

REGIONE EMILIA ROMAGNA  
 PROVINCIA DI MODENA  
 COMUNE DI PIEVEPELAGO

Committente:	<b>IL PROGETTISTA</b> Ing. Andrea Artusi Ing. Yos Zorzi
Responsabile GECI/EE:	
Direttore dei lavori:	
Elaborazioni grafiche:	
Rilievi topografici:	
Indagini geologiche:	
Calcoli strutturali ed impiantistici:	

**PROGETTO:**     **PRELIMINARE**     **DEFINITIVO**     **ESECUTIVO**

**COLLETTAMENTO DEGLI AGGLOMERATI "PIE 02 - PIE 03 - PIE 07"  
 DI S.ANNA PELAGO AD UN'UNICA RETE FOGNARIA  
 E REALIZZAZIONE DEL NUOVO DEPURATORE**

<b>VARIANTI</b>		a	
		b	
		c	
		d	Numero elaborato:
		e	
<b>RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA</b>		O.D.L. 11200159983	
		Redatto	Dott. Geol. Luigi Dallari
		Scala	--
		Controllato	Ing. Yos Zorzi
		Visto	Ing. Paolo Gelli
		Data	Maggio 2015
	HERA S.p.A. Direzione Acqua Fognature e Depurazione Reti Fognarie - Area Reti Emilia Ovest		<b>N° 03</b>
			Sostituisce il
			Sostituito dal

# COMUNE DI PIEVEPELAGO

## PROVINCIA DI MODENA

**RELAZIONE GEOLOGICA** inerente le indagini eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 14/01/08)

**RELAZIONE GEOTECNICA** basata sulle indagini geognostiche effettuate, al fine della caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno del sito (6.2.2. DM 14/01/08)

Relazione concernente la **"RISPOSTA SISMICA DEL SITO"** (D.M. 4/01/08 - NNTC)



### OGGETTO

**Studio del terreno di fondazione oggetto di realizzazione di un nuovo impianto di depurazione da eseguirsi presso la località di "Sant'Anna Pelago", nel Comune di Pievepelago (MO)**

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari

T 0000 2015  
Rif. 4/15



**GEO GROUP s.r.l.**  
Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA  
Tel. 059/3967169 Fax. 059/5332019  
E-mail: [geo.group@libero.it](mailto:geo.group@libero.it)  
P.IVA e C.F. 02981500362  
[www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it)

ASSOCIATO



AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE  
PER LA QUALITÀ CERTIFICATO DA DNV  
= UNI EN ISO 9001:2008 =

## Relazione Tecnica comprendente:

**RELAZIONE GEOLOGICA** inerente le indagini geognostiche eseguite, la definizione delle unità litotecniche, gli eventuali processi geomorfologici al fine della modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 14/01/08)

**RELAZIONE GEOTECNICA** basata sulle indagini eseguite, fornisce tutti i dati geotecnici necessari per il progetto, la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (6.2.2. DM 14/01/08)

Relazione concernente la "**RISPOSTA SISMICA DEL SITO**" (ai sensi del D. M. 14/01/2008 NNTC) e la verifica agli Stati Limiti Ultimi (SLU) (6.4 del D.M. 14/01/08) al fine della progettazione per azioni sismiche

### OGGETTO

## Studio del terreno di fondazione oggetto di realizzazione di un nuovo impianto di depurazione

Da eseguirsi presso la località di "Sant'Anna Pelago", nel Comune di Pievepelago (MO)

**Committente: Hera Spa**

### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



## INDICE DEL CONTENUTO

<b>1. PREMESSE</b> .....	<b>3</b>
1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
<b>2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b> .....	<b>4</b>
2.1 GEOLOGIA DEL SITO.....	4
2.2 GEOMORFOLOGIA DEL SITO .....	6
<b>3 RELAZIONE GEOLOGICA</b> .....	<b>7</b>
3.1 CAMPAGNA GEOGNOSTICA.....	7
3.1.1 Prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH.....	7
3.1.2 Prove penetrometriche dinamiche DL 30 (60°).....	9
3.2 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E LITOSTRATIGRAFICHE DEL SOTTOSUOLO.....	10
<b>4. RELAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>11</b>
4.1 MODELLO GEOTECNICO .....	11
4.3 TIPOLOGIA DI FONDAZIONI CONSIGLIATE E CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE .....	12
4.4 VERIFICA DEI CEDIMENTI.....	13
4.5 MODULO DI SOTTOFONDO .....	13
<b>5. RELAZIONE INERENTE LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO</b> .....	<b>14</b>
5.1 INDAGINI GEOFISICHE.....	14
5.1.1 Indagine sismica secondo dispersione di onde superficiali tipo Rayleigh (Metodologia MASW) .....	14
5.1.2 Indagine sismica secondo acquisizione di rumore sismico naturale (METODOLOGIA HVSR) .....	15
5.1.3 Indagine sismica tomografica secondo valutazione della rifrazione di onde P .....	17
5.2 AZIONE SISMICA.....	18
5.2.1. SISMICITÀ DELL'AREA.....	18
<b>6. VERIFICA DELLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)</b> .....	<b>21</b>
<b>7. SUSCETTIVITÀ DEL SITO AL FENOMENO DI LIQUEFAZIONE SISMICA</b> .....	<b>26</b>
<b>8. VERIFICHE DELLA STABILITÀ DI VERSANTE</b> .....	<b>26</b>
8.1 METODOLOGIA ANALISI .....	26
8.2 RISULTATI OTTENUTI .....	28
<b>9. CONCLUSIONI</b> .....	<b>31</b>

## TAVOLE

<b>Tav. n. 1:</b> "Carta corografica"	scala 1: 25.000;
<b>Tav. n. 2:</b> "Carta topografica"	scala 1: 10.000;
<b>Tav. n. 3:</b> "Ripresa satellitare dell'area di interesse"	scala grafica;
<b>Tav. n. 4:</b> "Carta geologica"	scala 1: 5.000;
<b>Tav. n. 5:</b> "Profilo topografico"	scala 1:1000;
<b>Tav. n. 6:</b> "PTCP – Rischio da frana"	scala grafica;
<b>Tav. n. 7:</b> "Ubicazione indagini geognostiche"	scala 1:1000;

## ALLEGATI

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche dinamiche DPSH e DL 30 (60°) corredate di interpretazione geotecnica ;
- ALL. n. 2** Verifiche geotecniche ;
- ALL. n. 3** Indagini geofisiche;
- ALL. n. 4** Verifiche di stabilità;

## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)



## 1. PREMESSE

Nei mesi di Dicembre 2014 e Gennaio 2015, su richiesta del progettista Ing. Andrea Artusi dello studio di ingegneria SINERGIA, è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico finalizzato alla caratterizzazione del terreno di fondazione interessato dalla realizzazione di un nuovo impianto di depurazione, da realizzarsi in località "Sant'Anna Pelago", nel Comune di Pievepelago (MO).



Fig. 1.1 – Panoramica aerea dell'area in esame (in rosso) tratta da "ORTOFOTO AGEA 2011" (Regione Emilia Romagna)

Per ottemperare alle richieste del **D.M. 14/01/2008** il presente studio verrà suddiviso nelle seguenti sezioni:

- 1) **RELAZIONE GEOLOGICA** riguardante le indagini geognostiche eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 14/01/08);
- 2) **RELAZIONE GEOTECNICA** basata sulle indagini eseguite, fornisce la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (6.2.2. DM 14/01/08) e verifiche di stabilità dei fronti di scavo da realizzare;
- 3) **Relazione concernente la "RISPOSTA SISMICA DEL SITO"** (ai sensi del D. M. 14/01/2008 NNTC)

### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



## 1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è sita nella porzione orientale dell'abitato di Sant' Anna Pelago, come illustrato nella "Carta corografica", tavole CTR 235\_SE e CTR 250\_NE alla scala 1: 25.000 (**tav. n. 1**); nella "Carta topografica" alla scala 1: 10.000, sezioni n°250030 (**tav. n. 2**) e nella "Ripresa fotografica generale dell'area di interesse" (**tav. n. 3**), riportate in allegato.

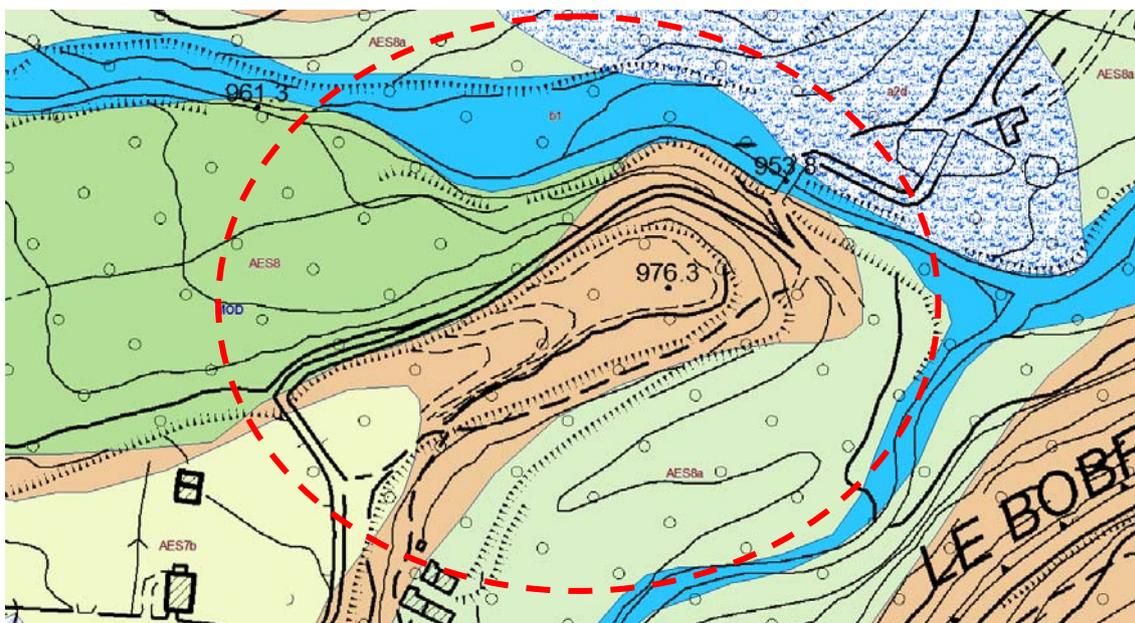
Le coordinate geografiche relative al sito in oggetto, calcolate mediante apposito *software* ed utilizzando la maglia di punti sono le seguenti:

Determinazione dei parametri sismici			
(1)* Coordinate WGS84			
Lat. 44,189254	°	Long. 10,565839	°
(1)* Coordinate ED50			
Lat. 44,190207	°	Long. 10,566844	°

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### 2.1 GEOLOGIA DEL SITO

L'area è posta in prossimità del fondovalle, alla confluenza del Rio Fontanacce (direzione N-S) e del Rio Perticara (direzione O-E). L'area in oggetto è posta alla quota topografica media di circa 975 m s.l.m. Dal punto di vista geologico nell'area affiorano i depositi di seguito illustrati e riportati nella "Carta geologica" (**tav. n. 4**), tratta dalla cartografia geologica della Regione Emilia Romagna (Progetto C.A.R.G.), a scala 1.10.000:



**Fig. 1.2:** Stralcio della cartografia geologica della Regione Emilia Romagna (PROGETTO CARG), relativa all'area in oggetto.

### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)



## DEPOSITI QUATERNARI

---

### ➤ **B1 – DEPOSITI ALLUVIONALI IN EVOLUZIONE**

Ghiaie, talora embriate, sabbie e limi argillosi di origine fluviale, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale; detrito generalmente incoerente e caotico, costituito da clasti etero metrici ed eterogenei, talora arrotondati, in matrice sabbiosa, allo sbocco di impluvi e valli secondarie. Sono talora fissati da vegetazione (**b1a**).

### ➤ **A2D: DEPOSITO DI FRANA PER COLAMENTO LENTO**

### ➤ **AES8 – SUBSISTEMA DI RAVENNA**

Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m.  
*Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni).*

### ➤ **AES8A - UNITÀ ' DI MODENA**

Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a assissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C..  
Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).  
*Post-VI secolo d.C.*

### ➤ **AES7B- UNITÀ DI VIGNOLA**

Ghiaie con matrice limo-sabbiosa, passanti a limi e limi sabbiosi. Deposito fluviale intravallivo. Copertura colluviale limosa e argillosa alla base dei versanti. Al tetto suoli decarbonatati con tracce di illuviazione di argilla e fronte di alterazione tra 1,5 e 2 m, orizzonti superficiali di colore da rosso bruno a bruno scuro. Contatto inferiore in discontinuità su unità più antiche. Potenza di alcuni metri.  
*Pleistocene superiore-Olocene basale*

---

### **GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



## SUBSTRATO GEOLOGICO

### ➤ MOD - ARENARIE DEL MONTE MODINO

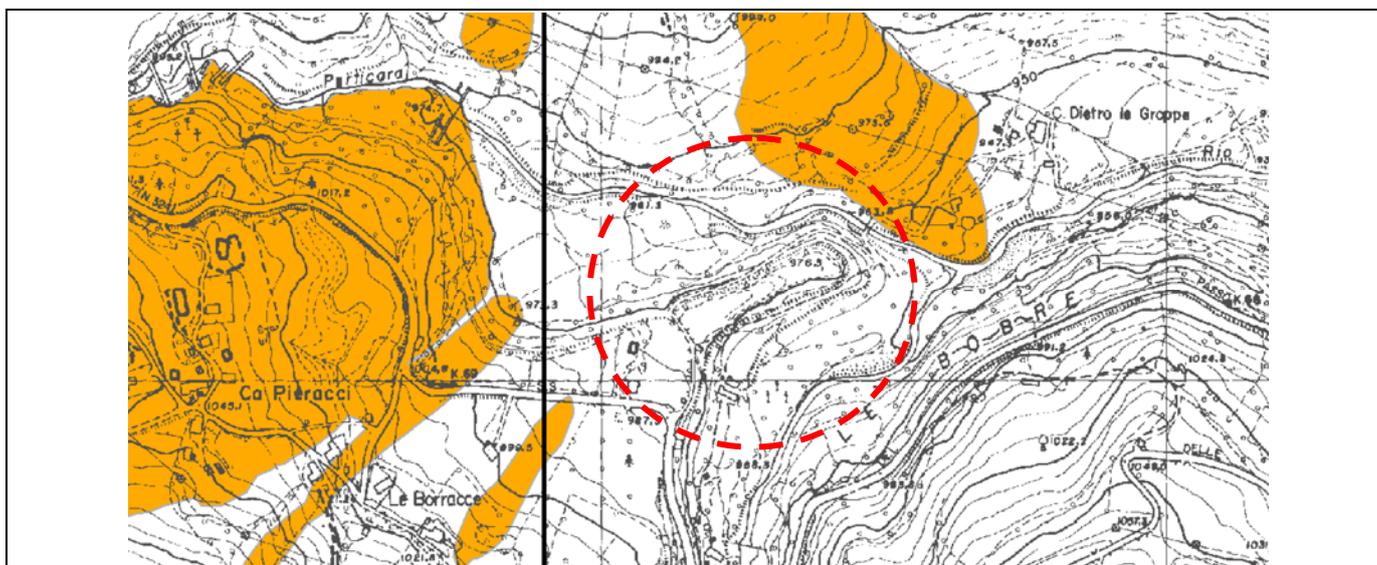
Torbiditi arenaceo-pelitiche, grigie, in strati da sottili a spessi, costituiti da una base arenacea fine passante a pelite con rapporto A/P ~ 1. Si alternano pacchi di strati da medi a spessi costituiti di arenarie medie o grossolane con al tetto, a luoghi, peliti spesse pochi centimetri. Rapporto A/P generalmente >1. Le torbiditi a composizione mista o calcarenitico-marnose sono piuttosto rare. Contatto inferiore per alternanze su MMA nell 'area tipo. Potenza di alcune centinaia di metri.

*Chattiano p.p. - Aquitaniano*

## 2.2 GEOMORFOLOGIA DEL SITO

Dal punto di vista geomorfologico l'area in oggetto, su cui si realizzerà il nuovo impianto di depurazione, sorge in corrispondenza di una zona terrazzata, posta alla confluenza dei principali corsi d'acqua presente. L'area risulta caratterizzata da una ridotta acclività.

Sulla base della consultazione della tavola n. 2.1.22 relativa al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Modena (**Fig. n. 3**), è possibile affermare come l'area in oggetto non sia soggetta a nessun fenomeno gravitativo di versante. Tutti i fenomeni franosi principali, che definiscono l'assetto di versante in prossimità del sito in oggetto, rimangono isolati e non connessi all'area nella quale verrà realizzato il nuovo impianto di depurazione.



**Fig. 1.3:** Stralcio della tavola n. 2.1.22 relativa al PTC della Provincia di Modena.

### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)



### 3 RELAZIONE GEOLOGICA

#### 3.1 CAMPAGNA GEOGNOSTICA

In relazione alla litologia presente nell'area e in funzione agli interventi in progetto, ai fini della caratterizzazione del volume significativo di sottosuolo, nei mesi di Dicembre 2014 e Marzo 2015 sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n° 3 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH ;
- n° 4 prove penetrometriche dinamiche leggere DL 30 (60°)
- n° 1 indagine attiva secondo dispersione di onde superficiali di tipo RAYLEIGH (metodologia MASW)
- n° 3 indagini sismiche passive secondo acquisizione di rumore sismico naturale disperso, attraverso ricevitore velocimetrico triassiale (metodologia HVSR)
- n° 1 indagine sismica secondo rifrazione di onde P nel sottosuolo, con restituzione bidimensionale tomografica

Le indagini penetrometriche dinamiche DPSH sono state eseguite in corrispondenza della futura area di sedime dell'impianto di depurazione mentre, in corrispondenza della strada di accesso al futuro impianto, sono state espletate le n. 4 prove penetrometriche dinamiche DL 30 (60°). L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nella **Tavola n. 7**. L'elaborazione delle prove penetrometriche DPSH e DL 30 (60°) è visibile in **All. n. 1**, mentre i certificati relativi alle indagini geofisiche sono visibili in **All. n. 3**.

##### 3.1.1 Prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH

La prova dinamica consiste nell'infiggere una punta di acciaio posta all'estremità di una batteria di aste, mediante la caduta di un maglio da un'altezza costante e nel misurare il numero di colpi necessari a produrre avanzamenti delle aste e della punta stessa di una lunghezza prefissata nel terreno. Tale prova penetrometrica dinamica misura in continuo la resistenza alla penetrazione della punta conica e, in particolare, fornisce una valutazione qualitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati. Lo strumento impiegato nel caso in studio è un penetrometro PAGANI TG63-100, montato su cingoli della Pagani Equipment di Piacenza che risponde alle norme **ISSMFE-DPSH (1988)**.  
*Le principali caratteristiche tecniche di tale strumento sono riassunte nella tabella seguente:*

CARATTERISTICHE:	PENETROMETRO DINAMICO SUPER-PESANTE DPSH
Massa del maglio M (kg):	63.5 ± 0.5
Altezza di caduta H (cm):	75 ± 0.2
Diametro della punta D (mm):	50.5 ± 0.05
Area della punta nominale (cm <sup>2</sup> ):	20

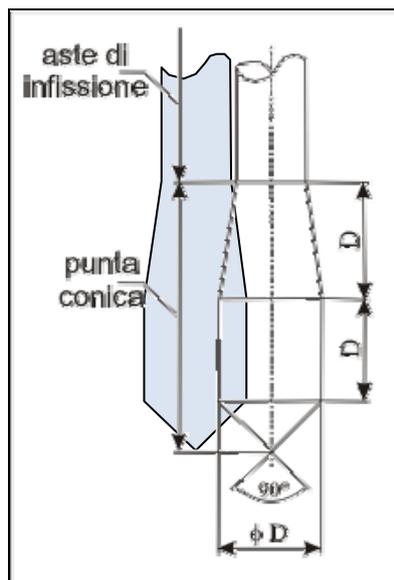
#### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 - 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 - [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



Apertura del cono $\alpha$ :	90°
Diametro delle aste (cm):	3.2 ± 0.03
Peso del sistema di infissione, escluso il maglio $M_s$ (kg):	30
Penetrazione standard $\delta$ (cm):	20 (N <sub>20</sub> )

All'estremità inferiore della batteria di aste è collocata la punta conica, che può essere di due tipi: *fissa*, e quindi recuperabile al termine dell'indagine, oppure "*a perdere*" che quindi, alla estrazione delle aste, rimane nel terreno. Nella successiva figura è rappresentato lo schema della punta conica fissa:



**Fig. 2.2.2.1 – Schema della punta conica.**

Ulteriori specifiche tecniche dell'attrezzatura di prova sono illustrate in allegato.

Per le prove dinamiche eseguite è stato realizzato un modello grafico in cui sono riportati: il numero dei colpi, la profondità in metri (misure ricavate ogni cm 20 di avanzamento del sondaggio) e la resistenza dinamica alla punta  $R_{pd}$  in Kg/cm<sup>2</sup> calcolata attraverso la "Formula olandese":

$$R_{pd} = M^2 \cdot H / [A \cdot e \cdot (M+P)] = M^2 \cdot H \cdot N / [A \cdot \delta \cdot (M+P)]$$

Dove:

$R_{pd}$  = resistenza dinamica punta (kg/cm<sup>2</sup>);

A = area della punta (cm);

M = massa battente (kg);

H = altezza di caduta;

P = massa totale aste e sistema di battuta;

e = infissione per colpo =  $\delta / N$ .



Sempre in allegato compaiono i grafici e le relative tabelle riportanti i dati rilevati in sito e la loro interpretazione geotecnica, desunta da correlazioni tra  $N_{dpsh}$  e  $N_{spt}$  (standard penetration test).

### 3.1.2 Prove penetrometriche dinamiche DL 30 (60°)

In corrispondenza della strada di accesso al futuro impianto, in data 10/03/2015, sono state eseguite n. 4 prove penetrometriche dinamiche DL 30 (60°).

La prova dinamica consiste nell'infingere una punta di acciaio posta all'estremità di una batteria di aste, mediante la caduta di un maglio da un'altezza costante e nel misurare il numero di colpi necessari a produrre avanzamenti delle aste e della punta stessa di una lunghezza prefissata nel terreno.

Tale prova penetrometrica dinamica misura in continuo la resistenza alla penetrazione della punta conica e, in particolare, fornisce una valutazione qualitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati. Esistono numerosi penetrometri in commercio che si differenziano principalmente sulla base del diverso peso del maglio, dell'altezza di caduta, del diametro e della forma della punta e dello step di approfondimento. Lo strumento impiegato risponde alle norme **ISSMFE DL-10 (60°)**, le cui caratteristiche tecniche sono riassunte nella tabella che segue:

<b>Penetrazione standard</b>	<b>L = 0,10 m</b>
<b>Massa maglio</b>	<b>M = 30.00 kg</b>
<b>Caduta</b>	<b>H = 0,20 m</b>
<b>Diametro base punta</b>	<b>D = 35.70 mm</b>
<b>Angolo di apertura punta</b>	<b><math>\alpha = 60^\circ</math></b>

All'estremità inferiore della batteria di aste è collocata la punta conica, che può essere di due tipi: *fissa*, e quindi recuperabile al termine dell'indagine, oppure "*a perdere*" che quindi, alla estrazione delle aste, rimane nel terreno.

Ulteriori specifiche tecniche dell'attrezzatura di prova sono illustrate in **allegato 1**.

Per le prove dinamiche eseguite è stato realizzato un modello grafico in cui sono riportati: il numero dei colpi, la profondità in metri (misure ricavate ogni cm. 10 di avanzamento del sondaggio) e la resistenza dinamica alla punta  $R_{pd}$  in Kg/cm<sup>2</sup> calcolata attraverso la "Formula olandese":

$$R_{pd} = M^2 * H / [A * e (M+P)] = M^2 * H * N / [A * \delta (M+P)]$$

Dove:

$R_{pd}$  = Resistenza dinamica punta (kg/cm<sup>2</sup>);

A = area della punta (cm);

M = massa battente (kg);

#### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



- 10 **Relazione geologica, geotecnica e sismica** inerente la realizzazione di un nuovo impianto di depurazione, da realizzarsi presso la località "Sant'Anna Pelago", nel comune di Pievepelago (MO)  
[Rif. 4/15]

$H$  = altezza di caduta;

$P$  = massa totale aste e sistema di battuta;

$e$  = infissione per colpo =  $\delta / N$ .

Sempre in **allegato 1** compaiono i grafici e le relative tabelle riportanti i dati rilevati in sito e la loro interpretazione geotecnica, desunta da correlazioni tra  $N_{dpsh}$  e  $N_{spt}$  (standard penetration test).

### **3.2 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E LITOSTRATIGRAFICHE DEL SOTTOSUOLO**

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle prove penetrometriche dinamiche eseguite, illustrate nell'**allegato n. 1**, si può riassumere quanto segue:

- le prove penetrometriche DPSH, eseguite in corrispondenza della futura area di sedime dell'impianto di depurazione in progetto, hanno rilevato la presenza di un primo livello superficiale composto **argilla limosa a media consistenza** ( $4.00 \text{ MPa} < R_{pd} < 9.00 \text{ MPa}$ ) che si approfondisce fino a una quota massima di  $-2.00 \text{ m}$  da p.c. (DPSH 1) e minima di  $-0.60 \text{ m}$  da p.c. (DPSH 3), seguito da uno strato composto da intercalazioni di **materiale coesivo e ciottoli/trovanti rocciosi** ( $5.45 \text{ MPa} < R_{pd} < 9.41 \text{ MPa}$ ) fino alla profondità massima di  $-6.20 \text{ m}$  da p.c. (DPSH 1) e minima di  $-2.60 \text{ m}$  da p.c. (DPSH 2). Al disotto della seguente unità le indagini penetrometriche eseguite hanno raggiunto il rifiuto strumentale ( $N > 50$  colpi per un avanzamento inferiore a  $0.20 \text{ m}$ ), raggiungendo il tetto del substrato roccioso che da indicazioni bibliografiche e cartografiche risulta rappresentato dall'unità denominata "**MOH – Arenarie del Monte Modino**".
- le prove penetrometriche DL 30 ( $60^\circ$ ), eseguite lungo il tracciato della strada di accesso al futuro impianto, hanno rilevato la presenza di un primo livello composto da **argilla limosa a media consistenza** ( $4.00 \text{ MPa} < R_{pd} < 10.00 \text{ MPa}$ ) caratterizzato da uno spessore medio di  $1.00 \text{ m}$ . Al disotto di tale unità le prove hanno raggiunto il rifiuto strumentale intercettando il tetto di un'unità compatta ascrivibile all'unità "**MOH – Arenarie del Monte Modino**".
- Al termine delle prove penetrometriche non è stata rilevata alcuna soggiacenza all'interno dei fori di sondaggio eseguiti.

---

#### **GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



#### 4. RELAZIONE GEOTECNICA

##### 4.1 MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per la progettazione degli interventi in progetto. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini geotecniche eseguite, illustrate nell'allegato n. 1 e precedentemente descritte, è possibile definire i seguenti modelli geotecnici schematici:

AREA DI SEDIME NUOVO IMPIANTO DI DEPURAZIONE					
MODELLO GEOTECNICO MEDIO CARATTERISTICO $\kappa$					
Strato	Profondità	Falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.00 – 6.00 m da p.c.	ASSENTE	INTERCALAZIONI DI ARGILLA CONSISTENTE E CIOTTOLI/TROVANTI ROCCIOSI	$\gamma$	2000 kg/m <sup>3</sup> ≈ 20.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2200 kg/m <sup>3</sup> ≈ 22.00 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{uk}$	1.00 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 100.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_{k}$	0.10 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 10.0 kN/m <sup>2</sup>
				$M_{ok}$	70.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 7000 kN/m <sup>2</sup>
				$E_s$	140.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 14000 kN/m <sup>2</sup>
				$\phi_k$	20°
				$v$	0.40
2	6.00 – 15.00 m da p.c.		MOH – ARENARIE DEL MONTE MODINO	$\gamma$	2300 kg/m <sup>3</sup> ≈ 23.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2500 kg/m <sup>3</sup> ≈ 25.00 kN/m <sup>3</sup>
				$C'_{k*}$	2.00 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 200.0 kN/m <sup>2</sup>
				$E_s$	500.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 50000 kN/m <sup>2</sup>
				$\phi_k$	25°
				$v$	0.30

$C'_{k*}$  = trattandosi di una unità rocciosa  $C'$  è da considerarsi pari a una coesione efficace permanente

STRADA DI ACCESSO AL FUTURO IMPIANTO DI DEPURAZIONE					
MODELLO GEOTECNICO MEDIO CARATTERISTICO $\kappa$					
Strato	Profondità	Falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.00 – 1.00 m da p.c.	ASSENTE	ARGILLA LIMOSA A MEDIA CONSISTENZA	$\gamma$	2000 kg/m <sup>3</sup> ≈ 20.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2200 kg/m <sup>3</sup> ≈ 22.00 kN/m <sup>3</sup>
				$C_{uk}$	1.00 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 100.0 kN/m <sup>2</sup>
				$C'_{k}$	0.10 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 10.0 kN/m <sup>2</sup>
				$M_{ok}$	70.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 7000 kN/m <sup>2</sup>
				$E_s$	140.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 14000 kN/m <sup>2</sup>
				$\phi_k$	20°
				$v$	0.40
2	1.00 – 15.00 m da p.c.		MOH – ARENARIE DEL MONTE MODINO	$\gamma$	2300 kg/m <sup>3</sup> ≈ 23.00 kN/m <sup>3</sup>
				$\gamma'$	2500 kg/m <sup>3</sup> ≈ 25.00 kN/m <sup>3</sup>
				$C'_{k*}$	2.00 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 200.0 kN/m <sup>2</sup>
				$E_s$	500.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 50000 kN/m <sup>2</sup>
				$\phi_k$	25°
				$v$	0.30

$C'_{k*}$  = trattandosi di una unità rocciosa  $C'$  è da considerarsi pari a una coesione efficace permanente

#### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



<b>Legenda</b>	$\gamma$	=	<i>peso specifico terreno naturale</i>
	$\gamma'$	=	<i>peso specifico terreno saturo</i>
	$C_{uk}$	=	<i>coesione non drenata caratteristica</i>
	$C'_k$	=	<i>coesione efficace caratteristica</i>
	$M_{ok}$	=	<i>modulo di deformazione edometrico caratteristico</i>
	$E_s$	=	<i>modulo elastico</i>
	$\phi_k$	=	<i>angolo d'attrito caratteristico</i>
	$D_r$	=	<i>densità relativa</i>
	$\nu$	=	<i>coefficiente di Poisson</i>

#### **4.3 TIPOLOGIA DI FONDAZIONI CONSIGLIATE E CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE**

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione delle indagini geognostiche eseguite in sito e in relazione alla tipologia di intervento in progetto, al fine di verificare la capacità portante del terreno sono state considerate **fondazioni tipo platea in c.a.**, approfondite alla quota di **D = - 4.00 m da p.c. attuale**, per la realizzazione delle due vasche di equalizzazione.

Per il calcolo della capacità portante del terreno si sono utilizzati i parametri geotecnici emersi dall'elaborazione delle prove penetrometriche dinamiche DPSH eseguite in corrispondenza dell'area di intervento. I parametri geotecnici del terreno e le dimensioni delle fondazioni ipotizzate sono riassunti nella seguente tabella:

#### **FONDAZIONE PLATEA IN C.A. (VASCHE DI EQUALIZZAZIONE)**

- larghezza della base	<b>B</b> = 4.20 m
- lunghezza della fondazione	<b>B'</b> = 5.60 m
- profondità della quota di imposta	<b>D</b> = - 4.00 m da p.c.
- peso specifico terreno naturale sopra falda	$\gamma$ = 2000 kg/m <sup>3</sup> ≈ 20.00 kN/m <sup>3</sup>
- peso specifico terreno saturo	$\gamma'$ = 2200 kg/m <sup>3</sup> ≈ 22.00 kN/m <sup>3</sup>
- coesione non drenata caratteristica	$C_{uk}$ = 1.00 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 100 kN/m <sup>2</sup>
- coesione efficace caratteristica	$C'_k$ = 0.10 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 10.0 kN/m <sup>2</sup>
- angolo d'attrito caratteristico	$\phi_k$ = 20°
- modulo di Poisson	$\nu$ = 0.40
- Modulo di deformazione edometrico	<b>Mo</b> = 70.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 7000 kN/m <sup>2</sup>
- modulo elastico	<b>E<sub>k</sub></b> = 140.0 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 14000 kN/m <sup>2</sup>
- profondità falda freatica	<b>Dw</b> = NON RILEVATA
- pendenza del terreno	$\beta$ = ~ 0°
- classe di sismicità	<b>Cs</b> = 3

I calcoli delle pressioni ammissibili sono stati eseguiti utilizzando l'equazione di Terzaghi per **fondazioni tipo platea in c.a.** con la condizione a breve termine dove **Cu ≠ 0** e  $\phi = 0$  (condizione più gravosa). Considerando, inoltre, un fattore di sicurezza **Fs = 3** si ottengono i seguenti risultati:

**Pressione ammissibile  $Q_{amm}$**

#### **GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 - 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 - 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 - [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



(Verifica a breve termine $C_u \neq 0$ e $\varphi = 0$ )		
Quota di imposta	Pressione limite	Pressione ammissibile
- 4.00 m da p.c.	6.58 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 658 kN/m <sup>2</sup>	2.19 Kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 219 kN/m <sup>2</sup>

#### 4.4 VERIFICA DEI CEDIMENTI

È stato eseguito il calcolo della distribuzione delle tensioni indotte al terreno di fondazione dagli interventi in progetto secondo il metodo di Newmark (**Allegato n. 2**).

Il metodo di Newmark si basa sul presupposto che il terreno di fondazione possa essere assimilato ad uno spazio semi-infinito a comportamento perfettamente elastico, omogeneo e isotropo. Per la verifica dei cedimenti sono stati considerati i parametri geotecnici emersi dall'elaborazione delle prove penetrometriche dinamiche eseguite, ed i carichi applicati sul terreno ipotizzati sono illustrati nella tabella che segue. Tutto ciò premesso, utilizzando il *metodo di calcolo di Steinbrenner per gli strati coesivi* e il metodo di *Schmertmann per gli strati incoerenti* sono stati ottenuti i seguenti risultati:

<b>FONDAZIONE TIPO PLATEA IN C.A.</b>	
Quota di imposta D = -4.00 m da p.c.	
Incremento di carico netto applicato sul terreno $\Delta P = 1.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2$	
<b>Metodo di calcolo dei cedimenti degli strati incoerenti Schmertmann</b>	
Cedimento totale strati incoerenti	S = 0.00 cm
<b>Metodo di calcolo dei cedimenti degli strati coesivi Streibrenner</b>	
Cedimento totale strati coesivi	S = 0.23 cm
<b>Cedimento totale terreno di fondazione</b>	<b>S = 0.23 cm</b>

#### 4.5 MODULO DI SOTTOFONDO

Il modello di Winkler considera il terreno come formato da una distribuzione di vincoli semplici bilaterali elastici. La relazione che ne regola il comportamento è di tipo lineare tra il cedimento (w) e la pressione di contatto (p):  $p = kw$ . Il parametro k è detto costante di sottofondo. Come è noto, k non dipende solo dal terreno, ma anche dai carichi applicati, dalle proprietà del terreno, dalla forma e dimensioni della fondazione. Utilizzando la Formula di Bowles (1974):

$$k \text{ (kN/mc)} = 40 * Q_{\text{lim}} \text{ effettivo applicato} * F_c$$

dove  $F_c = 2.54 \text{ cm} / \text{cedimento della fondazione (in cm)}$  e dove  $Q_{\text{lim}} \text{ effettivo applicato} = 3 * \Delta P$  (incremento di carico sul terreno), quindi, nel nostro caso,  $3 * 1.00 \text{ Kg/cm}^2 \approx 3 * 100 \text{ kN/m}^2 = 3.00 \text{ Kg/cm}^2 \approx 300 \text{ kN/m}^2$  e considerando un cedimento di riferimento pari a  $S = 0.17 \text{ cm}$ , si ottiene il valore di costante di Winkler riassunto nella tabella seguente:

<b>Modulo di sottofondo</b>		
Cedimento di riferimento	Carico applicato sul terreno	Costante di Winkler
S = 0.23 cm	$\Delta P = 1.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2$	<b>13.25 kg/cm<sup>3</sup> <math>\approx</math> 132521 kN/m<sup>3</sup></b>

#### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



## 5. RELAZIONE INERENTE LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

### 5.1 INDAGINI GEOFISICHE

Ai fini della caratterizzazione geofisica del sito in oggetto sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche:

- n° 1 indagine attiva secondo dispersione di onde superficiali di tipo RAYLEIGH (metodologia MASW)
- n° 3 indagini sismiche passive secondo acquisizione di rumore sismico naturale disperso, attraverso ricevitore velocimetrico triassiale (metodologia HVSR)
- n° 1 indagine sismica secondo rifrazione di onde P nel sottosuolo, con restituzione bidimensionale tomografica

In **Allegato n.3** sono visibili i grafici e i risultati delle indagini geofisiche in oggetto.

#### 5.1.1 Indagine sismica secondo dispersione di onde superficiali tipo Rayleigh (Metodologia MASW)

Per potere classificare con precisione l'area da un punto di vista sismico, è stata eseguita, nell'area in oggetto, n.1 indagine sismica con metodo MASW, ubicata come riportato nella **Tavola n. 5** e i cui risultati sono riportati in **Allegato n. 3**.

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde, rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la "**curva di dispersione**", dalla cui inversione è stato calcolato il **modello sismo-stratigrafico** espresso in termini di velocità delle onde di taglio (Vs). I dati sono stati registrati mediante un sismografo *Geode Geometrics* 24 bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.2 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 1 secondo. Si effettuano battute poste ad offset diversi mediante grave da 8,0 kg di massa.

#### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



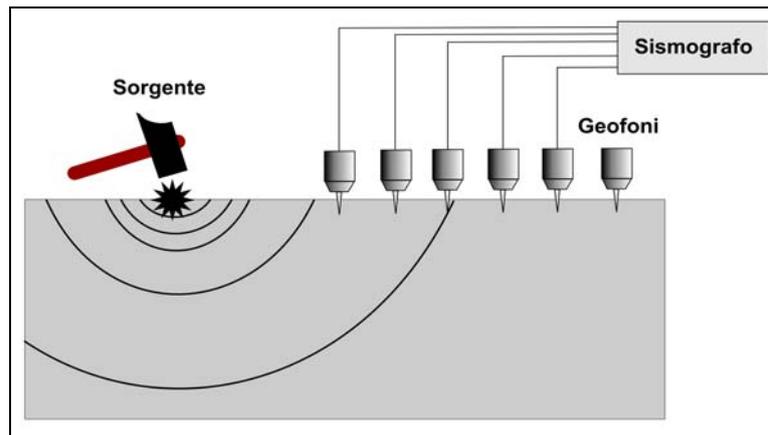


Fig. 4.2: Schema di Array lineare e punto energizzante.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh,  $V(\text{fase})/\text{freq.}$ , può essere convertito nel profilo  $V_s/\text{profondità}$ . Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

ricavare il modello reale. L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle  $V_s$  fino a circa 35 m di profondità. Dall'indagine è stata ricavata la  $V_{s30}$  desunta dalla formula:

Tale valore, nell'area indagata, per la classificazione sismica dei terreni di fondazione seguendo le indicazioni del **D.M. 14/01/2008**, è risultata pari a **364 m/s**. Pertanto secondo la classificazione del suolo, si definisce il terreno di fondazione dell'area studiata come appartenente alla categoria **B**.

### **5.1.2 Indagine sismica secondo acquisizione di rumore sismico naturale (METODOLOGIA HVSR)**

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di **indagine sismica passiva HVSR** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura*) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del sismo-strato individuato. Tramite l'elaborazione di moti superiori e l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli generati dai moti superiori o da artefatti, al fine di garantire una corretta interpretazione dello spettro sismico registrato. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSR) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica



poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici. Negli ultimi anni si è affermata anche per la sua versatilità poiché si è dimostrato come lo spettro sismico può rappresentare un modello sismo – stratigrafico del sottosuolo. La tecnica **HVSR** è totalmente **non invasiva, molto rapida**, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un "velocimetro triassiale" conforme alle norme SESAME. I risultati che si possono ottenere da indagini sismiche HVSR sono:

- La **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto **dimensionamento degli edifici antisismici**. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "**doppia risonanza**", fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni.
- La **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se, in caso di sisma, la costruzione potrà essere o meno a rischio.
- La **velocità media delle onde di taglio Vs** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'**affidabilità del risultato**, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, etc.) e riconoscibile nella **curva H/V**. È possibile calcolare la **Vs30** e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.
- La **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la tecnica **HVSR**, in termini di **stratigrafia del sottosuolo**, è rappresentato dalla definizione di strato, inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un **contrasto d'impedenza**, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Dall'acquisizione eseguita non è stata rilevata alcuna frequenza caratteristica di sito.

---

#### **GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



### **5.1.3 Indagine sismica tomografica secondo valutazione della rifrazione di onde P**

---

Per poter caratterizzare l'assetto stratigrafico del versante, in corrispondenza del tratto di pendio oggetto di studi, è stata svolta un'indagine sismica in rifrazione di onde P con restituzione bidimensionale tomografica.

L'indagine sismica tomografica, attraverso la quale è stata valutata la rifrazione di onde P nel terreno, è stata eseguita mediante array lineare, composto da n. 24 registratori geofonici con frequenza propria di risonanza pari a 14 Hz. Per la generare le perturbazioni sismiche nel terreno è stato impiegata una massa battente da 8 kg. Le propagazioni lungo gli array di misura sono state campionate attraverso sismografo Geometrics Geode 24-bit a 24 canali espandibili. La topografia delle linee sismiche acquisite è stata definita attraverso rilievo di ogni posizione di misura (geofoni), con strumentazione topografica GPS STONEX S7.

La tomografia dei tempi di arrivo utilizza i tempi di percorso dei raggi sismici dalle sorgenti ai ricevitori, questi tempi vengono poi confrontati con quelli ricavati da un modello di partenza. Tramite un processo iterativo, viene aggiornato il campo di velocità di tale modello cercando di ridurre ad ogni iterazione le differenze tra i tempi osservati ed i tempi calcolati sul modello stesso. L'elaborazione delle indagini eseguite è stata svolta mediante il software SeisImager/2D ver.11.

In primo luogo è sono state determinate le dromocrone (Traveltime) di ogni raggio d'onda generato a seguito di ogni energizzazione. Operativamente, attraverso la seguente fase di picking, sono stati determinati i primi arrivi delle onde rifratte.

Una volta individuati i percorsi seguiti dalle onde generate, è stato definito il modello iniziale. Il metodo tomografico viene eseguito creando un modello di velocità iniziale, che viene a sua volta confrontato iterativamente con modelli sintetici generati a partire dalle dromocrone registrate. L'iterazione viene ripetuta fino a quando la differenza del modello iniziale e quello generato sulla base delle dromocrone si riduce al minimo. L'obiettivo finale nell'elaborazione dei dati è trovare la dromocrona minima, tra la sorgente e il ricevitore, per ciascun punto di energizzazione. Per fare ciò si utilizza il metodo WET tomography (Wavepath Eikonal Traveltime tomography): tale metodo tomografico utilizza l'algoritmo di Eikonal e considera il fascio di onde determinato dal volume di Fresnel. (Fat Rays).

I risultati ottenuti attraverso le indagini sismiche eseguite sono visibili in **All.n.3**.

---

#### **GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



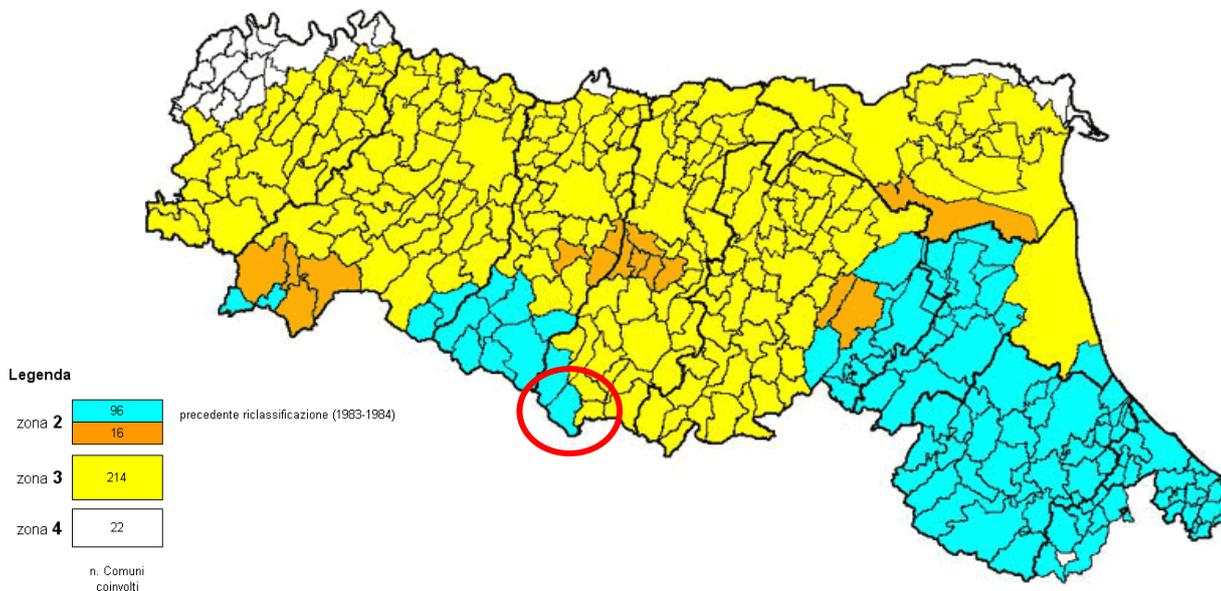
Dall'elaborazione dell'indagine tomografica svolta è stato possibile individuare le seguenti unità sismiche:

- **Unità sismica A** - La seguente unità è composta dalla coltre superficiale e dal livello di argilla consistente con inclusi attribuibili a trovanti rocciosi, individuata a seguito delle indagini DPSH svolte. La seguente unità è caratterizzata da velocità comprese tra 450 e 1500 m/s ( $V_p$ ). Da quanto individuato a seguito dell'indagine sismica, la suddetta unità raggiunge spessori variabili da un minimo di circa 6.00 m, fino ad un massimo di 14.00 m in corrispondenza dell'ultimo tratto del pendio analizzato (tratto di valle).
- **Unità sismica B** - Tale unità è posta al disotto dell'unità più superficiale ed è rappresentata dal substrato roccioso composto dalla formazione delle Arenarie del Monte-Modino (MOH legenda CARG). Le velocità medie di tale unità, relative alla propagazione delle onde di compressione P, variano da un minimo di 1500 m/s, fino ad un massimo di 2500 m/s.

## 5.2 AZIONE SISMICA

### 5.2.1. SISMICITÀ DELL'AREA

Con l'entrata in vigore del **D.M. 14/01/2008** recante "Nuove Norme tecniche per le costruzioni", il Comune di Pievepelago è stato classificato ex-novo in **classe di sismicità 2** (zona a **media sismicità**) (Fig 5.1).



**Fig. 5.1** – Classificazione sismica vigente dei comuni della regione Emilia-Romagna  
Il cerchio rosso individua il Comune di Pievepelago

## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



Sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (**D.M. 14 Gennaio 2008**), secondo le indagini geofisiche eseguite in sito si classifica il terreno di fondazione del lotto in oggetto, come appartenente alla **categoria B**.

Sulla base dei contenuti del **D.M. 14/01/2008** "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$  in relazione ad un tempo di riferimento  $T_R$  stimato di 475 anni, considerando una classe d'uso pari a II e una vita nominale di 50 anni. Per l'area in oggetto, identificata dalle seguenti coordinate geografiche (ED50): Latitudine: 44,189254°, Longitudine 10,566844°, tale parametro è risultato pari ad  **$a_g$  attesa= 0.201g**.

**Determinazione dei parametri sismici**

(1)\* Coordinate WGS84  
Lat. 44.189254 ° Long. 10.565839 °

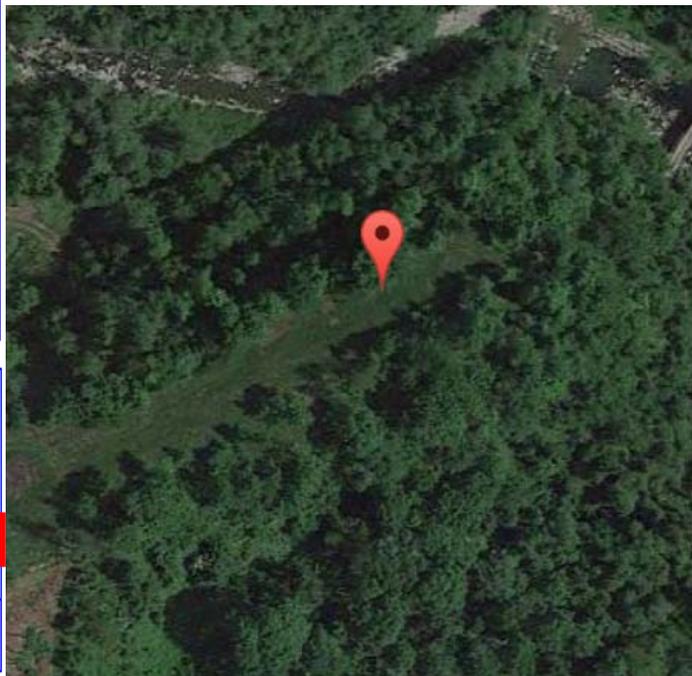
(1)\* Coordinate ED50  
Lat. 44,190207 ° Long. 10,566844 °

Classe dell'edificio  
II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e so

Vita nominale  
(Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

Interpolazione

Stato Limite	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$	$T_c'$ [s]
Operatività (SLO)	30	0,063	2,431	0,249
Danno (SLD)	50	0,080	2,440	0,257
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,201	2,387	0,285
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,257	2,394	0,289
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			



Poiché tale valore di accelerazione sismica orizzontale  $a_g$  si riferisce al *bedrock*, per definire il valore di  $a_g$  in superficie si calcola inizialmente il fattore stratigrafico  $S_s$  caratteristico dell'area secondo il NTC 2008 D.M. 14/01/2008 da cui, essendo in classe **B** si avrà :

$$1.00 \leq S_s = 1.40 - (0.40 \cdot F_o \cdot a_g/g) \leq 1.20$$

dove:

**F<sub>o</sub>** = Fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2.387**;

#### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



**ag/g** = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a 475 anni/accelerazione di gravità;  
**S<sub>s</sub>** = Coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione (4.1);  
per il sito oggetto di studio risulta pari a **1.20**.

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si ricava il fattore topografico ST dalla seguente tabella:

<b>Categoria topografica</b>	<b>Ubicazione opera/intervento</b>	<b>ST</b>
<b>T1</b>	<i>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media <math>\leq 15^\circ</math></i>	<b>1.0</b>
<b>T2</b>	<i>Pendii con inclinazione media <math>&gt; 15^\circ</math></i>	<b>1.2</b>
<b>T3</b>	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media <math>15^\circ \leq i \leq 30^\circ</math></i>	<b>1.2</b>
<b>T4</b>	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media <math>&gt; 30^\circ</math></i>	<b>1.4</b>

La morfologia dell'area oggetto di studi è contestualizzabile come zona di cresta. Sulla scorta di ciò risulta plausibile considerare, in via cautelativa, un fattore di amplificazione topografico pari a 1.2, ascrivibile alla categoria topografica **T3**. In base a tali valori del fattore stratigrafico SS e del fattore topografico ST si procede al calcolo dell'accelerazione massima orizzontale **A<sub>max</sub>**:

### **AZIONE SISMICA DI PROGETTO**

$$A_{\max} = S_s \cdot a_g = 1.20 \cdot 1.20 \cdot 0.201 g = \mathbf{0.289 g}$$

#### **COEFFICIENTI SISMICI**

$$K_h = \mathbf{0.081}$$

$$K_v = \mathbf{0.041}$$



## 6. VERIFICA DELLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

In relazione a quanto esposto nel D.M. 14 Gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", si procede alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (**SLU**).

Nelle verifiche agli stati limite si distinguono:

- EQU: stato limite di equilibrio come corpo rigido;
- STR: stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione;
- GEO: stato limite di resistenza del terreno.

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

Dove: Ed = valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni;

Rd = valore di progetto della resistenza del terreno.

Per quanto riguarda le azioni, i relativi coefficienti parziali  $\gamma_F$  sono indicati nella seguente tabella:

CARICHI	EFFETTO	Coeff. Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_F$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti

**Tab. n. 4. 1:** Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

Nella **Tab. n. 4.1** il significato dei simboli è il seguente:

$\gamma_{G1}$  = coefficiente parziale del peso proprio della struttura;

$\gamma_{G2}$  = coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

$\gamma_{Qi}$  = coefficiente parziale delle azioni variabili.

Si precisa che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

La resistenza  $Rd$  del terreno può essere determinata:

### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



- 1) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella seguente tabella e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  relativi al particolare tipo di opera:

Parametro cui applicare il coefficiente parziale		Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Descrizione	Simbolo			
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,00	1,00

**Tab. 4.2:** Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

- 2) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati delle prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  relativi al particolare tipo di opera;
- 3) sulla base di misure dirette effettuate su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  relativi al particolare tipo di opera.

Si precisa che per le rocce ed i materiali lapidei, al valore caratteristico della resistenza a compressione uniassiale  $q_u$ , deve essere applicato un coefficiente parziale  $\gamma_{qu} = 1,6$ .

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali.

La verifica nei confronti degli stati limite ultimi viene effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

- a) SLU di tipo geotecnico (GEO):
- Collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
  - Collasso per scorrimento sul piano di posa;
  - Stabilità globale.
- b) SLU di tipo strutturale (STR):
- Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali, accertando che la condizione  $E_d \leq R_d$  sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.



- Stabilità globale, utilizzando la combinazione "2" (A2+M2+R2) e tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze globali
- c) Le rimanenti verifiche devono essere effettuate seguendo almeno uno dei seguenti approcci (ed utilizzando i valori dei coefficienti parziali):
  - **Approccio 1:** Combinazione 1 (A1+M1+R1)  
Combinazione 2 (A2+M2+R2)
  - **Approccio 2:** Combinazione (A1+M1+R3)

VERIFICA	COEFF.PARZIALE (R1)	COEFF.PARZIALE (R2)	COEFF.PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

**Tab. 4.3:** Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

### Fattori correttivi sismici: Paolucci e Pecker (1997)

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma nei riguardi della determinazione del  $q_{lim}$  vengono introdotti, all'interno della formula di Terzaghi, i fattori correttivi z:

$$z_c = 1 - 0.32 \cdot K_h \qquad z_q = \left(1 - \frac{K_h}{\tan \varphi}\right)^{0.65} \qquad z_y = z_q$$

Dove il  $K_h$  è il coefficiente sismico orizzontale. Le verifiche sono state effettuate considerando quindi i seguenti parametri sismici:

- $a_{MAX}$  (ag/g): **0.289 g** (relativa a SLV ;  $T_r = 475$  anni);
- coefficiente intensità sismica del terreno  $K_h$ : **0.081**

Nel nostro caso specifico, per quanto riguarda le **opere di fondazione ipotizzate**, nelle verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi è stato calcolato lo **SLU sia a breve che a lungo termine** per l'intervento in progetto, utilizzando i seguenti approcci di calcolo:

**1) Approccio 1 - combinazione 2 (A2 + M2 + R2);**

**2) Approccio 2 - combinazione 1 (A1 + M1 + R3).**



Utilizzando, quindi, **l'Approccio 1, combinazione 2 (A2+M2+R2)**, lo stato limite ultimo nel caso in esame, ottenuto in condizioni "non drenate" dove  $C_u \neq 0$  e  $\varphi = 0$ , applicando il coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata, secondo la seguente relazione  $C_{ud} = C_{uk} / 1.4$ , dove  $C_{ud} =$  **coesione non drenata di progetto** e  $C_{uk} =$  **coesione non drenata caratteristica**, sarà pari a:

#### CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)

##### Carico limite ultimo SLU - Breve Termine – Condizioni non drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
-4.00 m da p.c.	4.20 m x 5.60 m	2.71 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 271 kN/m <sup>2</sup>

Utilizzando sempre **l'Approccio 1, combinazione 2 (A2 + M2 + R2)** si è calcolato lo stato limite ultimo, in condizioni "drenate", dove  $C_d' = 0$  kN/m<sup>2</sup> e  $\varphi' \neq 0$ , considerando un **angolo di attrito caratteristico** del valore  $\varphi'k = 20^\circ$ . Applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la relazione:  $\text{tg } \varphi'd = (\text{tg } \varphi'k / 1.25)$ , dove  $\varphi'd$  è **l'angolo d'attrito di progetto**, ne deriva il seguente valore ridotto:  $\varphi'd \approx 16.23^\circ$ . Quindi, utilizzando la riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto, uno stato limite ultimo pari a:

#### CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)

##### Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
-4.00 m da p.c.	4.20 m x 5.60 m	2.83 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 283 kN/m <sup>2</sup>

#### CONDIZIONE SISMICA PSEUDOSTATICA (Paolucci e Pecker)

##### Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
-4.00 m da p.c.	4.20 m x 5.60 m	2.53 kg/cm <sup>2</sup> $\approx$ 253 kN/m <sup>2</sup>



Utilizzando invece **l'Approccio 2, combinazione (A1+M1+R3)** il carico limite ultimo nel caso in esame, ottenuto in condizioni "non drenate" dove  $C_u \neq 0$  e  $\varphi = 0$ , applicando il coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata secondo la seguente relazione  $C_{ud} = C_{uk} / 1.0$ , per cui si avrà  $C_{ud} = C_{uk}$ , dove  $C_{ud}$  = coesione non drenata di progetto e  $C_{uk}$  = coesione non drenata caratteristica, sarà pari a:

### CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)

#### Carico limite ultimo SLU - Breve Termine – Condizioni non drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 2.3
-4.00 m da p.c.	4.20 m x 5.60 m	2.83 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 283 kN/m <sup>2</sup>

Per quanto riguarda il carico limite ultimo in condizioni "drenate", dove  $C_d' = 0.0$  kN/m<sup>2</sup> e  $\varphi' \neq 0$ , è stato considerato, sempre seguendo **l'Approccio 2, combinazione (A1 + M1 + R3)** un angolo di attrito caratteristico del valore  $\varphi'k = 20^\circ$ . Applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la relazione:  $\text{tg } \varphi'd = \text{tg } \varphi'k / 1.0$ , dove  $\varphi'd$  è l'angolo d'attrito di progetto, ne deriva, essendo  $\varphi'k = \varphi'd$  il seguente valore:  $\varphi'd = 20^\circ$ . Quindi secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto uno stato limite ultimo pari a:

### CONDIZIONE STATICA (Terzaghi)

#### Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 2.3
-4.00 m da p.c.	4.20 m x 5.60 m	3.42 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 342 kN/m <sup>2</sup>

### CONDIZIONE SISMICA PSEUDOSTATICA (Paolucci e Pecker)

#### Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
		F.S. = 1.8
-4.00 m da p.c.	4.20 m x 5.60 m	3.13 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 313 kN/m <sup>2</sup>



## 7. SUSCETTIVITÀ DEL SITO AL FENOMENO DI LIQUEFAZIONE SISMICA

A seguito dell'analisi dei dati derivanti dalla campagna geognostica, eseguita in corrispondenza delle aree di intervento, non sono state individuate unità geotecniche ascrivibili a litologie incoerenti (sabbie o sabbie/limose). Sulla scorta di ciò è possibile escludere a priori la verificabilità di fenomeni di instabilità geotecnica derivanti da fenomeni di liquefazione/addensamento indotti a seguito di eventi sismici.

## 8. VERIFICHE DELLA STABILITÀ DI VERSANTE

### 8.1 METODOLOGIA ANALISI

Per poter definire la condizione di stabilità generale del versante interessato dalla realizzazione del nuovo impianto di depurazione, la stabilità nel breve termine dello scavo finalizzato alla realizzazione delle vasche di equalizzazione e la stabilità della strada di accesso al futuro impianto, sono state svolte delle verifiche di stabilità secondo il metodo dell'equilibrio limite. Le verifiche di stabilità sono state svolte considerando i modelli litostratigrafici definiti sulla base delle indagini geognostiche eseguite.

Le analisi di stabilità di versante sono state eseguite mediante l'utilizzo del software SLIDE 5.044 (ROCSCIENCE). Partendo dal basso, sono state individuate due unità geotecniche, definite meccanicamente sulla base dei parametri di resistenza individuati dalle indagini svolte. Per ottemperare a quanto richiesto dal D.M. 14/01/2008, i parametri geotecnici caratteristici sono stati ridotti secondo i coefficienti parziali che descrivono l'**Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2)**. I coefficienti utilizzati sono i seguenti:

Parametro cui applicare il coefficiente parziale		Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M2)
Descrizione	Simbolo		
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,40
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_V$	1,00

Il modello geotecnico utilizzato ai fini delle verifiche di stabilità di versante, risulta essere il seguente:

## MODELLO GEOTECNICO DI PROGETTO

### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



## NUOVO IMPIANTO DI DEPURAZIONE / SCAVO VASCHE EQUALIZZAZIONE

TERRENO	da (m)	a (m)	$\gamma_{(d)} / \gamma_{sat (d)}$	$C'_d$	$\phi_d$
COLTRE ARGILLOSA SUPERFICIALE E CONSISTENTE	p.c.	- 6.00	20.00 / 22.00	8.00	16.00
SUBSTRATO ROCCIOSO (UNITÀ MOH)	-6.00	-25.00	23.00 / 24.00	160.00	20
Legenda	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	°

## MODELLO GEOTECNICO DI PROGETTO STRADA DI ACCESSO AL FUTURO IMPIANTO

TERRENO	da (m)	a (m)	$\gamma_{(d)} / \gamma_{sat (d)}$	$C'_d$	$\phi_d$
COLTRE ARGILLOSA SUPERFICIALE E CONSISTENTE	p.c.	- 1.00	20.00 / 22.00	8.00	16.00
SUBSTRATO ROCCIOSO (UNITÀ MOH)	-1.00	-15.00	23.00 / 24.00	160.00	20
Legenda	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	°

Al fine di ottemperare a quanto richiesto dal D.M. 14/01/2008, le verifiche di stabilità sono state eseguite tenendo conto dell'azione sismica. Ai sensi di tale normativa l'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici. Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionalmente al peso del volume potenzialmente instabile (W). La condizione di stato limite ultimo (SLU) viene riferita al cinematismo di collasso critico, caratterizzato dal più basso valore del coefficiente di sicurezza  $F_s$ . Nelle verifiche pseudo statiche di sicurezza, si assume:

### Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2), $R_2 = 1.1$

Nelle verifiche allo SLU, la componente orizzontale si ricava nel seguente modo

$$F_h = k_h \times W$$

$F_h$  è un incremento di forza proporzionale a  $W$ ;

$W$  è il peso del volume di terreno potenzialmente instabile;

$k_h$  è il coefficiente sismico orizzontale calcolato come segue:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max}/g$$

Il coefficiente sismico utilizzato è pari a  $k_h = 0.081$ .

### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



### **Metodo Janbu corretto**

Nel metodo di Janbu semplificato si pone la condizione che le forze verticali agenti sulle superfici di separazione dei conci siano trascurabili. Di conseguenza i singoli conci interagiscono fra loro solo attraverso forze orientate lungo l'orizzontale.

Questo metodo consente di verificare superfici potenziali di scivolamento di forma qualsiasi ed è un metodo basato sull'equilibrio delle forze agenti.

Il coefficiente di sicurezza, della singola superficie di scorrimento presa in considerazione, nel metodo di **Janbu corretto** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_1^n [c_i b_i + (N_i / \cos \alpha_i - u_i b_i) \tan \phi_i]}{\sum_1^n W_i \tan \alpha_i}$$

dove il termine **N<sub>i</sub>** è espresso da:

$$N_i = \frac{W_i - (c_i l_i \sin \alpha_i / F) + (u_i l_i \tan \phi \sin \alpha_i / F)}{m}$$

dove il termine **m** è espresso da:

$$m = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F}$$

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b<sub>i</sub>** e **a<sub>i</sub>** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i-esima** rispetto all'orizzontale, **W<sub>i</sub>** è il peso della striscia **i-esima**, **c<sub>i</sub>** e **φ** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u<sub>i</sub>** è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Janbu corretto** contiene al secondo membro il termine **m** che è funzione di **F**. Quindi essa è risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per **F** da inserire nell'espressione di **m** ed iterare fino a quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

## **8.2 RISULTATI OTTENUTI**

In seguito alla verifica eseguita è stato ottenuto, in riferimento al tratto generale di versante interessato dalla realizzazione del nuovo impianto di depurazione, un fattore di sicurezza minimo pari a **FS = 2.423** descrittivo della condizione di stabilità a lungo termine. Il fattore di sicurezza ottenuto risulta superiore alla soglia di sicurezza di 1.1, in accordo con quanto esposto nel D.M. 14/01/2008, garantendo un discreto grado di stabilità dell'area di intervento. Si precisa che la seguente verifica di stabilità è stata

---

### **GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



eseguita considerando un sovraccarico sul terreno pari a 100.00 kN/m<sup>2</sup>, derivante dalla presenza dei corpi strutturali che costituiranno l'impianto in progetto.

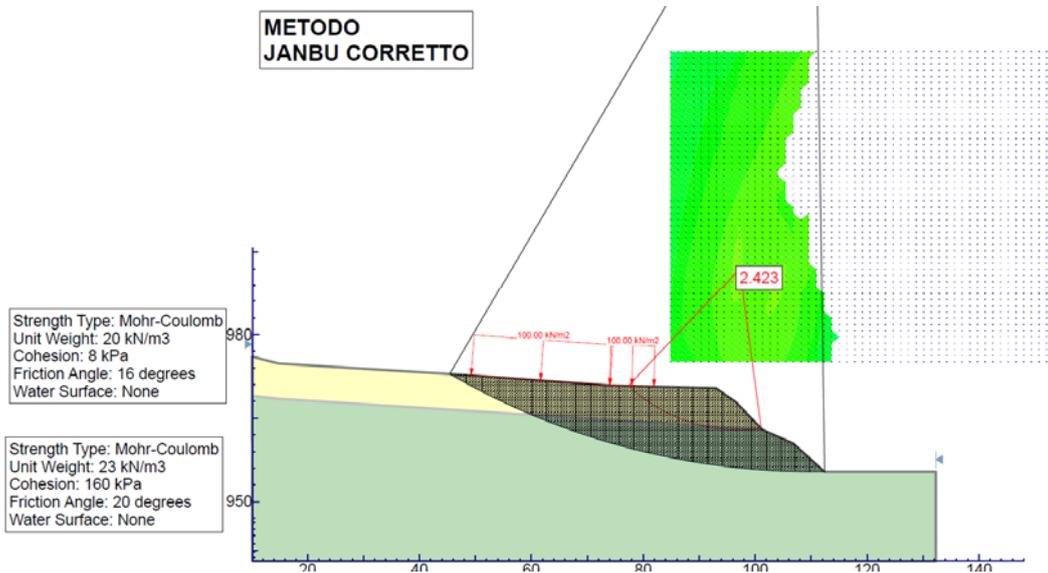


Fig. 8.1 – Verifica di stabilità generale del tratto di versante interessato dalla realizzazione del futuro impianto di depurazione

Poiché la realizzazione del nuovo impianto di depurazione prevede la messa in opera di due vasche di equalizzazione interrate per le quali occorrerà eseguire uno scavo approfondito a -4.00 m da p.c. attuale, è stata svolta una verifica di stabilità della geometria di scavo nel breve e lungo termine (condizioni non drenate / drenate).

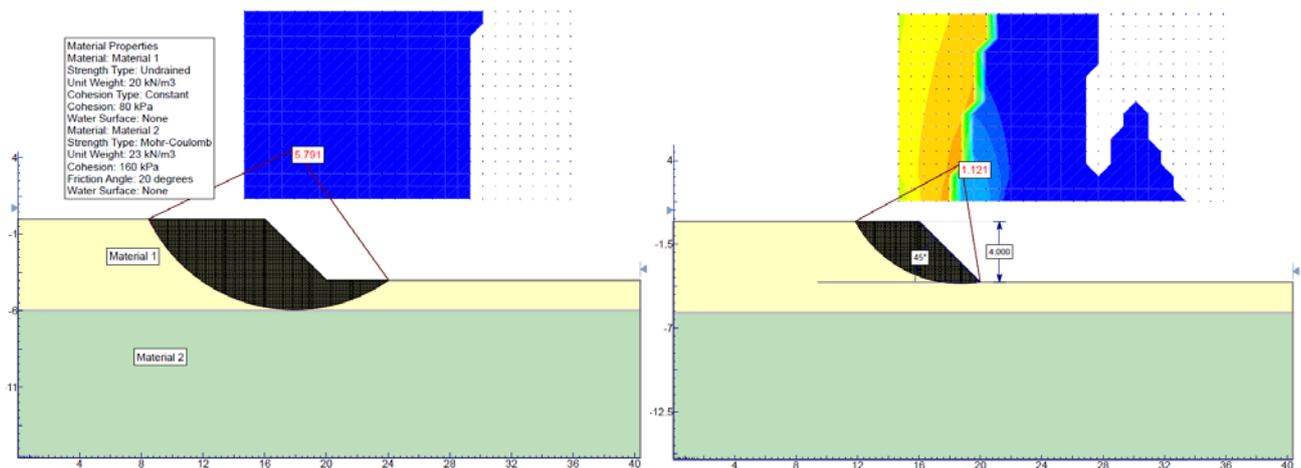


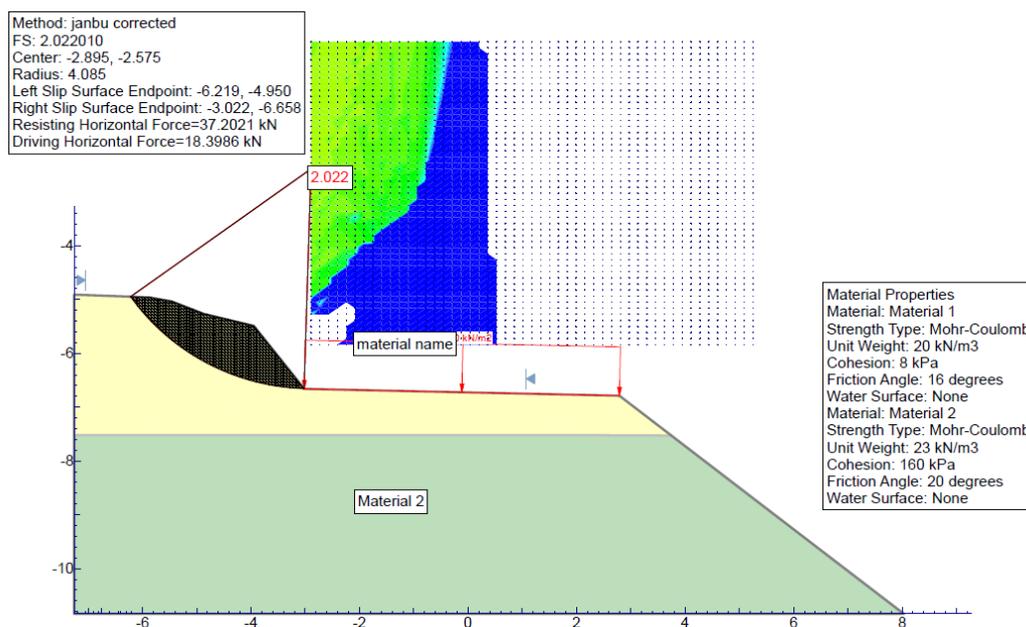
Fig. 8.2 – Verifica di stabilità dello scavo in progetto per la realizzazione delle vasche di equalizzazione in condizioni non drenate e drenate



A seguito delle verifiche di stabilità svolte e sulla base dei fattori di sicurezza ottenuti, è possibile garantire la stabilità del fronte di scavo in progetto, nel lungo e nel breve termine, considerando una geometria di scavo definita da un angolo di pendio pari o inferiore a 45°.

Poiché il progetto prevede la realizzazione di uno sbanco del versante sul lato di monte della strada di accesso all'impianto, è stata svolta la verifica della stabilità della fase transitoria di scavo.

In riferimento alla predetta verifica di stabilità è stato ottenuto un fattore di sicurezza minimo pari a **2.022**, superiore alla soglia di 1.1 sancita dalla normativa tecnica nazionale NNTC.



**Fig. 8.3** – Verifica di stabilità della sezione relativa alle operazioni di ri-profilatura del tratto di versante a monte della strada di accesso al futuro impianto

La verifica di stabilità è stata svolta considerando la sezione relativa alla fase di scavo del tratto di pendio a monte della strada con conseguente ampliamento del passo della carreggiata attuale. Per simulare il passaggio di autoveicoli sulla strada è stato applicato un sovraccarico pari a 50.00 KN/m<sup>2</sup>. **Nonostante il fattore di sicurezza per la suddetta verifica risulti superiore valore soglia di 1.1, al fine di scongiurare la verificabilità di fenomeni erosivi superficiali si consiglia di realizzare un'opera di contenimento, costituita da un muro fuori terra (H = 0.80 m) lungo l'intero tratto di versante in corrispondenza del quale verrà eseguito lo scavo del lato di monte.**



## 9. CONCLUSIONI

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione delle indagini eseguite in sito e in relazione alle verifiche eseguite, la realizzazione del nuovo impianto di depurazione, da realizzarsi in località "Sant'Anna Pelago" nel Comune di Pievepelago, è **risultato idoneo**, in relazione alle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche del volume significativo di sottosuolo analizzato. La presente relazione è stata redatta ai sensi del *D.M. 14 Gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni"*.

In relazione a quanto esposto nel Testo Unico Nuove Norme Tecniche per le costruzioni in zona sismica, redatto dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti edito nel Gennaio 2008, si è proceduto alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (**SLU**). Nel nostro caso specifico, per quanto riguarda le **opere di fondazione**, nelle verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi è stato calcolato l'**SLU sia a breve che a lungo termine** per l'intervento in progetto, utilizzando i seguenti approcci di calcolo:

**1) Approccio 1 - combinazione 2 (A2 + M2 + R2);**

**2) Approccio 2 - combinazione (A1 + M1 + R3).**

Si riassumono nella seguente tabella i valori di portanza del terreno di fondazione, relativamente alle n. 2 vasche di equalizzazione in progetto, sia calcolati alle tensioni ammissibili **TA (con F.S. = 3)** che agli stati limite ultimi **SLU ipotizzando fondazioni di tipo platea in c.a., approfondite alla quota D = - 4.00 m da p.c.**

### FONDAZIONE VASCHE DI EQUALIZZAZIONE (-4.00 DA P.C.)

T.A. F.S. = 3	SLU – APPROCCIO 1 (A2 + M2 + R2) – F.S.= 1.8			SLU – APPROCCIO 2 (A1 + M1 + R3) – F.S.= 2.3		
	CONDIZIONI NON DRENATE STATICHE	CONDIZIONI DRENATE		CONDIZIONI NON DRENATE STATICHE	CONDIZIONI DRENATE	
		STATICHE	SISMICHE PSEUDOSTATICHE		STATICHE	SISMICHE PSEUDOSTATICHE
2.19 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 219 kN/m <sup>2</sup>	2.71 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 271 kN/m <sup>2</sup>	2.83 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 283 kN/m <sup>2</sup>	2.53 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 253 kN/m <sup>2</sup>	2.83 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 283 kN/m <sup>2</sup>	3.42 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 342 N/m <sup>2</sup>	2.97 kg/cm <sup>2</sup> ≈ 297 kN/m <sup>2</sup>

Sulla base del risultato ottenuti dalle indagini sismiche MASW eseguite in corrispondenza dell'area di studio, si classifica il terreno di fondazione come appartenente alla **categoria B**.

Sulla base della classificazione nazionale che fa ricadere l'area in esame in classe 2, il valore di  $a_g$ , espresso come **frazione dell'accelerazione di gravità g**, da adottare in tale classe era pari ad  $a_g = 0.20 g$ . Ora, sulla base dei contenuti del **D.M. 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"** è

#### GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



stato definito un parametro di accelerazione massima attesa  $a_g$  in relazione ad un tempo di riferimento  $T_R$  stimato di 475 anni. Per l'area in oggetto, identificata dalle seguenti coordinate geografiche (ED50): Latitudine: 44,190207°, Longitudine 10,566844°, tale parametro è risultato pari ad  $a_{g \text{ attesa}} = 0.201g$ . Tale valore si riferisce al bedrock; dopo gli opportuni calcoli, si ottiene il seguente valore di  $A_{max}$ :

$$A_{max} = 0.289 g$$

Per poter definire la condizione di stabilità generale del versante interessato dalla realizzazione del nuovo impianto di depurazione, la stabilità dello scavo finalizzato alla realizzazione delle vasche di equalizzazione e la stabilità della strada di accesso al futuro impianto, sono state svolte delle verifiche di stabilità secondo il metodo dell'equilibrio limite. Le verifiche di stabilità sono state svolte considerando i modelli litostratigrafici definiti sulla base delle indagini geognostiche eseguite.

In riferimento alle sopracitate verifiche sono stati ottenuti fattori di sicurezza sempre superiori alla soglia di sicurezza di 1.1, sancita dalla normativa tecnica nazionale NNTC 2008. Per quanto riguarda la verifica di stabilità relativa al tratto di strada di accesso all'impianto, nonostante sia stato ottenuto un fattore di sicurezza pari a 2.022, si consiglia di realizzare un'opera di contenimento in grado di sorreggere il tratto di monte del pendio e scongiurare la verificabilità di fenomeni erosivi superficiali. A tal fine si consiglia pertanto di realizzare un muro fuori terra ( $H = 0.80 \text{ m}$ ) **lungo l'intero tratto di versante in corrispondenza del quale verrà eseguito lo scavo del lato di monte.**

A disposizione per ulteriori chiarimenti cogliamo l'occasione per porgere distinti saluti.

**Modena, 12 Maggio 2015**

**Dott. Geol. Pier Luigi Dallari**

**GEO GROUP s.r.l.**

---

**GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it





## **GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)

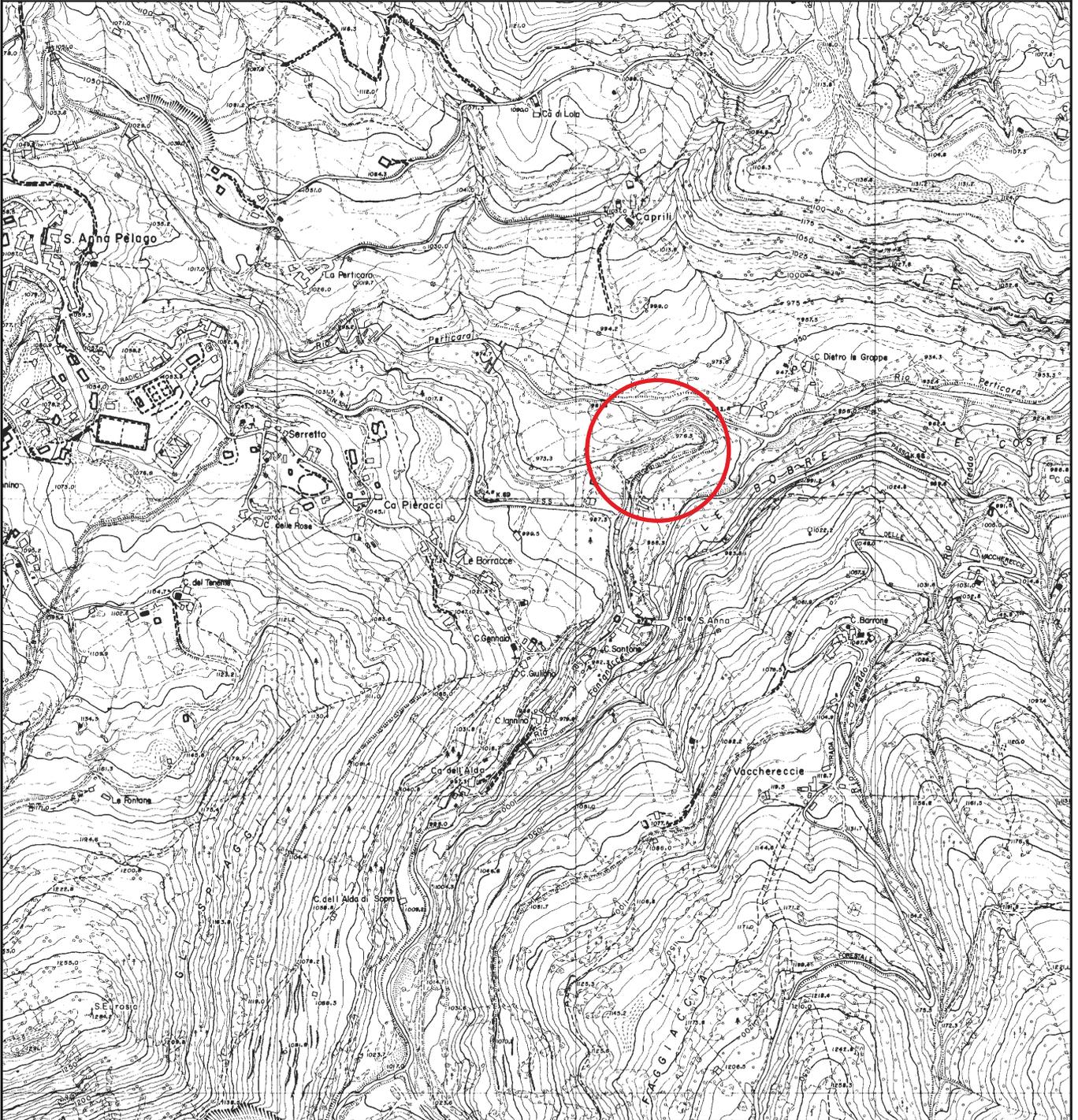
# ***Tavole***



# GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it

## Sezione C.T.R. n° 250030



Tav. n. 2 "Carta topografica"

Scala 1: 10.000



Legenda



Area di interesse



**Tav. n. 3 “Ripresa fotografica generale  
dell’area di interesse”**

(tratta da “Bing Maps”)

**Scala Grafica**

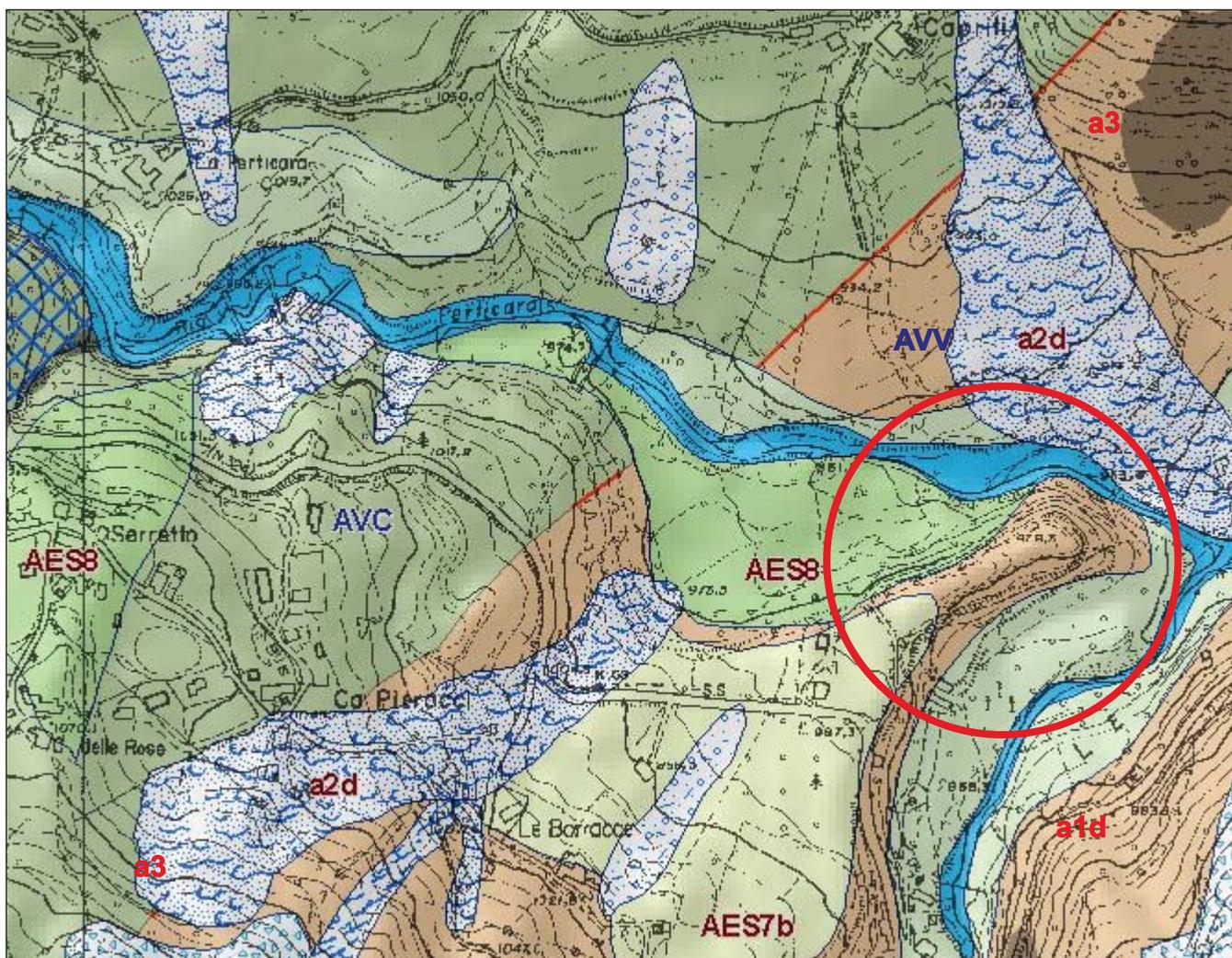


Area oggetto di studio

# GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



## Tav. n. 4 "Carta Geologica" Scala 1: 5.000

### Legenda



 Area di interesse

 Faglia

 a2d - Deposito di frana quiescente per colamento lento

 c3 - Deposito morenico scheletrico sparso

 AES8 - Subsistema di Ravenna  
Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari d'interconoide. (Olocene)

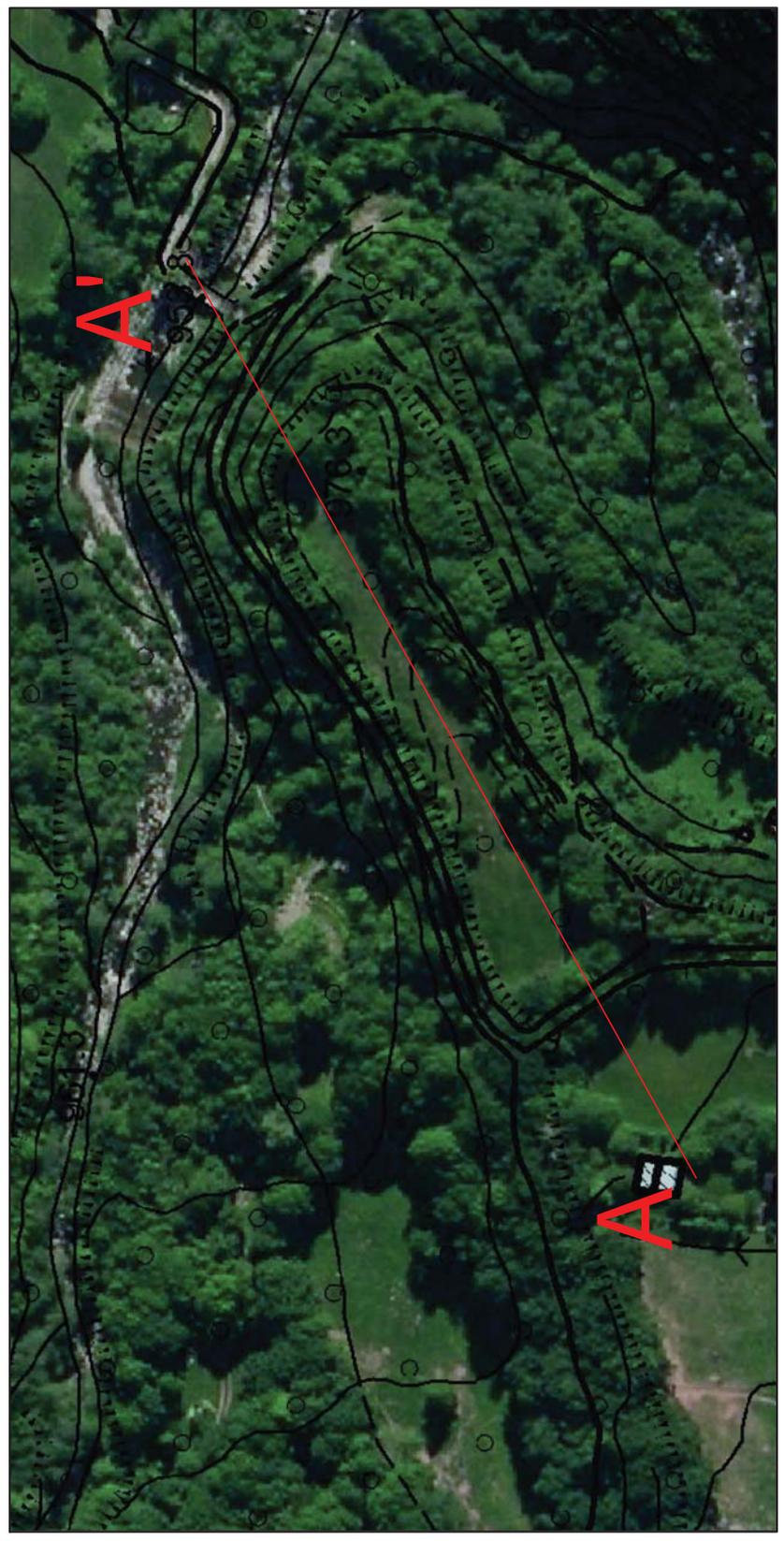
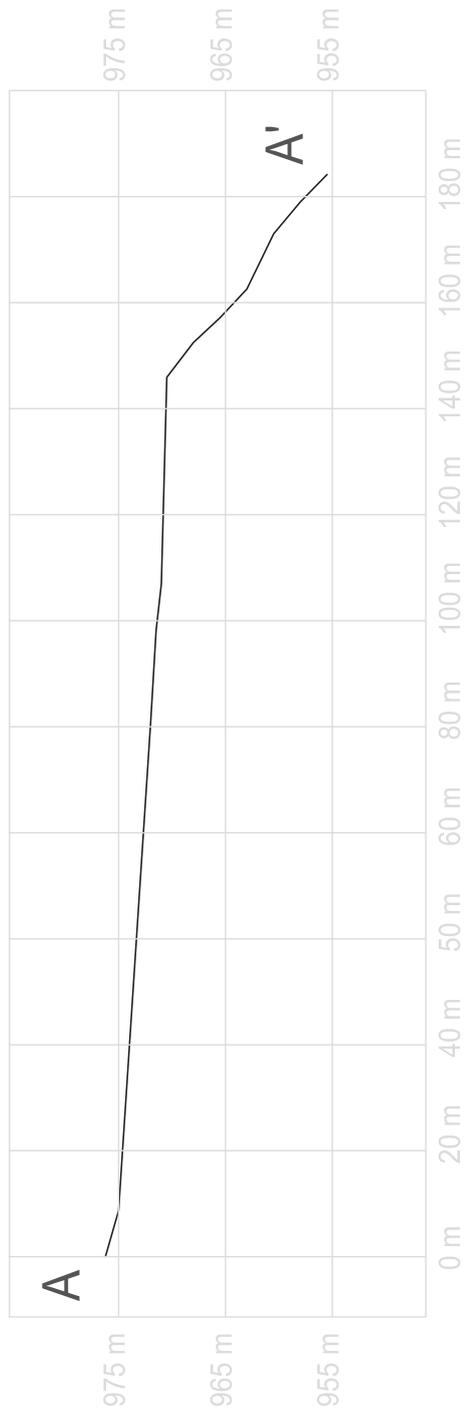
 MOD - Arenarie di Monte Modino  
Torbiditi arenaceo pelitiche, grigie, in strati dasottili a spessi, con base arenacea fine passante a pelite. (Chattiano p.p. - Aquitaniano)

 AVC - Argilliti variegiate con calcari  
Argilliti bruno verdastre, grigio verdi o grigio piombo, in strati sottili con intercalate calcilutiti grigie. (Hauteriviano-Cenomaniano inf.),



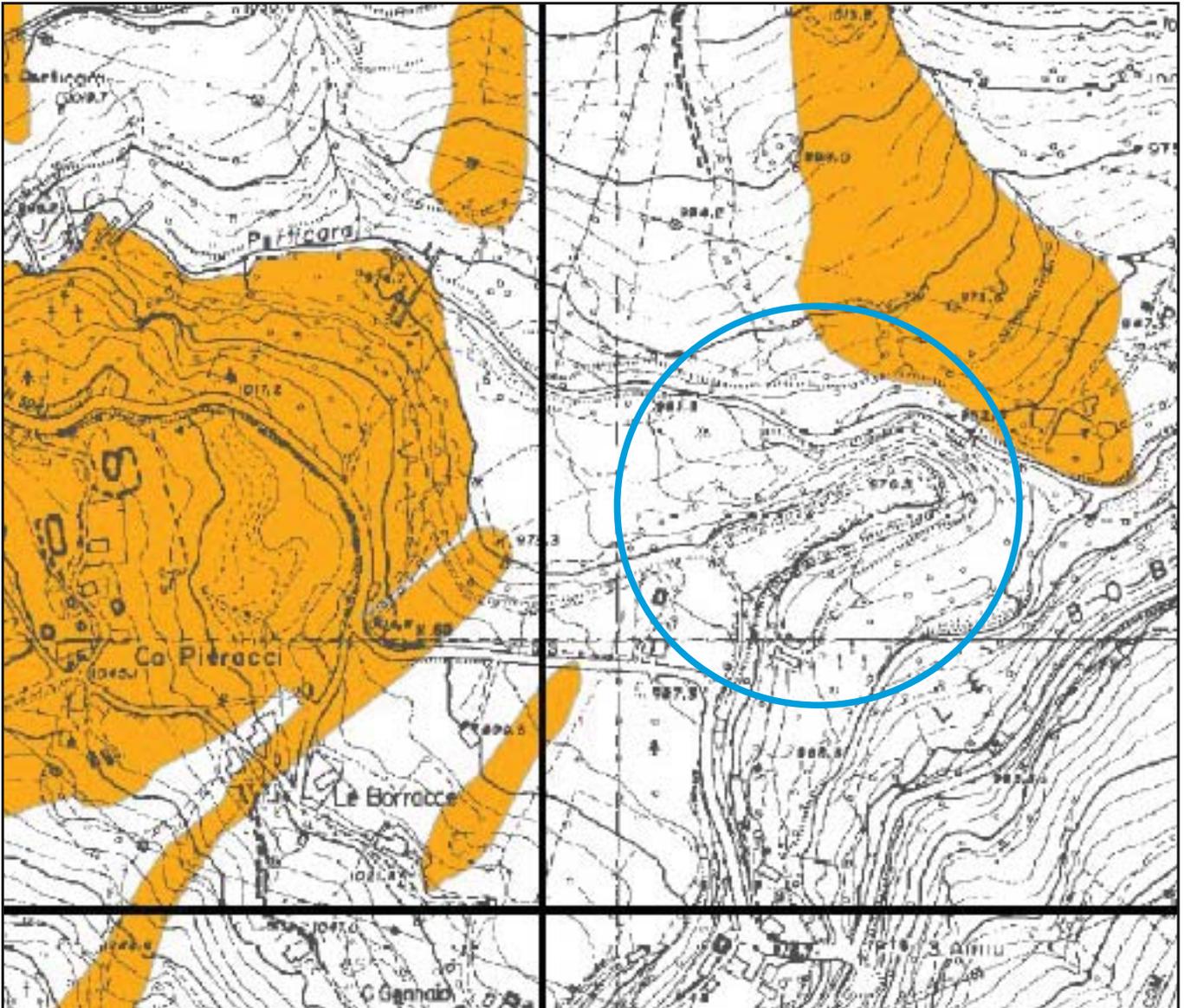
SETTEMBRE 2011

**LEGENDA**  
 Diretrice profilo topografico



# GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche  
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



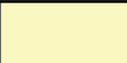
## Tav. n. 6 "Inventario del dissesto P.T.C.P."

Scala 1: 10.000



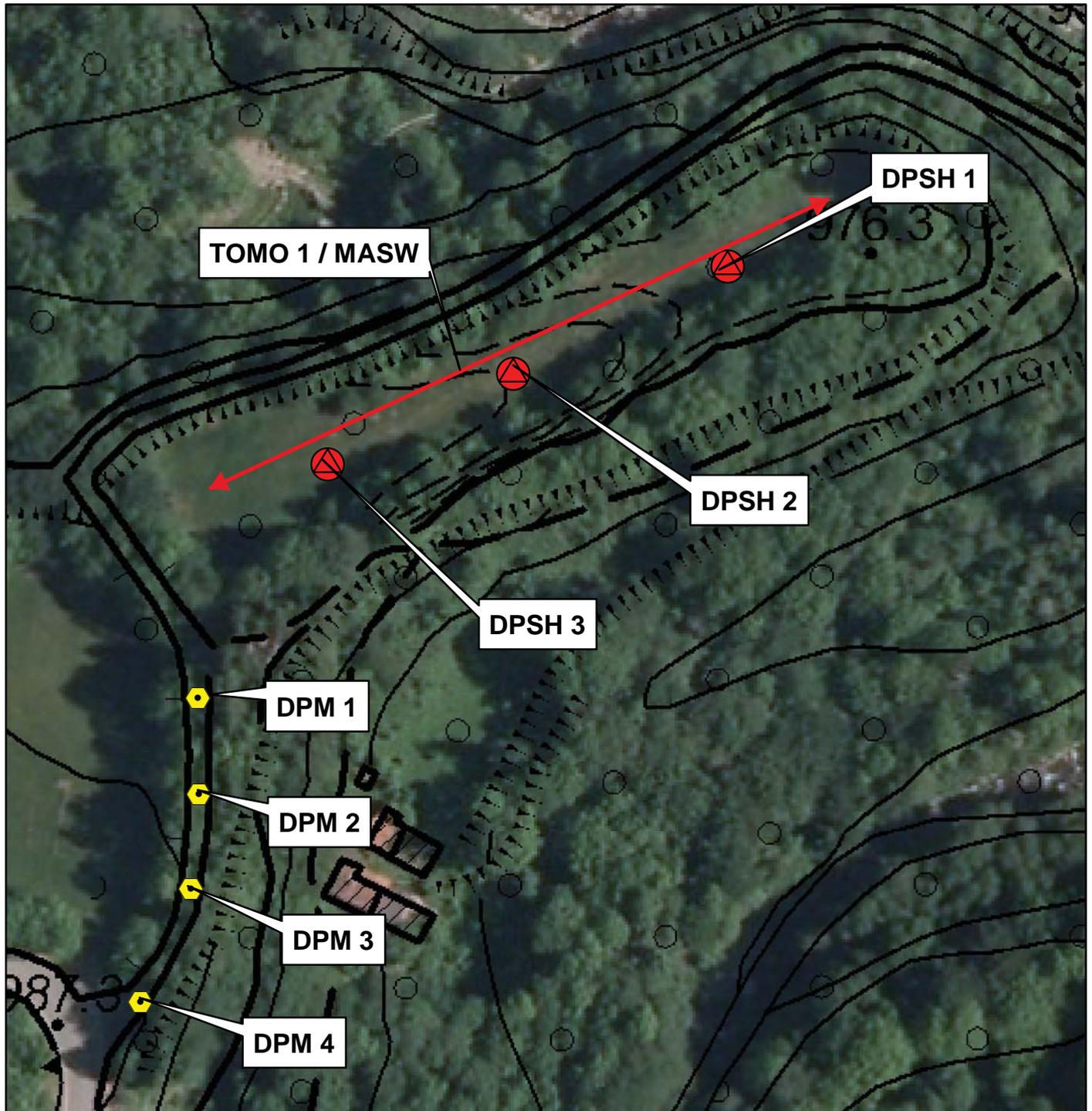
### Legenda

 Area di interesse

Zone ed elementi caratterizzati da fenomeni di dissesto e instabilità				
			Aree interessate da frane attive	Art.26
			Aree interessate da frane quiescenti	
Zone ed elementi caratterizzati da potenziale instabilità				
			Aree potenzialmente instabili	Art.27



GEO GROUP s.r.l.  
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena  
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)  
Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019  
p.IVA e C.F. 02981500362 – www.geogroupmodena.it  
e-mail: info@geogroupmodena.it



# TAVOLA n. 7

## UBICAZIONE INDAGINI

SCALA **1:1 000**





**GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)

***ALLEGATO N° 1***

***PROVE PENETROMETRICHE  
DINAMICHE DPSH E DL 30 (60°)  
CORREDATE DI INTERPRETAZIONE  
GEOTECNICA***

## PENETROMETRO DINAMICO IN USO : DPSH (S. Heavy)

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla Certificato	Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

### CARATTERISTICHE TECNICHE : DPSH (S. Heavy)

MASSA BATTENTE	M = 63.50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0.75 m
MASSA SISTEMA BATTUTA	M <sub>s</sub> = 8.00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50.50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 0.0020 m <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L <sub>a</sub> = 1.00 m
MASSA ASTE PER METRO	M <sub>a</sub> = 6.30 kg
PROF. GIUNZIONE 1 <sup>a</sup> ASTA	P1 = 0.80 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0.20$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(20) $\Rightarrow$ Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	SI
RENDIMENTO SPECIFICO x COLPOQ	= (MH)/(A $\delta$ ) = 1.14 MPa ( prova SPT : Q <sub>spt</sub> = 0.77 MPa )
COEFF. TEORICO RENDIMENTO	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1.491$ ( teoricamente : N <sub>spt</sub> = $\beta_t$ N )

Valutazione resistenza dinamica alla punta R<sub>pd</sub> [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

R<sub>pd</sub> = resistenza dinamica punta [ area A]  
e = infissione per colpo =  $\delta / N$

M = massa battente (altezza caduta H)  
P = massa totale aste e sistema battuta

#### UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm <sup>2</sup> = 0.098067 MPa $\approx$ 0,1 MPa
1 MPa = 1 MN/m <sup>2</sup> = 10.197 kg/cm <sup>2</sup>
1 bar = 1.0197 kg/cm <sup>2</sup> = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 1

Scala 1: 50

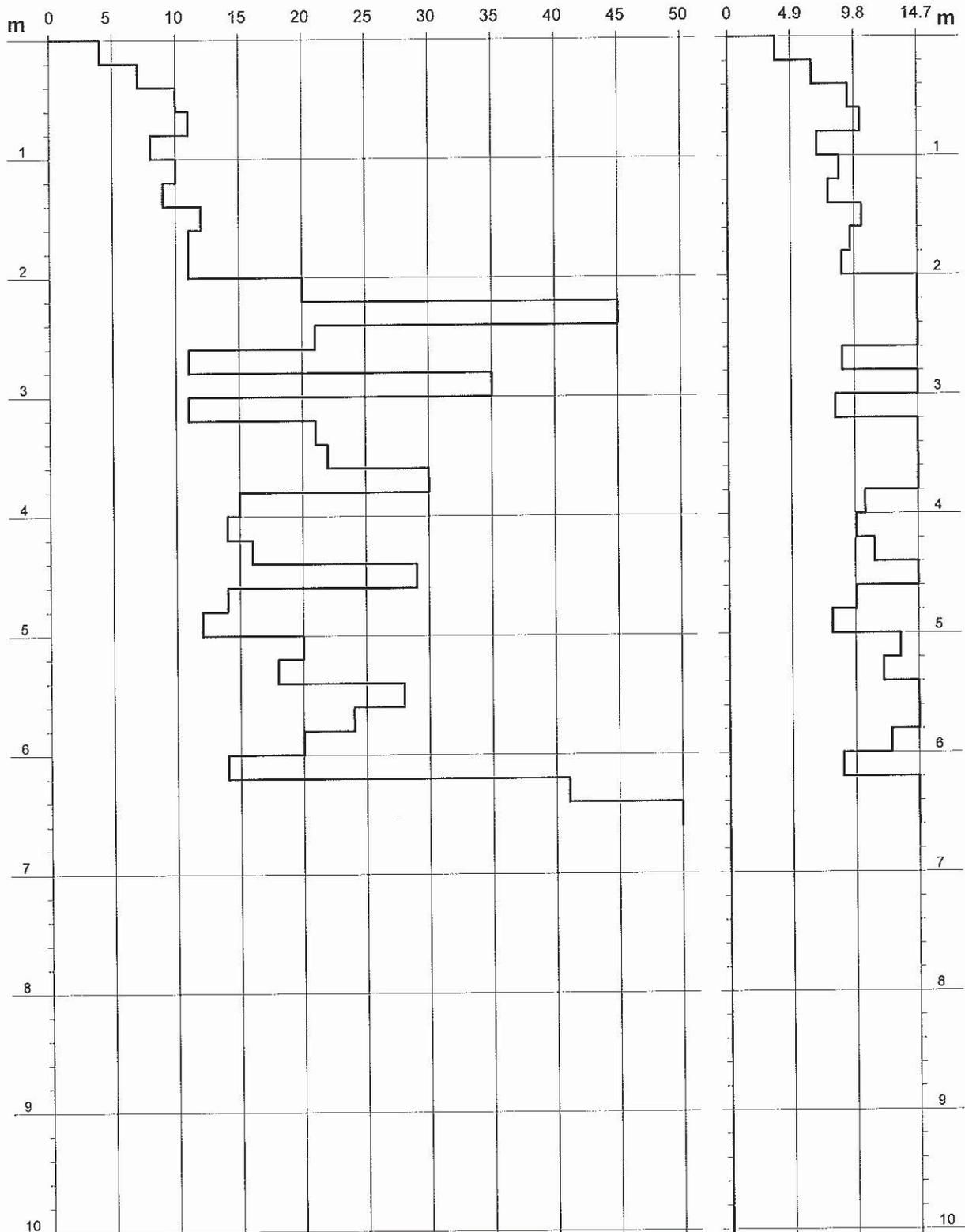
- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : Sant'Anna Pelago

- data prova : 20/12/2014  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 22/12/2014  
- pagina n°: 2/3

- note :

N = N(20) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento  $\delta = 0.20$  m

Rpd (MPa)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 1

- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : Sant'Anna Pelago

- data prova : 20/12/2014  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 22/12/2014  
- pagina n° : 1/3

- note :

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(MPa)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(MPa)	asta
0.00 - 0.20	4	3.7	1	3.40 - 3.60	22	16.5	4
0.20 - 0.40	7	6.5	1	3.60 - 3.80	30	22.5	4
0.40 - 0.60	10	9.3	1	3.80 - 4.00	15	10.6	5
0.60 - 0.80	11	10.3	1	4.00 - 4.20	14	9.9	5
0.80 - 1.00	8	6.9	2	4.20 - 4.40	16	11.3	5
1.00 - 1.20	10	8.6	2	4.40 - 4.60	29	20.5	5
1.20 - 1.40	9	7.8	2	4.60 - 4.80	14	9.9	5
1.40 - 1.60	12	10.4	2	4.80 - 5.00	12	8.0	6
1.60 - 1.80	11	9.5	2	5.00 - 5.20	20	13.3	6
1.80 - 2.00	11	8.8	3	5.20 - 5.40	18	12.0	6
2.00 - 2.20	20	16.1	3	5.40 - 5.60	28	18.6	6
2.20 - 2.40	45	36.2	3	5.60 - 5.80	24	16.0	6
2.40 - 2.60	21	16.9	3	5.80 - 6.00	20	12.6	7
2.60 - 2.80	11	8.8	3	6.00 - 6.20	14	8.8	7
2.80 - 3.00	35	26.3	4	6.20 - 6.40	41	25.8	7
3.00 - 3.20	11	8.3	4	6.40 - 6.60	50	31.4	7
3.20 - 3.40	21	15.8	4				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : DPSH (S. Heavy)

- M (massa battente)= 63.50 kg - H (altezza caduta)= 0.75 m - A (area punta)= 0.0020 m<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 50.50 mm

- Numero Colpi Punta N = N(20) [  $\delta = 20$  cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : SI

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 1

- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : Sant'Anna Pelago

- data prova : 20/12/2014  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 22/12/2014  
- pagina n° : 3/3

- note :

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	$\beta$	Nspt
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0.00	2.00	N	9.3	4	12	6.7	2.4	6.9	11.7	9	1.49	13
			Rpd	8.19	3.73	10.37	5.96	2.03	6.16	10.22			
2	2.00	6.20	N	2.06	1.08	4.41	1.57	0.84	1.22	2.89	21	1.49	31
			Rpd	15.17	7.98	36.16	11.57	6.92	8.25	22.09			
3	6.20	6.60	N	4.46	4.02	4.90	4.24	----	----	----	46	1.49	69
			Rpd	28.59	25.76	31.42	27.18	----	----	----			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 20$  cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (MPa)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta_t = 1.49$ ) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

## Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 1

n°	H		NATURA GRANULARE							NATURA COESIVA				Q	Litologia	
			Nspt	Vs	G	Dr	$\phi'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W			e
1	0.00	2.00	13	107	8.62	39	30	28.52	1.95	1.53	79.38	1.93	30.3	0.818	396.90	
2	2.00	6.20	31	163	16.46	66	36	42.14	2.06	1.70	90.12	2.15	17.6	0.474	758.52	
3	6.20	6.60	69	204	29.69	92	43	70.85	2.19	1.91	222.38	2.61	2.0	0.0541	445.50	

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa  $\phi'$  (°) = angolo di attrito efficace E' (MPa) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
e (-) = indice dei vuoti Cu (kPa) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno  
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (MPa) = Modulo di taglio dinamico Q (kPa) = [Rpd/Chi] [ $15 > Chi > 20$ ] capacità portante Sanglerat 1972

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 2

- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : Sant'Anna Pelago

- data prova : 20/12/2014  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 22/12/2014  
- pagina n°: 1/3

- note :

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(MPa)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(MPa)	asta
0.00 - 0.20	10	9.3	1	1.60 - 1.80	40	34.5	2
0.20 - 0.40	15	14.0	1	1.80 - 2.00	16	12.9	3
0.40 - 0.60	7	6.5	1	2.00 - 2.20	13	10.4	3
0.60 - 0.80	10	9.3	1	2.20 - 2.40	15	12.1	3
0.80 - 1.00	8	6.9	2	2.40 - 2.60	45	36.2	3
1.00 - 1.20	20	17.3	2	2.60 - 2.80	50	40.2	3
1.20 - 1.40	40	34.5	2	2.80 - 3.00	52	39.1	4
1.40 - 1.60	33	28.5	2				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : DPSH (S. Heavy)

- M (massa battente)= 63.50 kg - H (altezza caduta)= 0.75 m - A (area punta)= 0.0020 m<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 50.50 mm

- Numero Colpi Punta N = N(20) [  $\delta$  = 20 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : SI

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 2

Scala 1: 50

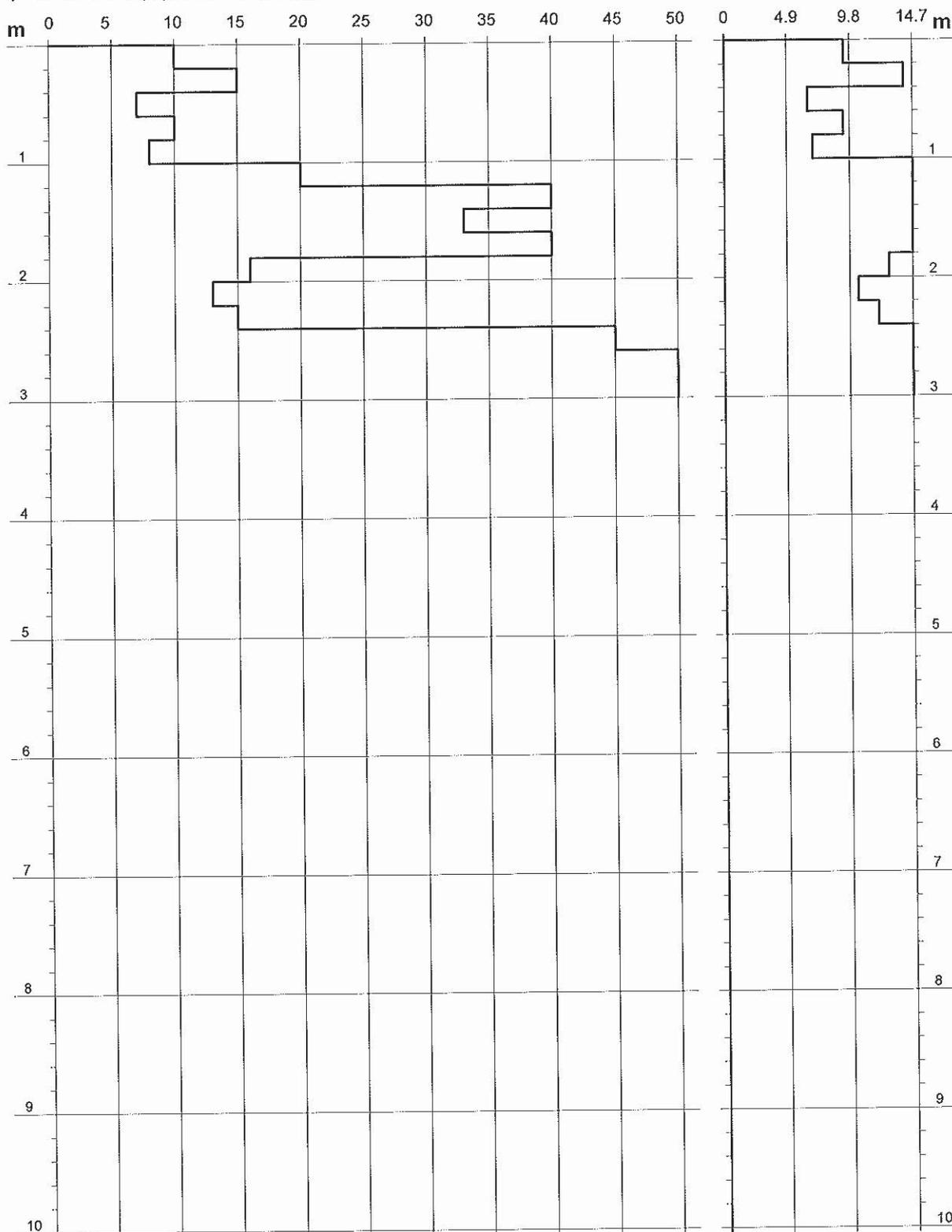
- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : Sant'Anna Pelago

- data prova : 20/12/2014  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 22/12/2014  
- pagina n°: 2/3

- note :

N = N(20) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento  $\delta = 0.20$  m

Rpd (MPa)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 2

- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : Sant'Anna Pelago

- data prova : 20/12/2014  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 22/12/2014  
- pagina n° : 3/3

- note :

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	$\beta$	Nspt
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0.00	1.00	N	10.0	7	15	8.5	----	----	----	10	1.49	15
			Rpd	9.22	6.54	14.00	7.88	----	----	----			
2	1.00	2.40	N	2.48	1.27	3.92	1.87	1.18	1.30	3.66	25	1.49	37
			Rpd	21.46	10.45	34.55	15.95	10.75	10.71	32.21			
3	2.40	3.00	N	4.80	4.41	5.10	4.61	----	----	----	49	1.49	73
			Rpd	38.47	36.16	40.18	37.31	----	----	----			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 20$  cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (MPa)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta_t = 1.49$ ) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 2

n°	H		NATURA GRANULARE							NATURA COESIVA				Q	Litologia	
			Nspt	Vs	G	Dr	$\phi'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W			e
1	0.00	1.00	15	96	9.60	42	31	29.99	1.96	1.54	92.12	1.96	28.6	0.773	461.58	
2	1.00	2.40	37	142	18.72	72	37	46.65	2.09	1.74	226.38	2.23	14.3	0.387	1060.36	
3	2.40	3.00	73	174	30.97	93	44	73.89	2.20	1.93	446.88	2.66	0.8	0.023	1923.74	

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa  $\phi'$  (°) = angolo di attrito efficace E' (MPa) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
e (-) = indice dei vuoti Cu (kPa) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno  
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (MPa) = Modulo di taglio dinamico Q (kPa) = [Rpd/Chi] [15>=Chi>=20] capacità portante Sanglerat 1972

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 3

- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : Sant'Anna Pelago

- data prova : 20/12/2014  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 07/01/2015  
- pagina n°: 1/

- note :

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(MPa)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(MPa)	asta
0.00 - 0.20	4	3.7	1	2.40 - 2.60	26	20.9	3
0.20 - 0.40	6	5.6	1	2.60 - 2.80	40	32.1	3
0.40 - 0.60	6	5.6	1	2.80 - 3.00	12	9.0	4
0.60 - 0.80	19	17.7	1	3.00 - 3.20	11	8.3	4
0.80 - 1.00	18	15.5	2	3.20 - 3.40	12	9.0	4
1.00 - 1.20	20	17.3	2	3.40 - 3.60	14	10.5	4
1.20 - 1.40	11	9.5	2	3.60 - 3.80	16	12.0	4
1.40 - 1.60	18	15.5	2	3.80 - 4.00	25	17.6	5
1.60 - 1.80	13	11.2	2	4.00 - 4.20	45	31.7	5
1.80 - 2.00	10	8.0	3	4.20 - 4.40	27	19.0	5
2.00 - 2.20	11	8.8	3	4.40 - 4.60	35	24.7	5
2.20 - 2.40	13	10.4	3	4.60 - 4.80	50	35.3	5

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : DPSH (S. Heavy)

- M (massa battente)= 63.50 kg - H (altezza caduta)= 0.75 m - A (area punta)= 0.0020 m<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 50.50 mm

- Numero Colpi Punta N = N(20) [  $\delta$  = 20 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : SI

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 3

Scala 1: 50

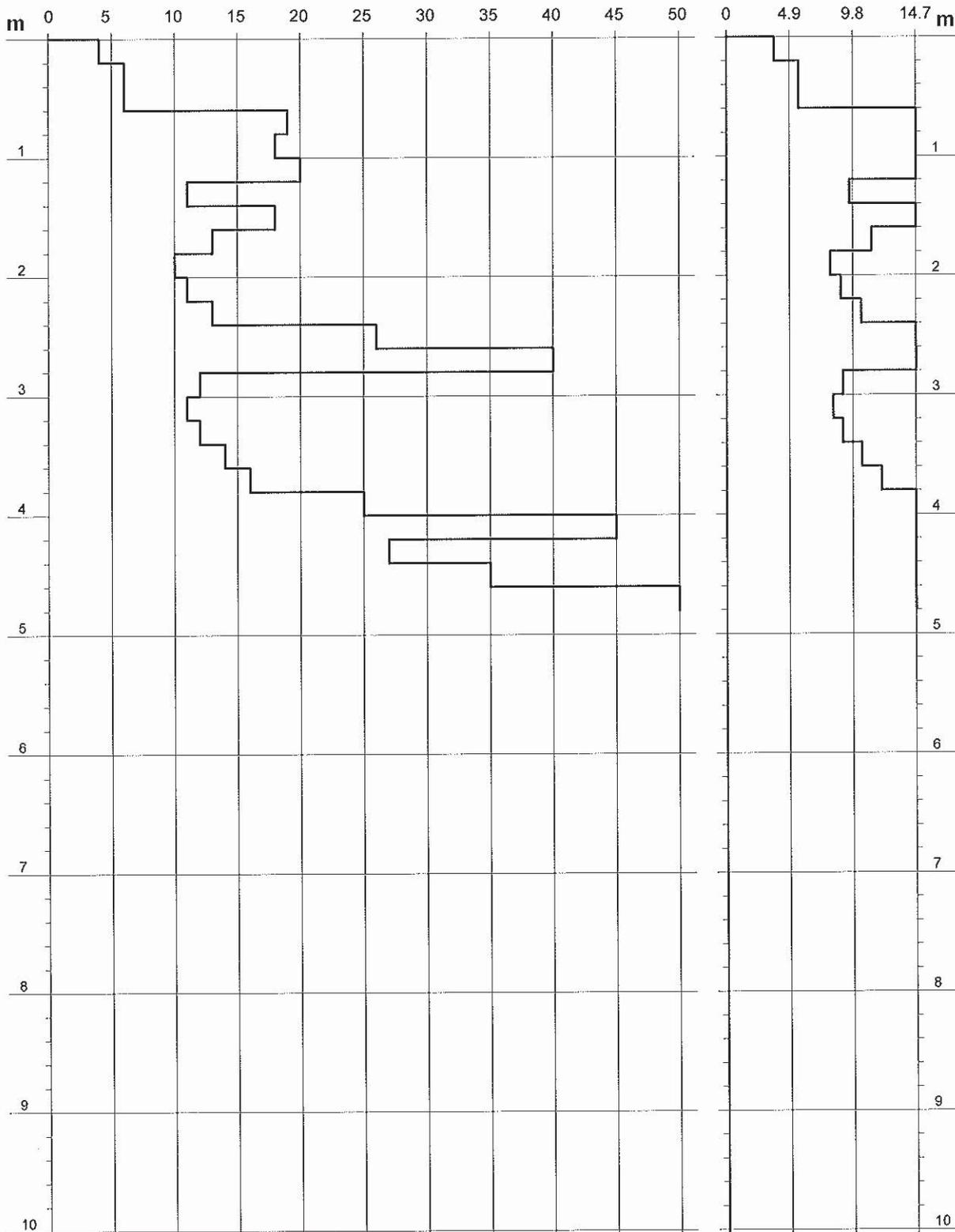
- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : Sant'Anna Pelago

- data prova : 20/12/2014  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 07/01/2015  
- pagina n° : 2/3

- note :

N = N(20) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento  $\delta = 0.20$  m

Rpd (MPa)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 3

- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : Sant'Anna Pelago

- data prova : 20/12/2014  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 22/12/2014  
- pagina n°: 3/3

- note :

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	$\beta$	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s				M+s
1	0.00	0.60	N	5.3	4	6	4.7	----	----	----	5	1.49	7
			Rpd	4.98	3.73	5.61	4.36	----	----	----			
2	0.60	3.80	N	1.62	0.98	3.92	1.30	0.74	0.87	2.36	16	1.49	24
			Rpd	13.50	8.04	32.14	10.77	6.34	7.15	19.85			
3	3.80	4.80	N	3.57	2.45	4.90	3.01	----	----	----	36	1.49	54
			Rpd	25.67	17.63	35.26	21.65	----	----	----			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 20$  cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (MPa)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta_t = 1.49$ ) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 3

n°	H		NATURA GRANULARE							NATURA COESIVA				Q	Litologia	
			Nspt	Vs	G	Dr	$\phi'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W			e
1	0.00	0.60	7	76	5.49	25	28	24.01	1.90	1.45	43.12	1.86	36.0	0.972	235.20	
2	0.60	3.80	24	138	13.62	56	34	36.85	2.01	1.63	147.00	2.07	21.9	0.591	654.64	
3	3.80	4.80	54	181	24.79	86	41	59.49	2.16	1.86	331.24	2.43	6.9	0.187	269.10	

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa  $\phi'$  (°) = angolo di attrito efficace E' (MPa) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
e (-) = indice dei vuoti Cu (kPa) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno  
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (MPa) = Modulo di taglio dinamico Q (kPa) = [Rpd/Chi] [ $15 \geq \text{Chi} \geq 20$ ] capacità portante Sanglerat 1972

## PENETROMETRO DINAMICO IN USO : DL-30 (60°)

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla Certificato	Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

### CARATTERISTICHE TECNICHE : DL-30 (60°)

MASSA BATTENTE	M = 30.00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0.20 m
MASSA SISTEMA BATTUTA	M <sub>s</sub> = 18.00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 35.70 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 0.0010 m <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 60^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 1.00 m
MASSA ASTE PER METRO	Ma = 2.40 kg
PROF. GIUNZIONE 1 <sup>a</sup> ASTA	P1 = 0.80 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0.10$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(10) $\Rightarrow$ Relativo ad un avanzamento di 10 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	SI

#### RENDIMENTO SPECIFICO x COLPO

$$Q = (MH)/(A\delta) = 0.59 \text{ MPa} \quad (\text{prova SPT : } Q_{spt} = 0.77 \text{ MPa})$$

$$\text{COEFF. TEORICO RENDIMENTO } \beta_t = Q/Q_{spt} = 0.766 \quad (\text{teoricamente : } N_{spt} = \beta_t N)$$

Valutazione resistenza dinamica alla punta R<sub>pd</sub> [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

R<sub>pd</sub> = resistenza dinamica punta [ area A]  
e = infissione per colpo =  $\delta / N$

M = massa battente (altezza caduta H)  
P = massa totale aste e sistema battuta

#### UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm <sup>2</sup> = 0.098067 MPa $\approx$ 0,1 MPa
1 MPa = 1 MN/m <sup>2</sup> = 10.197 kg/cm <sup>2</sup>
1 bar = 1.0197 kg/cm <sup>2</sup> = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 1

- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio terreno di fondazione  
- località : Sant'Anna Pelago

- data prova : 10/03/2015  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 11/03/2015  
- pagina n°: 1/1

- note :

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(MPa)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(MPa)	asta
0.00 - 0.10	80	28.0	1	0.60 - 0.70	12	4.2	1
0.10 - 0.20	50	17.5	1	0.70 - 0.80	10	3.5	1
0.20 - 0.30	18	6.3	1	0.80 - 0.90	16	5.3	2
0.30 - 0.40	15	5.2	1	0.90 - 1.00	12	4.0	2
0.40 - 0.50	16	5.6	1	1.00 - 1.10	17	5.7	2
0.50 - 0.60	13	4.6	1	1.10 - 1.20	50	16.7	2

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : DL-30 (60°)

- M (massa battente)= 30.00 kg - H (altezza caduta)= 0.20 m - A (area punta)= 0.0010 m<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 35.70 mm

- Numero Colpi Punta N = N(10) [  $\delta$  = 10 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : SI

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 1

Scala 1: 50

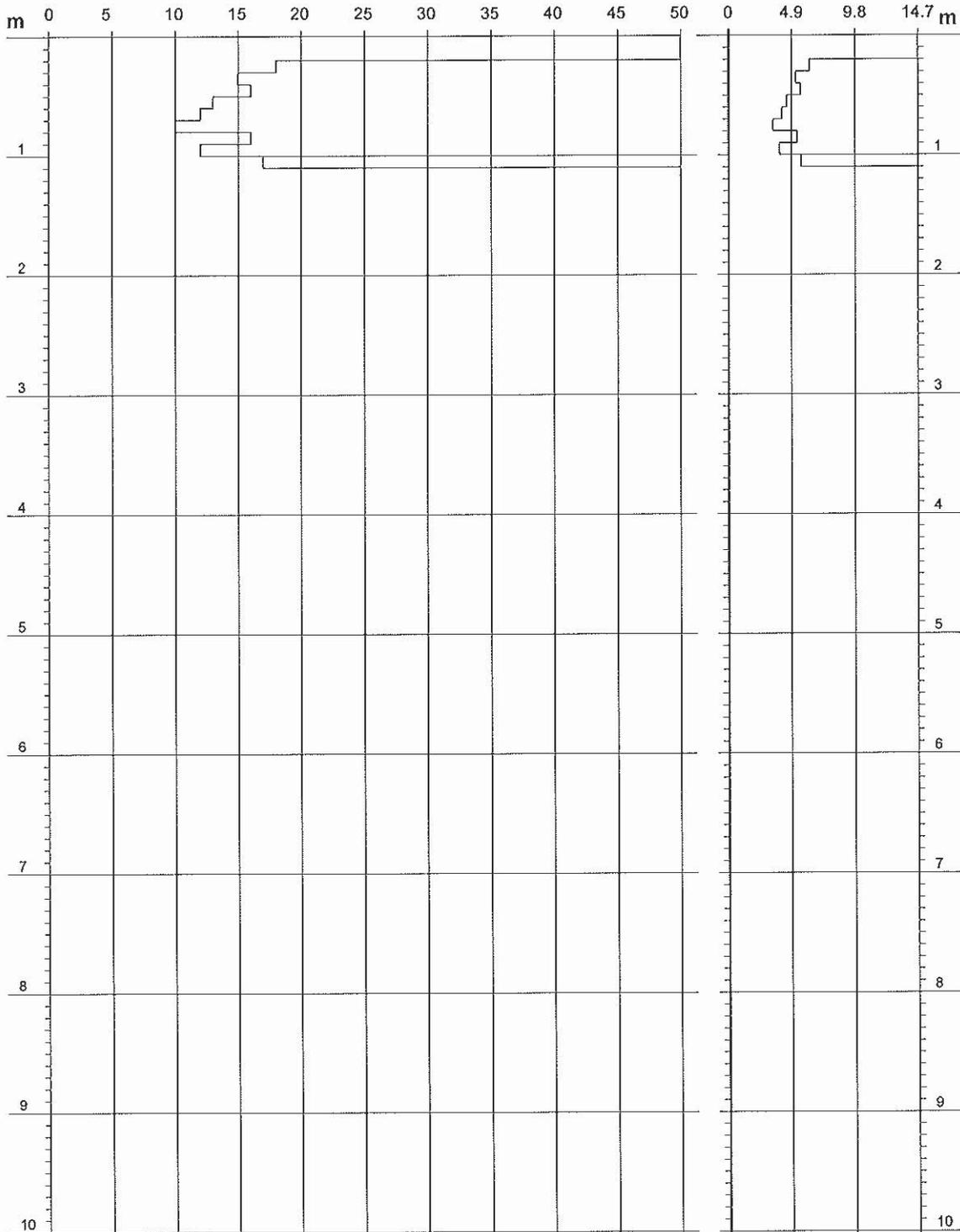
- committente : Studio tecnico  
 - lavoro : Studio terreno di fondazione  
 - località : Sant'Anna Pelago

- data prova : 10/03/2015  
 - quota inizio : 0.0  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - data emiss. : 11/03/2015  
 - pagina n° : 2/2

- note :

N = N(10) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento  $\delta = 0.10$  m

Rpd (MPa)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 1

- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio terreno di fondazione  
- località : Sant'Anna Pelago

- data prova : 10/03/2015  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 11/03/2015  
- pagina n°: 3/3

- note :

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	$\beta$	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0.00 0.20	N	65.0	50	80	57.5	----	----	----	65	0.77	50
		Rpd	22.75	17.50	28.00	20.13	----	----	----	232		
2	0.20 1.10	N	1.40	0.98	1.76	1.20	0.26	1.14	1.67	14	0.77	11
		Rpd	4.94	3.50	6.30	4.21	0.92	4.02	5.85	49		
3	1.10 1.20	N	4.90	4.90	4.90	4.90	----	----	----	50	0.77	38
		Rpd	16.71	16.71	16.71	16.71	----	----	----	171		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 10$  cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (MPa)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta t = 0.77$ ) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 1

n°	H	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA					Q	Litologia		
		Nspt	Vs	G	Dr	$\phi'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat			W	e
1	0.00 0.20	50	86	23.42	85	41	56.45	2.15	1.85	306.74	2.38	8.5	0.2291	137.78	
2	0.20 1.10	11	95	7.64	36	30	27.05	1.94	1.51	67.62	1.91	32.1	0.867	242.06	
3	1.10 1.20	38	132	19.11	73	38	47.43	2.09	1.75	233.24	2.24	13.8	0.373	835.94	

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa  $\phi'$  (°) = angolo di attrito efficace E' (MPa) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
e (-) = indice dei vuoti Cu (kPa) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno  
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (MPa) = Modulo di taglio dinamico Q (kPa) = [Rpd/Chi] [15>=Chi>=20] capacità portante Sanglerat 1972

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 1

- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio terreno di fondazione  
- località : Sant'Anna Pelago

- data prova : 10/03/2015  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 11/03/2015  
- pagina n° : 1/3

- note :

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(MPa)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(MPa)	asta
0.00 - 0.10	80	28.0	1	0.60 - 0.70	12	4.2	1
0.10 - 0.20	50	17.5	1	0.70 - 0.80	10	3.5	1
0.20 - 0.30	18	6.3	1	0.80 - 0.90	16	5.3	2
0.30 - 0.40	15	5.2	1	0.90 - 1.00	12	4.0	2
0.40 - 0.50	16	5.6	1	1.00 - 1.10	17	5.7	2
0.50 - 0.60	13	4.6	1	1.10 - 1.20	50	16.7	2

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : DL-30 (60°)

- M (massa battente)= 30.00 kg - H (altezza caduta)= 0.20 m - A (area punta)= 0.0010 m<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 35.70 mm

- Numero Colpi Punta N = N(10) [  $\delta = 10$  cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : SI

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
 DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 1

Scala 1: 50

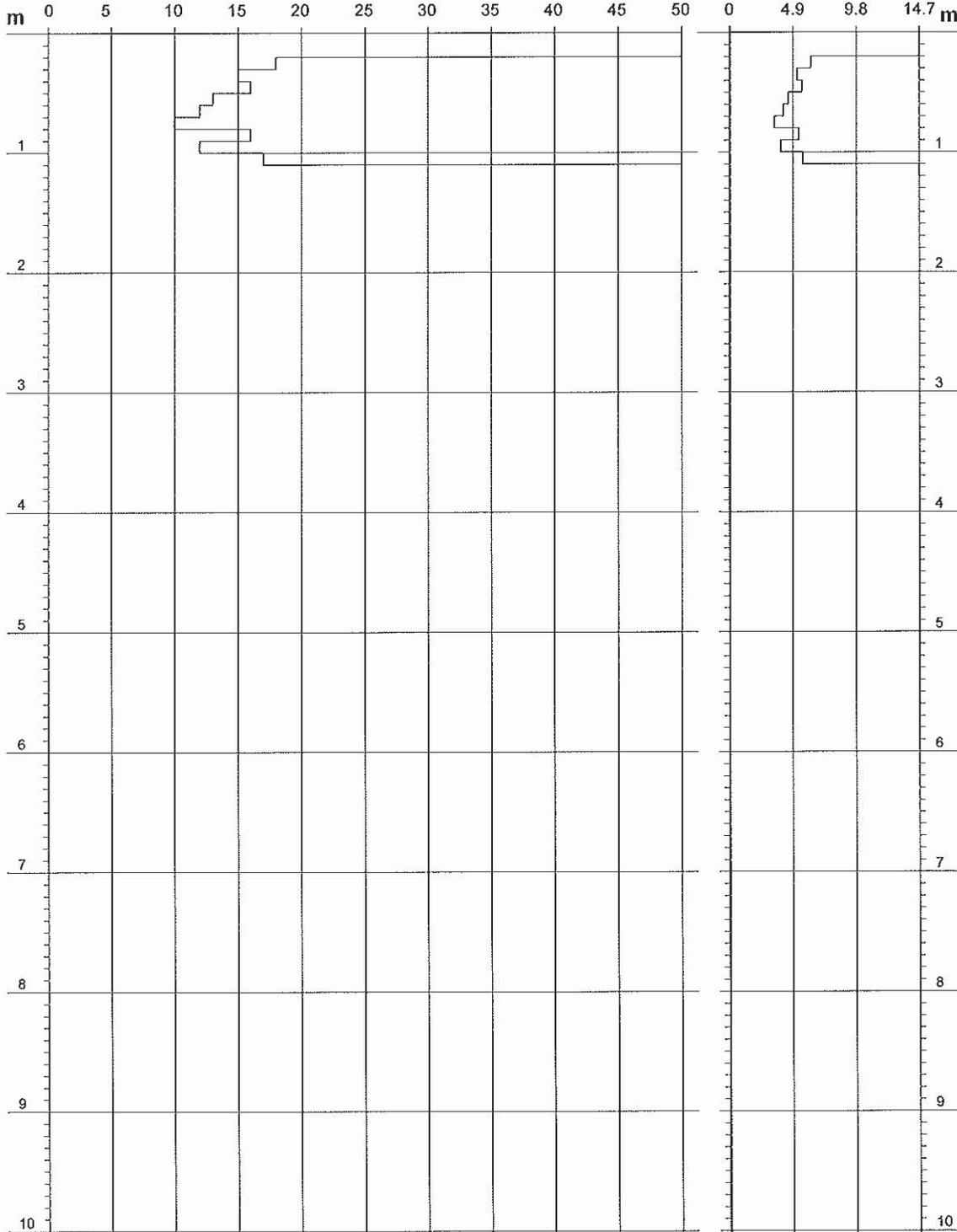
- committente : Studio tecnico  
 - lavoro : Studio terreno di fondazione  
 - località : Sant'Anna Pelago

- data prova : 10/03/2015  
 - quota inizio : 0.0  
 - prof. falda : Falda non rilevata  
 - data emiss. : 11/03/2015  
 - pagina n°: 2/2

- note :

N = N(10) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento  $\delta = 0.10$  m

Rpd (MPa)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 1

- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : S'Anna Pelago

- data prova : 10/03/2015  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 11/03/2015  
- pagina n°: 3/3

- note :

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	$\beta$	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\min)$	s	M-s				M+s
1	0.00	0.80	N	28.0	7	60	17.5	18.1	9.9	46.1	28	0.77	21
			Rpd	9.80	2.45	21.00	6.13	6.32	3.48	16.12			
2	0.80	1.20	N	3.80	3.43	3.92	3.62	----	----	----	39	0.77	30
			Rpd	12.95	1.69	13.37	12.32	----	----	----			
3	1.20	1.30	N	4.90	4.90	4.90	4.90	----	----	----	50	0.77	38
			Rpd	16.71	16.71	16.71	16.71	----	----	----			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 10$  cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (MPa)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta = 0.77$ ) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 1

n°	H		NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA				Q	Litologia			
			Nspt	Vs	G	Dr	$\phi'$	E'	Ysat	Yd	Cu			Ysat	W	e
1	0.00	0.80	21	97	12.35	51	33	34.59	2.00	1.60	28.38	2.03	24.0	0.648	490.00	
2	0.80	1.20	30	123	16.07	65	36	41.36	2.05	1.69	184.24	2.14	18.1	0.490	650.72	
3	1.20	1.30	38	134	19.11	73	38	47.43	2.09	1.75	233.24	2.24	13.8	0.373	835.94	

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa  $\phi'$  (°) = angolo di attrito efficace E' (MPa) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
e (-) = indice dei vuoti Cu (kPa) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno  
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (MPa) = Modulo di taglio dinamico Q (kPa) = [Rpd/Chi] [15>=Chi>=20] capacità portante Sanglerat 1972

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 1

- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : S'Anna Pelago

- data prova : 10/03/2015  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 11/03/2015  
- pagina n°: 1/3

- note :

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(MPa)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(MPa)	asta
0.00 - 0.10	7	2.5	1	0.70 - 0.80	20	7.0	1
0.10 - 0.20	14	4.9	1	0.80 - 0.90	35	11.7	2
0.20 - 0.30	50	17.5	1	0.90 - 1.00	40	13.4	2
0.30 - 0.40	60	21.0	1	1.00 - 1.10	40	13.4	2
0.40 - 0.50	20	7.0	1	1.10 - 1.20	40	13.4	2
0.50 - 0.60	28	9.8	1	1.20 - 1.30	50	16.7	2
0.60 - 0.70	25	8.7	1				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : DL-30 (60°)

- M (massa battente)= 30.00 kg - H (altezza caduta)= 0.20 m - A (area punta)= 0.0010 m<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 35.70 mm

- Numero Colpi Punta N = N(10) [  $\delta = 10$  cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : SI

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 1

Scala 1: 50

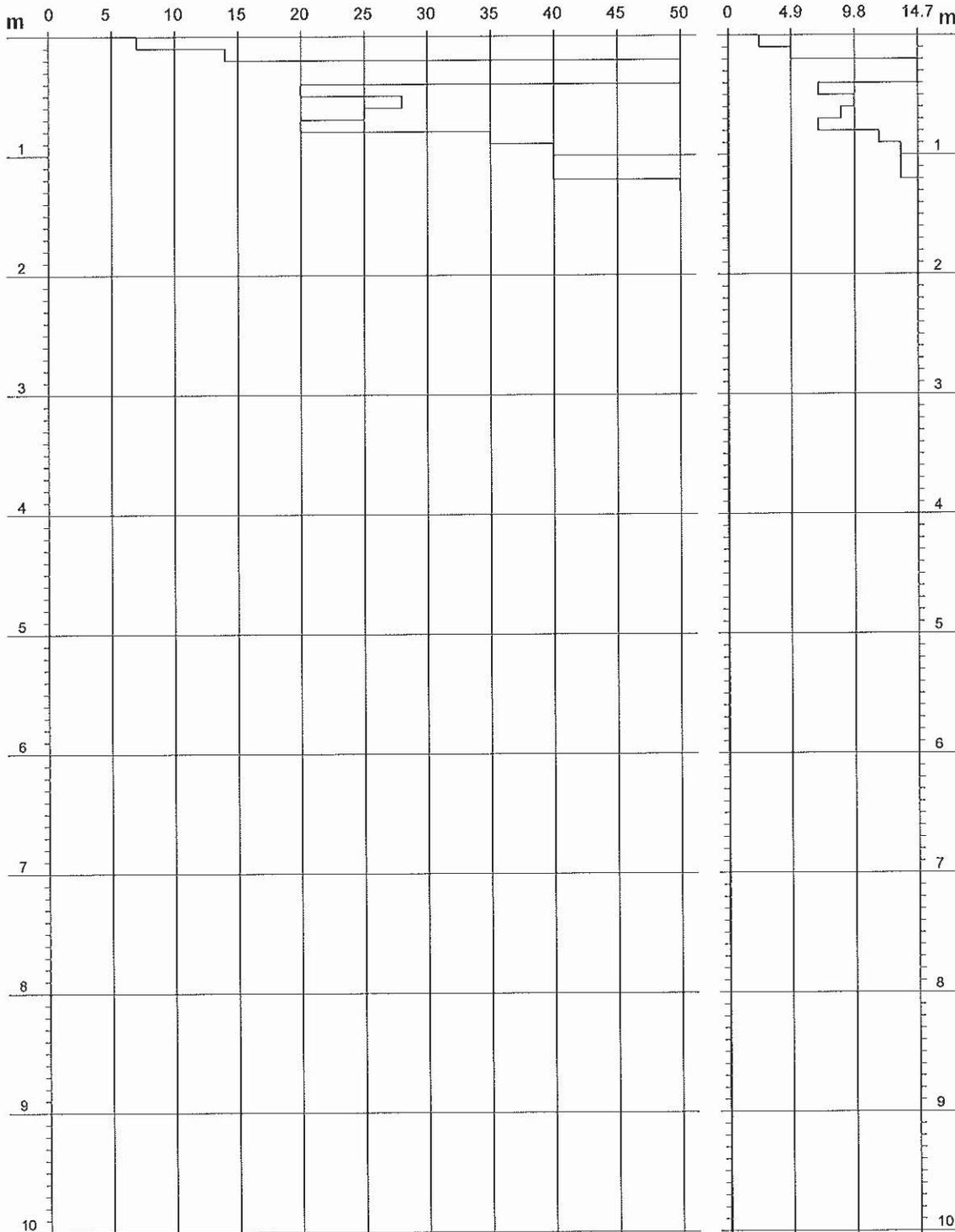
- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : S'Anna Pelago

- data prova : 10/03/2015  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 11/03/2015  
- pagina n°: 2/3

- note :

N = N(10) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento  $\delta = 0.10$  m

Rpd (MPa)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 3

- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : Sant'Anna Pelago.

- data prova : 10/03/2015  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 11/03/2015  
- pagina n°: 3/3

- note :

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	$\beta$	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\min)$	s	M-s	M+s			
1	0.00 0.40	N	5.5	3	10	4.3	----	----	----	6	0.77	5
		Rpd	1.92	1.05	3.50	1.49	----	----	----	21		
2	0.40 1.10	N	3.33	1.47	4.90	2.40	1.31	2.02	4.65	34	0.77	26
		Rpd	11.59	5.25	16.71	8.42	4.40	7.19	15.99	118		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 10$  cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (MPa)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta_t = 0.77$ ) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 3

n°	H	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA					Q	Litologia		
		Nspt	Vs	G	Dr	$\phi'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat			W	e
1	0.00 0.40	5	66	4.21	18	28	22.44	1.88	1.41	30.38	1.83	39.3	1.061	104.86	
2	0.40 1.10	26	114	14.41	59	34	38.32	2.03	1.65	59.74	2.09	20.6	0.556	580.16	

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa  $\phi'$  (°) = angolo di attrito efficace E' (MPa) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
e (-) = indice dei vuoti Cu (kPa) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno  
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (MPa) = Modulo di taglio dinamico Q (kPa) = [Rpd/Chi] [15>=Chi>=20] capacità portante Sanglerat 1972

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 4

- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : S' Anna Pelago

- data prova : 10/03/2015  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 11/03/2015  
- pagina n°: 1/3

- note :

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(MPa)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(MPa)	asta
0.00 - 0.10	4	1.4	1	0.50 - 0.60	35	12.3	1
0.10 - 0.20	10	3.5	1	0.60 - 0.70	28	9.8	1
0.20 - 0.30	15	5.2	1	0.70 - 0.80	40	14.0	1
0.30 - 0.40	18	6.3	1	0.80 - 0.90	40	13.4	2
0.40 - 0.50	30	10.5	1	0.90 - 1.00	50	16.7	2

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : DL-30 (60°)

- M (massa battente)= 30.00 kg - H (altezza caduta)= 0.20 m - A (area punta)= 0.0010 m<sup>2</sup> - D(diam. punta)= 35.70 mm

- Numero Colpi Punta N = N(10) [  $\delta$  = 10 cm ]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : SI

# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 4

Scala 1: 50

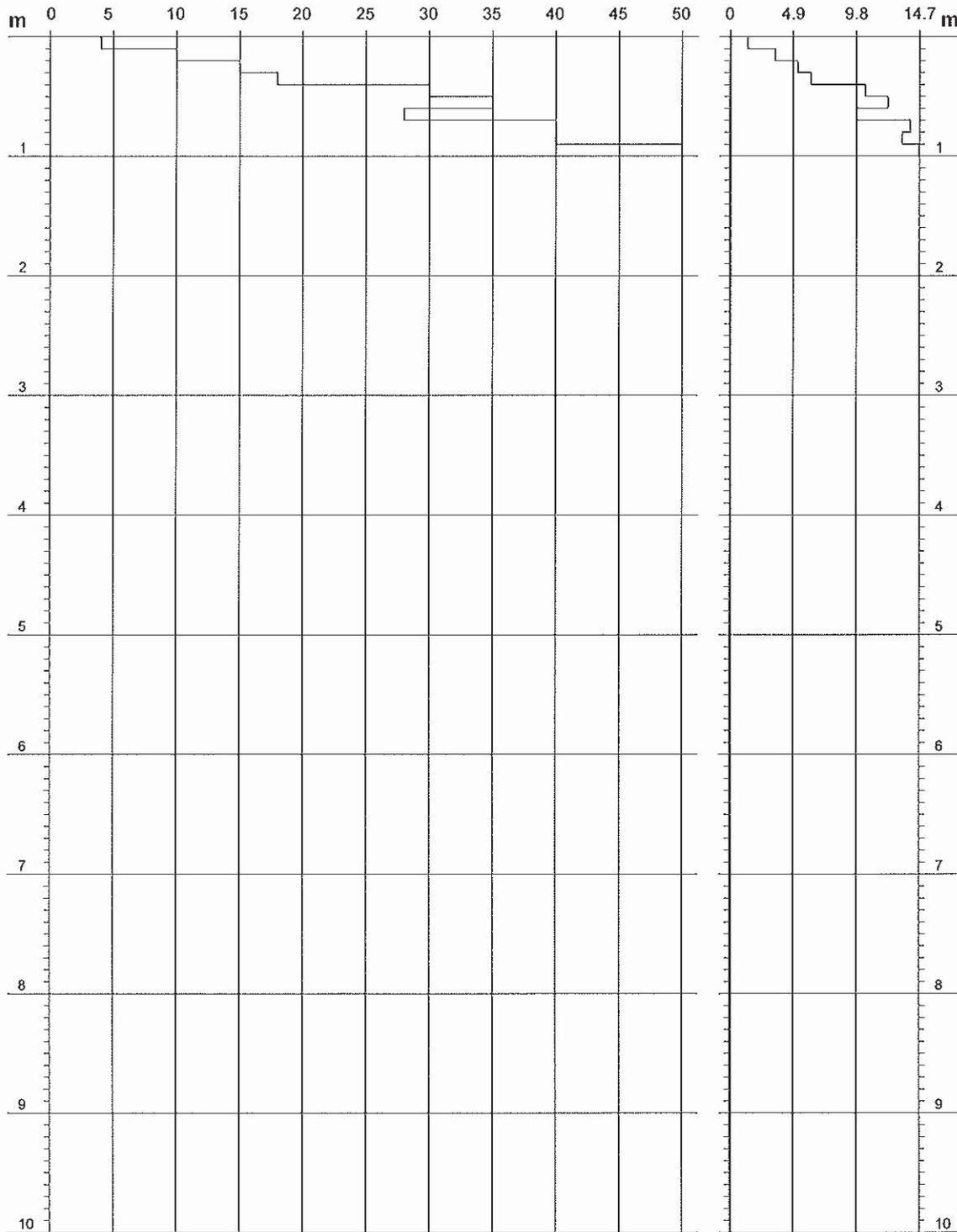
- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : S' Anna Pelago

- data prova : 10/03/2015  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 11/03/2015  
- pagina n° : 2/3

- note :

N = N(10) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento  $\delta = 0.10$  m

Rpd (MPa)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA  
ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 4

- committente : Studio tecnico  
- lavoro : Studio del terreno di fondazione  
- località : S' Anna Pelago

- data prova : 10/03/2015  
- quota inizio : 0.0  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- data emiss. : 11/03/2015  
- pagina n°: 3/3

- note :

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	$\beta$	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\min)$	s	M-s	M+s			
1	0.00 0.40	N	11.8	4	18	7.9	----	----	----	12	0.77	9
		Rpd	4.12	1.40	6.30	2.75	----	----	----	43		
2	0.40 0.90	N	3.39	2.74	3.92	3.07	----	----	----	35	0.77	27
		Rpd	11.99	9.80	14.00	10.89	----	----	----	124		
3	0.90 1.00	N	4.90	4.90	4.90	4.90	----	----	----	50	0.77	38
		Rpd	16.71	16.71	16.71	16.71	----	----	----	171		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto  
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento  $\delta = 10$  cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (MPa)  
 $\beta$ : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico  $\beta_t = 0.77$ ) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 4

n°	H	Nspt	Vs	G	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA					Q	Litologia
					Dr	$\phi'$	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e			
1	0.00 0.40	9	73	6.57	31	29	25.48	1.92	1.48	54.88	1.89	34.0	0.918	209.72		
2	0.40 0.90	27	111	14.80	60	35	39.10	2.03	1.66	65.62	2.10	20.0	0.539	606.62		
3	0.90 1.00	38	127	19.11	73	38	47.43	2.09	1.75	233.24	2.24	13.8	0.373	835.94		

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento  $\delta = 30$  cm)

DR % = densità relativa  $\phi'$  (°) = angolo di attrito efficace E' (MPa) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua  
e (-) = indice dei vuoti Cu (kPa) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m<sup>3</sup>) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno  
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (MPa) = Modulo di taglio dinamico Q (kPa) = [Rpd/Chi] [15>=Chi>=20] capacità portante Sanglerat 1972



**GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)

***ALLEGATO N° 2***

***VERIFICHE GEOTENICHE  
(VASCHE DI EQUALIZZAZIONE)***



## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



# VERIFICHE GEOTECNICHE

## DATI GENERALI

Azione sismica	NTC 2008
Larghezza fondazione	4.2 m
Lunghezza fondazione	5.6 m
Profondità piano di posa	4.0 m

## STRATIGRAFIA TERRENO

DH: Spessore strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH [m]	Gam [kN/m <sup>3</sup> ]	Gams [kN/m <sup>3</sup> ]	Fi [°]	Fi Corr. [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	c Corr. [kN/m <sup>2</sup> ]	cu [kN/m <sup>2</sup> ]	Ey [kN/m <sup>2</sup> ]	Ed [kN/m <sup>2</sup> ]
6.0	20.0	22.0	20.0	20	10.0	10.0	100.0	14000.0	7000.0
9.0	23.0	25.0	25.0	25	0.0	0.0	200.0	50000.0	0.0



**GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

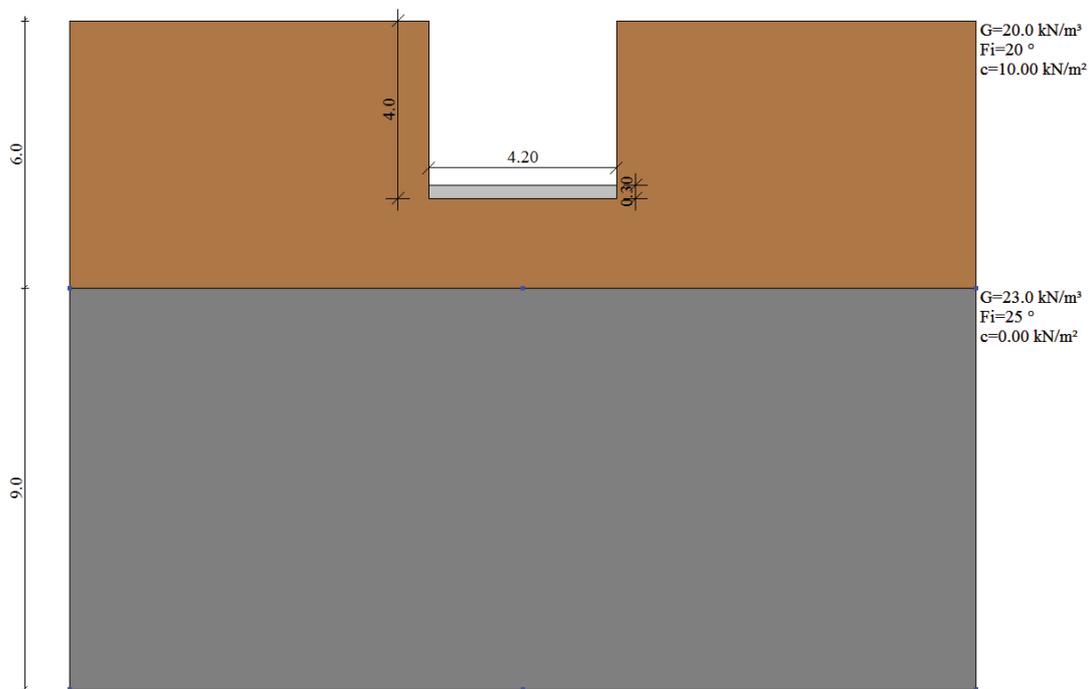
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

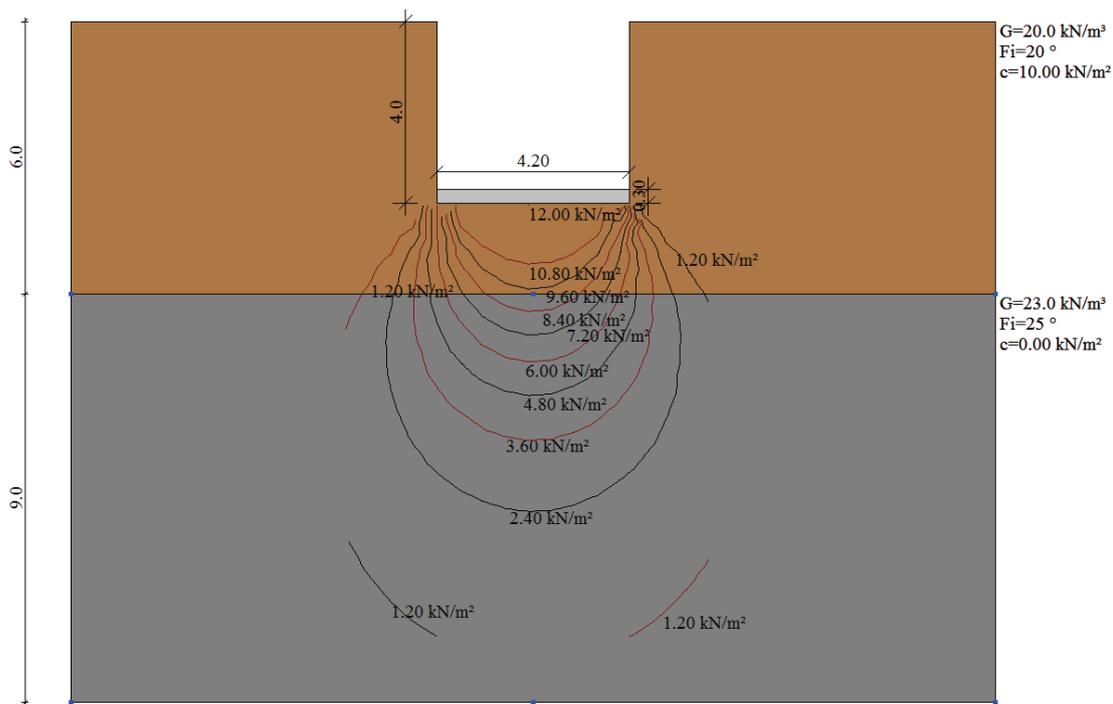
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



## MODELLO GEOTECNICO



**Fig.n°1-** Rappresentazione della fondazione e del modello geotecnico utilizzato



**Fig.n°2-** Rappresentazione del bulbo di pressione riferito a un  $\Delta P = 100 \text{ kN/m}^2$



## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: info@geogroupmodena.it



# CEDIMENTI PER OGNI STRATO

## CEDIMENTI CALCOLATI AL BORDO DELLA FONDAZIONE

Pressione normale di progetto 100.0 kN/m<sup>2</sup>  
Cedimento totale 0.23 cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione; Ws: Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m <sup>2</sup> )	Dp (kN/m <sup>2</sup> )	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	5	100	5.078	Edometrico	0.15	--	0.15
2	10.5	0	0	Schmertmann	0.08	--	0.08

Cedimento totale **0.23 cm**

# CAPACITÀ PORTANTE

## TEORIA CLASSICA (CONDIZIONE NON DRENATA)

ARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...Carico limite

Autore: TERZAGHI (1955)

### Carico limite

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1.0
Fattore [Nc]	5.7
Fattore [Ng]	0.0
Fattore forma [Sc]	1.0
Fattore forma [Sg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite 658.0 kN/m<sup>2</sup>  
Resistenza di progetto 219.33 kN/m<sup>2</sup>



**GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

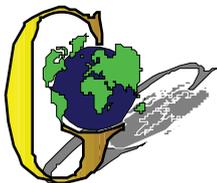
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)

***ALLEGATO N° 3***

***INDAGINI GEOFISICHE***



## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

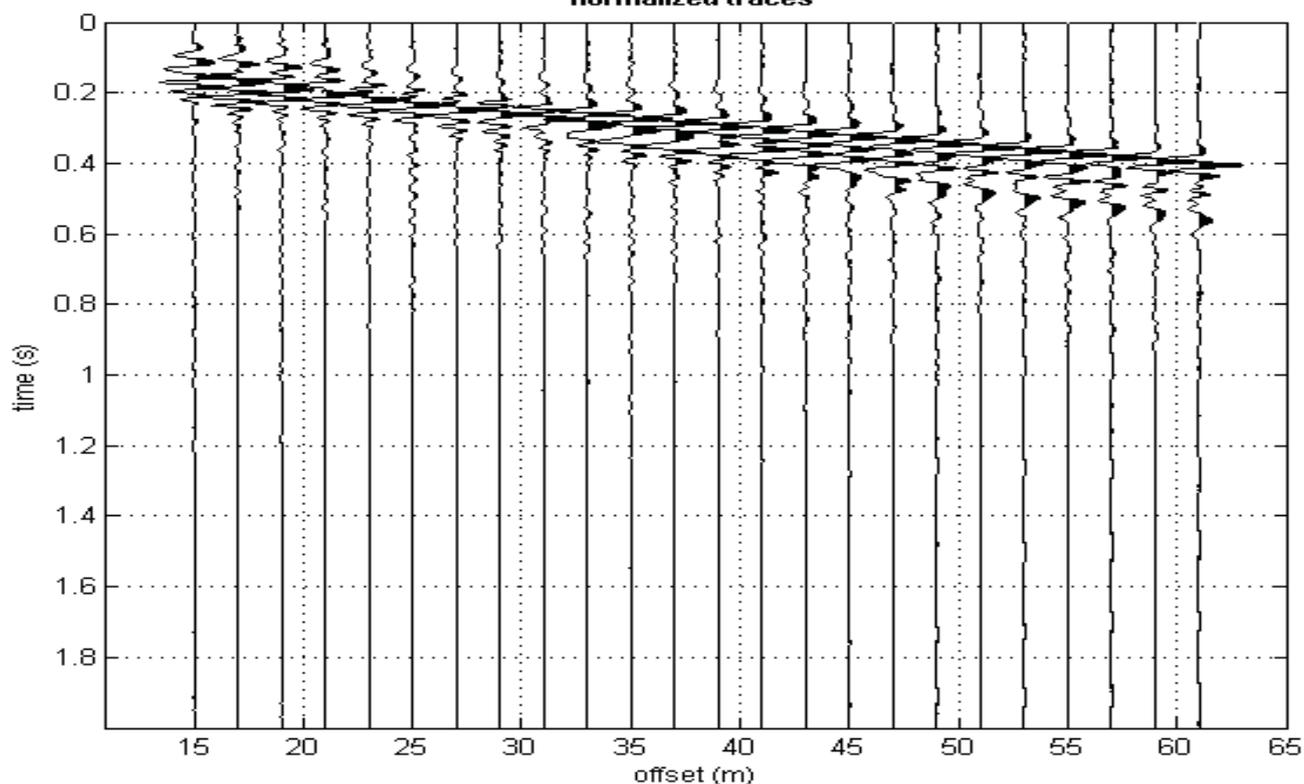
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogrouppmodena.it](http://www.geogrouppmodena.it) - e-mail: info@geogrouppmodena.it

## ANALISI SISMICA DI SITO SECONDO METODOLOGIA M.A.S.W.

**Cantiere:** Sant'Anna Pelago  
**Operatori:** dott. geol. Gabriele Ghirardini, Dott. Luca Pattuzzi  
**Data:** 12/01/2015  
**Lavoro:** Studio del terreno di fondazione  
**Elaborazione:** dott. geol. Gabriele Ghirardini  
**Responsabile:** dott. geol. Pier Luigi Dallari



UBICAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IMPIEGATO  
normalized traces





## GEO GROUP s.r.l.

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

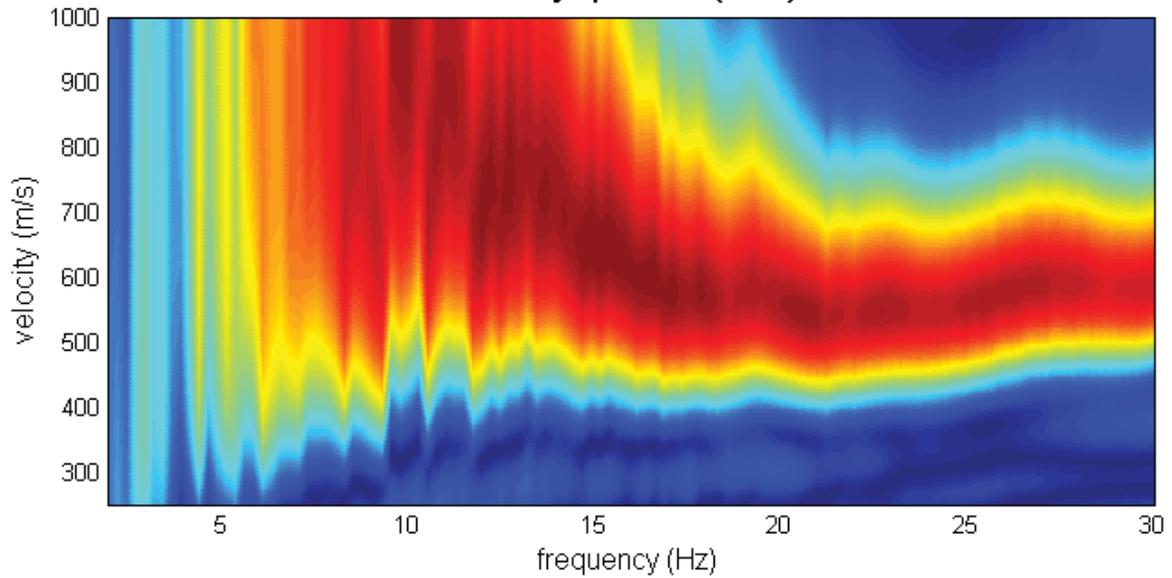
Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

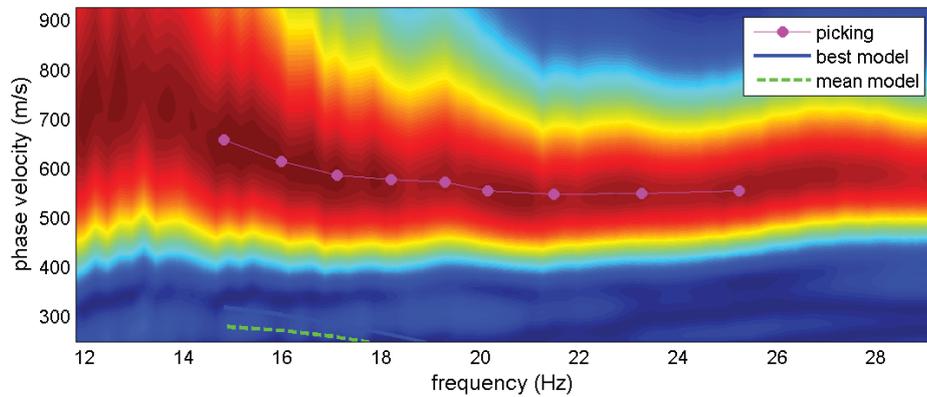
p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogrouppmodena.it](http://www.geogrouppmodena.it) - e-mail: info@geogrouppmodena.it

### SPETTRO RELATIVO ALLE VELOCITA' DI FASE, REGISTRATE NEL DOMINIO DELLE FREQUENZE

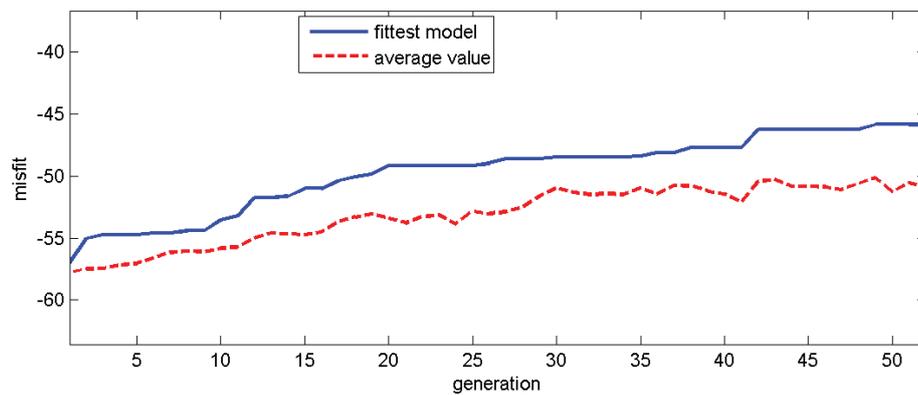
velocity spectrum (1228)



velocity spectrum & dispersion curve



misfit evolution





## GEO GROUP s.r.l.

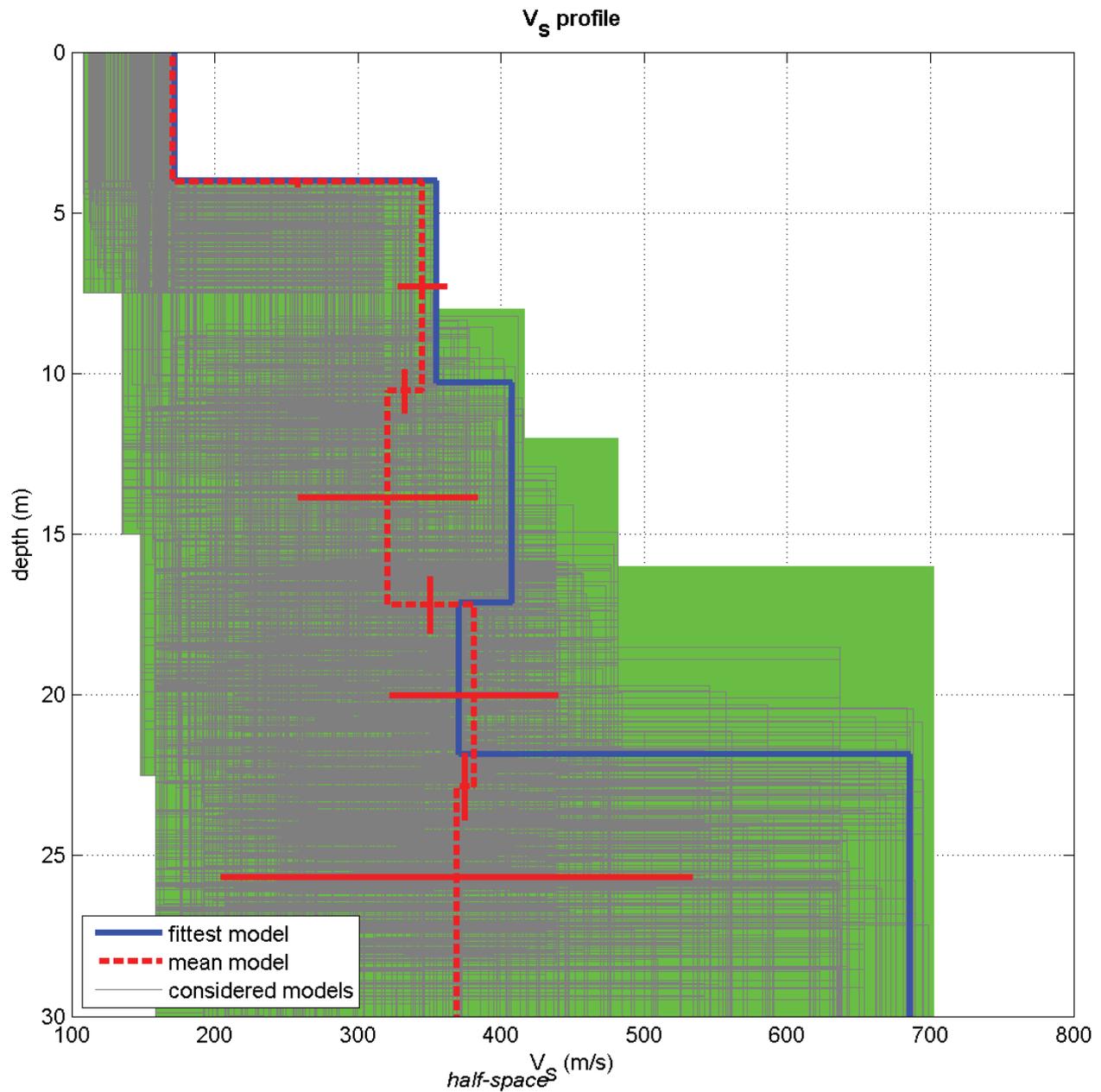
Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogrouppmodena.it](http://www.geogrouppmodena.it) - e-mail: info@geogrouppmodena.it

### MODELLO Vs30 DERIVATO DALL'INDAGINE MASW ESEGUITA



**BEST MODEL**  
 **$V_{s30} = 364$  m/s**

# COMUNE DI PIEVEPELAGO

PROVINCIA DI MODENA

## REALIZZAZIONE NUOVO IMPIANTO DI DEPURAZIONE

INDAGINE SISMICA SECONDO LA VALUTAZIONE  
DELLA RIFRAZIONE DI ONDE P, CON RESTITUZIONE  
TOMOGRAFIA BIDIMENSIONALE

Caratteristiche array di misura:  
- n° 24 geofoni verticali (14 Hz) - equidistanza geofonica : 5,00 m  
- lunghezza totale : 115 m - n° 12 shot (10,00 m)  
Operatori: dott. geol. Gabriele Ghirardini / Dott. Luca Pattuzzi  
Elaborazione: dott. geol. Gabriele Ghirardini

SCALA 1:500

ELAB. n. 1

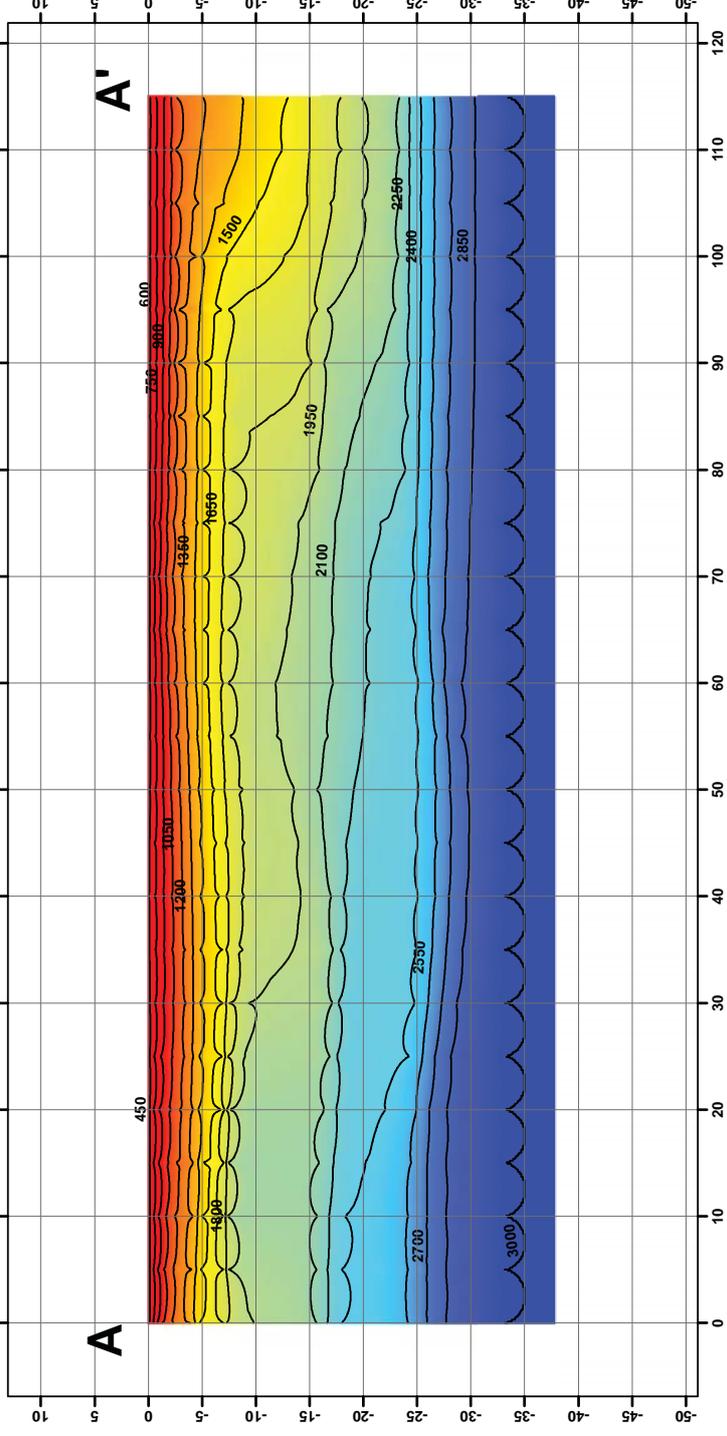
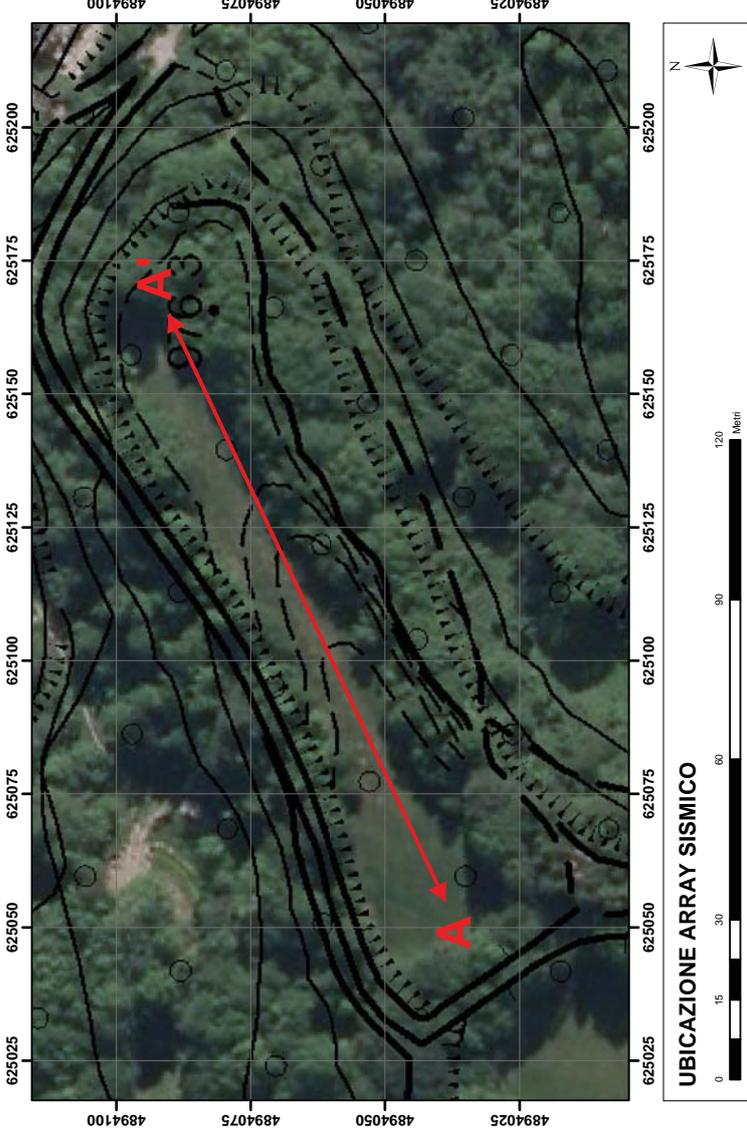


GEO GROUP s.r.l.

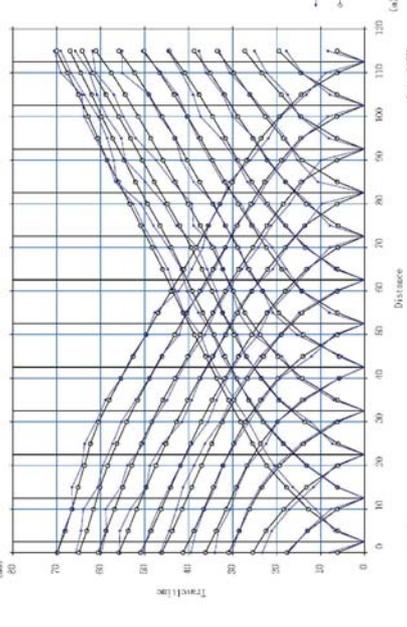
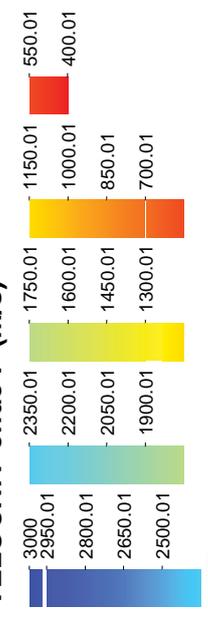
Sede Legale: via C. Costa, 182 - 41124, Modena  
Sede Operativa: via S. Felice, 1051 Castelvetro (Regione EM)  
P.IVA n° 0298950036 - P.A. n° 08/3322/03  
P.A. n° 0298950036 - P.A. n° 08/3322/03  
E-mail: info@geogruppo.com

Formato di stampa A1

RIPRESA FOTOGRAFICA ARRAY



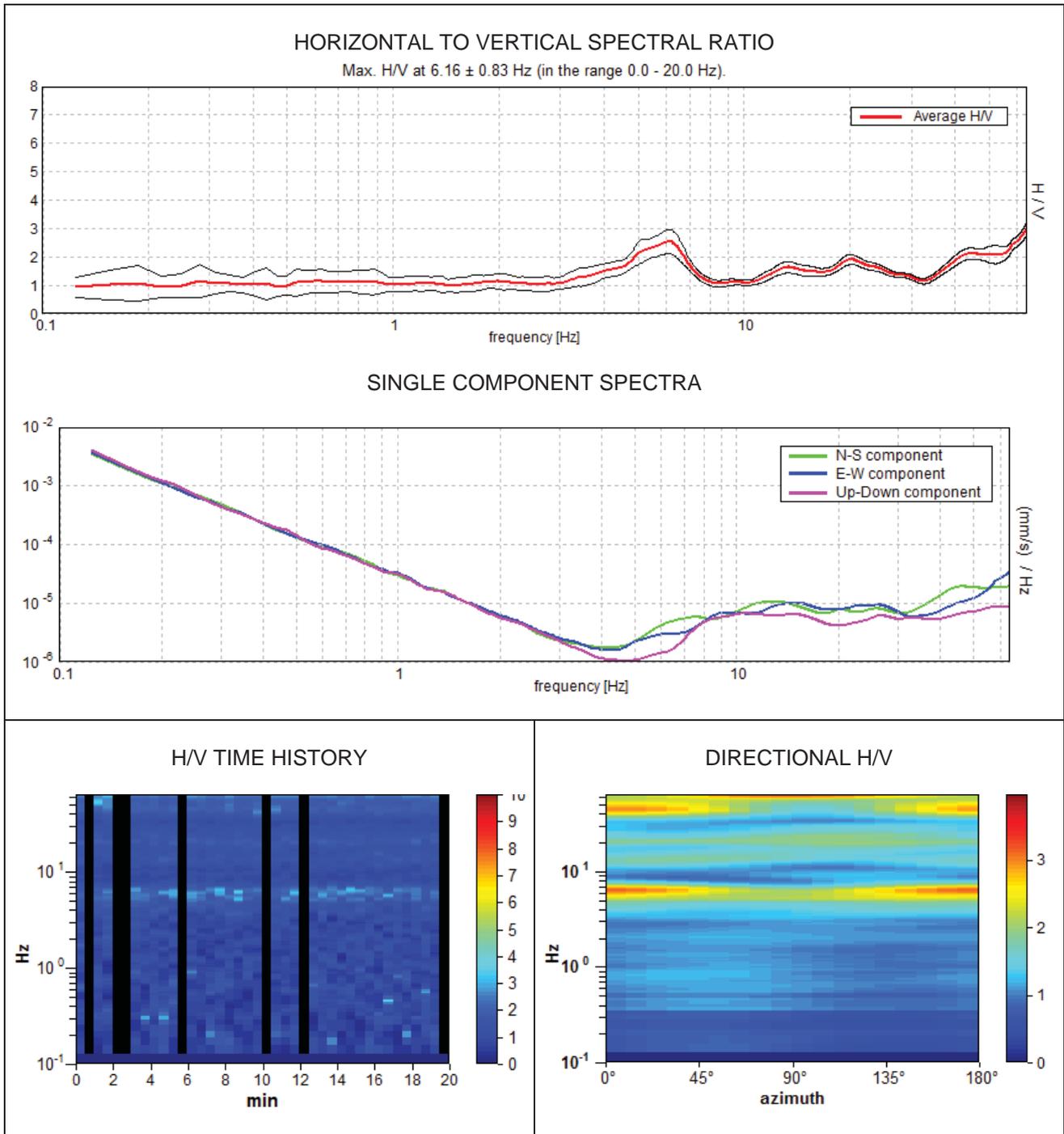
VELOCITA' onde P (m/s)



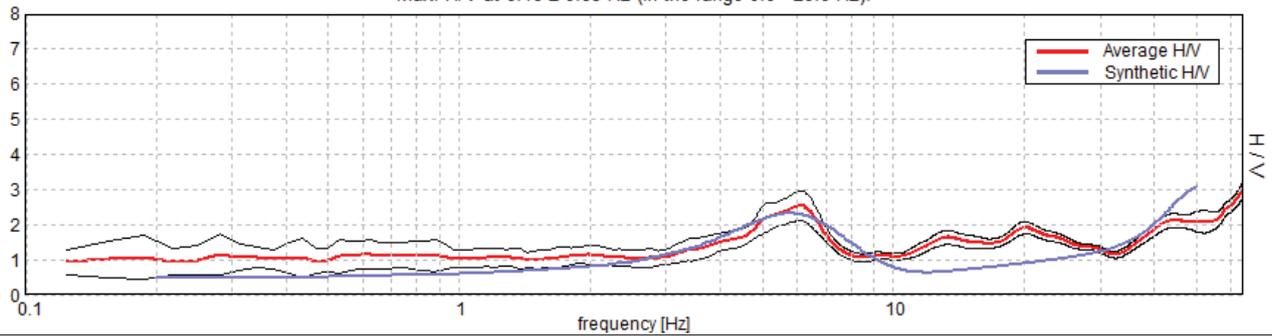
DROMOCRONE

# SANT'ANNA DI PELAGO (MO) - HVSR 1

Instrument: TRZ-0121/01-11  
Start recording: 20/12/14 13:37:19      End recording: 20/12/14 13:57:19  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
GPS: LAT 44.189270° - LONG 10.565955°  
Trace length: 0h20'00".      Analyzed 82% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 30 s - Smoothing type: Triangular window - Smoothing: 10%



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V  
 Max. H/V at 6.16 ± 0.83 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



Max. H/V at 6.16 ± 0.83 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

**Criteria for a reliable H/V curve**  
 [All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	6.16 > 0.33	OK	
$n_c(f_0) > 200$	6094.7 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 296 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**  
 [At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.344 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	7.594 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.54 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.13487  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.83028 < 0.30781		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.419 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## SANT'ANNA DI PELAGO (MO) - HVSR 2

Instrument: TRZ-0121/01-11

Start recording: 20/12/14 14:01:50 End recording: 20/12/14 14:21:50

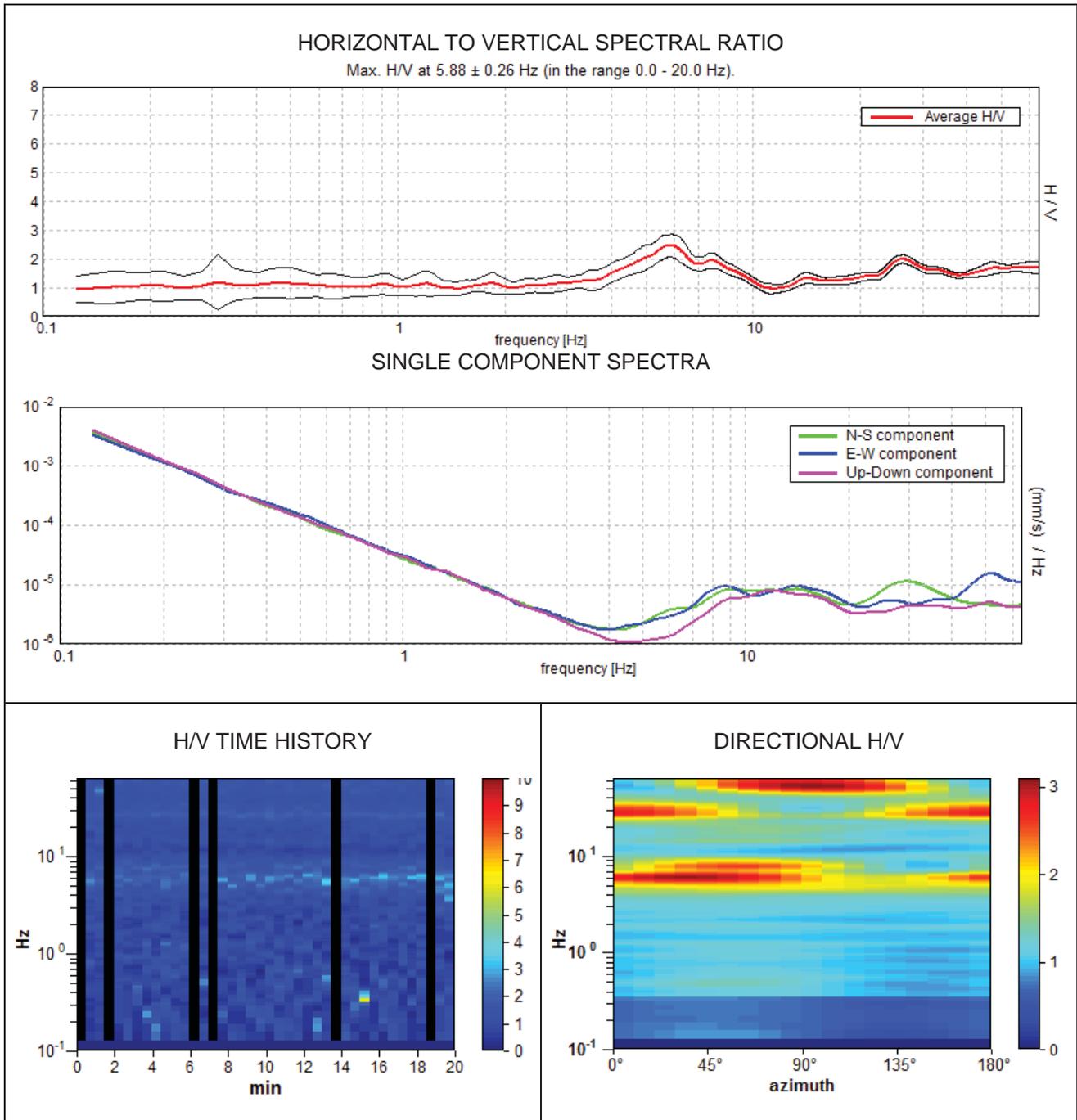
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS: LAT 44.189146° - LONG 10.565620°

Trace length: 0h20'00". Analyzed 85% trace (manual window selection)

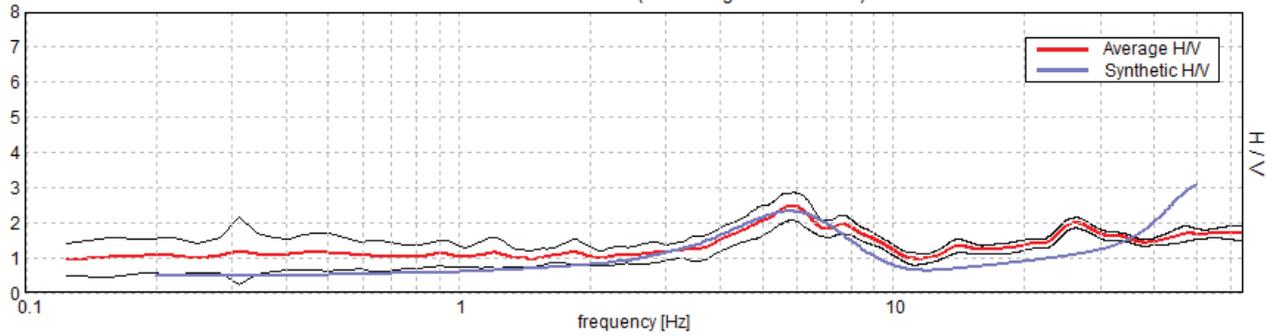
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 30 s - Smoothing type: Triangular window - Smoothing: 10%



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $5.88 \pm 0.26$  Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



**Max. H/V at  $5.88 \pm 0.26$  Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).**

#### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$5.88 > 0.33$	OK
$n_c(f_0) > 200$	$5992.5 > 200$	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 283 times	OK

#### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.313 Hz	OK
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	9.969 Hz	OK
$A_0 > 2$	$2.46 > 2$	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0439  < 0.05$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.25792 < 0.29375$	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3948 < 1.58$	OK

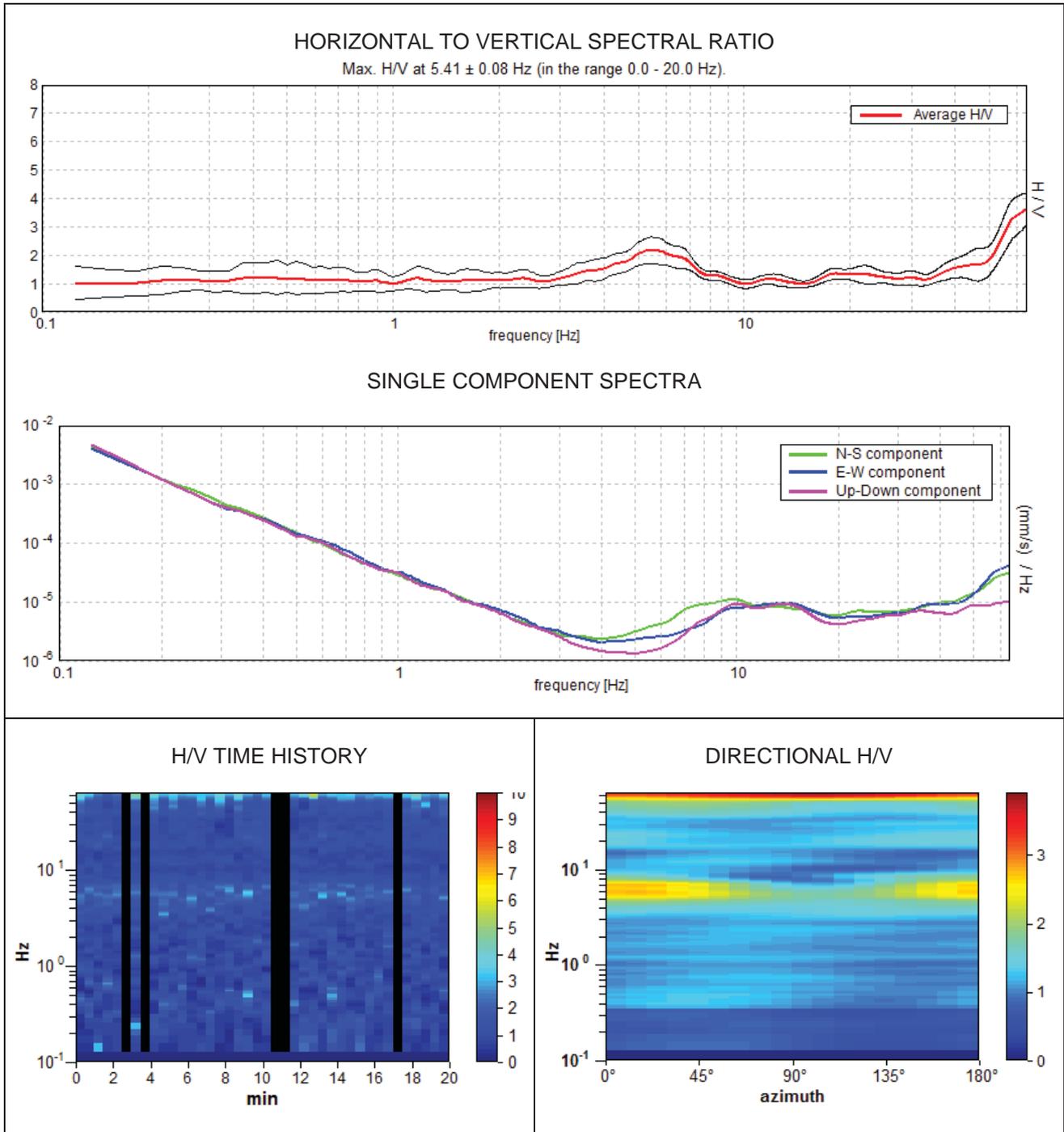
$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

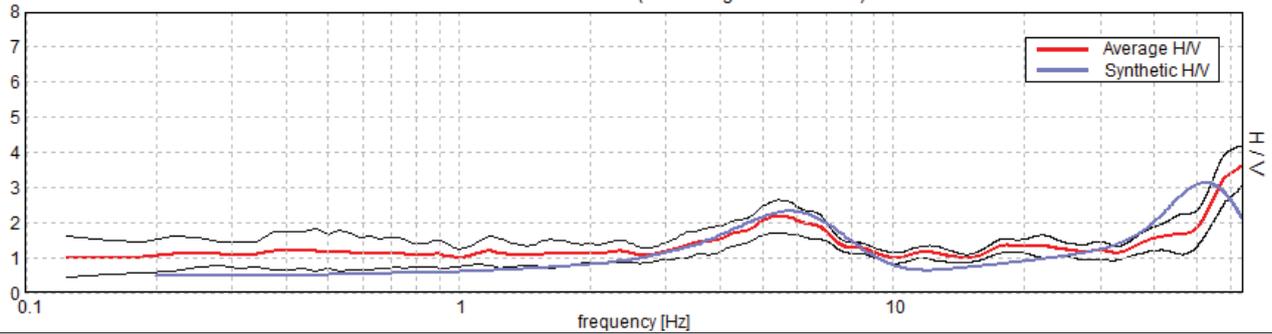
# SANT'ANNA DI PELAGO (MO) - HVSr 3

Instrument: TRZ-0121/01-11  
Start recording: 20/12/14 14:27:39 End recording: 20/12/14 14:47:39  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
GPS: LAT 44.18970° - LONG 10.565124°  
Trace length: 0h20'00". Analyzed 88% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 30 s - Smoothing type: Triangular window - Smoothing: 10%



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $5.41 \pm 0.08$  Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



**Max. H/V at  $5.41 \pm 0.08$  Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).**

#### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$5.41 > 0.33$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5676.6 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz	Exceeded 0 out of 260 times	OK	

#### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.781 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	9.281 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.17 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01514  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.08183 < 0.27031$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4717 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



**GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)

***ALLEGATO N° 4***  
***VERIFICHE DI STABILITÀ***



## **GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)

# *STABILITÀ GENERALE DEL VERSANTE*

# ***Slide Analysis Information***

## **Document Name**

File Name: satb

## **Project Settings**

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Failure Direction: Left to Right  
Units of Measurement: SI Units  
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>  
Groundwater Method: Water Surfaces  
Data Output: Standard  
Calculate Excess Pore Pressure: Off  
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off  
Random Numbers: Pseudo-random Seed  
Random Number Seed: 10116  
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

## **Analysis Methods**

Analysis Methods used:  
Janbu simplified  
Janbu corrected

Number of slices: 25  
Tolerance: 0.005  
Maximum number of iterations: 50

## **Surface Options**

Surface Type: Circular  
Search Method: Grid Search  
Radius increment: 10  
Composite Surfaces: Disabled  
Reverse Curvature: Create Tension Crack  
Minimum Elevation: Not Defined

## **Loading**

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.081  
1 Distributed Load present:  
Distributed Load Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 100 kN/m<sup>2</sup>

## **Material Properties**

Material: Material 1  
Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 8 kPa  
Friction Angle: 16 degrees  
Water Surface: None

Material: Material 2

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 23 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 160 kPa  
Friction Angle: 20 degrees  
Water Surface: None

### **Global Minimums**

Method: janbu simplified

FS: 2.312470  
Center: 97.219, 990.750  
Radius: 27.862  
Left Slip Surface Endpoint: 77.786, 970.785  
Right Slip Surface Endpoint: 101.088, 963.159  
Resisting Horizontal Force=2288.91 kN  
Driving Horizontal Force=989.811 kN

Method: janbu corrected

FS: 2.423270  
Center: 97.219, 991.869  
Radius: 28.979  
Left Slip Surface Endpoint: 77.326, 970.796  
Right Slip Surface Endpoint: 101.097, 963.150  
Resisting Horizontal Force=2462.67 kN  
Driving Horizontal Force=1016.26 kN

### **Valid / Invalid Surfaces**

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces: 10129  
Number of Invalid Surfaces: 18483  
Error Codes:  
Error Code -103 reported for 410 surfaces  
Error Code -1000 reported for 18073 surfaces

Method: janbu corrected

Number of Valid Surfaces: 10129  
Number of Invalid Surfaces: 18483  
Error Codes:  
Error Code -103 reported for 410 surfaces  
Error Code -1000 reported for 18073 surfaces

### **Error Codes**

The following errors were encountered during the computation:

-103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.

-1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

## List of All Coordinates

### Circular Failure Surface

110.456	1084.507
45.411	972.919
112.418	955.361

### Search Grid

84.873	975.097
153.463	975.097
153.463	1031.002
84.873	1031.002

### Material Boundary

15.091	968.443
101.297	962.941

### Material Boundary

10.075	968.992
15.091	968.443

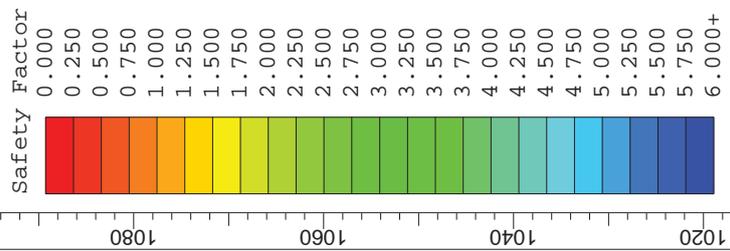
### External Boundary

10.137	939.302
132.293	939.302
132.293	955.359
112.420	955.359
106.796	960.483
101.297	962.941
96.547	967.899
93.006	970.398
74.027	970.880
49.255	972.683
14.842	974.800
10.060	976.054
10.075	968.992

### Distributed Load

81.928	970.680
74.027	970.880
49.255	972.683

Scale 1:800.0



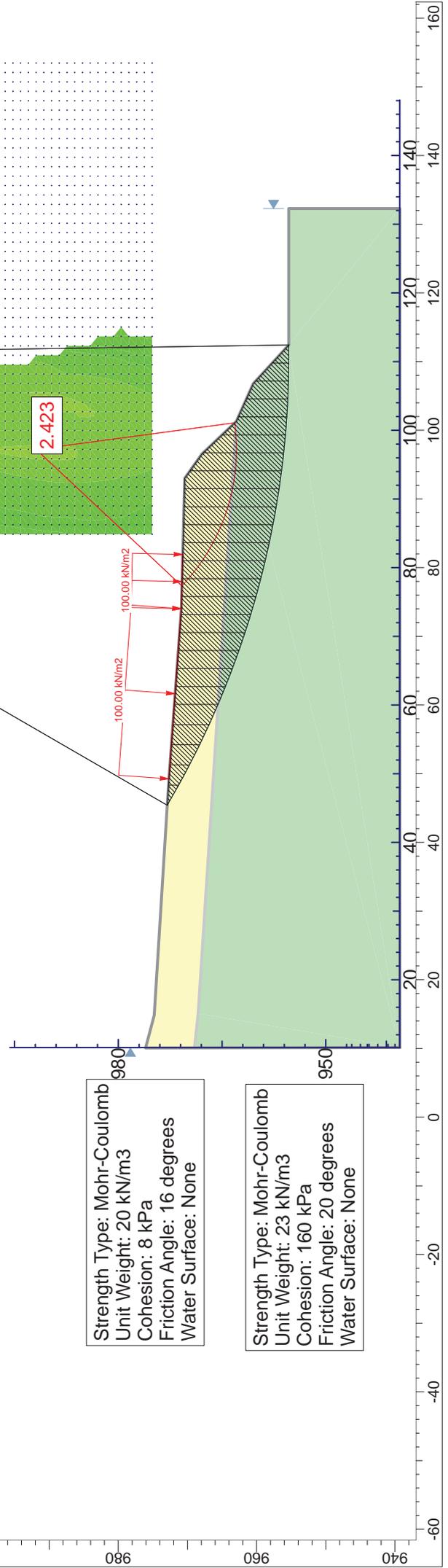
# METODO JANBU CORRETTO

3.197

2.423

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 8 kPa  
Friction Angle: 16 degrees  
Water Surface: None

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 23 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 160 kPa  
Friction Angle: 20 degrees  
Water Surface: None





## **GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)

# *STABILITÀ DEL FRONTE DI SCAVO (VASCHE DI EQUALIZZAZIONE)*

# ***Slide Analysis Information***

## **Document Name**

File Name: satb

## **Project Settings**

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Failure Direction: Left to Right  
Units of Measurement: SI Units  
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>  
Groundwater Method: Water Surfaces  
Data Output: Standard  
Calculate Excess Pore Pressure: Off  
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off  
Random Numbers: Pseudo-random Seed  
Random Number Seed: 10116  
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

## **Analysis Methods**

Analysis Methods used:  
Janbu simplified  
Janbu corrected

Number of slices: 25  
Tolerance: 0.005  
Maximum number of iterations: 50

## **Surface Options**

Surface Type: Circular  
Search Method: Grid Search  
Radius increment: 10  
Composite Surfaces: Enabled  
Reverse Curvature: Create Tension Crack  
Minimum Elevation: Not Defined  
Minimum Depth: Not Defined

## **Material Properties**

### **Material: Material 1**

Strength Type: Undrained  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion Type: Constant  
Cohesion: 80 kPa  
Water Surface: None

### **Material: Material 2**

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 23 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 160 kPa  
Friction Angle: 20 degrees  
Water Surface: None

## **Global Minimums**

Method: janbu simplified

FS: 5.791040

Center: 17.938, 4.590

Radius: 10.532

Left Slip Surface Endpoint: 8.460, 0.000

Right Slip Surface Endpoint: 24.031, -4.000

Resisting Horizontal Force=1245.7 kN

Driving Horizontal Force=215.109 kN

Method: janbu corrected

FS: 6.416760

Center: 17.938, 4.590

Radius: 10.532

Left Slip Surface Endpoint: 8.460, 0.000

Right Slip Surface Endpoint: 24.031, -4.000

Resisting Horizontal Force=1380.3 kN

Driving Horizontal Force=215.109 kN

## **Valid / Invalid Surfaces**

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces: 2909

Number of Invalid Surfaces: 1843

Error Codes:

Error Code -107 reported for 24 surfaces

Error Code -108 reported for 1768 surfaces

Error Code -111 reported for 51 surfaces

Method: janbu corrected

Number of Valid Surfaces: 2909

Number of Invalid Surfaces: 1843

Error Codes:

Error Code -107 reported for 24 surfaces

Error Code -108 reported for 1768 surfaces

Error Code -111 reported for 51 surfaces

## **Error Codes**

The following errors were encountered during the computation:

-107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.

-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).

-111 = safety factor equation did not converge

## List of All Coordinates

### Material Boundary

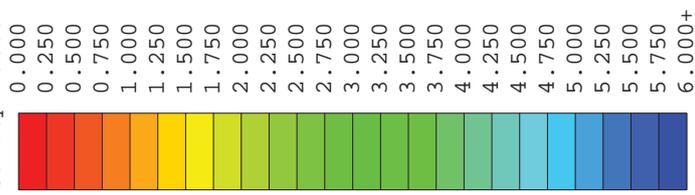
0.000	-6.000
40.355	-6.000

### External Boundary

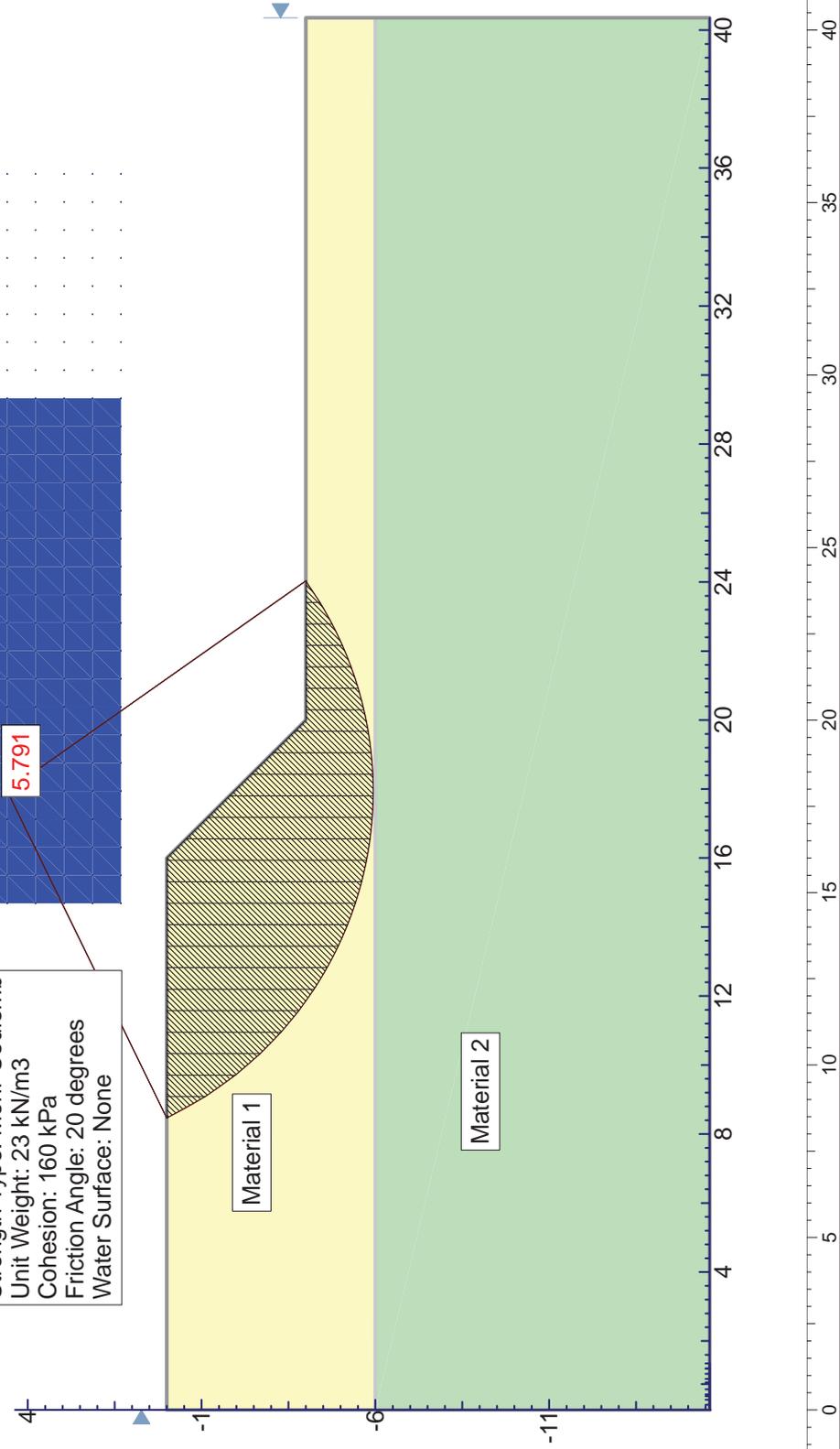
0.000	-15.617
40.355	-15.617
40.355	-6.000
40.355	-4.000
20.000	-4.000
16.000	0.000
0.000	0.000
0.000	-6.000

Scale 1:200.0

Safety Factor



Material Properties  
Material: Material 1  
Strength Type: Undrained  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion Type: Constant  
Cohesion: 80 kPa  
Water Surface: None  
Material: Material 2  
Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 23 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 160 kPa  
Friction Angle: 20 degrees  
Water Surface: None



5.791

Material 1

Material 2

# ***Slide Analysis Information***

## **Document Name**

File Name: STABCD

## **Project Settings**

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Failure Direction: Left to Right  
Units of Measurement: SI Units  
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>  
Groundwater Method: Water Surfaces  
Data Output: Standard  
Calculate Excess Pore Pressure: Off  
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off  
Random Numbers: Pseudo-random Seed  
Random Number Seed: 10116  
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

## **Analysis Methods**

Analysis Methods used:  
Janbu corrected

Number of slices: 25  
Tolerance: 0.005  
Maximum number of iterations: 50

## **Surface Options**

Surface Type: Circular  
Search Method: Grid Search  
Radius increment: 10  
Composite Surfaces: Disabled  
Reverse Curvature: Create Tension Crack  
Minimum Elevation: Not Defined  
Minimum Depth: 3.2

## **Loading**

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.081

## **Material Properties**

### Material: Material 1

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 8 kPa  
Friction Angle: 16 degrees  
Water Surface: None

### Material: Material 2

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 23 kN/m<sup>3</sup>

Cohesion: 160 kPa  
Friction Angle: 20 degrees  
Water Surface: None

### **Global Minimums**

Method: janbu corrected

FS: 1.121400

Center: 18.752, 3.771

Radius: 7.869

Left Slip Surface Endpoint: 11.846, 0.000

Right Slip Surface Endpoint: 19.998, -3.998

Resisting Horizontal Force=155.476 kN

Driving Horizontal Force=138.644 kN

### **Valid / Invalid Surfaces**

Method: janbu corrected

Number of Valid Surfaces: 3267

Number of Invalid Surfaces: 1485

Error Codes:

Error Code -103 reported for 34 surfaces

Error Code -115 reported for 65 surfaces

Error Code -1000 reported for 1386 surfaces

### **Error Codes**

The following errors were encountered during the computation:

-103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.

-115 = Surface too shallow, below the minimum depth.

-1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

### **List of All Coordinates**

Material Boundary

0.000 -6.000

40.355 -6.000

External Boundary

0.000 -15.617

40.355 -15.617

40.355 -6.000

40.355 -4.000

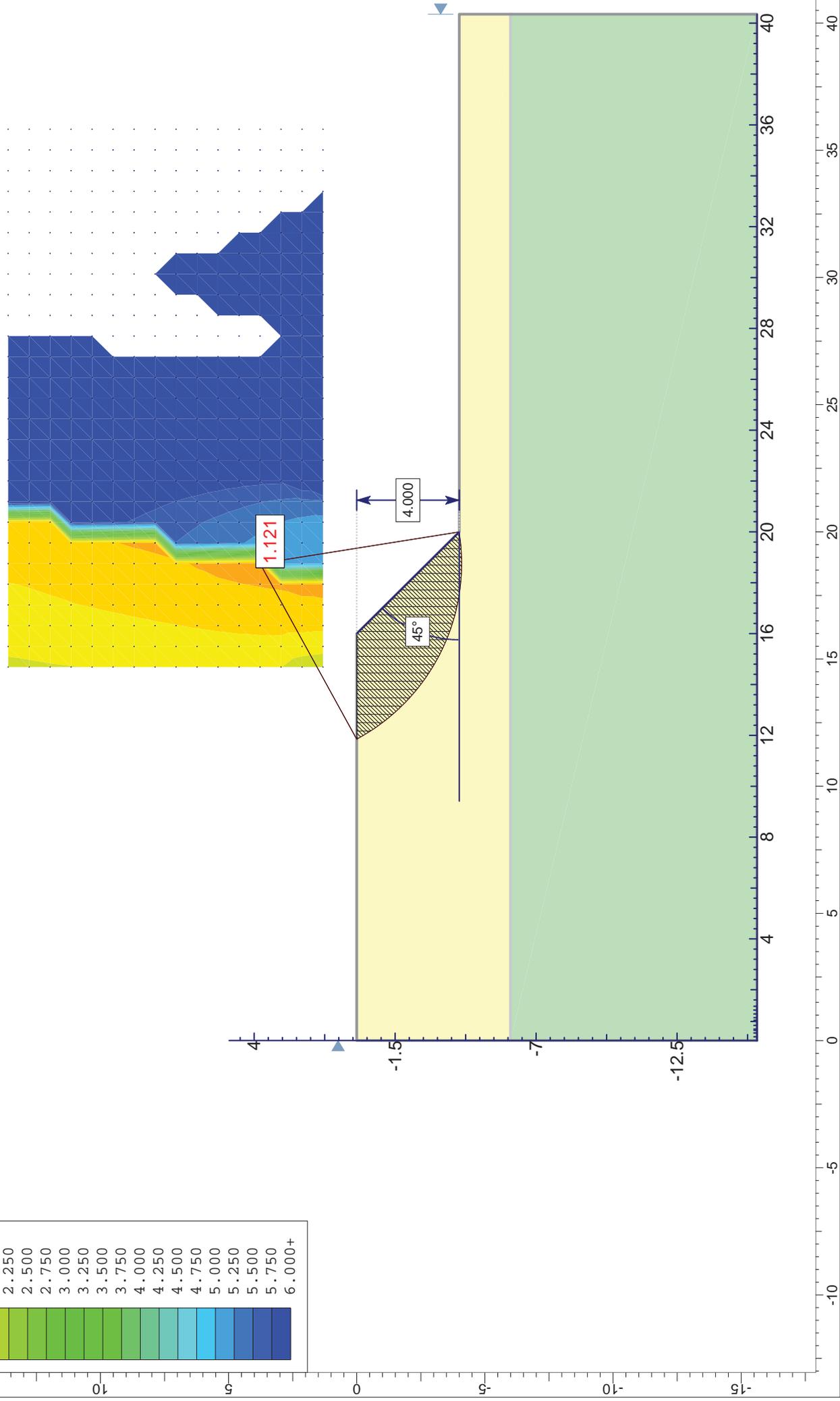
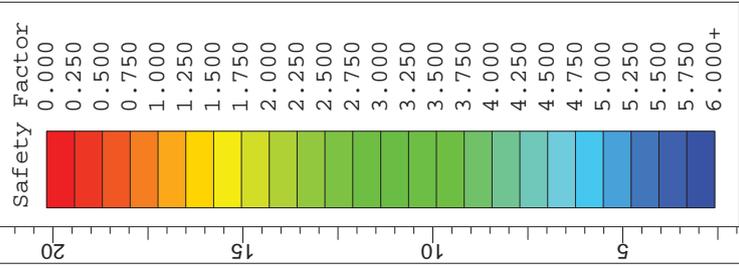
20.000 -4.000

16.000 0.000

0.000 0.000

0.000 -6.000

Scale 1:200.0





**GEO GROUP s.r.l.**

Sede Legale: via C. Costa, 182 – 41124 Modena

Sede operativa: via per Modena, 12 – 41051 Castelnuovo Rangone (MO)

Tel. 059-39.67.169 - Fax . 059-53.32.019

p.IVA e C.F. 02981500362 – [www.geogroupmodena.it](http://www.geogroupmodena.it) - e-mail: [info@geogroupmodena.it](mailto:info@geogroupmodena.it)

***VERIFICHE DI STABILITÀ  
DELLA STRADA DI ACCESSO  
ALL'IMPIANTO***

# ***Slide Analysis Information***

## **Document Name**

File Name: strada

## **Project Settings**

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Failure Direction: Left to Right  
Units of Measurement: SI Units  
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>  
Groundwater Method: Water Surfaces  
Data Output: Standard  
Calculate Excess Pore Pressure: Off  
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off  
Random Numbers: Pseudo-random Seed  
Random Number Seed: 10116  
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

## **Analysis Methods**

Analysis Methods used:  
Janbu corrected

Number of slices: 25  
Tolerance: 0.005  
Maximum number of iterations: 50

## **Surface Options**

Surface Type: Circular  
Search Method: Grid Search  
Radius increment: 10  
Composite Surfaces: Enabled  
Reverse Curvature: Create Tension Crack  
Minimum Elevation: Not Defined  
Minimum Depth: Not Defined

## **Loading**

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.081  
1 Distributed Load present:  
Distributed Load Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary, Magnitude: 50 kN/m<sup>2</sup>

## **Material Properties**

Material: Material 1  
Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 8 kPa  
Friction Angle: 16 degrees  
Water Surface: None

Material: Material 2

Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 23 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 160 kPa  
Friction Angle: 20 degrees  
Water Surface: None

### **Global Minimums**

Method: janbu corrected  
FS: 2.022010  
Center: -2.895, -2.575  
Radius: 4.085  
Left Slip Surface Endpoint: -6.219, -4.950  
Right Slip Surface Endpoint: -3.022, -6.658  
Resisting Horizontal Force=37.2021 kN  
Driving Horizontal Force=18.3986 kN

### **Valid / Invalid Surfaces**

Method: janbu corrected  
Number of Valid Surfaces: 8314  
Number of Invalid Surfaces: 20297  
Error Codes:  
Error Code -102 reported for 21 surfaces  
Error Code -106 reported for 126 surfaces  
Error Code -107 reported for 1380 surfaces  
Error Code -108 reported for 4284 surfaces  
Error Code -111 reported for 87 surfaces  
Error Code -1000 reported for 14399 surfaces

### **Error Codes**

The following errors were encountered during the computation:

-102 = Two surface / slope intersections,  
but resulting arc is actually outside soil region.

-106 = Average slice width is less than  
0.0001 \* (maximum horizontal extent of soil region).  
This limitation is imposed to avoid numerical errors  
which may result from too many slices, or too  
small a slip region.

-107 = Total driving moment or  
total driving force is negative. This will occur  
if the wrong failure direction is specified,  
or if high external or anchor loads are applied  
against the failure direction.

-108 = Total driving moment  
or total driving force < 0.1. This is to  
limit the calculation of extremely high safety  
factors if the driving force is very small  
(0.1 is an arbitrary number).

-111 = safety factor equation did not converge

-1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

### **List of All Coordinates**

#### Material Boundary

-7.259	-7.523
2.336	-7.523

#### Material Boundary

2.336	-7.523
3.746	-7.530

#### External Boundary

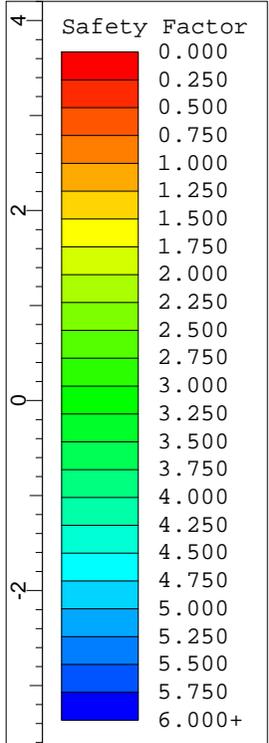
-7.259	-4.911
-7.259	-7.523
-7.259	-10.844
8.030	-10.844
3.746	-7.530
2.789	-6.789
-3.018	-6.663
-3.950	-5.488
-4.868	-5.266
-5.463	-5.034
-5.873	-4.963

#### Distributed Load

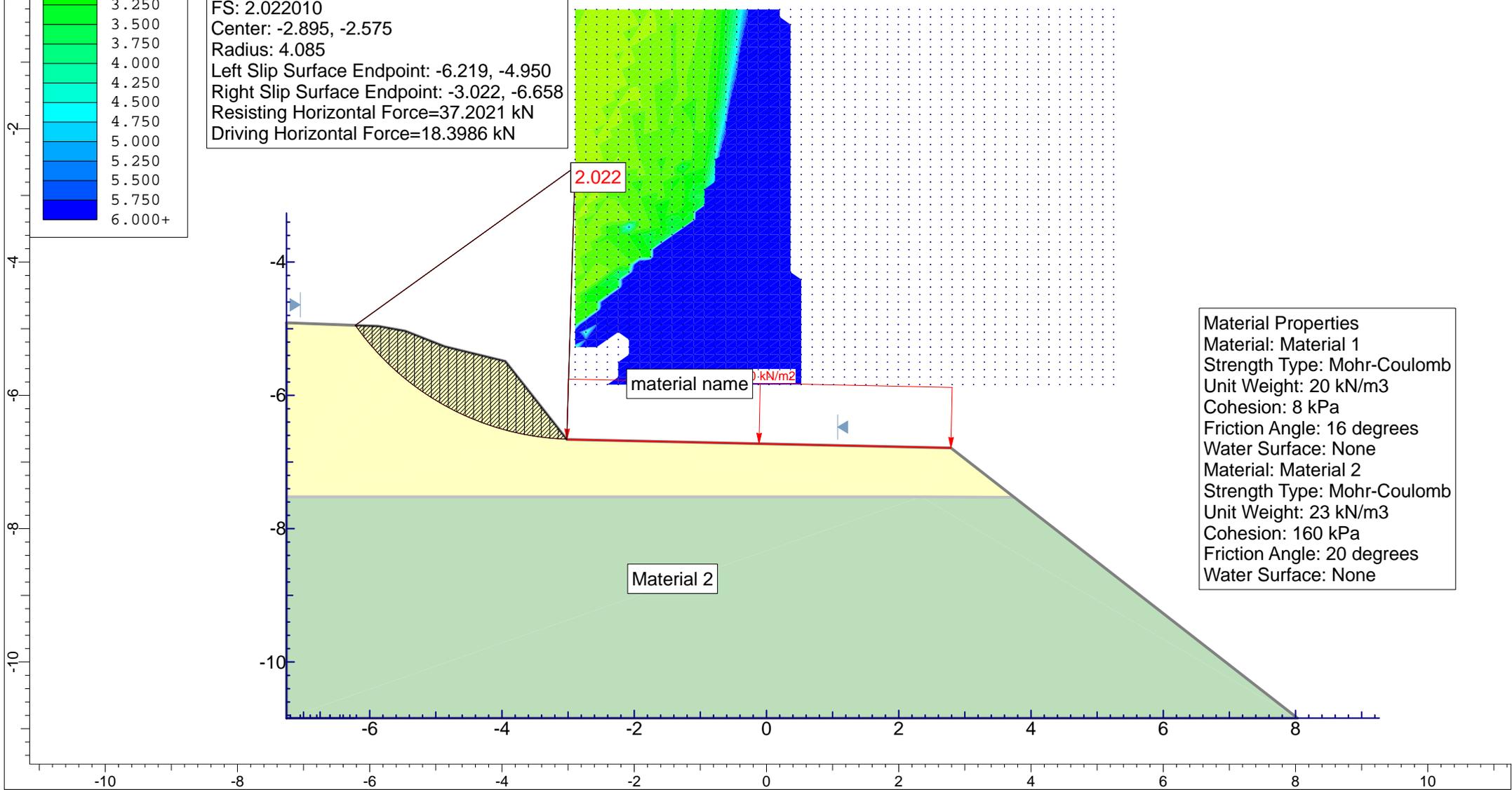
2.789	-6.789
-3.018	-6.663

Scale 1:80.0

0.081



Method: janbu corrected  
FS: 2.022010  
Center: -2.895, -2.575  
Radius: 4.085  
Left Slip Surface Endpoint: -6.219, -4.950  
Right Slip Surface Endpoint: -3.022, -6.658  
Resisting Horizontal Force=37.2021 kN  
Driving Horizontal Force=18.3986 kN



Material Properties  
Material: Material 1  
Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 8 kPa  
Friction Angle: 16 degrees  
Water Surface: None  
Material: Material 2  
Strength Type: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 23 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 160 kPa  
Friction Angle: 20 degrees  
Water Surface: None