da eventuali esondazioni ha quindi una quota media di 206 m s.l.m. con una lunghezza di circa 350 metri.

Considerando un dislivello di circa 9 metri con la quota minima dell'area (215 m s.l.m.) risulta una sezione idraulica di oltre 3.000 m<sup>2</sup>.



La max. piena che può raggiungere il Torrente Tresinaro occuperebbe in altezza solo una piccola parte di tale sezione.

L'area è quindi da considerarsi non esondabile.

#### **Cap. 4 – STABILITA'**

La morfologia dell'area è regolare.

L'area si colloca in posizione morfologica di terrazzo alluvionale al piede di versante destro dell'ampia valle del Torrente Tresinaro.

Il substrato marino (**Formazione di Ranzano** - membro di Varano dè Melegari **RAN 3**) è costituito da torbiditi arenaceo pelitiche di colore grigio verdastro, in strati sottili e medi, con prevalenza delle peliti sulle arenarie.

Lo spessore delle coperture alluvionali ricavato dalle prove penetrometriche statiche, di 5,60 m in CPT1, di 5,00 m in CPT2, di 6,40 m in CPT3.

La variazione litostratigrafica è regolare, con spessori simili di coperture sciolte compatte e litologicamente omogenee.

Il piede di versante, in particolare esaminato, e l'intero versante, in generale, sono in condizione di **buona stabilità**.

#### **Cap. 5 - PROVE DIRETTE – Indagini Geognostiche**

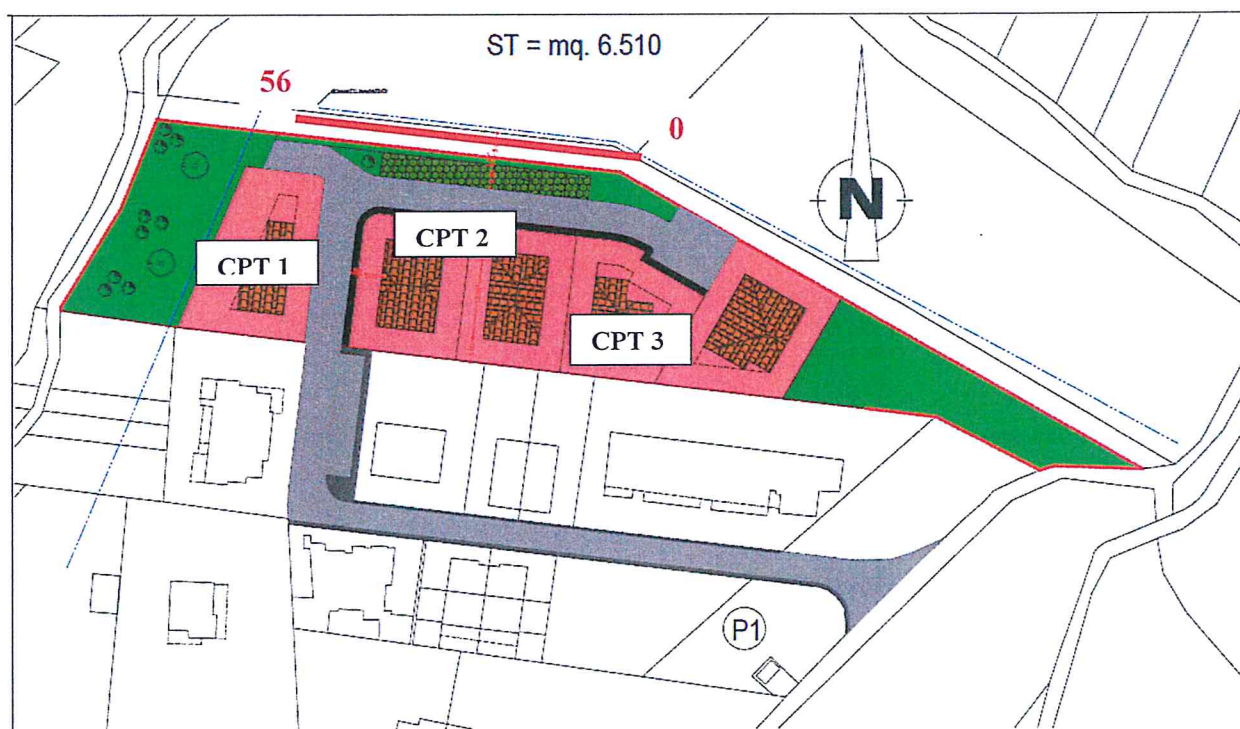
Per la determinazione delle caratteristiche lito-stratigrafiche e geotecniche locali del primo sottosuolo sono stati eseguiti tre prove penetrometriche statiche (**CPT1 – CPT2 e CPT3**).

Le prove penetrometriche statiche e l'indagine geofisica **MASW** sono ubicate nella planimetria di proposta urbanistica (Tavola n:3) di seguito riportata.

### Ubicazione Masw

0 Punto di Shot

56 ubicazione geofono 24



## 5.1 – CPT1 Stratigrafie e resistenze del terreno

La stratigrafia delle prova **CPT1** evidenzia la presenza di alternanze di terreni misti, argille e argille limose con alti valori di resistenza alla punta fino a 5,40 m..

Segue uno strato di sabbia dello spessore di 20 cm.

Si va a rifiuto a 5,60 metri dopo l'ingresso nel substrato pelitico arenaceo.

Non si è rilevata presenza di acqua.

Seguono il grafico della prova e i tabulati di calcolo.

### ANALISI PROVE STATICHE CON PENETROMETRO MECCANICO [CPT]

Committente: dott Melli

Localita': Baiso – Via Borgo Visignolo

Data: 24/01/2017

Passo delle misure = 20.00 cm.

#### PROVA PENETROMETRICA STATICA n. 1

#### VALORI DI RESISTENZE MISURATI

z	Rp	Rl
0.4	12	28
0.6	16	36
0.8	23	61
1.0	65	113
1.2	53	90
1.4	44	81
1.6	44	90
1.8	45	111
2.0	75	160
2.2	89	156
2.4	69	110
2.6	182	230
2.8	162	230
3.0	122	260
3.2	137	234
3.4	26	76
3.6	21	58
3.8	27	49
4.0	15	38



4.2	19	39
4.4	40	71
4.6	25	70
4.8	29	52
5.0	27	46
5.2	21	45
5.4	23	52
5.6	250	299

z = profondità

Rp = resistenza di punta (bar)

Rl = resistenza d'attrito (bar)

#### VALORI CALCOLATI

z	Qc	Fs	Rf	L	g	sv	sv'	Uo
0.4	1.2	106.7	8.89	Torba	17.5	7.3	7.3	0.0
0.6	1.6	133.3	8.33	Torba	17.5	10.8	10.8	0.0
0.8	2.3	253.3	11.01	Torba	17.5	14.3	14.3	0.0
1.0	6.5	320.0	4.92	Argilla limosa	18.5	18.0	18.0	0.0
1.2	5.3	246.7	4.65	Argilla limosa	18.5	21.7	21.7	0.0
1.4	4.4	246.7	5.61	Argilla	18.0	25.3	25.3	0.0
1.6	4.4	306.7	6.97	Argilla	18.0	28.9	28.9	0.0
1.8	4.5	440.0	9.78	Argilla	18.0	32.5	32.5	0.0
2.0	7.5	566.7	7.56	Argilla	18.0	36.1	36.1	0.0
2.2	8.9	446.7	5.02	Argilla limosa	18.5	39.8	39.8	0.0
2.4	6.9	273.3	3.96	Argilla limosa	18.5	43.5	43.5	0.0
2.6	18.2	320.0	1.76	Sabbia	20.0	47.5	47.5	0.0
2.8	16.2	453.3	2.80	Sabbia limosa	19.5	51.4	51.4	0.0
3.0	12.2	920.0	7.54	Argilla	18.0	55.0	55.0	0.0
3.2	13.7	646.7	4.72	Argilla limosa	18.5	58.7	58.7	0.0
3.4	2.6	333.3	12.82	Argilla	18.0	62.3	62.3	0.0
3.6	2.1	246.7	11.75	Torba	17.5	65.8	65.8	0.0
3.8	2.7	146.7	5.43	Argilla	18.0	69.4	69.4	0.0
4.0	1.5	153.3	10.22	Torba	17.5	72.9	72.9	0.0
4.2	1.9	133.3	7.02	Torba	17.5	76.4	76.4	0.0
4.4	4.0	206.7	5.17	Argilla limosa	18.5	80.1	80.1	0.0
4.6	2.5	300.0	12.00	Argilla	18.0	83.7	83.7	0.0
4.8	2.9	153.3	5.29	Argilla	18.0	87.3	87.3	0.0
5.0	2.7	126.7	4.69	Argilla limosa	18.5	91.0	91.0	0.0
5.2	2.1	160.0	7.62	Torba	17.5	94.5	94.5	0.0
5.4	2.3	193.3	8.41	Torba	17.5	98.0	98.0	0.0
5.6	25.0	326.7	1.31	Sabbia	20.0	102.0	102.0	0.0

z = profondità (m)

Qc = resistenza alla punta (MPa)

Fs = resistenza d'attrito (kPa)

Rf = rapporto delle resistenza (%)

L = litologia (criterio di Schmertmann, 1976)

g = peso di volume (kN/mc)

sv = tensione litostatica totale (kPa)

sv' = tensione litostatica effettiva (kPa)

Uo = pressione nei pori (kPa)

# CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	L	CF	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
0.4	Torba	23			47.7	30	9.8	0.185	147.0	220
0.6	Torba	23			63.6	30	13.1	0.177	197.0	235
0.8	Torba	26			91.4	30	18.8	0.213	282.0	256
1.0	Argilla limosa	12			259.3	30	53.4	0.132	801.0	325
1.2	Argilla limosa	14			211.1	30	43.5	0.128	653.0	310
1.4	Argilla	18			175	30	36	0.141	540.0	297
1.6	Argilla	21			174.8	30	36	0.159	540.0	297
1.8	Argilla	26			178.7	30	36.8	0.197	552.0	298
2.0	Argilla	20			298.6	30	61.5	0.167	923.0	335
2.2	Argilla limosa	15			354.4	30	73	0.133	1095.0	349
2.4	Argilla limosa	15			274.3	30	56.5	0.119	848.0	329
2.6	Sabbia	5	70	41.5		7.9	44.1		262.0	411
2.8	Sabbia limosa	8	66	41.1		6.8	42.1		269.0	400
3.0	Argilla	19			485.8	30	100.1	0.167	1502.0	375
3.2	Argilla limosa	14			545.7	30	112.5	0.129	1688.0	385
3.4	Argilla	42			101.5	12.4	20.9	0.237	314.0	263
3.6	Torba	45			81.4	9.4	16.7	0.223	251.0	250
3.8	Argilla	31			105.2	11.5	21.7	0.139	326.0	265
4.0	Torba	50			57.1	5.9	11.7	0.202	176.0	232
4.2	Torba	41			72.9	7.2	15	0.160	225.0	245
4.4	Argilla limosa	28			156.8	14.9	32.3	0.135	484.0	290
4.6	Argilla	46			96.7	8.8	19.9	0.226	299.0	261
4.8	Argilla	33			112.5	9.8	23.2	0.137	348.0	270
5.0	Argilla limosa	33			104.4	8.7	21.5	0.129	323.0	265
5.2	Torba	44			80.2	6.4	16.5	0.168	248.0	250
5.4	Torba	44			88.1	6.8	18.1	0.178	272.0	256
5.6	Sabbia	5	71	39.7		4.7	59.6		477.0	442

z = profondità (m)

CF = contenuto di fine [passante al 200] (%)

Id = indice di densità (%)

f = angolo d'attrito (°)

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)

OCR = grado di sovraconsolidamento

M = modulo confinato (MPa)

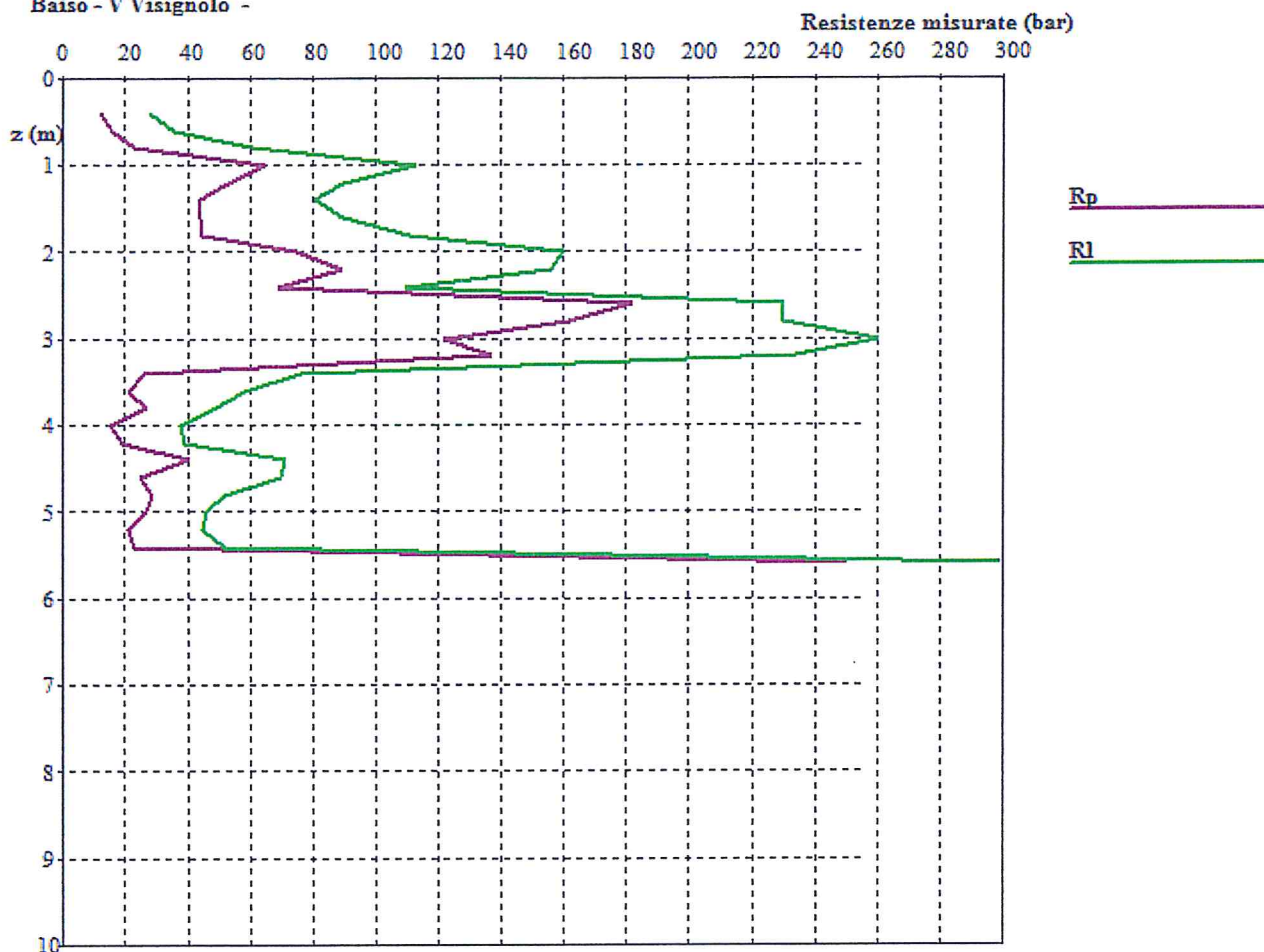
Cc = indice di compressibilità (-)

Go = modulo di taglio (MPa)

Vs = velocità onde di taglio (m/s)

# Prova Penetrometrica Statica 1

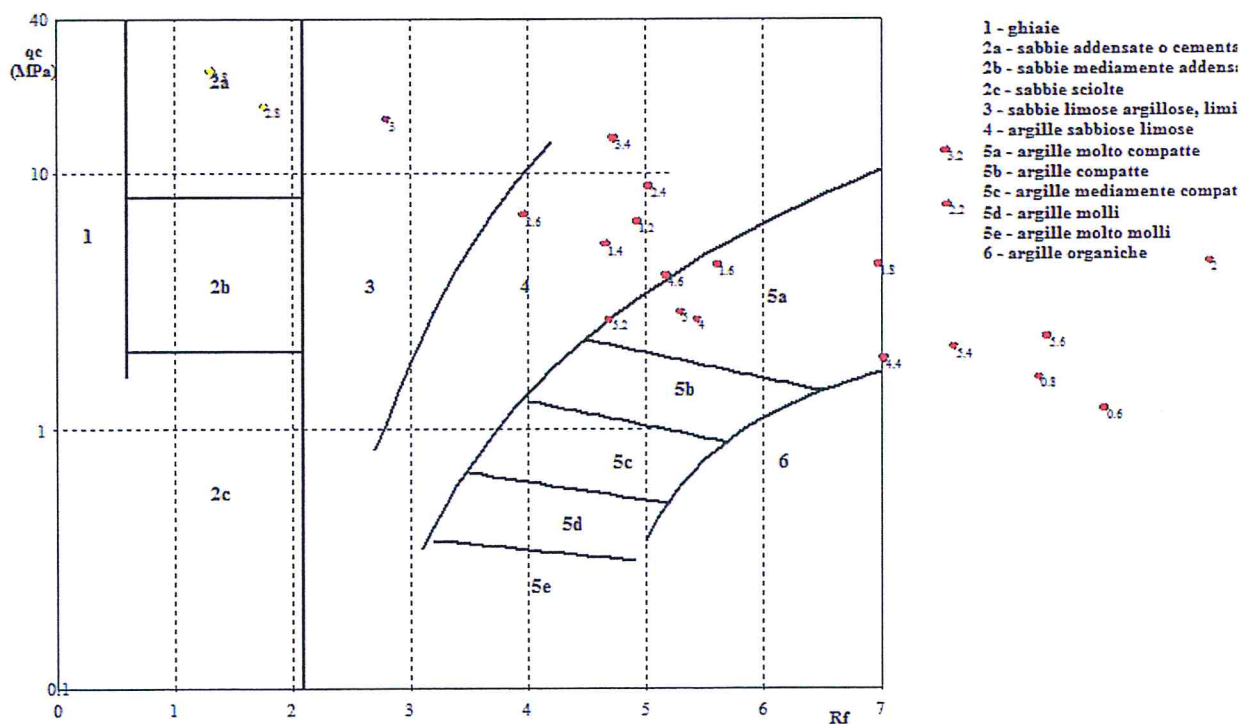
Baiso - V Visignolo -



## Prova Penetrometrica Statica 1

Baiso - V Visignolo -

Criterio di identificazione di Schmertmann, 1978





## 5.2 – CPT2 Stratigrafie e resistenze del terreno

La stratigrafia delle prova **CPT1** evidenzia la presenza di alternanze di terreni misti, argille e argille limose al fondo con alti valori di resistenza alla punta fino a 5,00 m..

Seguono alternanze di sabbie e argille limose per un metro.

Si va a rifiuto a 6,00 metri dopo l'ingresso nel substrato pelitico arenaceo.

Non si è rilevata presenza di acqua.

Seguono il grafico della prova e i tabulati di calcolo.

### ANALISI PROVE STATICHE CON PENETROMETRO MECCANICO [CPT]

Committente: dott Melli

Localita': Baiso - V Visignolo

Data: 24/01/2017

Passo delle misure = 20.00 cm.

### PROVA PENETROMETRICA STATICA n. 2

#### VALORI DI RESISTENZE MISURATI

z	Rp	Rl
0.4	12	32
0.6	17	36
0.8	22	45
1.0	37	66
1.2	42	79
1.4	35	79
1.6	33	82
1.8	36	86
2.0	24	75
2.2	26	60
2.4	28	60
2.6	26	57
2.8	25	53
3.0	22	52
3.2	22	51
3.4	23	46
3.6	20	39
3.8	21	46
4.0	28	55
4.2	26	60

4.4	23	52
4.6	25	54
4.8	33	63
5.0	23	56
5.2	153	192
5.4	139	232
5.6	148	166
5.8	115	220
6.0	250	299

z = profondità

Rp = resistenza di punta (bar)

Rl = resistenza d'attrito (bar)

#### VALORI CALCOLATI

z	Qc	Fs	Rf	L	g	sv	sv'	Uo
0.4	1.2	133.3	11.11	Torba	17.5	7.3	7.3	0.0
0.6	1.7	126.7	7.45	Torba	17.5	10.8	10.8	0.0
0.8	2.2	153.3	6.97	Argilla	18.0	14.4	14.4	0.0
1.0	3.7	193.3	5.23	Argilla	18.0	18.0	18.0	0.0
1.2	4.2	246.7	5.87	Argilla	18.0	21.6	21.6	0.0
1.4	3.5	293.3	8.38	Argilla	18.0	25.2	25.2	0.0
1.6	3.3	326.7	9.90	Argilla	18.0	28.8	28.8	0.0
1.8	3.6	333.3	9.26	Argilla	18.0	32.4	32.4	0.0
2.0	2.4	340.0	14.17	Argilla	18.0	36.0	36.0	0.0
2.2	2.6	226.7	8.72	Argilla	18.0	39.6	39.6	0.0
2.4	2.8	213.3	7.62	Argilla	18.0	43.2	43.2	0.0
2.6	2.6	206.7	7.95	Argilla	18.0	46.8	46.8	0.0
2.8	2.5	186.7	7.47	Argilla	18.0	50.4	50.4	0.0
3.0	2.2	200.0	9.09	Torba	17.5	53.9	53.9	0.0
3.2	2.2	193.3	8.79	Torba	17.5	57.4	57.4	0.0
3.4	2.3	153.3	6.67	Argilla	18.0	61.0	61.0	0.0
3.6	2.0	126.7	6.33	Argilla	18.0	64.6	64.6	0.0
3.8	2.1	166.7	7.94	Torba	17.5	68.1	68.1	0.0
4.0	2.8	180.0	6.43	Argilla	18.0	71.7	71.7	0.0
4.2	2.6	226.7	8.72	Argilla	18.0	75.3	75.3	0.0
4.4	2.3	193.3	8.41	Torba	17.5	78.8	78.8	0.0
4.6	2.5	193.3	7.73	Argilla	18.0	82.4	82.4	0.0
4.8	3.3	200.0	6.06	Argilla	18.0	86.0	86.0	0.0
5.0	2.3	220.0	9.57	Torba	17.5	89.5	89.5	0.0
5.2	15.3	260.0	1.70	Sabbia	20.0	93.5	93.5	0.0
5.4	13.9	620.0	4.46	Argilla limosa	18.5	97.2	97.2	0.0
5.6	14.8	120.0	0.81	Sabbia	20.0	101.2	101.2	0.0
5.8	11.5	700.0	6.09	Argilla limosa	18.5	104.9	104.9	0.0
6.0	25.0	326.7	1.31	Sabbia	20.0	108.9	108.9	0.0

z = profondità (m)

Qc = resistenza alla punta (MPa)

Fs = resistenza d'attrito (kPa)

Rf = rapporto delle resistenze (%)

L = litologia (criterio di Schmertmann, 1976)

g = peso di volume (kN/mc)

sv = tensione litostatica totale (kPa)

sv' = tensione litostatica effettiva (kPa)

Uo = pressione nei pori (kPa)



# CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	L	CF	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
0.4	Torba	26			47.7	30	9.8	0.214	147.0	220
0.6	Torba	22			67.59	30	13.9	0.166	209.0	238
0.8	Argilla	21			87.4	30	18	0.159	270.0	253
1.0	Argilla	16			147.3	30	30.3	0.136	455.0	285
1.2	Argilla	18			167.1	30	34.4	0.145	516.0	294
1.4	Argilla	24			139	30	28.6	0.178	429.0	281
1.6	Argilla	28			130.8	30	26.9	0.198	404.0	278
1.8	Argilla	27			142.69	30	29.4	0.190	441.0	283
2.0	Argilla	38			94.6	20	19.5	0.255	293.0	258
2.2	Argilla	31			102.4	19.7	21.1	0.182	317.0	263
2.4	Argilla	30			110.3	19.4	22.7	0.168	341.0	267
2.6	Argilla	32			102.1	16.6	21	0.172	315.0	263
2.8	Argilla	32			98	14.8	20.2	0.166	303.0	261
3.0	Torba	38			85.8	12.1	17.7	0.187	266.0	253
3.2	Torba	38			85.7	11.3	17.6	0.183	264.0	253
3.4	Argilla	34			89.6	11.1	18.4	0.155	276.0	256
3.6	Argilla	36			77.4	9.1	15.9	0.151	239.0	247
3.8	Torba	39			81.3	9.1	16.7	0.172	251.0	250
4.0	Argilla	33			109.1	11.6	22.5	0.152	338.0	267
4.2	Argilla	39			101	10.2	20.8	0.182	312.0	263
4.4	Torba	41			88.8	8.5	18.3	0.178	275.0	256
4.6	Argilla	39			96.7	8.9	19.9	0.169	299.0	261
4.8	Argilla	33			128.6	11.3	26.5	0.147	398.0	278
5.0	Torba	45			88.4	7.5	18.2	0.194	273.0	256
5.2	Sabbia	8	58	39.1		3.7	45.6		398.0	395
5.4	Argilla limosa	17			552.1	30	113.8	0.126	1707.0	387
5.6	Sabbia	5	57	38.7		3.3	44.9		416.0	392
5.8	Argilla limosa	22			455.8	30	94	0.147	1410.0	370
6.0	Sabbia	5	70	39.5		4.4	60.6		499.0	442

z = profondità (m)

CF = contenuto di fine [passante al 200] (%)

Id = indice di densità (%)

f = angolo d'attrito (°)

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)

OCR = grado di sovraconsolidamento

M = modulo confinato (MPa)

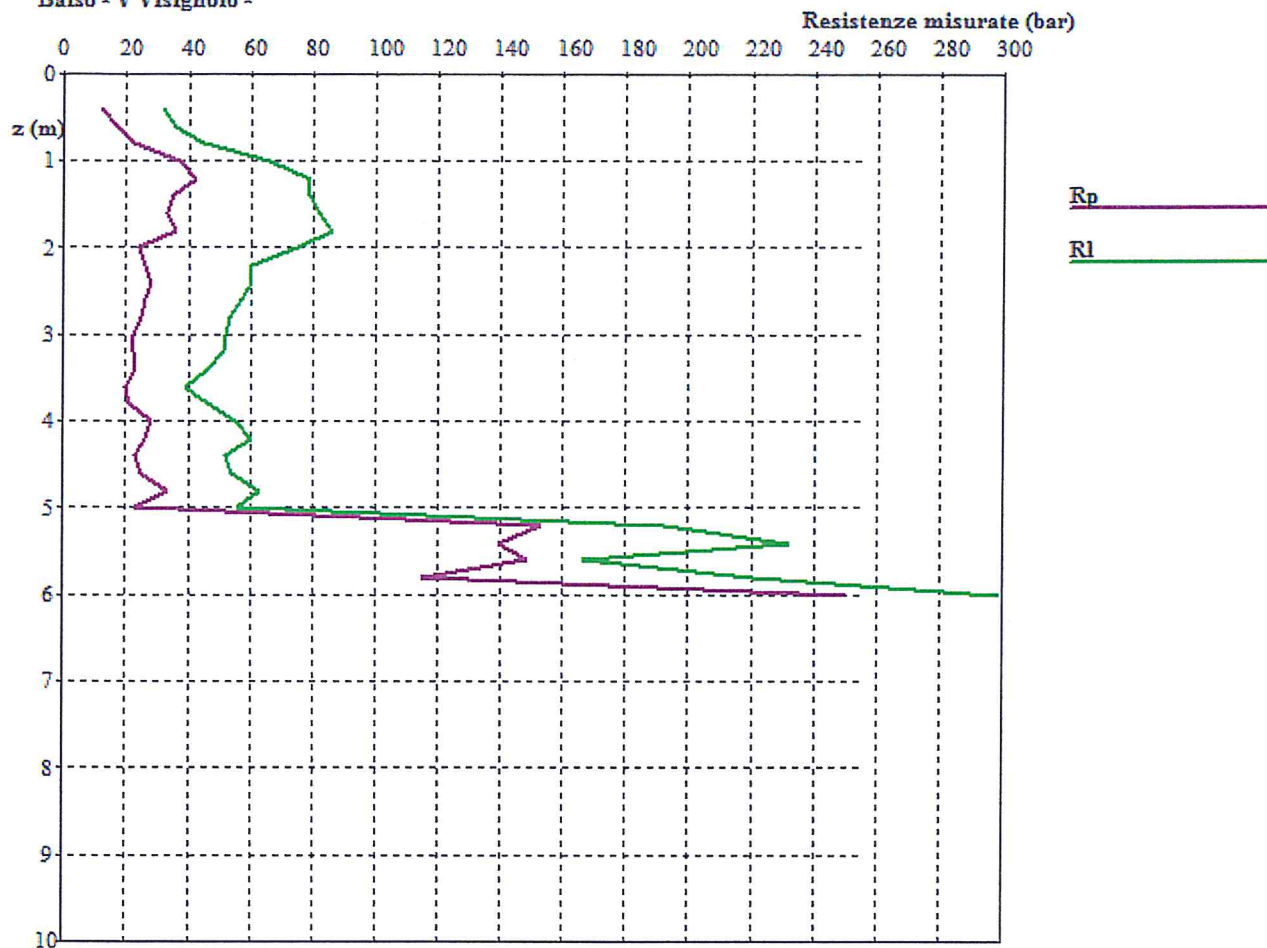
Cc = indice di compressibilità (-)

Go = modulo di taglio (MPa)

Vs = velocità onde di taglio (m/s)

## Prova Penetrometrica Statica 2

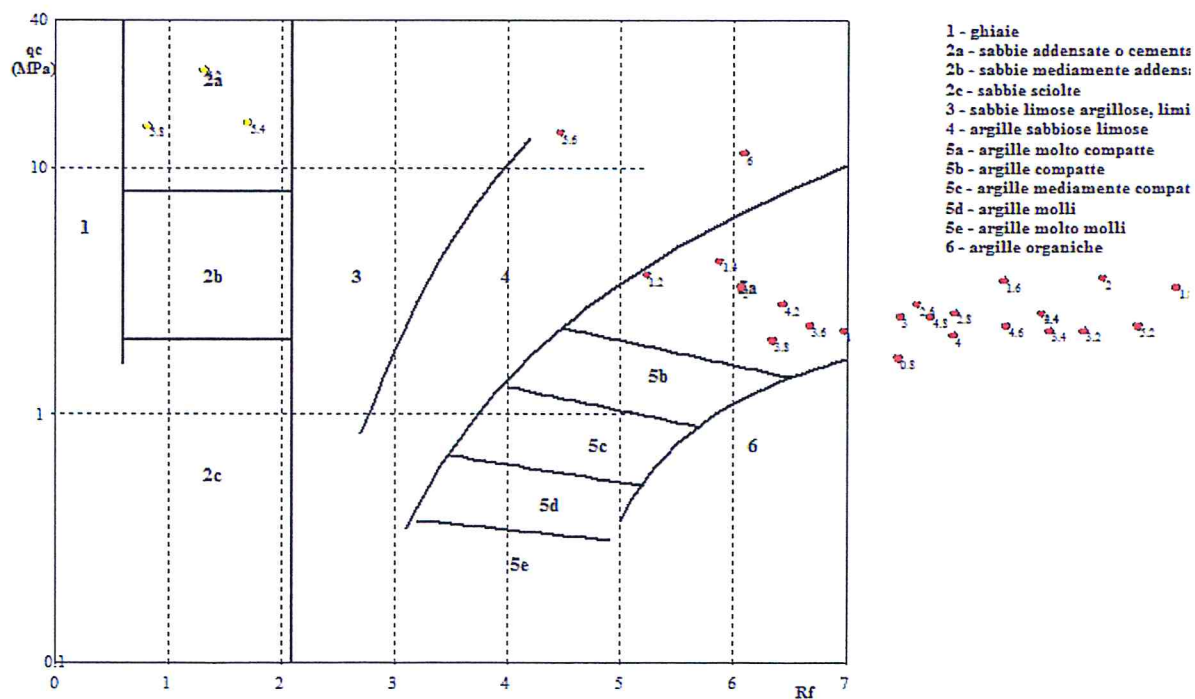
Baiso - V Visignolo -



## Prova Penetrometrica Statica 2

Baiso - V Visignolo -

Criterio di identificazione di Schmertmann, 1978



### 5.3 – CPT3 Stratigrafie e resistenze del terreno

La stratigrafia delle prova **CPT3** evidenzia la presenza di alternanze di terreni misti, argille e argille limose con alti valori di resistenza alla punta fino a 6,40 m..

Segue uno strato di sabbia dello spessore di 20.

Si va a rifiuto a 6,60 metri dopo l'ingresso nel substrato pelitico arenaceo.

Non si è rilevata presenza di acqua.

Seguono il grafico della prova e i tabulati di calcolo.

#### ANALISI PROVE STATICHE CON PENETROMETRO MECCANICO [CPT]

Committente: dott Melli

Localita': Baiso - V Visignolo

Data: 24/01/2017

Passo delle misure = 20.00 cm.

#### PROVA PENETROMETRICA STATICA n. 3

#### VALORI DI RESISTENZE MISURATI

z	Rp	Rl
0.4	15	36
0.6	20	41
0.8	14	33
1.0	16	42
1.2	20	46
1.4	24	54
1.6	27	60
1.8	38	84
2.0	35	94
2.2	34	83
2.4	31	74
2.6	40	80
2.8	21	57
3.0	22	59
3.2	21	51
3.4	25	53
3.6	35	66
3.8	25	52
4.0	39	76
4.2	37	71



4.4	29	51
4.6	29	54
4.8	29	50
5.0	25	55
5.2	30	56
5.4	22	43
5.6	16	40
5.8	21	37
6.0	19	32
6.2	26	51
6.4	44	67
6.6	250	299

z = profondità

Rp = resistenza di punta (bar)

Rl = resistenza d'attrito (bar)

#### VALORI CALCOLATI

z	Qc	Fs	Rf	L	g	sv	sv'	Uo
0.4	1.5	140.0	9.33	Torba	17.5	7.3	7.3	0.0
0.6	2.0	140.0	7.00	Argilla	18.0	10.9	10.9	0.0
0.8	1.4	126.7	9.05	Torba	17.5	14.4	14.4	0.0
1.0	1.6	173.3	10.83	Torba	17.5	17.9	17.9	0.0
1.2	2.0	173.3	8.67	Torba	17.5	21.4	21.4	0.0
1.4	2.4	200.0	8.33	Argilla	18.0	25.0	25.0	0.0
1.6	2.7	220.0	8.15	Argilla	18.0	28.6	28.6	0.0
1.8	3.8	306.7	8.07	Argilla	18.0	32.2	32.2	0.0
2.0	3.5	393.3	11.24	Argilla	18.0	35.8	35.8	0.0
2.2	3.4	326.7	9.61	Argilla	18.0	39.4	39.4	0.0
2.4	3.1	286.7	9.25	Argilla	18.0	43.0	43.0	0.0
2.6	4.0	266.7	6.67	Argilla	18.0	46.6	46.6	0.0
2.8	2.1	240.0	11.43	Torba	17.5	50.1	50.1	0.0
3.0	2.2	246.7	11.21	Torba	17.5	53.6	53.6	0.0
3.2	2.1	200.0	9.52	Torba	17.5	57.1	57.1	0.0
3.4	2.5	186.7	7.47	Argilla	18.0	60.7	60.7	0.0
3.6	3.5	206.7	5.90	Argilla	18.0	64.3	64.3	0.0
3.8	2.5	180.0	7.20	Argilla	18.0	67.9	67.9	0.0
4.0	3.9	246.7	6.32	Argilla	18.0	71.5	71.5	0.0
4.2	3.7	226.7	6.13	Argilla	18.0	75.1	75.1	0.0
4.4	2.9	146.7	5.06	Argilla	18.0	78.7	78.7	0.0
4.6	2.9	166.7	5.75	Argilla	18.0	82.3	82.3	0.0
4.8	2.9	140.0	4.83	Argilla	18.0	85.9	85.9	0.0
5.0	2.5	200.0	8.00	Argilla	18.0	89.5	89.5	0.0
5.2	3.0	173.3	5.78	Argilla	18.0	93.1	93.1	0.0
5.4	2.2	140.0	6.36	Argilla	18.0	96.7	96.7	0.0
5.6	1.6	160.0	10.00	Torba	17.5	100.2	100.2	0.0
5.8	2.1	106.7	5.08	Argilla	18.0	103.8	103.8	0.0
6.0	1.9	86.7	4.56	Argilla	18.0	107.4	107.4	0.0
6.2	2.6	166.7	6.41	Argilla	18.0	111.0	111.0	0.0
6.4	4.4	153.3	3.48	Argilla limosa	18.5	114.7	114.7	0.0
6.6	25.0	326.7	1.31	Sabbia	20.0	118.7	118.7	0.0

z = profondità (m)

Qc = resistenza alla punta (MPa)

Fs = resistenza d'attrito (kPa)

Rf = rapporto delle resistenza (%)

L = litologia (criterio di Schmertmann, 1976)

g = peso di volume (kN/mc)

sv = tensione litostatica totale (kPa)

sv' = tensione litostatica effettiva (kPa)

Uo = pressione nei pori (kPa)

#### CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	L	CF	Id	f	Su	OCR	M	Cc	Go	Vs
0.4	Torba	22			59.7	30	12.3	0.191	185.0	232
0.6	Argilla	20			79.59	30	16.4	0.160	246.0	247
0.8	Torba	28			55.4	29.3	11.4	0.187	171.0	228
1.0	Torba	31			63.3	26.9	13	0.211	195.0	235
1.2	Torba	28			79.09	28.1	16.3	0.182	245.0	247
1.4	Argilla	27			95	28.9	19.5	0.177	293.0	258
1.6	Argilla	27			106.9	28.4	22	0.175	330.0	265
1.8	Argilla	25			150.69	30	31	0.174	465.0	287
2.0	Argilla	31			138.6	29.5	28.5	0.216	428.0	281
2.2	Argilla	30			134.4	26	27.7	0.194	416.0	280
2.4	Argilla	31			122.3	21.6	25.2	0.189	378.0	274
2.6	Argilla	25			158.1	25.8	32.6	0.155	489.0	290
2.8	Torba	41			82	12.4	16.9	0.219	253.0	250
3.0	Torba	41			85.9	12.2	17.7	0.216	266.0	253
3.2	Torba	40			81.7	10.9	16.8	0.193	252.0	250
3.4	Argilla	35			97.6	12.2	20.1	0.166	302.0	261
3.6	Argilla	28			137.4	16.2	28.3	0.145	425.0	281
3.8	Argilla	36			97.3	10.9	20	0.162	300.0	261
4.0	Argilla	29			153.1	16.3	31.5	0.151	473.0	289
4.2	Argilla	30			145	14.7	29.9	0.148	449.0	285
4.4	Argilla	31			112.9	10.9	23.2	0.134	348.0	270
4.6	Argilla	33			112.7	10.4	23.2	0.143	348.0	270
4.8	Argilla	32			112.6	9.9	23.2	0.131	348.0	270
5.0	Argilla	41			96.4	8.2	19.8	0.173	297.0	261
5.2	Argilla	35			116.3	9.5	23.9	0.143	359.0	272
5.4	Argilla	41			84.1	6.6	17.3	0.151	260.0	253
5.6	Torba	54			60	4.5	12.3	0.200	185.0	235
5.8	Argilla	40			79.8	5.8	16.4	0.134	246.0	250
6.0	Argilla	41			71.7	5	14.7	0.127	221.0	245
6.2	Argilla	41			99.6	6.8	20.5	0.152	308.0	263
6.4	Argilla limosa	26			171.4	11.3	35.3	0.113	530.0	297
6.6	Sabbia	5	69	39.3		4.1	61.7		529.0	442

z = profondità (m)

CF = contenuto di fine [passante al 200] (%)

Id = indice di densità (%)

f = angolo d'attrito (°)

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)

OCR = grado di sovraconsolidamento

M = modulo confinato (MPa)

Cc = indice di compressibilità (-)

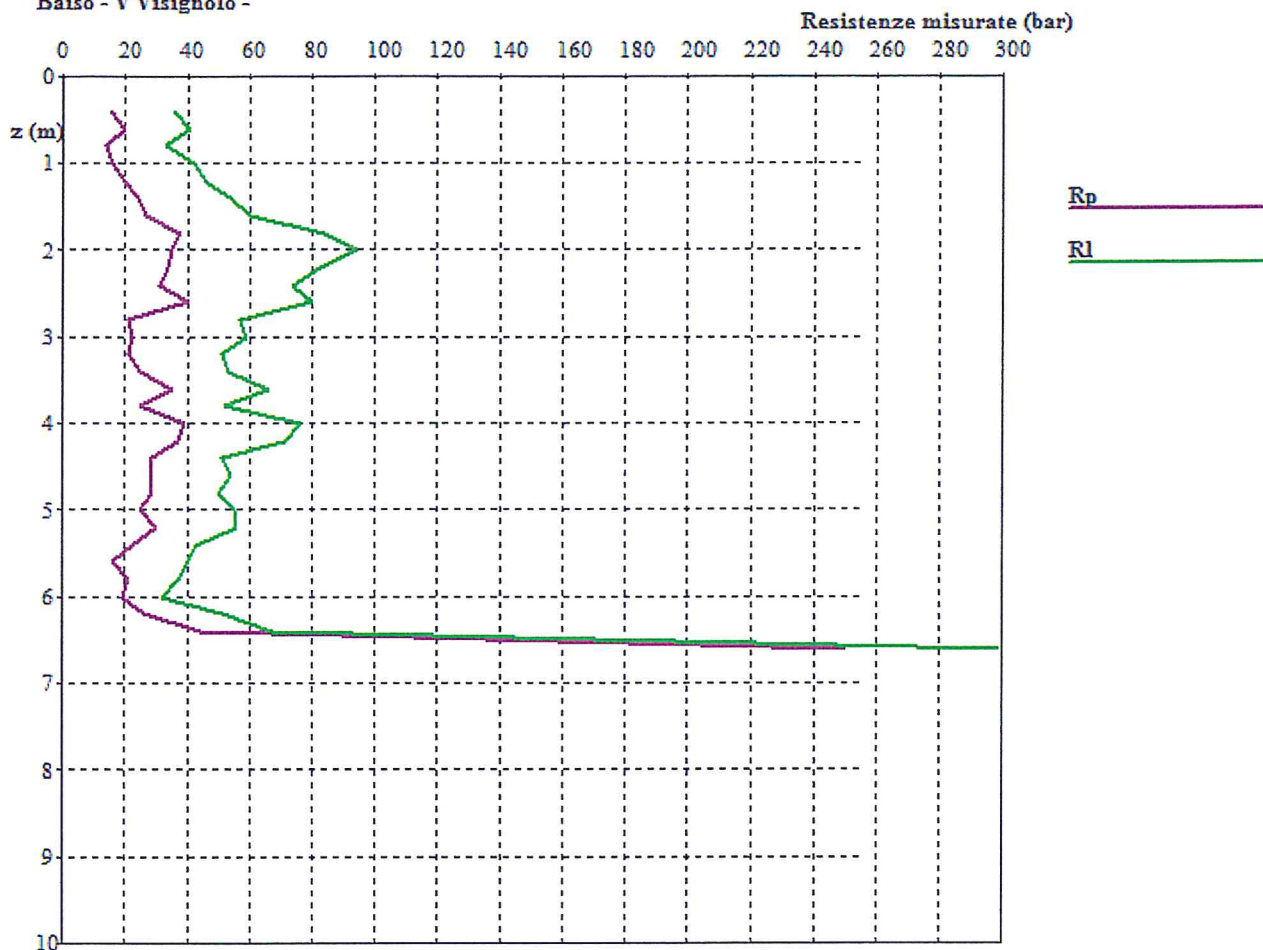
Go = modulo di taglio (MPa)

Vs = velocità onde di taglio (m/s)



### Prova Penetrometrica Statica 3

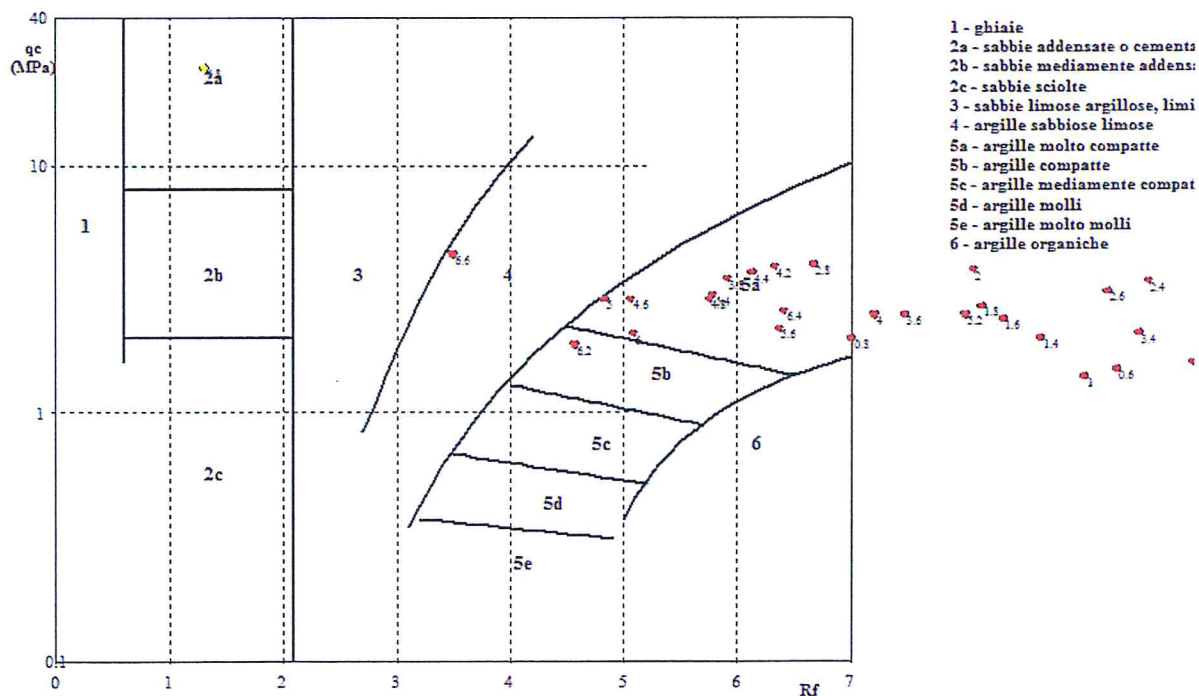
Baiso - V Visignolo -



### Prova Penetrometrica Statica 3

Baiso - V Visignolo -

Criterio di identificazione di Schmertmann, 1978



## Cap. 6 - MODELLAZIONE SISMO STRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO

Per la modellazione sismica del terreno di fondazione è stato eseguito uno  
stendimento sismico attivo MASW per la valutazione della  $V_{S30}$  ovvero della  
velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri di sottosuolo.

### 6.1 MASW

**TECNOGEOFISICA S.n.c.**

**COMMITTENTE:**

Dr. Geol. Paolo Melli  
Via Ibarruri, 9  
42122 Reggio Emilia

**COMMESSA:**

Indagine geofisica  
Misura  $V_{S30}$  con metodologia MASW

**LOCALITA':**

Visignolo  
Baiso (RE)

**TITOLO:**

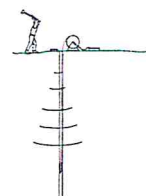
Relazione Tecnica

**DATA:**

Gennaio 2017

Via S. Cattania, 1/a  
41012 Carpi (MO)

[info@tecnogeofisica.com](mailto:info@tecnogeofisica.com)  
[www.tecnogeofisica.com](http://www.tecnogeofisica.com)



## INDAGINE GEOFISICA

### Premessa

Nel mese di Gennaio 2017, su commissione di:

Dr. Geol. Paolo Melli

Via Ibarruri, 9 - 42122 Reggio Emilia

è stata effettuata una prova sismica tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves) per la classificazione sismica di un tipo di suolo (valutazione del parametro  $V_{s30}$ ), in località Visignolo si Baiso (RE), in merito allo studio di lottizzazione di un'area.

La prova è stata ubicata come indicato dalla committenza.

L'indagine MASW è indirizzata a misurare le velocità delle onde sismiche ( $V_s$ ) del sottosuolo e la valutazione del parametro  $V_{s30}$  come prescritto da:

- *Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003*
- *D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni"*.

Si ricorda che la normativa richiede l'azione sismica di progetto sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. All'interno del territorio nazionale sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore  $a_g$  dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità ( $v$ . Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche). La classificazione del suolo (tabella 1) è invece convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $V_{s_i}$  e  $h_i$  sono la velocità delle onde di taglio e lo spessore dello stato  $i$ -esimo.

Suolo	Descrizione geotecnica	$V_{s30}$ (m/sec)
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m	>800
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> 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 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	360-800 ( $N_{spt} > 50$ ) ( $C_u > 250$ KPa)
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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 $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	180-360 ( $15 < N_{spt} < 50$ ) ( $70 < C_u < 250$ KPa)
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	<180 ( $N_{spt} < 15$ ) ( $C_u < 70$ KPa)
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s)	
<b>S1</b>	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < C_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	<100 ( $10 < C_u < 20$ KPa)
<b>S2</b>	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	

Tabella 1: classificazione del tipo di suolo secondo le "Nuove norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14/01/2008 Tabelle 3.2.II (categorie di suolo) e 3.2.III (categorie di suolo aggiuntive) mod.



### **Caratteristiche attrezzatura**

Le indagini in sito sono state eseguite utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. 16SG24 a 24 canali. Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-processore:	Pentium 200 MMx Intel,
-Trattamento dati:	Floating Point 32-Bit,
-Ambiente operativo:	Windows 3.11,
-Canali:	24
-Display:	VGA colori LCD TFT 10,4"
-Supporto memorizz.:	Hard Disk 2,1 Gb
-Risoluzione acquisizione:	6/24 bit
-Sonde ambiente interne:	temperatura, umidità relativa
-Formato dati:	Pasi (.osv) e SEG-2 (.dat),
-Durata acquisizioni:	Rifrazione, 32÷2048 ms      Riflessione, 32÷16384 ms,
-Tempi campionamento:	da 16 µs a 2 ms
-Filtri digitali:	Passa alto (25÷400 Hz)      Passa Basso (100÷250 Hz)
	Notch (50÷180 Hz)
-Attivazione filtri:	in acquisizione o manualmente
-Trigger:	inibizione impulsi dovuti a rimbalzi

#### **Altra strumentazione:**

- 24 geofoni da 4,5 Hz
- due cavi con lunghezza 65 m l'uno per collegare in serie i geofoni
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm su cui battere, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori.

### **Metodologia d'indagine MASW**

L'indagine sismica di tipo MASW, consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame in modo da ottenere una corretta caratterizzazione della categoria sismica del sottosuolo dell'area in oggetto ( $V_{s30}$ ). L'indagine sismica adottata, Masw (in sismica attiva) è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh in metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o inversioni di velocità identificabili con difficoltà e/o valutabili con costosi lunghi ed impegnativi metodi sismici in foro es. Cross-Hole e Down-Hole).

La tecnica sismica Masw, è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di Vs per caratterizzazione sismica del sito (NTC-08 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009) e risulta migliore per la caratterizzazione del primo sottosuolo; le tecniche basate su utilizzo di registrazioni di microtrempi di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono caratterizzare infatti il sottosuolo più in profondità, da diverse decine, sino alle volte, anche a centinaia di metri (Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009) ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie che invece più ci interessa. Inoltre diversi autori (Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008), segnalano che sistemi d'acquisizione in sismica passiva sono poco idonei per terreni alluvionali, in quanto l'utilizzo di tecniche passive, è possibile o consigliabile nel caso di:

- intenso “rumore antropico” (che impedisce o maschera l’acquisizione dei dati in sismica attiva)
- discreto contrasto di impedenza sismica ( $>2,5-3$ ) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante
- è Importante l’interramento del sensore sismico passivo (per migliorare l’accoppiamento sensore-terreno), quindi altri autori (*Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002*) consigliano di evitare terreni caratterizzati da: erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche, ecc.

Valutando le sopracitate motivazioni per caratterizzare il sottosuolo dal punto di vista del profilo Vs/profondità è stata realizzata una prospezione Masw, (rilevazione onde di Rayleigh - tecnica in sismica attiva).

Dal punto di vista operativo l’indagine è stata eseguita stendendo lungo una linea 24 ricevitori (geofoni), ad una distanza intergeofonica costante ed energizzando ad una estremità dello stendimento con una mazza su una piastra di alluminio. La distanza tra il punto di energizzazione e il primo geofono è denominata “offset”.

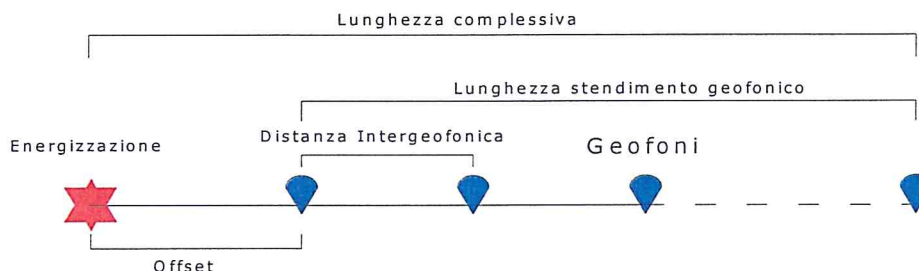


Fig.2 Schema illustrativo prova Masw

La linea Masw eseguita, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta (Compreso il punto di shot) la con geometria come sotto indicato:

➤ Numero geofoni	24
➤ Distanza Intergeofonica	2,0 m
➤ Lunghezza stendimento geofonico	46 m
➤ Distanza punto di shot da ultimo geofono “offset”	10 m
➤ Lunghezza complessiva	56 m

Si ricorda che data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz), la tecnica di acquisizione per onde di superficie necessita di geofoni (ad asse verticale) con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

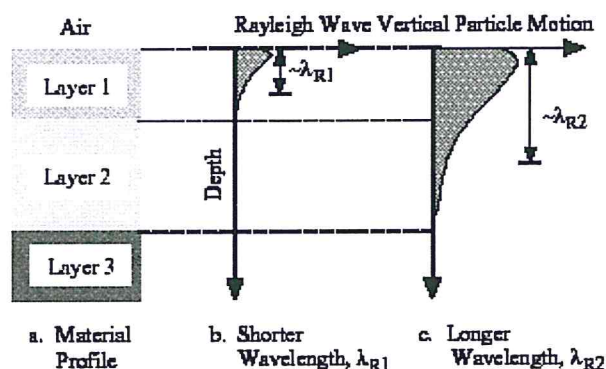
Quindi le basi teoriche della tecnica di Acquisizione delle Masw, (analisi ed elaborazione delle onde di superficie di Rayleigh) sono completamente diverse dalle onde P od S degli stendimenti di simica a riflessione o rifrazione). Perciò nell’acquisizione con tecnica Masw, non è possibile caratterizzare la tecnica con un classico coefficiente geometrico che esprime la profondità di investigazione in funzione della lunghezza della stesa sismica, (come nella riflessione o nella rifrazione), ove infatti le metodiche di interpretazione si basano sui tempi di arrivo ai geofoni delle onde riflesse o rifratte (quindi si misurano dei tempi). Nella tecnica Masw non si misurano dei tempi, ma viene eseguita una trattazione spettrale dei sismogrammi e mediante trasformata di



Fourier si restituisce lo spettro del segnale sismico nel dominio frequenza (f) n° d'onda (k) detto anche dominio f-k. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile.

Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,5 m e 3,0 m. (con array a parità di numero di ricevitori un interasse di 3,0 m consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda k; tuttavia si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato).

Viceversa un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda.



La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende più propriamente dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio  $V_s$  e dalla frequenza. (Stokoe II and Santamarina, 2000).

La relazione quindi che meglio consente di valutare la profondità di investigazione di un indagine masw, è legata più che alla dimensione dello stendimento, al valore della  $V_s$  assegnata ad una determinata profondità  $z$  dal piano campagna, calcolata in funzione della lunghezza d'onda, cioè :

$$Z = \frac{\lambda}{(1,5 / 2,0)}$$

Inoltre si evidenzia che:

Con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo, basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh, oggi realizzata mediante approcci multi stazioni, che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo, che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (Prova Sasw - Stoke et al., 1994).

Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica, che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei.

L'onda di Rayleigh, costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione  $V_R \approx 0,9 \div 0,96 V_s$  (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing. Territorio Politecnico di TORINO)

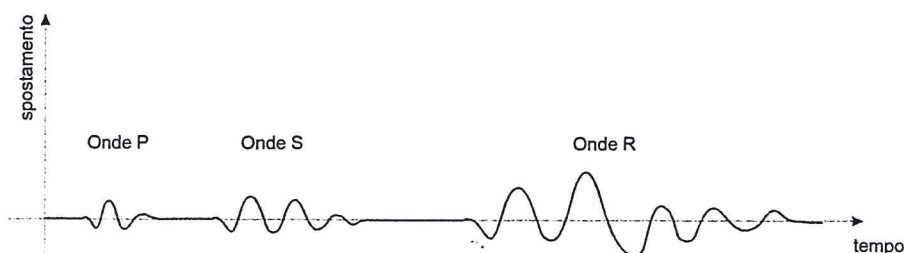


Fig. 3: sismogramma che evidenzia l'arrivo distinto di onde P, S e di Rayleigh (da Crespellani e Facciorusso "Dinamica dei terreni")

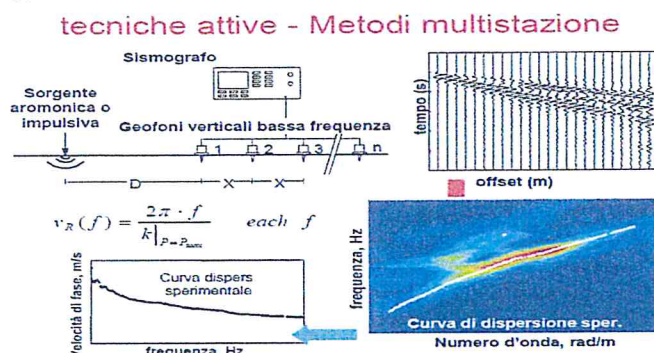
L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (piccolo sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo di Vs viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione ( $V_R$  in funzione della frequenza).

In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza, che varia in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato.

Nella figura sotto esposta (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing. Territorio Politecnico di TORINO) è ben riassunto il processo di acquisizione ed il passaggio alla curva di dispersione:



Gli elementi a bassa frequenza penetrano quindi più in profondità, con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti ad alta frequenza.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici  $V(fase)/f(frequenza)$ , tramite elaborazioni e programmi dedicati, è convertito in profili  $V_s$  / profondità.

### *Interpretazione dati acquisiti*

L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW traggono spunto come sopra accennato dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente d'impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz).

Tale tecnica come d'altronde anche la Masw, è basata sul fatto che osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, è notorio che la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

A tale scopo Park et Alii (1999) hanno studiato e sviluppato il metodo MASW, per sopperire alle difficoltà d'applicazione, della tecnica Sasw in diverse situazioni.

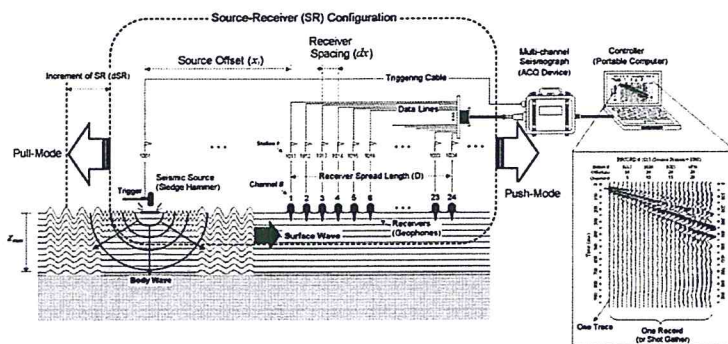
La differenza principale è l'utilizzo simultaneo di 24 (o più) geofoni (sismometri polarizzati verticalmente - frequenza massima 4,5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità  $V_s$ , ricavati dallo studio delle velocità di fase, dei numerosi treni d'onda di Rayleigh che sono registrati ai sismometri.

I geofoni possono essere spaziati da 0,5 sino ad un massimo di circa 2-3 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su di un'unica misura).

Le tracce dei sismogrammi, possono essere salvate nel dominio temporale, permettendo quindi di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da



elevata ampiezza di segnale (la quasi totalità dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).



Dal sismogramma tramite una trasformata nel dominio, **frequenza (f) – numero d'onda (k)**, le tracce cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può così risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione:

$$V_R(f) = f/k.$$

che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame, è ottenuto tramite il software (**SWAN®** vers. 2008) seguito poi da una fase di elaborazione-interpretazione, eseguendo una “analisi spettrale” si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici, secondo il seguente schema:

- Concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ.
- fase di pre-processing per “ottimizzare” i record stessi in modo da migliorare la qualità dell'interpretazione cioè eventuale filtraggio o “pulizia” dei dati grezzi.
- Passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori.
- Estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK.
- Inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma **SWAN®** utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici. In linea generale come in gran parte dei processi di inversione (definiti “try and error”) l'inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito  $\epsilon$  (cioè la differenza fra dato osservato e dato calcolato) è in genere  $< 2-3\%$ . L'inversione OCCAM, utilizzando differenze quadratiche medie, da risultati ancora migliori, di un'inversione lineare classica, dato che quando si raggiunge lo stop dell'inversione ( $\epsilon_{MIN}$ ) cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero buona.
- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un massimo di 30, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto



con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed eseguendo ulteriori processi di inversione allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale.

L'obiettivo finale cioè l'ottenimento di un profilo verticale delle Vs, minimizzando le imprecisioni (risultati random), ottenendo quindi un modello ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo, mediante le tarature, del reale profilo Vs/profondità del sito in analisi, come d'altronde suggerito anche da ricercatori in ambito geofisico (es. Dal Moro et alii Gruppo Esplor. Geofisica - Dip. Geol e Scienze Marine Univ. Trieste "cosa migliore è confrontare lo spettro di velocità osservato, con le curve teoriche di dispersione di un modello che riteniamo plausibile per l'area sotto esame.").

Considerazioni sulle tecniche di inversione:

- Le tecniche d'inversione possono fornire soluzioni non univoche, ma proprio ovviare a questa possibilità, si eseguono TARATURE, con dati reali del sito (prove cpt, stratigrafie ecc.) utilizzando anche parametri che esprimono la "rigidezza" degli strati individuati (es. coeff. Poisson), proprio per indirizzare l'inversione verso un modello molto vicino a quello reale.
- La funzione obiettivo (il misfit tra dato osservato e dato calcolato) è prossima a zero, solo in caso ideale in assenza di rumore; per questo motivo il sismogramma può essere trattato o filtrato per ridurre al minimo od eliminare eventuali rumori o disturbi esterni, che non hanno nulla a che fare con l'onda sismica che stiamo analizzando.
- E' fuorviante e sbagliato attribuire una percentuale di errore eseguendo una operazione di alterazione delle velocità sismiche, ottenute dall'esecuzione dei dettagliati processi di inversione sopra esposti (esempio attribuendo un errore globale del  $\pm 10\%$ , quindi alterando ad es. le velocità sismiche ottenute moltiplicando  $\cdot 0,9$  le Vs dei singoli strati), perché in tal modo si **vanificherebbe** completamente l'elaborazione Masw, che è stata fatta con cura ed esperienza secondo principi codificati e consolidati. Infatti ipotizzando possa esistere un modello Vs/profondità analogo a quello definito con l'interpretazione corretta della prova Masw, ma con velocità alterate (cioè diminuite/aumentate del 10%) si otterrebbe un Match fra curva sperimentale e teorica **completamente non attendibile**. A titolo di esempio si allegano alcune figure che illustrano tale erronea operazione di alterazione delle Vs calcolate.

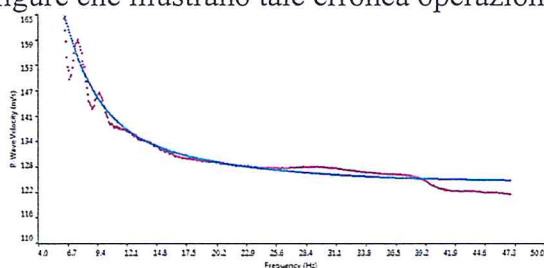


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica (blu) ottenuta dal processo inversione Masw dominio frequenza/velocità.  
Si noti la quasi perfetta corrispondenza del fitting fra le due curve

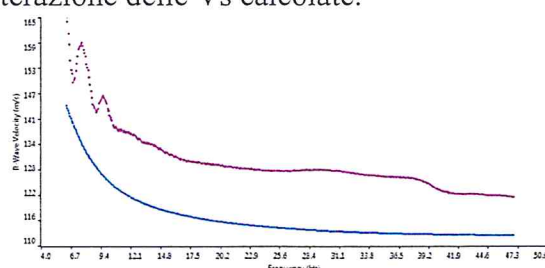


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica "alterata" modificando le Vs diminuendole erroneamente del 10% (blu) dominio frequenza/velocità.  
Si noti la completa "sfasatura" della curva teorica sinonimo di un allontanamento dalla reale stratigrafia sismica che caratterizza il sito quindi un modello NON ACCETTABILE

Le curve di dispersione sopra esposte sono da considerare indicative e non riferite alla indagine Masw della presente relazione: sono riferite ad un generico sito con una stratificazione di 5 strati, mantenuti identici nelle 2 simulazioni, con analoghi coefficienti di Poisson assegnati (variabili fra 0.45-0.48) e  $V_{S30} \approx 190$  m/sec (grafico a sinistra) e  $V_{S30} \approx 170$  m/sec (grafico a destra).

### **Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto $V_{s30}$ )**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto da art. 3.2 del DM 14-1-08) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezioni sismiche di superficie, opportunamente tarati con dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche ecc.).

i valori della velocità media delle onde di taglio  $V_s$  risultano pertanto:

#### **metodo sismico attivo-MASW onde Rayleigh:**

1° strato: velocità media onde $V_s$ 205 m/sec	spessore medio 1,14 m
2° strato: velocità media onde $V_s$ 249 m/sec	spessore medio 0,98 m
3° strato: velocità media onde $V_s$ 329 m/sec	spessore medio 1,14 m
4° strato: velocità media onde $V_s$ 309 m/sec	spessore medio 2,58 m
5° strato: velocità media onde $V_s$ 450 m/sec	spessore medio 7,85 m
6° strato: velocità media onde $V_s$ 705 m/sec	spessore medio $\geq 16,31$ m

In base a quanto sopra, la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20-3-2003 e art. 3.2.2 DM 14-1-08), ai vari strati sismo stratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità  $V_s$  direttamente misurate, consentendo di ottenere la  $V_{s30}$ , cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo  
 $V_{s_i}$  = velocità onde S nello strato i-esimo  
 $N$  = numero strati considerati

Ottenendo in base ai dati sopra esposti,

Prospezione MASW  $V_{s30} = 485$  m/sec (da p.c. a -30 m)

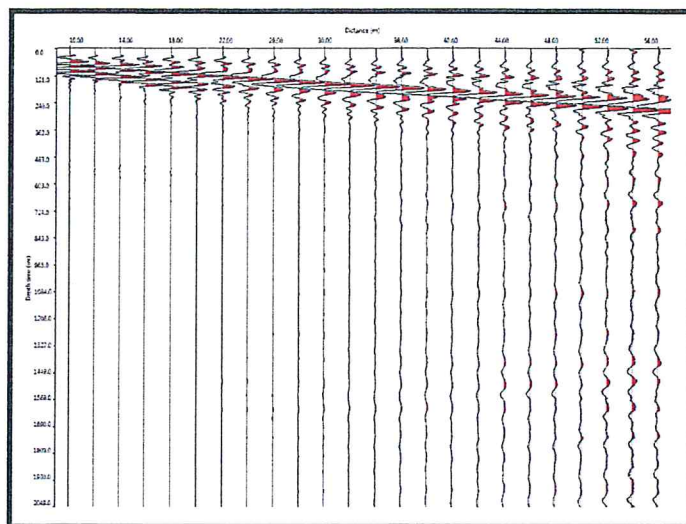
Da cui si evince che il terreno in analisi rientra nella categoria del suolo di fondazione di tipo **B**

(*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto 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 360 m/s e 800 m/s*).

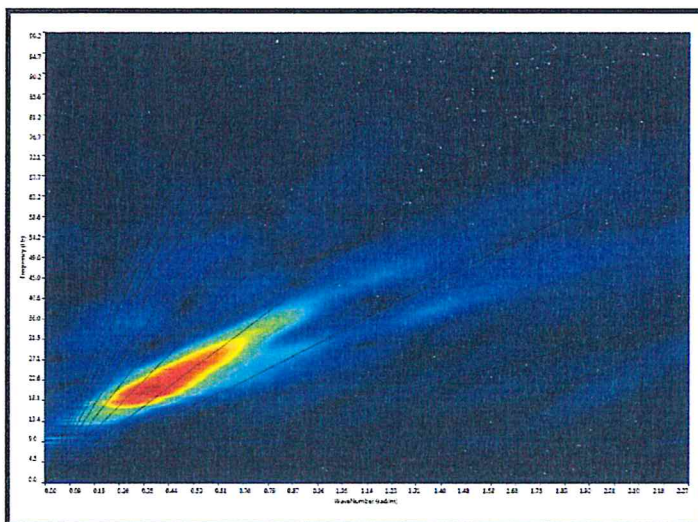
Si ricorda che: base a quanto previsto da art. 3.2.2 NTC08, "Per le fondazioni superficiali la profondità di calcolo delle  $V_s$  va riferita al piano di imposta delle stesse,..",



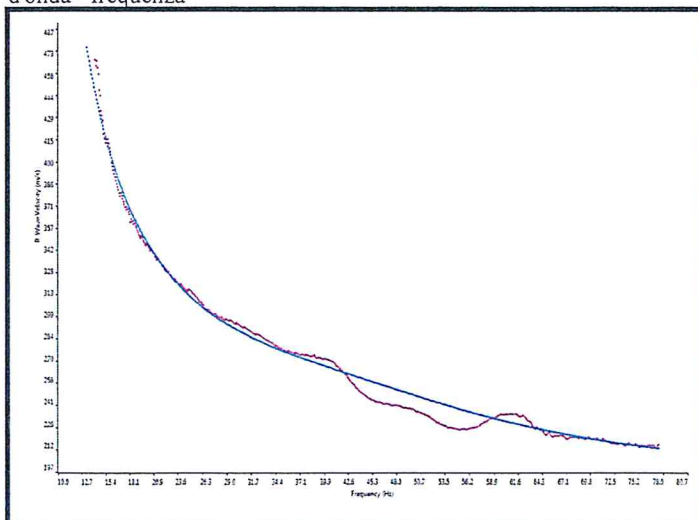
## Scheda Indagine MASW



Sismogramma nel dominio spazio/tempo



Spectro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata / curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

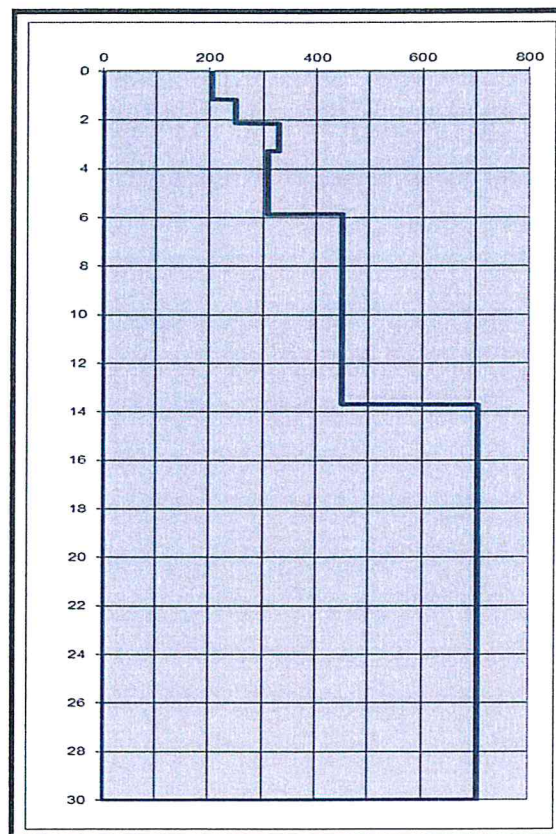


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

### Risultati Elaborazione MASW

Strato	profondità		Spessore m	Vel. m/sec
	da	a		
Strato1	0.00	1.14	1.14	205
Strato2	1.14	2.12	0.98	249
Strato3	2.12	3.26	1.14	329
Strato4	3.26	5.84	2.58	309
Strato5	5.84	13.69	7.85	450
Strato6	13.69	30.00	≥16.31	705

$$V_{s30} = 485 \text{ m/sec}$$

Che corrisponde alla categoria del  
suolo di fondazione di tipo **B** (*Rocce tenere  
e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o  
terreni a grana fina molto 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 360 m/s e 800 m/s*)



## 6.2 – Risultati ottenuti

Il valore di velocità ottenuto è pari a  $V_{s\ 30} = 485\text{ m/sec}$  e l'osservazione del dato stratigrafico, hanno permesso di classificare il suolo di fondazione nella categoria **B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s\ 30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s).

## 6.3 – Definizione del livello di approfondimento

L'area si colloca in posizione morfologica di terrazzo alluvionale al piede di versante destro dell'ampia valle del Torrente Tresinaro.

Il substrato marino (**Formazione di Ranzano** - membro di Varano de' Melegari **RAN 3**) è costituito da torbiditi arenaceo pelitici di colore grigio verdastro, in strati sottili e medi, con prevalenza delle peliti sulle arenarie.

Lo spessore delle coperture alluvionali ricavato dalle prove penetrometriche statiche, di 5,60 m in CPT1, di 5,00 m in CPT2, di 6,40 m in CPT3.

La variazione litostratigrafica è regolare, con spessori simili di coperture sciolte compatte e litologicamente omogenee.

Il piede di versante in particolare esaminato e l'intero versante in generale sono stabili.

Lo spessore delle coperture è costante e l'acclività è inferiore a 15°.

Viene richiesto il secondo livello di approfondimento e si valuta che sia sufficiente, per la definizione dell'amplificazione, l'analisi semplificata in base all'Allegato A2 della D.G.R. n.2193/2015.

## **PTCP 2010**

La tavola QC6 – 218NE – Rischio sismico Carta degli effetti locali – evidenzia la presenza di depositi alluvionali appenninici..

La tavola 9a (218NE) - Rischio sismico. Carta degli effetti attesi – pone l'area in classe C (amplificazione stratigrafica).

La tavola 9b (218NE) - Rischio sismico. Carta dei Livelli di approfondimento indica che si debba effettuare un'analisi semplificata di secondo livello.

### **6.4 -Analisi semplificata di secondo livello**

Il comune di Baiso ricade in zona sismica 3.

L'accelerazione massima orizzontale di picco al suolo per  $T=0$  espressa in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  ( $a_{refg}$ ) = 0,188.

Il D.G.R. n.2193/2015 al Cap. 4 definisce i criteri per eseguire un'analisi semplificata di secondo livello.

### **Amplificazione stratigrafica**

In base all'Allegato A2 della D.G.R. n.2193/2015 per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica si è utilizzata la tabella A2.1.1. – APPENNINO (zone collinari e montane).

### A2.1.1 - APPENNINO (zone collinari e montane)

In caso di substrato rigido, generalmente caratterizzato da  $V_s \geq 800$  m/s, si devono usare le seguenti tabelle

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.8	1.7	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
15	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0
20	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.0
25	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.6	1.5	1.3	1.0
30		1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2
35		1.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.2
40		1.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.4	1.4	1.2

Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1  $H$  (m), riga 1  $V_{sH}$  (m/s)

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.5	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	2.1	2.0	1.6	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	2.4	2.3	2.1	1.7	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
20	2.4	2.4	2.3	2.0	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0
25	2.4	2.4	2.4	2.2	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1
35		2.3	2.3	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$ ). Colonna 1  $H$  (m), riga 1  $V_{sH}$  (m/s)

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20	2.6	1.9	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
25	2.9	2.5	1.9	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
30		2.9	2.3	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0
35		3.2	2.8	1.9	1.5	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0
40		3.4	3.1	2.4	1.8	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
50		3.2	3.2	2.9	2.2	1.9	1.6	1.4	1.3	1.1

Fattori di Amplificazione **SI2** ( $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$ ). Colonna 1  $H$  (m), riga 1  $V_{sH}$  (m/s)



Le prove penetrometriche statiche indicano la presenza di substrato marino in posto (RAN3) mediamente a circa 5,84 metri di profondità.

La velocità misurata nel bedrock ( $V_s$ ) è prossima a **800 m/sec**.

La  $V_{s30}$ , per la lettura della tabella, è di **485 m/sec**.

Considerando:

- spessore medio dei depositi 5,84 metri;
  - **VSH** calcolata in base all'Allegato A2 della D.G.R. n.2193/2015 di **274 m/sec**
- si ottengono i seguenti fattori di amplificazione:

**PGA = 1,4;**

**SI1 = 1,0;**

**SI2 = 1,0.**

## **Cap.7 CONSIDERAZIONI FINALI**

I terreni oggetto del presente studio sono censiti catastalmente al foglio 1 mappale 389.

La posizione è di terrazzo alluvionale posto al piede di versante destro dell'ampia valle del Torrente Tresinaro.

I depositi quaternari presenti sull'area (**AES8**) appartengono al **Subsistema di Ravenna** – olocene.

Questi depositi ricoprono rocce di formazione marina (**RAN 3**) della **Formazione di Ranzano**.

Il membro di Varano dè Melegari (**RAN 3**) è costituito da torbiditi arenaceo pelitiche di colore grigio verdastro, in strati sottili e medi, con prevalenza delle peliti sulle arenarie.

Le considerazioni idrauliche riportate nel paragrafo **3.1** portano a considerare l'area non esondabile

La variazione litostratigrafica è regolare, con spessori simili di coperture sciolte compatte e litologicamente omogenee.

Il piede di versante esaminato e l'intero versante in generale sono in condizione di **buona stabilità**.

Per la determinazione delle caratteristiche lito-stratigrafiche e geotecniche locali del primo sottosuolo sono stati eseguite tre prove penetrometriche statiche (**CPT1 – CPT2 e CPT3**).

Si evidenzia in genere la presenza di alternanze di terreni misti, argille e argille limose con livelli sabbiosi alla base.

I valori di resistenza alla punta sono alti nelle coperture sciolte alluvionali.

Lo spessore delle coperture alluvionali è di **5,60 m in CPT1**, di **5,00 m in CPT2** e di **6,40 m in CPT3**; Si va poi a rifiuto all'ingresso nel substrato pelitico arenaceo.

Non si è rilevata presenza di acqua.

Per la modellazione sismica del terreno è stato eseguito uno  
stendimento sismico attivo **MASW**.

I valori della velocità media delle onde di taglio  $V_s$  sono:

1° strato: velocità media onde $V_s$ 205 m/sec	spessore medio 1,14 m
2° strato: velocità media onde $V_s$ 249 m/sec	spessore medio 0,98 m
3° strato: velocità media onde $V_s$ 329 m/sec	spessore medio 1,14 m
4° strato: velocità media onde $V_s$ 309 m/sec	spessore medio 2,58 m
5° strato: velocità media onde $V_s$ 450 m/sec	spessore medio 7,85 m
6° strato: velocità media onde $V_s$ 705 m/sec	spessore medio $\geq 16,31$ m

Il valore di velocità  $V_{S30} = 485$  m/sec e l'osservazione del dato stratigrafico,  
hanno permesso di classificare il suolo di fondazione nella categoria **B**

Viene richiesto il **secondo livello** di approfondimento e si valuta che sia sufficiente,  
per la definizione dell'amplificazione, l'**analisi semplificata** in base all'Allegato A2  
della D.G.R. n.2193/2015.

Considerando:

- spessore medio dei depositi 5,84 metri;
- **VSH** calcolato in base all'Allegato A2 della **D.G.R. n.2193/2015** di **247,7 m/sec**,  
si ottengono i seguenti fattori di amplificazione:

**PGA = 1,4;**

**SI1 = 1,0;**

**SI2 = 1,0.**

**Le risultanze degli studi e delle prove contenute nella presente Relazione  
Geologica e Sismica confermano l'idoneità dei terreni, censiti catastalmente al  
foglio 1 mappale 389, alla richiesta di inserimento nel P.O.C. del comune di  
Baiso.**

Reggio Emilia, gennaio 2017

