



COMUNE DI PECCIOLI

Provincia di Pisa

MESSA IN SICUREZZA CORRIDOIO LOCULI SETTORI I-V LATO EST CIMITERO COMUNALE DI PECCIOLI

CUP D46D18000070004



PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE GEOLOGICA **Allegato 1 - INDAGINI IN SITO**

Ing. Leonardo Mattolini

Dott. Geol. Carlo Meoni

Ing. Giuseppe Rossi

Amm.ne Com.le di Peccioli

OTTOBRE 2018

**LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA CORRIDOIO LOCULI
SETTORI I-V LATO EST DEL CIMITERO COMUNALE DI
PECCIOLI CAPOLUOGO (PISA).**

RELAZIONE GEOLOGICA

Allegato 1

INDAGINI IN SITO

Carlo Meoni geologo

Via Pascoli, 53/A - 56038 Ponsacco - Tel. FAX 0587-732249 – Cell. +39.348.4135608
e-mail: carlo.meoni.geo@gmail.com - PEC: c.meoni@epap.sicurezzapostale.it



Allegato 1 : INDAGINI IN SITO

Indagini pregresse - Anni 1999-2011

- 1.a - PROVE PENETROMETRICHE SCPT-DPSH
- 1.b - SONDAGGI GEOGNOSTICI
- 1.c - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
- 1.d - PROVE SPT
- 1.e - INDAGINE SISMICA - Marzo 2011
- 1.f - INDAGINI GEOPROGETTI - Maggio 1999

Indagini integrative - Anni 2017-2018

- 1.g- INDAGINE SISMICA
- 1.h - PROVE PENETROMETRICHE SCPT-DPSH

Allegato n° 1a

Prove penetrometriche
SCPT - DPSH

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : **SCPT**

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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 : SCPT

PESO MASSA BATTENTE	M = 73,00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,75 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,80 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,27 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 60^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,50 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 4,50 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 0,80 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,30$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(30) $\Rightarrow$ Relativo ad un avanzamento di 30 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 9,00 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,150$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 11

- committente : DOTT.MEONI
 - lavoro : PECCIOLI
 - località : CIMITERO
 - note :

- data : 25/01/2011
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : 0,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,30	1	8,2	----	1	6,00 - 6,30	12	73,4	----	5
0,30 - 0,60	2	16,3	----	1	6,30 - 6,60	15	91,7	----	5
0,60 - 0,90	1	8,2	----	1	6,60 - 6,90	21	128,4	----	5
0,90 - 1,20	1	7,5	----	2	6,90 - 7,20	32	184,1	----	6
1,20 - 1,50	1	7,5	----	2	7,20 - 7,50	34	195,6	----	6
1,50 - 1,80	2	15,1	----	2	7,50 - 7,80	27	155,3	----	6
1,80 - 2,10	1	7,5	----	2	7,80 - 8,10	44	253,1	----	6
2,10 - 2,40	----	----	----	2	8,10 - 8,40	38	218,6	----	6
2,40 - 2,70	2	14,0	----	3	8,40 - 8,70	33	179,3	----	7
2,70 - 3,00	2	14,0	----	3	8,70 - 9,00	25	135,8	----	7
3,00 - 3,30	2	14,0	----	3	9,00 - 9,30	25	135,8	----	7
3,30 - 3,60	2	14,0	----	3	9,30 - 9,60	15	81,5	----	7
3,60 - 3,90	4	28,0	----	3	9,60 - 9,90	20	108,6	----	7
3,90 - 4,20	5	32,6	----	4	9,90 - 10,20	27	138,9	----	8
4,20 - 4,50	5	32,6	----	4	10,20 - 10,50	39	200,6	----	8
4,50 - 4,80	6	39,1	----	4	10,50 - 10,80	43	221,2	----	8
4,80 - 5,10	7	45,7	----	4	10,80 - 11,10	42	216,1	----	8
5,10 - 5,40	9	58,7	----	4	11,10 - 11,40	48	247,0	----	8
5,40 - 5,70	9	55,0	----	5	11,40 - 11,70	60	293,2	----	9
5,70 - 6,00	11	67,3	----	5	11,70 - 12,00	78	381,2	----	9

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **SCPT**- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,27** cm² - D(diam. punta)= **50,80** mm- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [δ = 30 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

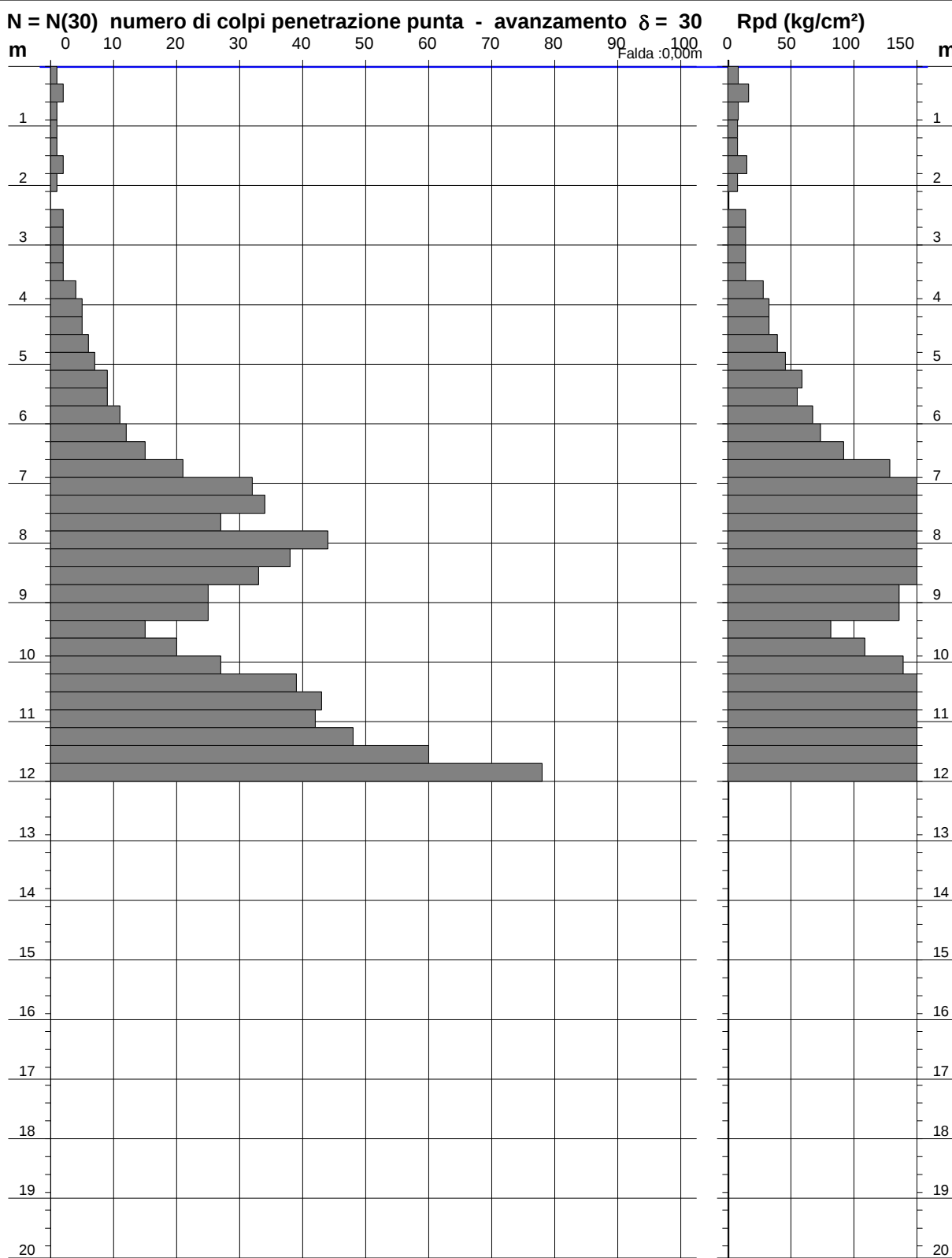
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 11

Scala 1: 100

- committente : DOTT.MEONI
- lavoro : PECCIOLI
- località : CIMITERO
- note :

- data : 25/01/2011
- quota inizio : 0
- prof. falda : 0,00 m da quota inizio
- pagina : 1



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

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,70 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 4,60 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 12

- committente : DOTT. MEONI
 - lavoro : PECCIOLI
 - località : CIMITERO
 - note :

- data : 01/02/2011
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : 0,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	11,0	----	1	5,00 - 5,20	8	65,9	----	6
0,20 - 0,40	----	----	----	1	5,20 - 5,40	7	57,7	----	6
0,40 - 0,60	1	11,0	----	1	5,40 - 5,60	7	57,7	----	6
0,60 - 0,80	1	11,0	----	1	5,60 - 5,80	12	98,8	----	6
0,80 - 1,00	1	10,3	----	2	5,80 - 6,00	9	70,6	----	7
1,00 - 1,20	1	10,3	----	2	6,00 - 6,20	9	70,6	----	7
1,20 - 1,40	1	10,3	----	2	6,20 - 6,40	10	78,4	----	7
1,40 - 1,60	1	10,3	----	2	6,40 - 6,60	9	70,6	----	7
1,60 - 1,80	3	30,9	----	2	6,60 - 6,80	8	62,7	----	7
1,80 - 2,00	6	58,2	----	3	6,80 - 7,00	9	67,4	----	8
2,00 - 2,20	5	48,5	----	3	7,00 - 7,20	13	97,3	----	8
2,20 - 2,40	3	29,1	----	3	7,20 - 7,40	16	119,8	----	8
2,40 - 2,60	4	38,8	----	3	7,40 - 7,60	13	97,3	----	8
2,60 - 2,80	3	29,1	----	3	7,60 - 7,80	13	97,3	----	8
2,80 - 3,00	7	64,1	----	4	7,80 - 8,00	12	85,9	----	9
3,00 - 3,20	4	36,6	----	4	8,00 - 8,20	11	78,8	----	9
3,20 - 3,40	5	45,8	----	4	8,20 - 8,40	14	100,2	----	9
3,40 - 3,60	6	54,9	----	4	8,40 - 8,60	20	143,2	----	9
3,60 - 3,80	6	54,9	----	4	8,60 - 8,80	21	150,4	----	9
3,80 - 4,00	8	69,4	----	5	8,80 - 9,00	24	164,7	----	10
4,00 - 4,20	8	69,4	----	5	9,00 - 9,20	27	185,2	----	10
4,20 - 4,40	7	60,7	----	5	9,20 - 9,40	32	219,5	----	10
4,40 - 4,60	8	69,4	----	5	9,40 - 9,60	36	247,0	----	10
4,60 - 4,80	11	95,4	----	5	9,60 - 9,80	38	260,7	----	10
4,80 - 5,00	7	57,7	----	6	9,80 - 10,00	40	263,4	----	11

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,00** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

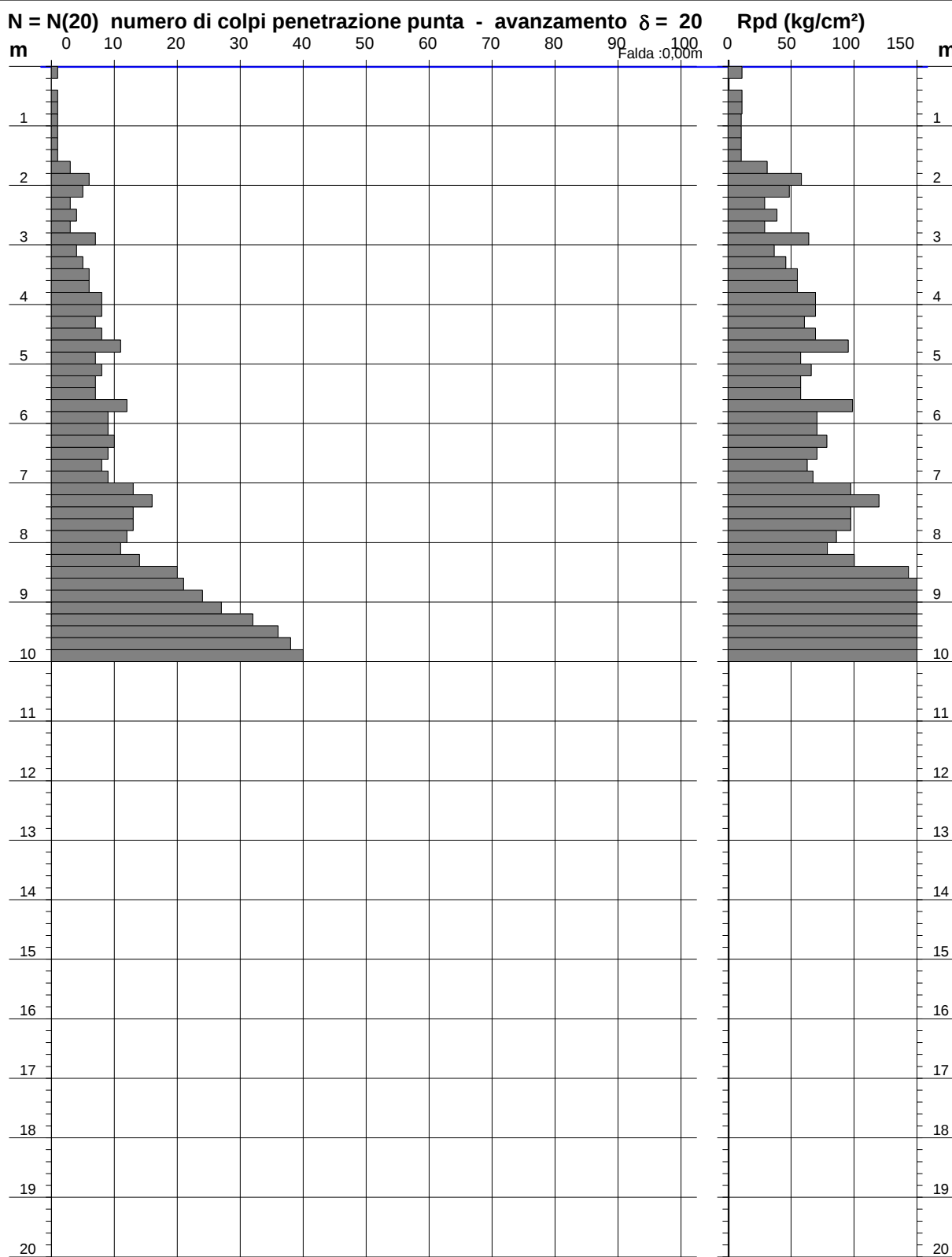
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 12

Scala 1: 100

- committente : DOTT. MEONI
- lavoro : PECCIOLI
- località : CIMITERO
- note :

- data : 01/02/2011
- quota inizio : 0
- prof. falda : 0,00 m da quota inizio
- pagina : 1



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

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,70 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 4,60 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 13

- committente : DOTT. MEONI
 - lavoro : PECCIOLI
 - località : CIMITERO
 - note :

- data : 01/02/2011
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : 1,50 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	11,0	----	1	4,80 - 5,00	10	82,4	----	6
0,20 - 0,40	----	----	----	1	5,00 - 5,20	8	65,9	----	6
0,40 - 0,60	1	11,0	----	1	5,20 - 5,40	7	57,7	----	6
0,60 - 0,80	1	11,0	----	1	5,40 - 5,60	9	74,1	----	6
0,80 - 1,00	1	10,3	----	2	5,60 - 5,80	10	82,4	----	6
1,00 - 1,20	1	10,3	----	2	5,80 - 6,00	14	109,8	----	7
1,20 - 1,40	----	----	----	2	6,00 - 6,20	11	86,3	----	7
1,40 - 1,60	1	10,3	----	2	6,20 - 6,40	8	62,7	----	7
1,60 - 1,80	1	10,3	----	2	6,40 - 6,60	6	47,1	----	7
1,80 - 2,00	1	9,7	----	3	6,60 - 6,80	5	39,2	----	7
2,00 - 2,20	3	29,1	----	3	6,80 - 7,00	9	67,4	----	8
2,20 - 2,40	6	58,2	----	3	7,00 - 7,20	8	59,9	----	8
2,40 - 2,60	5	48,5	----	3	7,20 - 7,40	10	74,9	----	8
2,60 - 2,80	5	48,5	----	3	7,40 - 7,60	11	82,3	----	8
2,80 - 3,00	6	54,9	----	4	7,60 - 7,80	12	89,8	----	8
3,00 - 3,20	12	109,8	----	4	7,80 - 8,00	10	71,6	----	9
3,20 - 3,40	10	91,5	----	4	8,00 - 8,20	10	71,6	----	9
3,40 - 3,60	6	54,9	----	4	8,20 - 8,40	10	71,6	----	9
3,60 - 3,80	6	54,9	----	4	8,40 - 8,60	8	57,3	----	9
3,80 - 4,00	11	95,4	----	5	8,60 - 8,80	8	57,3	----	9
4,00 - 4,20	12	104,0	----	5	8,80 - 9,00	10	68,6	----	10
4,20 - 4,40	9	78,0	----	5	9,00 - 9,20	25	171,5	----	10
4,40 - 4,60	8	69,4	----	5	9,20 - 9,40	42	288,1	----	10
4,60 - 4,80	11	95,4	----	5	9,40 - 9,60	60	411,6	----	10

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,00** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

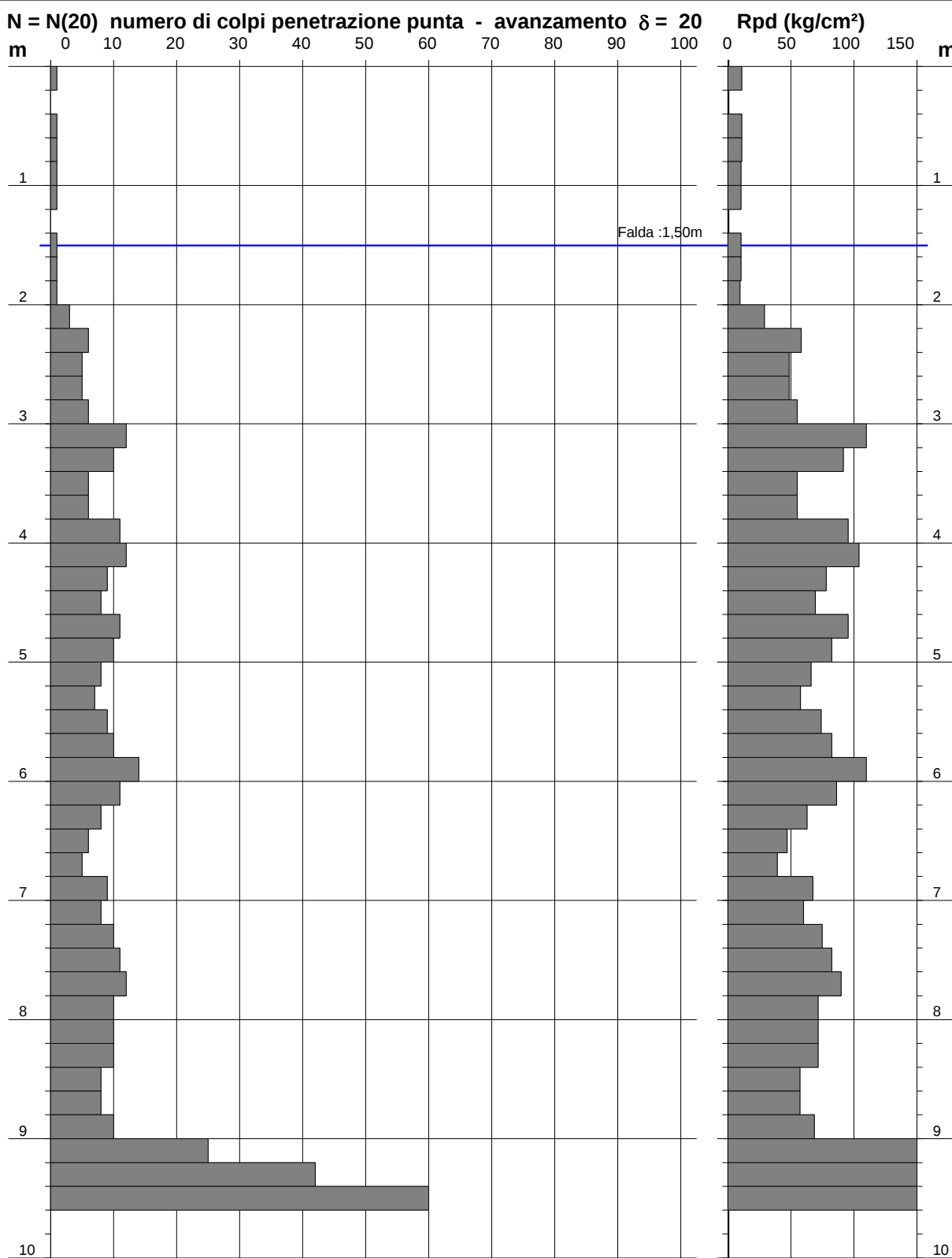
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 13

Scala 1: 50

- committente : DOTT. MEONI
- lavoro : PECCIOLI
- località : CIMITERO
- note :

- data : 01/02/2011
- quota inizio : 0
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio
- pagina : 1



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

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,70 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 4,60 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 14

- committente : DOTT. MEONI
 - lavoro : PECCIOLI
 - località : CIMITERO
 - note :

- data : 01/02/2011
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : 2,20 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	11,0	----	1	3,60 - 3,80	6	54,9	----	4
0,20 - 0,40	1	11,0	----	1	3,80 - 4,00	5	43,4	----	5
0,40 - 0,60	1	11,0	----	1	4,00 - 4,20	7	60,7	----	5
0,60 - 0,80	2	22,0	----	1	4,20 - 4,40	8	69,4	----	5
0,80 - 1,00	2	20,6	----	2	4,40 - 4,60	8	69,4	----	5
1,00 - 1,20	2	20,6	----	2	4,60 - 4,80	8	69,4	----	5
1,20 - 1,40	3	30,9	----	2	4,80 - 5,00	7	57,7	----	6
1,40 - 1,60	2	20,6	----	2	5,00 - 5,20	9	74,1	----	6
1,60 - 1,80	1	10,3	----	2	5,20 - 5,40	5	41,2	----	6
1,80 - 2,00	1	9,7	----	3	5,40 - 5,60	7	57,7	----	6
2,00 - 2,20	2	19,4	----	3	5,60 - 5,80	5	41,2	----	6
2,20 - 2,40	3	29,1	----	3	5,80 - 6,00	4	31,4	----	7
2,40 - 2,60	4	38,8	----	3	6,00 - 6,20	5	39,2	----	7
2,60 - 2,80	6	58,2	----	3	6,20 - 6,40	12	94,1	----	7
2,80 - 3,00	7	64,1	----	4	6,40 - 6,60	27	211,8	----	7
3,00 - 3,20	5	45,8	----	4	6,60 - 6,80	62	486,3	----	7
3,20 - 3,40	6	54,9	----	4	6,80 - 7,00	81	606,3	----	8
3,40 - 3,60	9	82,4	----	4					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,00** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

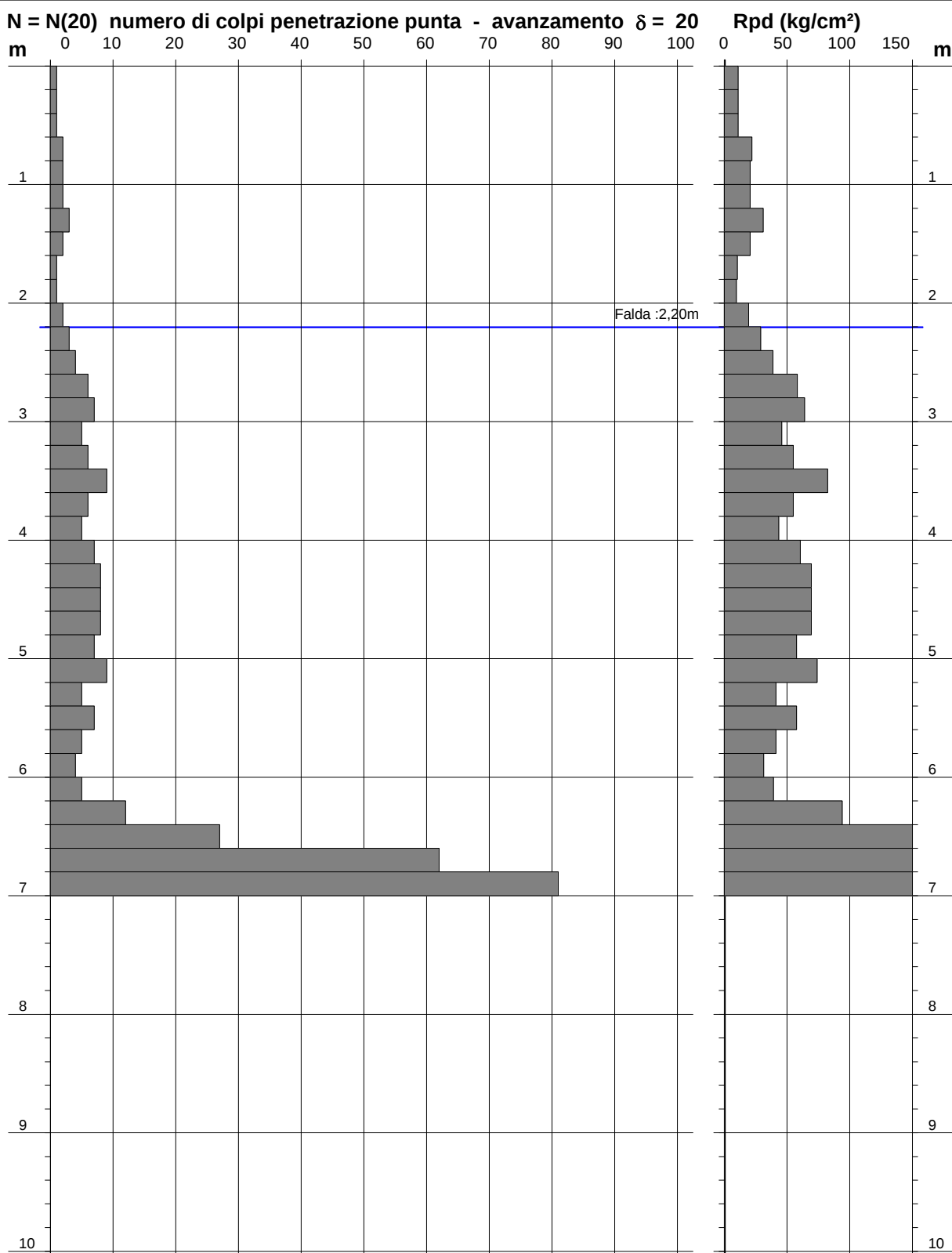
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 14

Scala 1: 50

- committente : DOTT. MEONI
 - lavoro : PECCIOLI
 - località : CIMITERO
 - note :

- data : 01/02/2011
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : 2,20 m da quota inizio
 - pagina : 1



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

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,70 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 4,60 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 15

- committente : DOTT. MEONI
 - lavoro : PECCIOLI
 - località : CIMITERO
 - note :

- data : 01/02/2011
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : 0,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	11,0	----	1	6,60 - 6,80	9	70,6	----	7
0,20 - 0,40	2	22,0	----	1	6,80 - 7,00	9	67,4	----	8
0,40 - 0,60	2	22,0	----	1	7,00 - 7,20	9	67,4	----	8
0,60 - 0,80	1	11,0	----	1	7,20 - 7,40	10	74,9	----	8
0,80 - 1,00	2	20,6	----	2	7,40 - 7,60	10	74,9	----	8
1,00 - 1,20	2	20,6	----	2	7,60 - 7,80	9	67,4	----	8
1,20 - 1,40	2	20,6	----	2	7,80 - 8,00	9	64,4	----	9
1,40 - 1,60	1	10,3	----	2	8,00 - 8,20	9	64,4	----	9
1,60 - 1,80	2	20,6	----	2	8,20 - 8,40	10	71,6	----	9
1,80 - 2,00	1	9,7	----	3	8,40 - 8,60	10	71,6	----	9
2,00 - 2,20	2	19,4	----	3	8,60 - 8,80	11	78,8	----	9
2,20 - 2,40	2	19,4	----	3	8,80 - 9,00	12	82,3	----	10
2,40 - 2,60	2	19,4	----	3	9,00 - 9,20	12	82,3	----	10
2,60 - 2,80	1	9,7	----	3	9,20 - 9,40	12	82,3	----	10
2,80 - 3,00	3	27,5	----	4	9,40 - 9,60	11	75,5	----	10
3,00 - 3,20	4	36,6	----	4	9,60 - 9,80	12	82,3	----	10
3,20 - 3,40	4	36,6	----	4	9,80 - 10,00	12	79,0	----	11
3,40 - 3,60	4	36,6	----	4	10,00 - 10,20	12	79,0	----	11
3,60 - 3,80	5	45,8	----	4	10,20 - 10,40	11	72,4	----	11
3,80 - 4,00	5	43,4	----	5	10,40 - 10,60	11	72,4	----	11
4,00 - 4,20	5	43,4	----	5	10,60 - 10,80	12	79,0	----	11
4,20 - 4,40	4	34,7	----	5	10,80 - 11,00	13	82,3	----	12
4,40 - 4,60	4	34,7	----	5	11,00 - 11,20	13	82,3	----	12
4,60 - 4,80	5	43,4	----	5	11,20 - 11,40	16	101,3	----	12
4,80 - 5,00	6	49,4	----	6	11,40 - 11,60	18	114,0	----	12
5,00 - 5,20	6	49,4	----	6	11,60 - 11,80	19	120,3	----	12
5,20 - 5,40	5	41,2	----	6	11,80 - 12,00	26	158,5	----	13
5,40 - 5,60	6	49,4	----	6	12,00 - 12,20	30	182,9	----	13
5,60 - 5,80	6	49,4	----	6	12,20 - 12,40	38	231,7	----	13
5,80 - 6,00	7	54,9	----	7	12,40 - 12,60	43	262,2	----	13
6,00 - 6,20	7	54,9	----	7	12,60 - 12,80	51	311,0	----	13
6,20 - 6,40	7	54,9	----	7	12,80 - 13,00	100	587,9	----	14
6,40 - 6,60	8	62,7	----	7					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,00 cm²** - D(diam. punta)= **50,50 mm**- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

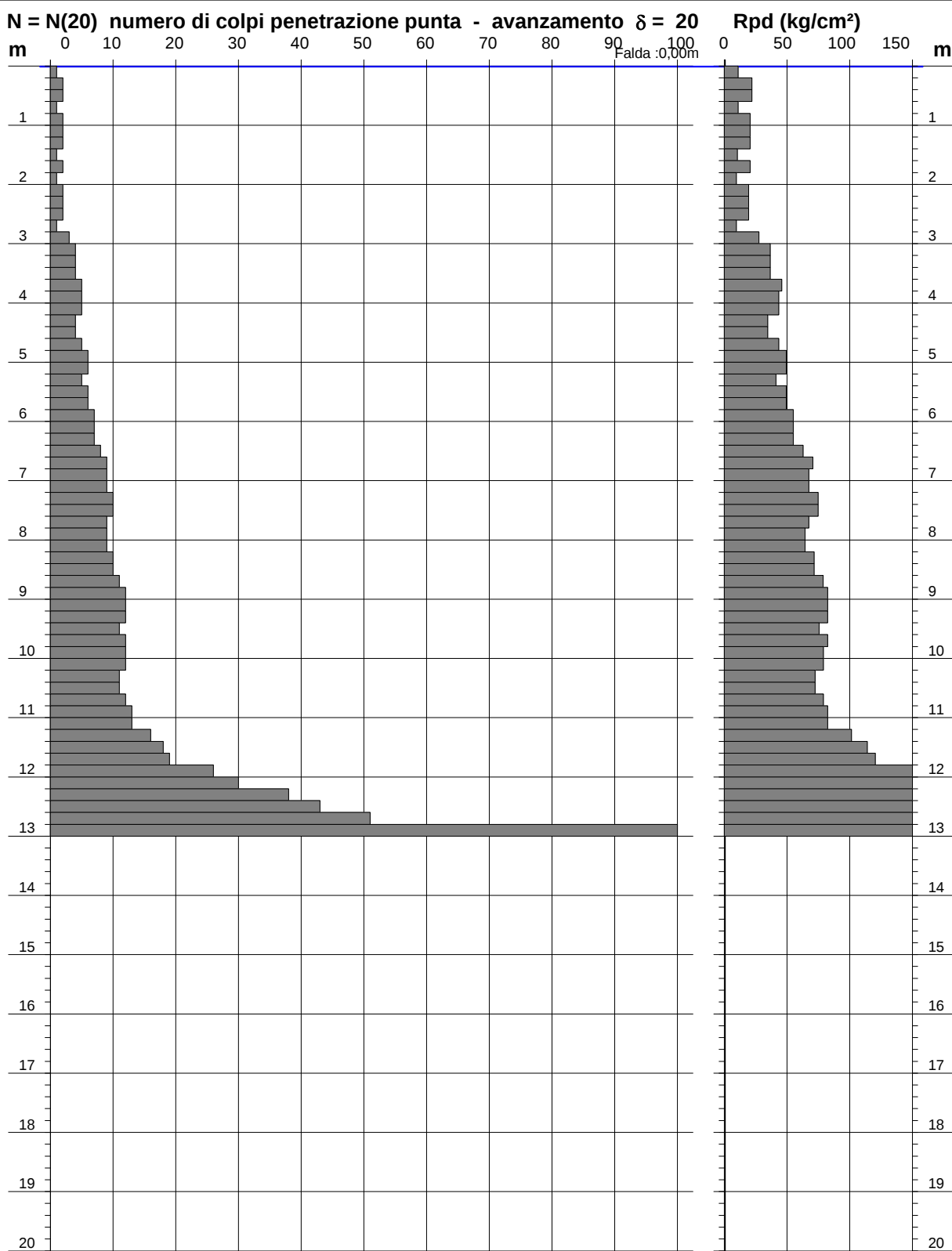
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 15

Scala 1: 100

- committente : DOTT. MEONI
- lavoro : PECCIOLI
- località : CIMITERO
- note :

- data : 01/02/2011
- quota inizio : 0
- prof. falda : 0,00 m da quota inizio
- pagina : 1



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

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,70 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 4,60 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 16

- committente : DOTT. MEONI
 - lavoro : PECCIOLI
 - località : CIMITERO
 - note :

- data : 31/01/2011
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : 1,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	11,0	----	1	5,00 - 5,20	10	82,4	----	6
0,20 - 0,40	2	22,0	----	1	5,20 - 5,40	15	123,5	----	6
0,40 - 0,60	1	11,0	----	1	5,40 - 5,60	12	98,8	----	6
0,60 - 0,80	1	11,0	----	1	5,60 - 5,80	13	107,1	----	6
0,80 - 1,00	----	----	----	2	5,80 - 6,00	14	109,8	----	7
1,00 - 1,20	1	10,3	----	2	6,00 - 6,20	18	141,2	----	7
1,20 - 1,40	2	20,6	----	2	6,20 - 6,40	13	102,0	----	7
1,40 - 1,60	2	20,6	----	2	6,40 - 6,60	11	86,3	----	7
1,60 - 1,80	2	20,6	----	2	6,60 - 6,80	9	70,6	----	7
1,80 - 2,00	2	19,4	----	3	6,80 - 7,00	10	74,9	----	8
2,00 - 2,20	2	19,4	----	3	7,00 - 7,20	7	52,4	----	8
2,20 - 2,40	2	19,4	----	3	7,20 - 7,40	9	67,4	----	8
2,40 - 2,60	4	38,8	----	3	7,40 - 7,60	12	89,8	----	8
2,60 - 2,80	5	48,5	----	3	7,60 - 7,80	12	89,8	----	8
2,80 - 3,00	5	45,8	----	4	7,80 - 8,00	11	78,8	----	9
3,00 - 3,20	5	45,8	----	4	8,00 - 8,20	12	85,9	----	9
3,20 - 3,40	7	64,1	----	4	8,20 - 8,40	13	93,1	----	9
3,40 - 3,60	14	128,1	----	4	8,40 - 8,60	15	107,4	----	9
3,60 - 3,80	8	73,2	----	4	8,60 - 8,80	15	107,4	----	9
3,80 - 4,00	6	52,0	----	5	8,80 - 9,00	12	82,3	----	10
4,00 - 4,20	11	95,4	----	5	9,00 - 9,20	14	96,0	----	10
4,20 - 4,40	15	130,1	----	5	9,20 - 9,40	16	109,8	----	10
4,40 - 4,60	8	69,4	----	5	9,40 - 9,60	24	164,7	----	10
4,60 - 4,80	7	60,7	----	5	9,60 - 9,80	36	247,0	----	10
4,80 - 5,00	10	82,4	----	6	9,80 - 10,00	51	335,9	----	11

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,00** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

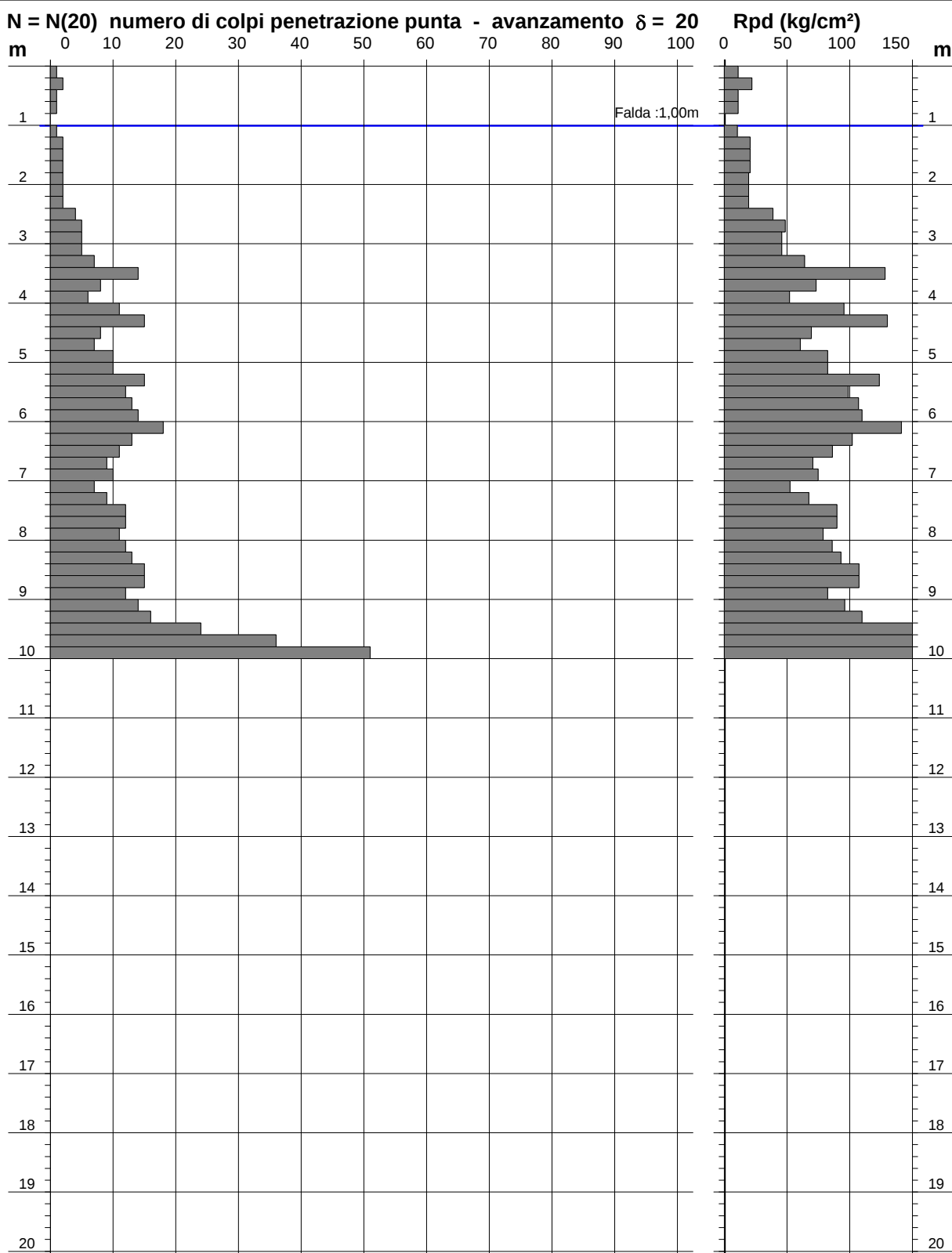
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 16

Scala 1: 100

- committente : DOTT. MEONI
- lavoro : PECCIOLI
- località : CIMITERO
- note :

- data : 31/01/2011
- quota inizio : 0
- prof. falda : 1,00 m da quota inizio
- pagina : 1



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

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,70 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 4,60 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 17

- committente : DOTT. MEONI
 - lavoro : PECCIOLI
 - località : CIMITERO
 - note :

- data : 31/01/2011
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : 0,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	11,0	----	1	5,00 - 5,20	2	16,5	----	6
0,20 - 0,40	----	----	----	1	5,20 - 5,40	2	16,5	----	6
0,40 - 0,60	1	11,0	----	1	5,40 - 5,60	3	24,7	----	6
0,60 - 0,80	1	11,0	----	1	5,60 - 5,80	7	57,7	----	6
0,80 - 1,00	2	20,6	----	2	5,80 - 6,00	8	62,7	----	7
1,00 - 1,20	2	20,6	----	2	6,00 - 6,20	10	78,4	----	7
1,20 - 1,40	3	30,9	----	2	6,20 - 6,40	11	86,3	----	7
1,40 - 1,60	3	30,9	----	2	6,40 - 6,60	11	86,3	----	7
1,60 - 1,80	3	30,9	----	2	6,60 - 6,80	12	94,1	----	7
1,80 - 2,00	5	48,5	----	3	6,80 - 7,00	13	97,3	----	8
2,00 - 2,20	5	48,5	----	3	7,00 - 7,20	13	97,3	----	8
2,20 - 2,40	4	38,8	----	3	7,20 - 7,40	13	97,3	----	8
2,40 - 2,60	4	38,8	----	3	7,40 - 7,60	14	104,8	----	8
2,60 - 2,80	4	38,8	----	3	7,60 - 7,80	15	112,3	----	8
2,80 - 3,00	3	27,5	----	4	7,80 - 8,00	15	107,4	----	9
3,00 - 3,20	4	36,6	----	4	8,00 - 8,20	16	114,6	----	9
3,20 - 3,40	3	27,5	----	4	8,20 - 8,40	17	121,7	----	9
3,40 - 3,60	3	27,5	----	4	8,40 - 8,60	19	136,0	----	9
3,60 - 3,80	3	27,5	----	4	8,60 - 8,80	20	143,2	----	9
3,80 - 4,00	3	26,0	----	5	8,80 - 9,00	22	150,9	----	10
4,00 - 4,20	2	17,3	----	5	9,00 - 9,20	23	157,8	----	10
4,20 - 4,40	2	17,3	----	5	9,20 - 9,40	35	240,1	----	10
4,40 - 4,60	2	17,3	----	5	9,40 - 9,60	47	322,5	----	10
4,60 - 4,80	2	17,3	----	5	9,60 - 9,80	63	432,2	----	10
4,80 - 5,00	3	24,7	----	6	9,80 - 10,00	100	658,6	----	11

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,00 cm²** - D(diam. punta)= **50,50 mm**- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

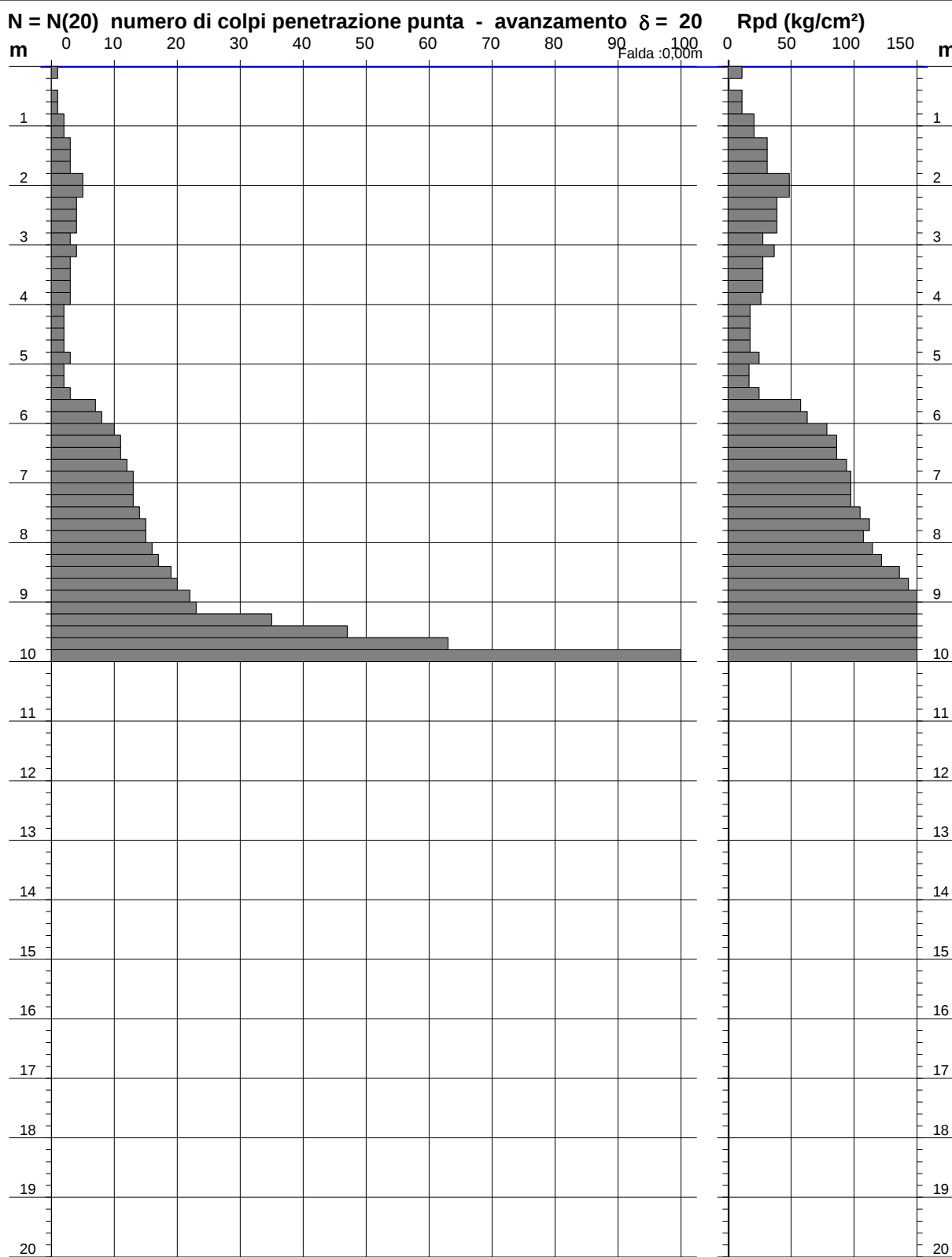
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 17

Scala 1: 100

- committente : DOTT. MEONI
- lavoro : PECCIOLI
- località : CIMITERO
- note :

- data : 31/01/2011
- quota inizio : 0
- prof. falda : 0,00 m da quota inizio
- pagina : 1



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

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,70 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 4,60 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 18

- committente : DOTT. MEONI
 - lavoro : PECCIOLI
 - località : CIMITERO
 - note :

- data : 31/01/2011
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : 8,50 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	11,0	----	1	5,00 - 5,20	10	82,4	----	6
0,20 - 0,40	1	11,0	----	1	5,20 - 5,40	8	65,9	----	6
0,40 - 0,60	1	11,0	----	1	5,40 - 5,60	9	74,1	----	6
0,60 - 0,80	1	11,0	----	1	5,60 - 5,80	8	65,9	----	6
0,80 - 1,00	1	10,3	----	2	5,80 - 6,00	9	70,6	----	7
1,00 - 1,20	1	10,3	----	2	6,00 - 6,20	11	86,3	----	7
1,20 - 1,40	2	20,6	----	2	6,20 - 6,40	21	164,7	----	7
1,40 - 1,60	3	30,9	----	2	6,40 - 6,60	18	141,2	----	7
1,60 - 1,80	2	20,6	----	2	6,60 - 6,80	25	196,1	----	7
1,80 - 2,00	1	9,7	----	3	6,80 - 7,00	27	202,1	----	8
2,00 - 2,20	3	29,1	----	3	7,00 - 7,20	23	172,2	----	8
2,20 - 2,40	3	29,1	----	3	7,20 - 7,40	12	89,8	----	8
2,40 - 2,60	4	38,8	----	3	7,40 - 7,60	12	89,8	----	8
2,60 - 2,80	5	48,5	----	3	7,60 - 7,80	15	112,3	----	8
2,80 - 3,00	3	27,5	----	4	7,80 - 8,00	22	157,5	----	9
3,00 - 3,20	5	45,8	----	4	8,00 - 8,20	23	164,7	----	9
3,20 - 3,40	5	45,8	----	4	8,20 - 8,40	26	186,1	----	9
3,40 - 3,60	7	64,1	----	4	8,40 - 8,60	31	221,9	----	9
3,60 - 3,80	8	73,2	----	4	8,60 - 8,80	35	250,6	----	9
3,80 - 4,00	6	52,0	----	5	8,80 - 9,00	39	267,6	----	10
4,00 - 4,20	5	43,4	----	5	9,00 - 9,20	50	343,0	----	10
4,20 - 4,40	7	60,7	----	5	9,20 - 9,40	43	295,0	----	10
4,40 - 4,60	10	86,7	----	5	9,40 - 9,60	39	267,6	----	10
4,60 - 4,80	8	69,4	----	5	9,60 - 9,80	35	240,1	----	10
4,80 - 5,00	15	123,5	----	6	9,80 - 10,00	40	263,4	----	11

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,00** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

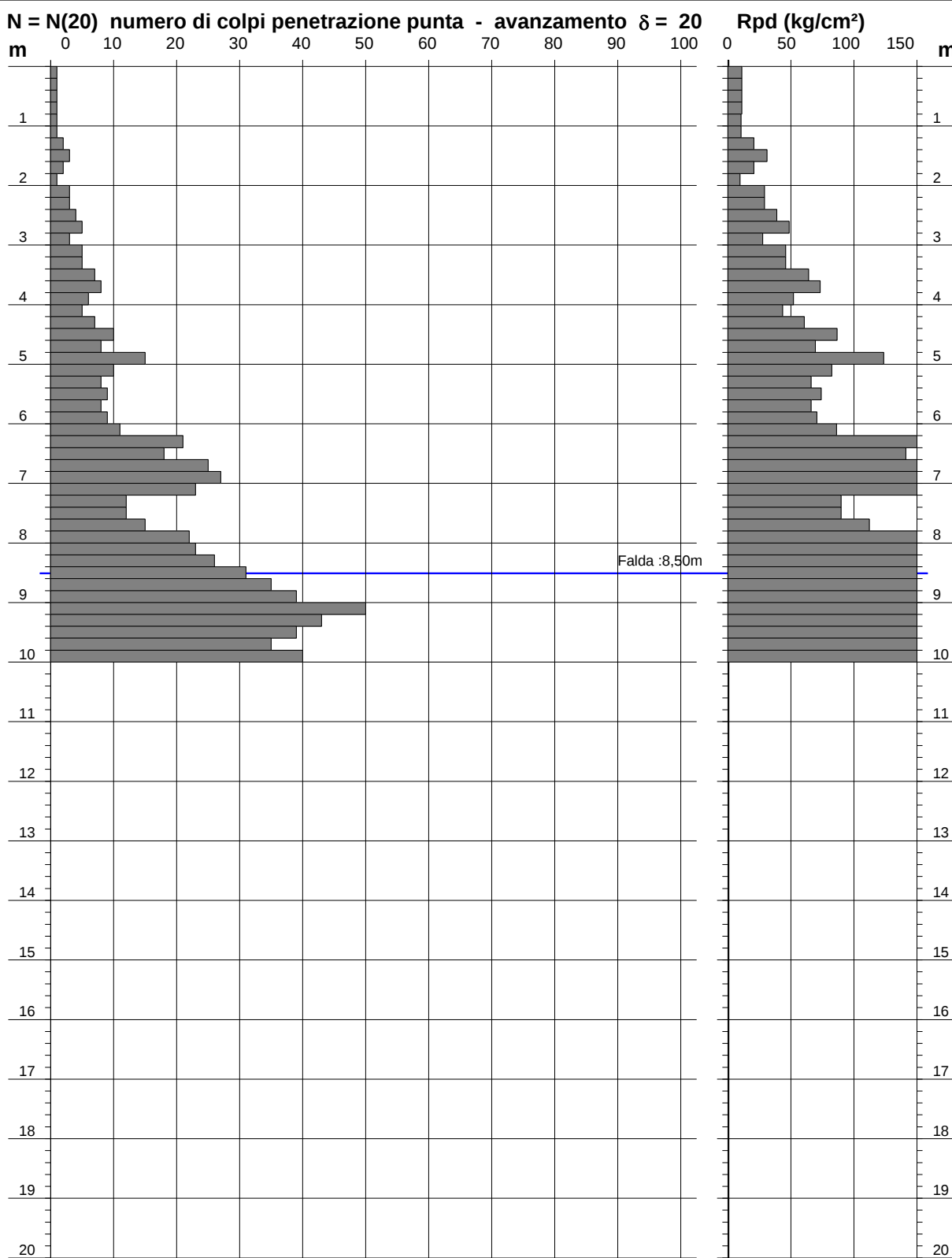
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 18

Scala 1: 100

- committente : DOTT. MEONI
- lavoro : PECCIOLI
- località : CIMITERO
- note :

- data : 31/01/2011
- quota inizio : 0
- prof. falda : 8,50 m da quota inizio
- pagina : 1



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

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,70 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 4,60 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 19

- committente : DOTT. MEONI
 - lavoro : PECCIOLI
 - località : CIMITERO
 - note :

- data : 31/01/2011
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : 0,60 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	11,0	----	1	4,20 - 4,40	8	69,4	----	5
0,20 - 0,40	2	22,0	----	1	4,40 - 4,60	10	86,7	----	5
0,40 - 0,60	2	22,0	----	1	4,60 - 4,80	21	182,1	----	5
0,60 - 0,80	2	22,0	----	1	4,80 - 5,00	26	214,1	----	6
0,80 - 1,00	2	20,6	----	2	5,00 - 5,20	16	131,8	----	6
1,00 - 1,20	2	20,6	----	2	5,20 - 5,40	20	164,7	----	6
1,20 - 1,40	1	10,3	----	2	5,40 - 5,60	35	288,3	----	6
1,40 - 1,60	2	20,6	----	2	5,60 - 5,80	38	313,0	----	6
1,60 - 1,80	2	20,6	----	2	5,80 - 6,00	32	251,0	----	7
1,80 - 2,00	1	9,7	----	3	6,00 - 6,20	25	196,1	----	7
2,00 - 2,20	1	9,7	----	3	6,20 - 6,40	26	203,9	----	7
2,20 - 2,40	1	9,7	----	3	6,40 - 6,60	28	219,6	----	7
2,40 - 2,60	----	----	----	3	6,60 - 6,80	24	188,2	----	7
2,60 - 2,80	----	----	----	3	6,80 - 7,00	24	179,7	----	8
2,80 - 3,00	1	9,2	----	4	7,00 - 7,20	33	247,0	----	8
3,00 - 3,20	1	9,2	----	4	7,20 - 7,40	37	277,0	----	8
3,20 - 3,40	3	27,5	----	4	7,40 - 7,60	28	209,6	----	8
3,40 - 3,60	3	27,5	----	4	7,60 - 7,80	23	172,2	----	8
3,60 - 3,80	3	27,5	----	4	7,80 - 8,00	29	207,6	----	9
3,80 - 4,00	5	43,4	----	5	8,00 - 8,20	53	379,5	----	9
4,00 - 4,20	6	52,0	----	5					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,00** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

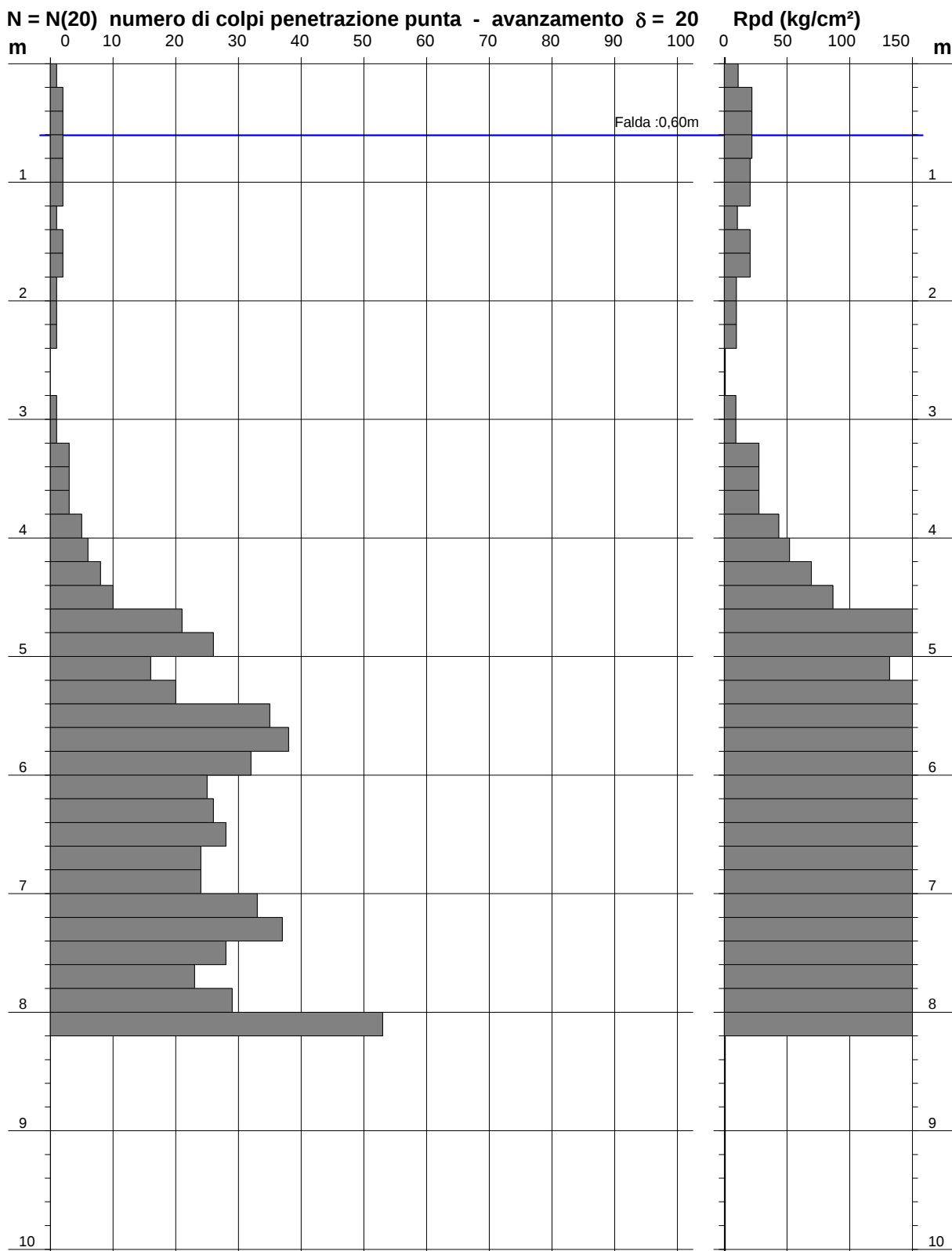
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 19

Scala 1: 50

- committente : DOTT. MEONI
- lavoro : PECCIOLI
- località : CIMITERO
- note :

- data : 31/01/2011
- quota inizio : 0
- prof. falda : 0,60 m da quota inizio
- pagina : 1



capitolo 6 - Prove Penetrometriche Dinamiche (DP)

Al momento in cui avviene lo sgancio la velocità del maglio deve essere trascurabile.

Nota N. 1

Il maglio deve essere sollevato lentamente per garantire che l'inerzia non lo porti al di sopra dell'altezza stabilita. Anche l'eventuale dispositivo di riaggancio (pescatore) deve essere abbassato dolcemente per evitare un significativo impatto sul maglio.

La testa di battuta deve essere rigidamente fissata alla asta di prolunga.

Nota N. 2

La Procedura ISSMFE prescrive inoltre che il diametro della testa di battuta (d) debba essere $D/2 \geq d \geq 100$ mm

essendo D il diametro del maglio.

[La Procedura sembra qui in contraddizione (N.d.A.) almeno per un certo numero di attrezzature.

Infatti, da quanto sopra e dalla Tabella 6.4 deriva, per esempio, che se per la testa di battuta si ha: $d \geq 100$ mm e $d \leq 0,5 D$, allora deve essere: $D \geq 200$ mm; se la lunghezza del maglio deve essere $L \geq D$ (Tabella 6.4) allora anche $L_{min} \geq 200$ mm.

Un cilindro d'acciaio di tali dimensioni minime ha 6,28 litri di volume e circa 49 kg di massa.

Per i penetrometri DPL e DPM (10 e 30 kg rispettivamente) il foro centrale di guida dovrebbe avere un diametro rispettivamente di 178 e 124 mm e lo spessore anulare del maglio risulta quindi 11 e 33 mm (rappresentando basso).

L'asse della testa di battuta, asta di guida ed asta di prolunga deve essere diritto, la deviazione massima consentita è di 5 mm per metro.

6.4.6 Aste di prolunga

Dimensioni e masse delle aste di prolunga sono illustrate nella Tabella 6.4. L'acciaio costituente le aste deve possedere alta resistenza, elevata resistenza all'abrasione, elevata durezza alle basse temperature ed elevata resistenza a fatica.

Deformazioni permanenti devono poter essere corrette. Le aste devono essere dritte.

Aste piene possono essere impiegate ma le aste cave sono preferibili al fine di ridurre il peso.

I giunti devono avere il medesimo diametro esterno delle aste.

Nota.

In alcune nazioni per il DPL vengono usate aste

piene dia. ≥ 20 mm anziché aste cave 22/6 mm.

Alcuni paesi hanno raccomandato di aumentare il diametro delle aste per il DPM da 12 a 36 mm.

La curvatura e l'eccentricità di un'asta possono essere meglio stimate collegandola con un'asta dritta e posando l'asta dritta su una superficie piana.

6.4.7 Punta coniche

Le dimensioni delle punte coniche sono illustrate nella Tabella 6.4.

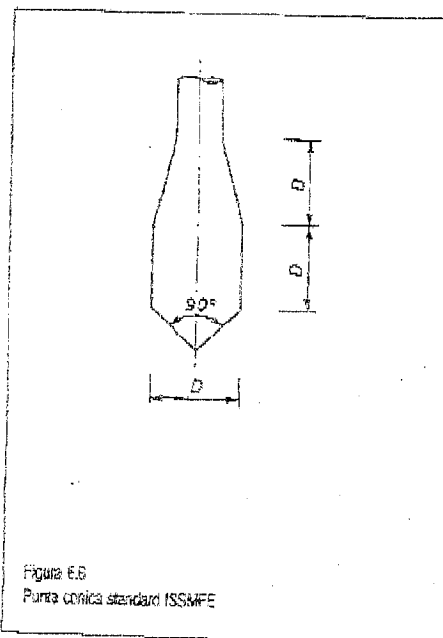
Le punte nuove devono avere angolo di apertura del cono di 90° .

L'altezza del cono può ridursi (per esempio a causa dell'usura) al massimo di una quantità non superiore al 10% del diametro della punta nuova.

Sopra il cono vi è una parte cilindrica di lunghezza pari al diametro della base del cono; un tratto tronco-conico, di lunghezza uguale al diametro della base del cono, raccorda il tratto cilindrico con le aste (Figura 6.6).

La massima usura ammessa per il diametro del cono è indicata nella Tabella 6.4.

La punta conica deve essere collegata alle aste in modo da non staccarsi durante l'infissione. Possono essere impiegate punte fisse oppure "a perdere".



$$N_{SPT}^c = N_{20}(DPSH) \times 1.50$$

PROVE GEOTECNICHE IN SITO

Tabella 6.6
Confronto fra penetrometri DPSH (Superpesanti)

Elemento			DPSH		
			ISSMFE	Tipo "Meardi" (AGI)	Tipo "Emilia"
MAGLIO	M	(kg)	63.5 ± 0.5	73	63.5
CADUTA	H	(m)	0.75 ± 0.02	0.75	0.75
PESO TESTA, GUIDA, ECC.		(kg)	max 30	55	15 - 0.7
LUNGHEZZA ASTE		(m)	1-2 ± 0.1	1.5	1-1.5
MASSA ASTE	: m	(kg/m)	max 8	4,8 X	3.6 - 5.1
DIAM. EST. ASTE	: d ₀	(mm)	32 ± 0.3	34	28 - 34
DIAM. INT. ASTE	: d _i	(mm)	—	—	14 - 18
DIAM. BASE					
PUNTA CONICA	: D	(mm)	50.5 ± 0.5	51.0	50.5
ANGOLO APERTURA: α		(°)	90	60	60
ALTEZZA COMPLESSIVA PUNTA		(mm)	= 126.0	= 73.1	65
PENETRAZIONE STANDARD		(cm)	20 (N ₂₀)	30 (N ₃₀)	20 (N ₂₀) - 30 (N ₃₀)
POSSIBILITÀ INIEZIONE FANGO			NO	NO	SI
POSSIBILITÀ IMPIEGO RIVESTIMENTI			SI	SI	SI
DIAMETRI EVENTUALI RIVESTIMENTI		(mm)	NON PRECISATO	42/36	48/30 - 48/38

6.5.4 Penetrometro DPHS Meardi-AGI

D alla Tabella 6.6 si possono evidenziare le principali differenze fra il più antico ed ancora molto diffuso penetrometro dinamico italiano e l'equivalente della Procedura ISSMFE.

Esse sono:

- la massa del maglio (73.5 kg anziché 63.5)

- il diametro dell'asta (34 mm anziché 32)
- la forma della punta (altezza del tratto cilindrico e angolo di apertura del cono)
- la penetrazione di riferimento (30 cm anziché 20).

Si tratta di differenze che sarebbero facilmente eliminabili, senza variare la struttura dell'attrezzatura, ma occorre tener presente che ciò implicherebbe una diversa interpretazione dei risultati (soprattutto adottando N₂₀ invece dell'attuale N₃₀).

zato per iniezione

verso le aste cave
una forgiata

Allegato n. 1a

S.C.P.T.

Penetrometro Dinamico da 73 Kg

Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo

Numero prove : 9

Committente : Amm.ne Com.le

Località : Cimitero

Comune : Peccioli

Data : 25-gen-11

Legenda

N : numero di colpi / 30 cm
Rd : resistenza di rottura dinamica
f : angolo d'attrito
Cu : coesione non drenata
mv : coefficiente di compressibilità volumetrica

SG : sabbie e ghiaie
S : sabbie
SI : sabbie limose
Ls : limi sabbiosi
L : limi
AI : argille limose
A : argille

Prova n° 11

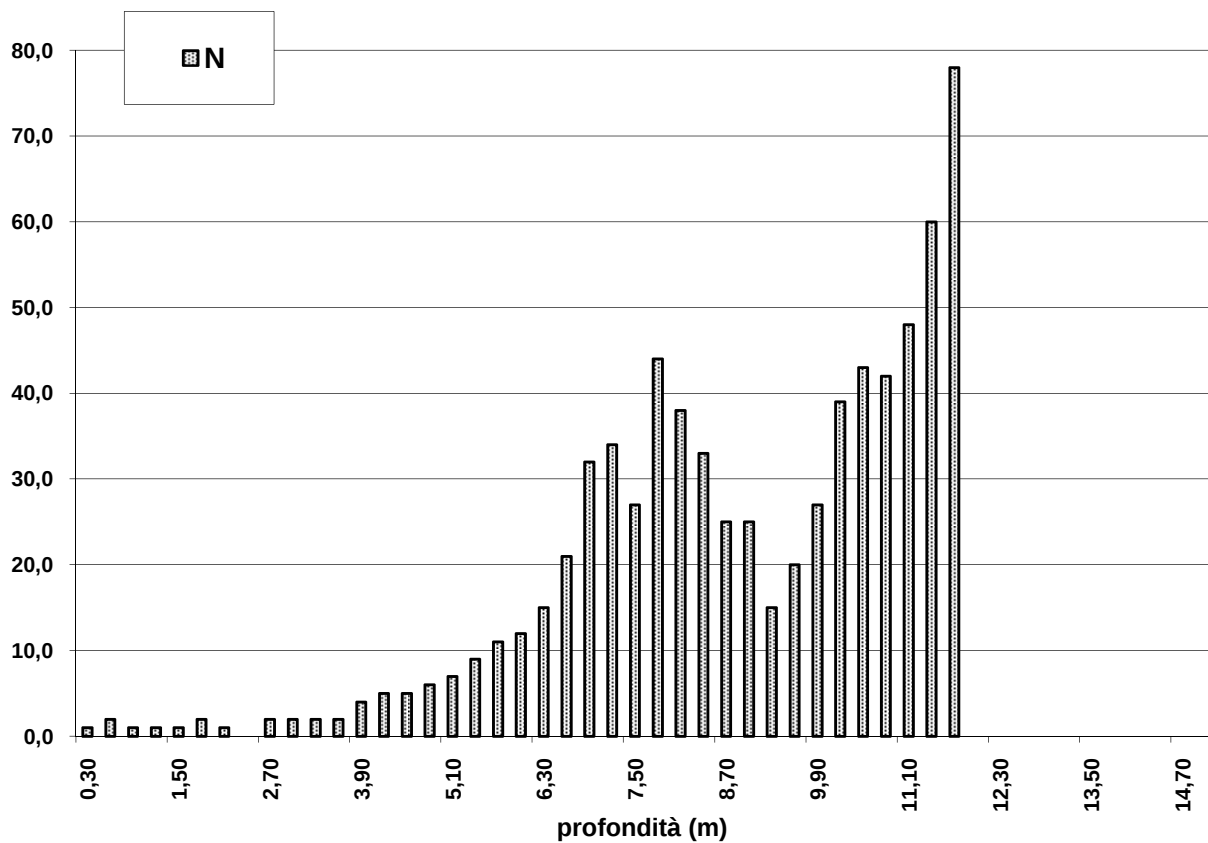
Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11

letture di campagna

valori derivati

prof (m)	H ₂ O	N		Rd (Kg/cm ²)	φ (°)	Cu (Kg/cm ²)	mv (cm ² /t)	Tipo litologico
0,30		1,0		8		0,07	36,00	Limo
0,60		2,0		17		0,13	18,00	Limo
0,90		1,0		8		0,07	36,00	Limo
1,20		1,0		8		0,07	36,00	Limo
1,50		1,0		8		0,07	36,00	Limo
1,80		2,0		16		0,13	18,00	Limo
2,10		1,0		8		0,07	36,00	Limo
2,40								
2,70		2,0		15		0,13	18,00	Limo
3,00		2,0		14		0,13	18,00	Limo
3,30		2,0		14		0,13	18,00	Limo
3,60		2,0		14		0,13	18,00	Limo
3,90		4,0		29		0,27	9,00	Argilla limosa
4,20		5,0		34		0,33	7,20	Argilla limosa
4,50		5,0		34		0,33	7,20	Argilla limosa
4,80		6,0		41		0,40	6,00	Argilla limosa
5,10		7,0		46		0,47	5,14	Argilla limosa
5,40		9,0		59		0,60	4,00	Argilla limosa
5,70		11,0		72		0,73	3,27	Argilla limosa
6,00		12,0		75		0,80	3,00	Argilla limosa
6,30		15,0		93		1,00	2,40	Argilla limosa
6,60		21,0		131		1,40	1,71	Argilla limosa
6,90		32,0		199		2,13	1,13	Argilla limosa
7,20		34,0		203		2,26	1,06	Argilla limosa
7,50		27,0		161		1,80	1,33	Argilla limosa
7,80		44,0		263		2,93	0,82	Argilla limosa
8,10		38,0		218		2,53	0,95	Argilla limosa
8,40		33,0		189		2,19	1,09	Argilla limosa
8,70		25,0		144		1,66	1,44	Argilla limosa
9,00		25,0		138		1,66	1,44	Argilla limosa
9,30		15,0		83		1,00	2,40	Argilla limosa
9,60		20,0		110		1,33	1,80	Argilla limosa
9,90		27,0		149		1,80	1,33	Argilla limosa
10,20		39,0		208		2,59	0,92	Argilla limosa
10,50		43,0		229		2,86	0,84	Argilla limosa
10,80		42,0		224		2,79	0,86	Argilla limosa
11,10		48,0		246		3,19	0,75	Argilla limosa
11,40		60,0		308		3,99	0,60	Argilla limosa
11,70		78,0		401		5,19	0,46	Argilla limosa
12,00								
12,30								
12,60								
12,90								
13,20								
13,50								
13,80								
14,10								
14,40								
14,70								
15,00								

Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11



Prova n° 12

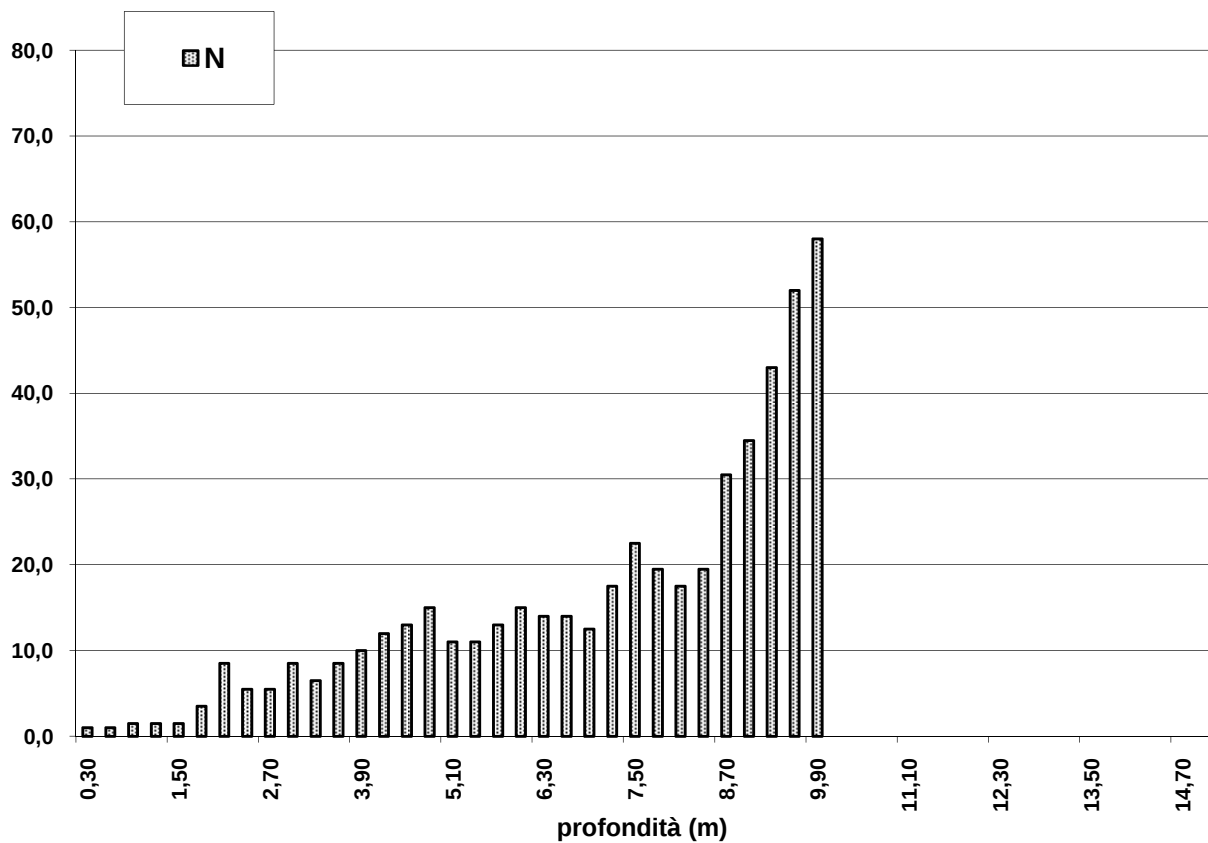
Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11

letture di campagna

valori derivati

prof (m)	H ₂ O	N		Rd (Kg/cm ²)	φ (°)	Cu (Kg/cm ²)	mv (cm ² /t)	Tipo litologico
0,30		1,0		7		0,07	36,00	Limo
0,60		1,0		7		0,07	36,00	Limo
0,90		1,5		11		0,10	24,00	Limo
1,20		1,5		10		0,10	24,00	Limo
1,50		1,5		10		0,10	24,00	Limo
1,80		3,5		24		0,23	10,29	Limo
2,10		8,5		55		0,57	4,24	Argilla limosa
2,40		5,5		36		0,37	6,55	Argilla limosa
2,70		5,5		36		0,37	6,55	Argilla limosa
3,00		8,5		52		0,57	4,24	Argilla limosa
3,30		6,5		40		0,43	5,54	Argilla limosa
3,60		8,5		52		0,57	4,24	Argilla limosa
3,90		10,0		61		0,67	3,60	Argilla limosa
4,20		12,0		69		0,80	3,00	Argilla limosa
4,50		13,0		75		0,86	2,77	Argilla limosa
4,80		15,0		87		1,00	2,40	Argilla limosa
5,10		11,0		60		0,73	3,27	Argilla limosa
5,40		11,0		60		0,73	3,27	Argilla limosa
5,70		13,0		71		0,86	2,77	Argilla limosa
6,00		15,0		78		1,00	2,40	Argilla limosa
6,30		14,0		73		0,93	2,57	Argilla limosa
6,60		14,0		73		0,93	2,57	Argilla limosa
6,90		12,5		65		0,83	2,88	Argilla limosa
7,20		17,5		87		1,16	2,06	Argilla limosa
7,50		22,5		112		1,50	1,60	Argilla limosa
7,80		19,5		97		1,30	1,85	Argilla limosa
8,10		17,5		84		1,16	2,06	Argilla limosa
8,40		19,5		93		1,30	1,85	Argilla limosa
8,70		30,5		146		2,03	1,18	Argilla limosa
9,00		34,5		158		2,29	1,04	Argilla limosa
9,30		43,0		197		2,86	0,84	Argilla limosa
9,60		52,0		238		3,46	0,69	Argilla limosa
9,90		58,0		265		3,86	0,62	Argilla limosa
10,20								
10,50								
10,80								
11,10								
11,40								
11,70								
12,00								
12,30								
12,60								
12,90								
13,20								
13,50								
13,80								
14,10								
14,40								
14,70								
15,00								

Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11



Prova n° 13

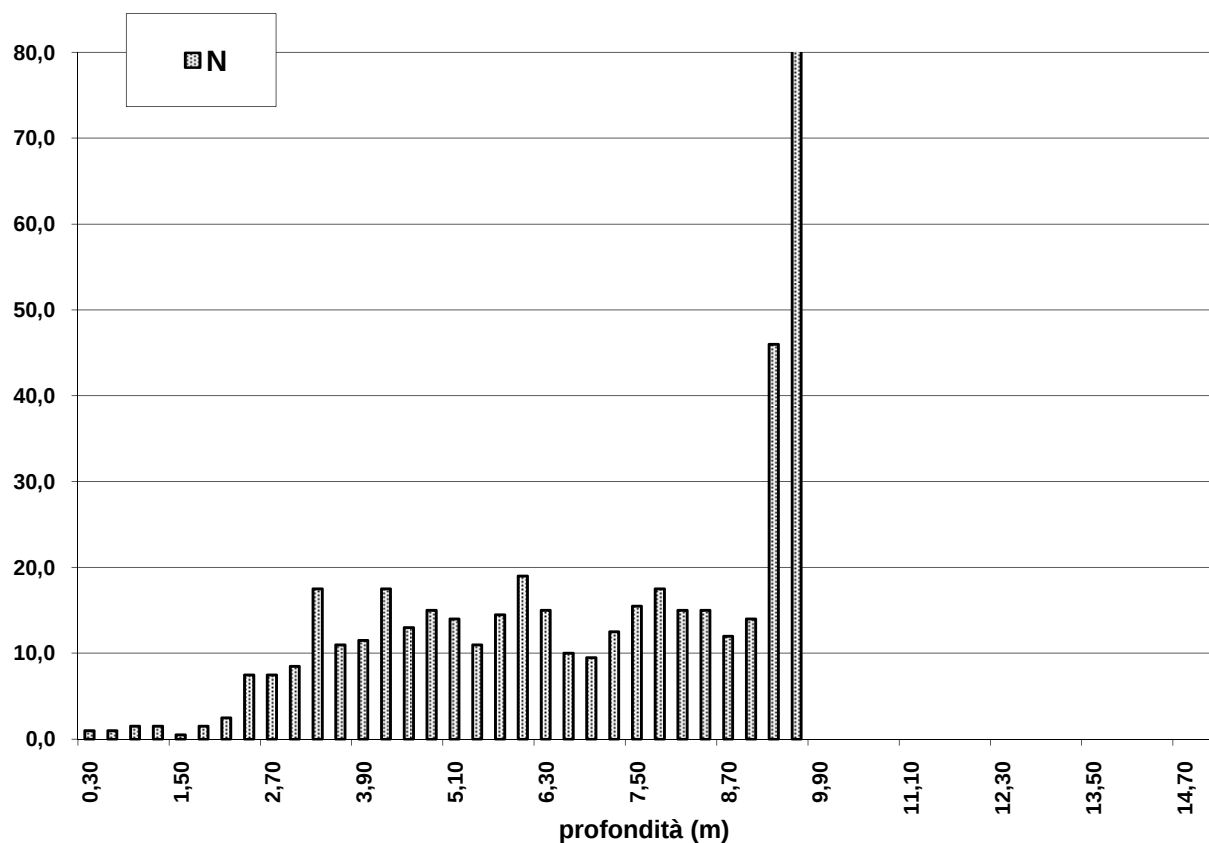
Committente : **Amm.ne Com.le**
Cantiere : **Peccioli Cimitero Capoluogo**
Località : **Cimitero**
Comune : **Peccioli**
Data : **25-gen-11**

letture di campagna

valori derivati

prof (m)	H ₂ O	N		Rd (Kg/cm ²)	φ (°)	Cu (Kg/cm ²)	mv (cm ² /t)	Tipo litologico
0,30		1,0		7		0,07	36,00	Limo
0,60		1,0		7		0,07	36,00	Limo
0,90		1,5		11		0,10	24,00	Limo
1,20		1,5		10		0,10	24,00	Limo
1,50		0,5		3		0,03	72,00	Limo
1,80		1,5		10		0,10	24,00	Limo
2,10		2,5		16		0,17	14,40	Limo
2,40		7,5		48		0,50	4,80	Limo
2,70		7,5		48		0,50	4,80	Limo
3,00		8,5		52		0,57	4,24	Limo
3,30		17,5		107		1,16	2,06	Limo
3,60		11,0		67		0,73	3,27	Limo
3,90		11,5		70		0,76	3,13	Limo
4,20		17,5		101		1,16	2,06	Limo
4,50		13,0		75		0,86	2,77	Limo
4,80		15,0		87		1,00	2,40	Limo
5,10		14,0		77		0,93	2,57	Limo
5,40		11,0		60		0,73	3,27	Limo
5,70		14,5		80		0,96	2,48	Limo
6,00		19,0		99		1,26	1,89	Limo
6,30		15,0		78		1,00	2,40	Limo
6,60		10,0		52		0,67	3,60	Limo
6,90		9,5		50		0,63	3,79	Limo
7,20		12,5		62		0,83	2,88	Limo
7,50		15,5		77		1,03	2,32	Limo
7,80		17,5		87		1,16	2,06	Limo
8,10		15,0		72		1,00	2,40	Limo
8,40		15,0		72		1,00	2,40	Limo
8,70		12,0		57		0,80	3,00	Limo
9,00		14,0		64		0,93	2,57	Limo
9,30		46,0		210				Rifiuto
9,60		81,0		370				Rifiuto
9,90								
10,20								
10,50								
10,80								
11,10								
11,40								
11,70								
12,00								
12,30								
12,60								
12,90								
13,20								
13,50								
13,80								
14,10								
14,40								
14,70								
15,00								

Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11



Prova n° 14

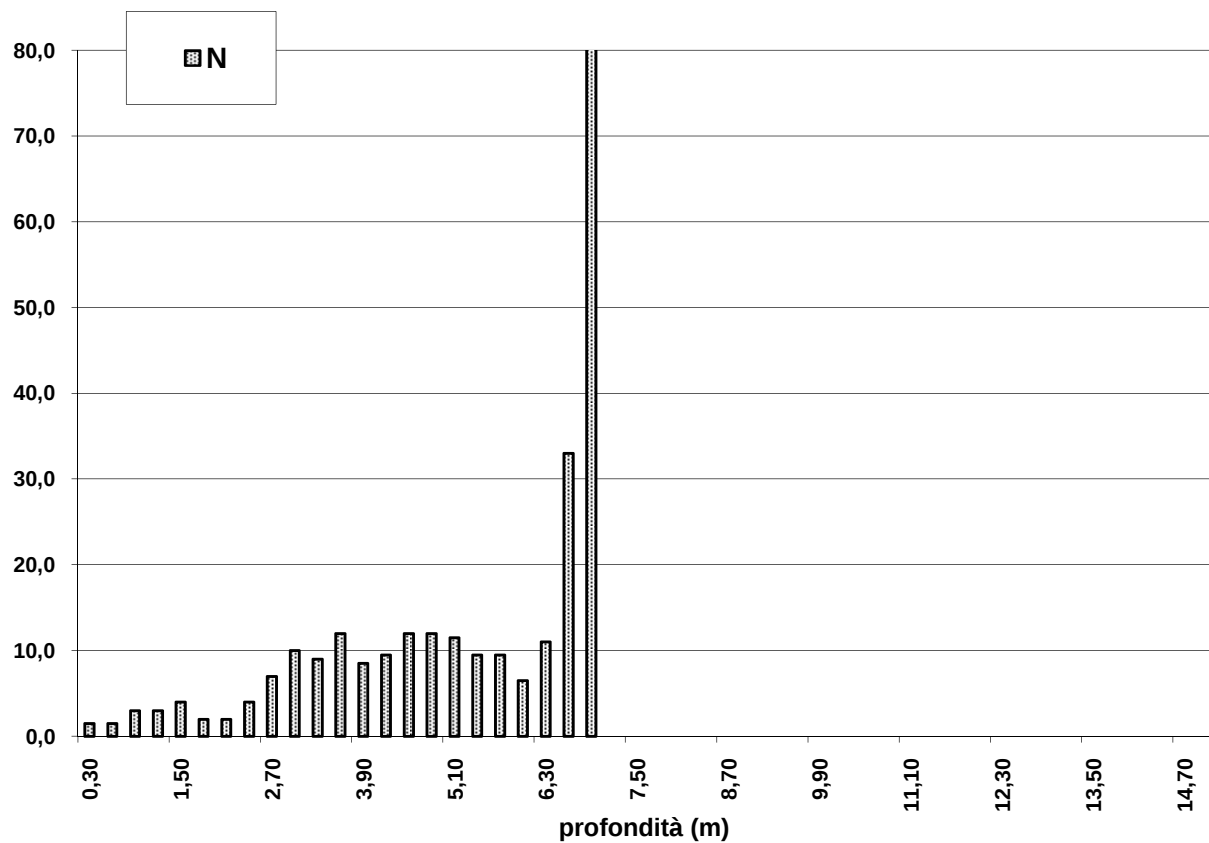
Committente : **Amm.ne Com.le**
Cantiere : **Peccioli Cimitero Capoluogo**
Località : **Cimitero**
Comune : **Peccioli**
Data : **25-gen-11**

letture di campagna

valori derivati

prof (m)	H ₂ O	N		Rd (Kg/cm ²)	φ (°)	Cu (Kg/cm ²)	mv (cm ² /t)	Tipo litologico
0,30		1,5		11		0,10	24,00	Limo
0,60		1,5		11		0,10	24,00	Limo
0,90		3,0		22		0,20	12,00	Limo
1,20		3,0		21		0,20	12,00	Limo
1,50		4,0		27		0,27	9,00	Limo
1,80		2,0		14		0,13	18,00	Limo
2,10		2,0		13		0,13	18,00	Limo
2,40		4,0		26		0,27	9,00	Limo
2,70		7,0		45		0,47	5,14	Limo
3,00		10,0		61		0,67	3,60	Limo
3,30		9,0		55		0,60	4,00	Limo
3,60		12,0		73		0,80	3,00	Limo
3,90		8,5		52		0,57	4,24	Limo
4,20		9,5		55		0,63	3,79	Limo
4,50		12,0		69		0,80	3,00	Limo
4,80		12,0		69		0,80	3,00	Limo
5,10		11,5		63		0,76	3,13	Limo
5,40		9,5		52		0,63	3,79	Limo
5,70		9,5		52		0,63	3,79	Limo
6,00		6,5		34		0,43	5,54	Limo
6,30		11,0		58		0,73	3,27	Limo
6,60		33,0		173				Rifiuto
6,90		102,5		536				Rifiuto
7,20								
7,50								
7,80								
8,10								
8,40								
8,70								
9,00								
9,30								
9,60								
9,90								
10,20								
10,50								
10,80								
11,10								
11,40								
11,70								
12,00								
12,30								
12,60								
12,90								
13,20								
13,50								
13,80								
14,10								
14,40								
14,70								
15,00								

Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11



Prova n° 15

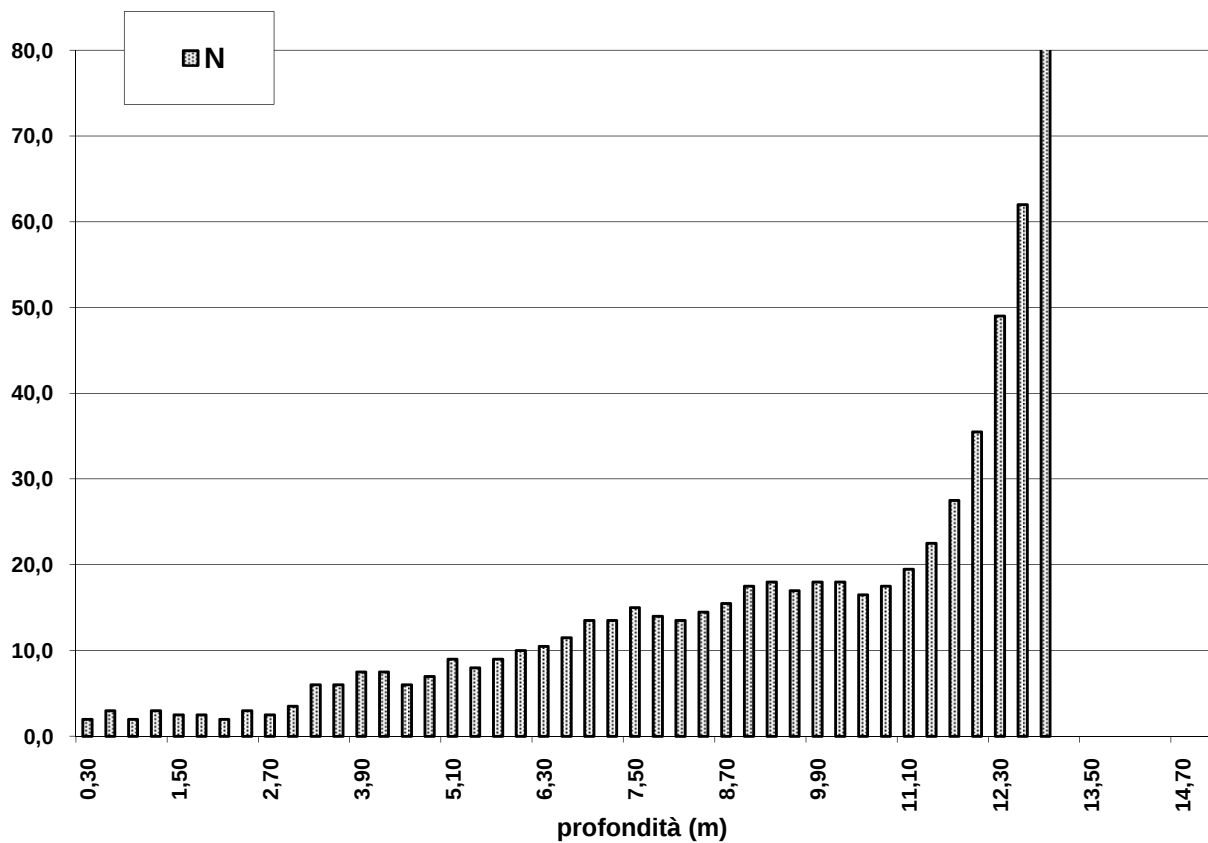
Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11

letture di campagna

valori derivati

prof (m)	H ₂ O	N		Rd (Kg/cm ²)	φ (°)	Cu (Kg/cm ²)	mv (cm ² /t)	Tipo litologico
0,30		2,0		15		0,13	18,00	Limo
0,60		3,0		22		0,20	12,00	Limo
0,90		2,0		15		0,13	18,00	Limo
1,20		3,0		21		0,20	12,00	Limo
1,50		2,5		17		0,17	14,40	Limo
1,80		2,5		17		0,17	14,40	Limo
2,10		2,0		13		0,13	18,00	Limo
2,40		3,0		19		0,20	12,00	Limo
2,70		2,5		16		0,17	14,40	Limo
3,00		3,5		21		0,23	10,29	Limo
3,30		6,0		37		0,40	6,00	Limo
3,60		6,0		37		0,40	6,00	Limo
3,90		7,5		46		0,50	4,80	Limo
4,20		7,5		43		0,50	4,80	Limo
4,50		6,0		35		0,40	6,00	Limo
4,80		7,0		40		0,47	5,14	Limo
5,10		9,0		49		0,60	4,00	Limo
5,40		8,0		44		0,53	4,50	Limo
5,70		9,0		49		0,60	4,00	Limo
6,00		10,0		52		0,67	3,60	Limo
6,30		10,5		55		0,70	3,43	Limo
6,60		11,5		60		0,76	3,13	Limo
6,90		13,5		71		0,90	2,67	Limo
7,20		13,5		67		0,90	2,67	Limo
7,50		15,0		75		1,00	2,40	Limo
7,80		14,0		70		0,93	2,57	Limo
8,10		13,5		64		0,90	2,67	Limo
8,40		14,5		69		0,96	2,48	Limo
8,70		15,5		74		1,03	2,32	Limo
9,00		17,5		80		1,16	2,06	Limo
9,30		18,0		82		1,20	2,00	Limo
9,60		17,0		78		1,13	2,12	Limo
9,90		18,0		82		1,20	2,00	Limo
10,20		18,0		79		1,20	2,00	Limo
10,50		16,5		72		1,10	2,18	Limo
10,80		17,5		77		1,16	2,06	Limo
11,10		19,5		82		1,30	1,85	Limo
11,40		22,5		95		1,50	1,60	Limo
11,70		27,5		116		1,83	1,31	Limo
12,00		35,5		144		2,36	1,01	Limo
12,30		49,0		199		3,26	0,73	Limo
12,60		62,0		252				Rifiuto
12,90		101,0		411				Rifiuto
13,20								
13,50								
13,80								
14,10								
14,40								
14,70								
15,00								

Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11



Prova n° 16

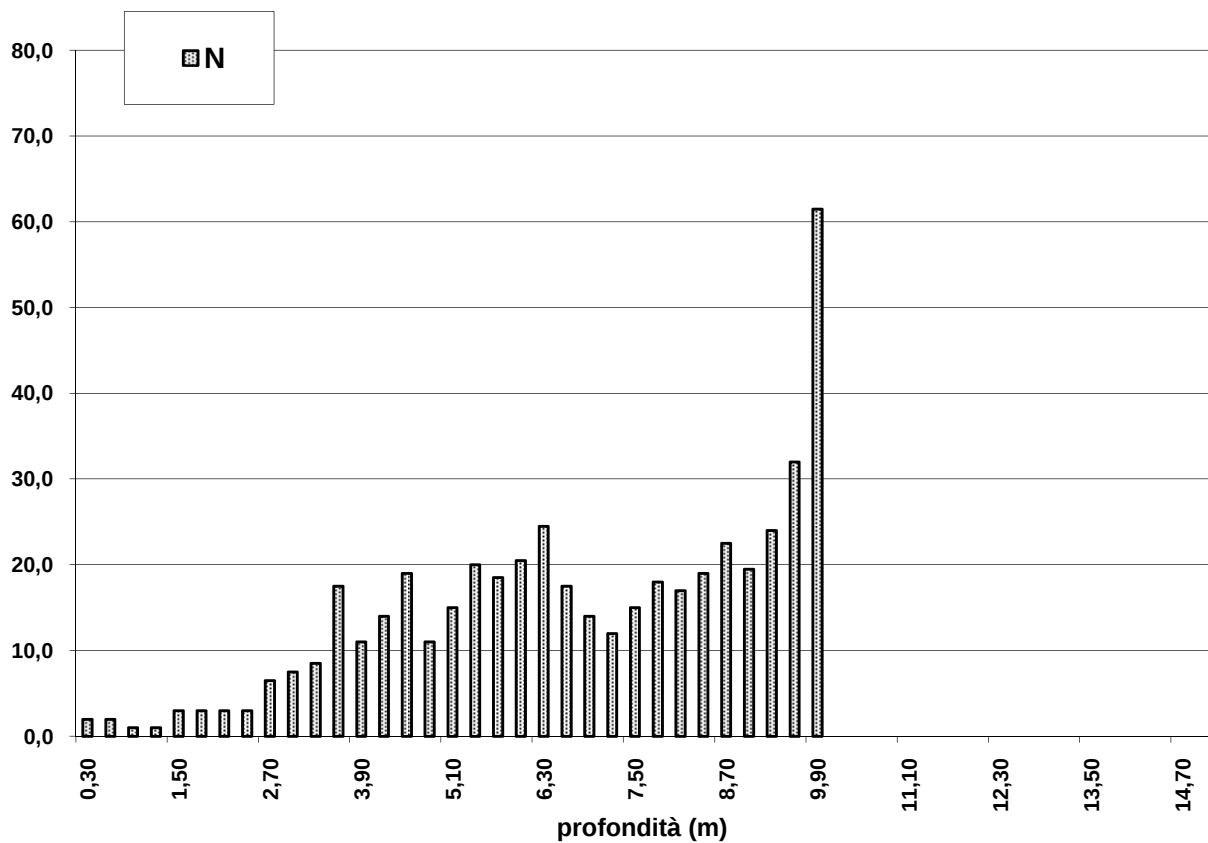
Committente : **Amm.ne Com.le**
Cantiere : **Peccioli Cimitero Capoluogo**
Località : **Cimitero**
Comune : **Peccioli**
Data : **25-gen-11**

letture di campagna

valori derivati

prof (m)	H ₂ O	N		Rd (Kg/cm ²)	φ (°)	Cu (Kg/cm ²)	mv (cm ² /t)	Tipo litologico
0,30		2,0		15		0,13	18,00	Limo
0,60		2,0		15		0,13	18,00	Limo
0,90		1,0		7		0,07	36,00	Limo
1,20		1,0		7		0,07	36,00	Limo
1,50		3,0		21		0,20	12,00	Limo
1,80		3,0		21		0,20	12,00	Limo
2,10		3,0		19		0,20	12,00	Limo
2,40		3,0		19		0,20	12,00	Limo
2,70		6,5		42		0,43	5,54	Limo sabbioso
3,00		7,5		46		0,50	4,80	Limo sabbioso
3,30		8,5		52		0,57	4,24	Limo sabbioso
3,60		17,5		107		1,16	2,06	Limo sabbioso
3,90		11,0		67		0,73	3,27	Limo sabbioso
4,20		14,0		81		0,93	2,57	Limo sabbioso
4,50		19,0		110		1,26	1,89	Limo sabbioso
4,80		11,0		64		0,73	3,27	Limo sabbioso
5,10		15,0		82		1,00	2,40	Limo sabbioso
5,40		20,0		110		1,33	1,80	Limo sabbioso
5,70		18,5		102		1,23	1,95	Limo sabbioso
6,00		20,5		107		1,36	1,76	Limo sabbioso
6,30		24,5		128		1,63	1,47	Limo sabbioso
6,60		17,5		91		1,16	2,06	Limo sabbioso
6,90		14,0		73		0,93	2,57	Limo sabbioso
7,20		12,0		60		0,80	3,00	Limo sabbioso
7,50		15,0		75		1,00	2,40	Limo sabbioso
7,80		18,0		90		1,20	2,00	Limo sabbioso
8,10		17,0		81		1,13	2,12	Limo sabbioso
8,40		19,0		91		1,26	1,89	Limo sabbioso
8,70		22,5		107		1,50	1,60	Limo sabbioso
9,00		19,5		89		1,30	1,85	Limo sabbioso
9,30		24,0		110		1,60	1,50	Limo sabbioso
9,60		32,0		146		2,13	1,13	Limo sabbioso
9,90		61,5		281				Rifiuto
10,20								
10,50								
10,80								
11,10								
11,40								
11,70								
12,00								
12,30								
12,60								
12,90								
13,20								
13,50								
13,80								
14,10								
14,40								
14,70								
15,00								

Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11



Prova n° 17

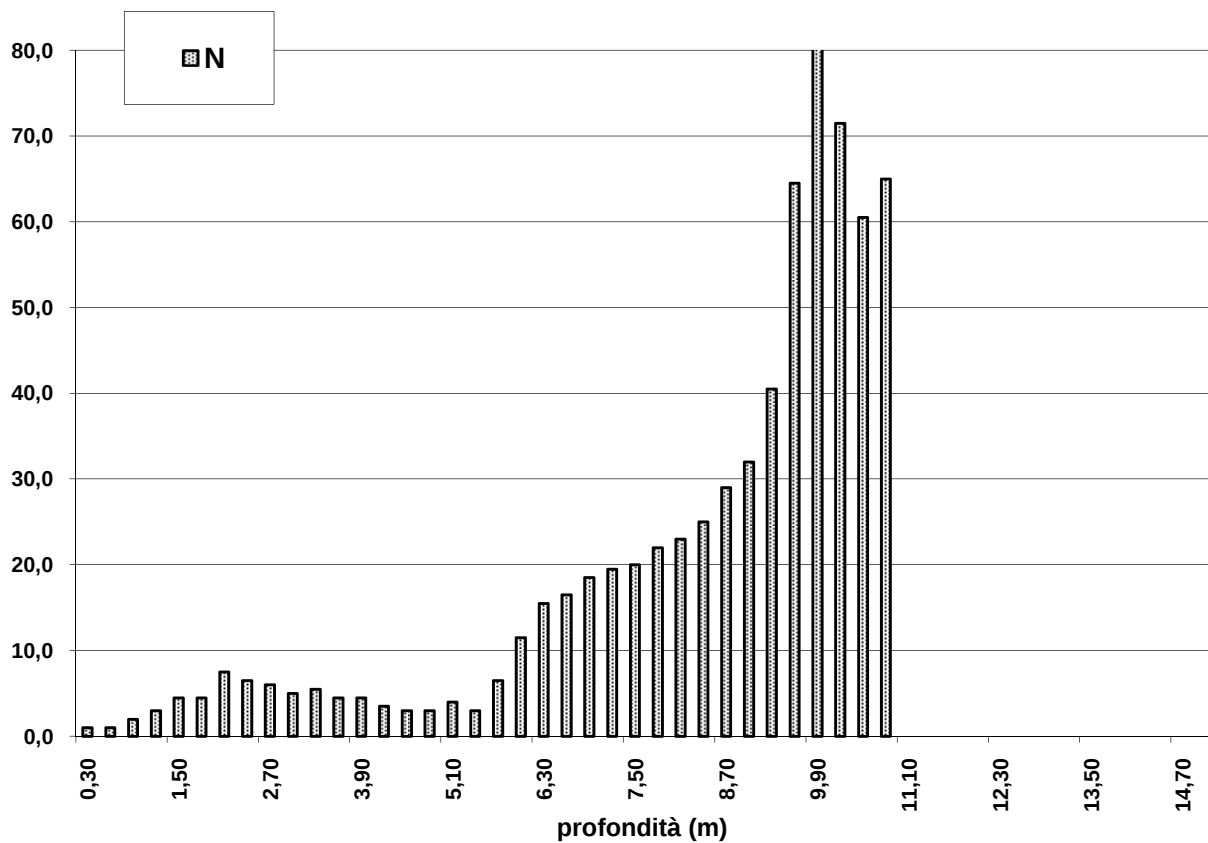
Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11

letture di campagna

valori derivati

prof (m)	H ₂ O	N		Rd (Kg/cm ²)	φ (°)	Cu (Kg/cm ²)	mv (cm ² /t)	Tipo litologico
0,30		1,0		7		0,07	36,00	Limo
0,60		1,0		7		0,07	36,00	Limo
0,90		2,0		15		0,13	18,00	Limo
1,20		3,0		21		0,20	12,00	Limo
1,50		4,5		31		0,30	8,00	Limo
1,80		4,5		31		0,30	8,00	Limo
2,10		7,5		48		0,50	4,80	Limo
2,40		6,5		42		0,43	5,54	Limo
2,70		6,0		39		0,40	6,00	Limo
3,00		5,0		31		0,33	7,20	Limo
3,30		5,5		34		0,37	6,55	Limo
3,60		4,5		27		0,30	8,00	Limo
3,90		4,5		27		0,30	8,00	Limo
4,20		3,5		20		0,23	10,29	Limo
4,50		3,0		17		0,20	12,00	Limo
4,80		3,0		17		0,20	12,00	Limo
5,10		4,0		22		0,27	9,00	Limo
5,40		3,0		16		0,20	12,00	Limo
5,70		6,5		36		0,43	5,54	Argilla limosa
6,00		11,5		60		0,76	3,13	Argilla limosa
6,30		15,5		81		1,03	2,32	Argilla limosa
6,60		16,5		86		1,10	2,18	Argilla limosa
6,90		18,5		97		1,23	1,95	Argilla limosa
7,20		19,5		97		1,30	1,85	Argilla limosa
7,50		20,0		100		1,33	1,80	Argilla limosa
7,80		22,0		110		1,46	1,64	Argilla limosa
8,10		23,0		110		1,53	1,57	Argilla limosa
8,40		25,0		119		1,66	1,44	Argilla limosa
8,70		29,0		138		1,93	1,24	Argilla limosa
9,00		32,0		146		2,13	1,13	Argilla limosa
9,30		40,5		185		2,69	0,89	Argilla limosa
9,60		64,5		295		4,29	0,56	Argilla limosa
9,90		113,0		517		7,51	0,32	Argilla limosa
10,20		71,5		314		4,75	0,50	Argilla limosa
10,50		60,5		266		4,02	0,60	Argilla limosa
10,80		65,0		285		4,32	0,55	Argilla limosa
11,10								
11,40								
11,70								
12,00								
12,30								
12,60								
12,90								
13,20								
13,50								
13,80								
14,10								
14,40								
14,70								
15,00								

Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11



Prova n° 18

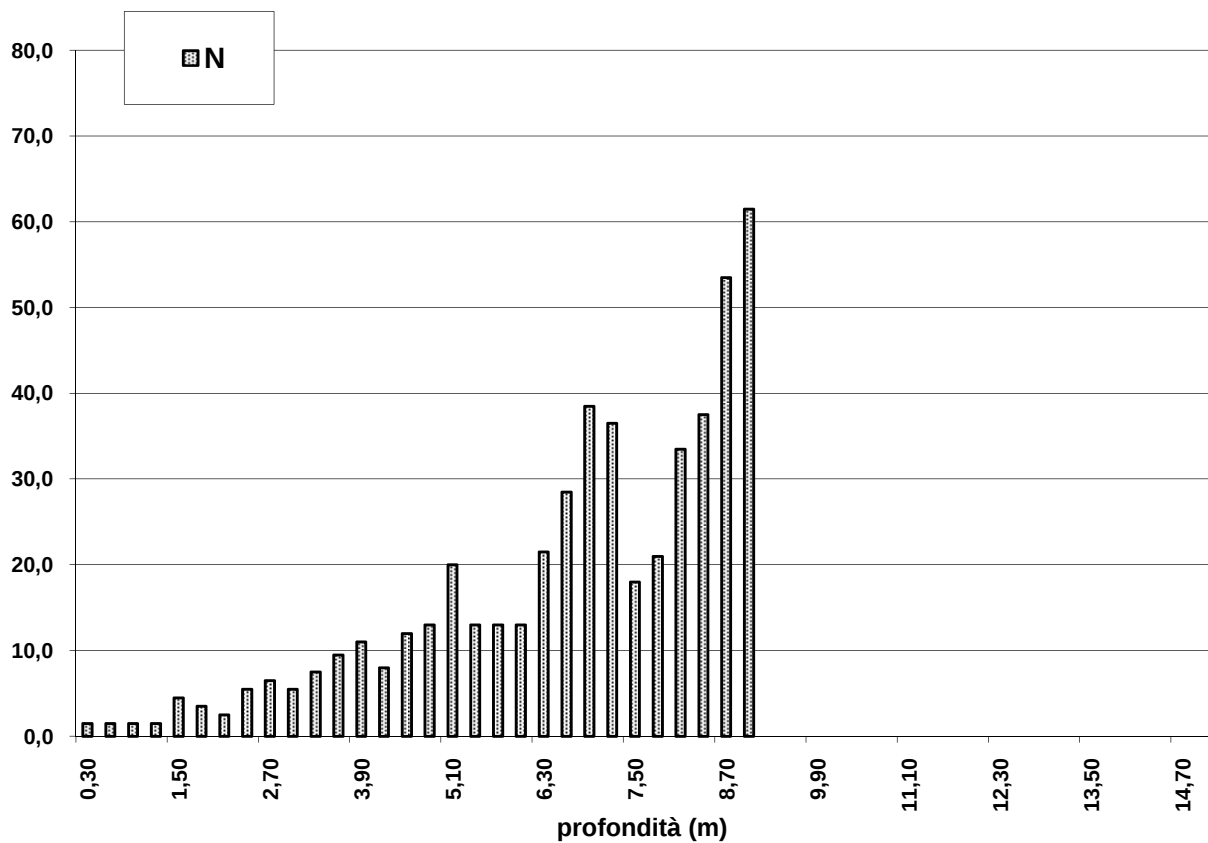
Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11

letture di campagna

valori derivati

prof (m)	H ₂ O	N		Rd (Kg/cm ²)	φ (°)	Cu (Kg/cm ²)	mv (cm ² /t)	Tipo litologico
0,30		1,5		11		0,10	24,00	Limo
0,60		1,5		11		0,10	24,00	Limo
0,90		1,5		11		0,10	24,00	Limo
1,20		1,5		10		0,10	24,00	Limo
1,50		4,5		31		0,30	8,00	Limo
1,80		3,5		24		0,23	10,29	Limo
2,10		2,5		16		0,17	14,40	Limo
2,40		5,5		36		0,37	6,55	Argilla limosa
2,70		6,5		42		0,43	5,54	Argilla limosa
3,00		5,5		34		0,37	6,55	Argilla limosa
3,30		7,5		46		0,50	4,80	Argilla limosa
3,60		9,5		58		0,63	3,79	Argilla limosa
3,90		11,0		67		0,73	3,27	Argilla limosa
4,20		8,0		46		0,53	4,50	Argilla limosa
4,50		12,0		69		0,80	3,00	Argilla limosa
4,80		13,0		75		0,86	2,77	Argilla limosa
5,10		20,0		110		1,33	1,80	Argilla limosa
5,40		13,0		71		0,86	2,77	Argilla limosa
5,70		13,0		71		0,86	2,77	Argilla limosa
6,00		13,0		68		0,86	2,77	Argilla limosa
6,30		21,5		112		1,43	1,67	Argilla limosa
6,60		28,5		149	36		1,26	Sabbia
6,90		38,5		201	39		0,94	Sabbia
7,20		36,5		182	38		0,99	Sabbia
7,50		18,0		90		1,20	2,00	Argilla limosa
7,80		21,0		105		1,40	1,71	Argilla limosa
8,10		33,5		160		2,23	1,07	Argilla limosa
8,40		37,5		179		2,49	0,96	Argilla limosa
8,70		53,5		255		3,56	0,67	Argilla limosa
9,00		61,5		281		4,09	0,59	Argilla limosa
9,30								
9,60								
9,90								
10,20								
10,50								
10,80								
11,10								
11,40								
11,70								
12,00								
12,30								
12,60								
12,90								
13,20								
13,50								
13,80								
14,10								
14,40								
14,70								
15,00								

Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11



Prova n° 19

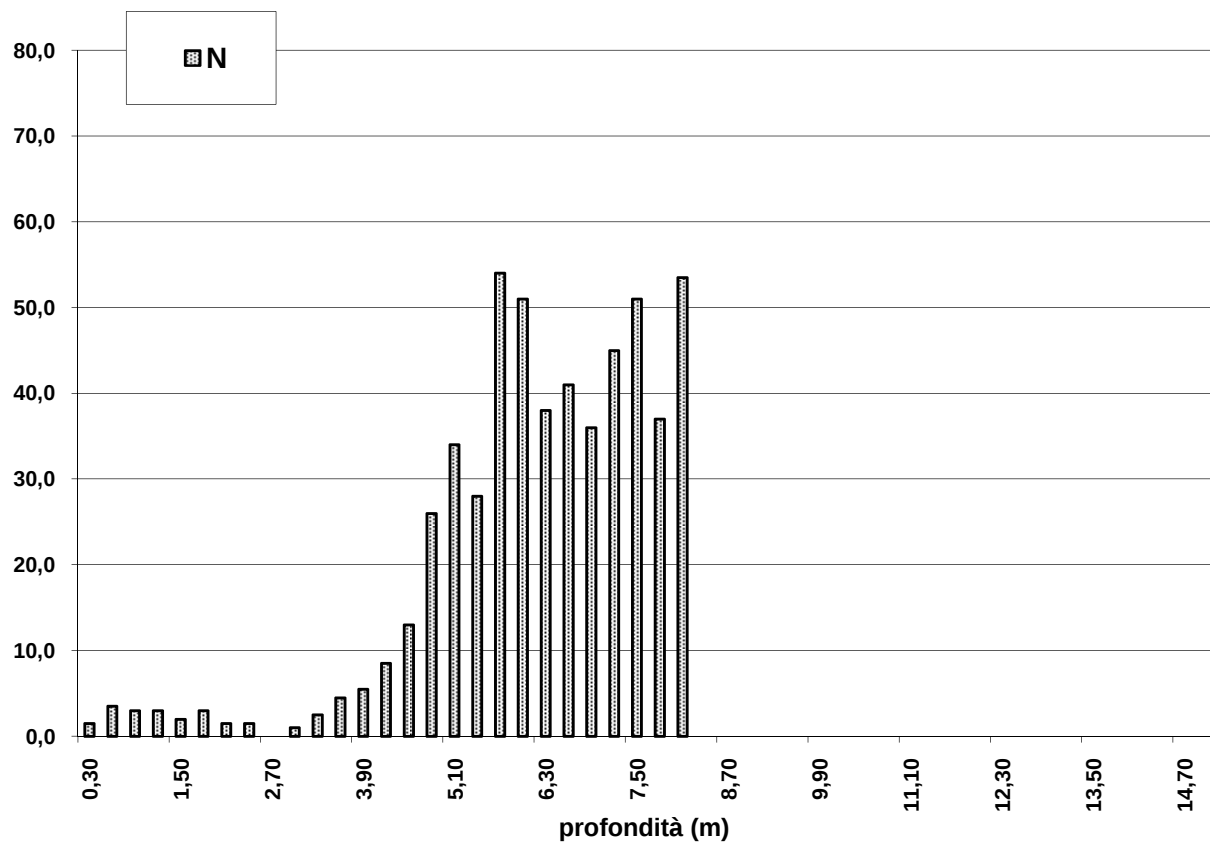
Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11

letture di campagna

valori derivati

prof (m)	H ₂ O	N		Rd (Kg/cm2)	Cu (Kg/cm2)	mv (cm2/t)	Tipo litologico
0,30		1,5		11	0,10	24,00	Limo
0,60		3,5		26	0,23	10,29	Limo
0,90		3,0		22	0,20	12,00	Limo
1,20		3,0		21	0,20	12,00	Limo
1,50		2,0		14	0,13	18,00	Limo
1,80		3,0		21	0,20	12,00	Limo
2,10		1,5		10	0,10	24,00	Limo
2,40		1,5		10	0,10	24,00	Limo
2,70							
3,00		1,0		6	0,07	36,00	Limo
3,30		2,5		15	0,17	14,40	Limo
3,60		4,5		27	0,30	8,00	Argilla limosa
3,90		5,5		34	0,37	6,55	Argilla limosa
4,20		8,5		49	0,57	4,24	Argilla limosa
4,50		13,0		75	0,86	2,77	Argilla limosa
4,80		26,0		150	1,73	1,38	Argilla limosa
5,10		34,0		187	2,26	1,06	Argilla limosa
5,40		28,0		154	1,86	1,29	Argilla limosa
5,70		54,0		296	3,59	0,67	Argilla limosa
6,00		51,0		267	3,39	0,71	Argilla limosa
6,30		38,0		199	2,53	0,95	Argilla limosa
6,60		41,0		214	2,73	0,88	Limo sabbioso
6,90		36,0		188	2,39	1,00	Limo sabbioso
7,20		45,0		225	2,99	0,80	Limo sabbioso
7,50		51,0		255	3,39	0,71	Limo sabbioso
7,80		37,0		185	2,46	0,97	Limo sabbioso
8,10		53,5		255	3,56	0,67	Limo sabbioso
8,40							
8,70							
9,00							
9,30							
9,60							
9,90							
10,20							
10,50							
10,80							
11,10							
11,40							
11,70							
12,00							
12,30							
12,60							
12,90							
13,20							
13,50							
13,80							
14,10							
14,40							
14,70							
15,00							

Committente : Amm.ne Com.le
Cantiere : Peccioli Cimitero Capoluogo
Località : Cimitero
Comune : Peccioli
Data : 25-gen-11



Allegato n° 1b

Sondaggi geognostici



Ichnogeo sas

Via Ilaria Alpi, 18/20 - 56028 S. Miniato Basso (PI)

Tel. 0571 43213 - fax 0571 403063

FEBBRAIO - APRILE 2011

PECCIOLI (PI) – Cimitero Comunale

Verbale di Accettazione n° 030/11

Indagini geognostiche in situ:

- **Rapporti di sondaggio**

PERFORAZIONE DI SONDAGGIO*norma di riferimento:* Raccomandazioni AGI 1977*deviazioni dalla norma:* nessuna

verbale di accettazione n° **030/11** del **01/02/2011**
rapporto di prova n° **0584/11** del **12/04/2011**

Comm.te: **Comune di Peccioli**Località: **Peccioli (PI) - Cimitero Comunale**
sondaggio n° **11****CARATTERISTICHE DEL SISTEMA**

sonda: SOILMEC SM 401
diam. foro: 101 mm
diam. rivestimento: 127 mm
attrezzo di perforazione: tubo carotiere semplice
campionatore: Shelby diam. 88,9 mm

DATI DI PROVA*data di esecuzione:* 4-7/02/2011

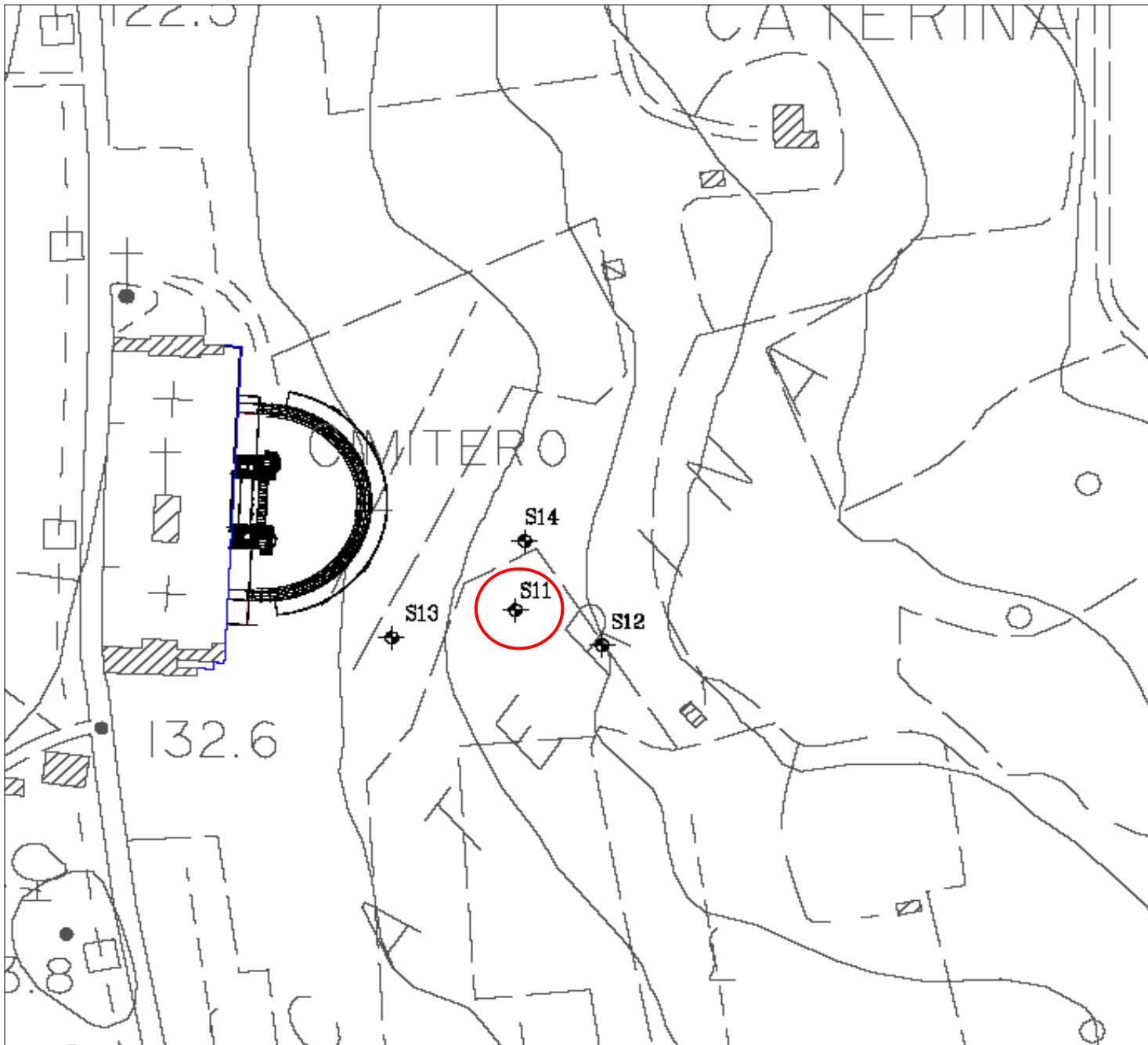
prof. inizio prova (m): 0 da p.c.
prof. fine prova (m): 31 da p.c.
livello di falda (m): non rilevato

<i>profondità da p.c. (m)</i>	<i>metodo di perforazione e descrizione dell'avanzamento</i>
0-2,5	carotaggio continuo con uso di rivestimento
2,5-3,0	prelievo di campione indisturbato
3,0-3,45	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
3,45-6,0	carotaggio continuo con uso di rivestimento
6,0-6,5	prelievo di campione indisturbato
6,5-6,95	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
6,95-10,5	carotaggio continuo con uso di rivestimento
10,5-11,0	prelievo di campione indisturbato
11,0-11,45	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
11,45-15,0	carotaggio continuo con uso di rivestimento
15,0-15,5	prelievo di campione indisturbato
15,5-15,95	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
15,95-31,0	carotaggio continuo con uso di rivestimento

note: foro attrezzato per prova sismica *down hole* con tubo diam. 3" cementato per tutta la lunghezza del foro



UBICAZIONE DELLA PROVA
Peccioli (PI) - Cimitero Comunale



direzione dei lavori e redazione del profilo stratigrafico curati da tecnico abilitato incaricato dalla committenza

PERFORAZIONE DI SONDAGGIO*norma di riferimento:* Raccomandazioni AGI 1977*deviazioni dalla norma:* nessuna

verbale di accettazione n° **030/11** del **01/02/2011**
rapporto di prova n° **0586/11** del **12/04/2011**

Comm.te: **Comune di Peccioli**Località: **Peccioli (PI) - Cimitero Comunale**
sondaggio n° **12****CARATTERISTICHE DEL SISTEMA**

sonda: SOILMEC SM 401
diam. foro: 101 mm
diam. rivestimento: 127 mm
attrezzo di perforazione: tubo carotiere semplice
campionatore: Shelby diam. 88,9 mm

DATI DI PROVA*data di esecuzione:* 1-2/02/2011

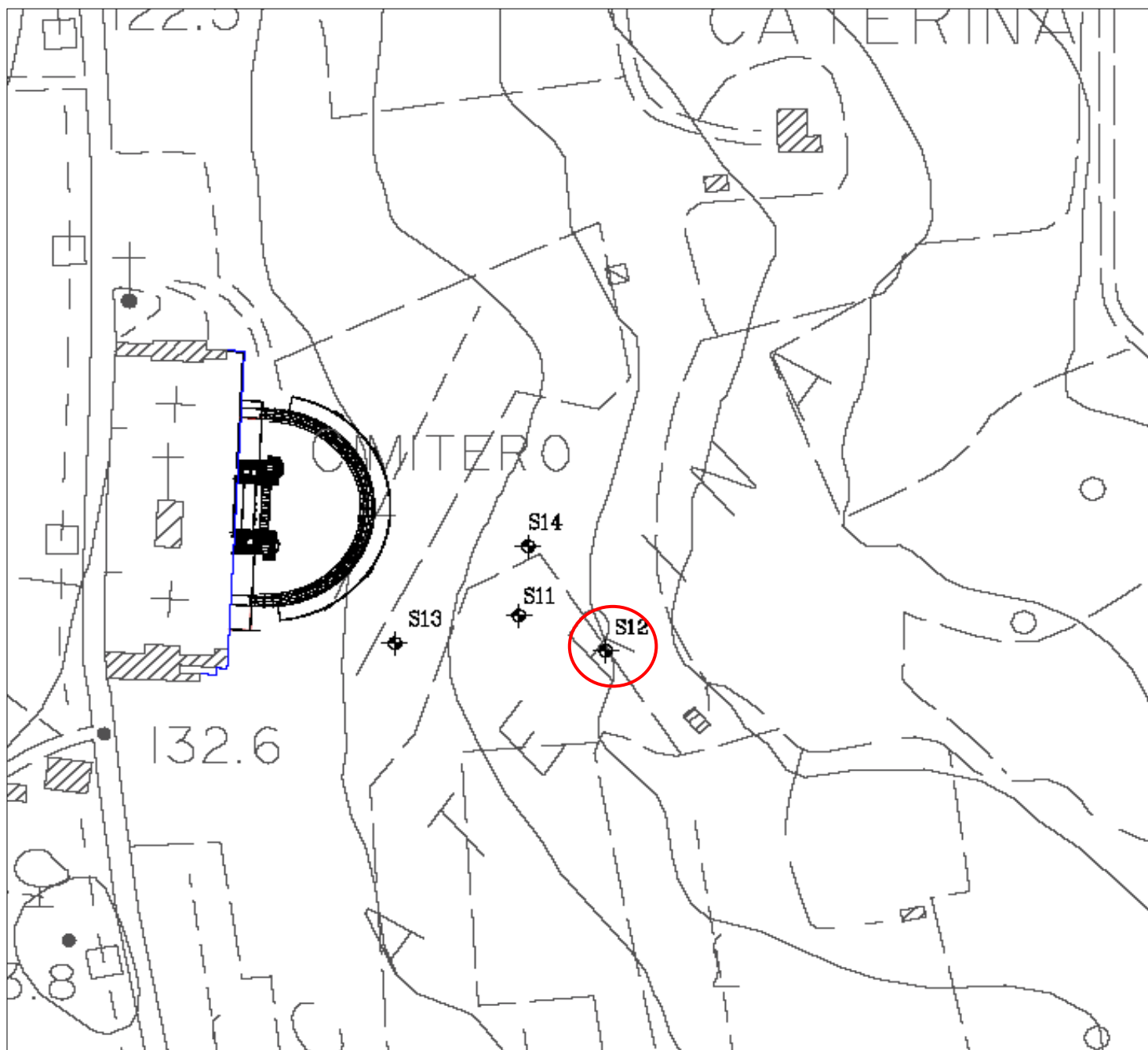
prof. inizio prova (m): 0 da p.c.
prof. fine prova (m): 29 da p.c.
livello di falda (m): non rilevato

<i>profondità da p.c. (m)</i>	<i>metodo di perforazione e descrizione dell'avanzamento</i>
0-2,5	carotaggio continuo con uso di rivestimento
2,5-3,0	prelievo di campione indisturbato
3,0-3,45	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
3,45-6,0	carotaggio continuo con uso di rivestimento
6,0-6,5	prelievo di campione indisturbato
6,5-6,95	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
6,95-10,5	carotaggio continuo con uso di rivestimento
10,5-11,0	prelievo di campione indisturbato
11,0-11,45	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
11,45-15,0	carotaggio continuo con uso di rivestimento
15,0-15,5	prelievo di campione indisturbato
15,5-15,95	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
15,95-29,0	carotaggio continuo con uso di rivestimento

note: foro attrezzato con tubo piezometrico diam. 50 mm per tutta la lunghezza del foro



UBICAZIONE DELLA PROVA
Peccioli (PI) - Cimitero Comunale



direzione dei lavori e redazione del profilo stratigrafico curati da tecnico abilitato incaricato dalla committenza



Ichnogeo sas

56028 San Miniato Basso
tel 0571/43213 fax 0571/403063
P.IVA 01266480506
www.ichnogeo.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Laboratorio autorizzato - settori A e C
decreto n° 54814 del 28/04/2006



A ssociazione
Laboratori
Geotecnici
Italiani

Laboratorio ALGI n° 37

PERFORAZIONE DI SONDAGGIO

norma di riferimento: Raccomandazioni AGI 1977

deviazioni dalla norma: nessuna

verbale di accettazione n° **030/11** del **01/02/2011**
rapporto di prova n° **0588/11** del **12/04/2011**

Comm.te: **Comune di Peccioli**

Località: **Peccioli (PI) - Cimitero Comunale**

sondaggio n° **13**

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

sonda: SOILMEC SM 401
diam. foro: 101 mm
diam. rivestimento: 127 mm
attrezzo di perforazione: tubo carotiere semplice
campionatore: Shelby diam. 88,9 mm

DATI DI PROVA

data di esecuzione: 8-9/02/2011

prof. inizio prova (m): 0 da p.c.
prof. fine prova (m): 30 da p.c.
livello di falda (m): non rilevato

<i>profondità da p.c. (m)</i>	<i>metodo di perforazione e descrizione dell'avanzamento</i>
0-2,5	carotaggio continuo con uso di rivestimento
2,5-3,0	prelievo di campione indisturbato
3,0-3,45	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
3,45-6,0	carotaggio continuo con uso di rivestimento
6,0-6,5	prelievo di campione indisturbato
6,5-6,95	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
6,95-10,5	carotaggio continuo con uso di rivestimento
10,5-11,0	prelievo di campione indisturbato
11,0-11,45	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
11,45-15,0	carotaggio continuo con uso di rivestimento
15,0-15,5	prelievo di campione indisturbato
15,5-15,95	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
15,95-30,0	carotaggio continuo con uso di rivestimento

note: foro attrezzato con tubo piezometrico diam. 50 mm per tutta la lunghezza del foro

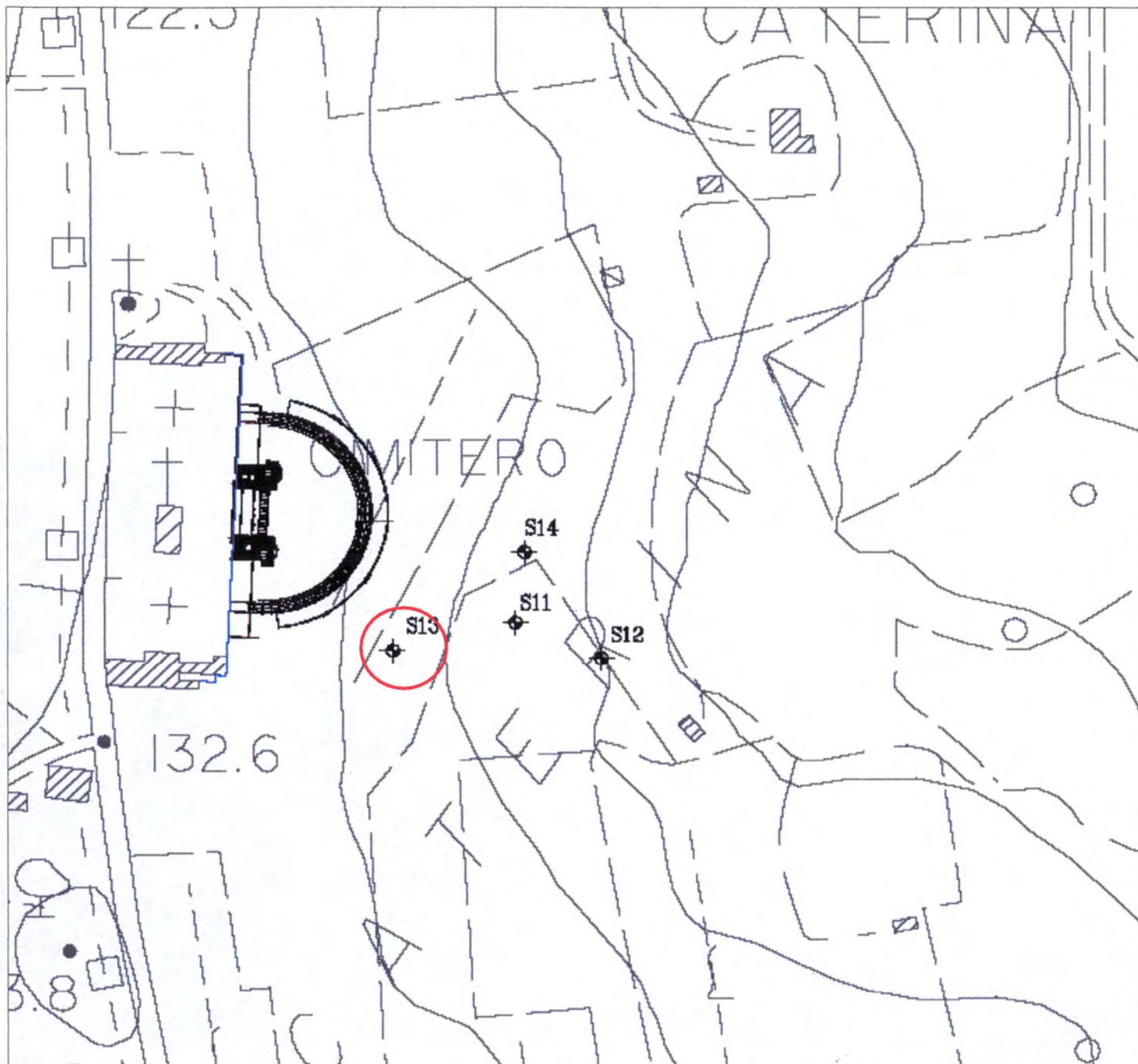
certificato di prova n° 0588/11
pagina 1 di 2

il Direttore del laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore
Dario Rosselli



UBICAZIONE DELLA PROVA
Peccioli (PI) - Cimitero Comunale



direzione dei lavori e redazione del profilo stratigrafico curati da tecnico abilitato incaricato dalla committenza

PERFORAZIONE DI SONDAGGIO*norma di riferimento:* Raccomandazioni AGI 1977*deviazioni dalla norma:* nessuna

verbale di accettazione n° **030/11** del **01/02/2011**
rapporto di prova n° **0590/11** del **12/04/2011**

Comm.te: **Comune di Peccioli**Località: **Peccioli (PI) - Cimitero Comunale**
sondaggio n° **14****CARATTERISTICHE DEL SISTEMA**

sonda: SOILMEC SM 401
diam. foro: 101 mm
diam. rivestimento: 127 mm
attrezzo di perforazione: tubo carotiere semplice
campionatore: Shelby diam. 88,9 mm

DATI DI PROVA*data di esecuzione:* 3-4/02/2011

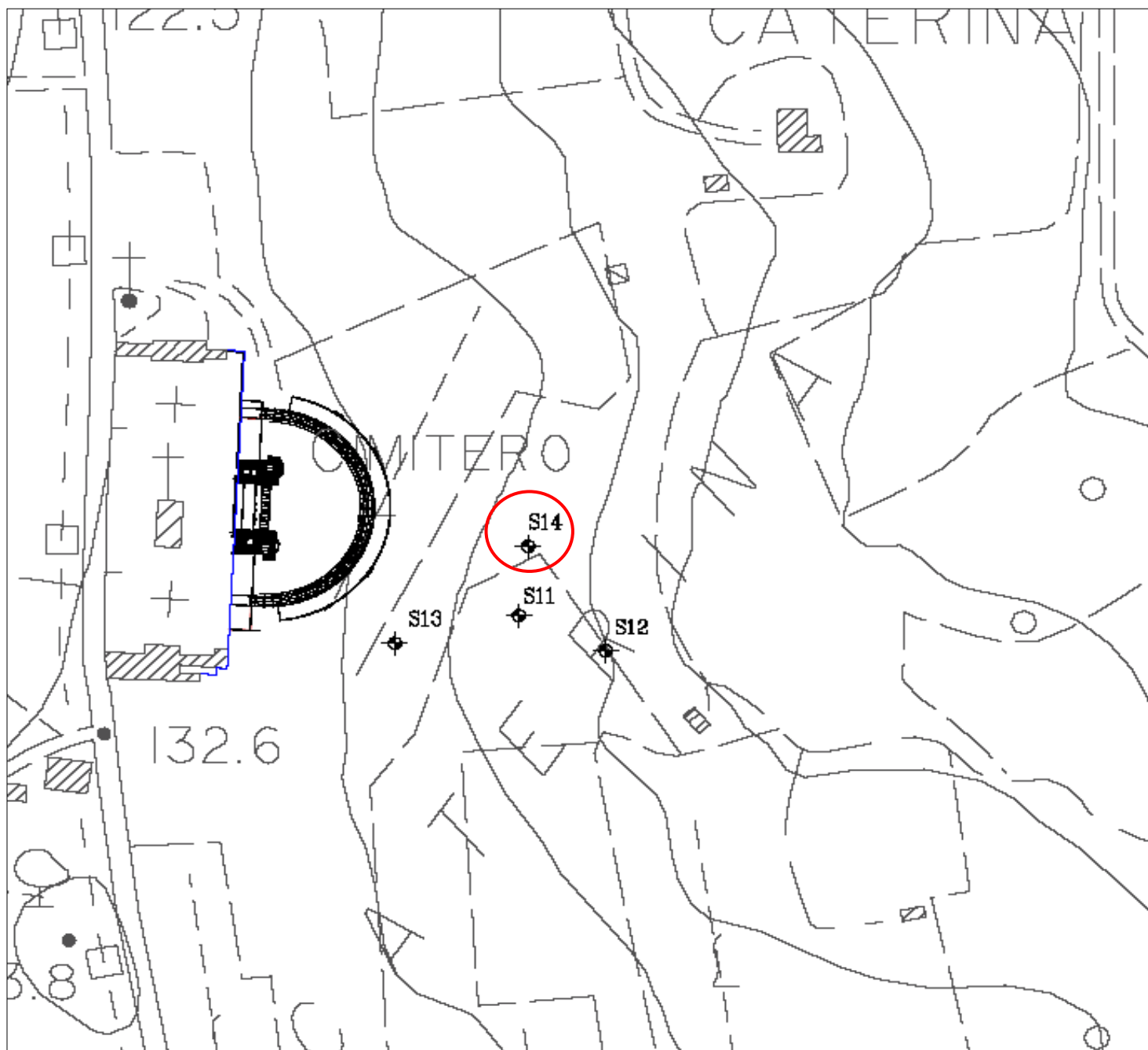
prof. inizio prova (m): 0 da p.c.
prof. fine prova (m): 30 da p.c.
livello di falda (m): non rilevato

<i>profondità da p.c. (m)</i>	<i>metodo di perforazione e descrizione dell'avanzamento</i>
0-2,5	carotaggio continuo con uso di rivestimento
2,5-3,0	prelievo di campione indisturbato
3,0-3,45	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
3,45-6,0	carotaggio continuo con uso di rivestimento
6,0-6,5	prelievo di campione indisturbato
6,5-6,95	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
6,95-10,5	carotaggio continuo con uso di rivestimento
10,5-11,0	prelievo di campione indisturbato
11,0-11,45	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
11,45-15,0	carotaggio continuo con uso di rivestimento
15,0-15,5	prelievo di campione indisturbato
15,5-15,95	prova penetrometrica dinamica SPT a punta chiusa
15,95-30,0	carotaggio continuo con uso di rivestimento

note: foro attrezzato con tubo piezometrico diam. 50 mm per tutta la lunghezza del foro



UBICAZIONE DELLA PROVA
Peccioli (PI) - Cimitero Comunale

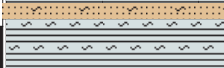
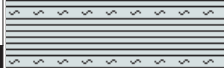
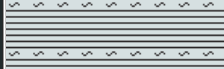


direzione dei lavori e redazione del profilo stratigrafico curati da tecnico abilitato incaricato dalla committenza

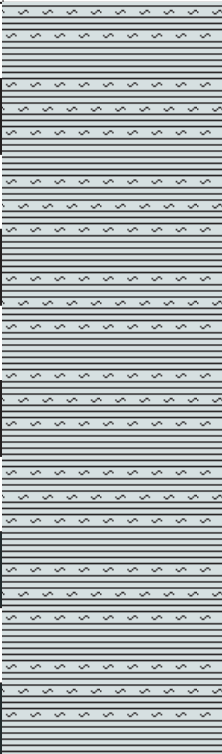
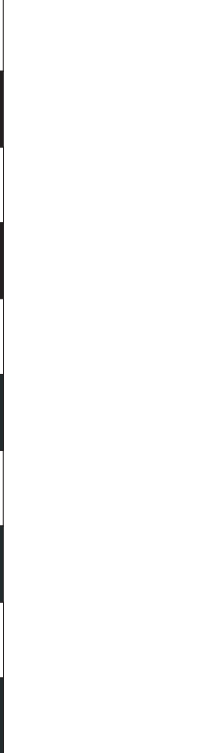
Sondaggio n° S 11				Località: Peccioli (cimitero capoluogo)		
Committente: Comune di Peccioli Impresa di perforazione: Ichnogeo Sistema di perforazione: Rotazione a carotaggio continuo con carotiere semplice Ø foro: 101 mm Inizio della perforazione: 04/02/2011 Termine della perforazione: 07/02/2011				Coordinate N: 4822257 Coordinate E: 1639209 Quota p.c. (m s.l.m.): 103,98 Rapporto di campagna: Dott. Viola Bachini Controllo: Dott. Geol. Carlo Meoni Note: Foro di sondaggio attrezzato per prove Down Hole		
Campioni	PROVE SPT	Liv. falda (m dal p.c.)	Profondità (m dal p.c.)	Stratigrafia	Descrizione dei terreni attraversati	Piezometro completo e prof. dal p.c.
2,5m C1 3,0m	3.00 $N1 = 7$ 3.45 $N2 = 13$ $N3 = 20$ $N_{spt} = 33$ ($\varphi = 35^\circ$)	1.00 m	1.0		0.5 Riporto e terreno vegetale 1.3 Limi sabbiosi debolmente argillosi marroni 1.5 Sabbie marroni	
6,0m C2 6,5m	6.50 $N1 = 27$ 6.95 $N2 = 31$ $N3 = 39$ $N_{spt} = 70$ ($\varphi = 38^\circ$)		2.0		Limi argillosi debolmente sabbiosi marroni	
10,5m C3 11,0m	11.00 $N1 = 29$ 11.45 $N2 = 33$ $N3 = 39$ $N_{spt} = 72$ ($\varphi = 38^\circ$)		3.0		Limi argillosi grigi e marroni	
15,0m C4 15,5m	15.50 $N1 = 36$ 15.95 $N2 = >50$ (13 cm) $N3 = 39$ $N_{spt} > 50$ ($\varphi = 38^\circ$)		4.0		4.5 Limi argillosi grigi e marroni 5.5 Alternanza di limi argillosi e sabbie marroni 6.5 Torbe 6.7 Limi argilloso-sabbiosi azzurri 7.7 Limi argilloso-sabbiosi grigio-azzurri con fossili 10.0	
			5.0			
			6.0			
			7.0			
			8.0			
			9.0			
			10.0			
			11.0			
			12.0			
			13.0			
			14.0			
			15.0		Limi argillosi grigio-azzurri debolmente sabbiosi con fossili	
			16.0			
			17.0			
			18.0			
			19.0			
			20.0			
					20.00	

Sondaggio n° S 11				Località: Peccioli (cimitero capoluogo)			
Committente: Comune di Peccioli Impresa di perforazione: Ichnogeo Sistema di perforazione: Rotazione a carotaggio continuo con carotiere semplice Ø foro: 101 mm Inizio della perforazione: 04.02.2011 Termine della perforazione: 07.02.2011				Coordinate N: 4822257 Coordinate E: 1639209 Quota p.c. (m s.l.m.):103,98 Rapporto di campagna: Dott. Viola Bachini Controllo: Dott. Geol. Carlo Meoni Note: Foro di sondaggio attrezzato per prove Down Hole			
Campioni	PROVE SPT	Liv. falda (m dal p.c.)	Profondità (m dal p.c.)	Stratigrafia	Descrizione dei terreni attraversati	Piezometro completo e prof. dal p.c.	
			21.0		Limi argillosi grigio-azzurri debolmente sabbiosi con fossili		
			22.0				
			23.0				
			24.0				
			25.0				
			26.0				
			26.1				Torbe
			26.7				Limi sabbiosi grigio-azzurri con torbe
			27.0				Limi argillosi grigio azzurri con intercalazioni sabbiose
			27.2				Limi argillosi debolmente sabbiosi azzurri
			27.6	Limi sabbiosi marroni, anche con frammenti litici			
			27.8	Limi sabbiosi marroni			
			28.0	Sabbie marroni sciolte			
			28.5	Argille limose grigio-azzurre molto plastiche e molto compatte			
			29.0				
			30.0				
			30.2				
			31.0				
			32.0				
			33.0				
			34.0				
			35.0				
			36.0				
			37.0				
			38.0				
			39.0				
			40.0				
				40.00			
				FINE PERFORAZIONE			

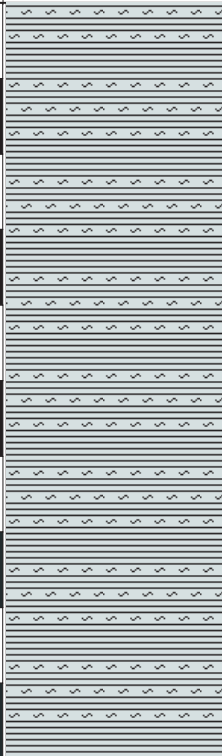
Sondaggio n° S 12				Località: Peccioli (cimitero capoluogo)		
Committente: Comune di Peccioli Impresa di perforazione: Ichnogeo Sistema di perforazione: Rotazione a carotaggio continuo con carotiere semplice Ø foro: 101 mm Inizio della perforazione: 01/02/2011 Termine della perforazione: 02/02/2011				Coordinate N: 4822245 Coordinate E: 1639236 Quota p.c. (m s.l.m.): 98,32 Rapporto di campagna: Dott. Viola Bachini Controllo: Dott. Geol. Carlo Meoni Note:		
Campioni	PROVE SPT	Liv. falda (m dal p.c.)	Profondità (m dal p.c.)	Stratigrafia	Descrizione dei terreni attraversati	Piezometro completo e prof. dal p.c.
2,5m C1 3,0m	3.00 $N1 = 4$ 3.45 $N2 = 10$ $N3 = 13$ $N_{spt} = 23$ ($\varphi = 32^\circ$)	1.00 m	1.0		Riporto e terreno vegetale Limi argillosi debolmente sabbiosi marroni Sabbie limose marroni	Tubo PVC fessurato Ø = 50 mm
6,0m C2 6,5m	6.50 $N1 = 17$ 6.95 $N2 = 24$ $N3 = 26$ $N_{spt} = 50$ ($\varphi = 37^\circ$)		2.0		Limi argillosi debolmente sabbiosi marroni con rari fossili	
10,5m C3 11,0m	11.00 $N1 = 27$ 11.45 $N2 = 37$ $N3 = 40$ $N_{spt} = 77$ ($\varphi = 38^\circ$)		3.0			
15,0m C4 15,5m	15.50 $N1 = 19$ 15.95 $N2 = 28$ $N3 = 31$ $N_{spt} = 59$ ($\varphi = 38^\circ$)		4.0			
			5.0			
			6.0		Limi argillosi debolmente sabbiosi compatti e plastici grigi con fossili di lamellibranchi e gasteropodi	
			7.0			
			8.0			
			9.0			
			10.0			
			11.0		(fossili sempre più rari)	
			12.0			
			13.0			
			14.0			
			15.0			
			16.0		(fossili più abbondanti)	
			17.0			
			17.5		Torbe	
			18.0		Limi argilloso-sabbiosi azzurri	
			19.0			
			19.1		Sabbie limose marroni debolmente argillose	
			20.00			

Sondaggio n° S 12				Località: Peccioli (cimitero capoluogo)		
Committente: Comune di Peccioli Impresa di perforazione: Ichnogeo Sistema di perforazione: Rotazione a carotaggio continuo con carotiere semplice Ø foro: 101 mm Inizio della perforazione: 01.02.2011 Termine della perforazione: 02.02.2011				Coordinate N: 4822245 Coordinate E: 1639236 Quota p.c. (m s.l.m.): 98,32 Rapporto di campagna: Dott. Viola Bachini Controllo: Dott. Geol. Carlo Meoni Note:		
Campioni	PROVE SPT	Liv. falda (m dal p.c.)	Profondità (m dal p.c.)	Stratigrafia	Descrizione dei terreni attraversati	Piezometro completo e prof. dal p.c.
			21.0		20.6 Sabbie e sabbie limose grigio-marroni	
					Sabbie marroni	
			22.0		21.7 Limi argillosi grigio azzurri con torbe	
			23.0		22.7 22.9 Sabbie e sabbie limose marroni	
			24.0		Argille limose molto plastiche e molto compatte di colore grigio azzurro	
			25.0			
			26.0			
			27.0			
			28.0			
			29.0			
			30.0		FINE PERFORAZIONE	
			31.0			
			32.0			
			33.0			
			34.0			
			35.0			
			36.0			
			37.0			
			38.0			
			39.0			
			40.0		40.00	

Sondaggio n° S 13				Località: Peccioli (cimitero capoluogo)		
Committente: Comune di Peccioli Impresa di perforazione: Ichnogeo Sistema di perforazione: Rotazione a carotaggio continuo con carotiere semplice Ø foro: 101 mm Inizio della perforazione: 08/02/2011 Termine della perforazione: 09/02/2011				Coordinate N: 4822247 Coordinate E: 1639169 Quota p.c. (m s.l.m.): 114,44 Rapporto di campagna: Dott. Viola Bachini Controllo: Dott. Geol. Carlo Meoni Note:		
Campioni	PROVE SPT	Liv. falda (m dal p.c.)	Profondità (m dal p.c.)	Stratigrafia	Descrizione dei terreni attraversati	Piezometro completo e prof. dal p.c.
2,5m C1	3.00 N1 = 8 3.45 N2 = 15 3.45 N3 = 16 Nspt = 31 (φ = 35°)	1.00 m	1.0		Riporto e terreno vegetale	Tubo PVC fessurato Ø = 50 mm
			1.3		Limi sabbiosi marroni	
			1.6		Limi sabbiosi grigi e marroni	
			2.0		Alternanza di limi argillosi e limi sabbiosi marroni ricchi in fossili	
6,0m C2	6.50 N1 = 14 6.95 N2 = 16 6.95 N3 = 17 Nspt = 33 (φ = 35°)		3.0		Limi sabbiosi marroni	
			3.5			
			4.0		Sabbie limose marroni	
			5.0			
10,5m C3	11.00 N1 = 43 11.45 N2 = >50 (5 cm) 11.45 Nspt > 50 (φ = 38°)		6.0		Limi argillosi marroni	
			6.5			
			7.0		Argille limose grigio-azzurre molto plastiche e molto compatte, con rari fossili nell'intervallo 7,6-8 m	
			8.0			
15,0m C4	15.50 N1 = 24 15.95 N2 = 43 15.95 N3 = >50 Nspt > 50 (φ = 38°)		9.0			
			10.0			
			10.5		Sabbie limose marroni	
			11.0			
			12.0		Limi argillosi debolmente sabbiosi grigio-marroni	
			12.2			
			12.7		Limi argillosi grigi	
			13.0		Alternanza di limi argillosi e sabbie limose azzurre	
			13.0		Sabbie limose marroni debolmente argillose	
			14.0			
			14.1			
			14.4			
			15.0		Argille limose azzurre molto plastiche e molto compatte	
			15.5			
			16.0			
			17.0			
			18.0			
			19.0			
			20.0			
				20.00		

Sondaggio n° S 13				Località: Peccioli (cimitero capoluogo)		
Committente: Comune di Peccioli Impresa di perforazione: Ichnogeo Sistema di perforazione: Rotazione a carotaggio continuo con carotiere semplice Ø foro: 101 mm Inizio della perforazione: 08.02.2011 Termine della perforazione: 09.02.2011				Coordinate N: 4822247 Coordinate E: 1639169 Quota p.c. (m s.l.m.): 114,44 Rapporto di campagna: Dott. Viola Bachini Controllo: Dott. Geol. Carlo Meoni Note:		
Campioni	PROVE SPT	Liv. falda (m dal p.c.)	Profondità (m dal p.c.)	Stratigrafia	Descrizione dei terreni attraversati	Piezometro completo e prof. dal p.c.
			21.0		Argille limose azzurre molto plastiche e molto compatte con fossili	
			22.0			
			23.0			
			24.0			
			25.0			
			26.0			
			27.0			
			28.0			
			29.0			
			30.0			
			31.0		FINE PERFORAZIONE	
			32.0			
			33.0			
			34.0			
			35.0			
			36.0			
			37.0			
			38.0			
			39.0			
			40.0			
				40.00		

Sondaggio n° S 14				Località: Peccioli (cimitero capoluogo)		
Committente: Comune di Peccioli Impresa di perforazione: Ichnogeo Sistema di perforazione: Rotazione a carotaggio continuo con carotiere semplice Ø foro: 101 mm Inizio della perforazione: 03/02/2011 Termine della perforazione: 04/02/2011				Coordinate N: 4822281 Coordinate E: 1639212 Quota p.c. (m s.l.m.): 104,79 Rapporto di campagna: Dott. Viola Bachini Controllo: Dott. Geol. Carlo Meoni Note:		
Campioni	PROVE SPT	Liv. falda (m dal p.c.)	Profondità (m dal p.c.)	Stratigrafia	Descrizione dei terreni attraversati	Piezometro completo e prof. dal p.c.
2,5m C1 3,0m	3.00 $N1 = 12$ N2 = 10 3.45 $N3 = 16$ $N_{spt} = 26$ ($\varphi = 33^\circ$)	1.00 m	1.0		Riporto e terreno vegetale	Tubo PVC fessurato Ø = 50 mm
			2.0		Limi argilloso-sabbiosi marroni con minute concrezioni calcaree	
			3.0		Limi sabbioso-argillosi	
			4.0		Sabbie limose marroni	
6,0m C2 6,5m	6.50 $N1 = 14$ N2 = 24 6.95 $N3 = 29$ $N_{spt} = 33$ ($\varphi = 33^\circ$)		5.0		Argille limose marroni con rare intercalazioni sabbiose e con rarissime torbe	
			6.0		Argille limose azzurre	
			7.0		Sabbie limose marroni	
			8.0		Argille limose grigio-azzurre plastiche e compatte con rarissimi fossili	
10,5m C3 11,0m	11.00 $N1 = 32$ N2 = 44 11.45 $N3 = >50$ $N_{spt} > 50$ ($\varphi = 38^\circ$)		9.0		Argille limose grigio-azzurre plastiche e compatte con rarissimi fossili	
			10.0		Argille limose grigio-azzurre plastiche e compatte con rarissimi fossili	
			11.0		Argille limose grigio-azzurre plastiche e compatte con rarissimi fossili	
			12.0		Argille limose grigio-azzurre plastiche e compatte con rarissimi fossili	
15,0m C4 15,5m	15.50 $N1 = 28$ N2 = 40 15.95 $N3 = 49$ $N_{spt} = 89$ ($\varphi = 38^\circ$)		13.0		Argille limose grigio-azzurre plastiche e compatte con rarissimi fossili	
			14.0		Argille limose grigio-azzurre plastiche e compatte con rarissimi fossili	
			15.0		Argille limose grigio-azzurre plastiche e compatte con rarissimi fossili	
			16.0		Argille limose grigio-azzurre plastiche e compatte con rarissimi fossili	
			17.0		Argille limose grigio-azzurre plastiche e compatte con rarissimi fossili	
			18.0		Argille limose grigio-azzurre plastiche e compatte con rarissimi fossili	
			19.0		Argille limose grigio-azzurre plastiche e compatte con rarissimi fossili	
			20.0		Argille limose grigio-azzurre plastiche e compatte con rarissimi fossili	
					20.00	

Sondaggio n° S 14				Località: Peccioli (cimitero capoluogo)		
Committente: Comune di Peccioli Impresa di perforazione: Ichnogeo Sistema di perforazione: Rotazione a carotaggio continuo con carotiere semplice Ø foro: 101 mm Inizio della perforazione: 03.02.2011 Termine della perforazione: 04.02.2011				Coordinate N: 4822281 Coordinate E: 1639212 Quota p.c. (m s.l.m.): 104,79 Rapporto di campagna: Dott. Viola Bachini Controllo: Dott. Geol. Carlo Meoni Note:		
Campioni	PROVE SPT	Liv. falda (m dal p.c.)	Profondità (m dal p.c.)	Stratigrafia	Descrizione dei terreni attraversati	Piezometro completo e prof. dal p.c.
			21.0		Argille limose grigio-azzurre plastiche e compatte con rarissimi fossili	
			22.0			
			23.0			
			24.0			
			25.0			
			26.0			
			27.0			
			28.0			
			29.0			
			30.0			
			31.0	FINE PERFORAZIONE		
			32.0			
			33.0			
			34.0			
			35.0			
			36.0			
			37.0			
			38.0			
			39.0			
			40.0			
				40.00		

Allegato n° 1c

Documentazione fotografica



Foto n 1: S11 0-5 m dal p.d.c



Foto n 2: S11 5-10 m dal p.d.c



Foto n 3: S11 10-15 m dal p.d.c



Foto n 4: S11 15-20 m dal p.d.c



Foto n 5: S11 20-25 m dal p.d.c

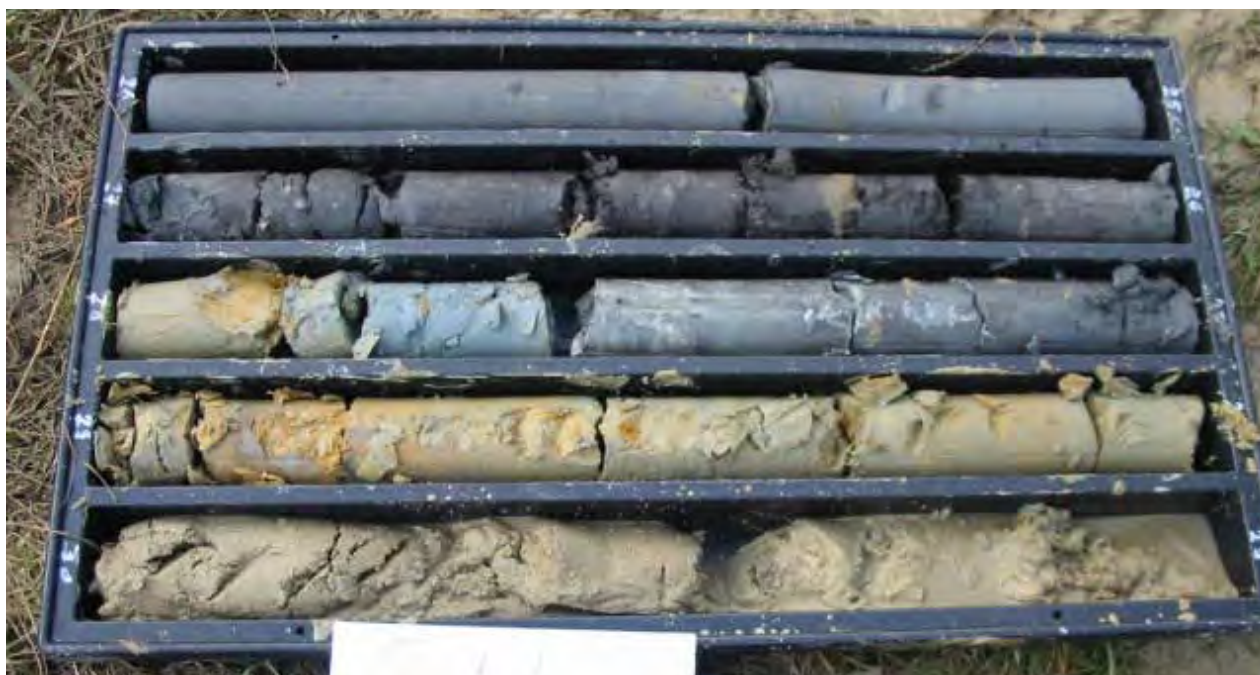


Foto n 6: S11 25-30 m dal p.d.c



Foto n 7: S11 30-31 m dal p.d.c



Foto n 8: S12 0-5 m dal p.d.c



Foto n 9: S12 5-10 m dal p.d.c



Foto n 10: S12 10-15 m dal p.d.c

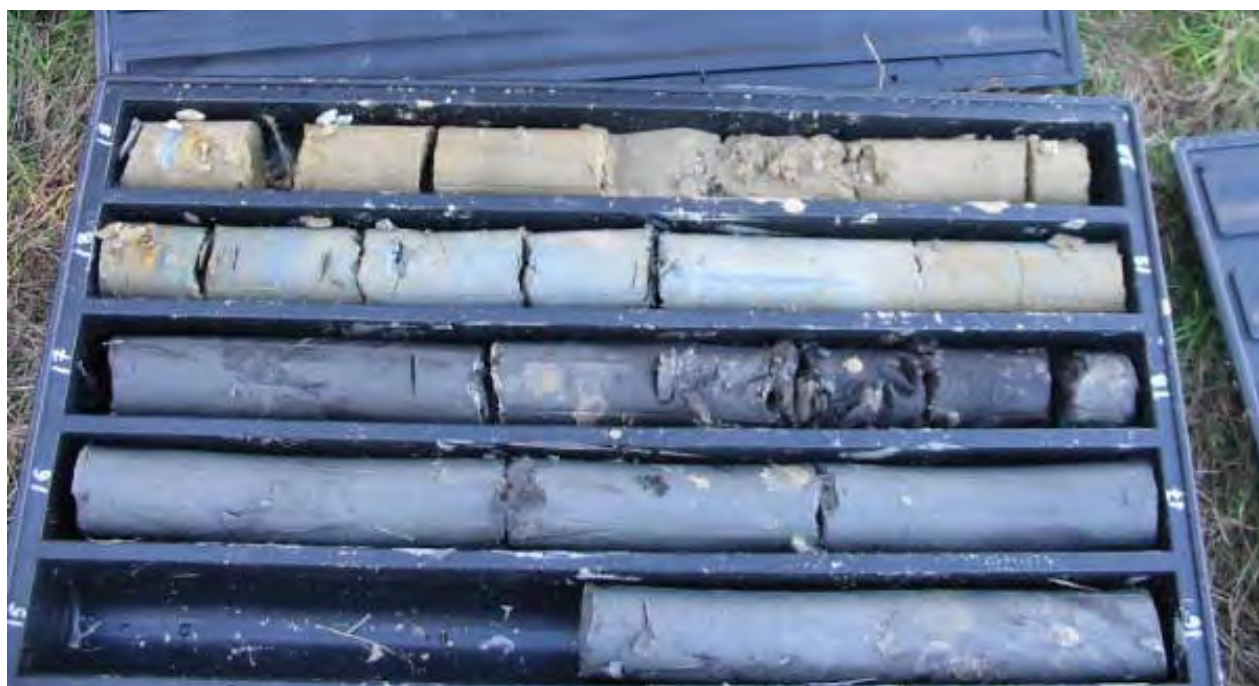


Foto n 11: S12 15-20 m dal p.d.c



Foto n 12: S12 20-25 m dal p.d.c



Foto n 13: S12 25-29 m dal p.d.c



Foto n 14: S13 0-5 m dal p.d.c



Foto n 15: S13 5-10 m dal p.d.c

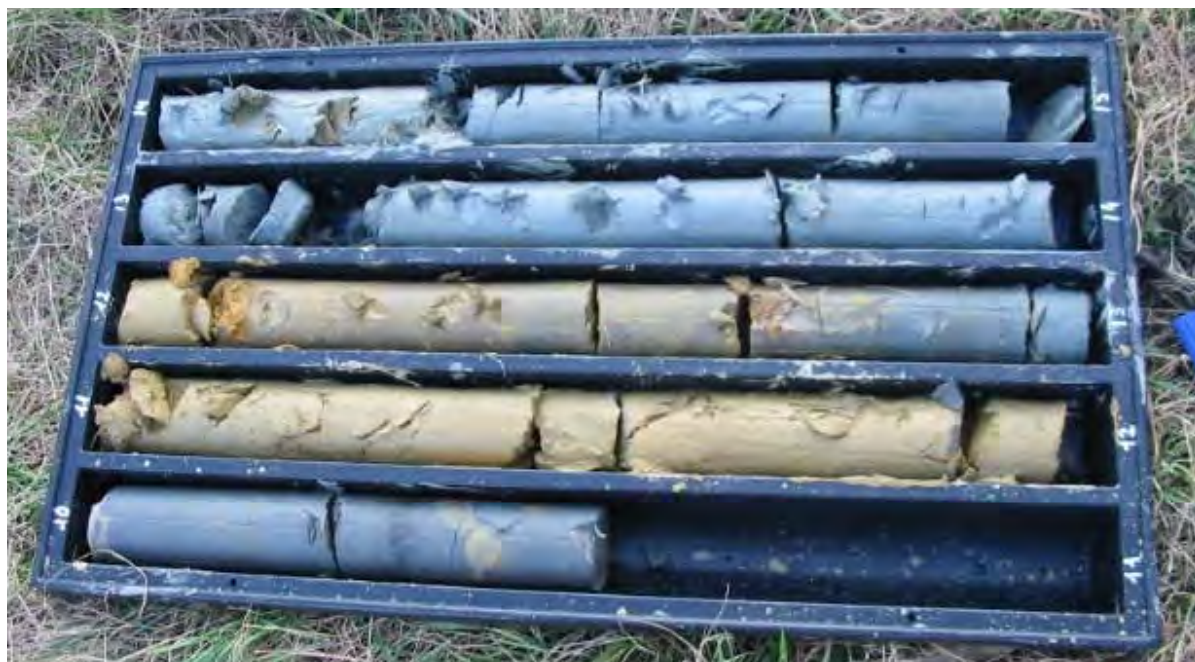


Foto n 16: S13 10-15 m dal p.d.c

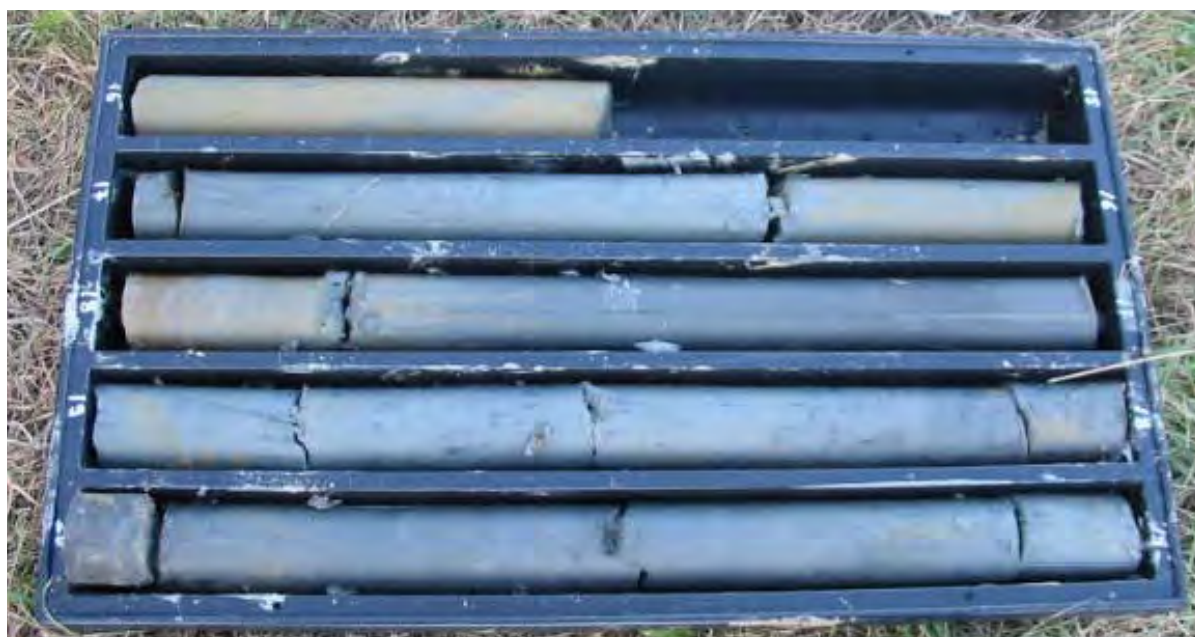


Foto n 17: S13 15-20 m dal p.d.c

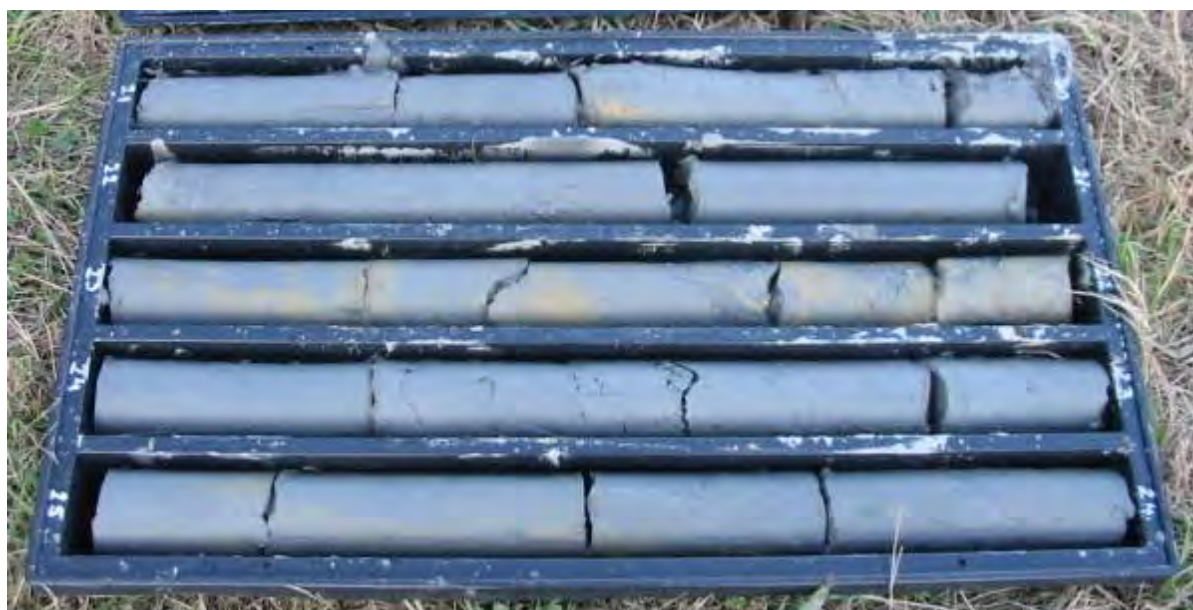


Foto n 18: S13 20-25 m dal p.d.c

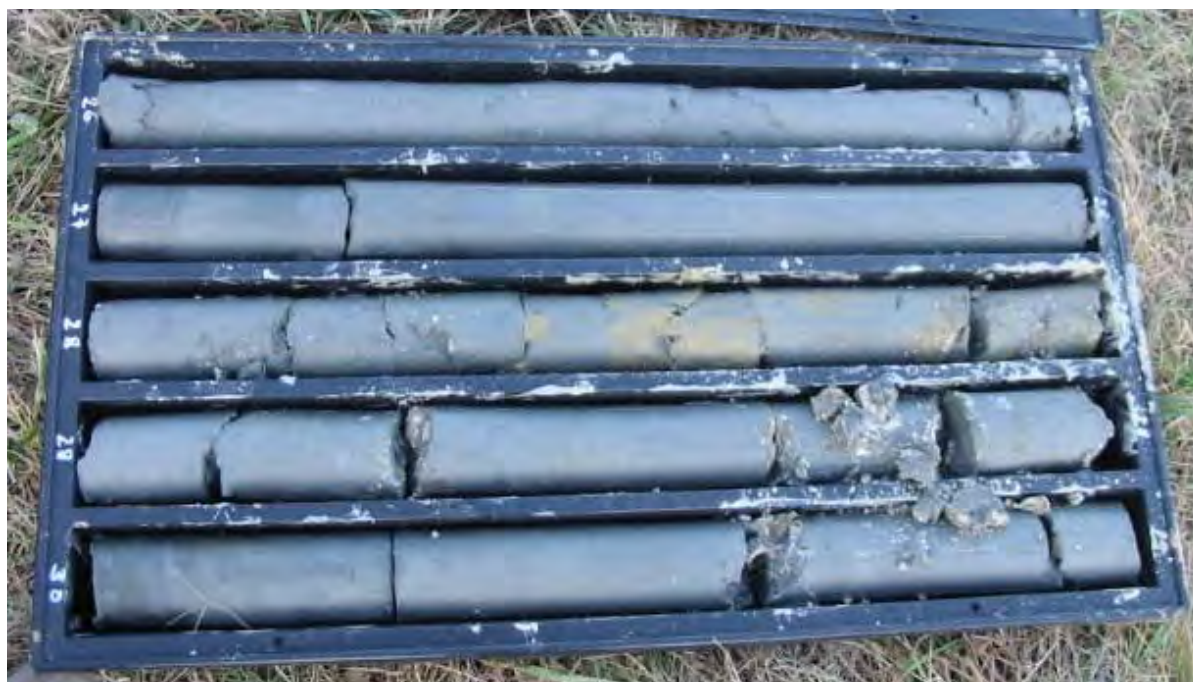


Foto n 19: S13 25-30 m dal p.d.c



Foto n 20: S14 0-5 m dal p.d.c

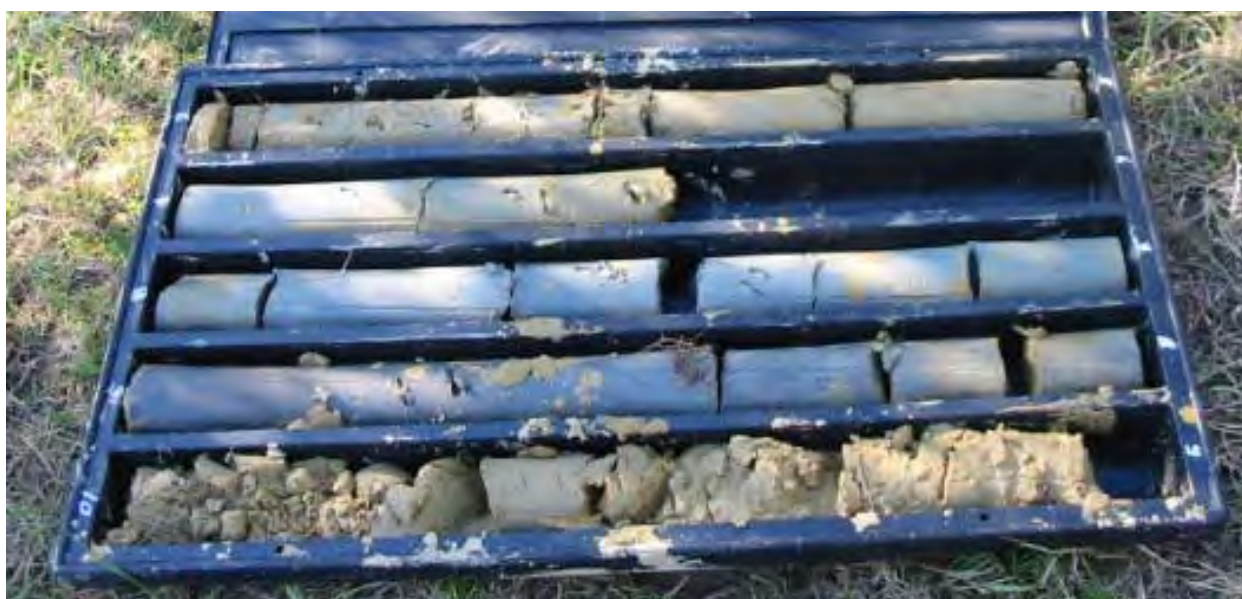


Foto n 21: S14 5-10 m dal p.d.c



Foto n 22: S14 10-15 m dal p.d.c



Foto n 23: S14 15-20 m dal p.d.c



Foto n 24: S14 20-25 m dal p.d.c



Foto n 25: S14 25-30 m dal p.d.c

Allegato n° 1d

Prove SPT



Ichnogeo sas

Via Ilaria Alpi, 18/20 - 56028 S. Miniato Basso (PI)

Tel. 0571 43213 - fax 0571 403063

FEBBRAIO - APRILE 2011

PECCIOLI (PI) – Cimitero Comunale

Verbale di Accettazione n° 030/11

Indagini geognostiche in situ:

- **Prove penetrometriche dinamiche SPT**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT in foro di sondaggio (serie di prove)*norma di riferimento:* Raccomandazioni AGI 1977*deviazioni dalla norma:* prova eseguita con le aste di perforazioneverbale di accettazione n° **030/11** del **01/02/2011**
rapporto di prova n° **0585/11** del **12/04/2011**Comm.te: **Comune di Peccioli**Località: **Peccioli (PI) - Cimitero Comunale**sondaggio n° **11**prove n° **SPT 1-4****CARATTERISTICHE DEL SISTEMA**

sonda:	SOILMEC SM 401	diam. aste:	76	mm
diam. foro:	101 mm	spessore aste:	5.9	mm
diam. rivestimento:	127 mm	peso aste:	12.7	kg/m
dispositivo di sganciamento:	automatico tipo Pilcon	altezza di caduta:	0.76	m
peso maglio:	63.5 kg	rendimento medio:	60	%
punta:	campionatore tipo Raymond chiuso con punta conica			
diametro esterno:	51	mm		
angolo di apertura:	60	°		

DATI DI PROVA

data di esecuzione: 4-7/02/2011

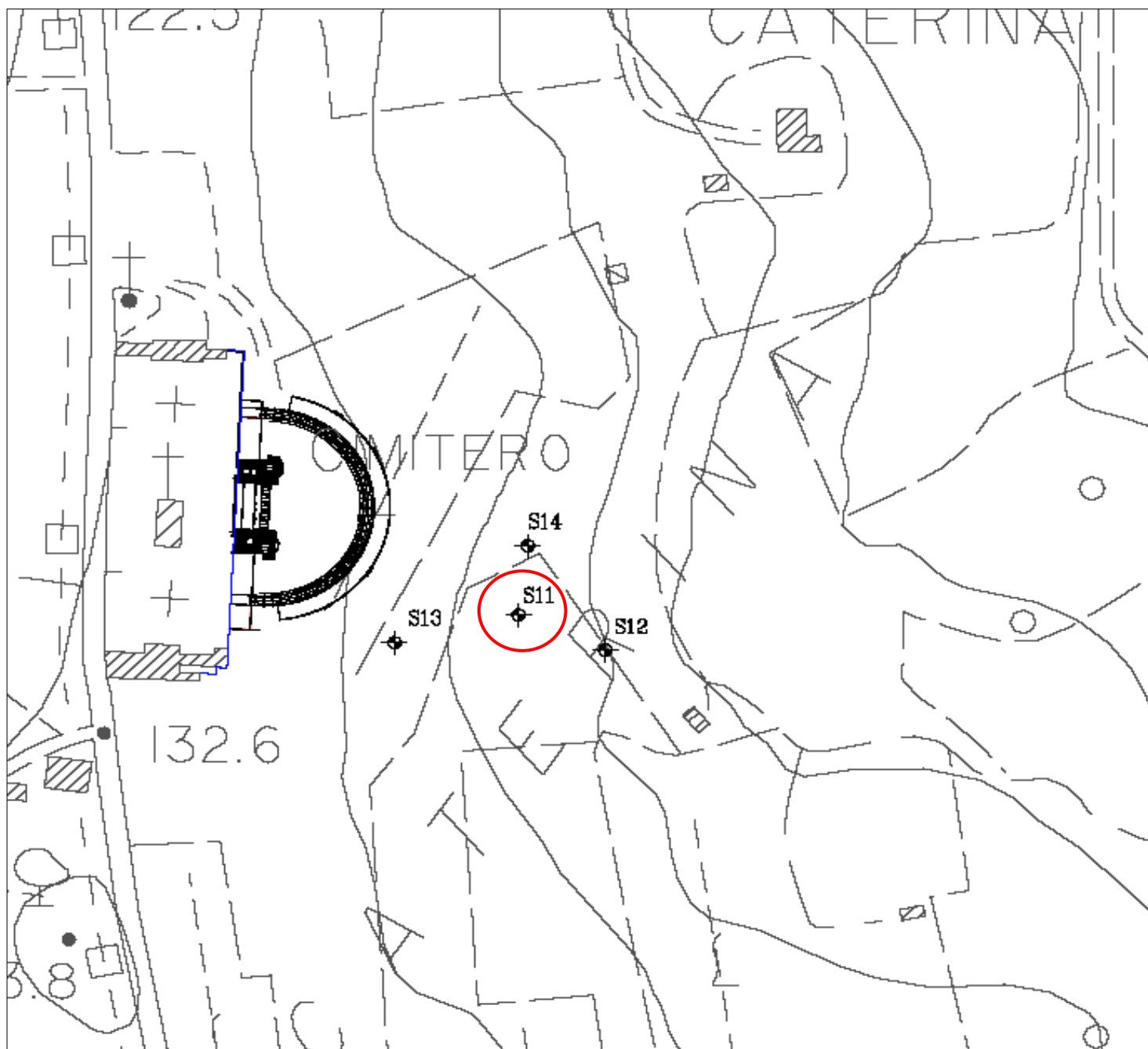
livello di falda (m): non rilevato

passo di lettura: 0,15 m

prof. inizio prova (m)	N ₁	N ₂	N ₃
3.0	7	13	20
6.5	27	31	39
11.0	29	33	39
15.5	36	50/13 cm	



UBICAZIONE DELLA PROVA
Peccioli (PI) - Cimitero Comunale



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT in foro di sondaggio (serie di prove)*norma di riferimento:* Raccomandazioni AGI 1977*deviazioni dalla norma:* prova eseguita con le aste di perforazioneverbale di accettazione n° **030/11** del **01/02/2011**
rapporto di prova n° **0587/11** del **12/04/2011**Comm.te: **Comune di Peccioli**Località: **Peccioli (PI) - Cimitero Comunale**sondaggio n° **12**prove n° **SPT 1-4****CARATTERISTICHE DEL SISTEMA**

sonda:	SOILMEC SM 401	diam. aste:	76	mm
diam. foro:	101 mm	spessore aste:	5.9	mm
diam. rivestimento:	127 mm	peso aste:	12.7	kg/m
dispositivo di sganciamento:	automatico tipo Pilcon	altezza di caduta:	0.76	m
peso maglio:	63.5 kg	rendimento medio:	60	%
punta:	campionatore tipo Raymond chiuso con punta conica			
diametro esterno:	51	mm		
angolo di apertura:	60	°		

DATI DI PROVA

data di esecuzione: 1-2/02/2011

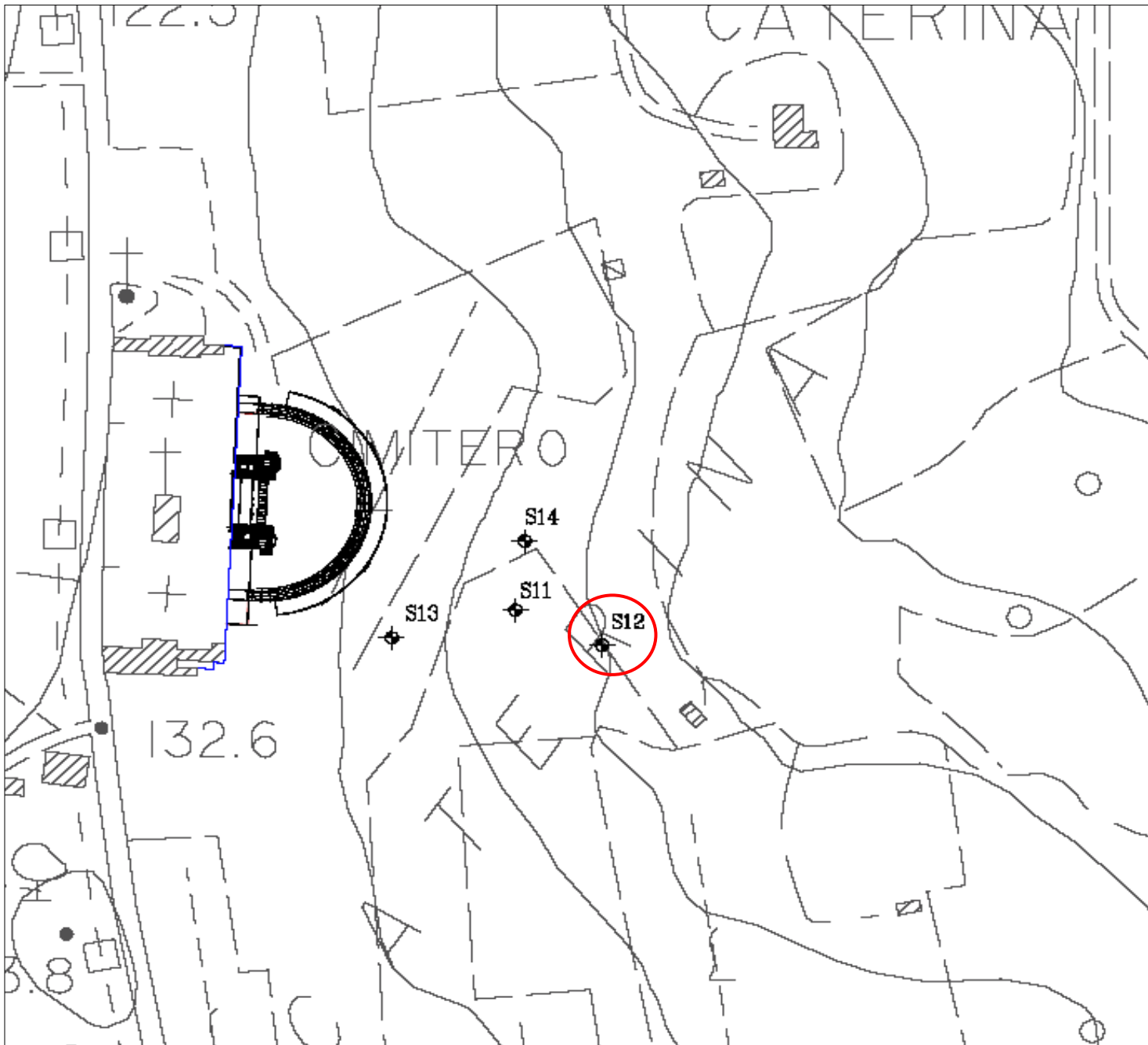
livello di falda (m): non rilevato

passo di lettura: 0,15 m

prof. inizio prova (m)	N ₁	N ₂	N ₃
3.0	4	10	13
6.5	17	24	26
11.0	27	37	40
15.5	19	28	31



UBICAZIONE DELLA PROVA
Peccioli (PI) - Cimitero Comunale



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT in foro di sondaggio (serie di prove)

norma di riferimento: Raccomandazioni AGI 1977

deviazioni dalla norma: prova eseguita con le aste di perforazione

verbale di accettazione n° **030/11** del **01/02/2011**
rapporto di prova n° **0589/11** del **12/04/2011**Comm.te: **Comune di Peccioli**Località: **Peccioli (PI) - Cimitero Comunale**sondaggio n° **13**prove n° **SPT 1-4****CARATTERISTICHE DEL SISTEMA**

sonda:	SOILMEC SM 401	diam. aste:	76	mm
diam. foro:	101 mm	spessore aste:	5.9	mm
diam. rivestimento:	127 mm	peso aste:	12.7	kg/m
dispositivo di sganciamento:	automatico tipo Pilcon	altezza di caduta:	0.76	m
peso maglio:	63.5 kg	rendimento medio:	60	%
punta:	campionatore tipo Raymond chiuso con punta conica			
diametro esterno:	51	mm		
angolo di apertura:	60	°		

DATI DI PROVA

data di esecuzione: 08/02/2011

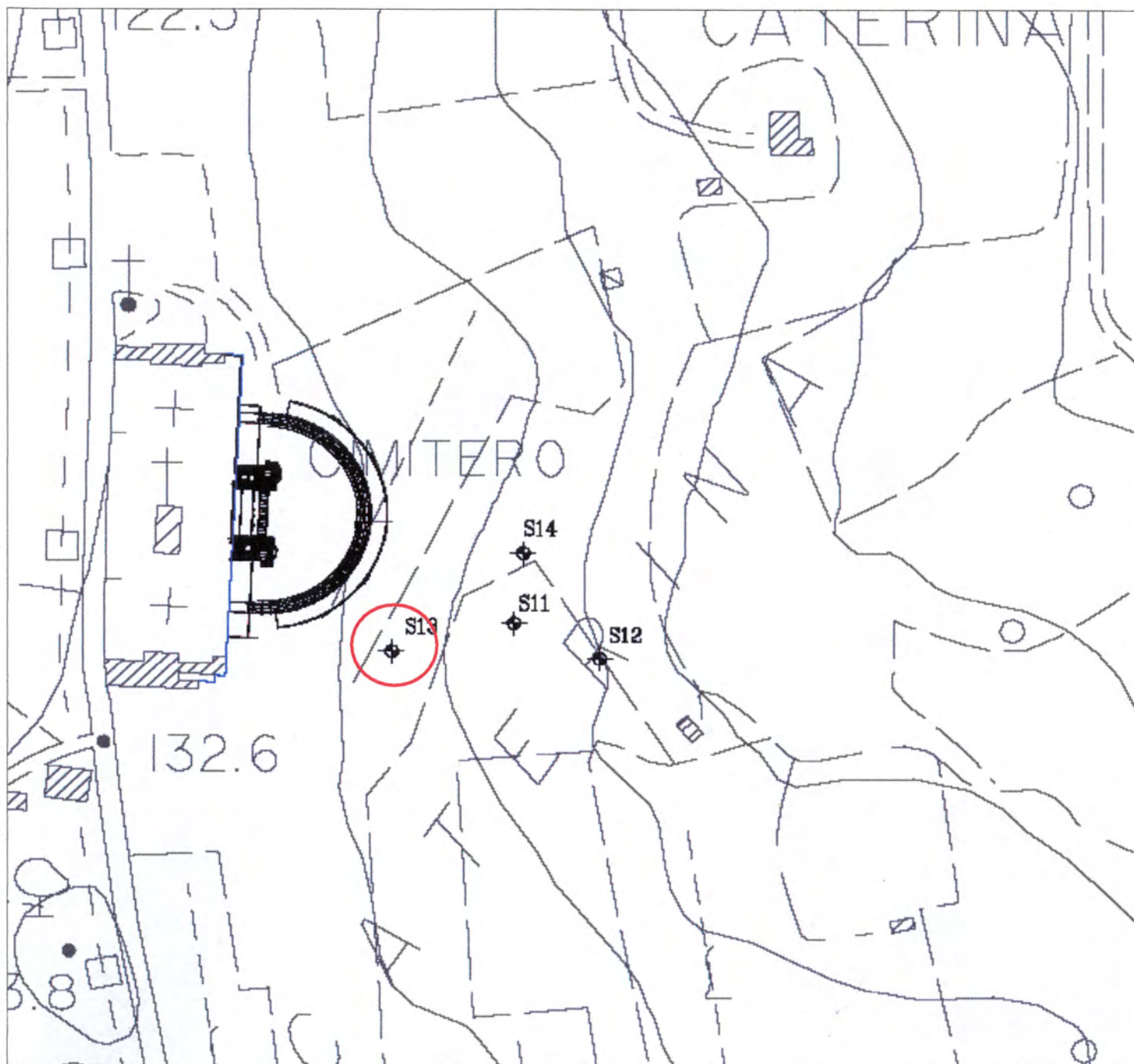
livello di falda (m): non rilevato

passo di lettura: 0,15 m

prof. inizio prova (m)	N ₁	N ₂	N ₃
3.0	8	15	16
6.5	14	16	17
11.0	43	50/5 cm	
15.5	24	43	> 50



UBICAZIONE DELLA PROVA
Peccioli (PI) - Cimitero Comunale



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SPT in foro di sondaggio (serie di prove)*norma di riferimento:* Raccomandazioni AGI 1977*deviazioni dalla norma:* prova eseguita con le aste di perforazioneverbale di accettazione n° **030/11** del **01/02/2011**
rapporto di prova n° **0591/11** del **12/04/2011**Comm.te: **Comune di Peccioli**Località: **Peccioli (PI) - Cimitero Comunale**sondaggio n° **14**prove n° **SPT 1-4****CARATTERISTICHE DEL SISTEMA**

sonda:	SOILMEC SM 401	diam. aste:	76	mm
diam. foro:	101 mm	spessore aste:	5.9	mm
diam. rivestimento:	127 mm	peso aste:	12.7	kg/m
dispositivo di sganciamento:	automatico tipo Pilcon	altezza di caduta:	0.76	m
peso maglio:	63.5 kg	rendimento medio:	60	%
punta:	campionatore tipo Raymond chiuso con punta conica			
diametro esterno:	51	mm		
angolo di apertura:	60	°		

DATI DI PROVA

data di esecuzione: 3-4/02/2011

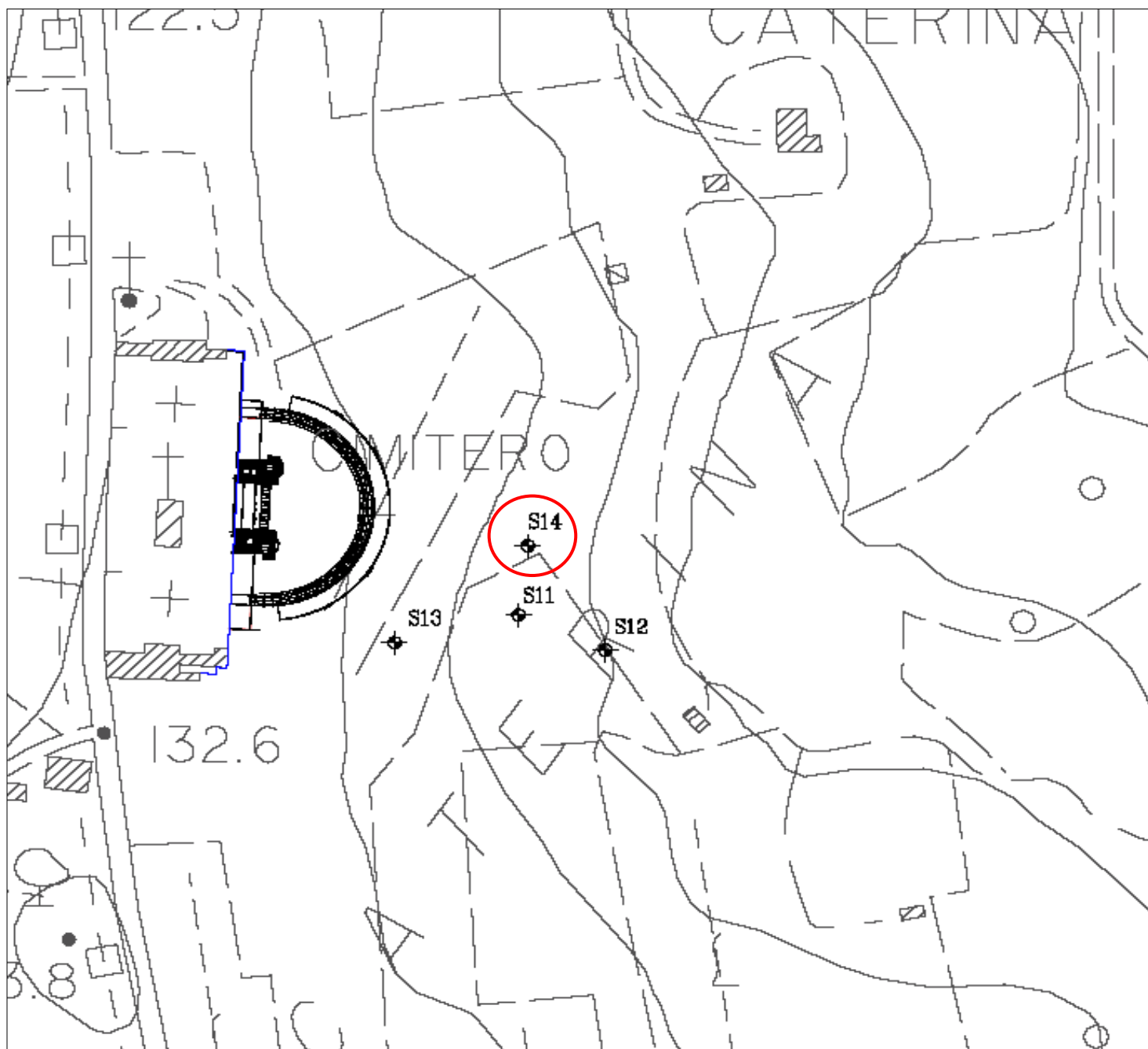
livello di falda (m): non rilevato

passo di lettura: 0,15 m

prof. inizio prova (m)	N ₁	N ₂	N ₃
3.0	12	10	16
6.5	14	24	29
11.0	32	44	> 50
15.5	28	40	49



UBICAZIONE DELLA PROVA
Peccioli (PI) - Cimitero Comunale



Prove SPT

S11			
	N1	N2	N3
3,00-3,45 m	7	13	20
6,50-6,95 m	27	31	39
11,00-11,45 m	29	33	39
15,50-15,95 m	36	>50 (13 cm)	

S12			
	N1	N2	N3
3,00-3,45 m	4	10	13
6,50-6,95 m	17	24	26
11,00-11,45 m	27	37	40
15,50-15,95 m	19	28	31

S13			
	N1	N2	N3
3,00-3,45 m	8	15	16
6,50-6,95 m	14	16	17
11,00-11,45 m	43	>50 (5 cm)	
15,50-15,95 m	24	43	>50

S14			
	N1	N2	N3
3,00-3,45 m	12	10	16
6,50-6,95 m	14	24	29
11,00-11,45 m	32	44	>50
15,50-15,95 m	28	40	49

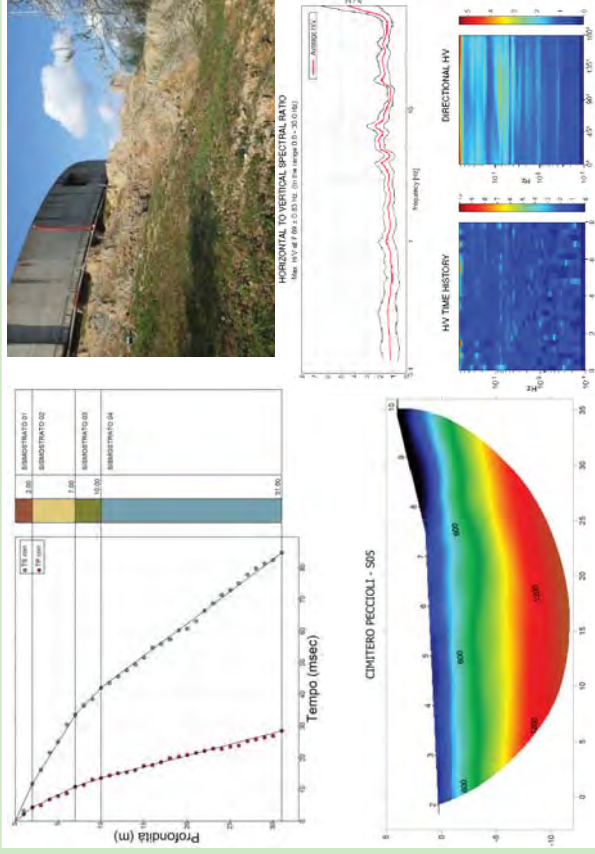
Allegato n° 1e

Indagine sismica



Comune di Peccioli (PI)

Provincia di Pisa



**Indagini geofisiche integrate, di acquisizione
e interpretazione di misure di microtremoni
e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione
geomeccanica e sismica di sottosuolo
presso il cimitero di Peccioli in Viale Garibaldi**

MARZO 2011



ENKI s.r.l.
Via Giambattista Lulli 62
50144 Firenze
Tel 055 3247209 - Fax 055 3289276
P.IVA 05008670480 - REA C.C.I.A.A. Firenze n. 510082
Reg.Impr. Firenze n. 9079/2000

ENKI S.r.l.
Società di Ingegneria Ambientale e Civile
Via Giambattista Lulli 62 - 50144 FIRENZE
Tel. 055.3247209 - Fax 055.3289276
E-mail: info@enki.it
REA C.C.I.A.A. Firenze n. 510082
Partita IVA 05008670480

INGEGNERI PROV. DI SIENA
ANDREA MAZZETTI
690



Enki s.r.l.
Via Lullì, 62
50144 Firenze
Tel 055 3247209 – Fax 055 3289276
P.IVA 05008670480 – REA C.C.I.A.A. Firenze n. 510082
Reg.Impr. Firenze n. 9079/2000

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccoli, Pisa (PI)

1. INTRODUZIONE

- 1.1. Descrizione dei contenuti della relazione
- 1.2. Programmazione delle indagini geofisiche

2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA e FREQUENZIALE con metodologia HVSR o

Nakamura

- 2.1. Strumentazione e metodologia
- 2.2. Elaborazione dei dati di microtremore
- 2.3. Stazione di misura PEC01 – CARATTERIZZAZIONE SITO
- 2.4. Stazione di misura PEC02 – CARATTERIZZAZIONE SITO
- 2.5. Stazione di misura PEC03 – CARATTERIZZAZIONE SITO
- 2.6. Stazione di misura PEC04 – CARATTERIZZAZIONE SITO
- 2.7. Stazione di misura PEC05 – CARATTERIZZAZIONE SITO
- 2.8. Stazione di misura PEC06 – CARATTERIZZAZIONE SITO
- 2.9. Stazione di misura PEC07 – CARATTERIZZAZIONE SITO
- 2.10. Stazione di misura PEC08 – CARATTERIZZAZIONE SITO
- 2.11. Stazione di misura PEC09 – CARATTERIZZAZIONE SITO
- 2.12. Stazione di misura PEC10 – CARATTERIZZAZIONE SITO
- 2.13. Stazione di misura PEC11 – CARATTERIZZAZIONE SITO
- 2.14. Stazione di misura PEC12 – CARATTERIZZAZIONE SITO
- 2.15. Stazione di misura PEC13 – CARATTERIZZAZIONE SITO
- 2.16. Interpretazione dei dati e conclusioni



Enki s.r.l.
Via Lullì, 62
50144 Firenze
Tel 055 3247209 – Fax 055 3289276
P.IVA 05008670480 – REA C.C.I.A.A. Firenze n. 510082
Reg.Impr. Firenze n. 9079/2000

3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA ATTIVA

- 3.1. Indagine Down-hole
- 3.2. Elaborazione dati sismici - interpretazione Down-hole con il metodo diretto
- 3.3. Tomografia sismica
- 3.4. La tecnica MASW
- 3.5. La tecnica REMI
- 3.6. Elaborazione dati sismici
- 3.7. D.M. 14/01/2008 N.T.C. Categorie di profilo sismico-stratigrafico
- 3.8. Conclusioni

A. Allegato A ELABORATI GRAFICI

- INQUADRAMENTO PLANIMETRICO
- DROMOCRONA DOWN-HOLE
- PROFILI SISMICI VELOCITA' Vs MASW
- TOMOGRAFIE SISMICHE 2D VELOCITA' ONDE
- SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE

B. Allegato B FOTOGRAFICO

1 INTRODUZIONE

La corretta esecuzione di opere di ingegneria civile nel sottosuolo richiede un'attenta caratterizzazione degli orizzonti geotecnici interessati dalle suddette opere.

Tramite opportune indagini si possono infatti evidenziare i profili stratigrafici, le caratteristiche idrauliche e meccaniche del terreno e le condizioni della falda, rilevando inoltre eventuali strutture e corpi sepoliti e/o sottoservizi non mappati.

Le indagini da effettuare in situ sono di due tipologie:

- **Geognostiche** (ad esempio sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo e prove penetrometriche)
- **Geofisiche**.

Le tecniche di indagini **geognostiche**, sono di tipo puntuale e restituiscono la grandezza della variabile misurata solamente nell'intorno del punto di campionamento.

Le tecniche **geofisiche**, sono invece di tipo volumetrico e non invasivo, restituiscono cioè la grandezza della variabile misurata mediata su elevati volumi di terreno.

E' evidente che ricorrendo in forma **complementare e correlata** alle diverse tecniche di indagine si ottengono notevoli vantaggi nella qualità delle informazioni ottenute sul sito investigato e nell'impiego ottimizzato di risorse economiche ed umane.

Infatti le tecniche di indagine integrate citate sono in grado di fornire al tecnico progettista delle informazioni sulla modalità e sulla tecnica di realizzazione di opere di ingegneria civile rispetto al contesto geologico e geotecnico in cui sono inserite, permettendo a priori una valutazione della qualità dell'esecuzione dei lavori.

Le tecniche di indagine geofisiche si prefigurano quindi come un supporto informativo utilizzabile nelle redazioni di progetti di opere di ingegneria civile complesse nel sottosuolo.

Ai fini della **caratterizzazione litostratigrafica** di un'area la realizzazione di:

- **Prospezioni geofisiche con metodo sismico**, con tecnica Down-hole, ReMi e MASW, permettono di ottenere la classificazione del sottosuolo ai sensi dalla vigente normativa NCT 2008 Norme Tecniche per le Costruzioni DM 14/01/2008;
- **Prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori**, e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi

del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, permette di ottenere la classificazione del sottosuolo ai sensi dalla vigente normativa, NCT 2008 Norme Tecniche per le Costruzioni ex DM 14/01/2008;

- **Prove penetrometriche**, permettono la determinazione dei principali parametri geomeccanici del terreno di dettaglio.
- **Sondaggi geognostici**, permettono di determinare le principali caratteristiche geolitologiche del sottosuolo indagato.

La campagna di prospezione geofisica può essere propedeutica all'eventuale campagna di prospezione geognostica, in modo che l'elaborazione **congiunta ed integrata** dei dati ottenuti:

- dalla serie di **acquisizione delle misure di microtremori**;
- dalla serie di **acquisizione di misure sismiche in foro Down-hole**;
- dalle serie di **stese sismiche con tecnica ReMi e MASW**;
- dalle eventuali **indagini dirette geognostiche** quali prove penetrometriche; permetta così la:

- Ricostruzione del **profilo litostratigrafico** con individuazione del **bedrock** di riferimento sismico;
- **Parametrizzazione** del comportamento meccanico dei terreni in termini di velocità di onde sismiche Vp e Vs;
- **Caratterizzazione geotecnica** dei terreni e delle rocce presenti in sito
- **Comportamento frequenziale** dei terreni e degli edifici indagati.

L'utilizzo correlato delle tecniche di prospezione geofisiche integrate, con eventuali indagini geognostiche sopra indicate, permette di superare le problematiche che normalmente sorgono operando in ambienti in cui sono molto forti i disturbi e le problematiche per l'acquisizione di parametri descrittivi del sottosuolo; normalmente infatti per ottenere indicazioni attendibili che permettano la caratterizzazione del sottosuolo è necessario acquisire i dati in maniera multiparametrica e multistrumentale, ricorrendo a diverse tecniche di prospezione e di indagine.

1.1 Descrizione dei contenuti della relazione

La presente relazione illustrerà la metodologia, la strumentazione utilizzata ed i risultati ottenuti con la campagna di prospezione geofisica sismica integrata, a supporto della caratterizzazione geomeccanica e sismica del sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI).

In particolare l'indagine ha riguardato il sottosuolo interessato da diversi tipi di intervento, e ha permesso:

- Caratterizzare le aree dal punto di vista geomeccanico;
- Classificare il sottosuolo dal punto di vista sismico relativamente alla classificazione attuale e determinata ricorrendo alla pubblicazioni allegata alle N.T.C. 2008;
- Determinare in termini frequenziali le risposte del sito.

Nel capitolo 2 verranno riportati i risultati della campagna di prospezione geofisica, in particolare con riferimento alle tecniche di acquisizione delle misure di microtremori e all'analisi ed interpretazione dei dati acquisiti, mentre nel capitolo 3 i risultati della campagna di indagine sismica con metodo Down-hole, MASW e ReMi.

1.2 Programmazione delle indagini geofisiche

In base alle indicazioni ricevute e al sopralluogo effettuato, ed in ragione del particolare e specifico contesto geomorfologico e alla struttura dell'edificio, è stato deciso di realizzare la seguente campagna di indagini:

- 13 misure dei valori di microtremori, consistente in 1 acquisizione con stazione singola e per un tempo di misura di 8' per la caratterizzazione di sito;
- esecuzione di 1 campagna di acquisizione in foro dei dati sismici di tipo Down-hole, relativamente ai primi arrivi delle onde V_p e V_s , con passo di 1 metro e fino alla profondità di 31 m dal p.c.;
- esecuzione di 6 stese sismiche a 24 geofoni con passo intergeofonico di 1.5 m/2 m e offset di 7.5 m/10 m da inizio, con tecnica Tomografica e frequenziale ReMi e MASW, con giacitura come da allegato A.

2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA con metodologia HVSR o Nakamura e frequenziale

La tecnica di acquisizione ed analisi dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) 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 energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

Le conoscenze e le informazioni che si possono ottenere dall'analisi ed interpretazione di una registrazione di questo tipo sono:

- ove esistente, la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale ai fini dell'individuazione di adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;

- ove determinabile, la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso, a seguito di analisi correlate sarà possibile confrontare le frequenze di sito e dell'edificio, e valutare se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;

- la **velocità media delle onde di taglio V_s** calcolata tramite uno specifico software di calcolo, per cui è possibile determinare la V_{s30} e la relativa categoria del suolo di fondazione come richiesto dalle N.T.C. 2008.

- la **stratigrafia del sottosuolo** con un ampio range di profondità di indagine, e secondo il principio che in termini di stratigrafia del sottosuolo, uno strato è inteso come unità distinta, in termini di contrasto d'impedenza sismica

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori.

La forma di un'onda registrata in un sito oggetto di indagine è funzione:

1. della forma dell'onda prodotta dall'insieme delle sorgenti *s dei microtremori*;
2. del percorso dell'onda dalle sorgenti *s* fino alla posizione *x* del sito oggetto di indagine e funzione dei processi di attenuazione, riflessione, rifrazione e canalizzazione di guida d'onda;
3. della modalità di acquisizione dello strumento in funzione dei parametri e delle caratteristiche strumentali.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre.

Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni con ampiezze minime, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il segnale da acquisire non è generato con strumenti o tecniche attive, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente *s* al sito *x* le onde elastiche (sia di origine sismiche che dovute al microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, canalizzazioni per fenomeni di guida d'onda ed attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato.

Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte di informazioni correlata al contenuto frequenziale del segnale che può essere estratta e che permette di ottenere informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

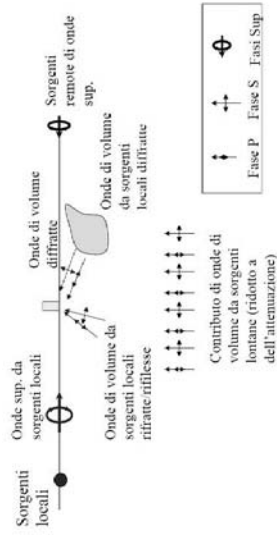


Fig. 2-2.11: MODALITA' DI GENERAZIONE E PROPAGAZIONE MICROTREMORE

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartato dalla sismologia classica, contiene informazioni.

Questa informazione è però correlata alle caratteristiche frequenziale e spettrali del cosiddetto "rumore casuale" o microtremore, e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Una di queste tecniche è la tecnica di analisi dei rapporti spettrali σ , semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili sul comportamento frequenziale dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Con riferimento alle potenziali interazioni terreno-struttura, e alle problematiche legate a possibili effetti di risonanza, è opportuno richiamare che la rappresentazione di un moto sismico può essere espressa sia nel campo del tempo che delle frequenze.

Per capire la procedura per il calcolo del moto sismico in superficie analizziamo un caso semplificato di un deposito di terreno omogeneo di spessore *H*, poggiante su un basamento roccioso soggetto ad onde di taglio con direzione di propagazione verticale. Se le onde di taglio verticali incidenti sono sinusoidali di frequenza *f*, l'accelerazione sull'affioramento rigido è una sinusoidale di frequenza *f* e ampiezza a_{max} mentre la corrispondente accelerazione alla superficie del deposito, anch'essa sinusoidale di frequenza *f*, ha ampiezza pari ad a_{max} .

Il rapporto a_{max} / a_{max} prende il nome di *fattore di amplificazione*, *A*, e dipende dalla frequenza dell'eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento del terreno e dal rapporto

$$I = (\sigma b / b) / (\sigma s / s)$$

tra l'impedenza sismica della roccia di base $\sigma b / b$ e quella del deposito $\sigma s / s$.

La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione *A(f)* del deposito.

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, che corrispondono alle **frequenze naturali** f_n di vibrazione del deposito:

$$f_n = 1 / T_n = (Vs * (2n - 1)) / (4 * H) \quad \text{con } n = 1, 2, \dots$$

mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno.

Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito f_1 ,

denominata **frequenza fondamentale di risonanza**:

$$f_1 = 1 / T1 = Vs / 4H$$

E' quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di "doppia risonanza", cioè la corrispondenza o vicinanza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero, artificialmente amplificate, con importante aggravio di sollecitazioni sulla struttura.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$freq. \text{ Naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

Da un punto di vista di pericolosità sismica, deve essere quindi evitata la vicinanza delle frequenze di risonanza del terreno e della struttura:

$$freq. \text{ naturale edificio} \approx freq. \text{ fondamentale di risonanza del sito}$$

evidenziando inoltre che:

- in caso di sisma in grado di generare danni alla struttura, si deve considerare che il generarsi di cerniere plastiche dei telai o delle strutture portanti, implica un decadimento della frequenza propria della struttura valutabile intorno al 25/30%;
- nel caso di rapporti spettrali con polarizzazione spaziale, deve essere valutato un eventuale amplificazione per onde sismiche provenienti dalla direzione di polarizzazione del rapporto H/V.

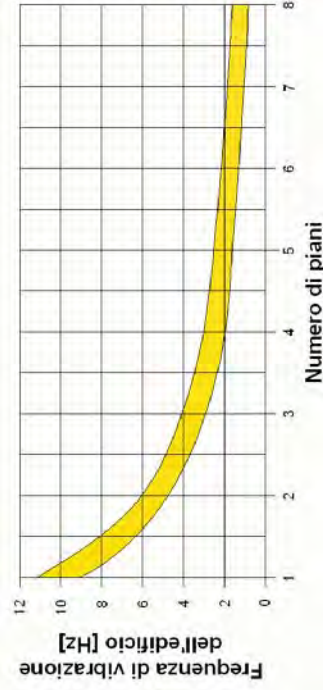


Fig. 2-2: Fascia di vulnerabilità sismica di edifici rispetto frequenza di sito

2.1 Strumentazione e metodologia

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello "Tromino Engy Plus" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in altra risoluzione adatti a tali misurazioni.

Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz.

I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 4 GB, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico.

Nella figura seguente si riporta la curva di rumore standard di un "Tromino" a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu).

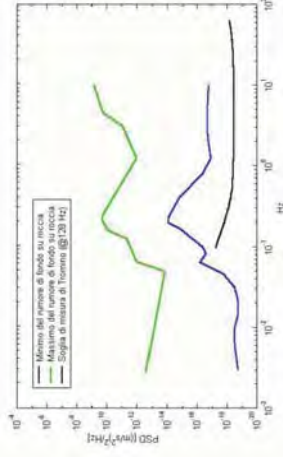


Fig. 2.1-1: CONFRONTO DI INTENSITA' DI RUMORI SISMICI SITO SPECIFICI

Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

I dati sono stati convertiti in file ASCII mediante il software "Grilla", fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

Per evitare di introdurre basse frequenze spurie i dati sono stati corretti per offset e trend ma non filtrati così come raccomandato dalla norma DIN 4150-3.

In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

1. il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (pari 20' per il sito e 8' per l'edificio),
2. la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno,
3. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue

tre componenti,

4. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale,
5. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che:

1. i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato,
2. gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti",
3. la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

L'ottenimento di una stratigrafia sismica da indagini a stazione singola, deriva dai primi studi di Kanai (1957) in poi, per cui diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito.

Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

Purtroppo, esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute).

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach *et al.*, 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier *et al.*, 2005).

Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D).

Consideriamo il sistema della figura seguente in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

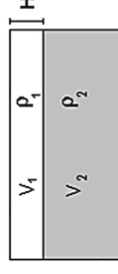


Fig. 2.1-2: Schema di sottosuolo a 2 strati con differenti parametri geomeccanici

L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato.

La frequenza fondamentale di risonanza (f_0) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$(f_0) = V_{s1}/4H \quad (f_0) = V_{p1}/4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh.

Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1.

Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1].

L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce

un'importante normalizzazione del segnale per:

- a) il contenuto in frequenza,
- b) la risposta strumentale
- c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente.

Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D.

L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini.

In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, e nei casi più significativi, le curve HVSR sono state invertite secondo la procedura descritta da Arai e Tokimatsu (2004).

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981).

Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati (limitati a 50 nella tabella d'input), in qualsiasi intervallo di frequenze e in un qualsiasi numero di modi (fondamentale e superiori).

Operativamente si costruisce un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita.

Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale; in questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs.

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock o bedrock like) le profondità h delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula seguente:

$$H = \left[\frac{V_0(1-\alpha)}{4V_1} + 1 \right]^{N(1-\alpha)} - 1$$

in cui V0 è la velocità al tetto dello strato, α un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e v la frequenza fondamentale di risonanza.

Nei casi più complessi (la maggioranza) si sono invertite le curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. In questo lavoro per l'inversione delle curve HVSR si sono seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008 hanno profondamente rinnovato le modalità di applicazione delle norme sismiche adottando, in modo omogeneo per tutto il paese, soluzione coerenti con il sistema di norme già definito a livello europeo (Eurocodice 8).

Per comprendere pienamente il significato della nuova normativa è necessario rifarsi al concetto di risposta sismica locale, e dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (risposta sismica locale) si intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S).

Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che pone in relazione lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale $H/V = 1$) con quello effettivamente misurato in superficie.

2.2 Elaborazione dei dati di microtremore

L'interpretazione consente di correlare il valore di un eventuale picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato roccioso compatto (bedrock geofisico) e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si possono ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito.

Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità [m] dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

Si riportano di seguito le check-list proposte dalla procedura SESAME, ove si evidenzia che per il sito in oggetto, sono sempre stati rispettati i criteri di acquisizione per l'ottenimento di una curva H/V affidabile, e altresì, vengono soddisfatti i criteri per la determinazione di un picco certo del rapporto H/V e quindi la determinazione della presenza di una discontinuità stratigrafica.

2.3 Stazione di misura PEC01 – CARATTERIZZAZIONE SITO

Tab. 2.3-1: Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

Max. HV at 29.97 ± 0.01 Hz. (in the range 1.0 - 30.0 Hz).	
Criteria for a reliable HV curve [All 3 should be fulfilled]	
$f_0 > 10 / L_w$	29.97 > 0.50 OK
$n_c(f_0) > 200$	14385.0 > 200 OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1440 times OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	
Criteria for a clear HV peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]	
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	28.125 Hz OK
Exists f^* in $[f_0/4f_0] A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	0.0 Hz OK
$A_0 > 2$	52701.11 > 2 OK
$f_{peak}(A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	[0.0] < 0.05 OK
$\sigma_A < \sigma(f_0)$	0.0 < 1.49844 OK
$\sigma_A(f_0) < \sigma(f_0)$	0.0 < 1.58 OK
window length number of windows used in the analysis	
L_w	
n_w	
$n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$	
f	
f_0	
σ_f	
$\sigma(f_0)$	
A_0	
$A_{HV}(f)$	
f^*	
f^*	
$\sigma_A(f)$	
$\sigma_{log A_{HV}}(f)$	
$\sigma(f_0)$	
Threshold values for σ and $\sigma_A(f_0)$	
Freq. range [Hz]	< 0.2 0.2 – 0.5 0.5 – 1.0 1.0 – 2.0 > 2.0
$\sigma(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0 0.2 f_0 0.15 f_0 0.10 f_0 0.05 f_0
$\sigma(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0 2.5 2.0 1.78 1.58
$\log \sigma(f_0)$ for $\sigma_{log A_{HV}}(f_0)$	0.48 0.40 0.30 0.25 0.20

Si riportano di seguito i principali parametri descrittivi dell'analisi in oggetto

Trace length: 8 min. Analysis performed on the entire trace.
Window size: 20 s - Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

2.4 Stazione di misura PEC02 – CARATTERIZZAZIONE SITO

Tab. 2.4-1: Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

Max. HV at 51.25 ± 0.24 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).	
Criteria for a reliable HV curve [All 3 should be fulfilled]	
$f_0 > 10 / L_w$	51.25 > 0.50 OK
$n_c(f_0) > 200$	24500.0 > 200 OK
$\alpha_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1229 times OK
Criteria for a clear HV peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]	
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0/2$	42.5 Hz OK
Exists f^* in $[f_0/4f_0] A_{HV}(f^*) < A_0/2$	0.0 Hz OK
$A_0 > 2$	548613.58 > 2 OK
$f_{\text{peak}}(A_{HV}(f) \pm \alpha_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0 < 0.05$ OK
$\alpha_A < \alpha(f_0)$	$0.0 < 2.5625$ OK
$\alpha_A(f_0) < \alpha(f_0)$	$0.0006 < 1.58$ OK
window length number of windows used in the analysis number of significant cycles current frequency HV peak frequency standard deviation of HV peak frequency threshold value for the stability condition $\alpha_A < \alpha(f_0)$ HV peak amplitude at frequency f_0 HV curve amplitude at frequency f frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ standard deviation of $A_{HV}(f)$, $\alpha_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve threshold value for the stability condition $\alpha_A(f) < \alpha(f_0)$	
L_w	
n_w	
$n_c = L_w n_w f_0$	
f	
α_A	
$\alpha(f_0)$	
A_0	
$A_{HV}(f)$	
f^*	
$f -$	
$\alpha_A(f)$	
$\sigma_{\log A_{HV}(f)}$	
$\alpha(f_0)$	
Threshold values for α_A and $\sigma_A(f_0)$	
Freq. range [Hz]	< 0.2 0.2 - 0.5 0.5 - 1.0 1.0 - 2.0 > 2.0
$\alpha(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0 0.2 f_0 0.15 f_0 0.10 f_0 0.05 f_0
$\alpha(f_0)$ for $\alpha_A(f_0)$	3.0 2.5 2.0 1.78 1.58
$\log \alpha(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{HV}(f_0)}$	0.48 0.40 0.30 0.25 0.20

Si riportano di seguito i principali parametri descrittivi dell'analisi in oggetto

Trace length: 8 min. Analysis performed on the entire trace.
Window size: 20 s - Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

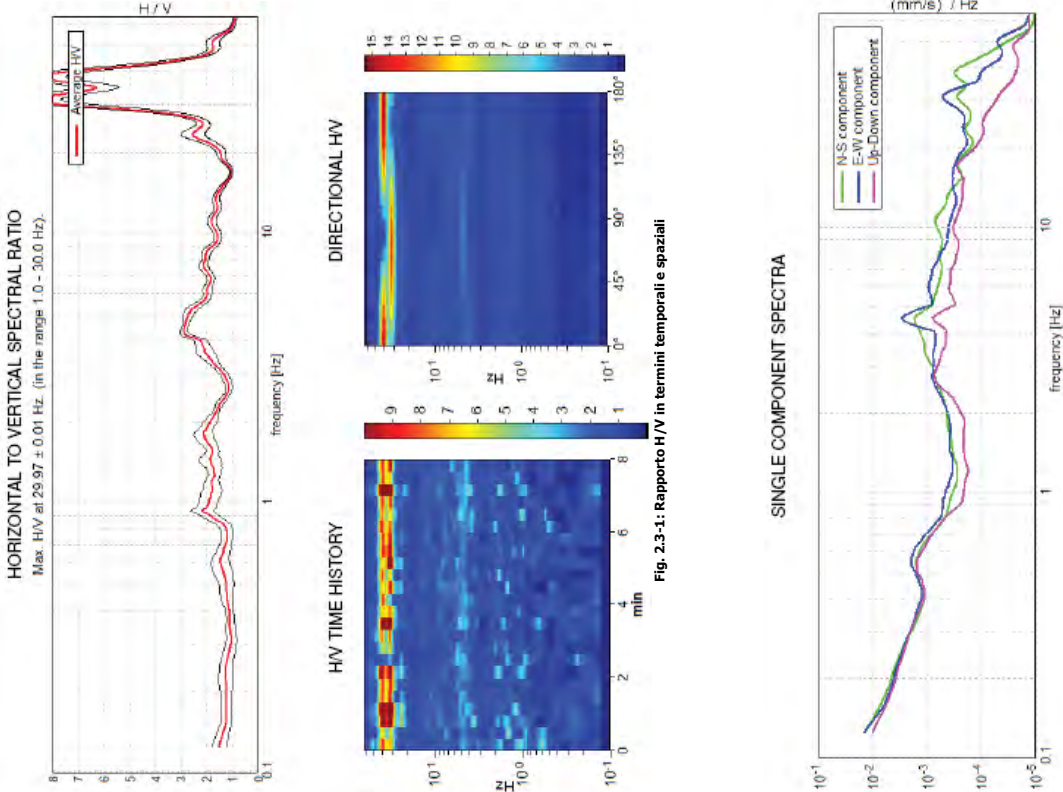


Fig. 2.3-1: Rapporto H/V in termini temporali e spaziali

Fig. 2.3-2: Parametri spettrali per singole direzioni

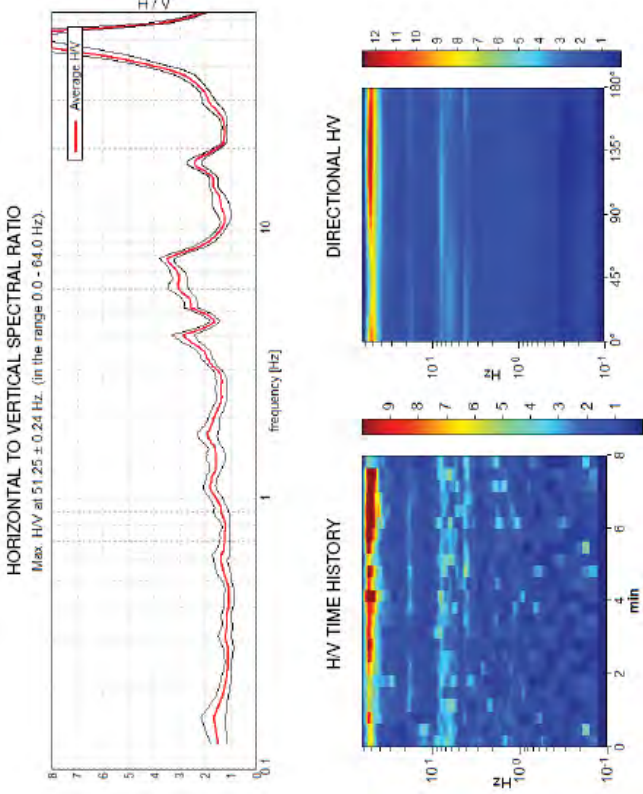


Fig. 2.4-1: Rapporto H/V in termini temporali e spaziali

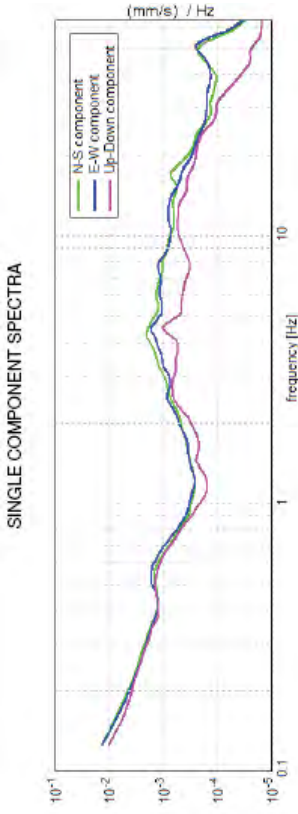


Fig. 2.4-2: Parametri spettrali per singole direzioni

2.5 Stazione di misura PEC03 – CARATTERIZZAZIONE SITO

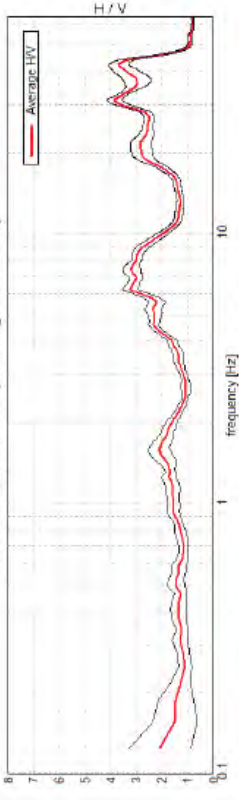
Tab. 2.5-1: Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

Max. HV at 31.47 ± 6.14 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).																									
Criteria for a reliable HV curve [All 3 should be fulfilled]																									
$f_0 > 10 / L_w$	31.47 > 0.50 OK																								
$n_s(f_0) > 200$	15105.0 > 200 OK																								
$\alpha_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1512 OK																								
$\alpha_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 \leq 0.5\text{Hz}$	times																								
Criteria for a clear HV peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]																									
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $ A_{HV}(f^*) - A_0 /2$	17.469 Hz OK																								
Exists f^* in $[f_0, 4f_0]$ $ A_{HV}(f^*) - A_0 /2$	0.0 Hz OK																								
$A_0 > 2$	356.15 > 2 OK																								
$f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \alpha_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0 < 0.05$ OK																								
$\alpha_A < \epsilon(f_0)$	$0.0 < 1.57344$ OK																								
$\alpha_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0 < 1.58$ OK																								
window length number of windows used in the analysis number of significant cycles current frequency HV peak frequency standard deviation of HV peak frequency threshold value for the stability condition $\alpha_1 < \epsilon(f_0)$ HV peak amplitude at frequency f_0 HV curve amplitude at frequency f frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ frequency deviation of $A_{HV}(f)$, $\alpha_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve threshold value for the stability condition $\alpha_A(f) < \theta(f_0)$																									
L_w n_w $n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$ f f_0 α_1 $\epsilon(f_0)$ A_0 $A_{HV}(f)$ f^* f $\alpha_A(f)$ $\sigma_{\log A_{HV}(f)}$ $\theta(f_0)$	<table><tr><td>Freq. range [Hz]</td><td>< 0.2</td><td>0.2 – 0.5</td><td>0.5 – 1.0</td><td>1.0 – 2.0</td><td>> 2.0</td></tr><tr><td>$\epsilon(f_0)$ [Hz]</td><td>0.25 f_0</td><td>0.2 f_0</td><td>0.15 f_0</td><td>0.10 f_0</td><td>0.05 f_0</td></tr><tr><td>$\theta(f_0)$ for $\alpha_A(f_0)$</td><td>3.0</td><td>2.5</td><td>2.0</td><td>1.78</td><td>1.58</td></tr><tr><td>$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{HV}(f_0)}$</td><td>0.48</td><td>0.40</td><td>0.30</td><td>0.25</td><td>0.20</td></tr></table>	Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0	$\epsilon(f_0)$ [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 $\alpha_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58	$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{HV}(f_0)}$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0																				
$\epsilon(f_0)$ [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 $\alpha_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58																				
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{HV}(f_0)}$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20																				

Si riportano di seguito i principali parametri descrittivi dell'analisi in oggetto

Trace length: 8 min. Analysis performed on the entire trace.
Window size: 20 s - Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO
Max. H/V at 31.47 ± 6.14 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz)



HV TIME HISTORY

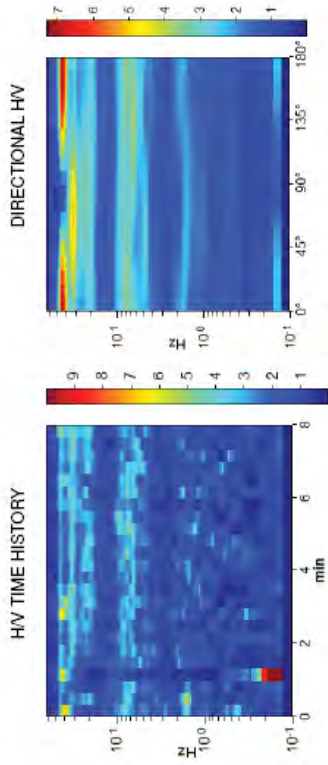


Fig. 2.5-1: Rapporto H/V in termini temporali e spaziali

SINGLE COMPONENT SPECTRA

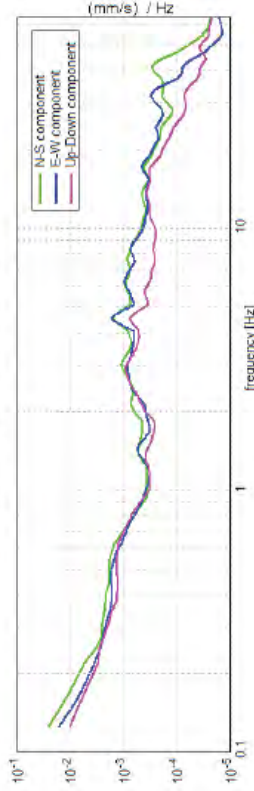


Fig. 2.5-2: Parametri spettrali per singole direzioni

2.6 Stazione di misura PEC04 – CARATTERIZZAZIONE SITO

Tab. 2.6-1: Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

Max. H/V at 41.88 ± 0.0 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).	
Criteria for a reliable HV curve [All 3 should be fulfilled]	
$f_0 > 10 / L_w$	41.88 > 0.50 OK
$n_s(f_0) > 200$	20100.0 > 200 OK
$\alpha_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1379 times OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	
Criteria for a clear HV peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]	
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0/2$	36.375 Hz OK
Exists f^* in $[f_0/4f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0/2$	0.0 Hz OK
$A_0 > 2$	13188.61 > 2 OK
$f_{peak}(A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0 < 0.05$ OK
$\alpha_1 < \sigma(f_0)$	$0.0 < 2.09375$ OK
$\sigma_A(f_0) < \sigma(f_0)$	$0.0 < 1.58$ OK
window length number of windows used in the analysis number of significant cycles current frequency HV peak frequency standard deviation of HV peak frequency threshold value for the stability condition $\alpha_1 < \sigma(f_0)$ HV peak amplitude at frequency f_0 HV curve amplitude at frequency f frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ standard deviation of $A_{HV}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve threshold value for the stability condition $\alpha_A(f) < \sigma(f_0)$	
L_w n_w $n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$ f f_0 α_1 $\sigma(f_0)$ A_0 $A_{HV}(f)$ f^* f $\sigma_A(f)$ $\sigma_{\log A_{HV}(f)}$ $\sigma(f_0)$	
Threshold values for α_1 and $\sigma_A(f_0)$	
Freq. range [Hz]	< 0.2 0.2 - 0.5 0.5 - 1.0 1.0 - 2.0 > 2.0
$\sigma(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0 0.2 f_0 0.15 f_0 0.10 f_0 0.05 f_0
$\sigma(f_0)$ for $\alpha_A(f_0)$	3.0 2.5 2.0 1.78 1.58
$\log \sigma(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{HV}(f_0)}$	0.48 0.40 0.30 0.25 0.20

Si riportano di seguito i principali parametri descrittivi dell'analisi in oggetto

Trace length: 8 min. Analysis performed on the entire trace.
Window size: 20 s - Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

Max. H/V at 41.98 ± 0.0 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

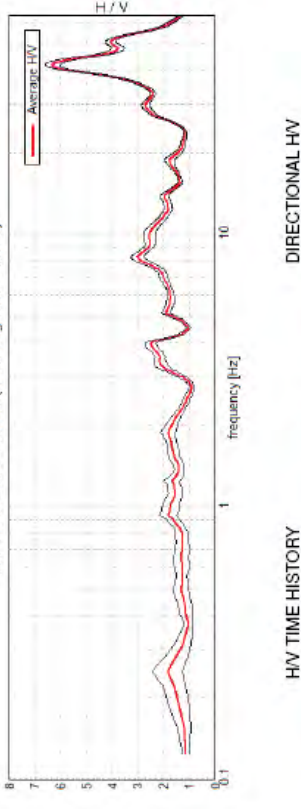


Fig. 2.6-1: Rapporto H/V in termini temporali e spaziali

SINGLE COMPONENT SPECTRA

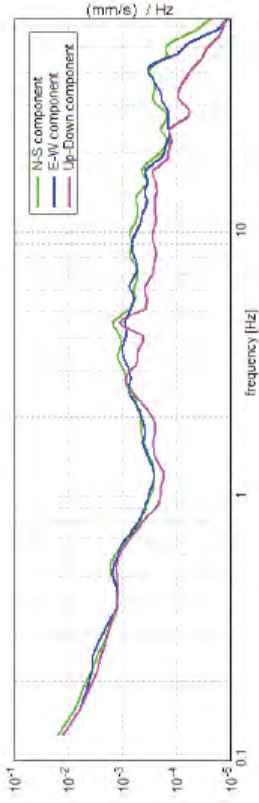


Fig. 2.6-2: Parametri spettrali per singole direzioni

2.7 Stazione di misura PEC05 – CARATTERIZZAZIONE SITO

Tab. 2.7-1: Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

Max. H/V at 9.91 ± 6.22 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).	
Criteria for a reliable HV curve [All 3 should be fulfilled]	
$f_0 > 10 / L_w$	9.91 > 0.50
$n_c(f_0) > 200$	4755.0 > 200
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 476 times
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	
Criteria for a clear HV peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]	
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0/2$	5.125 Hz
Exists f^* in $[f_0/4f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0/2$	0.0 Hz
$A_0 > 2$	491.98 > 2
$f_{peak}(A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0 < 0.05$
$\sigma_A < \sigma(f_0)$	$0.0 < 0.49531$
$\sigma_A(f_0) < \sigma(f_0)$	$0.0 < 1.58$
window length number of windows used in the analysis number of significant cycles current frequency HV peak frequency standard deviation of HV peak frequency threshold value for the stability condition $\sigma_A < \sigma(f_0)$ HV peak amplitude at frequency f_0 HV curve amplitude at frequency f frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ standard deviation of $A_{HV}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \sigma(f_0)$	

Threshold values for σ_A and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\sigma(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\sigma(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \sigma(f_0)$ for $\sigma_{SAHV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Si riportano di seguito i principali parametri descrittivi dell'analisi in oggetto

Trace length: 8 min. Analysis performed on the entire trace.
Window size: 20 s - Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

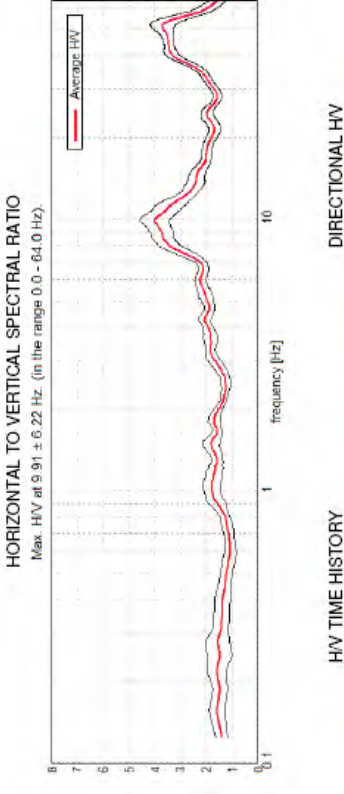


Fig. 2.7-1: Rapporto H/V in termini temporali e spaziali

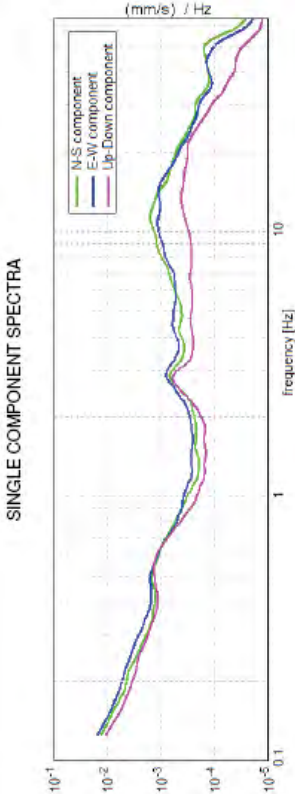


Fig. 2.7-2: Parametri spettrali per singole direzioni

2.8 Stazione di misura PEC06 – CARATTERIZZAZIONE SITO

Tab. 2.8-1: Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

Max. HV at 41.09 ± 0.45 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).					
Criteria for a reliable HV curve [All 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	41.09 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	19725.0 > 200	OK			
$\alpha_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1392 times	OK			
Criteria for a clear HV peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]					
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	31.844 Hz	OK			
Exists f^* in $[f_0/4f_0, A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	0.0 Hz	OK			
$A_0 > 2$	855.74 > 2	OK			
$f_{peak}(A_{HV}(f) \pm \alpha_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0 < 0.05$	OK			
$\alpha_A < \alpha(f_0)$	$0.0 < 2.05469$	OK			
$\alpha_A(f_0) < \alpha(f_0)$	$0.0 < 1.58$	OK			
L_w n_w $n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$ f f_0 α_A $\sigma(f_0)$ A_0 $A_{HV}(f)$ f^* f $\alpha_A(f)$ $\sigma_{\log A_{HV}(f)}$ $\alpha(f_0)$	window length number of windows used in the analysis number of significant cycles current frequency HV peak frequency standard deviation of HV peak frequency threshold value for the stability condition $\alpha_A < \alpha(f_0)$ HV peak amplitude at frequency f_0 HV curve amplitude at frequency f frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ frequency deviation between f_0 and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ standard deviation of $A_{HV}(f)$, $\alpha_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve threshold value for the stability condition $\alpha_A(f) < \alpha(f_0)$				
Threshold values for α_A and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\sigma(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\alpha(f_0)$ for $\alpha_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \sigma(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{HV}(f_0)}$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Si riportano di seguito i principali parametri descrittivi dell'analisi in oggetto

Trace length: 8 min. Analysis performed on the entire trace.
Window size: 20 s - Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

2.9 Stazione di misura PEC07 – CARATTERIZZAZIONE SITO

Tab. 2.9-1: Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

Max. HV at 37.78 ± 0.05 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).	
Criteria for a reliable HV curve [All 3 should be fulfilled]	
$f_0 > 10 / L_w$	37.78 > 0.50 OK
$n_s(f_0) > 200$	18135.0 > 200 OK
$\alpha_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1444 times OK
Criteria for a clear HV peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]	
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	32.438 Hz OK
Exists f^* in $[f_0, 4f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	17141.87 > 2 OK
$A_0 > 2$	0.0 < 0.05 OK
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \alpha_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.0 < 1.88906 OK
$\alpha_A < \alpha(f_0)$	0.0 < 1.58 OK
$\alpha_A(f_0) < \alpha(f_0)$	
L_w n_w $n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$ f f_0 α_A $\sigma(f_0)$ A_0 $A_{HV}(f)$ f^* $f -$ $\alpha_A(f)$ $\sigma_{\log A_{HV}(f)}$ $\alpha(f_0)$	window length number of windows used in the analysis number of significant cycles current frequency HV peak frequency standard deviation of HV peak frequency threshold value for the stability condition $\alpha_A < \alpha(f_0)$ HV peak amplitude at frequency f_0 HV curve amplitude at frequency f frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ standard deviation of $A_{HV}(f)$, $\alpha_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve threshold value for the stability condition $\alpha_A(f) < \alpha(f_0)$
Threshold values for α_A and $\sigma_A(f_0)$	
Freq. range [Hz]	< 0.2 0.2 - 0.5 0.5 - 1.0 1.0 - 2.0 > 2.0
$\alpha(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0 0.2 f_0 0.15 f_0 0.10 f_0 0.05 f_0
$\alpha(f_0)$ for $\alpha_A(f_0)$	3.0 2.5 2.0 1.78 1.58
$\log \alpha(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{HV}(f_0)}$	0.48 0.40 0.30 0.25 0.20

Si riportano di seguito i principali parametri descrittivi dell'analisi in oggetto

Trace length: 8 min. Analysis performed on the entire trace.
Window size: 20 s - Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

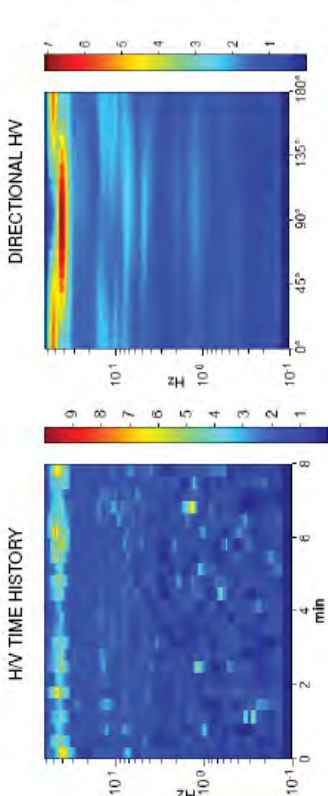
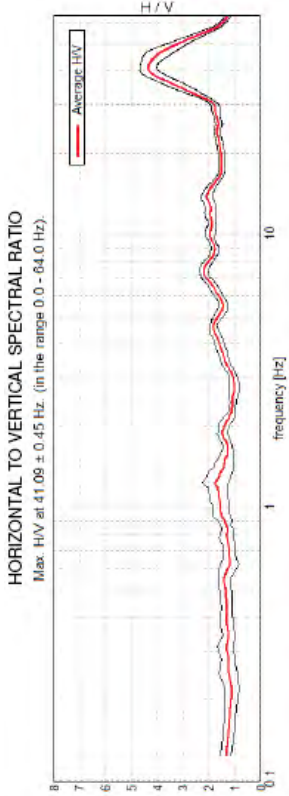


Fig. 2.8-1: Rapporto H/V in termini temporali e spaziali

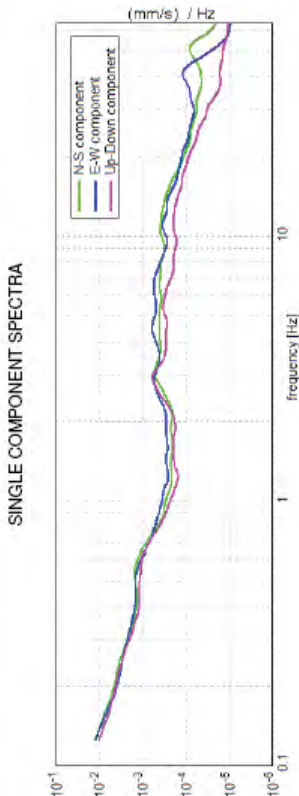


Fig. 2.8-2: Parametri spettrali per singole direzioni

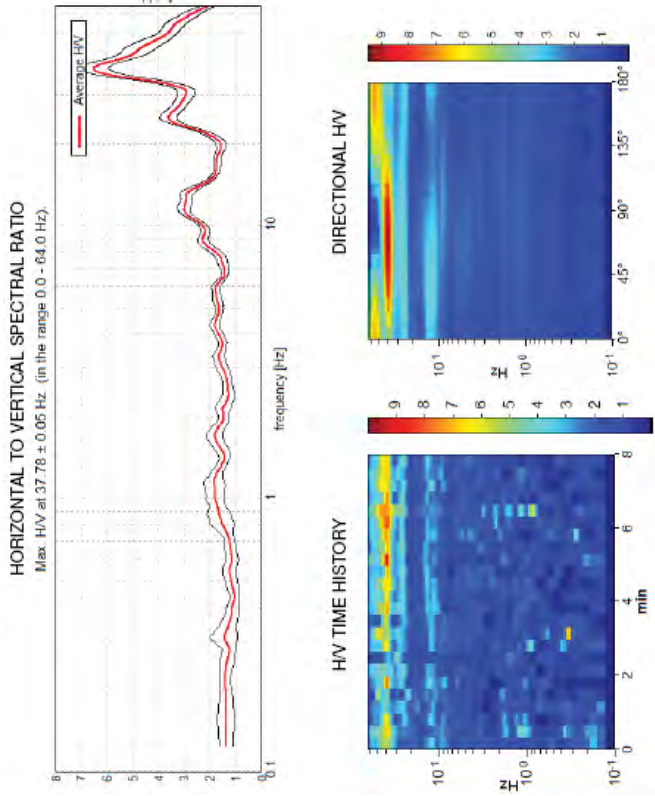


Fig. 2.9-1: Rapporto H/V in termini temporali e spaziali

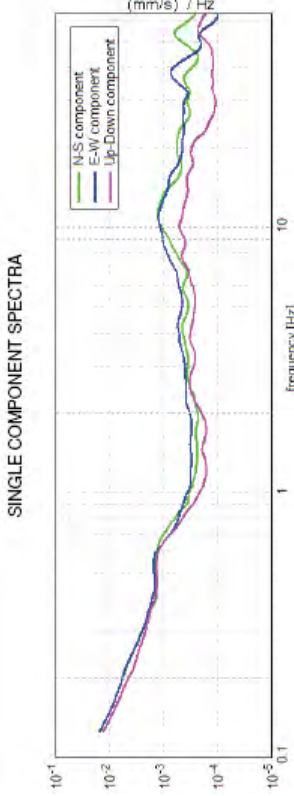


Fig. 2.9-2: Parametri spettrali per singole direzioni

2.10Stazione di misura PEC08 – CARATTERIZZAZIONE SITTO

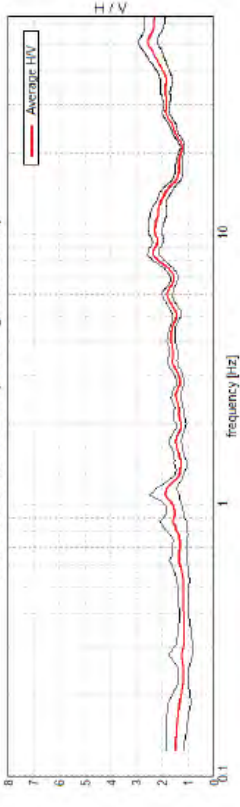
Tab. 2.10-1: Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

Max. HV at 51.25 ± 7.54 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).	
Criteria for a reliable HV curve [All 3 should be fulfilled]	
$f_0 > 10 / L_w$	51.25 > 0.50 OK
$n_c(f_0) > 200$	24500.0 > 200 OK
$\alpha_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1229 OK
$\alpha_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 \leq 0.5\text{Hz}$	times
Criteria for a clear HV peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]	
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $ A_{HV}(f^*) - A_0 /2$	21.938 Hz OK
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $ A_{HV}(f^*) - A_0 /2$	0.0 Hz OK
$A_0 > 2$	9.63 > 2 OK
$f_{peak}(A_{HV}(f) \pm \alpha_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0 < 0.05$ OK
$\alpha_A < \alpha(f_0)$	$0.0 < 2.5625$ OK
$\alpha_A(f_0) < \alpha(f_0)$	$0.0 < 1.58$ OK
L_w n_w $n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$ f f_0 σ_f $\sigma(f_0)$ A_0 $A_{HV}(f)$ f^* f^* $\alpha_A(f)$ $\sigma_{\log A_{HV}(f)}$ $\alpha(f_0)$	window length number of windows used in the analysis number of significant cycles current frequency HV peak frequency standard deviation of HV peak frequency threshold value for the stability condition $\alpha_A < \alpha(f_0)$ HV peak amplitude at frequency f_0 HV curve amplitude at frequency f frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ standard deviation of $A_{HV}(f)$, $\alpha_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve threshold value for the stability condition $\alpha_A(f) < \alpha(f_0)$
Threshold values for α_A and $\sigma_A(f_0)$	
Freq. range [Hz]	< 0.2 0.2 – 0.5 0.5 – 1.0 1.0 – 2.0 > 2.0
$\sigma(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0 0.2 f_0 0.15 f_0 0.10 f_0 0.05 f_0
$\alpha(f_0)$ for $\alpha_A(f_0)$	3.0 2.5 2.0 1.78 1.58
$\log \alpha(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{HV}(f_0)}$	0.48 0.40 0.30 0.25 0.20

Si riportano di seguito i principali parametri descrittivi dell'analisi in oggetto

Trace length: 8 min. Analysis performed on the entire trace.
Window size: 20 s - Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO
Max HV at 51.25 ± 7.54 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



HV TIME HISTORY

DIRECTIONAL HV

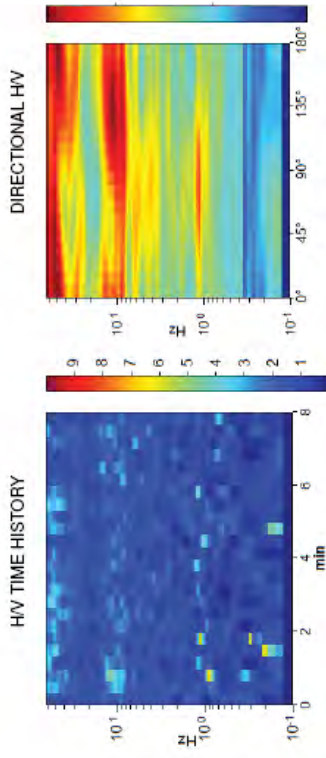


Fig. 2.10-1: Rapporto H/V in termini temporali e spaziali

SINGLE COMPONENT SPECTRA

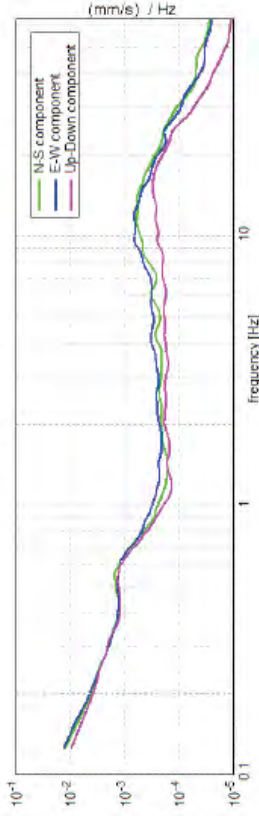


Fig. 2.10-2: Parametri spettrali per singole direzioni

2.1.1 Stazione di misura PEC09 – CARATTERIZZAZIONE SITTO

Tab. 2.11-1: Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

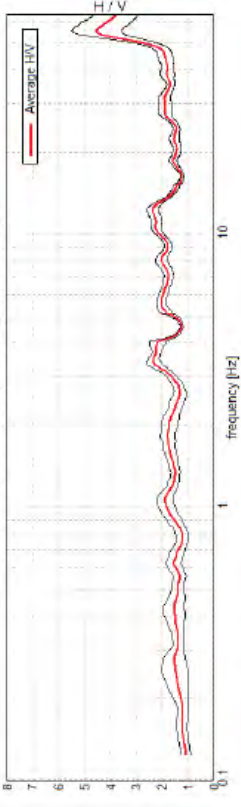
Max. HV at 55.63 ± 0.79 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).					
Criteria for a reliable HV curve [All 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	55.63 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	26700.0 > 200	OK			
$\alpha_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1159 times	OK			
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$					
Criteria for a clear HV peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]					
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $ A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	48.969 Hz	OK			
Exists f^* in $[f_0, 4f_0]$ $ A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	0.0 Hz	OK			
$A_0 > 2$	1071.93 > 2	OK			
$f_{\text{peak}}(A_{HV}(f) \pm \alpha_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0 < 0.05$	OK			
$\alpha_A < \sigma(f_0)$	$0.0 < 2.78125$	OK			
$\sigma_A(f_0) < \sigma(f_0)$	$0.0 < 1.58$	OK			
L_w	window length				
n_w	number of windows used in the analysis				
$n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$	number of significant cycles				
f_0	current frequency				
$\sigma(f_0)$	HV peak frequency				
$\alpha(f_0)$	standard deviation of HV peak frequency				
A_0	threshold value for the stability condition $\alpha_A < \sigma(f_0)$				
f^*	HV peak amplitude at frequency f_0				
f^+	HV curve amplitude at frequency f				
$\sigma_A(f)$	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{HV}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_A(f)$	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_{\log A_{HV}(f)}$	standard deviation of $A_{HV}(f)$, $\alpha_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided				
$\sigma(f_0)$	standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve				
$\sigma(f_0)$	threshold value for the stability condition $\alpha_A(f) < \sigma(f_0)$				
Threshold values for σ_A and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\sigma(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\sigma(f_0)$ for $\alpha_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \sigma(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{HV}(f_0)}$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Si riportano di seguito i principali parametri descrittivi dell'analisi in oggetto

Trace length: 8 min. Analysis performed on the entire trace.
Window size: 20 s - Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

Max HV at 55.63 ± 0.79 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



H/V TIME HISTORY

DIRECTIONAL HV

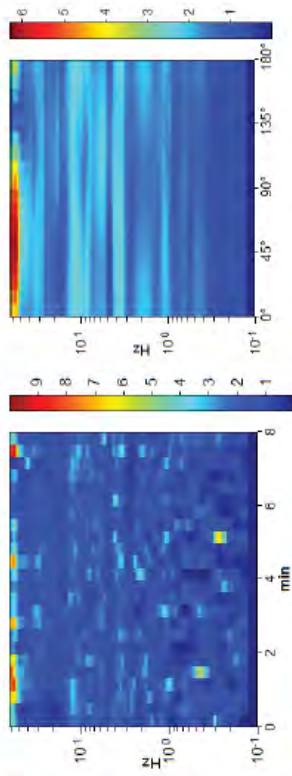


Fig. 2.11-1: Rapporto H/V in termini temporali e spaziali

SINGLE COMPONENT SPECTRA

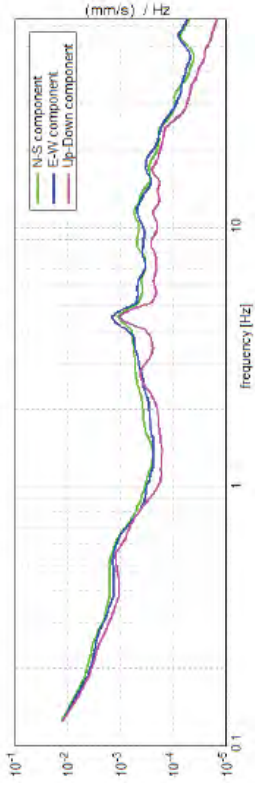


Fig. 2.11-2: Parametri spettrali per singole direzioni

2.12 Stazione di misura PEC10 – CARATTERIZZAZIONE SITTO

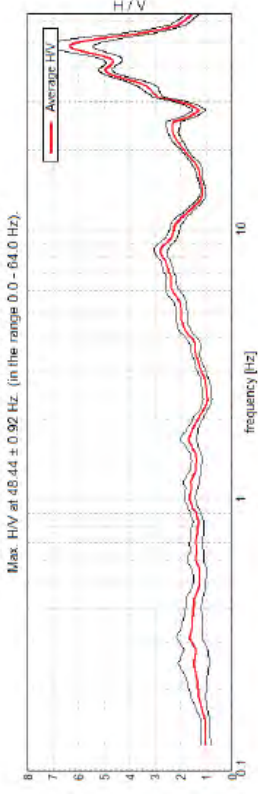
Tab. 2.12-1: Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

Max. HV at 48.44 ± 0.92 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).	
Criteria for a reliable HV curve [All 3 should be fulfilled]	
$f_0 > 10 / L_w$	48.44 > 0.50 OK
$n_s(f_0) > 200$	23250.0 > 200 OK
$\alpha_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1274 times OK
Criteria for a clear HV peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]	
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0/2$	33.406 Hz OK
Exists f^* in $[f_0/4f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0/2$	0.0 Hz OK
$A_0 > 2$	13944.68 > 2 OK
$f_{peak}(A_{HV}(f) \pm \alpha_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0 < 0.05$ OK
$\alpha_A < \alpha(f_0)$	$0.0 < 2.42188$ OK
$\alpha_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0 < 1.58$ OK
L_w n_w $n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$ f α_1 $\alpha(f_0)$ A_0 $A_{HV}(f)$ f^* f^* $\alpha_A(f)$ $\sigma_{\log A_{HV}(f)}$ $\theta(f_0)$	window length number of windows used in the analysis number of significant cycles current frequency HV peak frequency standard deviation of HV peak frequency threshold value for the stability condition $\alpha_1 < \alpha(f_0)$ HV peak amplitude at frequency f_0 HV curve amplitude at frequency f frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ standard deviation of $A_{HV}(f)$, $\alpha_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve threshold value for the stability condition $\alpha_A(f) < \theta(f_0)$
Threshold values for α_1 and $\alpha_A(f_0)$	
Freq. range [Hz]	< 0.2 0.2 - 0.5 0.5 - 1.0 1.0 - 2.0 > 2.0
$\alpha(f_0)$ [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 $\alpha_A(f_0)$	3.0 2.5 2.0 1.78 1.58
$\log \alpha(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{HV}(f_0)}$	0.48 0.40 0.30 0.25 0.20

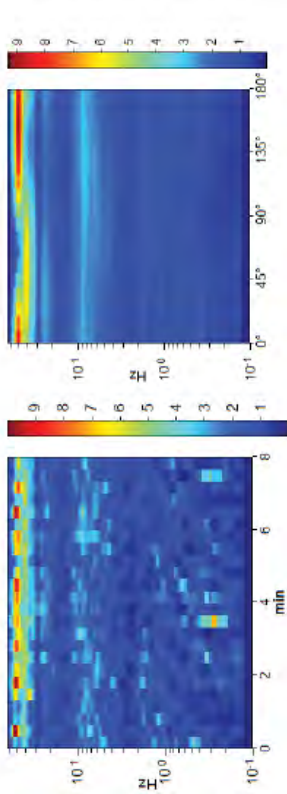
Si riportano di seguito i principali parametri descrittivi dell'analisi in oggetto

Trace length: 8 min. Analysis performed on the entire trace.
Window size: 20 s - Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



HV TIME HISTORY



DIRECTIONAL HV

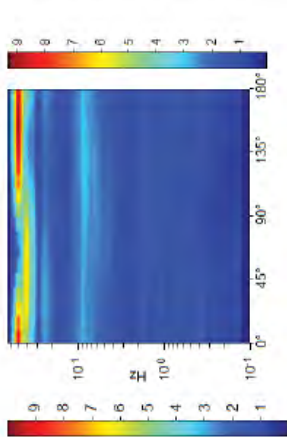


Fig. 2.12-1: Rapporto H/V in termini temporali e spaziali

SINGLE COMPONENT SPECTRA

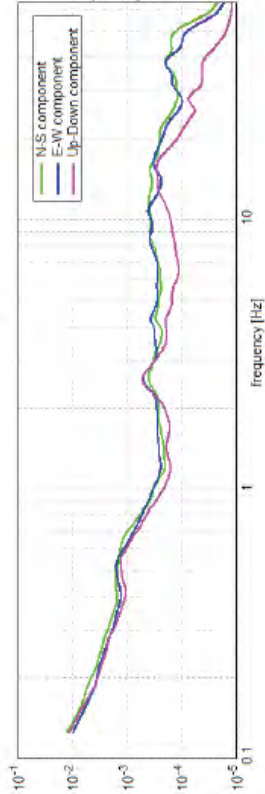


Fig. 2.12-2: Parametri spettrali per singole direzioni

2.13 Stazione di misura PEC11 – CARATTERIZZAZIONE SITTO

Tab. 2.13-1: Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

Max. H/V at 9.38 ± 0.04 Hz. (in the range 0.0 - 30.0 Hz).					
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	9.38 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	4500.0 > 200	OK			
$\alpha_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 451 times	OK			
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$					
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]					
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	4.844 Hz	OK			
Exists f^* in $[f_0/4f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	0.0 Hz	OK			
$A_0 > 2$	42.44 > 2	OK			
$f_{peak}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0 < 0.05$	OK			
$\alpha_A < \sigma(f_0)$	$0.0 < 0.46875$	OK			
$\sigma_A(f_0) < \sigma(f_0)$	$0.0 < 1.58$	OK			
window length number of windows used in the analysis number of significant cycles current frequency H/V peak frequency standard deviation of H/V peak frequency threshold value for the stability condition $\alpha_A < \sigma(f_0)$ H/V peak amplitude at frequency f_0 H/V curve amplitude at frequency f frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ frequency deviation of $A_{HV}(f)$, $\alpha_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \sigma(f_0)$					
L_w					
n_w					
$n_c = L_w n_w f_0$					
f					
f_0					
σ_A					
$\sigma(f_0)$					
A_0					
$A_{HV}(f)$					
f^*					
f^+					
$\alpha_A(f)$					
$\sigma_{\log A_{HV}(f)}$					
$\sigma(f_0)$					
Threshold values for α_A and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\sigma(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\sigma(f_0)$ for $\alpha_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \sigma(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{HV}(f_0)}$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Si riportano di seguito i principali parametri descrittivi dell'analisi in oggetto

Trace length: 8 min. Analysis performed on the entire trace.
Window size: 20 s - Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

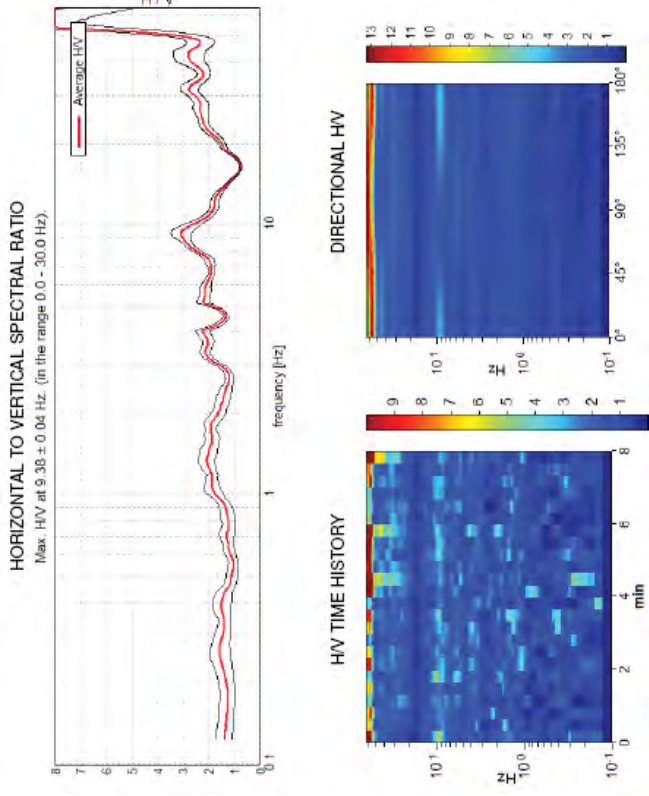


Fig. 2.13-1: Rapporto H/V in termini temporali e spaziali

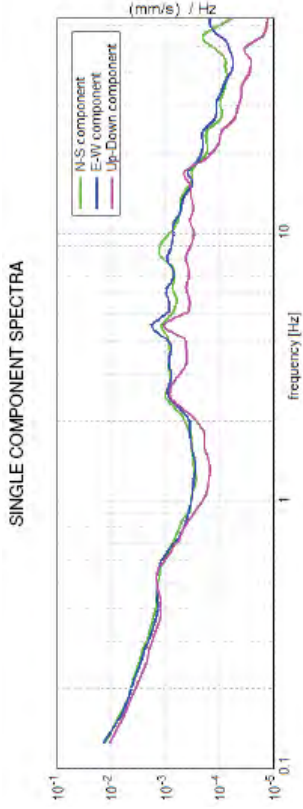


Fig. 2.13-2: Parametri spettrali per singole direzioni

2.1.4 Stazione di misura PEC12 – CARATTERIZZAZIONE SITTO

Tab. 2.14-1: Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

Max. HV at 55.31 ± 0.12 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).					
Criteria for a reliable HV curve [All 3 should be fulfilled]					
$f_0 > 10 / L_w$	55.31 > 0.50	OK			
$n_c(f_0) > 200$	26550.0 > 200	OK			
$\alpha_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1164 times	OK			
$\alpha_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$					
Criteria for a clear HV peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]					
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	40.813 Hz	OK			
Exists f^* in $[f_0/4f_0]$ $A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	0.0 Hz	OK			
$A_0 > 2$	113.08 > 2	OK			
$f_{peak}(A_{HV}(f) \pm \alpha_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	0.0 < 0.05	OK			
$\alpha_A < \alpha(f_0)$	0.0 < 2.76563	OK			
$\alpha_A(f_0) < \alpha(f_0)$	0.0 < 1.58	OK			
window length number of windows used in the analysis number of significant cycles current frequency HV peak frequency standard deviation of HV peak frequency threshold value for the stability condition $\alpha_A < \alpha(f_0)$ HV peak amplitude at frequency f_0 HV curve amplitude at frequency f frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ frequency deviation of $A_{HV}(f)$, $\alpha_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve threshold value for the stability condition $\alpha_A(f) < \alpha(f_0)$					
L_w					
n_w					
$n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$					
f					
f_0					
α_A					
$\alpha(f_0)$					
A_0					
$A_{HV}(f)$					
f^*					
f^*					
$\alpha_A(f)$					
$\sigma_{\log A_{HV}(f)}$					
$\alpha(f_0)$					
Threshold values for α_A and $\alpha_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\alpha(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\alpha(f_0)$ for $\alpha_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \alpha(f_0)$ for $\alpha_{\log HV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Si riportano di seguito i principali parametri descrittivi dell'analisi in oggetto

Trace length: 8 min. Analysis performed on the entire trace.

Window size: 20 s - Smoothing window: Triangular window

Smoothing: 10%

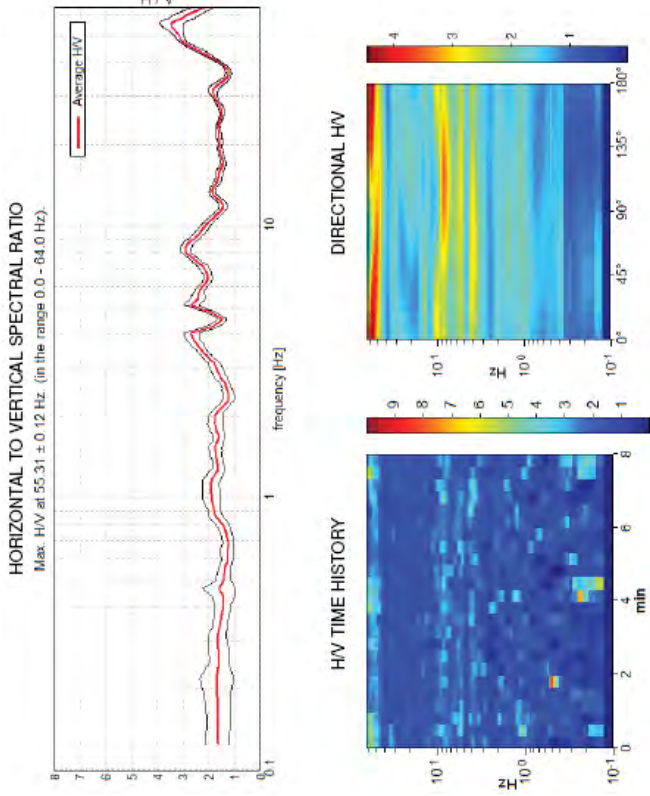


Fig. 2.14-1: Rapporto H/V in termini temporali e spaziali

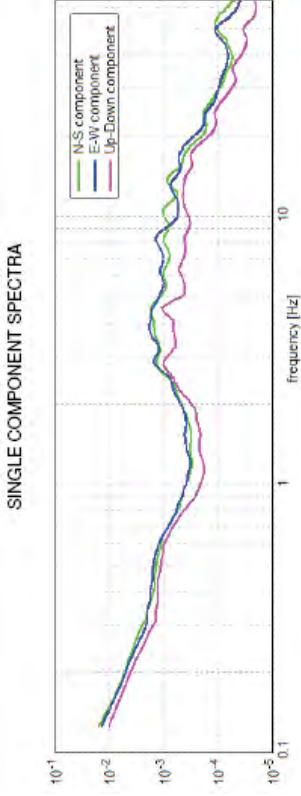


Fig. 2.14-2: Parametri spettrali per singole direzioni

2.15 Stazione di misura PEC13 – CARATTERIZZAZIONE SITTO

Tab. 2.15-1: Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

Max. HV at 7.69 ± 0.83 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).	
Criteria for a reliable HV curve [All 3 should be fulfilled]	
$f_0 > 10 / L_w$	7.69 > 0.50 OK
$n_s(f_0) > 200$	3690.0 > 200 OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 370 times OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	
Criteria for a clear HV peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]	
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $ A_{HV}(f^*) < A_0/2$	13.844 Hz OK
Exists f^* in $[f_0/4, f_0]$ $ A_{HV}(f^*) < A_0/2$	2.38 > 2 OK
$f_{peak}(A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05085 < 0.05$ OK
$\sigma_A(f) < \sigma(f_0)$	$0.39094 < 0.38438$ OK
$\sigma_A(f_0) < \sigma(f_0)$	$0.3035 < 1.58$ OK
window length number of windows used in the analysis number of significant cycles current frequency HV peak frequency standard deviation of HV peak frequency threshold value for the stability condition $\alpha_1 < \epsilon(f_0)$ HV peak amplitude at frequency f_0 HV curve amplitude at frequency f frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$ standard deviation of $A_{HV}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \sigma(f_0)$	
L_w n_w $n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$ f f_0 σ_1 $\sigma(f_0)$ A_0 $A_{HV}(f)$ f^* f $\sigma_A(f)$ $\sigma_{\log A_{HV}(f)}$ $\sigma(f_0)$	
Threshold values for σ_1 and $\sigma_A(f_0)$	
Freq. range [Hz]	< 0.2 0.2 - 0.5 0.5 - 1.0 1.0 - 2.0 > 2.0
$\sigma(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0 0.2 f_0 0.15 f_0 0.10 f_0 0.05 f_0
$\sigma(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0 2.5 2.0 1.78 1.58
$\log \sigma(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{HV}(f_0)}$	0.48 0.40 0.30 0.25 0.20

Si riportano i seguenti i principali parametri descrittivi dell'analisi in oggetto

Trace length: 8 min. Analysis performed on the entire trace.
Window size: 20 s - Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

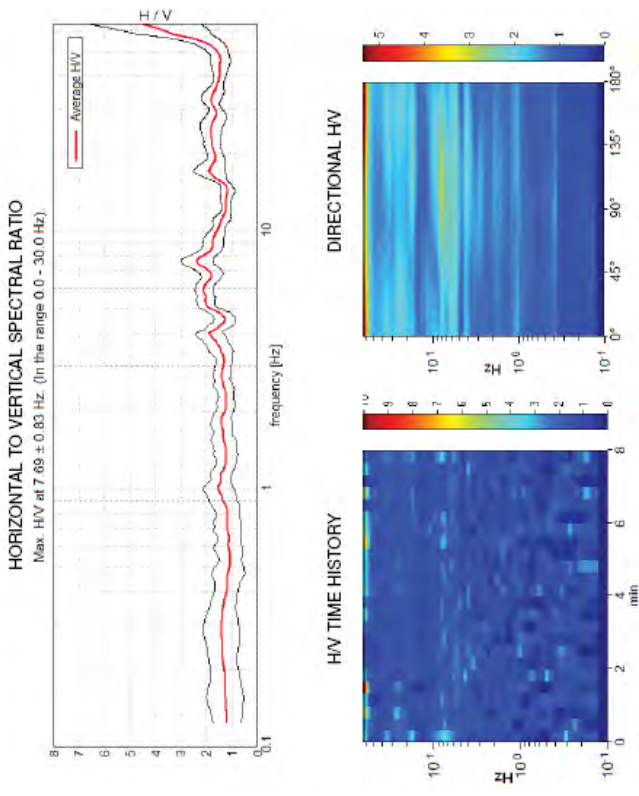


Fig. 2.15-1: Rapporto H/V in termini temporali e spaziali

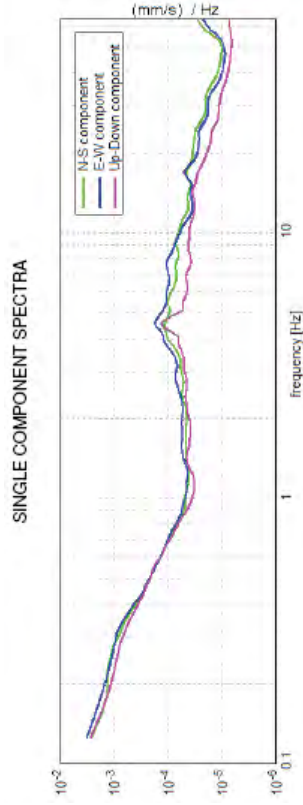


Fig. 2.15-2: Parametri spettrali per singole direzioni

2.16 Interpretazione dei dati e conclusioni

L'interpretazione dei dati graficizzati nelle figure precedenti ha, in questo caso, evidenziato una graduale crescita delle velocità di propagazione delle onde di taglio con la profondità poiché lo spettro sismico si stabilizza costantemente su di un rapporto spettrale $H/V > 1$, per cui sono esclusi rilevanti fenomeni di inversione delle velocità.

La crescita di velocità di propagazione delle onde sismiche è correlabile ad un aumento della rigidità del sottosuolo.

In termini di determinazione della V_{s30} , si evidenzia che in questo tipo di approccio (modellazione diretta) sono insite delle ambiguità interpretative circa spessore e velocità dello strato nel senso che lo stesso risultato può essere ottenuto con diversi modelli valendo un principio di equivalenza.

Il parametro determinabile univocamente è infatti rappresentato dal valore del prodotto di spessore e velocità.

Ai fini della determinazione del parametro V_{s30} questo non rappresenta una limitazione infatti tale parametro rappresenta proprio la media della velocità delle onde di taglio sui primi 30 m di profondità ed è dato dalla (1):

$$V_{s30} = \frac{3\theta}{\sum_{i=1}^{\theta} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo per un totale di n strati presenti nei primi 30 metri di profondità.

I risultati dei processi di inversione ed interpretazione, dei dati di microtremore acquisiti, in correlazione con le conoscenze sull'assetto strutturale e geologico dell'area, hanno prodotto una curva di velocità come di seguito riportato.

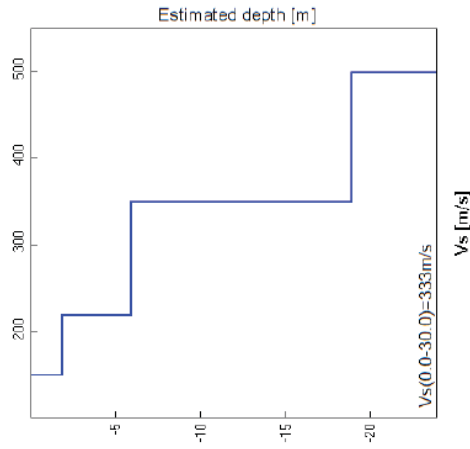


Fig. 2.16-1: Profilo di velocità monodimensionale onde S da misure di Tromino PEC01

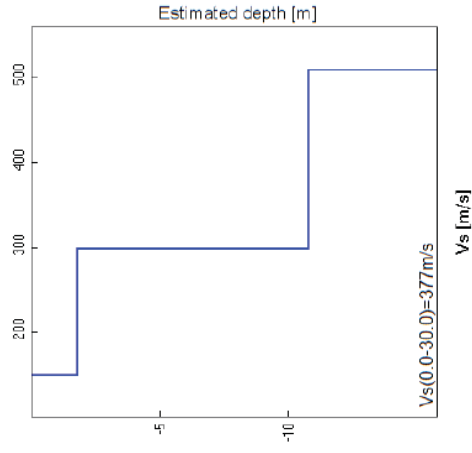


Fig. 2.16-3: Profilo di velocità monodimensionale onde S da misure di Tromino PEC03

Fig. 2.16-2: Profilo di velocità monodimensionale onde S da misure di Tromino PEC02

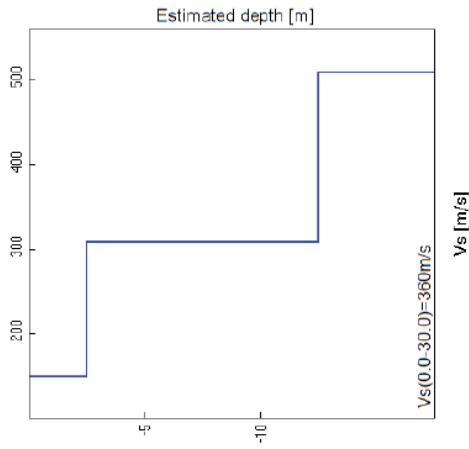
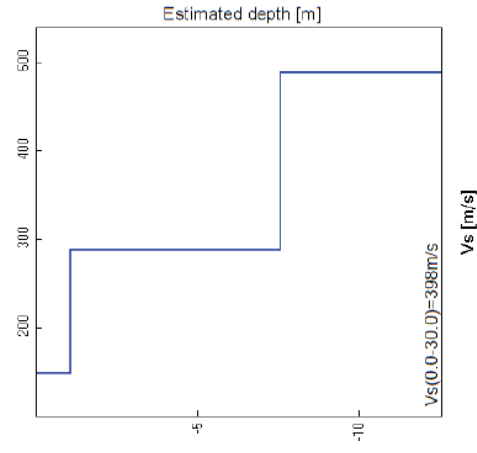


Fig. 2.16-4: Profilo di velocità monodimensionale onde S da misure di Tromino PEC04



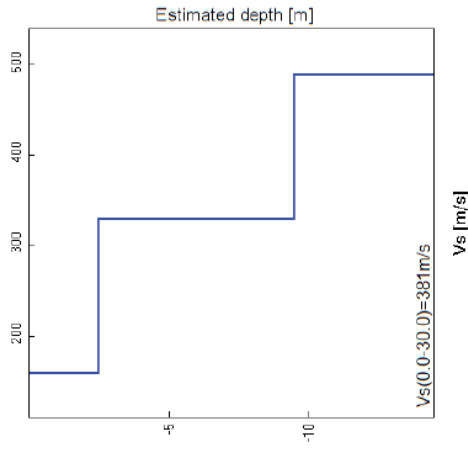


Fig. 2.16-5: Profilo di velocità monodimensionale onde S da misure di Tromino PEC05

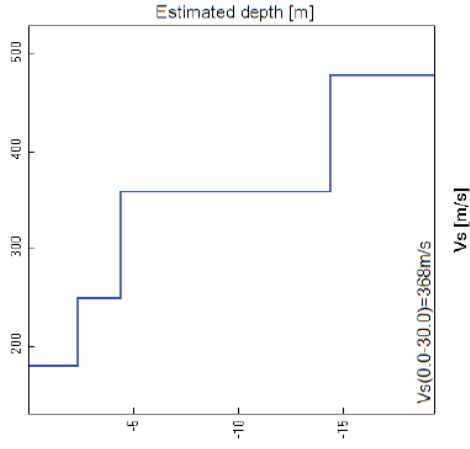


Fig. 2.16-6: Profilo di velocità monodimensionale onde S da misure di Tromino PEC06

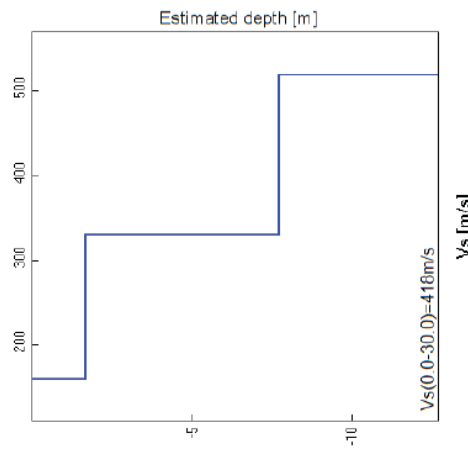


Fig. 2.16-7: Profilo di velocità monodimensionale onde S da misure di Tromino PEC07

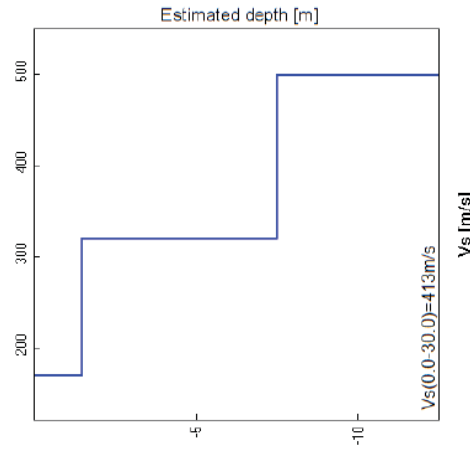


Fig. 2.16-8: Profilo di velocità monodimensionale onde S da misure di Tromino PEC08

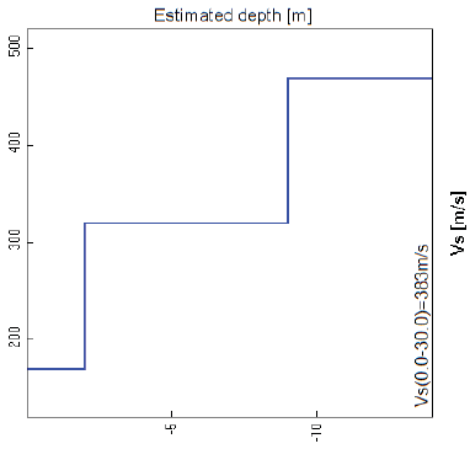


Fig. 2.16-9: Profilo di velocità monodimensionale onde S da misure di Tromino PEC09

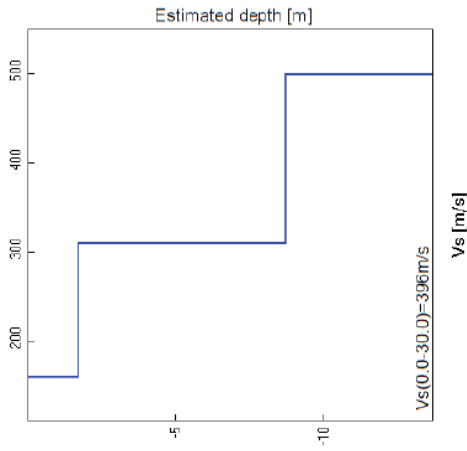


Fig. 2.16-11: Profilo di velocità monodimensionale onde S da misure di Tromino PEC11

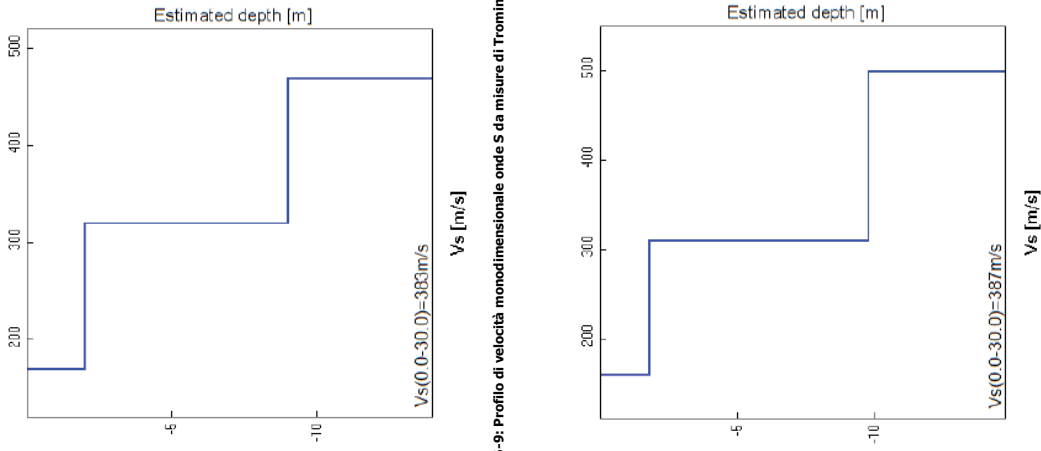


Fig. 2.16-10: Profilo di velocità monodimensionale onde S da misure di Tromino PEC10

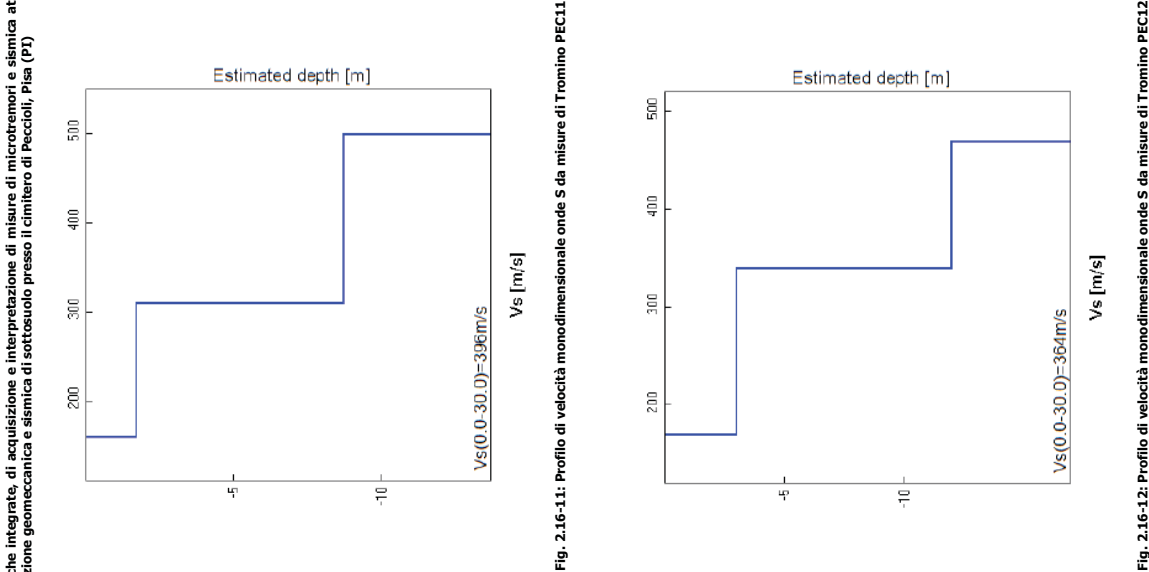


Fig. 2.16-12: Profilo di velocità monodimensionale onde S da misure di Tromino PEC12

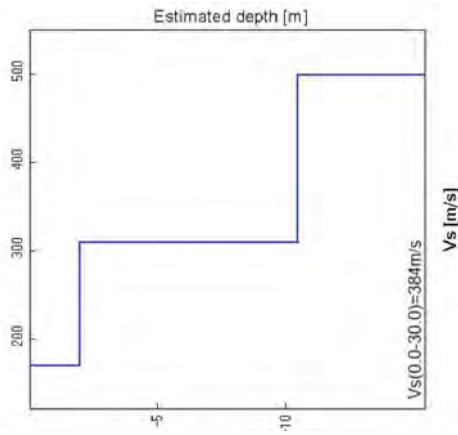


Fig. 2.16-13: Profilo di velocità monodimensionale onde S da misure di Tromino PEC13

In base ai risultati ottenuti dall'interpretazione dei profili di velocità, si evidenzia il valore numerico delle Vs30 con il fit migliore di cui:

Tab. 2.16-1: RIEPILOGO CALCOLO Vs30

INDAGINE	AREA INDAGINE	Vs30 [m/s]	CATEGORIA SOTTOSUOLO
PEC01 - TROMINO	1	333	C
PEC02 - TROMINO	1	360	C
PEC03 - TROMINO	1	377	B
PEC04 - TROMINO	1	398	B
PEC05 - TROMINO	1	381	B
PEC06 - TROMINO	1	368	B
PEC07 - TROMINO	1	418	B
PEC08 - TROMINO	1	413	B
PEC09 - TROMINO	1	383	B
PEC10 - TROMINO	1	387	B
PEC11 - TROMINO	1	396	B
PEC12 - TROMINO	1	364	B
PEC13 - TROMINO	1	384	B
DH01 - DOWN-HOLE	1	357	C
MASW S01	1	303	C
MASW S02	1	327	C
MASW S03	1	432	B
MASW S04	1	387	B
MASW S05	1	338	C
MASW S06	1	368	B

Tab. 2.16-2: TABELLA CALCOLO Vs30 – TROMINO PEC01

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.90	1.90	150	0.45
5.90	4.00	220	0.45
18.90	13.00	350	0.44
Inf.	Inf.	500	0.43

$Vs(0.0-30.0)=333m/s$

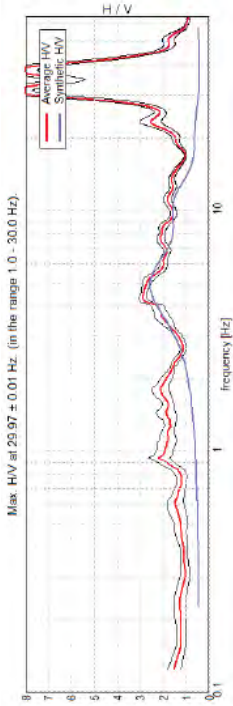


Fig. 2.16-14: Confronto rapporto H/V sperimentale e modello interpretativo PEC01

Tab. 2.16-3: TABELLA CALCOLO Vs30 – TROMINO PEC02

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.50	2.50	150	0.45
12.50	10.00	310	0.44
Inf.	Inf.	510	0.43

$Vs(0.0-30.0)=360m/s$

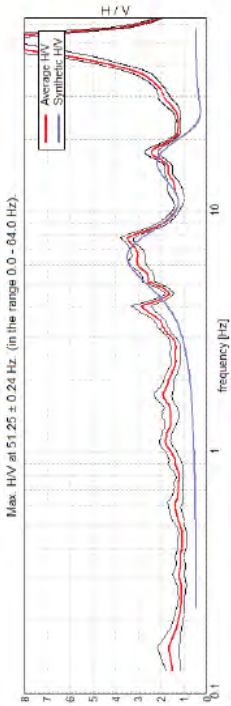


Fig. 2.16-15: Confronto rapporto H/V sperimentale e modello interpretativo PEC02

Tab. 2.16-4: TABELLA CALCOLO Vs30 – TROMINO PEC03

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.80	1.80	150	0.45
10.80	9.00	300	0.44
inf.	inf.	510	0.43

$Vs(0.0-30.0)=377m/s$

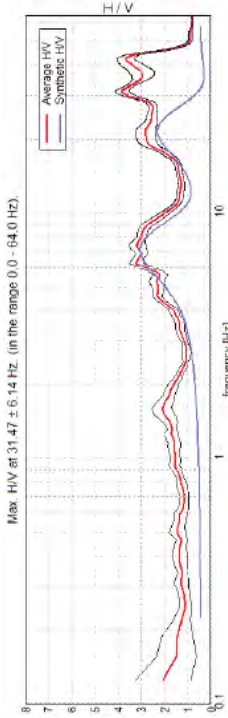


Fig. 2.16-16: Confronto rapporto H/V sperimentale e modello interpretativo PEC03

Tab. 2.16-5: TABELLA CALCOLO Vs30 – TROMINO PEC04

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.10	1.10	150	0.45
7.60	6.50	290	0.44
inf.	inf.	490	0.43

$Vs(0.0-30.0)=398m/s$

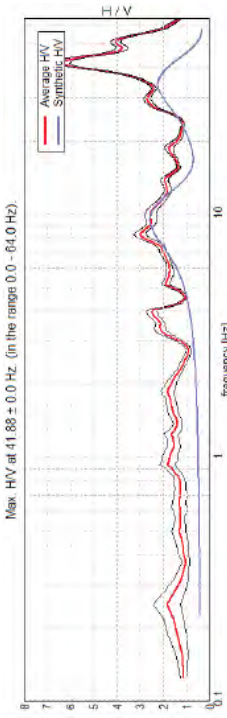


Fig. 2.16-17: Confronto rapporto H/V sperimentale e modello interpretativo PEC04

Tab. 2.16-6: TABELLA CALCOLO Vs30 – TROMINO PEC05

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.50	2.50	160	0.45
9.50	7.00	330	0.44
inf.	inf.	490	0.43

$Vs(0.0-30.0)=381m/s$

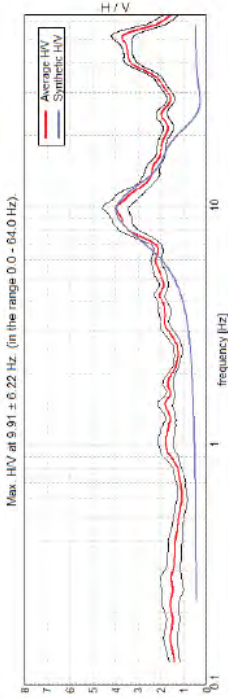


Fig. 2.16-18: Confronto rapporto H/V sperimentale e modello interpretativo PEC05

Tab. 2.16-7: TABELLA CALCOLO Vs30 – TROMINO PEC06

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.40	2.40	180	0.45
4.40	2.00	250	0.45
14.40	10.00	360	0.44
inf.	inf.	480	0.43

$Vs(0.0-30.0)=368m/s$

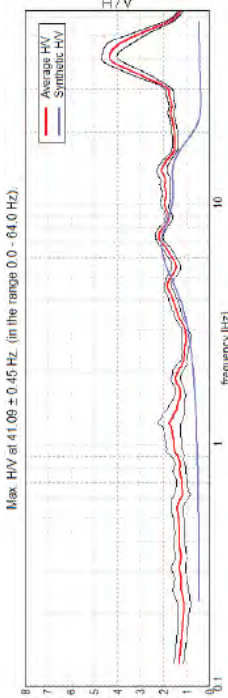


Fig. 2.16-19: Confronto rapporto H/V sperimentale e modello interpretativo PEC06

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

Tab. 2.16-8: TABELLA CALCOLO Vs30 – TROMINO PEC07

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.70	1.70	160	0.45
7.70	6.00	330	0.44
inf.	inf.	520	0.43

Vs(0.0-30.0)=418m/s

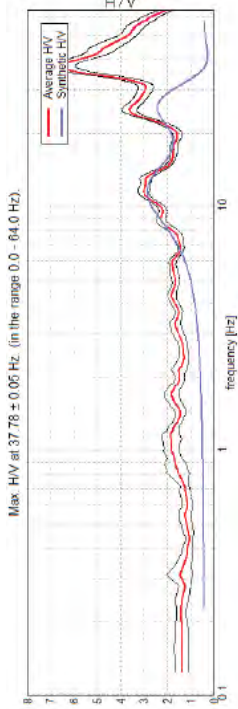


Fig. 2.16-20: Confronto rapporto H/V sperimentale e modello interpretativo PEC07

Tab. 2.16-9: TABELLA CALCOLO Vs30 – TROMINO PEC08

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.50	1.50	170	0.45
7.50	6.00	320	0.44
inf.	inf.	500	0.43

Vs(0.0-30.0)=413m/s

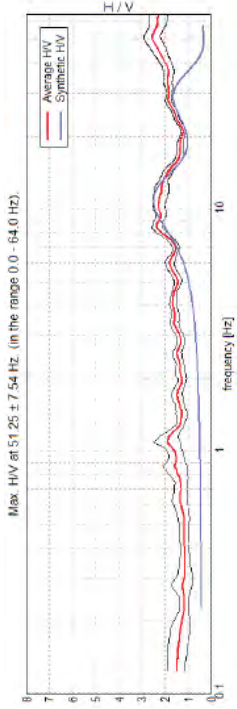


Fig. 2.16-21: Confronto rapporto H/V sperimentale e modello interpretativo PEC08

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

Tab. 2.16-10: TABELLA CALCOLO Vs30 – TROMINO PEC09

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	170	0.45
9.00	7.00	320	0.44
inf.	inf.	470	0.43

Vs(0.0-30.0)=353m/s

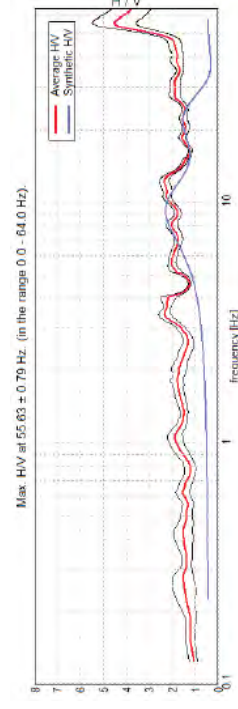


Fig. 2.16-22: Confronto rapporto H/V sperimentale e modello interpretativo PEC09

Tab. 2.16-11: TABELLA CALCOLO Vs30 – TROMINO PEC10

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.80	1.80	160	0.45
9.80	8.00	310	0.44
inf.	inf.	500	0.43

Vs(0.0-30.0)=387m/s

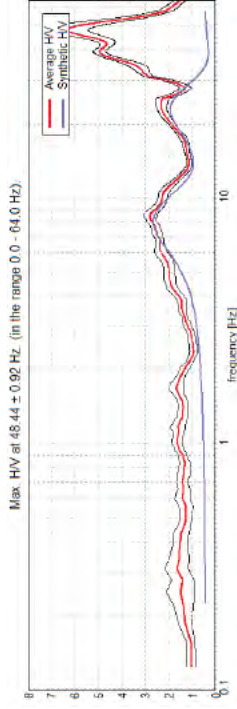


Fig. 2.16-23: Confronto rapporto H/V sperimentale e modello interpretativo PEC10

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

Tab. 2.16-12: TABELLA CALCOLO Vs30 – TROMINO PEC11

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.70	1.70	160	0.45
8.70	7.00	310	0.44
inf.	inf.	500	0.43

$Vs(0.0-30.0)=396\text{m/s}$

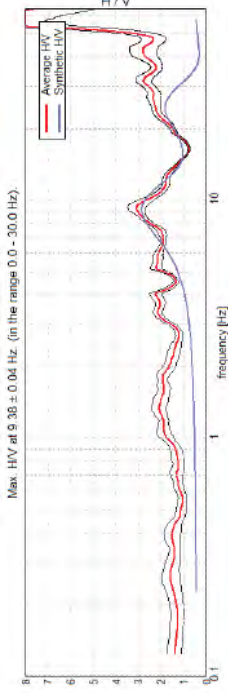


Fig. 2.16-24: Confronto rapporto H/V sperimentale e modello interpretativo PEC11

Tab. 2.16-13: TABELLA CALCOLO Vs30 – TROMINO PEC12

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	170	0.45
12.00	9.00	340	0.44
inf.	inf.	470	0.43

$Vs(0.0-30.0)=364\text{m/s}$

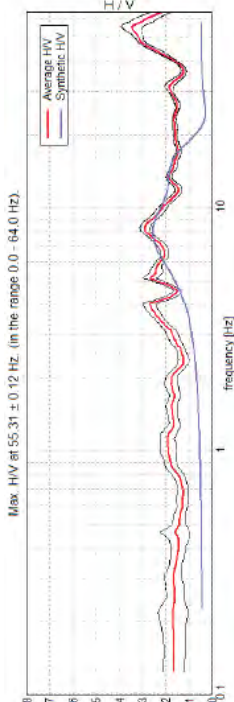


Fig. 2.16-25: Confronto rapporto H/V sperimentale e modello interpretativo PEC12

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

Tab. 2.16-14: TABELLA CALCOLO Vs30 – TROMINO PEC13

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	170	0.45
10.50	8.50	310	0.44
inf.	inf.	500	0.43

$Vs(0.0-30.0)=384\text{m/s}$

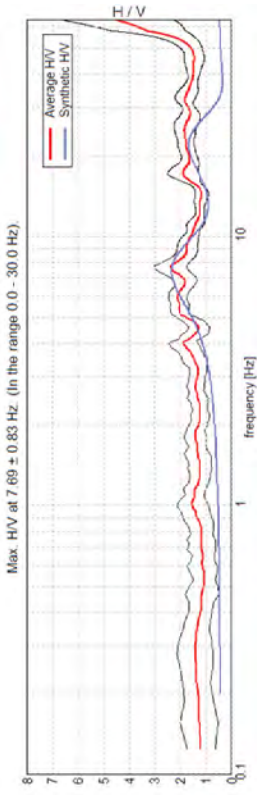


Fig. 2.16-26: Confronto rapporto H/V sperimentale e modello interpretativo PEC13

Analizzando infine i dati in termini frequenziali si può quindi evidenziare che:

- Nelle misure PEC02, PEC03, PEC05, PEC10 e PEC11 il sottosuolo dell'area indagata presenta dei picchi netti di particolare importanza del rapporto H/V per frequenze di interesse geotecnico (7-10 Hz); questo significa che il terreno presenta particolari discontinuità sismostratigrafiche correlabili al passaggio da uno strato con velocità di circa 300 m/s a 500 m/s ad una profondità di circa 9-10 m dal p.c.;
- Nell'altre misure alle stesse frequenze (7-10 Hz) si ha la presenza di picchi del rapporto H/V meno netti; questo significa che il terreno non presenta particolari discontinuità sismostratigrafiche e di conseguenza i profili di velocità aumentano più gradualmente con la profondità senza particolari differenze;
- In alcune acquisizioni si presenta un picco importante per frequenze superiori ai 20 Hz, correlabile con discontinuità di natura superficiale (< 1m);
- Dall'analisi delle quattro acquisizioni si può quindi concludere che il sottosuolo presenta un comportamento amplificativo medio/basso.

3 CARATTERIZZAZIONE SISMICA ATTIVA

Al fini di una completa caratterizzazione sismica dell'area indagata, la campagna di indagine sismica ha previsto l'esecuzione di:

1. Prova Down-hole per l'acquisizione dei tempi di arrivo sia delle onde V_p che delle onde V_s , al fine di determinare un modello monodimensionale verticale di velocità di propagazione delle onde di compressione V_p e delle onde di taglio V_s ;
2. Tomografia sismica con restituzione di profilo tomografico 2D delle onde di compressione V_p ;
3. Tecnica ReMi e MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) che sono una derivazione delle tecniche SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) che si basano sull'elaborazione delle proprietà spettrali delle onde di superficie per la costruzione di un modello monodimensionale verticale di velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

3.1 Indagine Down-hole

La metodologia di indagine down-hole, è impiegata nel campo della ingegneria geotecnica ed è utilizzata essenzialmente per la determinazione delle velocità di propagazione delle onde P e delle onde S nei materiali attraversati dal foro d'indagine.

Lo scopo principale è di determinare l'andamento delle velocità e quindi dei moduli dinamici e del coefficiente di Poisson di tali materiali in funzione della profondità.

I rilievi consistono infatti nella misura dei tempi di percorso che le onde elastiche (P ed S), generate in un punto in superficie vicino alla bocca-foro, impiegano per raggiungere uno o più geofoni posti nel foro a profondità diverse.

La misura dei tempi di percorso è effettuata mediante un'apparecchiatura di acquisizione di segnali sismici digitale, adottando di norma la tecnica di "averaging" dei segnali rilevati per aumentare il rapporto segnale/rumore.

Il geofono nel foro è spostato tra una misura e l'altra di una quantità fissa, compresa di norma tra 1 m e 4 m.

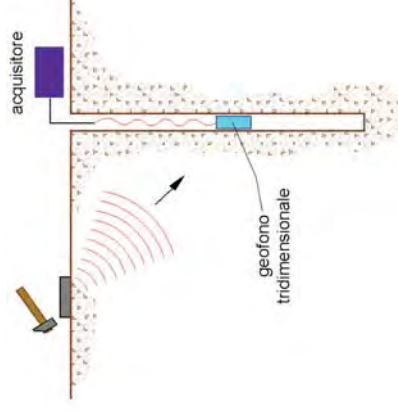


Fig. 3.1-1: Tecnica di acquisizione Down-hole a singolo geofono

Tradizionalmente i passi di elaborazione di indagini VSP o down-hole per indagini geotecniche consistono in:

- lettura dei tempi di arrivo;
- calcolo e rappresentazione delle dromocrone tempi-distanze fra punto di energizzazione e sensori;
- calcolo delle velocità di intervallo;
- eventuale calcolo e rappresentazione del coefficiente di Poisson o dei moduli elastici dinamici.

La lettura del tempo di arrivo viene effettuata tramite picking manuale su personal computer, e note le profondità di misura vengono calcolate le coordinate dei punti di ricezione e quindi le distanze dai o dai punti di energizzazione.

Viene quindi rappresentato l'andamento dei tempi in funzione delle distanze (dromocrone) od in alternativa l'andamento dei tempi in funzione della profondità lungo il foro.

Le prove down-hole sono state eseguite nel foro eseguito e opportunamente attrezzato, con profondità d'indagine, relativa al piano campagna, di **31 m** e passo di misura di **1 m** per le onde P e per le S.

L'energizzazione è stata effettuata battendo una mazza strumentata contro un apposita piastra in ferro infissa nel terreno e posta ad una distanza **4 m** dal foro.

Per la definizione esatta dell'istante di energizzazione è stato utilizzato un dispositivo di trigger fissato direttamente sulla mazza battente.

Inoltre per assicurare il corretto sincronismo del sistema di acquisizione è stato posizionato un geofono da 10 Hz in superficie a circa 5.5 m da boccaforo.

Per le onde P l'energizzazione è stata ottenuta battendo in senso verticale, mentre le onde S sono state generate battendo lateralmente ad entrambe le estremità della piastra orientata perpendicolarmente al raggio uscente dal foro.

Per ogni profondità di misura si sono registrati i segnali generati con battute nei due versi opposti. In questo modo si sono ottenuti oscillogrammi S con segnali in controfase, condizione questa indispensabile per riconoscere l'inversione dei segnali e quindi per ottenere un'accurata individuazione dei tempi di primo arrivo delle onde S.

Per la ricezione delle onde P ed S, è stato utilizzato un geofono tridimensionale Geospace da 10 Hz, dotato di dispositivo di aggancio pneumatico per il fissaggio alle pareti del foro.

I dati sono stati registrati mediante un acquisitore sismico DMT COMPACT a 24 canali con 24 bit di precisione nella conversione A/D equipaggiato con un geofono tridimensionale a frequenza naturale di 10 Hz, ed utilizzando 3 canali per il geofono tridimensionale.

Il sistema permette l'acquisizione, la visualizzazione e la memorizzazione dei segnali oltre all'applicazione di operazioni di "stack" del segnale per ottenere, quando necessario, un miglioramento del rapporto segnale/rumore.

L'acquisizione è stata effettuata utilizzando un passo di campionamento di **1/16 ms** (16 kHz) e un tempo di acquisizione pari a **256 ms** (4096 campioni) per entrambi i segnali generati P e S.

3.2 Elaborazione dati sismici - interpretazione in down-hole con il metodo diretto

Per poter interpretare i dati della indagine Down-hole con il metodo diretto, preliminarmente, bisogna correggere i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde.

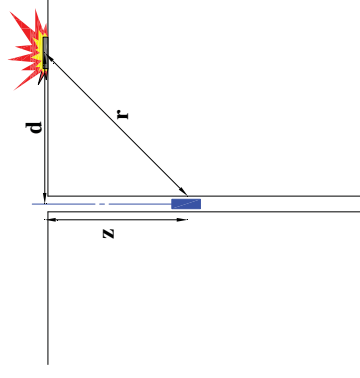


Fig. 3.2-1: Elaborazione di Down-hole con metodo diretto

Se d è la distanza della sorgente dall'asse del foro, r la distanza fra la sorgente e la tripletta di sensori, z la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (tcorr) mediante la seguente formula di conversione:

1) Correzione tempi di arrivo:

$$1.0) \quad t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S si realizza il grafico tcorr – z in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali.

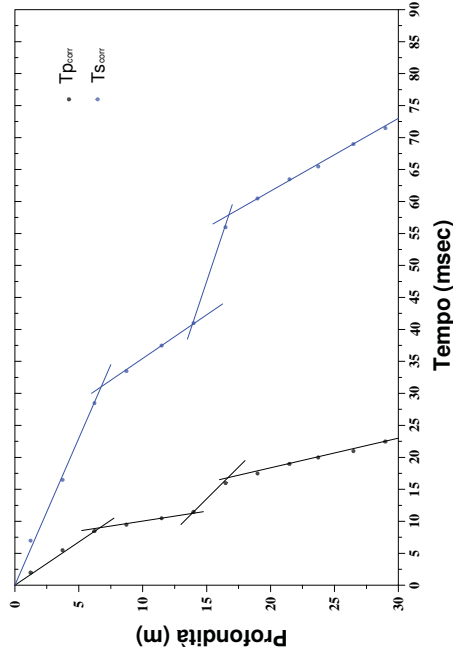


Fig. 3.2-2: Elaborazione di Down-hole con metodo diretto - Dromocrone

Ottenuti graficamente i sismostati si ottengono la densità media, funzione della velocità e della profondità, e i seguenti parametri:

2) coefficiente di Poisson medio:

$$2.0) \nu_{\text{medio}} = 0.5 \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$$

3) modulo di deformazione a taglio medio:

$$3.0) G_{\text{medio}} = \rho V_s^2$$

4) modulo di compressibilità edometrica medio:

$$4.0) E_{\text{medio}} = \rho V_p^2$$

5) modulo di Young medio:

$$5.0) E_{\text{medio}} = 2\rho V_s^2 (1 + \nu)$$

6) modulo di compressibilità volumetrica medio:

$$6.0) E_{\text{vmedio}} = \rho \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$$

Con il metodo dell'intervallo i tempi di tragitto dell'onda sismica vengono interpretati, elaborando e quantificando anche i tempi di arrivo fra due ricevitori consecutivi posti a differente profondità.

Tale metodo è utilizzabile anche quando si dispone di un solo ricevitore, per cui i valori di velocità determinati vengono definiti di *pseudo-intervallo*, consentendo comunque una migliore definizione del profilo di velocità.

Ottenute le misure è possibile calcolare i tempi corretti con la 1.0) e la velocità intervallo delle onde P e S, con relativo grafico, con la formula seguente:

$$7.0) V_{p,s} = \frac{Z_2 - Z_1}{t_{2\text{corr}} - t_{1\text{corr}}}$$

Ottenute le velocità intervallo si calcolano la densità, il coefficiente di Poisson, il modulo di deformazione a taglio, il modulo di compressibilità edometrica, il modulo di Young, il modulo di compressibilità volumetrica per ogni intervallo con le formule riportate sopra.

Il metodo intervallo presenta però dei limiti:

- non tiene conto della velocità degli strati sovrastanti;
- non è applicabile nel caso in cui $t_{2\text{corr}} < t_{1\text{corr}}$.

I tempi dei primi arrivi vengono determinati graficamente e in modalità comparativa, graficando i sismogrammi delle onde P e i sismogrammi delle onde S, per quest'ultimi si grafica sia la battuta destra S1 che la battuta sinistra reciproca S2.

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (P1)

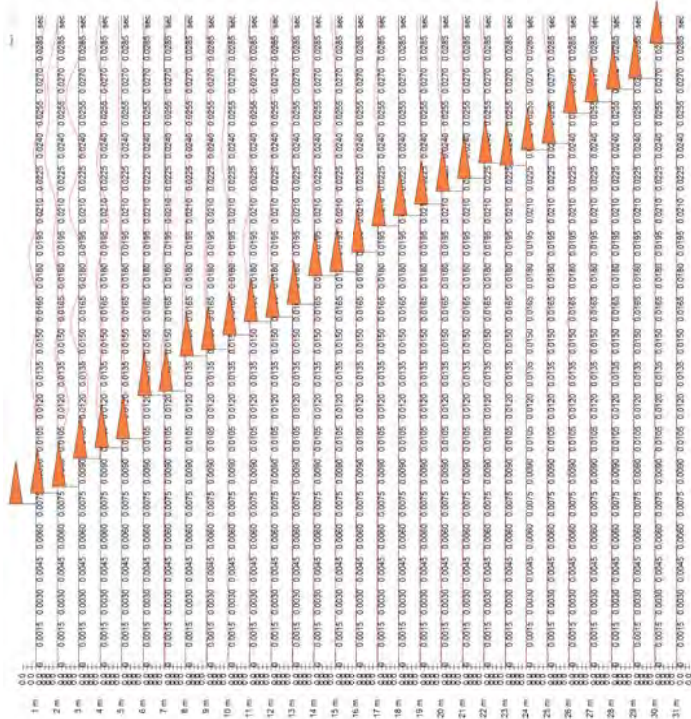


Fig. 3.2-3: Elaborazione dati Down-hole con metodo diretto - Grafico comparativo primi arrivi Vp

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (P1)

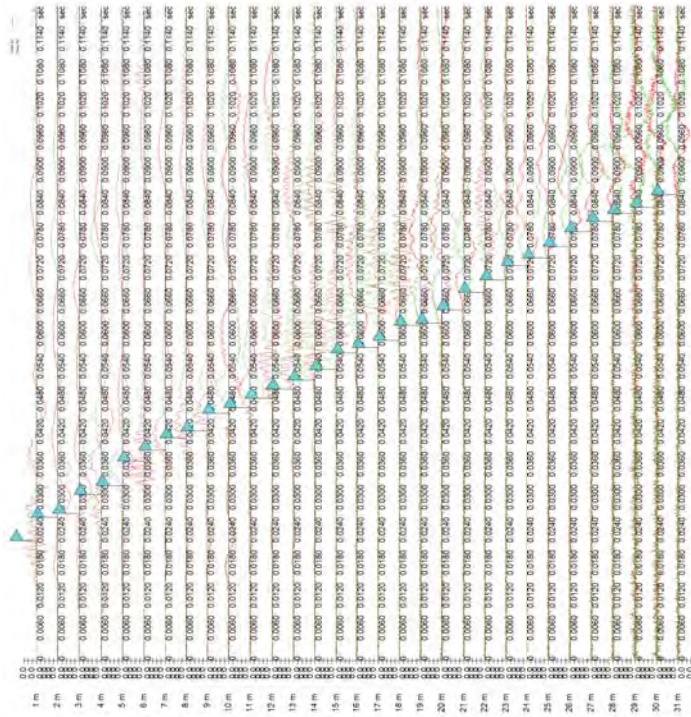


Fig. 3.2-4: Elaborazione dati Down-hole con metodo diretto - Grafico comparativo primi arrivi onde S - battuta S1 + S2

Tab. 3.2-1: Layout geometrico Down-hole

Offset scoppio (m)	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono (m)	Interdistanza (m)
4.0	31	1	1

Tab. 3.2-2: Tempi primi arrivi Down-hole

Registrazione Nr.	Z (m)	Tp (msec)	Ts (msec)
1	1.00	8.9	13.3
2	2.00	9.6	26.3
3	3.00	8.3	27
4	4.00	9.6	30.5
5	5.00	10.1	32.1
6	6.00	10.5	36.6
7	7.00	12.5	38.6
8	8.00	12.7	40.8
9	9.00	14.3	42.1
10	10.00	14.6	45.3
11	11.00	15.3	46.4
12	12.00	15.9	48.1
13	13.00	16.1	49.8
14	14.00	16.7	51.4
15	15.00	18	53.4
16	16.00	18.2	56.4
17	17.00	19.1	57.4
18	18.00	20.3	58.7
19	19.00	20.8	61.5
20	20.00	21.3	61.9
21	21.00	21.9	64.3
22	22.00	22.5	67.5
23	23.00	23.2	69.8
24	24.00	23.1	72.4
25	25.00	23.8	73.8
26	26.00	24.1	75.9
27	27.00	25.5	78.6
28	28.00	26	80.5
29	29.00	26.6	82
30	30.00	27.1	83.1
31	31.00	28.7	86.8

Tab. 3.2-3: Tempi primi arrivi Down-hole corretti per fattore geometrico

SR (m)	Tpcorr (msec)	Tscorr (msec)
4.1231	2.1586	3.2257
4.4721	4.2933	11.7617
5.00	4.98	16.20
5.6569	6.7882	21.5668
6.4031	7.8868	25.0659
7.2111	8.7365	30.453
8.0623	10.853	33.5142
8.9443	11.3592	36.4926
9.8489	13.0675	38.4715
10.7703	13.5558	42.06
11.7047	14.3788	43.6064
12.6491	15.0841	45.6317
13.6015	15.388	47.5978
14.5602	16.0575	49.4223
15.5242	17.3922	51.597
16.4924	17.6566	54.716
17.4643	18.5923	55.8742
18.4391	19.8166	57.3022
19.4165	20.3538	60.1808
20.3961	20.8864	60.6979
21.3776	21.5132	63.1644
22.3607	22.1371	66.4112
23.3452	22.8569	68.7678
24.3311	22.7857	71.4149
25.318	23.5011	72.8731
26.3059	23.8198	75.0174
27.2947	25.2247	77.7514
28.2843	25.7387	79.6909
29.2746	26.3505	81.2309
30.2655	26.8623	82.371
31.257	28.464	86.0863

Tab. 3.2-4: Sismostrati individuati con metodo diretto

Descrizione (-)	Profondità (m)
SISMOSTRATO 01	2
SISMOSTRATO 02	7
SISMOSTRATO 03	10
SISMOSTRATO 04	31

Tab. 3.2-5: Parametri geotecnici medi ottenuti con metodo diretto

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
514.14	173.31	18.83	0.44	57.67	507.56	165.63	430.66
718.39	227.58	18.91	0.44	99.9	995.4	288.55	862.2
1107.01	350.88	20.99	0.44	263.5	2622.81	761.06	2271.48
1409.4	476.95	20.57	0.44	477.05	4165.66	1369.44	3529.6

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)

L'elaborazione dei dati permette di determinare un profilo monodimensionale delle velocità di strato delle onde sismiche, che permette di ovviare alle problematiche presenti nella modellazione diretta, per cui sono insite delle ambiguità interpretative circa lo spessore e velocità dello strato nel senso che lo stesso risultato può essere ottenuto con diversi modelli valendo un principio di equivalenza.

Il parametro determinabile univocamente è infatti rappresentato dal valore del prodotto di spessore e velocità.

Ai fini della determinazione del parametro Vs30 questo non rappresenta una limitazione infatti tale parametro rappresenta proprio la media della velocità delle onde di taglio sui primi 30 m di profondità ed è dato dalla (1):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo per un totale di n strati presenti nei primi 30 metri di profondità.

I risultati dei processi di inversione ed interpretazione, dei dati sismici acquisiti con la tecnica Down-hole, hanno prodotto un profilo di velocità, come di seguito riportato, si evidenzia che i dati della prova sono stati acquisiti fino ai 30 m di profondità dal p.c., e il valore delle Vs30 è derivato dai dati acquisiti fino alla profondità su indicata.

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)

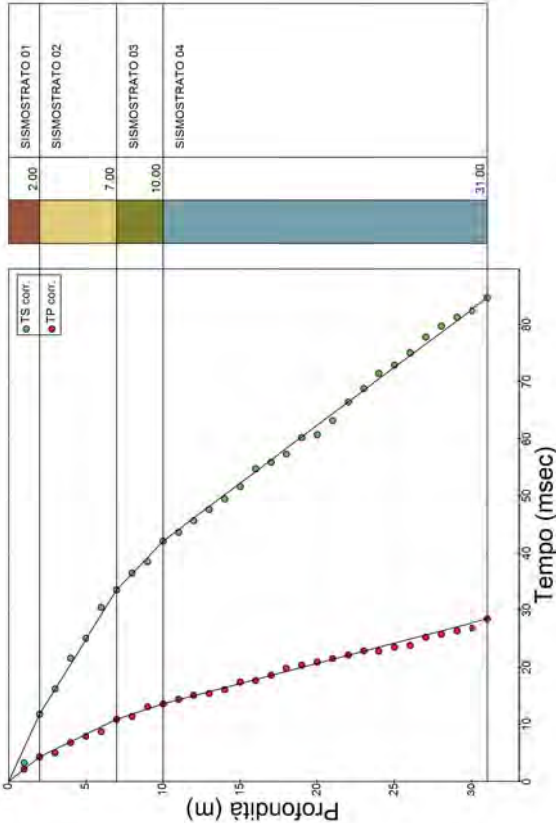


Fig. 3.2-5: Dromocrona ottenuta con metodo diretto

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

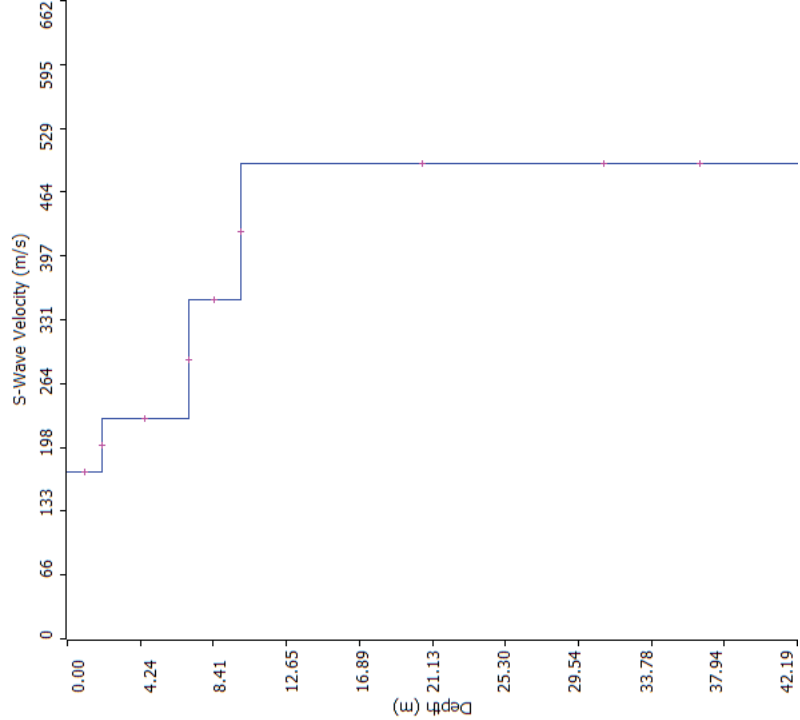


Fig. 3.2-6: Profilo di velocità monodimensionale onde S PROFILO DH01.

Tab. 3.2-6: Vs30 PROFILO DH01

INDAGINE	AREA INDAGINE	Vs30 [m/s]	CATEGORIA SOTTOSUOLO
DH01 – DOWN-HOLE	1	357	C

3.3 Tomografia sismica

La tomografia sismica, per raggi diretti, è una tecnica d’indagine che permette l’individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un potere risolutivo nettamente superiore ad altri metodi, offrendo la possibilità della ricostruzione, con elevato grado di qualità, di anomalie stratigrafiche, anche particolarmente complesse non risolvibili con differenti tecniche d’indagine.

Per le procedure di realizzazione di immagini tomografiche è necessario utilizzare un maggior numero di sorgenti di energizzazione e di punti di ricezione delle onde sismiche, che permettano una distribuzione dei raggi sismici omogenea e con una densità che viene predefinita in funzione del "target" da raggiungere.

Le tecniche operative possono essere molto diverse, si può infatti operare:

- a livello del piano di campagna disponendo i ricevitori (geofoni e idrofoni) ed i trasmettitori (punti di scoppio) su linee parallele;
- utilizzando due fori, residui di sondaggi geognostici, (tomografia cross-hole), dove previo opportuno condizionamento si alloggiano i ricevitori ed i trasmettitori;
- utilizzando un solo foro (sondaggio sismico tomografico), in cui sono alloggiati i ricevitori, eseguendo una serie di tiri a distanze crescenti dall’imboccatura del foro stesso.

Per il trattamento dei dati per la ricostruzione tomografica dell’immagine si utilizza una suddivisione dell’area di studio in celle elementari, calcolando per ciascuna di queste un valore di velocità congruente con il tempo di tragitto medio relativo ai percorsi dei raggi sismici che le attraversano; la presentazione delle elaborazioni eseguite dà come risultato una mappa della distribuzione delle velocità sismiche in una sezione piana contenente le sorgenti ed i geofoni.

Le classiche prospezioni sismiche si basano sul concetto che le onde acustiche si propagano nei diversi mezzi con velocità differenti. Generando tali onde in un punto (detto di scoppio) e osservando i loro tempi di arrivo in altri punti predeterminati (detti di registrazione), è possibile ricostruire la distribuzione di velocità e con questa definire dal punto di vista elastico le aree oggetto di studio e individuare anomalie o corpi anomali.

L’applicazione della tecnica tomografica alle misure sismiche permette poi di ricostruire l’andamento di tale caratteristica fisica all’interno di una porzione di spazio non accessibile direttamente e di ottenere come risultati, immagini che visualizzano le non omogeneità incontrate nel mezzo.

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)

Il risultato finale sarà la rappresentazione delle velocità (in m/s) per piani o sezioni indagate, poi ricostruite in 3D, secondo una scala cromatica prefissata, che in genere va dal blu (basse velocità) al magenta (alte velocità). Quanto più il mezzo attraversato dal suono è rigido e incompressibile, tanto maggiore sarà la sua velocità caratteristica. Valori bassi della velocità mettono in evidenza la variazione negativa delle caratteristiche elastiche e meccaniche, indicando la presenza di un possibile deterioramento della struttura interna.

Per l'inversione dei dati sismici acquisiti è stato utilizzato il software Rayfract ver. 3.12 che è un software di tomografia sismica che impiega le soluzioni Eikonal per il calcolo dei tempi di percorso e per la modellazione della diffrazione, la rifrazione e la trasmissione delle onde sismiche. Questo metodo fornisce un buon fit iniziale tra i primi arrivi di campagna e quelli sintetici. Il modello iniziale viene quindi ottimizzato automaticamente mediante l'inversione tomografica 2D WET (Wavepath Eikonal Traveltime).

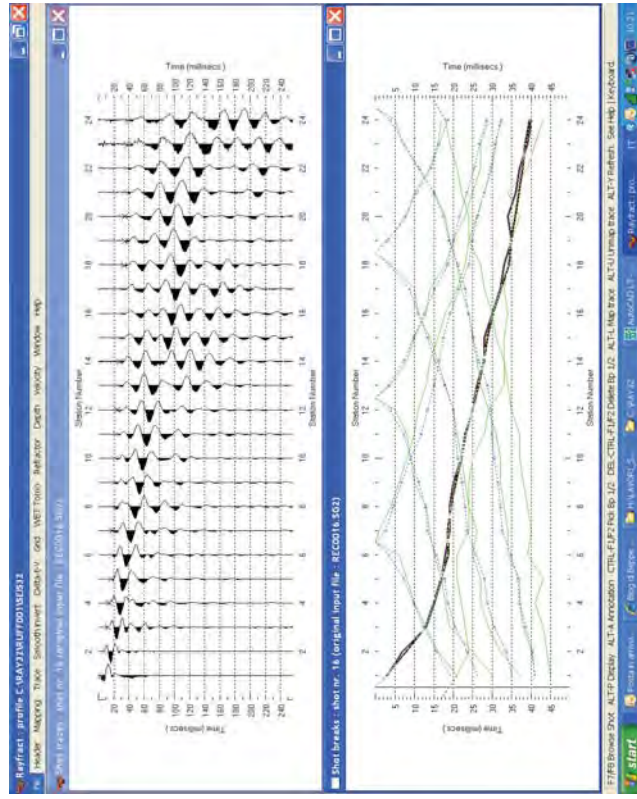


Fig. 3.3-1: CONFRONTO SHOT BREAK PRIMI ARRIVI E DROMOCRONE

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)

La tomografia WET modella i percorsi multipli della propagazione del segnale che contribuiscono ad un primo arrivo. Il procedimento Eikonale, usato per il calcolo dei tempi di percorso, modella la diffrazione, la rifrazione e la trasmissione delle onde sismiche.

Come conseguenza di ciò la capacità di fornire l'imaging di un'anomalia di velocità aumenta rispetto alla tomografia convenzionale del percorso di un raggio sismico.

3.4 La tecnica MASW

Il principio ispiratore della tecnica ReMI e MASW è il carattere dispersivo delle onde di Rayleigh quando queste si propagano in un mezzo stratificato.

La dispersione consiste nella variazione della velocità di fase a diverse frequenze, con l'aumento della lunghezza d'onda (abbassamento di frequenza) la profondità coinvolta dalla propagazione dell'onda è via via maggiore.

È quindi possibile, impiegando onde di un certo intervallo di frequenza, caratterizzare le proprietà acustiche dei terreni sino ad una certa profondità. Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga.

Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomecanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)

(ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarli minimizzando il rumore.

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

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale.

Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomecanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)

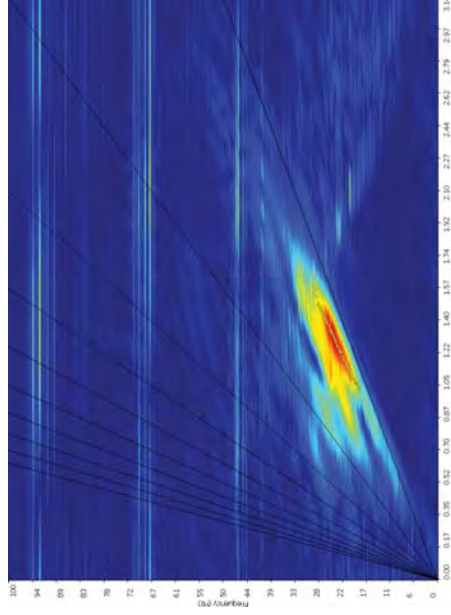


Fig. 3.4-1: SPETTRO F-K tecnica MASW

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione.

E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma.

In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N.

Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo Vs di inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente.

3.5 La tecnica ReMI

La tecnica di analisi del sottosuolo mediante l'uso dei microtremori (Veronese e Garbari, 2004) prende origine dagli studi e dalle sperimentazioni condotte da J. Louie presso la Nevada University.

Il metodo combina la semplicità operativa del SASW con l'elevata risoluzione nei terreni più superficiali propria del MASW.

I microtremori vengono registrati mediante uno stendimento lineare da 24 geofoni a bassa frequenza senza la necessità di dover operare con un sorgente attiva.

I dati vengono acquisiti mediante la classica strumentazione impiegata per i rilievi a rifrazione.

Generalmente si impiegano geofoni con frequenza variabile da 4 a 14 Hz e tempi di registrazione di 15-30 s. L'impiego di campionatori di elevata dinamica (cioè superiori a 144 dB) consente poi di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni.

È quindi teoricamente possibile registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza è compreso nell'intervallo tra 2 Hz e 25-30 Hz.

Questo intervallo, in condizioni ottimali, può consentire di stimare, con buon dettaglio, il profilo della V_s nei primi cento metri di profondità.

Il rumore registrato viene convertito dal dominio x-t al dominio p-f (slowness-frequenza) nel quale viene rappresentato lo spettro di potenza delle onde di superficie (un esempio in tal senso è visibile in Fig. 3.5-1).

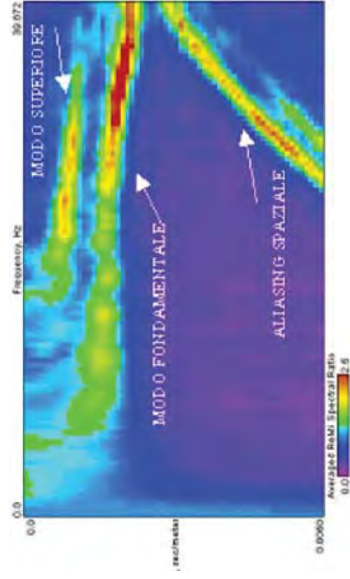


Fig. 3.5-1: SPETTRO p-f tecnica ReMI

3.6 Elaborazione dati sismici

Sono stati acquisiti **6 profili sismici** con tecnica tomografica, MASW e ReMI con giacitura come da allegato A, particolarmente significativa delle aree da investigare.

Per l'acquisizione dei dati sismici è stato impiegato un amplificatore sismico DMT COMPACT a 24 canali con 24 bit di precisione nella conversione A/D equipaggiato con geofoni a frequenza naturale di 8 Hz.

I parametri delle stese sismiche sono i seguenti, relativamente alla tecnica della **TOMOGRAFIA SISMICA e del MASW/ReMI**

- Energizzazione TOMOGRAFIA e MASW con mazza triggerata da 8 kg;
- Punto di battuta OFFSET TOMOGRAFIA e MASW, diretto, posizionato a 7.5/10 metri di distanza dal 1° geofono;
- Punti di battuta INSET TOMOGRAFIA, presso geofoni 1-0.75/1, 3+0.75/1, 6+0.75/1, 9+0.75/1, 12+0.75/1, 15+0.75/1, 18+0.75/1, 21+0.75/1 e 24+0.75/1; pari a 10 battute per ogni profilo sismico comprese battute OFFSET;
- Distanza intergeofonica pari a 1.5/2 m e lunghezza totale stesa sismica di 34.5/46 m + 7.5/10 m di offset;
- Tempo di campionamento pari a 1 ms;
- Periodo di acquisizione TOMOGRAFIA di 1024 campioni, pari a 1s;
- Periodo di acquisizione MASW di 4096 campioni, pari a 4 s;
- Sessioni di acquisizione ReMI pari a 10;
- Periodo di acquisizione per ogni sessione ReMI di 30208 campioni, pari a 30 s;

In corrispondenza di ciascun profilo sono state quindi acquisite numerose sessioni di registrazione, con controllo in tempo reale dei dati. Le registrazioni di scarsa qualità oppure quelle caratterizzate dalla presenza di rumore polarizzato sono state scartate.

Le sessioni di registrazione, in formato originario SEG2, vengono visualizzate in tempo reale in cantiere per una loro preliminare valutazione.

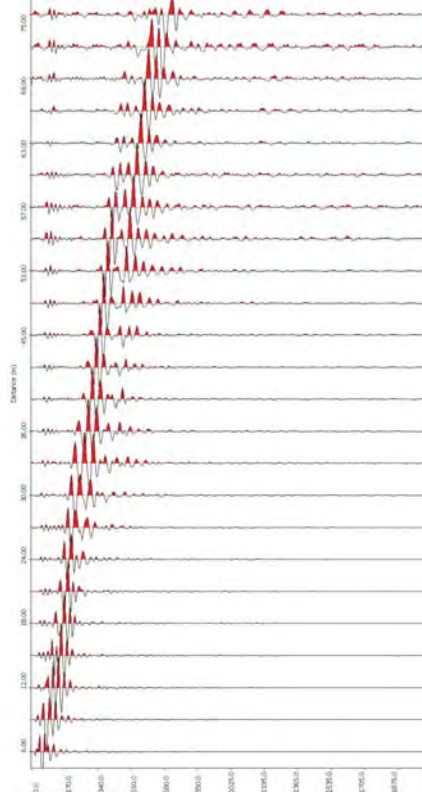


Fig. 3.6-1: Sismogramma medio acquisizione MASW

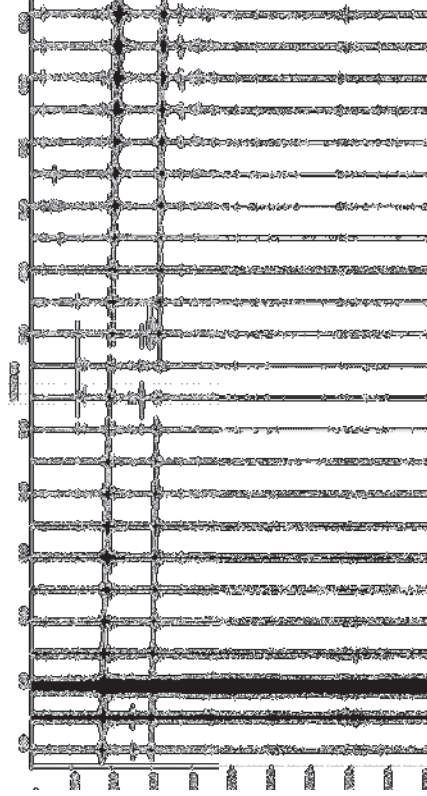


Fig. 3.6-2: Sismogramma medio acquisizione ReMI

In fase di acquisizione dei dati ciascuna sessione di registrazione è stata pre-elaborata per valutare contestualmente la qualità del dato registrato.

Nel caso in cui il modo fondamentale delle onde di superficie non venga campionato correttamente risulta impossibile stimare la curva di dispersione e costruire il modello verticale di velocità delle Vs.

Altre cause di disturbo, abbastanza frequenti nelle registrazioni passive, possono essere determinate dalla presenza di rumore polarizzato. In questo caso potrebbe essere consigliabile ruotare lo stendimento di novanta gradi e ripetere alcune sessioni di registrazione.

La presenza di una sorgente polarizzata può infatti determinare la sottostima della velocità di fase durante l'operazione di determinazione della curva di dispersione nel dominio p-f.

I dati sono stati elaborati mediante il software commerciale "SWAN ver. 1.4" prodotto dalla GeoStudi Astier di Livorno.

Nella prima fase di elaborazione dei dati si inseriscono i parametri geometrici e si determina la frequenza massima da indagare, la velocità di fase minima di partenza ed il numero di vettori, al fine di ottenere lo spettro F-K.

La fase successiva consiste nella stima della curva di dispersione, e durante questa fase di elaborazione è opportuno selezionare esclusivamente le terne (frequenza, slowness, rapporto spettrale) con una buona coerenza ed intensità di segnale dello spettro di potenza. A parità di frequenza la velocità scelta è diversa a seconda della metodica di analisi MASW e ReMI, in quanto per il MASW deve essere quella coincidente con il picco massimo di intensità del segnale, mentre per il ReMI quella più bassa prossima al confine tra incoerenza propria del rumore e segnale.

Questo è determinato dal fatto che i microtremori non provengono da un'unica sorgente e che l'energia del rumore che attraversa obliquamente lo stendimento appare nell'immagine p-f con una velocità apparente (V_a) più elevata di quella reale (V_r) osservabile in linea.

I dati selezionati dall'immagine F-K vengono plottati su un diagramma nel quale compare anche una curva di dispersione calcolata a partire da un modello di Vs che è modificabile dall'interprete.

Variando numero di strati, spessore e velocità di ciascuno strato del modello è possibile adattare la curva calcolata a quella sperimentale ottenuta mediante l'analisi spettrale.

Si tratta di un processo di modellazione diretta monodimensionale (simile alle tecniche impiegate per l'inversione dei SEV - Sondaggi Elettrici Verticali) la cui affidabilità dipende dalle capacità e dall'esperienza dell'analista e dalla possibilità di avere dei parametri di

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)

controllo e di taratura (i.e. altre informazioni di tipo geofisico e stratigrafico).

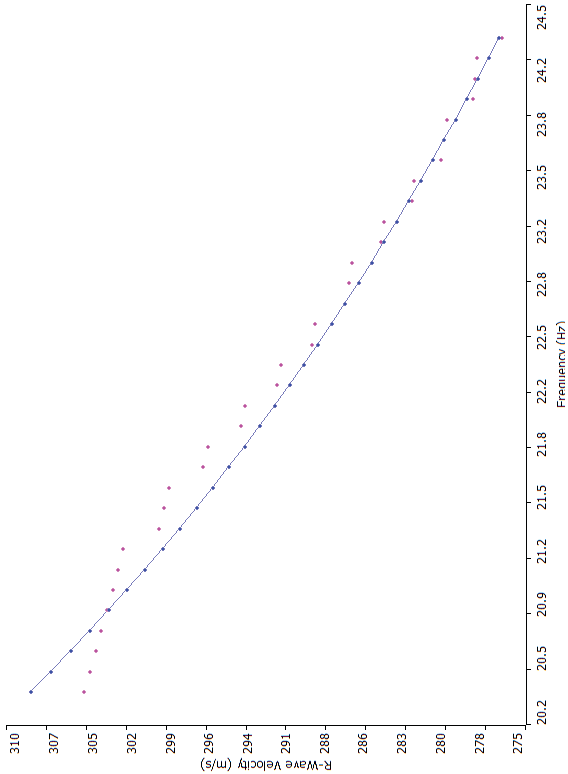


Fig. 3.6-3: Confronto tra curva sperimentale (punti rossi) e curva teorica (punti blu) calcolata per il modello verticale di Vs riferito al MASW S03.

In questo tipo di approccio (modellazione diretta) sono insite delle ambiguità interpretative circa spessore e velocità dello strato nel senso che lo stesso risultato può essere ottenuto con diversi modelli valendo un principio di equivalenza. Il parametro determinabile univocamente è infatti rappresentato dal valore del prodotto di spessore e velocità. Ai fini della determinazione del parametro Vs30 questo non rappresenta una limitazione infatti tale parametro rappresenta proprio la media della velocità delle onde di taglio sui primi 30 m di profondità ed è dato dalla (1):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo per un totale di n strati presenti nei primi 30 metri di profondità.

I risultati dei processi di inversione ed interpretazione, dei dati sismici acquisiti sia con

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)

la tecnica MASW che ReMI hanno prodotto il profilo di velocità, come riportato in allegato A e nella figura seguente.

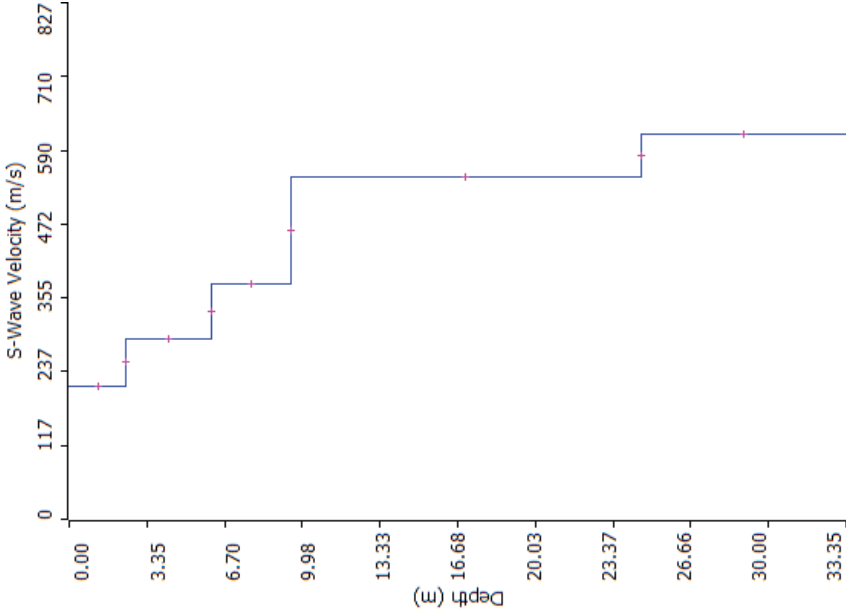


Fig. 3.6-4: Profilo di velocità monodimensionale onde S stesa MASW S03.

3.7 D.M. 14/01/2008 N.C.T. - CATEGORIE di PROFILO SISMICO-STRATIGRAFICO

I valori del parametro Vs calcolati permettono la definizione delle categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione, come previsto dalla vigente normativa (DM 14/01/08 NTC) ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto.

Ai fini della definizione delle "categorie di sottosuolo" si definiscono le seguenti tipologie stratigrafiche (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

- A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
- B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
- C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < Cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
- D) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
- E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

In aggiunta a queste categorie se ne definiscono altre due:

- S1) Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < Cu_{30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

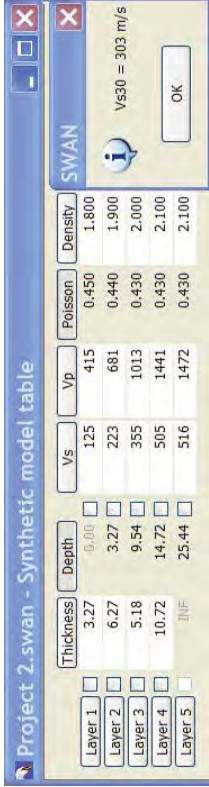
- S2) Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

In base ai risultati ottenuti dall'interpretazione dei profili di velocità con tecnica MASW e ReMI, si evidenzia il valore numerico delle V_{s30} relativo alla diverse stese sismiche con il fit migliore di cui:

Tab. 3.7-1: RIEPILOGO CALCOLO V_{s30}

INDAGINE	AREA INDAGINE	V_{s30} [m/s]	CATEGORIA SOTTOSUOLO
PEC01 - TROMINO	1	333	C
PEC02 - TROMINO	1	360	C
PEC03 - TROMINO	1	377	B
PEC04 - TROMINO	1	398	B
PEC05 - TROMINO	1	381	B
PEC06 - TROMINO	1	368	B
PEC07 - TROMINO	1	418	B
PEC08 - TROMINO	1	413	B
PEC09 - TROMINO	1	383	B
PEC10 - TROMINO	1	387	B
PEC11 - TROMINO	1	396	B
PEC12 - TROMINO	1	364	B
PEC13 - TROMINO	1	384	B
DH01 – DOWN-HOLE	1	357	C
MASW 01	1	303	C
MASW 02	1	327	C
MASW 03	1	432	B
MASW 04	1	387	B
MASW 05	1	338	C
MASW 06	1	368	B

Tab. 3.7-2: MODELLO CALCOLO V_{s30} MASW S01



Tab. 3.7-3: MODELLO CALCOLO Vs30 MASW S02

Project 2.swan - Synthetic model table

Layer	Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
Layer 1	2.19	0.00	102	338	0.450	1.800
Layer 2	4.13	2.19	256	782	0.440	1.900
Layer 3	6.13	6.31	307	876	0.430	2.000
Layer 4	11.99	12.44	502	1432	0.430	2.100
Layer 5	INF	24.43	536	1530	0.430	2.100

SWAN
Vs30 = 327 m/s
OK

Tab. 3.7-4: MODELLO CALCOLO Vs30 MASW S03

Project 3.swan - Synthetic model table

Layer	Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
Layer 1	2.45	0.00	213	574	0.420	1.800
Layer 2	3.66	2.45	289	708	0.400	1.900
Layer 3	3.39	6.11	376	921	0.400	2.000
Layer 4	15.05	9.50	549	1248	0.380	2.200
Layer 5	INF	24.55	616	1400	0.380	2.300

SWAN
Vs30 = 432 m/s
OK

Tab. 3.7-5: MODELLO CALCOLO Vs30 MASW S04

Project 5.swan - Synthetic model table

Layer	Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
Layer 1	0.83	0.00	139	425	0.440	1.800
Layer 2	7.10	0.83	284	837	0.435	1.900
Layer 3	1.97	7.93	457	1304	0.430	2.000
Layer 4	13.77	9.89	470	1301	0.425	2.100
Layer 5	INF	23.66	489	1354	0.425	2.100

SWAN
Vs30 = 387 m/s
OK

Tab. 3.7-6: MODELLO CALCOLO Vs30 MASW S05

Project 2.swan - Synthetic model table

Layer	Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
Layer 1	2.79	0.00	116	385	0.450	1.800
Layer 2	4.30	2.79	293	895	0.440	1.900
Layer 3	2.72	7.09	304	867	0.430	2.000
Layer 4	14.60	9.82	484	1381	0.430	2.100
Layer 5	INF	24.41	510	1456	0.430	2.100

SWAN
Vs30 = 338 m/s
OK

Tab. 3.7-7: MODELLO CALCOLO Vs30 MASW S06

Project 1.swan - Synthetic model table

Layer	Thickness	Depth	Vs	Vp	Poisson	Density
Layer 1	2.12	0.00	109	362	0.450	1.800
Layer 2	6.11	2.12	297	907	0.440	1.900
Layer 3	9.30	8.23	520	1484	0.430	2.000
Layer 4	5.98	17.54	524	1495	0.430	2.100
Layer 5	INF	23.52	534	1525	0.430	2.100

SWAN
Vs30 = 368 m/s
OK

Per i sismogrammi analizzati, è stato generalmente possibile evidenziare un miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche, caratterizzato da velocità Vs crescenti con la profondità.

Come indicato dalla normativa vigente il sottosuolo resede di indagine, risulta classificabile come:

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

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)

3.8 CONCLUSIONI

Le misure effettuate con tecnica sismica attiva Down-hole, ReMi e MASW, e passiva Tromino hanno consentito di ottenere delle informazioni sulla stratificazione acustico-elastica del sottosuolo ed in particolare hanno permesso di stimare il profilo verticale delle onde di taglio (V_s) nei primi 30 m di profondità.

Le aree oggetto di indagine, ubicate presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI), hanno evidenziato dei valori del parametro V_{s30} , determinati con l'elaborazione dei dati sismici da Down-hole, MASW, con risultati compresi fra 303 e 432 m/s.

Si evidenzia che, benché numericamente il sottosuolo risulti a cavallo tra le categorie B e C, i valori delle V_{s30} sono sempre prossimi al valore limite di V_{s30} della categoria C, per cui, a favore di sicurezza, si ritiene che il sottosuolo resede dell'area oggetto di studio può essere definito come:

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

In questi suoli il fattore S_f relativo al profilo stratigrafico del suolo di fondazione risulta essere pari a $S = S_s * S_f$.

Dove S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica, desumibile dalla Tab. 3.2.V delle NCT2008 in base al tempo di ritorno assegnato in funzione della tipologia ed importanza dell'opera progettata.

Dove S_f è il coefficiente di amplificazione topografica, desumibile dalla Tab. 3.2.VI e indicato nella relazione geologica.

ENKI s.r.l.
Società di Ingegneria Ambientale e Civile
Via Giambattista Lulli, 62 - 50144 FIRENZE
Tel. 055.3247209 - Fax 055.3289276
Web: www.enki.it
REA CROCE (FI n° 510882) - Rep. Imp. FI n° 9079/2000
Partita IVA 0500670480



ENKI s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

ALLEGATO A

DROMOCRONE DOWN-HOLE

PROFILI SISMICI VELOCITA' V_s MASW

TOMOGRAFIE SISMICHE 2D VELOCITA' ONDE P

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremiti e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

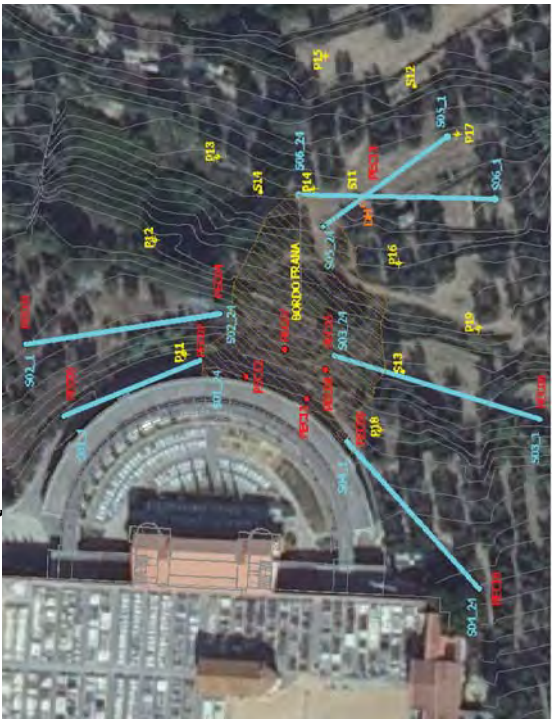
AII. A Tav. A01 INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO GENERALE



Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Luini 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremiti e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

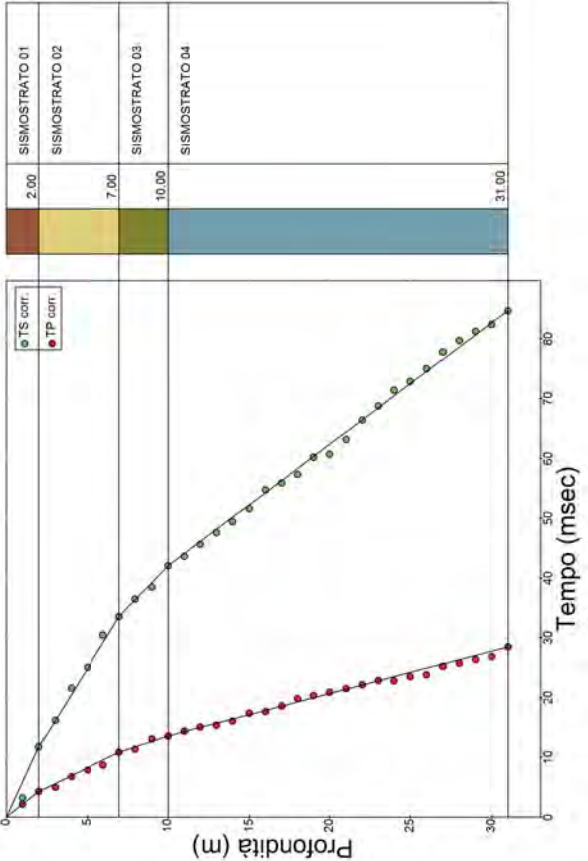
AII. A Tav. A02 INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO DI DETTAGLIO



Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Luini 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

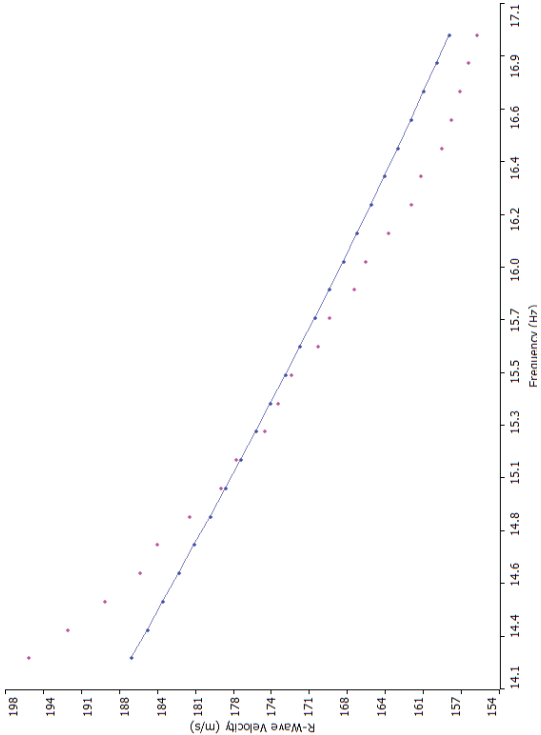
Alt. A Tav. A03 DROMOCRONE DH01



Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale - Firenze
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 055289276

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

Alt. A Tav. A04 CURVA DI DISPERSIONE S01

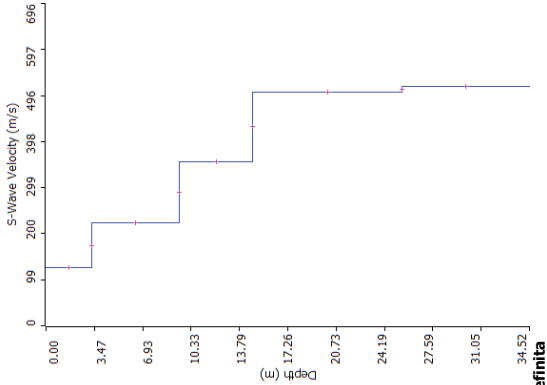


Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale - Firenze
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 055289276

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

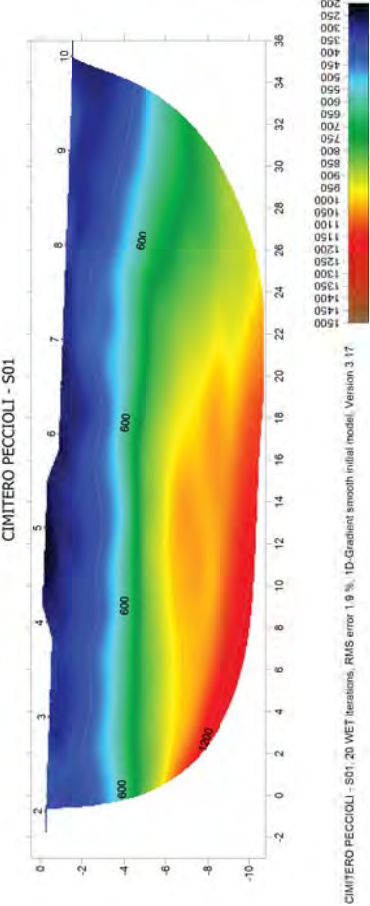
AII. A Tav. A05 **PROFILO VELOCITA' Vs30 MASW01**



Scala orizzontale e verticale non definita

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

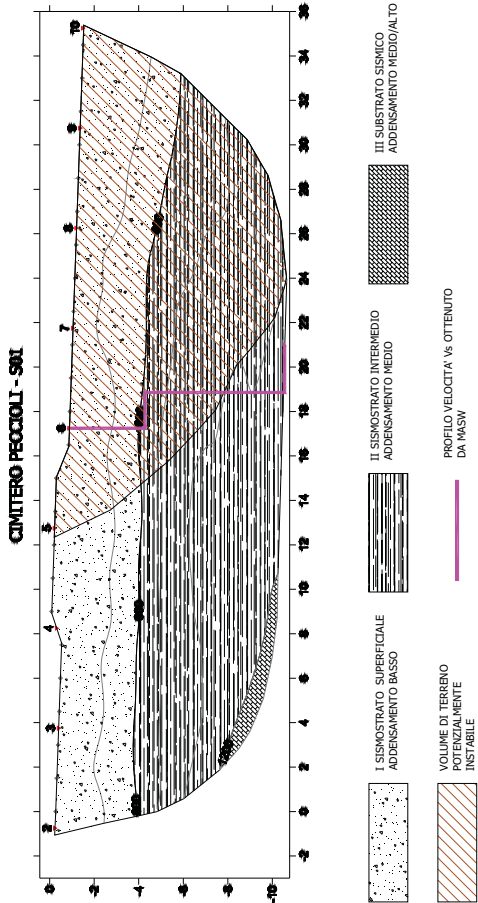
AII. A Tav. A06 **TOMOGRAFIA SISMICA 2D – PROFILO S01 – VELOCITA' ONDE P**



Scala orizzontale e verticale 1:1

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

Alf. A Tav. A07 SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA S01

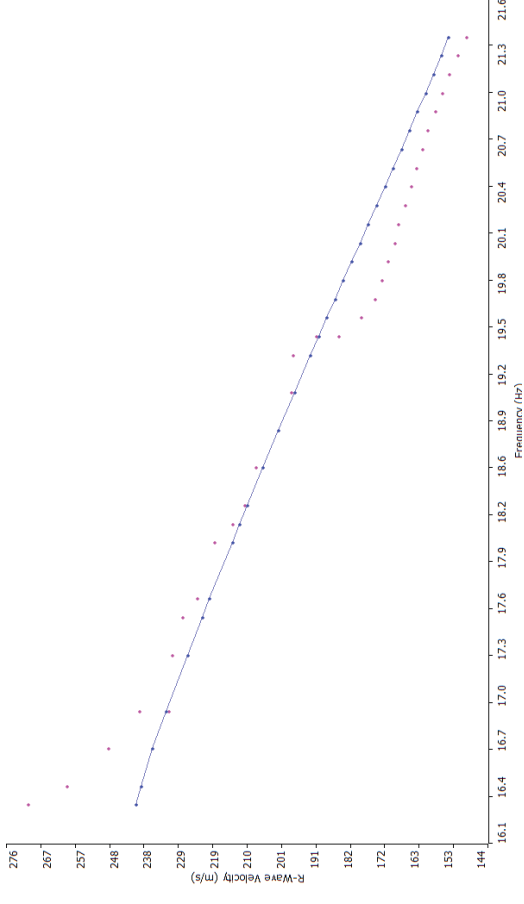


Scala orizzontale e verticale 1:1

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

Alf. A Tav. A08 CURVA DI DISPERSIONE S02



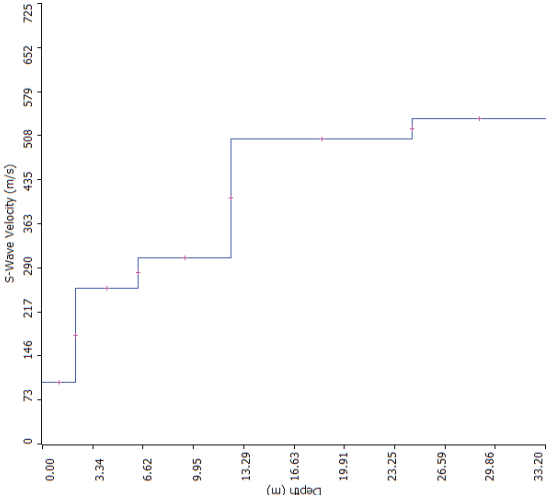
Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

Alt. A Tav. A09

PROFILO VELOCITA' Vs30 MASW02

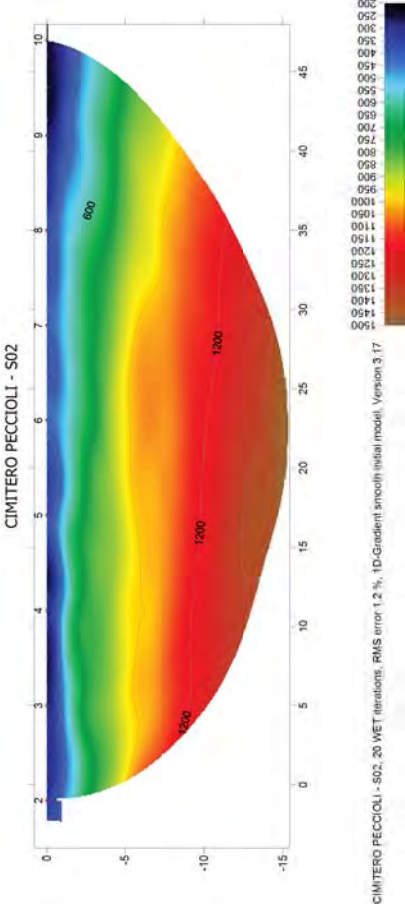


Scala orizzontale e verticale non definita

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

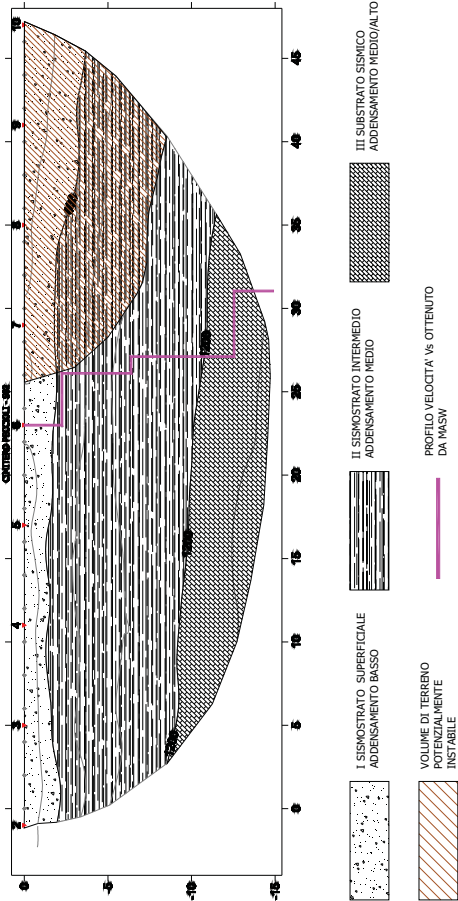
Alt. A Tav. A10

TOMOGRAFIA SISMICA 2D – PROFILO S02 – VELOCITA' ONDE P



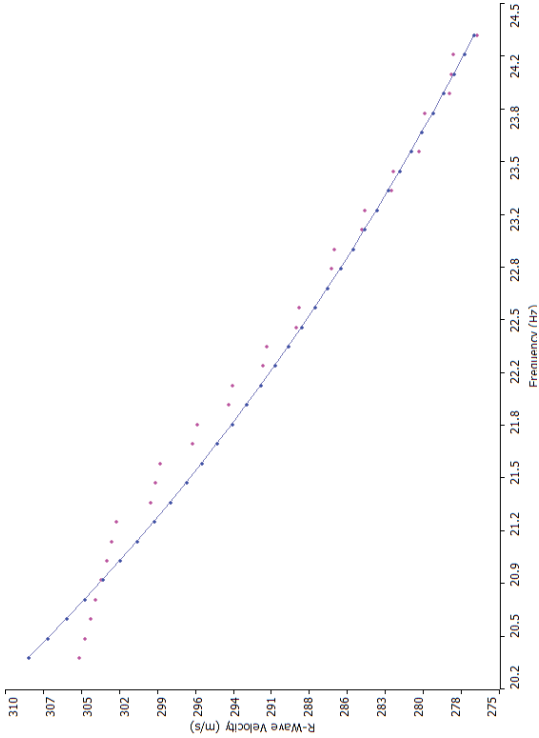
Scala orizzontale e verticale 1:1

AII. A Tav. A11 SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA S02



Scala orizzontale e verticale 1:1

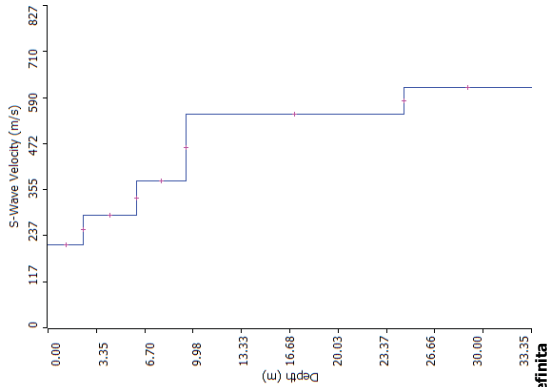
AII. A Tav. A12 CURVA DI DISPERSIONE S03



Scala orizzontale e verticale non definita

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)

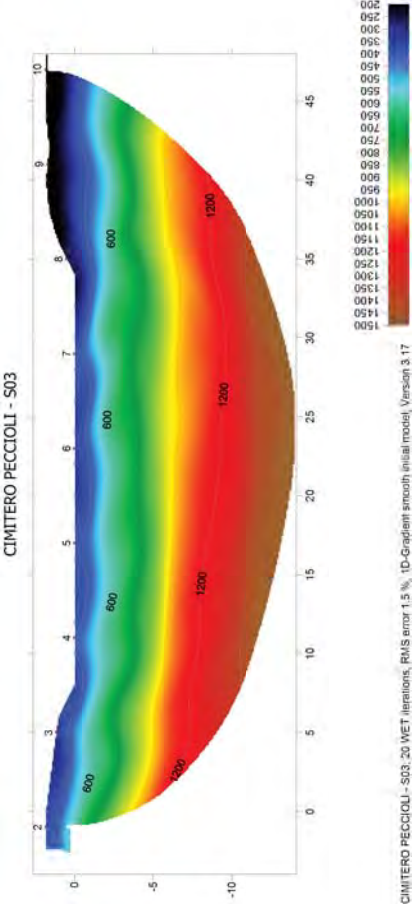
Alt. A Tav. A13 PROFILO VELOCITA' Vs30 MASW03



Scala orizzontale e verticale non definita

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)

Alt. A Tav. A14 TOMOGRAFIA SISMICA 2D – PROFILO S03 – VELOCITA' ONDE P

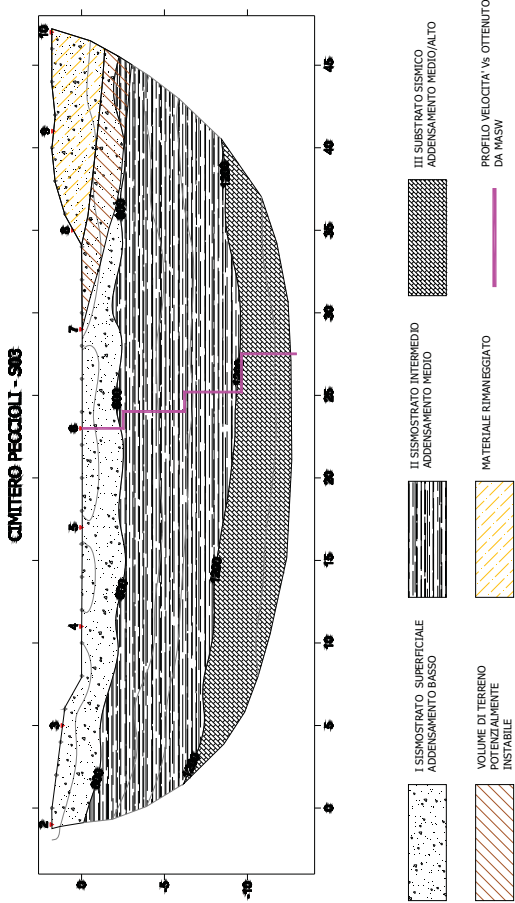


CIMITERO PECCIOLI - S03: 20 WET iterations, RMS error 1.5 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.17

Scala orizzontale e verticale 1:1

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

Alt. A Tav. A15 SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA S03

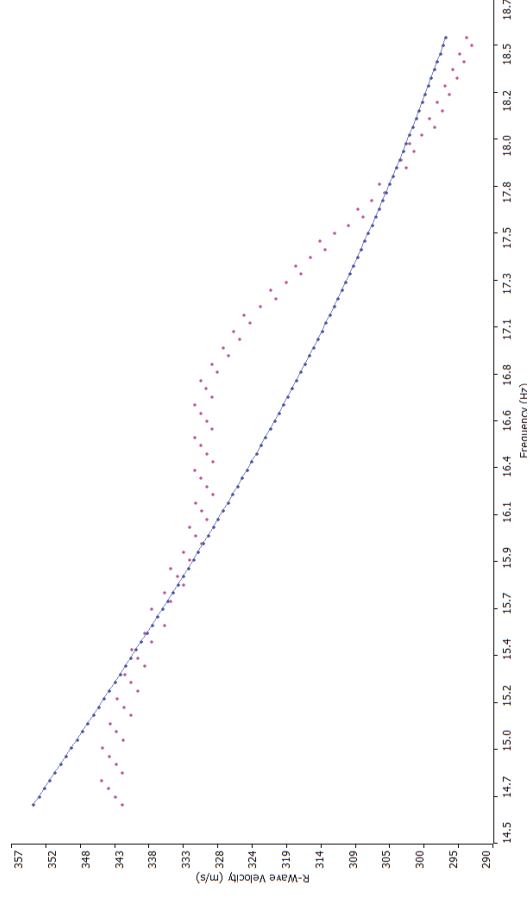


Scala orizzontale e verticale 1:1

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Luini 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

Alt. A Tav. A16 CURVA DI DISPERSIONE S04



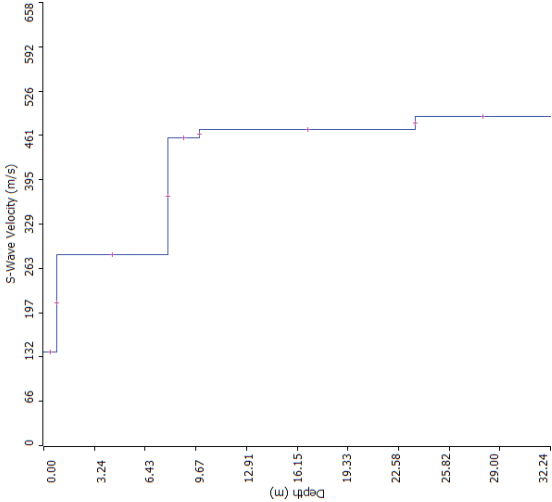
Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Luini 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

AII. A Tav. A17

PROFILO VELOCITA' Vs30 MASW04

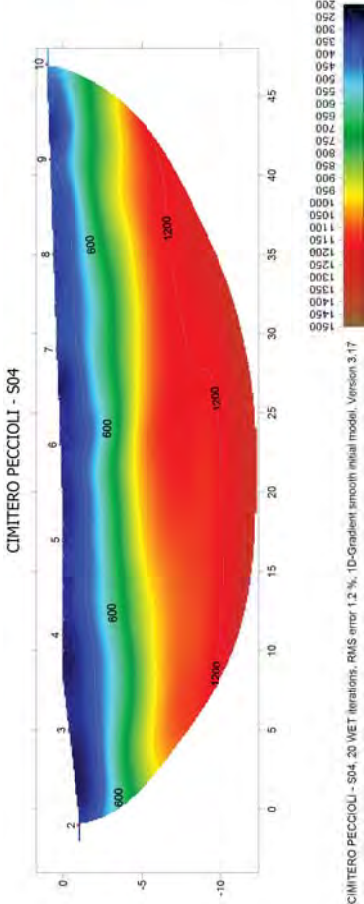


Scala orizzontale e verticale non definita

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

AII. A Tav. A18

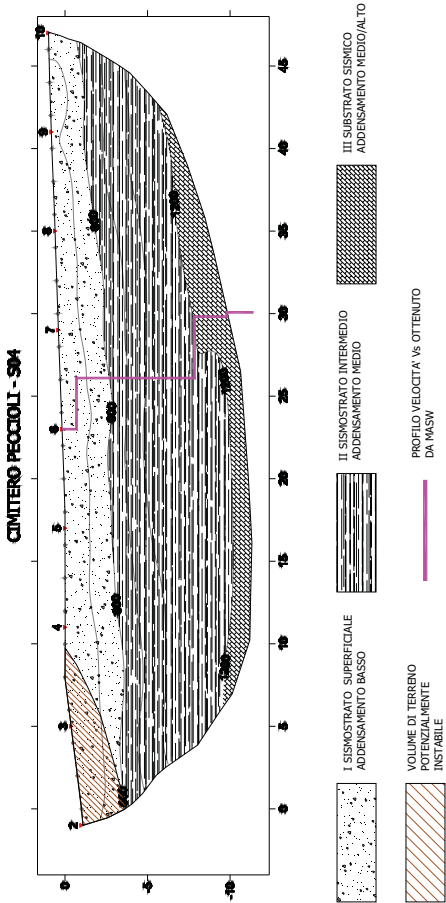
TOMOGRAFIA SISMICA 2D – PROFILO S04 – VELOCITA' ONDE P



Scala orizzontale e verticale 1:1

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

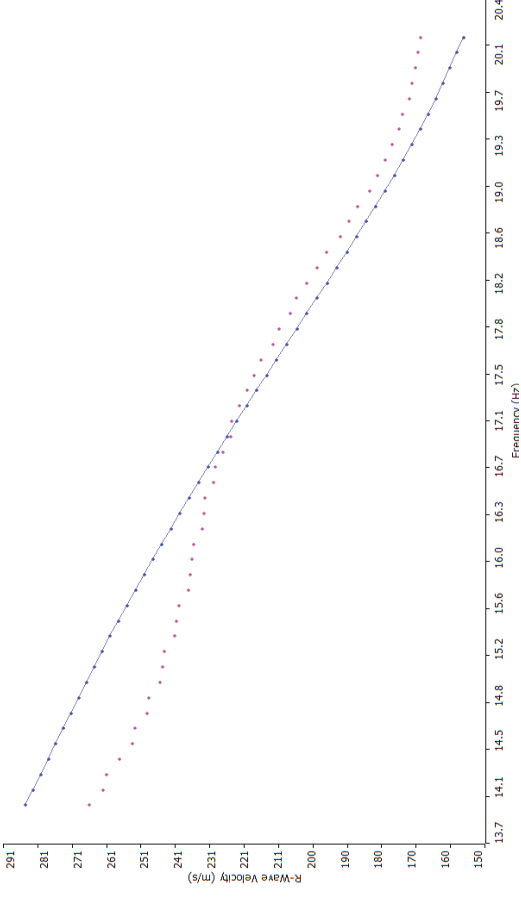
AII. A Tav. A19 SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA S04



Scala orizzontale e verticale 1:1

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

AII. A Tav. A20 CURVA DI DISPERSIONE S05

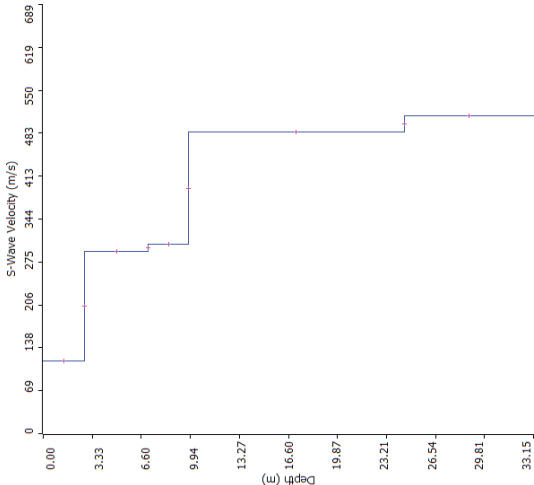


Scala orizzontale e verticale non definita

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

AII. A Tav. A21

PROFILO VELOCITA' Vs30 MASW05

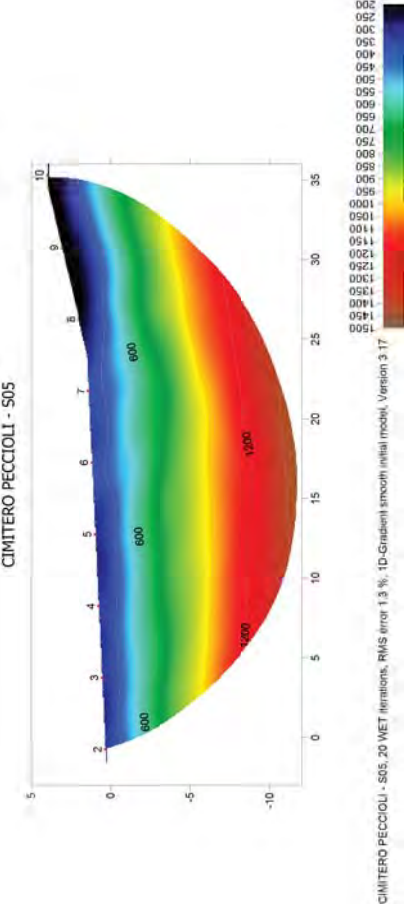


Scala orizzontale e verticale non definita

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

AII. A Tav. A22

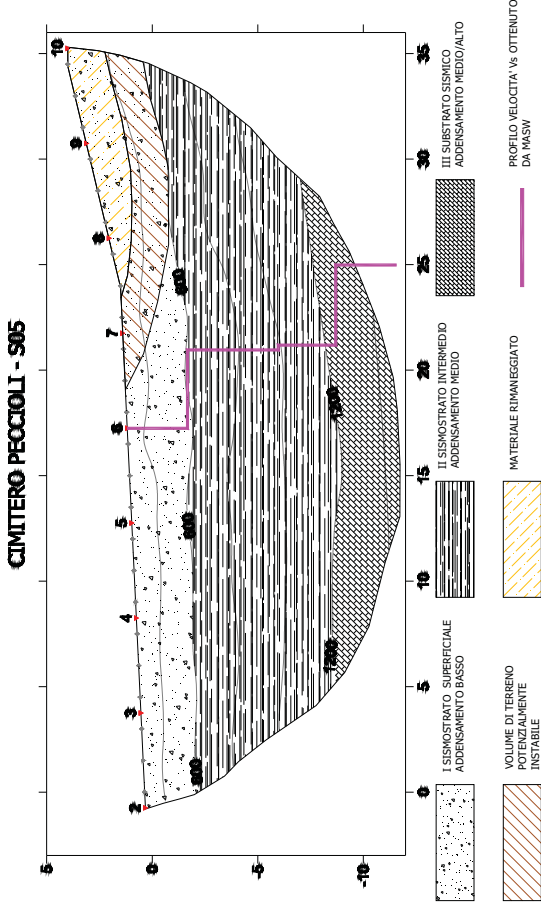
TOMOGRAFIA SISMICA 2D – PROFILO S05 – VELOCITA' ONDE P



Scala orizzontale e verticale 1:1

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)

AII. A Tav. A23 SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA S05

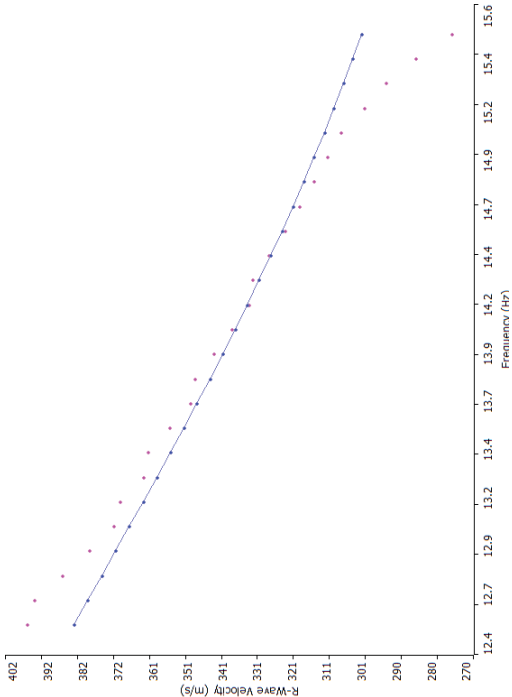


Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Luini 62 Tel. 0553247209 Fax. 055289276

Scala orizzontale e verticale 1:1

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)

AII. A Tav. A24 CURVA DI DISPERSIONE S06



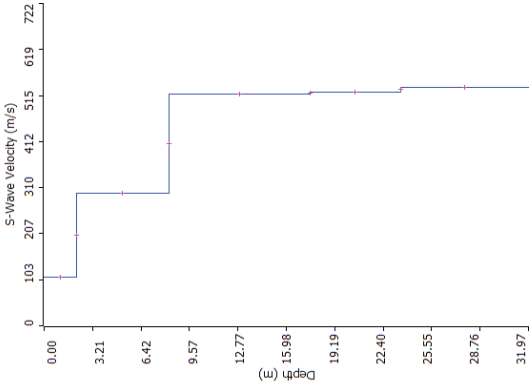
Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Luini 62 Tel. 0553247209 Fax. 055289276

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

Alt. A Tav. A25

PROFILO VELOCITA' Vs30 MASW06

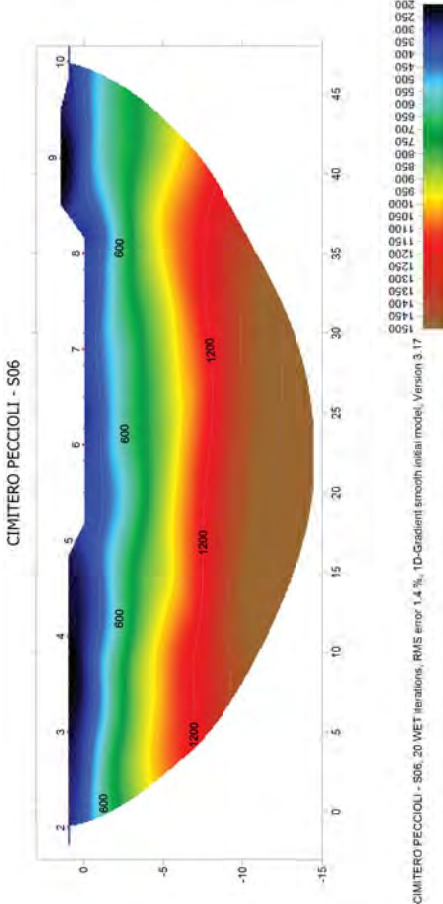


Scala orizzontale e verticale non definita

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PT)

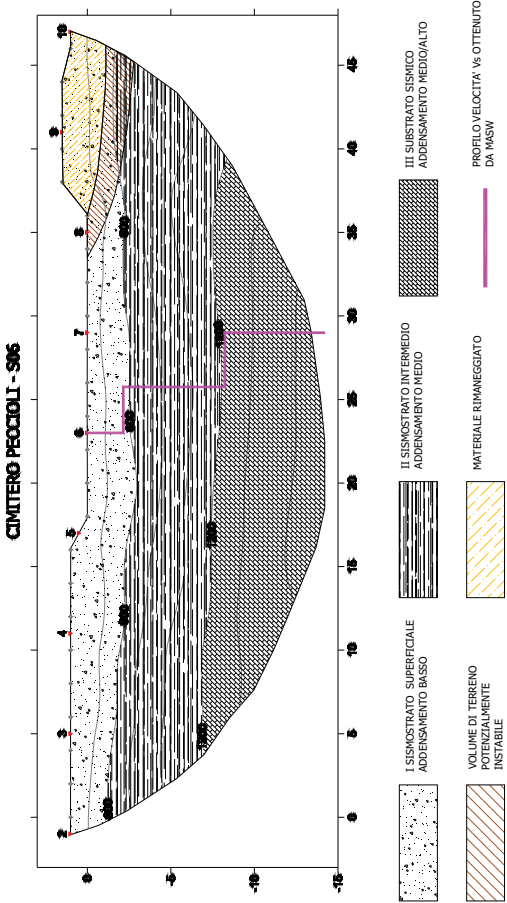
Alt. A Tav. A26

TOMOGRAFIA SISMICA 2D – PROFILO S06 – VELOCITA' ONDE P



Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)

III. A Tav. A27 SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA S06



Scala orizzontale e verticale 1:1

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

ALLEGATO B
FOTOGRAFICO



Foto 1: Misura down-hole DH01



Foto 2: Misura microtremore PEC07



Foto 3: Misura microtremore PEC08



Foto 4: Stesa sismica S01

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)



Foto 5: Stesa sismica S02



Foto 6: Stesa sismica S03

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

4

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)



Foto 7: Stesa sismica S04



Foto 8: Stesa sismica S05

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

5

Indagini geofisiche integrate, di acquisizione e interpretazione di misure di microtremori e sismica attiva, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo presso il cimitero di Peccioli, Pisa (PI)



Foto 9: Stesa sismica S06

Allegato n° 1f

Indagini pregresse

Estrate da:

Ampliamento del cimitero comunale di Peccioli Capoluogo. Indagine geologica e caratterizzazione geotecnica del sottosuolo. Geoprogetti. Maggio 1999.

Committente: Comune di Peccioli

Prova penetrometrica n°:

1

Località: Cimitero di Peccioli

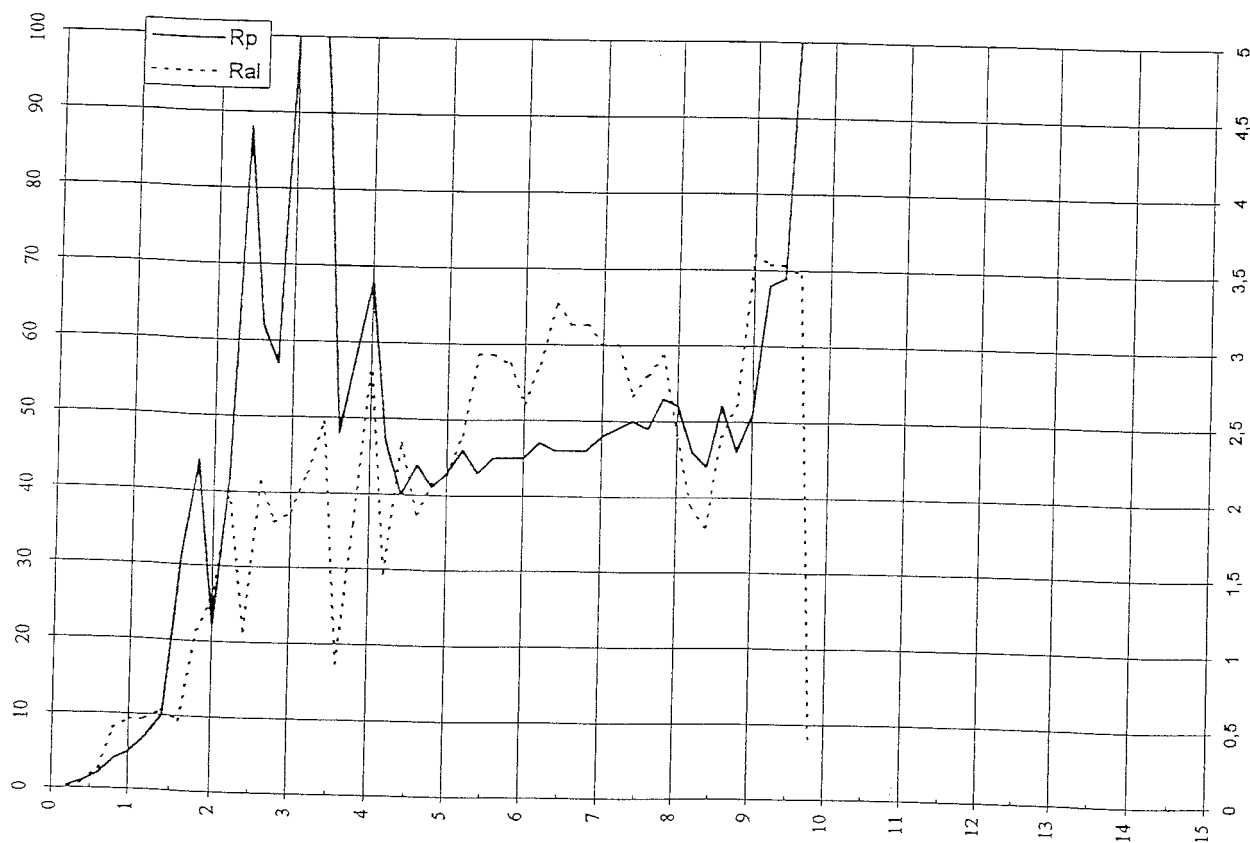
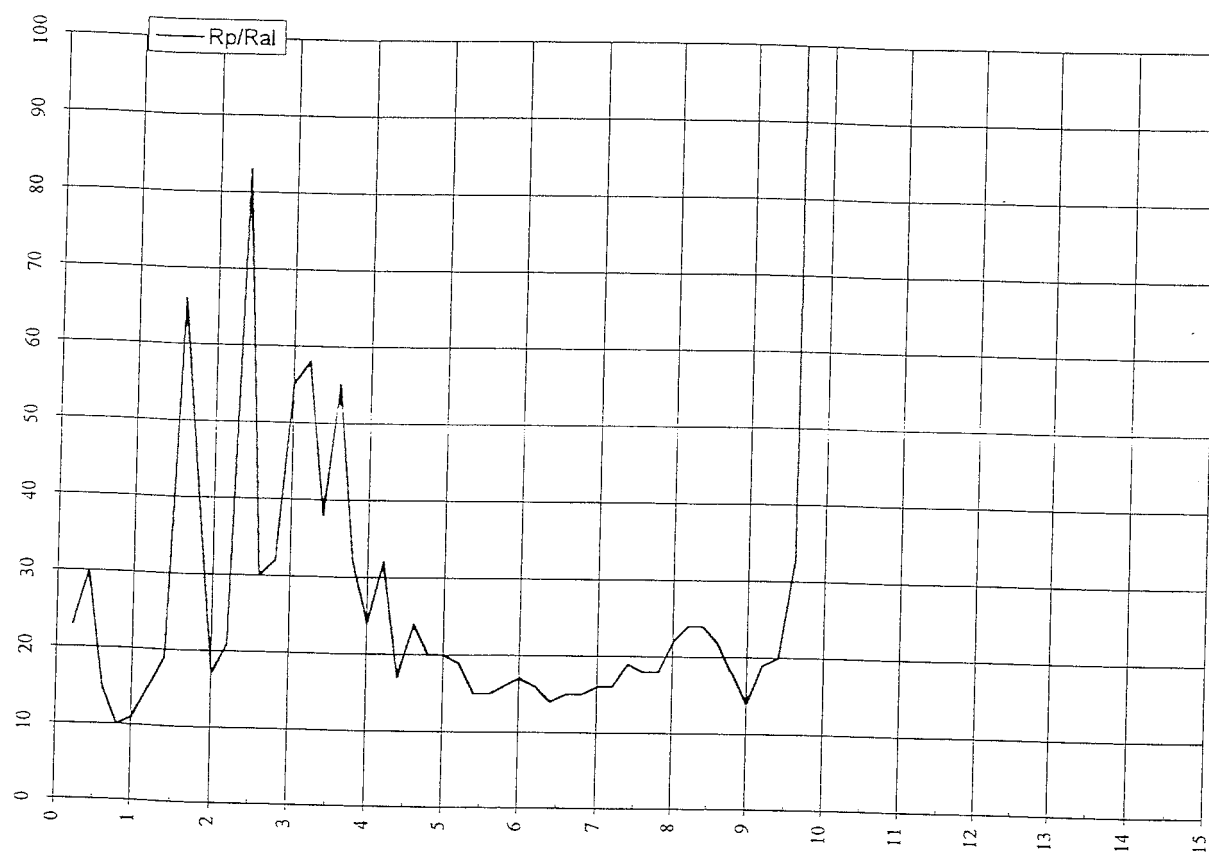
Data: 08 .03 .1999

letture di campagna					valori derivati								
Prof.	H ₂ O	Rpt	Rat	Rt	Rat-Rpt	Ral	Rp/Ral	Rt-Rpt	fi	Dr	Cu	mv	Tipo litologico
0,20		3	5	10	2	0,01	23	7			0,02	341,13	Argilla
0,40		10	15	30	5	0,03	30	20			0,05	107,97	Limo
0,60		20	40	80	20	0,13	15	60			0,10	58,22	Argilla
0,80		40	100	150	60	0,40	10	110			0,20	33,74	Argilla
1,00		50	120	180	70	0,47	11	130			0,25	29,00	Argilla
1,20		70	140	230	70	0,47	15	160			0,35	23,81	Argilla
1,40		100	180	570	80	0,53	19	470			0,50	20,30	Argilla
1,60		310	380	720	70	0,47	66	410	29	26		16,06	Sabbia
1,80		440	600	970	160	1,07	41	530			1,47	13,72	Limo sabbioso
2,00		220	410	1200	190	1,27	17	980			0,88	17,15	Argilla
2,20		420	720	1520	300	2,00	21	1100			1,40	14,11	Argilla
2,40		880	1040	1580	160	1,07	83	700	38	56		7,56	Sabbia con ghiaia
2,60		620	930	1660	310	2,07	30	1040			2,07	10,53	Limo
2,80		570	840	2230	270	1,80	32	1660			1,90	11,33	Limo
3,00		1020	1300	2400	280	1,87	55	1380	39	61		6,53	Sabbia limosa
3,20		1240	1560	2800	320	2,13	58	1560	40	67		5,37	Sabbia limosa
3,40		930	1300	2250	370	2,47	38	1320			3,10	7,15	Limo sabbioso
3,60		480	610	2200	130	0,87	55	1720	36	37		12,95	Sabbia limosa
3,80		580	850	1990	270	1,80	32	1410			1,93	11,16	Limo
4,00		680	1110	1800	430	2,87	24	1120			2,27	9,69	Argilla
4,20		470	690	1450	220	1,47	32	980			1,57	13,14	Limo
4,40		400	750	1410	350	2,33	17	1010			1,60	14,50	Argilla
4,60		440	720	1470	280	1,87	24	1030			1,47	13,72	Argilla
4,80		410	720	1640	310	2,07	20	1230			1,37	14,30	Argilla
5,00		430	750	1800	320	2,13	20	1370			1,43	13,92	Argilla
5,20		460	820	1990	360	2,40	19	1530			1,53	13,33	Argilla
5,40		430	870	2170	440	2,93	15	1740			1,43	13,92	Argilla
5,60		450	890	2580	440	2,93	15	2130			1,50	13,53	Argilla
5,80		450	880	2790	430	2,87	16	2340			1,50	13,53	Argilla
6,00		450	840	2980	390	2,60	17	2530			1,50	13,53	Argilla
6,20		470	900	3160	430	2,87	16	2690			1,57	13,14	Argilla
6,40		460	950	3340	490	3,27	14	2880			1,53	13,33	Argilla
6,60		460	930	3640	470	3,13	15	3180			1,53	13,33	Argilla
6,80		460	930	3840	470	3,13	15	3380			1,53	13,33	Argilla
7,00		480	930	4050	450	3,00	16	3570			1,60	12,95	Argilla
7,20		490	940	4210	450	3,00	16	3720			1,63	12,76	Argilla
7,40		500	900	4360	400	2,67	19	3860			1,67	12,57	Argilla
7,60		490	910	4580	420	2,80	18	4090			1,63	12,76	Argilla
7,80		530	970	4700	440	2,93	18	4170			1,77	12,02	Argilla
8,00		520	880	4810	360	2,40	22	4290			1,73	12,20	Argilla
8,20		460	750	4900	290	1,93	24	4440			1,53	13,33	Argilla
8,40		440	710	5110	270	1,80	24	4670			1,47	13,72	Argilla
8,60		520	880	5450	360	2,40	22	4930			1,73	12,20	Argilla
8,80		460	850	5550	390	2,60	18	5090			1,53	13,33	Argilla
9,00		510	1050	5810	540	3,60	14	5300			1,70	12,39	Argilla
9,20		680	1210	5960	530	3,53	19	5280			2,27	9,69	Argilla
9,40		690	1220	6350	530	3,53	20	5660			2,30	9,55	Argilla
9,60		1130	1650	8880	520	3,47	33	7750			3,77	5,89	Limo sabbioso
9,80		2150	2210	9950	60	0,40	538	7800	38	82		3,10	Sabbia con ghiaia
10,00													
10,20													
10,40													
10,60													
10,80													
11,00													
11,20													
11,40													
11,60													
11,80													
12,00													
12,20													
12,40													
12,60													
12,80													
13,00													
13,20													
13,40													
13,60													
13,80													
14,00													
14,20													
14,40													
14,60													
14,80													
15,00													

Committente: Comune di Peccioli
Località: Cimitero di Peccioli

Prova penetrometrica n°: 1

Data: 08 .03 .1999



Committente: Comune di Peccioli

Prova penetrometrica n°: 2

Località: Cimitero di Peccioli

Data: 16.03.1999

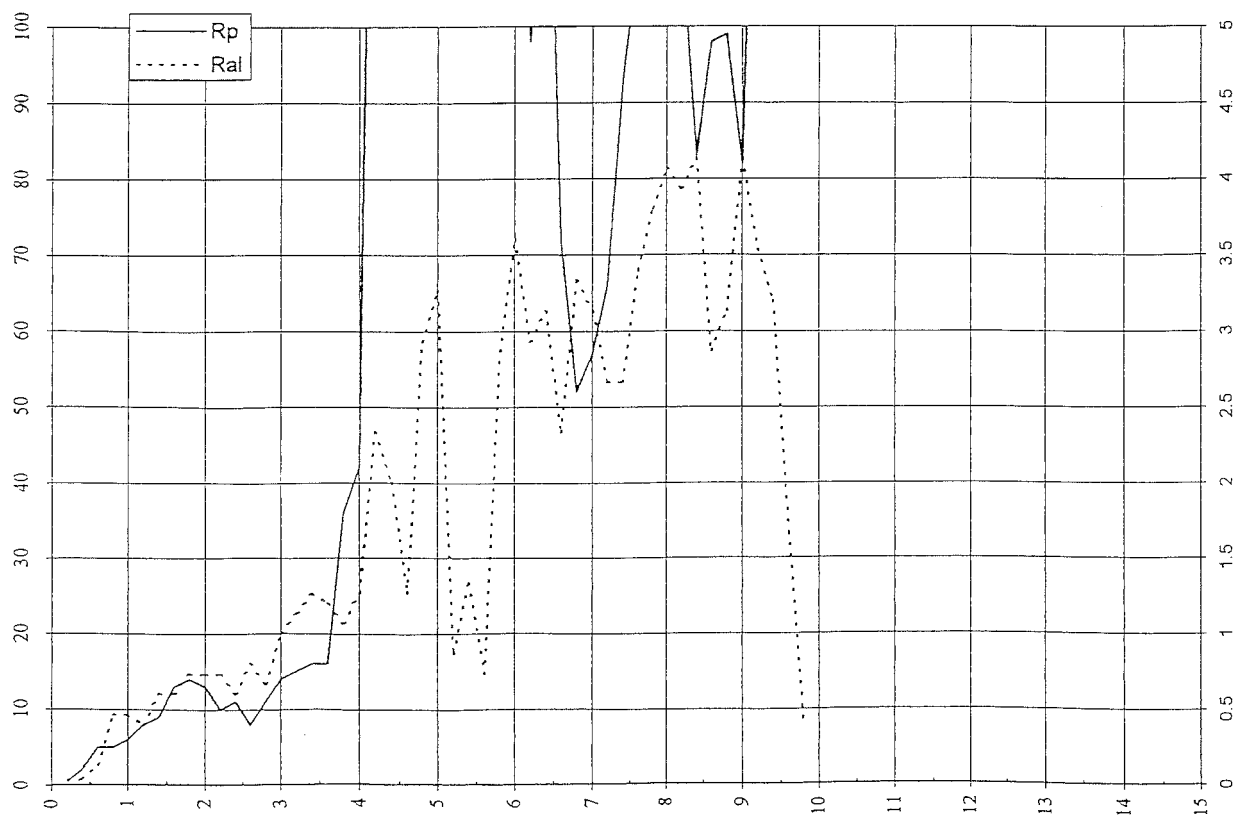
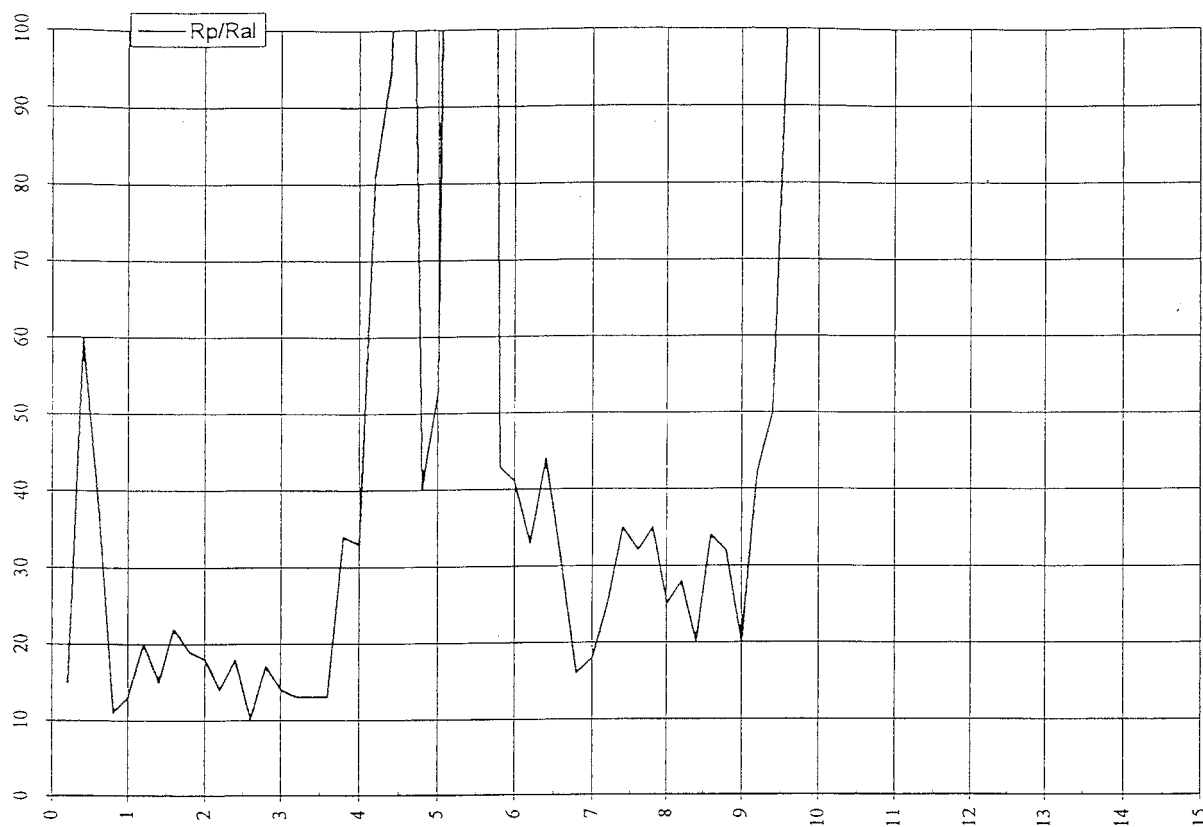
letture di campagna								valori derivati					Tipo litologico
Prof.	H ₂ O	Rpt	Rat	Rt	Rat-Rpt	Ral	Rp/Ral	Rt-Rpt	fi	Dr	Cu	mv	
0.20		5	10	20	5	0.03	15	15	25	2	0.03	207.85	Argilla
0.40		20	25	50	5	0.03	60	30				58.22	Sabbia limosa
0.60		50	70	130	20	0.13	38	80			0.25	29.00	Limo sabbioso
0.80		50	120	140	70	0.47	11	90			0.25	29.00	Argilla
1.00		60	130	180	70	0.47	13	120			0.30	25.93	Argilla
1.20		80	140	260	60	0.40	20	180			0.40	22.29	Argilla
1.40		90	180	370	90	0.60	15	280			0.45	21.16	Argilla
1.60		130	220	480	90	0.60	22	350			0.65	18.72	Argilla
1.80		140	250	570	110	0.73	19	430			0.70	18.40	Argilla
2.00		130	240	630	110	0.73	18	500			0.65	18.72	Argilla
2.20		100	210	710	110	0.73	14	610			0.50	20.30	Argilla
2.40		110	200	780	90	0.60	18	670			0.55	19.64	Argilla
2.60		80	200	890	120	0.80	10	810			0.40	22.29	Argilla
2.80		110	210	930	100	0.67	17	820			0.55	19.64	Argilla
3.00		140	290	1000	150	1.00	14	860			0.70	18.40	Argilla
3.20		150	320	1150	170	1.13	13	1000			0.75	18.14	Argilla
3.40		160	350	1190	190	1.27	13	1030			0.80	17.93	Argilla
3.60		160	340	1280	180	1.20	13	1120			0.80	17.93	Argilla
3.80		360	520	1720	160	1.07	34	1360			1.44	15.24	Limo sabbioso
4.00		420	610	2940	190	1.27	33	2520			1.40	14.11	Limo sabbioso
4.20		1880	2230	3800	350	2.33	81	1920	42	79		3.54	Sabbia con ghiaia
4.40		1900	2200	4910	300	2.00	95	3010	42	79		3.50	Sabbia con ghiaia
4.60		2050	2240	5370	190	1.27	162	3320	43	81		3.25	Sabbia con ghiaia
4.80		1170	1610	5230	440	2.93	40	4060	42	77	3.90	5.69	Limo sabbioso
5.00		1720	2210	5200	490	3.27	53	3480				3.87	Sabbia limosa
5.20		2090	2220	5090	130	0.87	241	3000	43	81		3.18	Sabbia con ghiaia
5.40		1710	1910	6950	200	1.33	128	5240	42	77		3.89	Sabbia con ghiaia
5.60		2200	2310	7010	110	0.73	300	4810	43	82		3.03	Sabbia con ghiaia
5.80		1240	1670	5760	430	2.87	43	4520			4.13	5.37	Limo sabbioso
6.00		1460	2000	4600	540	3.60	41	3140			4.87	4.56	Limo sabbioso
6.20		980	1420	4590	440	2.93	33	3610			3.27	6.79	Limo sabbioso
6.40		1380	1850	4790	470	3.13	44	3410			4.60	4.83	Limo sabbioso
6.60		720	1070	4230	350	2.33	31	3510			2.40	9.18	Limo
6.80		520	1020	4060	500	3.33	16	3540			1.73	12.20	Argilla
7.00		570	1040	4420	470	3.13	18	3850			1.90	11.33	Argilla
7.20		660	1060	4690	400	2.67	25	4030			2.20	9.96	Argilla
7.40		930	1330	5240	400	2.67	35	4310			3.10	7.15	Limo sabbioso
7.60		1100	1610	5790	510	3.40	32	4690			3.67	6.05	Limo
7.80		1340	1910	6240	570	3.80	35	4900			4.47	4.97	Limo sabbioso
8.00		1030	1640	6630	610	4.07	25	5600			3.43	6.46	Argilla
8.20		1100	1690	6680	590	3.93	28	5580			3.67	6.05	Limo
8.40		830	1450	6920	620	4.13	20	6090			2.77	8.00	Argilla
8.60		980	1410	7430	430	2.87	34	6450			3.27	6.79	Limo sabbioso
8.80		990	1460	7710	470	3.13	32	6720			3.30	6.72	Limo
9.00		820	1440	8080	620	4.13	20	7260			2.73	8.10	Argilla
9.20		1480	2010	8870	530	3.53	42	7390	41	75	4.93	4.50	Limo sabbioso
9.40		1610	2090	9330	480	3.20	50	7720				4.14	Sabbia limosa
9.60		1770	2020	10730	250	1.67	106	8960				3.76	Sabbia con ghiaia
9.80		3270	3330	10990	60	0.40	818	7720				2.03	Sabbia con ghiaia
10.00													
10.20													
10.40													
10.60													
10.80													
11.00													
11.20													
11.40													
11.60													
11.80													
12.00													
12.20													
12.40													
12.60													
12.80													
13.00													
13.20													
13.40													
13.60													
13.80													
14.00													
14.20													
14.40													
14.60													
14.80													
15.00													

Committente: Comune di Peccioli

Località: Cimitero di Peccioli

Prova penetrometrica n°: 2

Data: 16.03.1999



Committente: Comune di Peccioli

Prova penetrometrica n°: 3

Località: Cimitero di Peccioli

Data: 16.03.1999

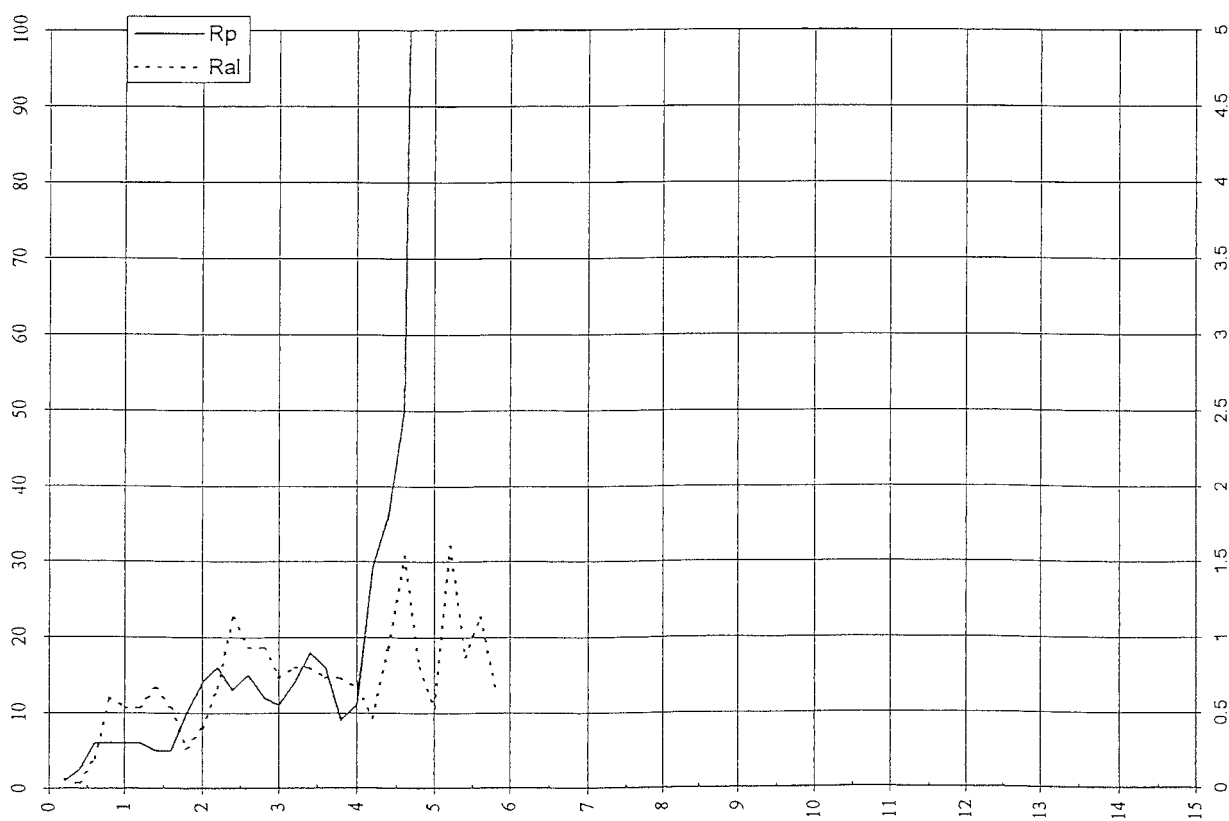
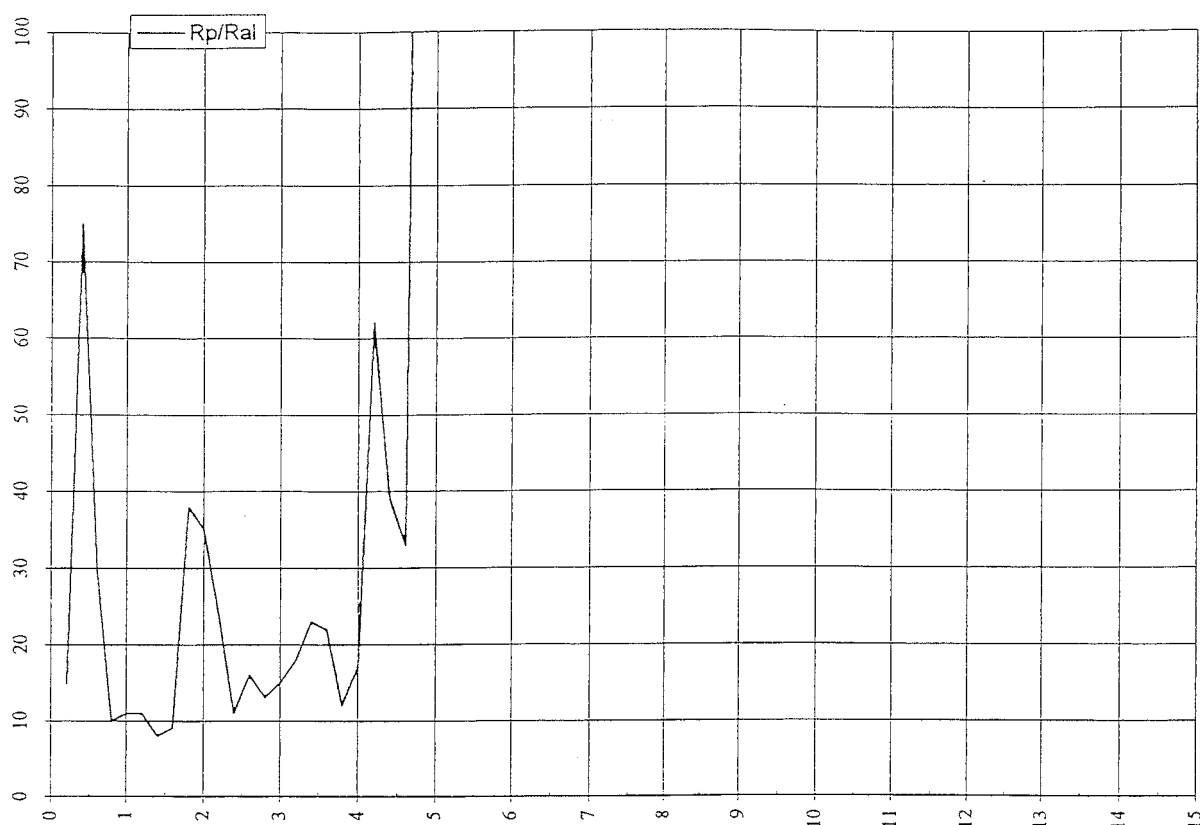
letture di campagna					valori derivati								
Prof.	H ₂ O	Rpt	Rat	Rt	Rat-Rpt	Ral	Rp/Ral	Rt-Rpt	fi	Dr	Cu	mv	Tipo litologico
0.20		10	20	60	10	0.07	15	50	25	2	0.05	107.97	Argilla
0.40		25	30	90	5	0.03	75	65				48.35	Sabbia
0.60		60	90	160	30	0.20	30	100			0.30	25.93	Limo
0.80		60	150	150	90	0.60	10	90			0.30	25.93	Argilla
1.00		60	140	170	80	0.53	11	110			0.30	25.93	Argilla
1.20		60	140	180	80	0.53	11	120			0.30	25.93	Argilla
1.40		50	150	200	100	0.67	8	150			0.25	29.00	Argilla
1.60		50	130	230	80	0.53	9	180			0.25	29.00	Argilla
1.80		100	140	270	40	0.27	38	170			0.50	20.30	Limo sabbioso
2.00		140	200	470	60	0.40	35	330			0.70	18.40	Limo sabbioso
2.20		160	260	530	100	0.67	24	370			0.80	17.93	Argilla
2.40		130	300	690	170	1.13	11	560			0.65	18.72	Argilla
2.60		150	290	770	140	0.93	16	620			0.75	18.14	Argilla
2.80		120	260	920	140	0.93	13	800			0.60	19.13	Argilla
3.00		110	220	1050	110	0.73	15	940			0.55	19.64	Argilla
3.20		140	260	1120	120	0.80	18	980			0.70	18.40	Argilla
3.40		180	300	1180	120	0.80	23	1000			0.90	17.60	Argilla
3.60		160	270	1280	110	0.73	22	1120			0.80	17.93	Argilla
3.80		90	200	1350	110	0.73	12	1260			0.45	21.16	Argilla
4.00		110	210	1430	100	0.67	17	1320			0.55	19.64	Argilla
4.20		290	360	1580	70	0.47	62	1290	29	25		16.35	Sabbia limosa
4.40		360	500	1880	140	0.93	39	1520			1.44	15.24	Limo sabbioso
4.60		500	730	2920	230	1.53	33	2420			1.67	12.57	Limo sabbioso
4.80		1970	2090	5120	120	0.80	246	3150	43	80		3.38	Sabbia con ghiaia
5.00		3500	3580	7030	80	0.53	656	3530	43	88		1.90	Sabbia con ghiaia
5.20		1770	2010	6200	240	1.60	111	4430	42	77		3.76	Sabbia con ghiaia
5.40		1150	1280	4920	130	0.87	133	3770	40	65		5.79	Sabbia con ghiaia
5.60		2340	2510	4950	170	1.13	206	2610	44	83		2.84	Sabbia con ghiaia
5.80		3880	3980	7920	100	0.67	582	4040	44	89		1.71	Sabbia con ghiaia
6.00													
6.20													
6.40													
6.60													
6.80													
7.00													
7.20													
7.40													
7.60													
7.80													
8.00													
8.20													
8.40													
8.60													
8.80													
9.00													
9.20													
9.40													
9.60													
9.80													
10.00													
10.20													
10.40													
10.60													
10.80													
11.00													
11.20													
11.40													
11.60													
11.80													
12.00													
12.20													
12.40													
12.60													
12.80													
13.00													
13.20													
13.40													
13.60													
13.80													
14.00													
14.20													
14.40													
14.60													
14.80													
15.00													

Committente: Comune di Peccioli

Prova penetrometrica n°: 3

Località: Cimitero di Peccioli

Data: 16.03.1999



Committente: Comune di Peccioli

Prova penetrometrica n°: 4

Località: Cimitero di Peccioli

Data: 16.03.1999

letture di campagna									valori derivati				Tipo litologico
Prof.	H ₂ O	Rpt	Rat	Rt	Rat-Rpt	Ral	Rp/Ral	Rt-Rpt	fi	Dr	Cu	mv	
0.20		5	10	20	5	0.03	15	15	28	21	0.03	207.85	Argilla
0.40		20	50	130	30	0.20	10	110			0.10	58.22	Argilla
0.60		240	280	370	40	0.27	90	130				16.94	Sabbia con ghiaia
0.80		240	360	540	120	0.80	30	300			0.96	16.94	Limo
1.00		200	380	510	180	1.20	17	310			1.00	17.36	Argilla
1.20		190	380	370	190	1.27	15	180			0.95	17.47	Argilla
1.40		260	410	500	150	1.00	26	240			1.04	16.72	Limo
1.60		260	420	580	160	1.07	24	320			1.04	16.72	Argilla
1.80		360	510	740	150	1.00	36	380			1.44	15.24	Limo sabbioso
2.00		310	550	860	240	1.60	19	550			1.24	16.06	Argilla
2.20		230	500	760	270	1.80	13	530			0.92	17.04	Argilla
2.40		230	530	580	300	2.00	12	350			0.92	17.04	Argilla
2.60		200	410	560	210	1.40	14	360			1.00	17.36	Argilla
2.80		230	470	660	240	1.60	14	430			0.92	17.04	Argilla
3.00		210	400	820	190	1.27	17	610			0.84	17.25	Argilla
3.20		240	400	930	160	1.07	23	690			0.96	16.94	Argilla
3.40		240	410	1030	170	1.13	21	790			0.96	16.94	Argilla
3.60		240	430	1100	190	1.27	19	860			0.96	16.94	Argilla
3.80		240	440	1200	200	1.33	18	960			0.96	16.94	Argilla
4.00		240	430	1250	190	1.27	19	1010			0.96	16.94	Argilla
4.20		220	400	1340	180	1.20	18	1120			0.88	17.15	Argilla
4.40		240	420	1520	180	1.20	20	1280			0.96	16.94	Argilla
4.60		250	430	1560	180	1.20	21	1310			1.00	16.83	Argilla
4.80		260	380	1630	120	0.80	33	1370			1.04	16.72	Limo sabbioso
5.00		260	400	1650	140	0.93	28	1390			1.04	16.72	Limo
5.20		310	400	1770	90	0.60	52	1460	34	26		16.06	Sabbia limosa
5.40		300	450	1840	150	1.00	30	1540			1.20	16.21	Limo
5.60		310	460	1920	150	1.00	31	1610			1.24	16.06	Limo
5.80		270	400	1970	130	0.87	31	1700			1.08	16.60	Limo
6.00		270	490	2230	220	1.47	18	1960			1.08	16.60	Argilla
6.20		420	630	2260	210	1.40	30	1840			1.40	14.11	Limo
6.40		350	550	2610	200	1.33	26	2260			1.40	15.42	Limo
6.60		510	750	2850	240	1.60	32	2340			1.70	12.39	Limo
6.80		580	910	3670	330	2.20	26	3090			1.93	11.16	Limo
7.00		2010	2310	5280	300	2.00	101	3270				3.31	Sabbia con ghiaia
7.20		2850	2910	7820	60	0.40	713	4970	39	86		2.33	Sabbia con ghiaia
7.40		2480	2530	8090	50	0.33	744	5610	39	84		2.68	Sabbia con ghiaia
7.60		2940	3010	8330	70	0.47	630	5390	43	87		2.26	Sabbia con ghiaia
7.80		3600	3680	8660	80	0.53	675	5060	43	88		1.85	Sabbia con ghiaia
8.00		2570	2680	9240	110	0.73	350	6670	44	85		2.59	Sabbia con ghiaia
8.20													
8.40													
8.60													
8.80													
9.00													
9.20													
9.40													
9.60													
9.80													
10.00													
10.20													
10.40													
10.60													
10.80													
11.00													
11.20													
11.40													
11.60													
11.80													
12.00													
12.20													
12.40													
12.60													
12.80													
13.00													
13.20													
13.40													
13.60													
13.80													
14.00													
14.20													
14.40													
14.60													
14.80													
15.00													

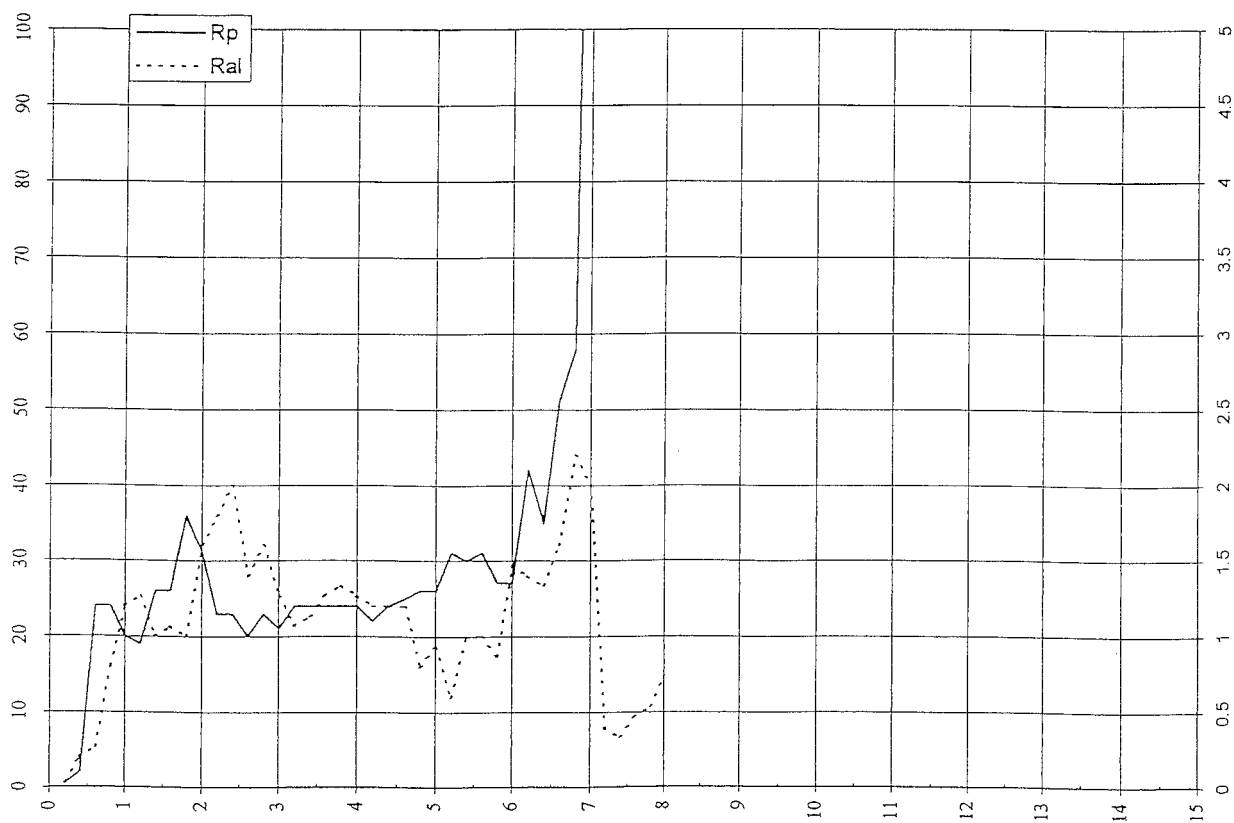
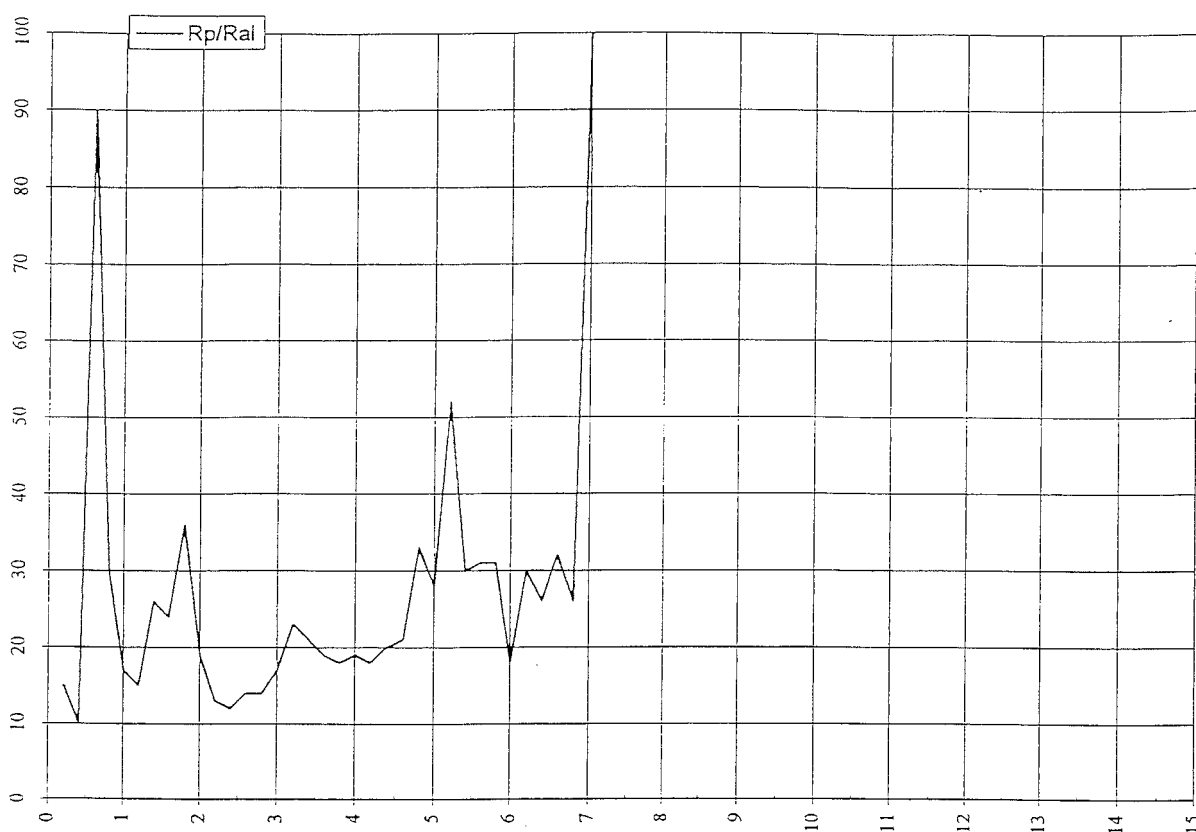
Committente: Comune di Peccioli

Località: Cimitero di Peccioli

Prova penetrometrica n°:

4

Data: 16.03.1999



Committente: Comune di Peccioli

Prova penetrometrica n°: 5

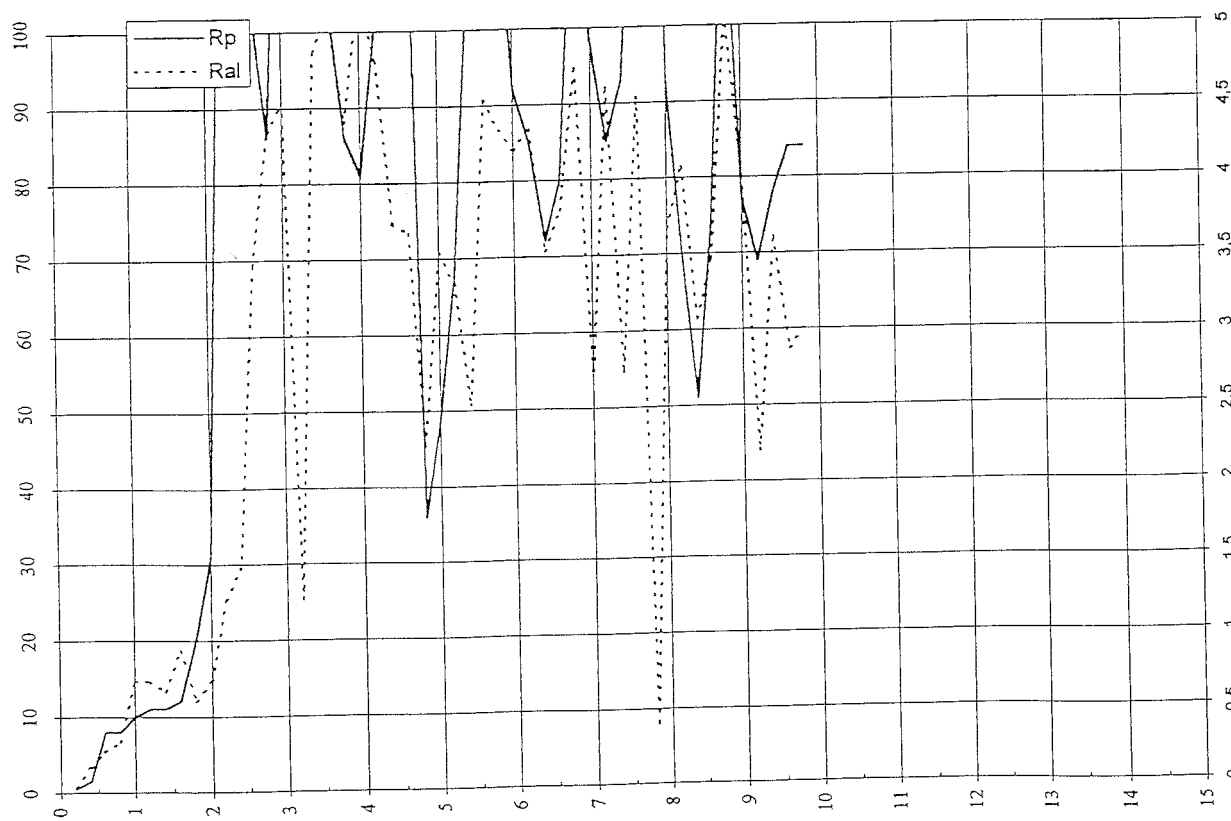
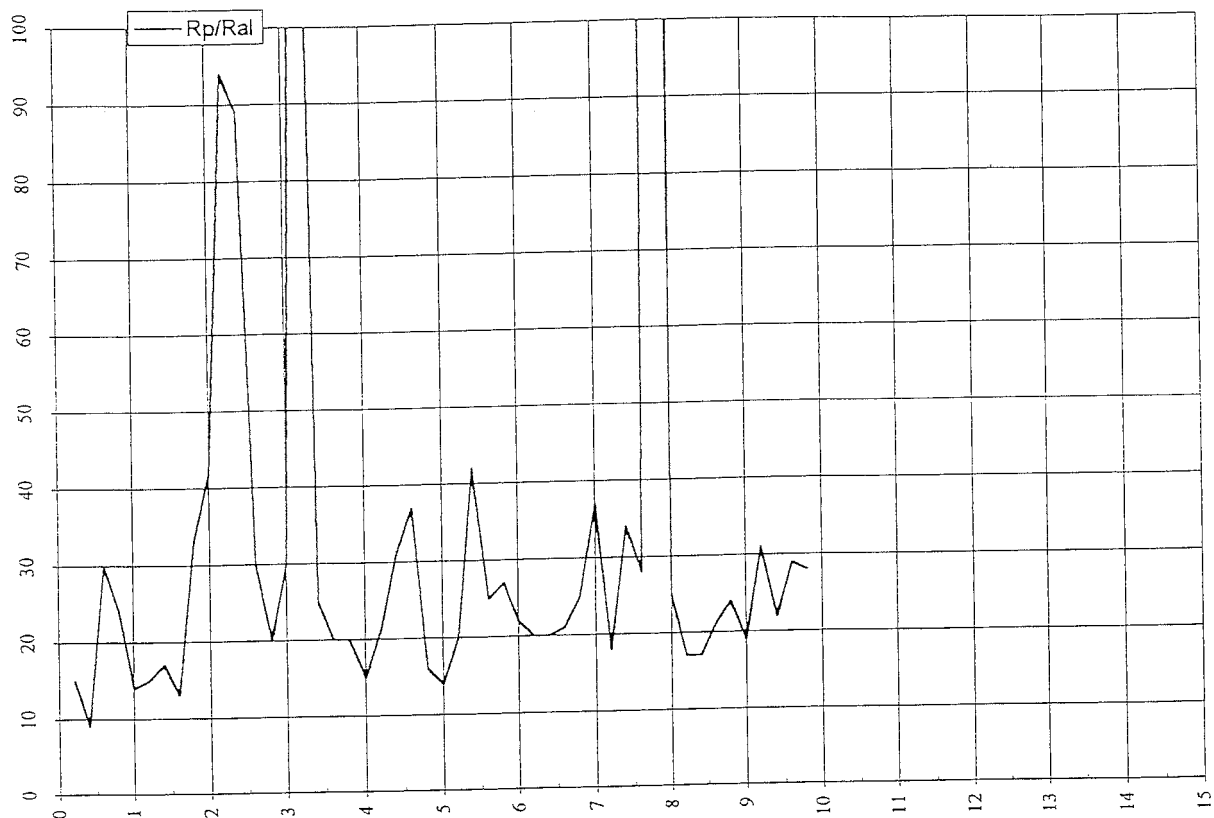
Località: Cimitero di Peccioli

Data: 16 .03 .1999

letture di campagna								valori derivati					Tipo litologico
Prof.	H ₂ O	Rpt	Rat	Rt	Rat-Rpt	Ral	Rp/Ral	Rt-Rpt	fi	Dr	Cu	mv	
0,20		5	10	20	5	0,03	15	15			0,03	207,85	Argilla
0,40		15	40	80	25	0,17	9	65			0,08	74,76	Argilla
0,60		80	120	210	40	0,27	30	130			0,40	22,29	Limo
0,80		80	130	250	50	0,33	24	170			0,40	22,29	Argilla
1,00		100	210	320	110	0,73	14	220			0,50	20,30	Argilla
1,20		110	220	340	110	0,73	15	230			0,55	19,64	Argilla
1,40		110	210	400	100	0,67	17	290			0,55	19,64	Argilla
1,60		120	260	440	140	0,93	13	320			0,60	19,13	Argilla
1,80		200	290	690	90	0,60	33	490			1,00	17,36	Limo sabbioso
2,00		310	420	1470	110	0,73	42	1160			1,24	16,06	Limo sabbioso
2,20		1190	1380	2200	190	1,27	94	1010	40	66		5,60	Sabbia con ghiaia
2,40		1300	1520	2460	220	1,47	89	1160	40	69		5,12	Sabbia con ghiaia
2,60		1050	1570	2680	520	3,47	30	1630			3,50	6,34	Limo
2,80		860	1510	2560	650	4,33	20	1790			2,87	7,73	Argilla
3,00		1360	2040	2710	680	4,53	30	1350			4,53	4,90	Limo
3,20		2410	2600	3670	190	1,27	190	1260	44	84		2,76	Sabbia con ghiaia
3,40		1240	1970	3650	730	4,87	25	2410			4,13	5,37	Argilla
3,60		1050	1820	3630	770	5,13	20	2580			3,50	6,34	Argilla
3,80		860	1520	3400	660	4,40	20	2540			2,87	7,73	Argilla
4,00		810	1600	3170	790	5,27	15	2360			2,70	8,20	Argilla
4,20		1010	1730	3440	720	4,80	21	2430			3,37	6,59	Argilla
4,40		1140	1700	3440	560	3,73	31	2300			3,80	5,84	Limo
4,60		1350	1900	3280	550	3,67	37	1930			4,50	4,93	Limo sabbioso
4,80		360	700	2630	340	2,27	16	2270			1,44	15,24	Argilla
5,00		490	1020	2770	530	3,53	14	2280			1,63	12,76	Argilla
5,20		680	1180	3510	500	3,33	20	2830			2,27	9,69	Argilla
5,40		1060	1440	3880	380	2,53	42	2820			3,53	6,28	Limo sabbioso
5,60		1120	1800	4440	680	4,53	25	3320			3,73	5,95	Argilla
5,80		1190	1840	4930	650	4,33	27	3740			3,97	5,60	Limo
6,00		920	1550	4830	630	4,20	22	3910			3,07	7,23	Argilla
6,20		850	1500	5280	650	4,33	20	4430			2,83	7,82	Argilla
6,40		720	1250	5440	530	3,53	20	4720			2,40	9,18	Argilla
6,60		800	1370	5790	570	3,80	21	4990			2,67	8,30	Argilla
6,80		1200	1910	6210	710	4,73	25	5010			4,00	5,55	Argilla
7,00		980	1380	6840	400	2,67	37	5860			3,27	6,79	Limo sabbioso
7,20		850	1540	6960	690	4,60	18	6110			2,83	7,82	Argilla
7,40		930	1340	6790	410	2,73	34	5860			3,10	7,15	Limo sabbioso
7,60		1290	1970	8180	680	4,53	28	6890			4,30	5,16	Limo
7,80		2950	3010	9520	60	0,40	738	6570	39	87		2,25	Sabbia con ghiaia
8,00		930	1480	8960	550	3,67	25	8030			3,10	7,15	Argilla
8,20		700	1310	7480	610	4,07	17	6780			2,33	9,43	Argilla
8,40		510	970	7510	460	3,07	17	7000			1,70	12,39	Argilla
8,60		740	1260	7960	520	3,47	21	7220			2,47	8,94	Argilla
8,80		1230	1990	8260	760	5,07	24	7030			4,10	5,41	Argilla
9,00		770	1370	8610	600	4,00	19	7840			2,57	8,61	Argilla
9,20		690	1020	8960	330	2,20	31	8270			2,30	9,55	Limo
9,40		780	1320	9500	540	3,60	22	8720			2,60	8,50	Argilla
9,60		840	1270	9720	430	2,87	29	8880			2,80	7,91	Limo
9,80		840	1290	9750	450	3,00	28	8910			2,80	7,91	Limo
10,00													
10,20													
10,40													
10,60													
10,80													
11,00													
11,20													
11,40													
11,60													
11,80													
12,00													
12,20													
12,40													
12,60													
12,80													
13,00													
13,20													
13,40													
13,60													
13,80													
14,00													
14,20													
14,40													
14,60													
14,80													
15,00													

Committente: Comune di Peccioli
Località: Cimitero di Peccioli

Prova penetrometrica n°: 5
Data: 16 .03 .1999



Committente: Comune di Peccioli

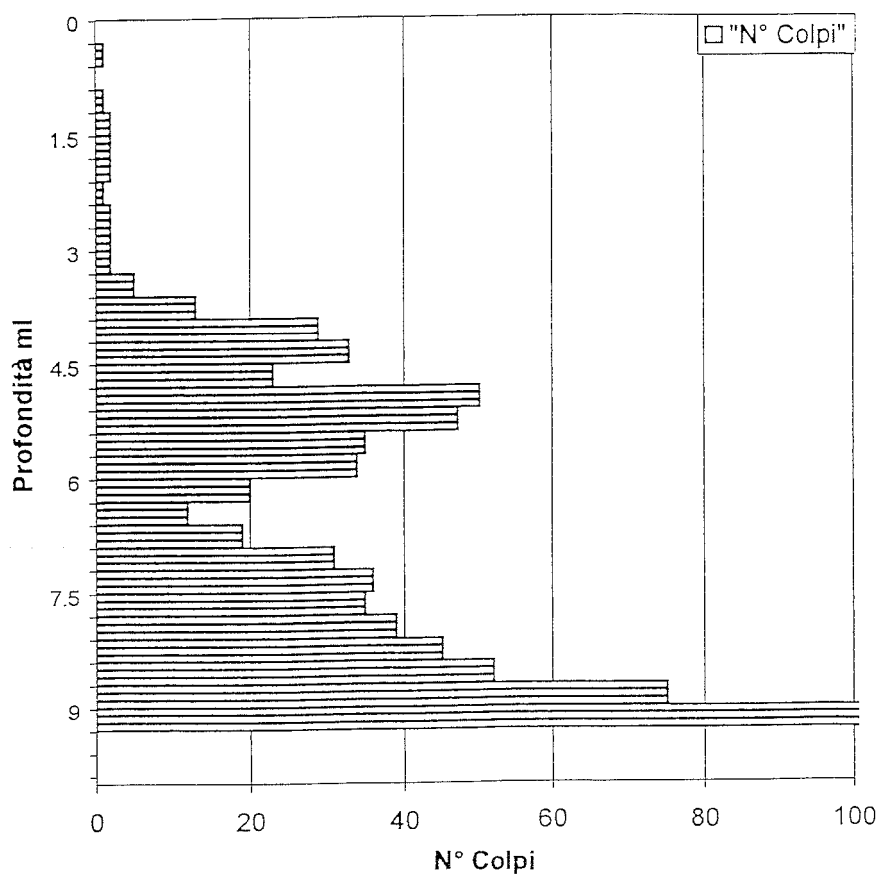
Prova penetrometrica n°: 1

Località: Cimitero di Peccioli

Data: 16.03.1999

Penetrometro dinamico Pagani da 73 N

Profondità	N° colpi
0,0—0,3	0
0,3—0,6	1
0,6—0,9	0
0,9—1,2	1
1,2—1,5	2
1,5—1,8	2
1,8—2,1	2
2,1—2,4	1
2,4—2,7	2
2,7—3,0	2
3,0—3,3	2
3,3—3,6	5
3,6—3,9	13
3,9—4,2	29
4,2—4,5	33
4,5—4,8	23
4,8—5,1	50
5,1—5,4	47
5,4—5,7	35
5,7—6,0	34
6,0—6,3	20
6,3—6,6	12
6,6—6,9	19
6,9—7,2	31
7,2—7,5	36
7,5—7,8	35
7,8—8,1	39
8,1—8,4	45
8,4—8,7	52
8,7—9,0	75
9,0—9,3	101
9,3—9,6	
9,6—9,9	
9,9—10,0	



	SAGGIO 2	SAGGIO 2	SAGGIO 3	SAGGIO 5	SAGGIO 5	SAGGIO 6	SAGGIO 6
Prof. (metri)	2,00/2,50	6,00/6,50	6,00/6,50	6,00/6,50	11,00/11,50	3,00/3,5	6,00/6,50
Umidità nat. w	20,6%	ND	20,6%	21,7%	20%	17,5%	23,4%
Peso di volume γ (Kg/dmc)	2,08	ND	1,96	2,04	2,07	ND	2,03
Coesione (Kg/cmq)	1,92	ND	0,00	1,50	2,60	ND	1,17
Angolo di attrito φ	21°	ND	33°	7°	22°	ND	9°

TABELLA n°1 : PARAMETRI GEOTECNICI RELATIVI AI CAMPIONI INDISTURBATI PRELEVATI NEL CORSO DEI SAGGI GEOGNOSTICI ESEGUITI NELL'AREA DESTINATA ALL'AMPLIAMENTO DEL CIMITERO COMUNALE DI PECCIOLOI CAPOLUOGO (Per ubicazione saggi e quote campioni vedi Tav.1 e SEZ.A - B - C di Tav. 2 e 3).

GEOPROGETTI

Committente : Amm.ne Com.le di PECCIOLI

Cantiere : Cimitero di PECCIOLI

Localita' : PECCIOLI

Data inizio perforazione : 08/04/99

Data fine perforazione : 09/04/99

Quota assoluta s.l.m. (m) : 120

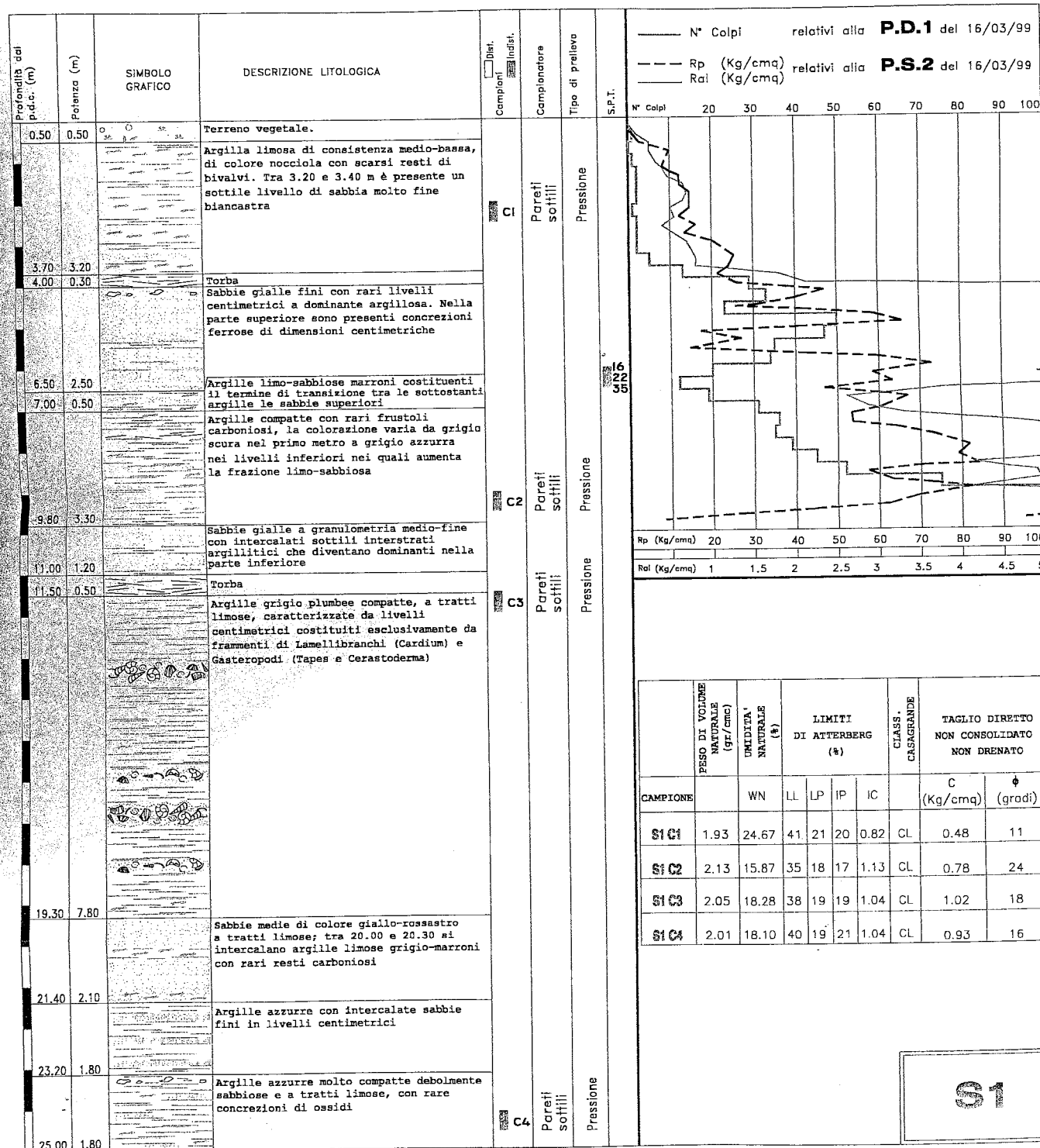
Diámetro foro : 101 mm

Macchina perforatrice : WAIT T. 14

Metodo di perforazione : Rotazione

Ditta esecutrice : G.S. Trivellozioni

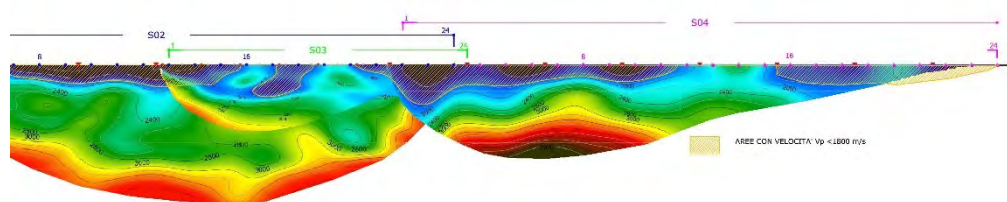
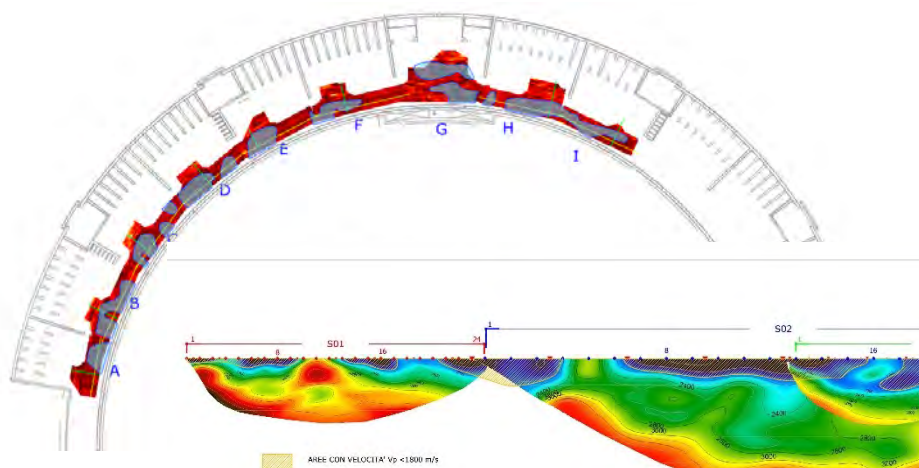
Tecnico responsabile : Giovanni Giancicchi





Comune di Peccioli

Corridoio loculi del Cimitero di Peccioli



PROVE GEOFISICHE GEOFISICHE E GEORADAR DI SUPPORTO ALLA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEI TERRENI

RELAZIONE TECNICA INTERPRETATIVA

MAGGIO 2018

ENKI
INGEGNERIA

Enki s.r.l.
Via Giambattista Lulli, 62
50144 Firenze
Tel. e fax 055 3247209
P.IVA 05008670480 - REA
Reg.Impr. Firenze n. 9079/



ENKI s.r.l.
Società di Ingegneria Ambientale e Civile
Via Giambattista Lulli, 62 - 50144 FIRENZE
Tel. 055.3247209 - Fax 055.3289276
Mail: info@enki.it
REA CCIAA FI n. 51082 - Reg. Imp. FI n. 9079/2000
Partita IVA 05008670480

Allegato 1.g

SOMMARIO

1	Introduzione	2
1.1	Premesse	2
1.2	Contesto	3
1.3	Descrizione dei contenuti della relazione	3
2	Caratterizzazione sismica	4
2.1	Sismica a rifrazione	4
2.2	Tomografia sismica in onde P	5
2.3	Strumentazione e metodologia per sismica a rifrazione e tecnica tomografica	6
3	Indagine GPR	8
3.1	I principi delle prospezioni Georadar	8
3.1.1	Strumentazione utilizzata	12
3.2	Sistema di Controllo	12
3.3	Sensori Antenna	13
4	Elaborazione dati e risultati	14
4.1	Elaborazione dei dati sismici con tecnica tomografica	14
4.2	Elaborazione dei dati dell'indagine Georadar	15
5	Conclusioni	16
I.	ALLEGATO GRAFICO: INDAGINI GEORADAR – INQUADRAMENTO PLANIMETRICO DI DETTAGLIO – SEZIONI	17
II.	ALLEGATO GRAFICO: INDAGINI DI SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P – TOMOGRAFIA	20
III.	ALLEGATO GRAFICO: INQUADRAMENTO PLANIMETRICO DELLE ANOMALIE RILEVATE	27
IV.	ALLEGATO FOTOGRAFICO	29
V.	INQUADRAMENTO PLANIMETRICO E RISULTATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE	31

1 Introduzione

1.1 Premesse

Il presente documento riferisce sulle indagini geofisiche georadar e sismiche realizzate sul terreno di fondazione del corridoio dei loculi del cimitero di Peccioli per individuare le zone soggette a cedimenti differenziali.



Figura 1-1: Inquadramento cartografico indagini

1.2 Contesto

In base alle indicazioni ricevute e al sopralluogo effettuato, ed in ragione del particolare e specifico contesto geomorfologico, è stato deciso di realizzare la seguente campagna di indagini:

- esecuzione di **4 stese sismiche a 24 geofoni**:
 - 2 con passo intergeofonico di 2 m e offset di rispettivamente di 10 m dal primo geofono (**S02 e S04**)
 - 2 con passo intergeofonico di 1 m e offset di rispettivamente di 5 m dal primo geofono (**S01 e S03**)con energizzazione verticale, acquisizione con geofoni verticali e restituzione di profilo tomografico 2D delle onde di compressione (Vp).
- esecuzione di **indagine Georadar** consistente in 9 griglie formate da strisciate longitudinali e trasversali per un totale di 150 mq di indagine GPR.

Si rimanda agli allegati grafici per l'inquadramento di dettaglio delle indagini.

1.3 Descrizione dei contenuti della relazione

La presente relazione illustrerà la metodologia di acquisizione, le tecniche e modalità di inversione/interpretazione, e verranno evidenziati i risultati ottenuti con la campagna di prospezione geofisica elettrica e sismica a supporto della caratterizzazione del sottosuolo.

Dopo un quadro descrittivo delle tecniche di indagine, nel Capitolo 2 (Caratterizzazione sismica) e nel capitolo 3 (indagine GPR) si riportano le modalità di interpretazione ed analisi dei dati acquisiti e i risultati al Capitolo 4 (Elaborazione dati e risultati).

Il documento è poi completato con allegati grafici in cui sono riportati in dettaglio i dati acquisiti, la loro elaborazione ed i risultati ottenuti.

2 Caratterizzazione sismica

Ai fini di una completa caratterizzazione sismica delle aree oggetto di indagine, i dati sono stati acquisiti secondo modalità che hanno permesso l'inversione ed interpretazione sequenziale e correlata, secondo diverse tecniche di cui:

1. Sismica a rifrazione e tomografia sismica con restituzione di sismostrati secondo metodi classici di elaborazione a rifrazione, Plus-Minus, Wavefront e CMP "Intercept Time Refraction", e profilo tomografico 2D delle onde di compressione V_p ;
2. Tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) che sono una derivazione delle tecniche SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) che si basano sull'elaborazione delle proprietà spettrali delle onde di superficie per la costruzione di un modello monodimensionale verticale di velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

2.1 Sismica a rifrazione

Le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo, per cui nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione") o trasversali (onde SH o "di taglio") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti.

La tecnica di indagine consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da detta onda a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino ai sensori di rilevazione (geofoni) secondo le leggi di rifrazione dell'ottica (Legge di Snell), nel rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente.

La rifrazione si basa sull'analisi, secondo diversi modelli dei primi arrivi rispetto a geofoni posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, per ricostruire una serie di curve tempo-distanza (dromocrone).

Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (V_p) o trasversali (V_s) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti.

Per lo stesso tipo di materiale, può variare in funzione di numerosi parametri quali il grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione per i materiali litoidi, ed in funzione dello stato di consistenza/addensamento, grado di saturazione, per i materiali granulari e fini.

Sensibili differenze si possono avere, anche con riferimento all'assetto morfologico rispetto alle velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi.

Inoltre la velocità delle onde P compressionali, rispetto alle SH trasversali, è fortemente influenzata dalla presenza di eventuale acquifero e/o dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità V_p

dell'ordine di 1400÷1700 m/sec), per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- a. un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- b. un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- c. un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");
- d. aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;
- e. analogamente, incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

2.2 Tomografia sismica in onde P

La tomografia sismica, per raggi diretti, è una tecnica d'indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un potere risolutivo nettamente superiore ad altri metodi, offrendo la possibilità della ricostruzione, con elevato grado di qualità, di anomalie stratigrafiche, anche particolarmente complesse non risolvibili con differenti tecniche d'indagine.

Per le procedure di realizzazione di immagini tomografiche è necessario utilizzare un maggior numero di sorgenti di energizzazione e di punti di ricezione delle onde sismiche, che permettano una distribuzione dei raggi sismici omogenea e con una densità che viene predefinita in funzione del "target" da raggiungere.

Le tecniche operative possono essere molto diverse, si può infatti operare:

a livello del piano di campagna disponendo i ricevitori (geofoni e idrofoni) ed i trasmettitori (punti di

scoppio) su linee parallele;

utilizzando due fori, residui di sondaggi geognostici, (tomografia cross-hole), dove previo opportuno condizionamento si alloggiano i ricevitori ed i trasmettitori;

utilizzando un solo foro (sondaggio sismico tomografico), in cui sono alloggiati i ricevitori, eseguendo una serie di tiri a distanze crescenti dall'imboccatura del foro stesso.

Per il trattamento dei dati per la ricostruzione tomografica dell'immagine si utilizza una suddivisione dell'area di studio in celle elementari, calcolando per ciascuna di queste un valore di velocità congruente con il tempo di tragitto medio relativo ai percorsi dei raggi sismici che le attraversano; la presentazione delle elaborazioni eseguite dà come risultato una mappa della distribuzione delle velocità sismiche in una sezione piana contenente le sorgenti ed i geofoni.

Le classiche prospezioni sismiche si basano sul concetto che le onde acustiche si propagano nei diversi mezzi con velocità differenti.

Generando tali onde in un punto (detto di scoppio) e osservando i loro tempi di arrivo in altri punti predeterminati (detti di registrazione), è possibile ricostruire la distribuzione di velocità e con questa definire dal punto di vista elastico le aree oggetto di studio e individuare anomalie o corpi anomali.

L'applicazione della tecnica tomografica alle misure sismiche permette poi di ricostruire l'andamento di tale caratteristica fisica all'interno di una porzione di spazio non accessibile direttamente e di ottenere come risultati, immagini che visualizzano le non omogeneità incontrate nel mezzo.

Il risultato finale sarà la rappresentazione delle velocità (in m/s) per piani o sezioni indagate, poi ricostruite in 3D, secondo una scala cromatica prefissata, che in genere va dal blu (basse velocità) al magenta (alte velocità). Quanto più il mezzo attraversato dal suono è rigido e incompressibile, tanto maggiore sarà la sua velocità caratteristica.

Valori bassi della velocità mettono in evidenza la variazione negativa delle caratteristiche elastiche e meccaniche, indicando la presenza di un possibile deterioramento della struttura interna.

2.3 Strumentazione e metodologia per sismica a rifrazione e tecnica tomografica

La strumentazione impiegata per le indagini sismiche a rifrazione e per la tecnica tomografica è la seguente:

Onde P:

- Sismografo: amplificatore sismico DMT COMPACT a 24 canali con 24 bit di precisione nella conversione A/D;
- Sorgente: mazza triggerata da 8 kg su piastra di duralluminio e/o maglio battente e/o fucile sismico;
- Ricevitori: Geofoni ad asse verticale GEOSPACE GS-20DX 14 Hz;
- Tempo di campionamento: 1 ms;
- Periodo di acquisizione: 1024 campioni, pari a 1 s.

Sono state effettuate 2 prospezioni sismiche a rifrazione a 24 geofoni , in onde P, come da schema seguente:

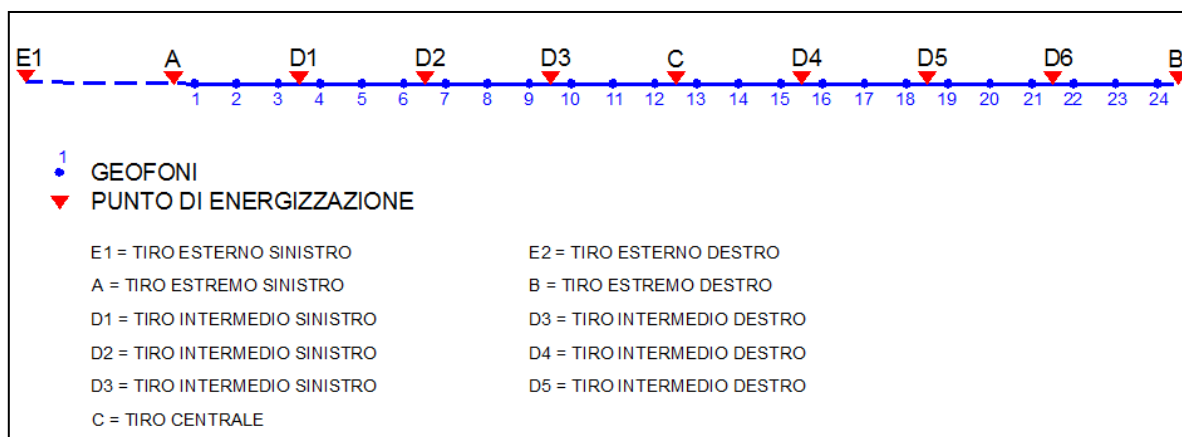


Figura 2-1: Schema acquisizioni prospezioni sismiche

La lunghezza totale, la distanza intergeofonica e la distanza dei punti di energizzazione rispetto al primo geofono per ognuna delle prospezioni sono riassunte nelle seguenti tabelle:

Tabella 2-1: Riepilogo geometria prospezioni sismiche

INDAGINE [n°]	DISTANZA INTERGEOFONICA [m]	LUNGHEZZA STENDIMENTO [m]
S01	1	23
S02	2	46
S03	1	23
S04	2	46

3 Indagine GPR

3.1 I principi delle prospezioni Georadar

La prospezione georadar (*Ground Probing Radar*, G.P.R.), è una metodologia di indagine del sottosuolo, che permette l'acquisizione di informazioni sulla struttura del mezzo indagato e sull'eventuale presenza di oggetti sepolti, cavità, sottoservizi, ecc....

Caratteristiche distintive dell'utilizzo di tale metodologia di indagine geofisica sono:

- economia dei costi,
- velocità di esecuzione,
- tipologia di indagine non distruttiva e non invasiva,
- restituzione di dati di facile interpretazione.

Il georadar è sostanzialmente costituito da un'apparecchiatura ricetrasmittente in grado di inviare impulsi elettromagnetici multifrequenza nel sottosuolo e di riceverne le riflessioni.

Tutti i mezzi reali assorbono le onde elettromagnetiche in misura dipendente dalle loro caratteristiche elettriche. Un mezzo omogeneo parzialmente conduttore è definito da un punto di vista elettrico da una coppia di valori:

- costante dielettrica relativa (ϵ_r);
- conduttività.

Il sottosuolo è costituito da un mezzo eterogeneo le cui caratteristiche dielettriche sono determinanti per la individuazione di segnali ben definiti ed interpretabili.

L'onda elettromagnetica generata dal radar viene emessa nel sottosuolo mediante un trasmettitore (TX) presente all'interno dell'antenna. Quando le onde elettromagnetiche incontrano una discontinuità fisica, parte dell'energia incidente viene riflessa, generando un impulso di forma simile a quello trasmesso ma attenuato e distorto in fase e frequenza, che viene raccolto da un ricevitore (RX).

La forma dell'impulso trasmesso è opportunamente calibrata in modo da ottenere una distribuzione spettrale di tipo gaussiano con il valore centrale che rappresenta la frequenza caratteristica, o frequenza centrale dell'antenna, la quale corrisponde alla frequenza dominante dell'impulso. La frequenza centrale dell'antenna determina le caratteristiche di risoluzione e di massima profondità di esplorazione ottenibile.

Le antenne possono operare in tre modi principali:

- disposizione monostatica;
- disposizione bistatica;

- disposizione cross-polare.

Con la disposizione monostatica, trasmettitore (TX) e ricevitore (RX) sono assemblati in un'unica struttura, permettendo di ottenere informazioni in tutta l'area indagata e di determinare la profondità di bersagli. Tale disposizione è consigliata per ottenere informazioni superficiali quali servizi e reperti archeologici con antenne a frequenza medio-alta (500-1000 MHz).

Con la disposizione bistatica, trasmettitore (TX) e ricevitore (RX) sono separati e messi ad una certa distanza l'uno dall'altro. Il vantaggio consiste in una risposta più dettagliata nelle zone più profonde, mentre lo svantaggio consiste nell'assenza di risposta in una porzione di terreno in funzione della distanza reciproca dei due componenti. Tale disposizione è consigliata per ottenere informazioni da zone profonde ed è generalmente impiegata con antenne a frequenza medio-bassa (80-300 MHz) e finalità geologiche.

Con la disposizione cross-polare, trasmettitore e ricevitore sono ortogonali tra loro. Tale disposizione risulta particolarmente utile nel riconoscimento di bersagli inclinati obliqui rispetto alla direzione di trascinamento delle antenne ed inoltre per particolari applicazioni scientifiche in genere.

Dal punto di vista operativo l'acquisizione dati è effettuata spostando su di una linea retta una o più antenne (adagiate sul terreno) realizzando quella che prende il nome di "scansione".

Durante la scansione vengono collezionate una serie di riflessioni da punti adiacenti (tipicamente uno ogni 2 o 3 cm), le quali costituiscono l'immagine della sezione radar; in presenza di un oggetto sepolto (es. un tubo) si ottiene una immagine radar con una caratteristica forma iperbolica (vedi Figura 3-1).

Per riconoscere il tipo di bersaglio, ovvero per verificare se esso è un bersaglio concentrato (es. un trovante), lineare (es. un servizio) o distribuito (es. uno strato), si ricorre a più scansioni parallele.

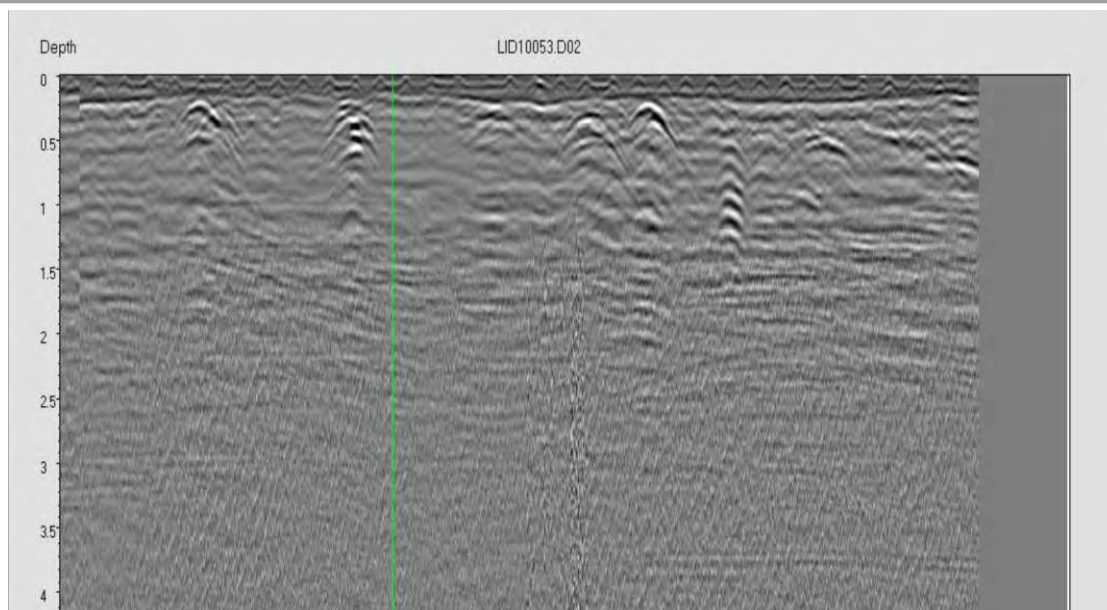


Figura 3-1: Esempio di sezione radar

Esistono infine sistemi radar, dotati di array di antenne, che consentono di effettuare, con una unica scansione, l'acquisizione di più sezioni. Un esempio di array di 4 antenne è illustrato in Figura 3-2 con una unica scansione sono in genere acquisite fino a 8 sezioni radar:

- 4 monostatiche (trasmette e riceve la stessa antenna)
- 2 bistatiche (trasmette una antenna e riceve quella adiacente)
- 2 cross-polari (trasmette una antenna copolare e riceve quella disposta in posizione ortogonale)

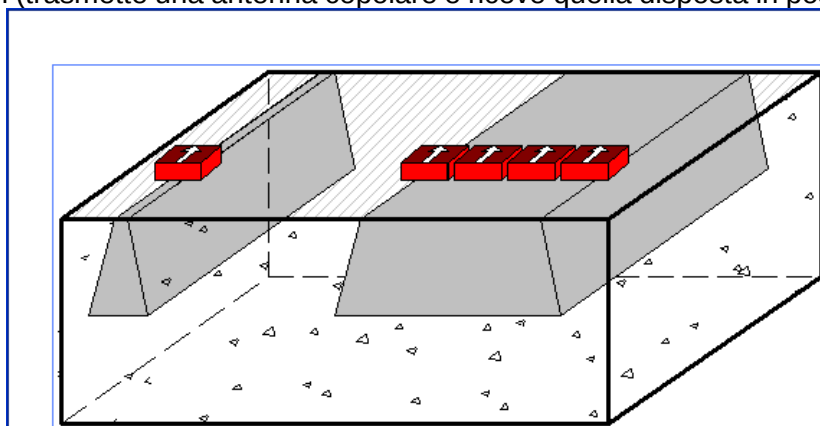


Figura 3-2: Esempio di array di antenne a confronto con antenna singola

In Figura 3-3 è mostrato l'esempio di una acquisizione simultanea di più sezioni con un array di antenne.

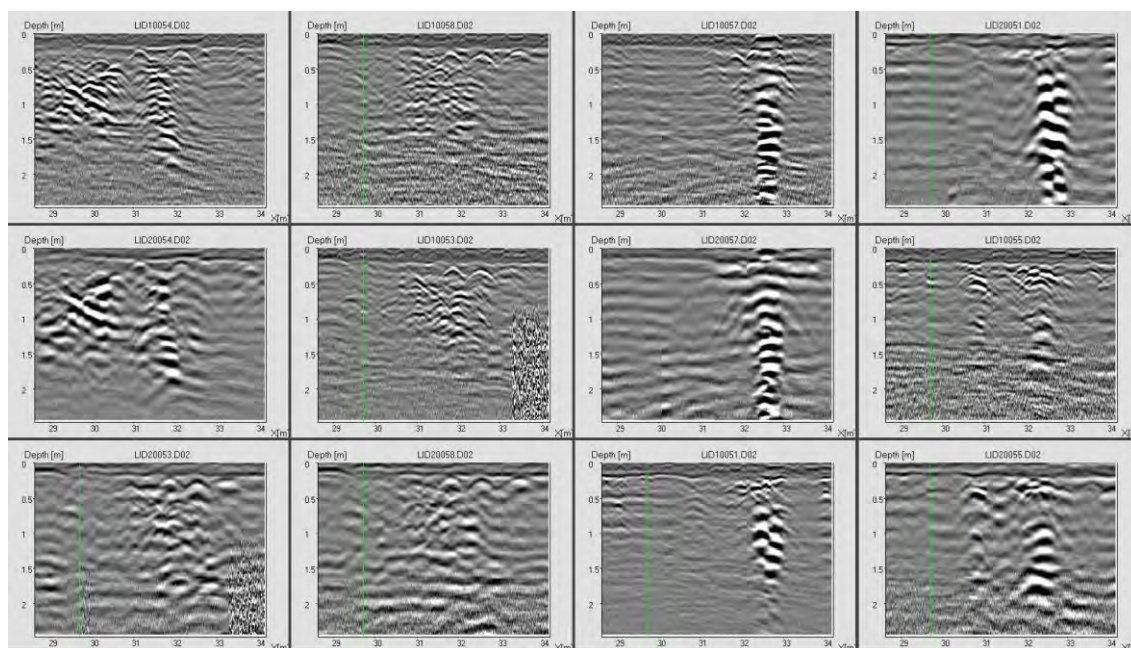


Figura 3-3: Esempio di sezione radar multipla

Le sezioni radar rappresentano i risultati delle indagini georadar. L'asse orizzontale riproduce la direzione di avanzamento dell'antenna, mentre l'asse verticale rappresenta la direzione di penetrazione degli impulsi. Tale distanza è espressa sotto forma di ritardo tra l'impulso emesso e quello riflesso ed è quindi pari a due volte la distanza antenna-bersaglio. Il valore del ritardo viene convertito in valore metrico tramite la conoscenza della velocità di propagazione del segnale nel mezzo. La visualizzazione radar di un bersaglio presente nel sottosuolo è mostrata in Figura 3-4.



Figura 3-4: Principio di funzionamento del georadar

La qualità delle immagini ottenute può essere migliorata mediante opportune elaborazioni sia analogiche che digitali; il livello minimo di elaborazione necessario per la visualizzazione ed interpretazione dei dati radar è costituito da:

- filtraggi verticali (almeno passa alto).
- filtraggi orizzontali (almeno passa alto).
- guadagno variabile in funzione della profondità.

3.1.1 Strumentazione utilizzata

L'indagine GPR è stata condotta utilizzando il sistema RIS Hi-Mod by IDS Ingegneria dei Sistemi S.p.A.(Italy) composto da:

- Sistema di Controllo radar
- Sensori Antenna

3.2 Sistema di Controllo

Il sistema di controllo del radar è composto da:

- Unità di Controllo Radar DAD (Digital Antenna Driver)

Preposta a generare gli impulsi di controllo delle antenne, le caratteristiche tecniche della DAD sono le seguenti:

- Scan Rate: up to 850 Scans/rate
- Range: up to 9999 nsec.
- Sample size:16bit
- Number of sample per scan: 128-4096
- Maximum number of channels: 4ch
- Lan ,Battery



Figura 3-5: DAD Digital Antenna Driver

- Lap Top

Dedicato al controllo ed al salvataggio del dato radar tramite il software K2 preposto alla gestione delle informazioni radar



Figura 3-6: Lap Top dedicato alla gestione del dato radar

3.3 Sensori Antenna

Le attività di acquisizione dati hanno previsto l'uso della seguente antenne radar, usata singolarmente:

- Sistema RIS Hi-Mod – Antenna doppia

Tale sistema è costituito da n°2 antenne multifrequenza 200/600 Mhz in grado di analizzare il sottosuolo fino alla profondità di 5,0 m circa con risoluzione elevata del dato.



Figura 3-7: Sistema RIS Hi-Mod – Antenna singola e Array 4 antenne

4 Elaborazione dati e risultati

4.1 Elaborazione dei dati sismici con tecnica tomografica

Per l'inversione dei dati sismici acquisiti è stato utilizzato il software Rayfract ver. 3.35 2016, che è un software di tomografia sismica che impiega le soluzioni Eikonal per il calcolo dei tempi di percorso e per la modellazione della diffrazione, la rifrazione e la trasmissione delle onde sismiche. Dopo il controllo visivo sulla qualità dei dati, si effettua un picking dei primi arrivi, in modo da ipotizzare un preliminare modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni, in quanto la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Il processing dei dati, prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

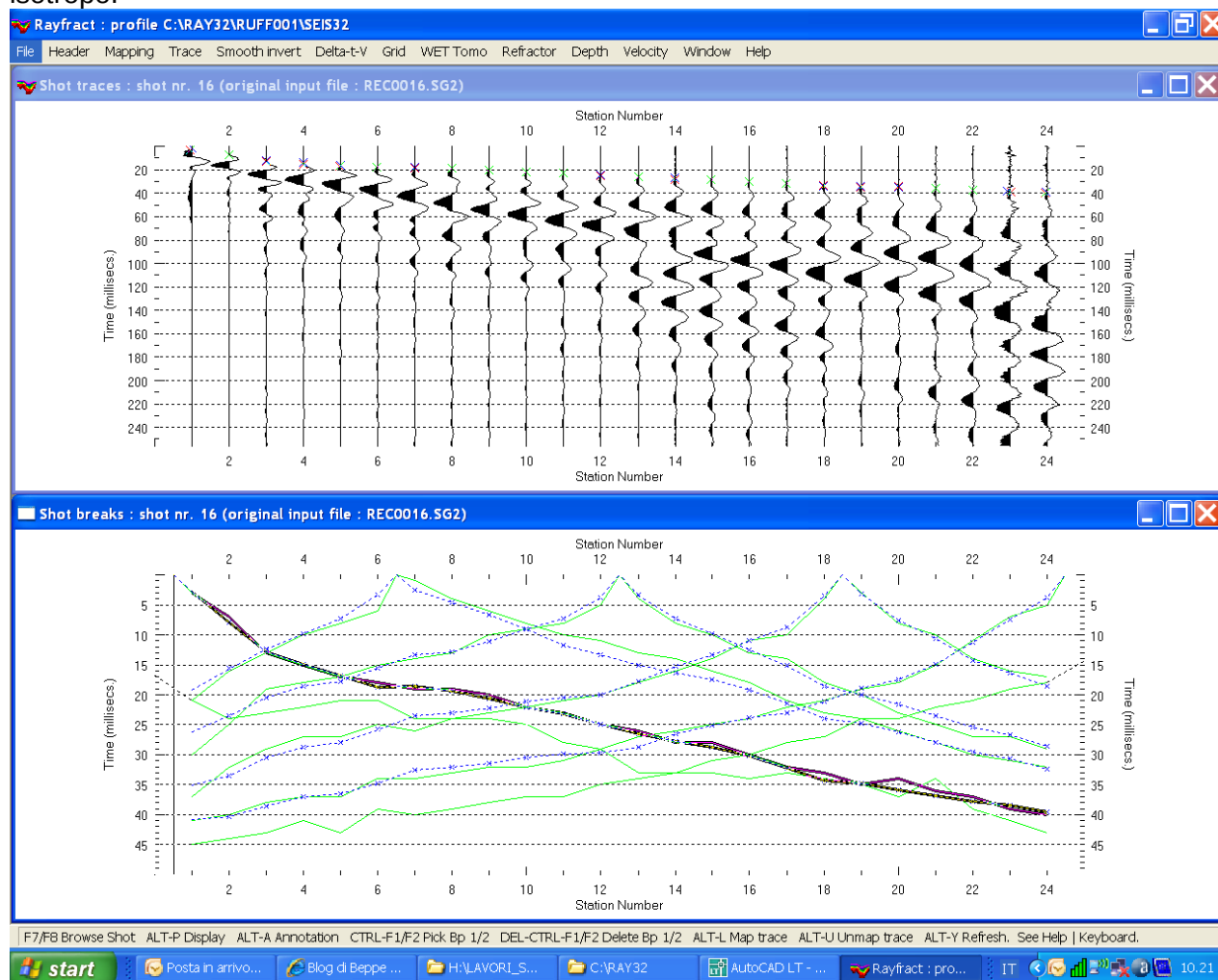


Figura 4-1: Confronto shot break primi arrivi e dromocrone

La tomografia WET modella i percorsi multipli della propagazione del segnale che contribuiscono ad un primo arrivo.

Il procedimento Eikonale, usato per il calcolo dei tempi di percorso, modella la diffrazione, la rifrazione e la trasmissione delle onde sismiche.

Come conseguenza di ciò la capacità di fornire l'imaging di un'anomalia di velocità aumenta rispetto alla tomografia convenzionale del percorso di un raggio sismico.

I dati tomografici vengono quindi elaborati con un software di imaging, nel caso SURFER 9, che permette la visualizzazione secondo pseudosezioni verticali.

Relativamente ai risultati si rimanda agli allegati grafici che riporta in dettaglio la tomografia sismica ottenuta.

4.2 Elaborazione dei dati dell'indagine Georadar

E' stata eseguita un'indagine Georadar consistente in 9 griglie formate da di strisciate longitudinali e trasversali per un totale di 150 mq di indagine GPR. Tutti i profili sono stati ubicati mediante rilievo celerimetrico contemporaneo all'esecuzione dell'indagine.

Le anomalie georadar estrapolate correlabili con la presenza di zone a forte scattering.

Zone a forte scattering (anomalie georadar)

In alcune zone è stata rilevata la presenza di anomalie areali e lineari non direttamente riconducibili a singoli manufatti, che si sviluppano longitudinalmente alla sezione a quota variabile. Tali anomalie risultano interessate da forte scattering, che può essere correlato alla presenza di manufatti e/o, presenza di materiale inerte eterogeneo.

5 Conclusioni

L'analisi comparata delle tomografie sismiche e delle indagini georadar GPR ha permesso di ipotizzare la presenza di aree che presentano delle anomalie in termini di parametri geofisici che possono essere correlate a passaggi fra terreni con caratteristiche meccaniche diverse.

Con le tomografie sismiche ottenute è stato possibile individuare zone con:

- **gradienti di velocità alti** correlabili con possibili interfacce fra terreni aventi caratteristiche meccaniche diverse (**velocità Vp di 1800 m/s**).

Le aree suddette sono evidenziate nelle figure Fig.II.6 e Fig. III-1.

Per quanto riguarda le indagini georadar sono state individuate zone a forte scattering correlabili con la presenza di materiali inerti eterogenei (Fig.I.2); L'unione delle zone individuate con indagini georadar e sismiche sono state riportate in Fig. III-1.

Al fine di garantire un più elevato livello di correlazione e di definizione della tipologia di anomalie, sono state eseguite delle prove penetrometriche al fine di determinare in maniera puntuale se si tratta di anomalie imputabili alla presenza di materiali inerti eterogenei nel terreno o anomalie sito specifiche imputabili a condizioni naturali.

L'individuazione dei punti in cui effettuare tali prove è stato fatto sulla base di tali aree e i risultati sono riportati in allegato alla presente relazione (Allegato grafico V).

**I. ALLEGATO GRAFICO: INDAGINI GEORADAR –
INQUADRAMENTO PLANIMETRICO DI DETTAGLIO –
SEZIONI**

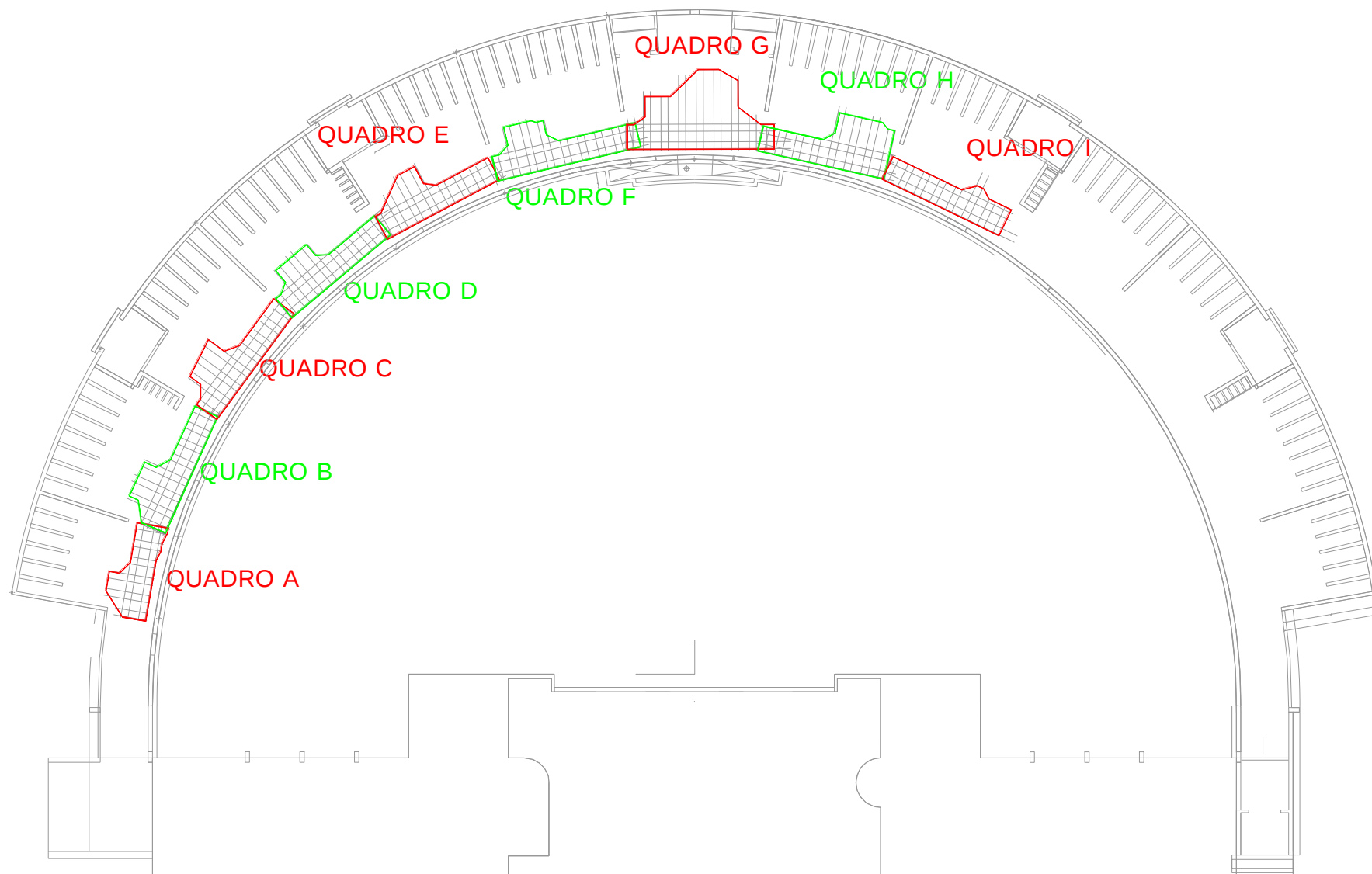


Fig. I-1: Vista in pianta delle sezioni GPR

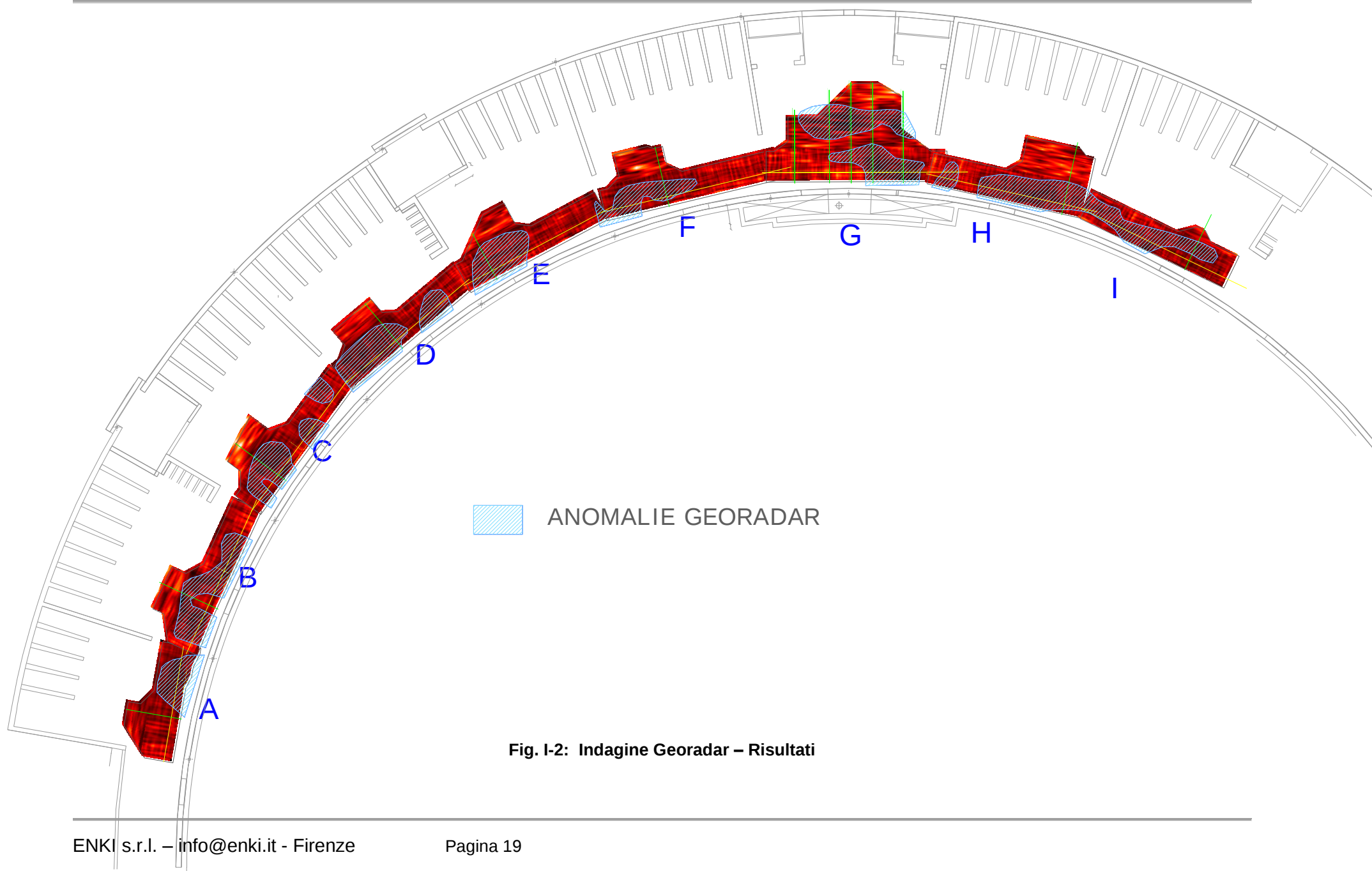


Fig. I-2: Indagine Georadar – Risultati

II. ALLEGATO GRAFICO: INDAGINI DI SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P – TOMOGRAFIA

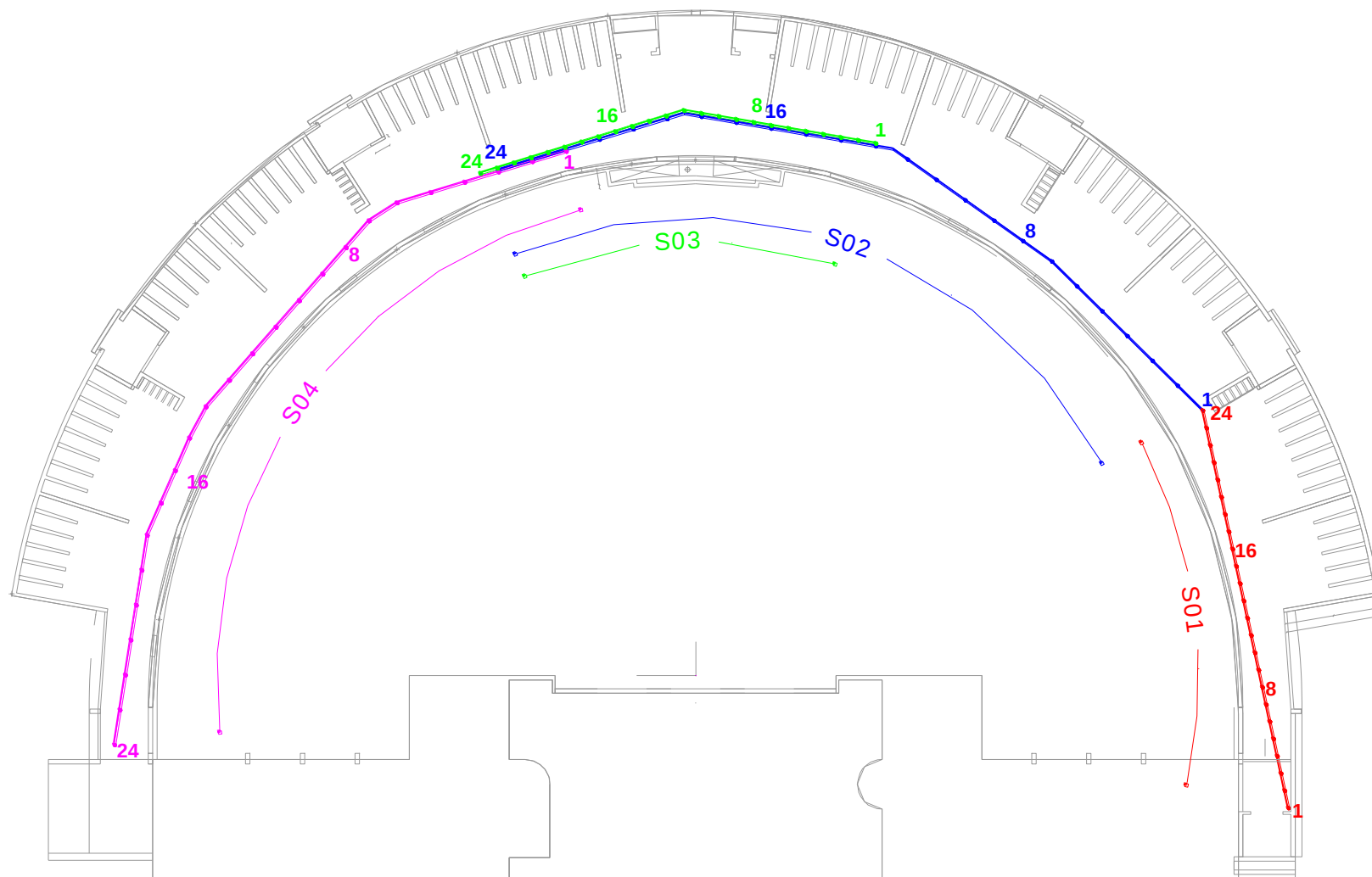


Fig. II-1: Inquadramento di dettaglio delle indagini

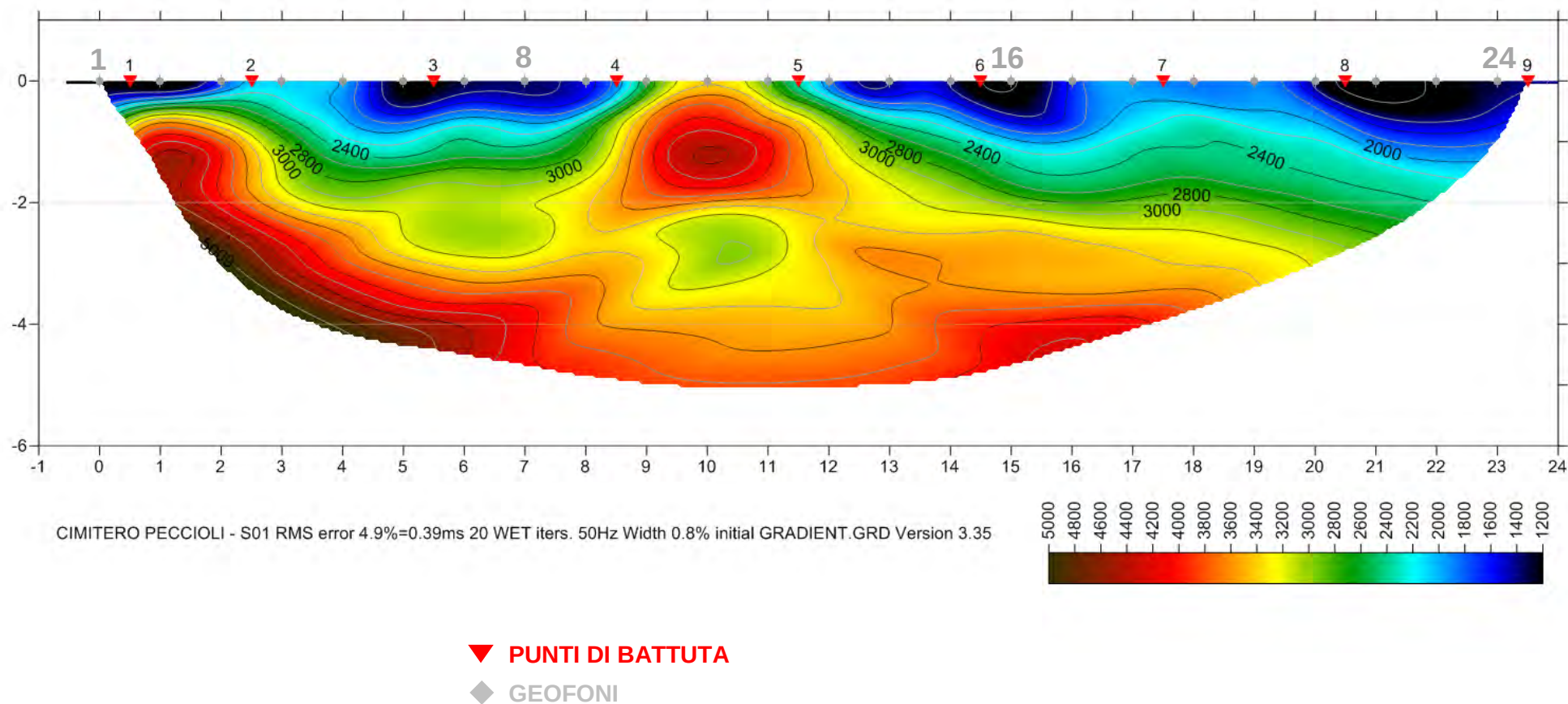


Fig. II-2: Stesa sismica S01 ONDE P – Tomografia sismica – Rapporto scala orizzontale e verticale 1:1

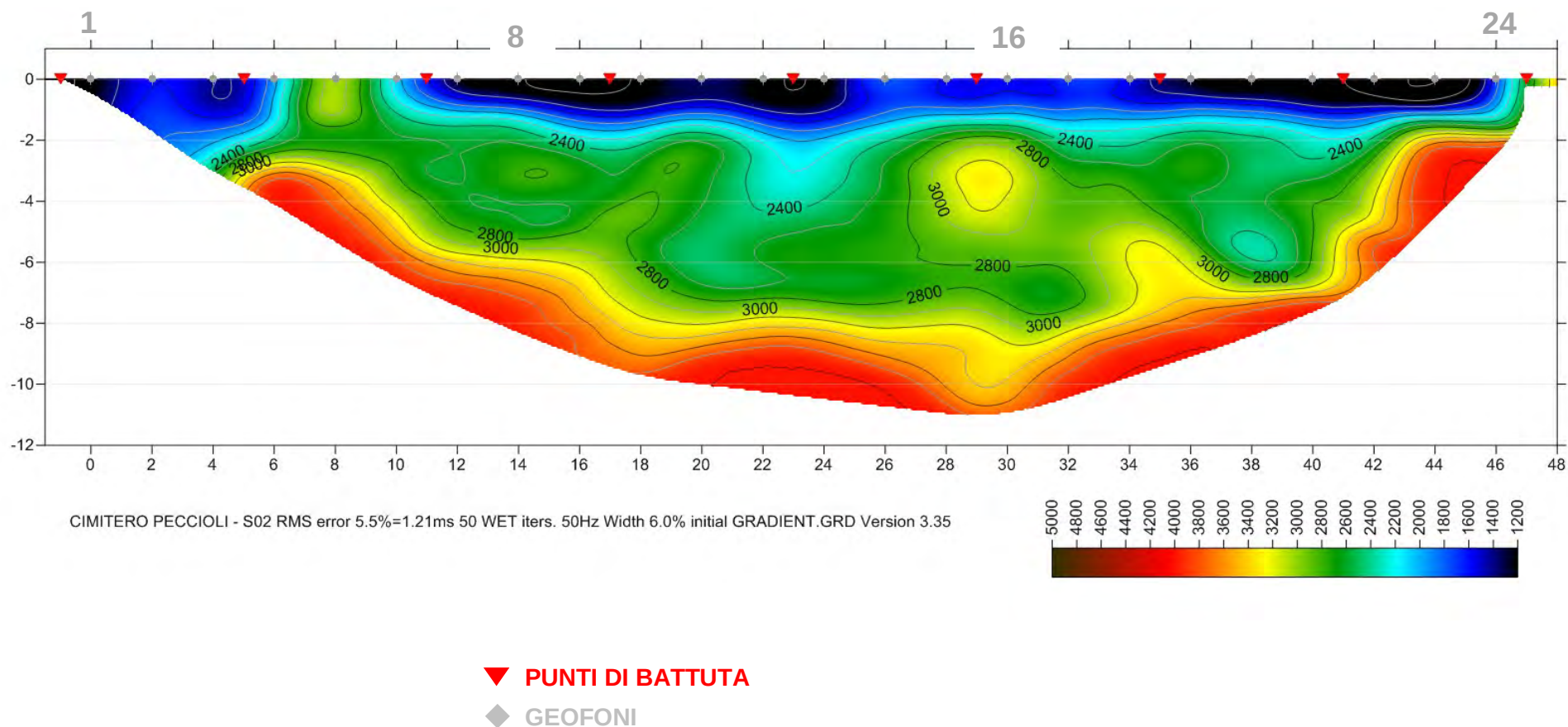


Fig. II-3: Stesa sismica S02 ONDE P – Tomografia sismica – Rapporto scala orizzontale e verticale 1:1

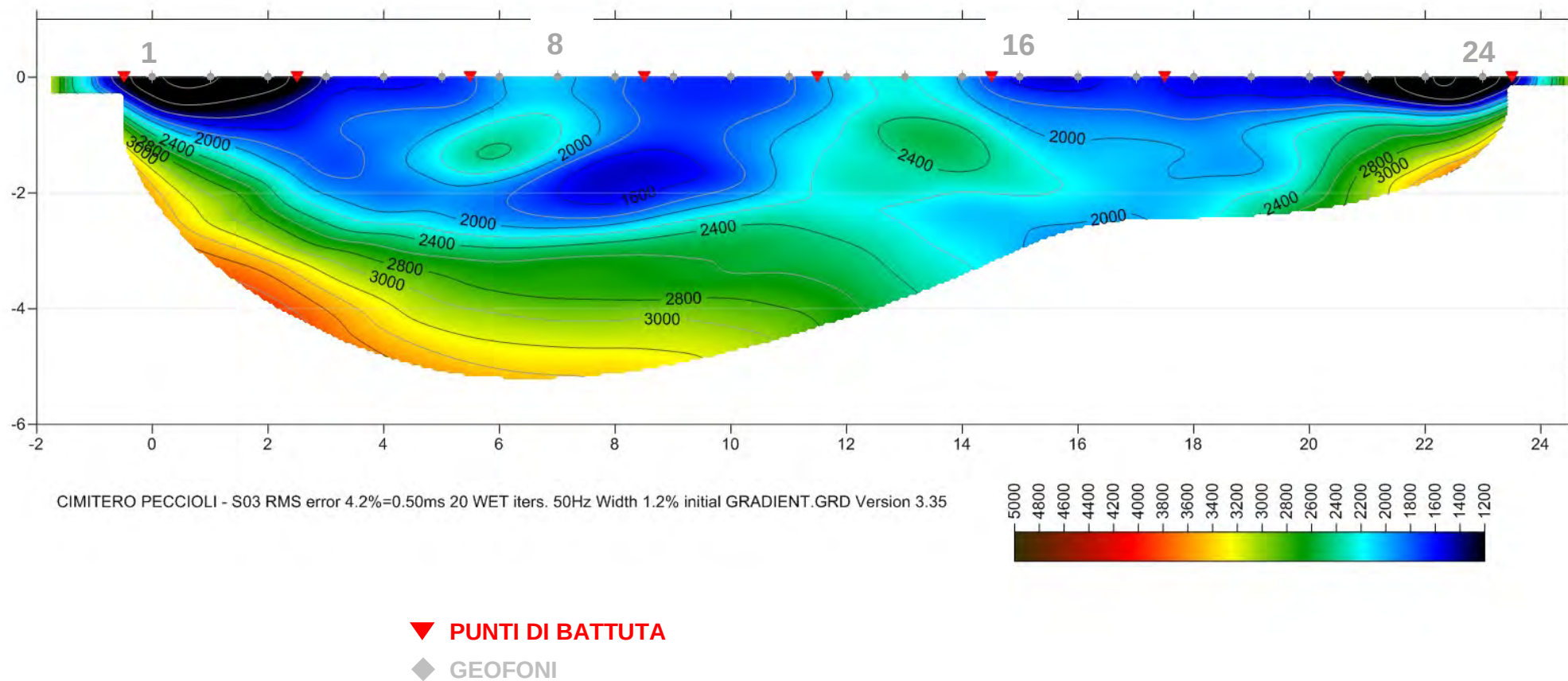


Fig. II-4: Stesa sismica S03 ONDE P – Tomografia sismica – Rapporto scala orizzontale e verticale 1:1

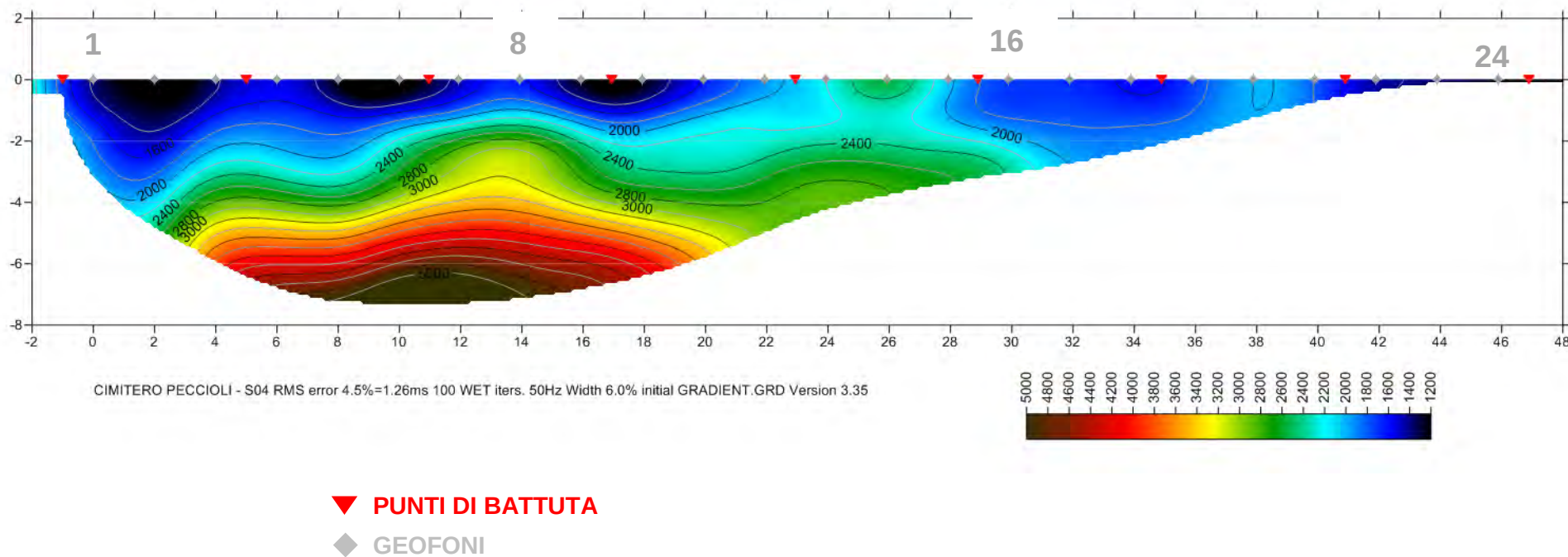


Fig. II-5: Stesa sismica S04 ONDE P – Tomografia sismica – Rapporto scala orizzontale e verticale 1:1

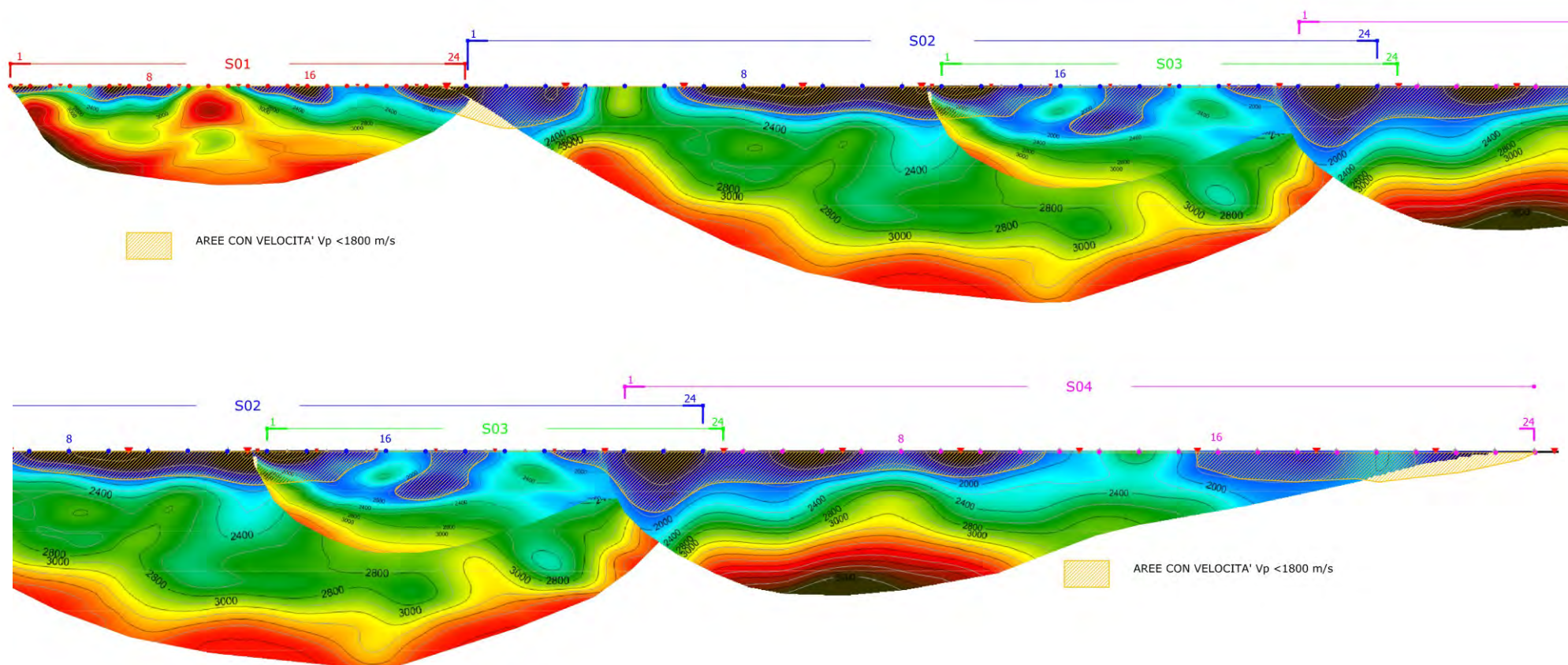


Fig. II-6: Sovrapposizione stese sismiche con evidenziazione aree con velocità $V_p < 1800$ m/s

III. ALLEGATO GRAFICO: INQUADRAMENTO PLANIMETRICO DELLE ANOMALIE RILEVATE

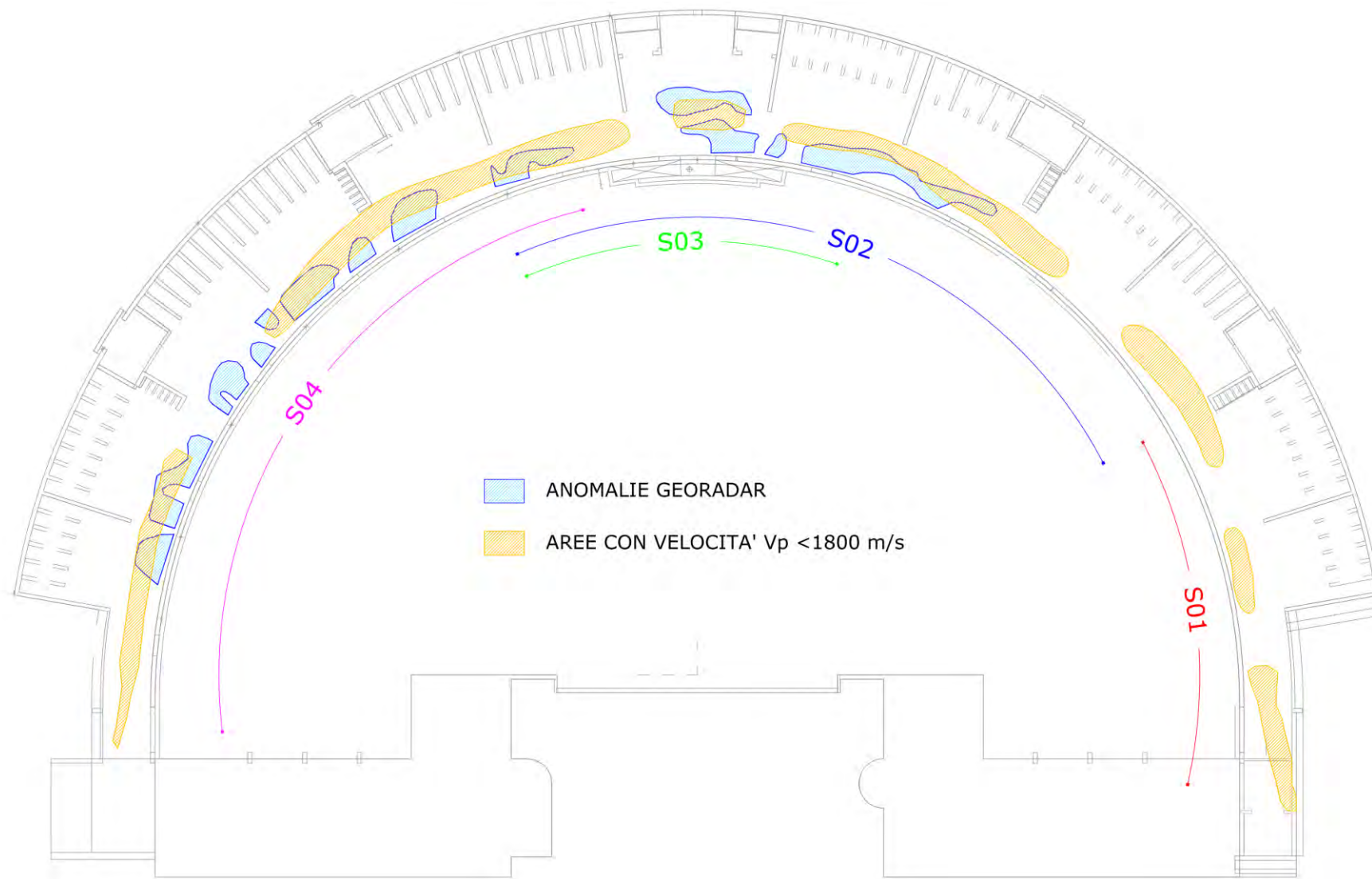


Fig. III-1: Inquadramento planimetrico anomalie rilevate

IV. ALLEGATO FOTOGRAFICO

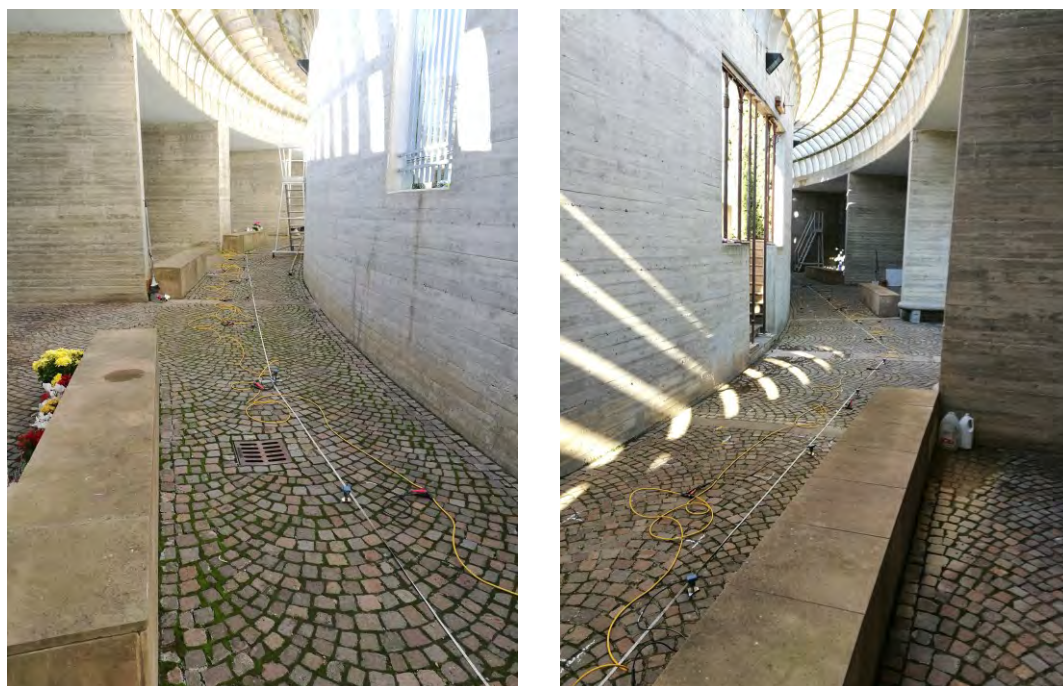


Foto 1: stendimenti sismici

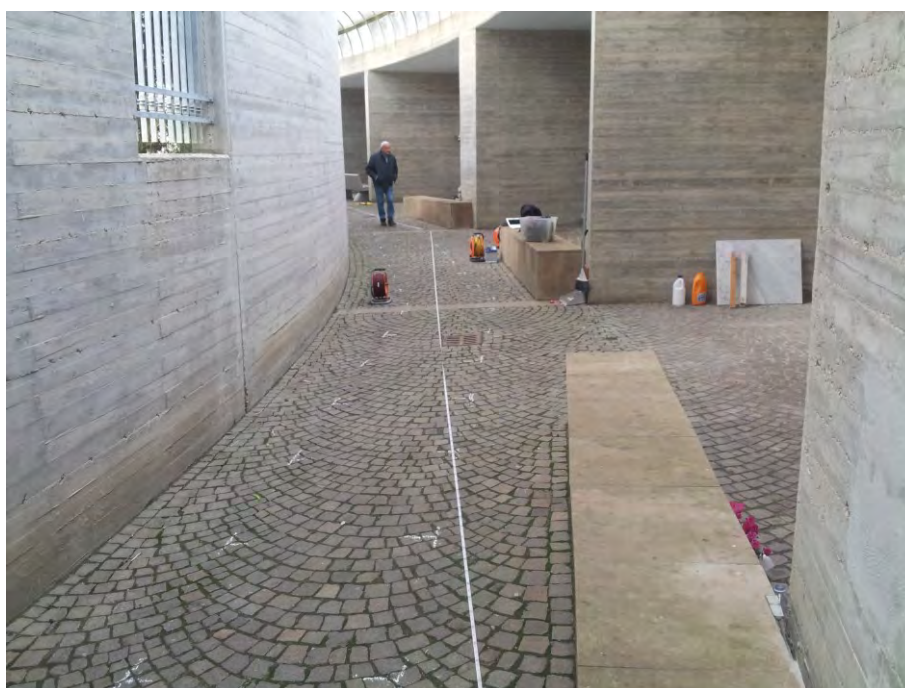


Foto 2: Rilievo georadar – costruzione griglie

V. INQUADRAMENTO PLANIMETRICO E RISULTATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

Allegato 1.h PROVE PENETROMETRICHE DPSH
--

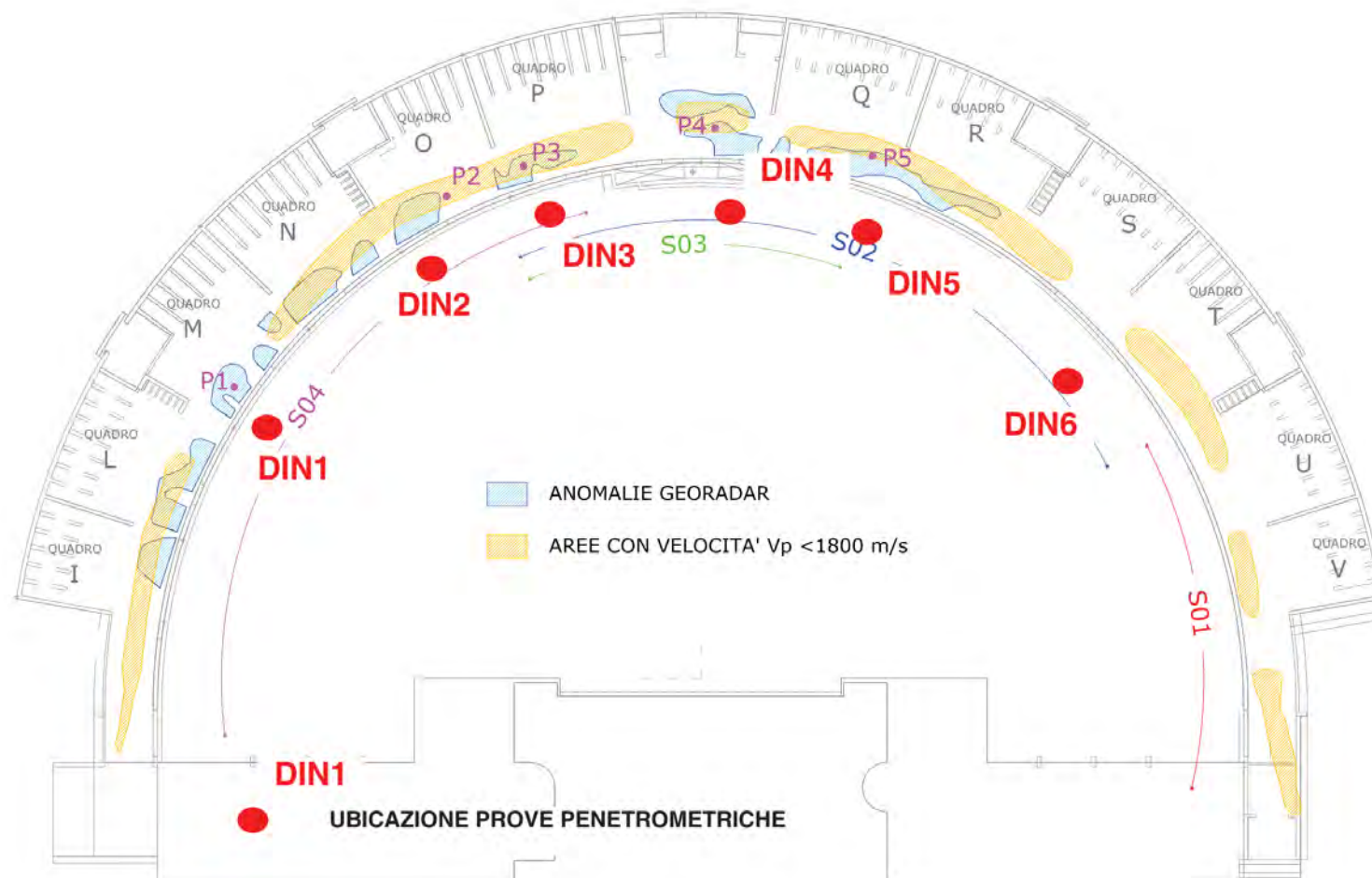


Fig. V-1: Inquadramento planimetrico delle prove

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

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,70 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 6,20 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 1

- committente : AC PECCIOLI
 - lavoro : CIMITERO
 - località : PECCIOLI
 - note :

- data : 06/12/2017
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	3	32,2	----	1	6,20 - 6,40	16	112,4	----	7
0,20 - 0,40	4	43,0	----	1	6,40 - 6,60	11	77,3	----	7
0,40 - 0,60	6	64,4	----	1	6,60 - 6,80	12	84,3	----	7
0,60 - 0,80	10	107,4	----	1	6,80 - 7,00	10	66,4	----	8
0,80 - 1,00	8	79,0	----	2	7,00 - 7,20	10	66,4	----	8
1,00 - 1,20	14	138,2	----	2	7,20 - 7,40	11	73,1	----	8
1,20 - 1,40	12	118,4	----	2	7,40 - 7,60	11	73,1	----	8
1,40 - 1,60	12	118,4	----	2	7,60 - 7,80	8	53,1	----	8
1,60 - 1,80	11	108,6	----	2	7,80 - 8,00	10	63,0	----	9
1,80 - 2,00	10	91,3	----	3	8,00 - 8,20	8	50,4	----	9
2,00 - 2,20	10	91,3	----	3	8,20 - 8,40	7	44,1	----	9
2,20 - 2,40	6	54,8	----	3	8,40 - 8,60	7	44,1	----	9
2,40 - 2,60	7	63,9	----	3	8,60 - 8,80	8	50,4	----	9
2,60 - 2,80	5	45,7	----	3	8,80 - 9,00	8	47,9	----	10
2,80 - 3,00	3	25,5	----	4	9,00 - 9,20	10	59,9	----	10
3,00 - 3,20	4	34,0	----	4	9,20 - 9,40	12	71,9	----	10
3,20 - 3,40	4	34,0	----	4	9,40 - 9,60	14	83,9	----	10
3,40 - 3,60	4	34,0	----	4	9,60 - 9,80	15	89,9	----	10
3,60 - 3,80	2	17,0	----	4	9,80 - 10,00	19	108,5	----	11
3,80 - 4,00	2	15,9	----	5	10,00 - 10,20	22	125,6	----	11
4,00 - 4,20	2	15,9	----	5	10,20 - 10,40	24	137,0	----	11
4,20 - 4,40	2	15,9	----	5	10,40 - 10,60	26	148,5	----	11
4,40 - 4,60	4	31,8	----	5	10,60 - 10,80	28	159,9	----	11
4,60 - 4,80	7	55,6	----	5	10,80 - 11,00	30	163,6	----	12
4,80 - 5,00	7	52,2	----	6	11,00 - 11,20	31	169,1	----	12
5,00 - 5,20	4	29,8	----	6	11,20 - 11,40	36	196,4	----	12
5,20 - 5,40	6	44,7	----	6	11,40 - 11,60	36	196,4	----	12
5,40 - 5,60	7	52,2	----	6	11,60 - 11,80	37	201,8	----	12
5,60 - 5,80	19	141,7	----	6	11,80 - 12,00	45	235,0	----	13
5,80 - 6,00	16	112,4	----	7	12,00 - 12,20	49	255,8	----	13
6,00 - 6,20	17	119,4	----	7					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,00** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

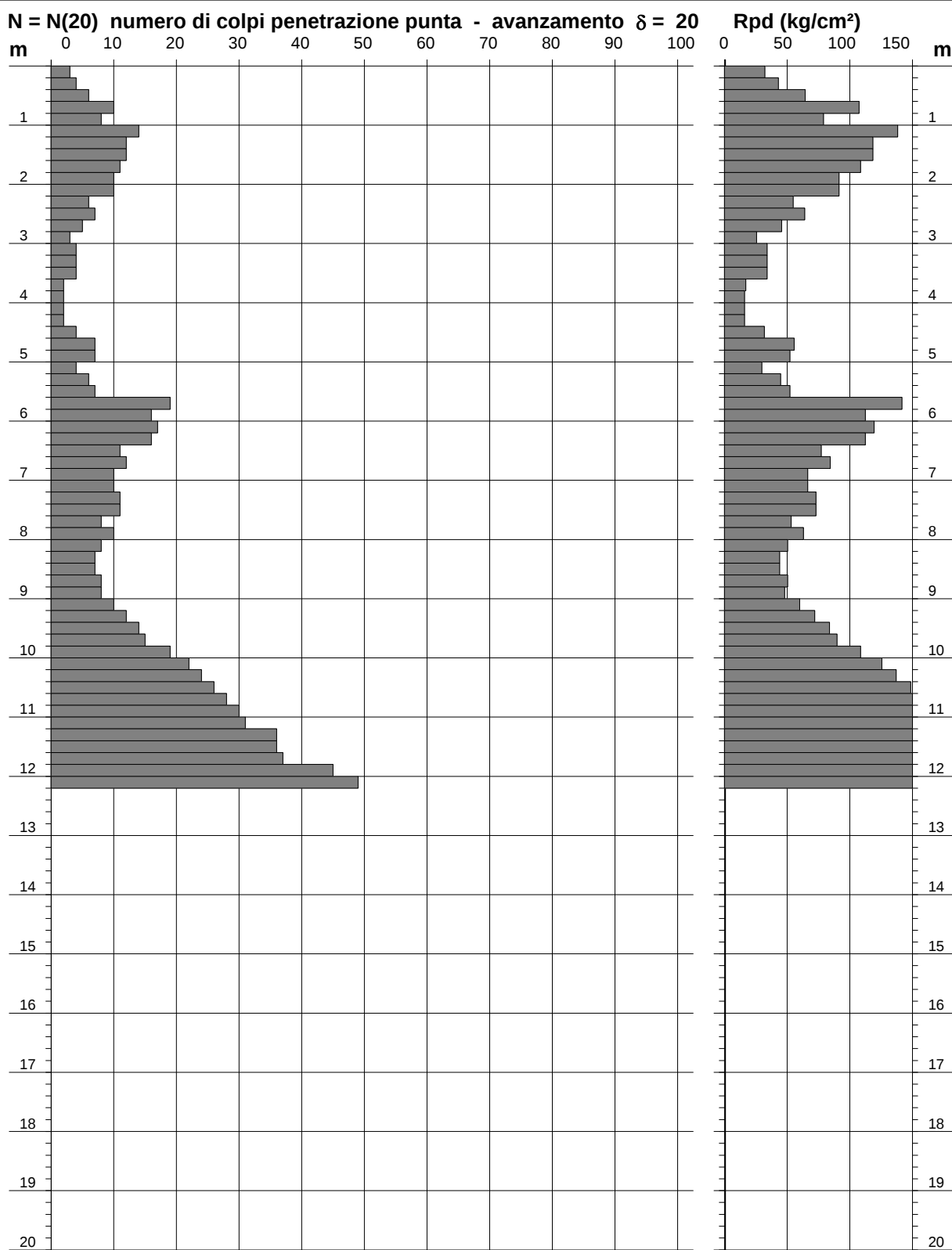
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 1

Scala 1: 100

- committente : AC PECCIOLI
- lavoro : CIMITERO
- località : PECCIOLI
- note :

- data : 06/12/2017
- quota inizio : 0
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

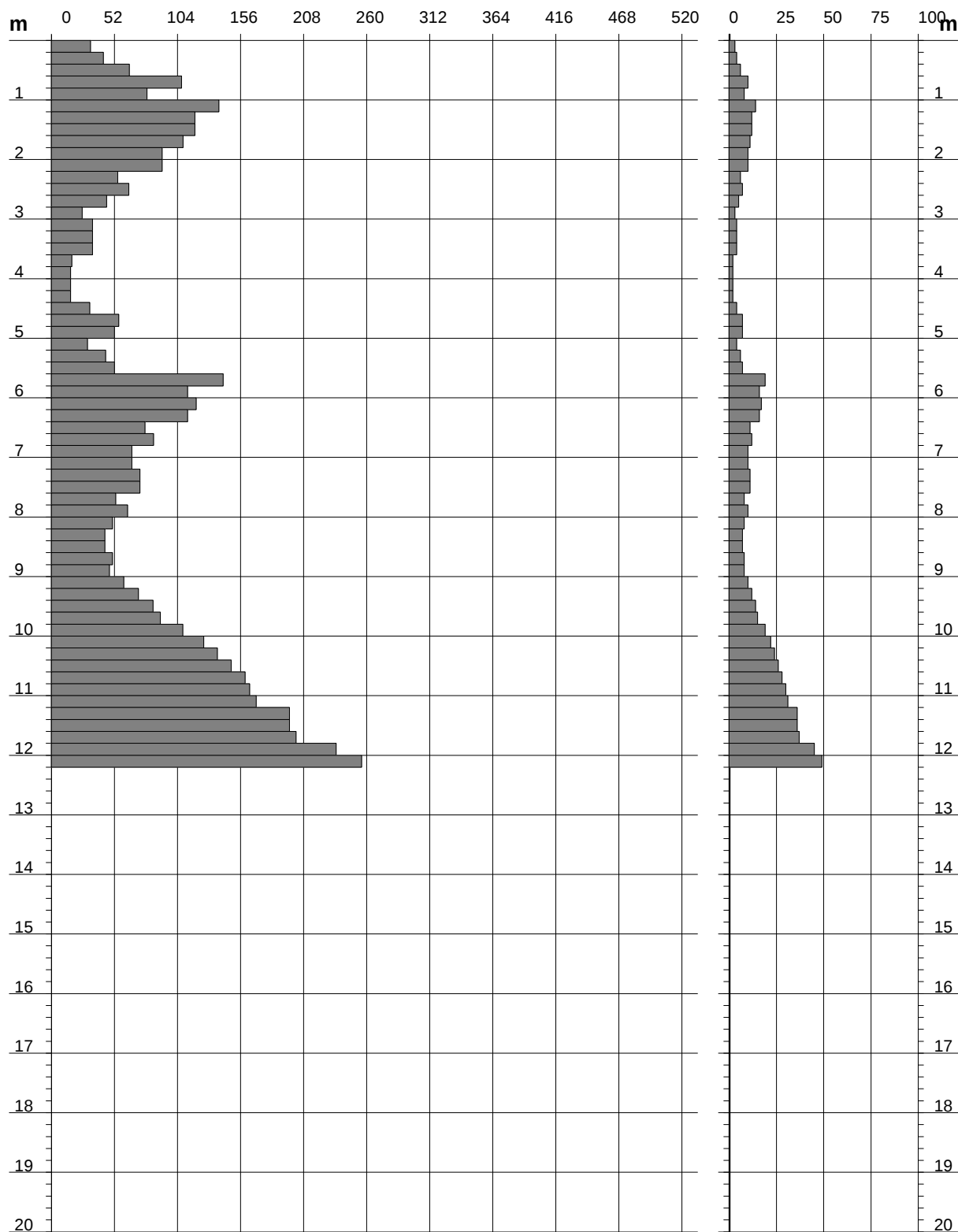
DIN 1
Scala 1: 100

- committente : AC PECCIOLI
- lavoro : CIMITERO
- località : PECCIOLI

- data : 06/12/2017
- quota inizio : 0
- prof. falda : Falda non rilevata

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"

N = N(20) n° colpi $\delta = 20$



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

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,70 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 6,20 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 2

- committente : AC PECCIOLI
 - lavoro : CIMITERO
 - località : PECCIOLI
 - note :

- data : 06/12/2017
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : 10,80 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	3	32,2	----	1	6,20 - 6,40	6	42,2	----	7
0,20 - 0,40	4	43,0	----	1	6,40 - 6,60	6	42,2	----	7
0,40 - 0,60	7	75,2	----	1	6,60 - 6,80	6	42,2	----	7
0,60 - 0,80	9	96,7	----	1	6,80 - 7,00	5	33,2	----	8
0,80 - 1,00	10	98,7	----	2	7,00 - 7,20	5	33,2	----	8
1,00 - 1,20	13	128,3	----	2	7,20 - 7,40	5	33,2	----	8
1,20 - 1,40	13	128,3	----	2	7,40 - 7,60	6	39,9	----	8
1,40 - 1,60	23	227,0	----	2	7,60 - 7,80	6	39,9	----	8
1,60 - 1,80	13	128,3	----	2	7,80 - 8,00	6	37,8	----	9
1,80 - 2,00	9	82,2	----	3	8,00 - 8,20	6	37,8	----	9
2,00 - 2,20	4	36,5	----	3	8,20 - 8,40	6	37,8	----	9
2,20 - 2,40	5	45,7	----	3	8,40 - 8,60	5	31,5	----	9
2,40 - 2,60	4	36,5	----	3	8,60 - 8,80	7	44,1	----	9
2,60 - 2,80	4	36,5	----	3	8,80 - 9,00	7	41,9	----	10
2,80 - 3,00	5	42,5	----	4	9,00 - 9,20	7	41,9	----	10
3,00 - 3,20	5	42,5	----	4	9,20 - 9,40	6	35,9	----	10
3,20 - 3,40	4	34,0	----	4	9,40 - 9,60	7	41,9	----	10
3,40 - 3,60	3	25,5	----	4	9,60 - 9,80	8	47,9	----	10
3,60 - 3,80	4	34,0	----	4	9,80 - 10,00	7	40,0	----	11
3,80 - 4,00	3	23,8	----	5	10,00 - 10,20	7	40,0	----	11
4,00 - 4,20	3	23,8	----	5	10,20 - 10,40	8	45,7	----	11
4,20 - 4,40	5	39,7	----	5	10,40 - 10,60	7	40,0	----	11
4,40 - 4,60	12	95,3	----	5	10,60 - 10,80	8	45,7	----	11
4,60 - 4,80	12	95,3	----	5	10,80 - 11,00	12	65,5	----	12
4,80 - 5,00	12	89,5	----	6	11,00 - 11,20	11	60,0	----	12
5,00 - 5,20	18	134,2	----	6	11,20 - 11,40	9	49,1	----	12
5,20 - 5,40	17	126,8	----	6	11,40 - 11,60	12	65,5	----	12
5,40 - 5,60	14	104,4	----	6	11,60 - 11,80	22	120,0	----	12
5,60 - 5,80	11	82,0	----	6	11,80 - 12,00	50	261,1	----	13
5,80 - 6,00	7	49,2	----	7	12,00 - 12,20	89	464,7	----	13
6,00 - 6,20	7	49,2	----	7					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,00** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

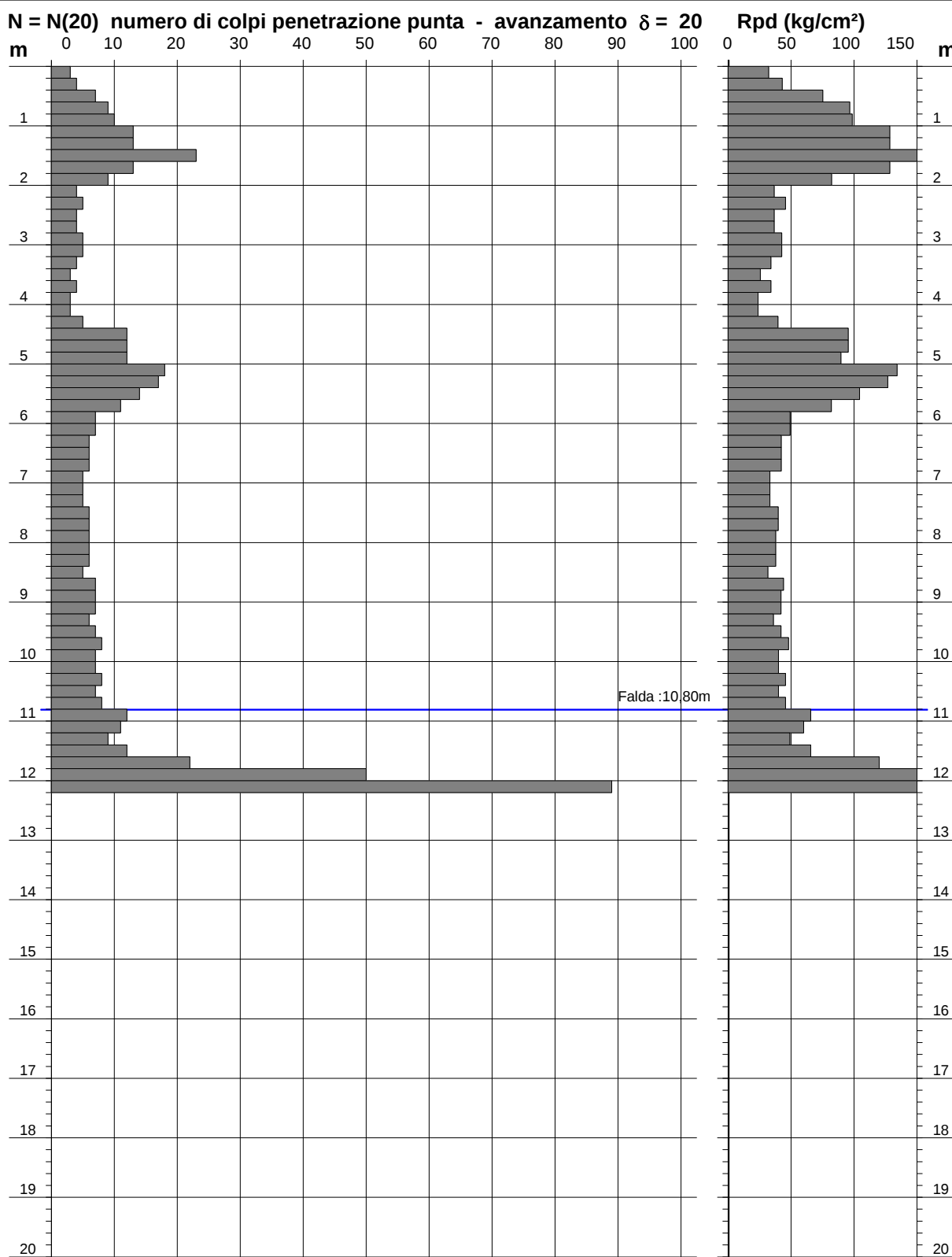
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 2

Scala 1: 100

- committente : AC PECCIOLI
- lavoro : CIMITERO
- località : PECCIOLI
- note :

- data : 06/12/2017
- quota inizio : 0
- prof. falda : 10,80 m da quota inizio
- pagina : 1



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

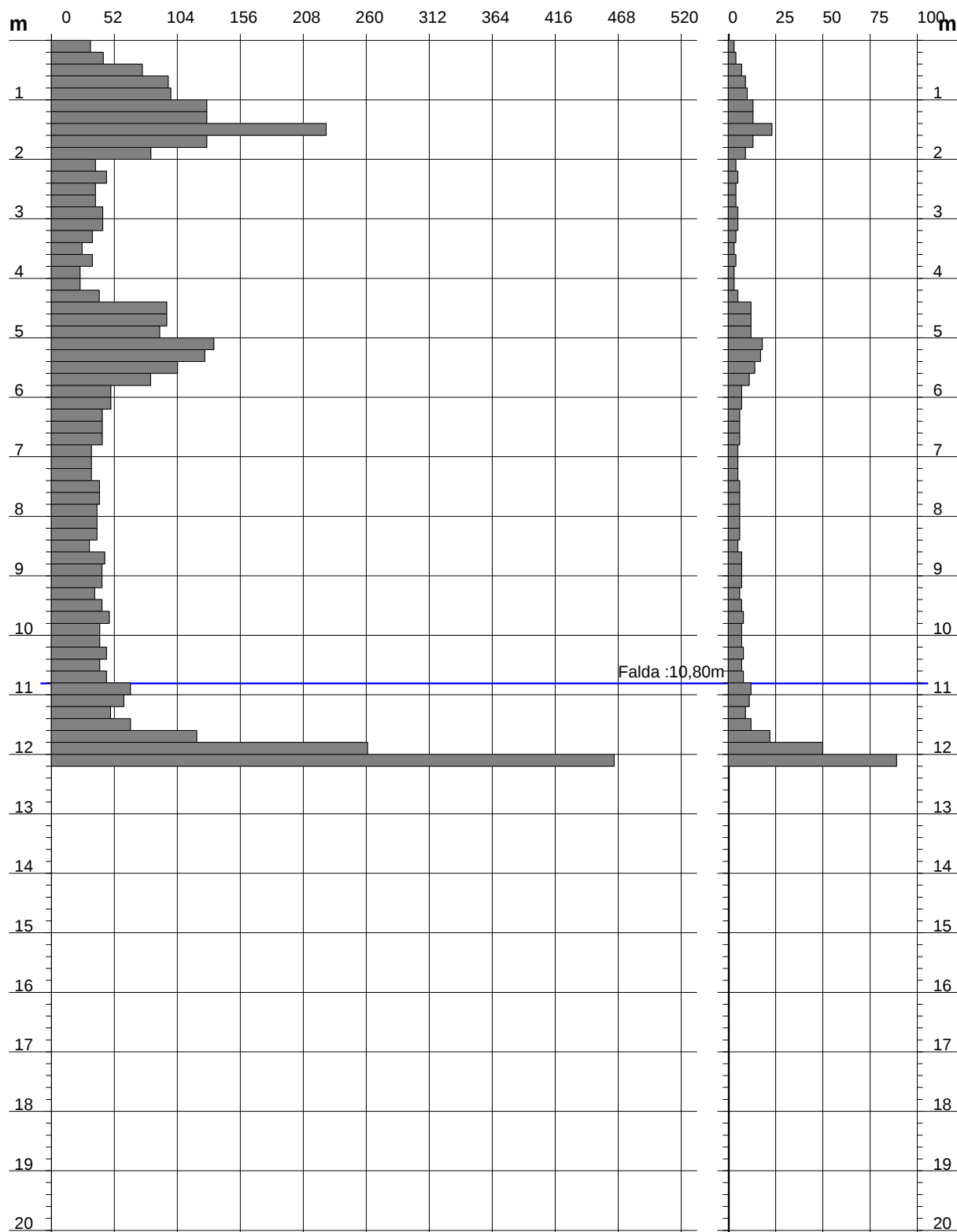
DIN 2
Scala 1: 100

- committente : AC PECCIOLI
- lavoro : CIMITERO
- località : PECCIOLI

- data : 06/12/2017
- quota inizio : 0
- prof. falda : 10,80 m da quota inizio

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"

N = N(20) n° colpi $\delta = 20$



Falda : 10,80m

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

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,70 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 6,20 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 3

- committente : AC PECCIOLI
 - lavoro : CIMITERO
 - località : PECCIOLI
 - note :

- data : 06/12/2017
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	10,7	----	1	6,00 - 6,20	3	21,1	----	7
0,20 - 0,40	1	10,7	----	1	6,20 - 6,40	4	28,1	----	7
0,40 - 0,60	1	10,7	----	1	6,40 - 6,60	3	21,1	----	7
0,60 - 0,80	2	21,5	----	1	6,60 - 6,80	3	21,1	----	7
0,80 - 1,00	7	69,1	----	2	6,80 - 7,00	4	26,6	----	8
1,00 - 1,20	8	79,0	----	2	7,00 - 7,20	5	33,2	----	8
1,20 - 1,40	11	108,6	----	2	7,20 - 7,40	4	26,6	----	8
1,40 - 1,60	15	148,1	----	2	7,40 - 7,60	4	26,6	----	8
1,60 - 1,80	12	118,4	----	2	7,60 - 7,80	4	26,6	----	8
1,80 - 2,00	6	54,8	----	3	7,80 - 8,00	4	25,2	----	9
2,00 - 2,20	4	36,5	----	3	8,00 - 8,20	4	25,2	----	9
2,20 - 2,40	2	18,3	----	3	8,20 - 8,40	4	25,2	----	9
2,40 - 2,60	3	27,4	----	3	8,40 - 8,60	5	31,5	----	9
2,60 - 2,80	2	18,3	----	3	8,60 - 8,80	5	31,5	----	9
2,80 - 3,00	2	17,0	----	4	8,80 - 9,00	6	35,9	----	10
3,00 - 3,20	2	17,0	----	4	9,00 - 9,20	6	35,9	----	10
3,20 - 3,40	1	8,5	----	4	9,20 - 9,40	6	35,9	----	10
3,40 - 3,60	1	8,5	----	4	9,40 - 9,60	6	35,9	----	10
3,60 - 3,80	1	8,5	----	4	9,60 - 9,80	6	35,9	----	10
3,80 - 4,00	7	55,6	----	5	9,80 - 10,00	6	34,3	----	11
4,00 - 4,20	7	55,6	----	5	10,00 - 10,20	7	40,0	----	11
4,20 - 4,40	5	39,7	----	5	10,20 - 10,40	10	57,1	----	11
4,40 - 4,60	4	31,8	----	5	10,40 - 10,60	6	34,3	----	11
4,60 - 4,80	5	39,7	----	5	10,60 - 10,80	7	40,0	----	11
4,80 - 5,00	5	37,3	----	6	10,80 - 11,00	10	54,5	----	12
5,00 - 5,20	4	29,8	----	6	11,00 - 11,20	16	87,3	----	12
5,20 - 5,40	2	14,9	----	6	11,20 - 11,40	35	190,9	----	12
5,40 - 5,60	3	22,4	----	6	11,40 - 11,60	60	327,3	----	12
5,60 - 5,80	2	14,9	----	6	11,60 - 11,80	69	376,4	----	12
5,80 - 6,00	3	21,1	----	7					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,00** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

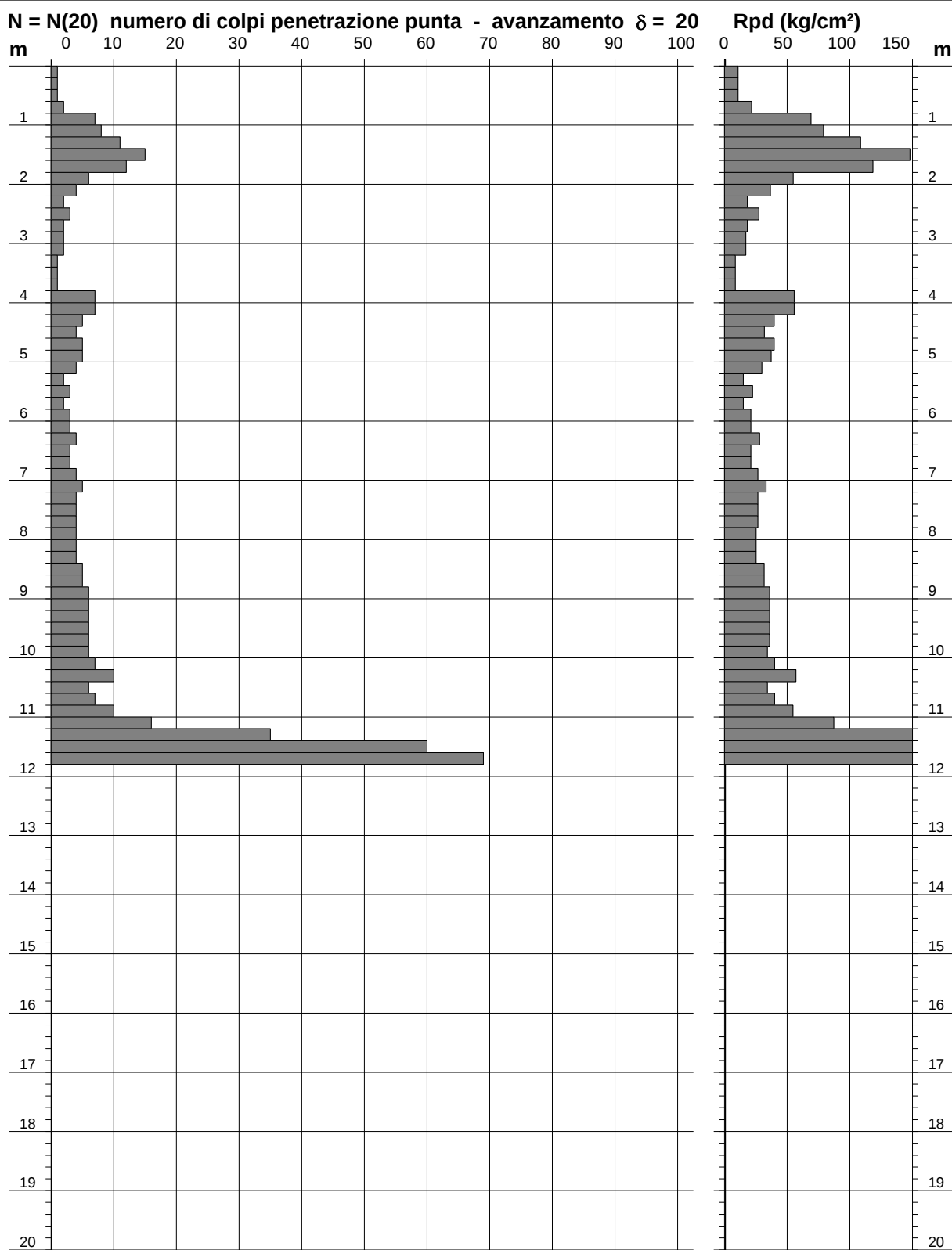
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 3

Scala 1: 100

- committente : AC PECCIOLI
- lavoro : CIMITERO
- località : PECCIOLI
- note :

- data : 06/12/2017
- quota inizio : 0
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

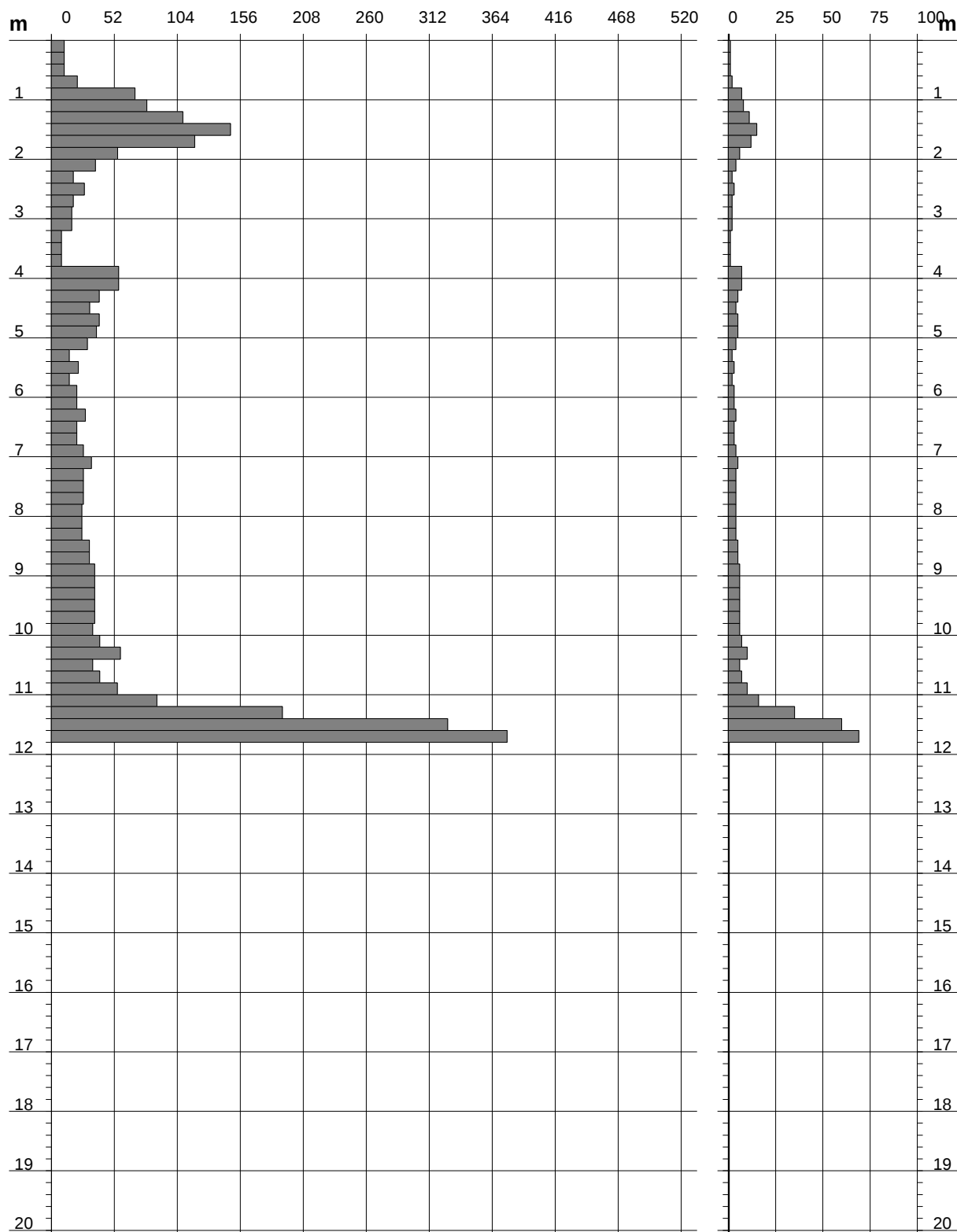
DIN 3
Scala 1: 100

- committente : AC PECCIOLI
- lavoro : CIMITERO
- località : PECCIOLI

- data : 06/12/2017
- quota inizio : 0
- prof. falda : Falda non rilevata

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"

N = N(20) n° colpi $\delta = 20$



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

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,70 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 6,20 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 4

- committente : AC PECCIOLI
 - lavoro : CIMITERO
 - località : PECCIOLI
 - note :

- data : 06/12/2017
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	----	----	----	1	5,40 - 5,60	3	22,4	----	6
0,20 - 0,40	1	10,7	----	1	5,60 - 5,80	4	29,8	----	6
0,40 - 0,60	1	10,7	----	1	5,80 - 6,00	3	21,1	----	7
0,60 - 0,80	1	10,7	----	1	6,00 - 6,20	4	28,1	----	7
0,80 - 1,00	2	19,7	----	2	6,20 - 6,40	4	28,1	----	7
1,00 - 1,20	2	19,7	----	2	6,40 - 6,60	5	35,1	----	7
1,20 - 1,40	5	49,4	----	2	6,60 - 6,80	5	35,1	----	7
1,40 - 1,60	6	59,2	----	2	6,80 - 7,00	4	26,6	----	8
1,60 - 1,80	11	108,6	----	2	7,00 - 7,20	5	33,2	----	8
1,80 - 2,00	8	73,0	----	3	7,20 - 7,40	4	26,6	----	8
2,00 - 2,20	8	73,0	----	3	7,40 - 7,60	5	33,2	----	8
2,20 - 2,40	4	36,5	----	3	7,60 - 7,80	5	33,2	----	8
2,40 - 2,60	2	18,3	----	3	7,80 - 8,00	5	31,5	----	9
2,60 - 2,80	2	18,3	----	3	8,00 - 8,20	5	31,5	----	9
2,80 - 3,00	2	17,0	----	4	8,20 - 8,40	5	31,5	----	9
3,00 - 3,20	2	17,0	----	4	8,40 - 8,60	5	31,5	----	9
3,20 - 3,40	2	17,0	----	4	8,60 - 8,80	5	31,5	----	9
3,40 - 3,60	2	17,0	----	4	8,80 - 9,00	5	30,0	----	10
3,60 - 3,80	2	17,0	----	4	9,00 - 9,20	5	30,0	----	10
3,80 - 4,00	2	15,9	----	5	9,20 - 9,40	5	30,0	----	10
4,00 - 4,20	3	23,8	----	5	9,40 - 9,60	8	47,9	----	10
4,20 - 4,40	4	31,8	----	5	9,60 - 9,80	10	59,9	----	10
4,40 - 4,60	5	39,7	----	5	9,80 - 10,00	17	97,1	----	11
4,60 - 4,80	7	55,6	----	5	10,00 - 10,20	34	194,2	----	11
4,80 - 5,00	3	22,4	----	6	10,20 - 10,40	45	257,0	----	11
5,00 - 5,20	3	22,4	----	6	10,40 - 10,60	81	462,5	----	11
5,20 - 5,40	4	29,8	----	6					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,00** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

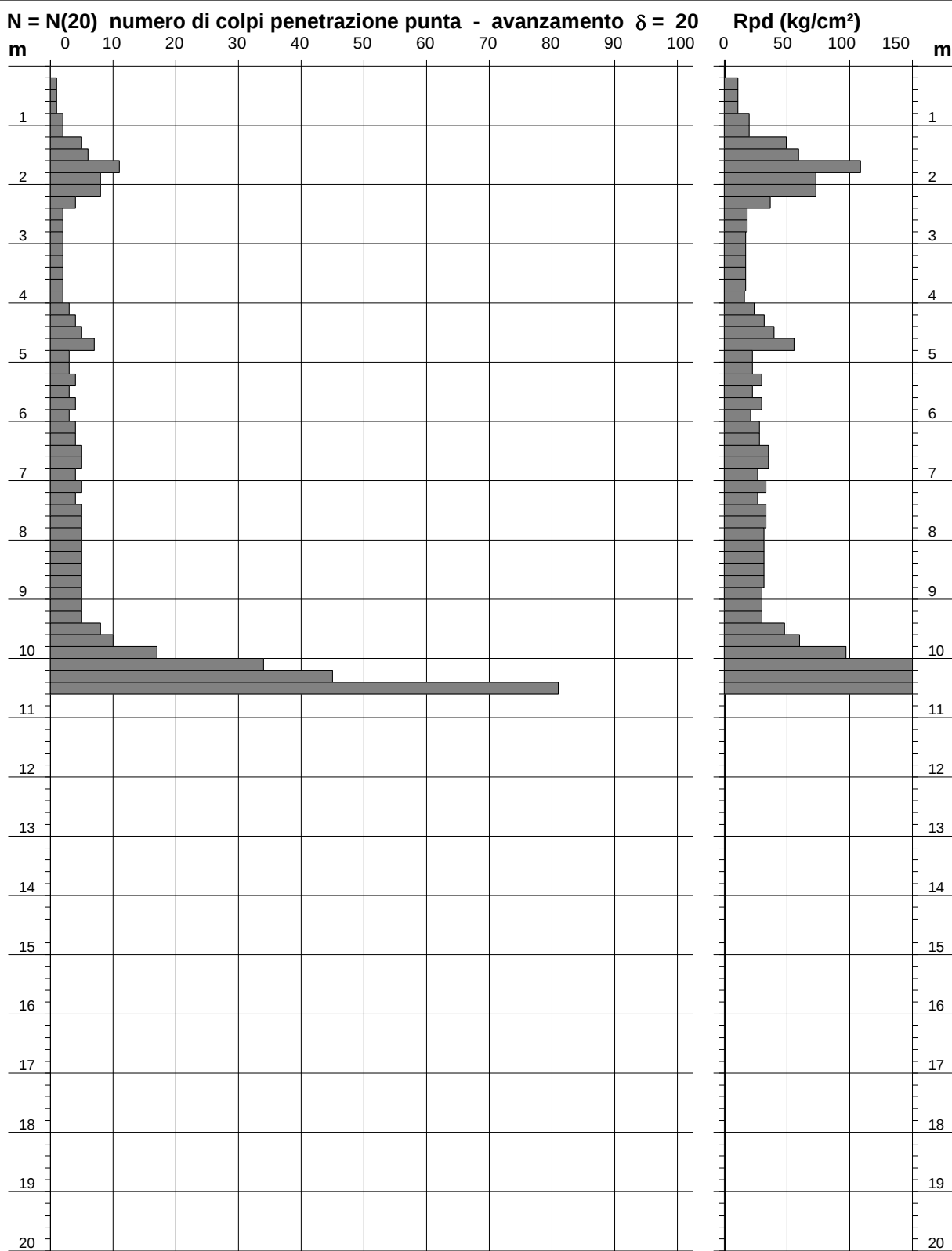
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 4

Scala 1: 100

- committente : AC PECCIOLI
- lavoro : CIMITERO
- località : PECCIOLI
- note :

- data : 06/12/2017
- quota inizio : 0
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

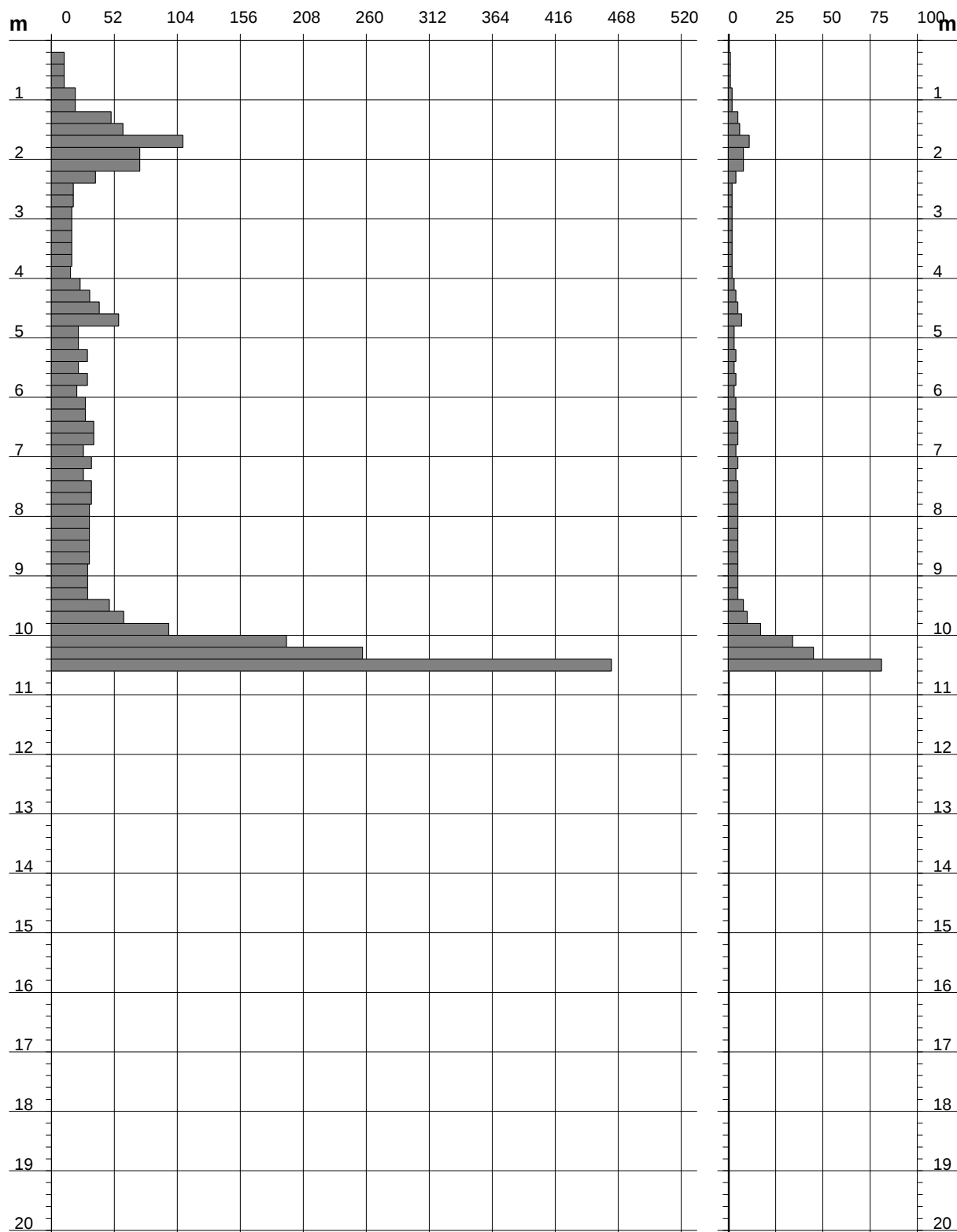
DIN 4
Scala 1: 100

- committente : AC PECCIOLI
- lavoro : CIMITERO
- località : PECCIOLI

- data : 06/12/2017
- quota inizio : 0
- prof. falda : Falda non rilevata

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"

N = N(20) n° colpi $\delta = 20$



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

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,70 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 6,20 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 5

- committente : AC PECCIOLI
 - lavoro : CIMITERO
 - località : PECCIOLI
 - note :

- data : 06/12/2017
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : 8,40 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	3	32,2	----	1	5,40 - 5,60	3	22,4	----	6
0,20 - 0,40	2	21,5	----	1	5,60 - 5,80	3	22,4	----	6
0,40 - 0,60	2	21,5	----	1	5,80 - 6,00	2	14,1	----	7
0,60 - 0,80	5	53,7	----	1	6,00 - 6,20	3	21,1	----	7
0,80 - 1,00	10	98,7	----	2	6,20 - 6,40	2	14,1	----	7
1,00 - 1,20	12	118,4	----	2	6,40 - 6,60	4	28,1	----	7
1,20 - 1,40	13	128,3	----	2	6,60 - 6,80	3	21,1	----	7
1,40 - 1,60	11	108,6	----	2	6,80 - 7,00	4	26,6	----	8
1,60 - 1,80	11	108,6	----	2	7,00 - 7,20	2	13,3	----	8
1,80 - 2,00	9	82,2	----	3	7,20 - 7,40	3	19,9	----	8
2,00 - 2,20	5	45,7	----	3	7,40 - 7,60	3	19,9	----	8
2,20 - 2,40	5	45,7	----	3	7,60 - 7,80	3	19,9	----	8
2,40 - 2,60	6	54,8	----	3	7,80 - 8,00	3	18,9	----	9
2,60 - 2,80	3	27,4	----	3	8,00 - 8,20	4	25,2	----	9
2,80 - 3,00	2	17,0	----	4	8,20 - 8,40	3	18,9	----	9
3,00 - 3,20	1	8,5	----	4	8,40 - 8,60	4	25,2	----	9
3,20 - 3,40	1	8,5	----	4	8,60 - 8,80	7	44,1	----	9
3,40 - 3,60	1	8,5	----	4	8,80 - 9,00	7	41,9	----	10
3,60 - 3,80	1	8,5	----	4	9,00 - 9,20	14	83,9	----	10
3,80 - 4,00	1	7,9	----	5	9,20 - 9,40	34	203,7	----	10
4,00 - 4,20	2	15,9	----	5	9,40 - 9,60	36	215,7	----	10
4,20 - 4,40	2	15,9	----	5	9,60 - 9,80	33	197,7	----	10
4,40 - 4,60	1	7,9	----	5	9,80 - 10,00	21	119,9	----	11
4,60 - 4,80	2	15,9	----	5	10,00 - 10,20	25	142,8	----	11
4,80 - 5,00	2	14,9	----	6	10,20 - 10,40	55	314,1	----	11
5,00 - 5,20	2	14,9	----	6	10,40 - 10,60	66	376,9	----	11
5,20 - 5,40	2	14,9	----	6					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,00** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

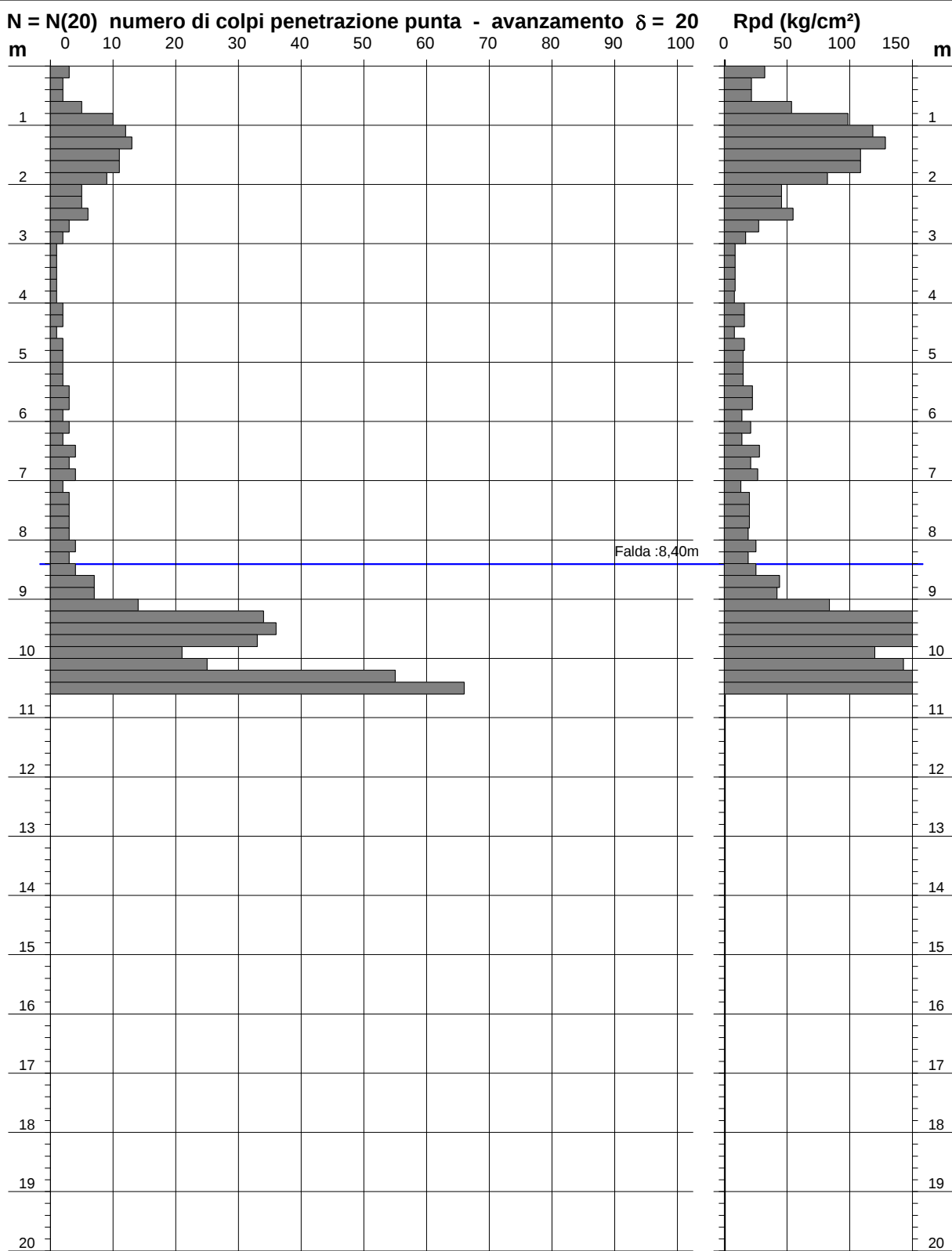
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 5

Scala 1: 100

- committente : AC PECCIOLI
- lavoro : CIMITERO
- località : PECCIOLI
- note :

- data : 06/12/2017
- quota inizio : 0
- prof. falda : 8,40 m da quota inizio
- pagina : 1



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

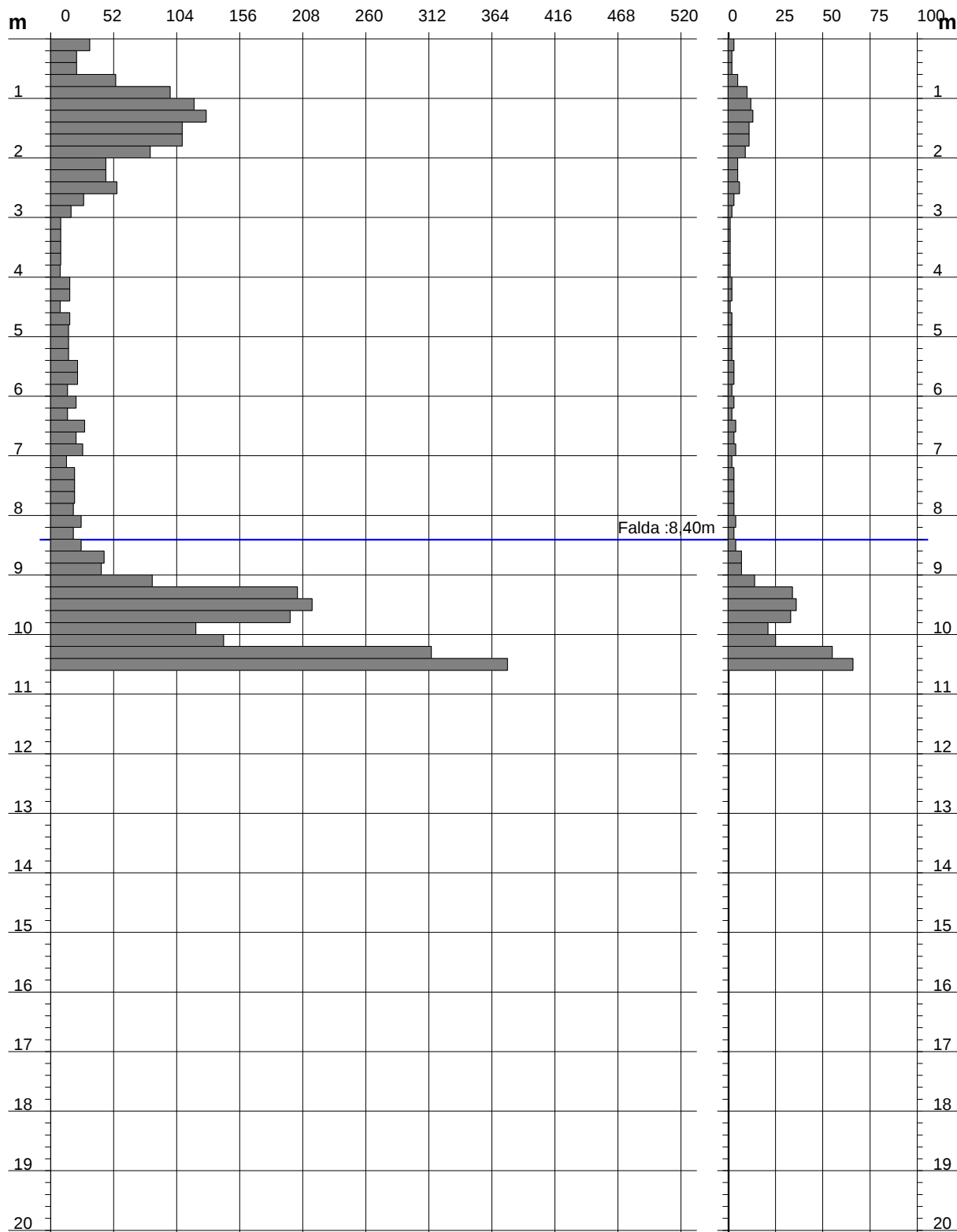
DIN 5
Scala 1: 100

- committente : AC PECCIOLI
- lavoro : CIMITERO
- località : PECCIOLI

- data : 06/12/2017
- quota inizio : 0
- prof. falda : 8,40 m da quota inizio

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"

N = N(20) n° colpi $\delta = 20$



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

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso 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)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	M _s = 0,70 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	L _a = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	M _a = 6,20 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P ₁ = 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	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Q _{spt} = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : N _{spt} = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd} [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_{pd} = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 6

- committente : AC PECCIOLI
 - lavoro : CIMITERO
 - località : PECCIOLI
 - note :

- data : 06/12/2017
 - quota inizio : 0
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	5	53,7	----	1	4,80 - 5,00	3	22,4	----	6
0,20 - 0,40	5	53,7	----	1	5,00 - 5,20	3	22,4	----	6
0,40 - 0,60	6	64,4	----	1	5,20 - 5,40	3	22,4	----	6
0,60 - 0,80	15	161,1	----	1	5,40 - 5,60	3	22,4	----	6
0,80 - 1,00	11	108,6	----	2	5,60 - 5,80	3	22,4	----	6
1,00 - 1,20	11	108,6	----	2	5,80 - 6,00	3	21,1	----	7
1,20 - 1,40	7	69,1	----	2	6,00 - 6,20	3	21,1	----	7
1,40 - 1,60	10	98,7	----	2	6,20 - 6,40	3	21,1	----	7
1,60 - 1,80	10	98,7	----	2	6,40 - 6,60	4	28,1	----	7
1,80 - 2,00	9	82,2	----	3	6,60 - 6,80	4	28,1	----	7
2,00 - 2,20	8	73,0	----	3	6,80 - 7,00	4	26,6	----	8
2,20 - 2,40	9	82,2	----	3	7,00 - 7,20	5	33,2	----	8
2,40 - 2,60	6	54,8	----	3	7,20 - 7,40	3	19,9	----	8
2,60 - 2,80	4	36,5	----	3	7,40 - 7,60	4	26,6	----	8
2,80 - 3,00	4	34,0	----	4	7,60 - 7,80	5	33,2	----	8
3,00 - 3,20	1	8,5	----	4	7,80 - 8,00	7	44,1	----	9
3,20 - 3,40	1	8,5	----	4	8,00 - 8,20	10	63,0	----	9
3,40 - 3,60	1	8,5	----	4	8,20 - 8,40	16	100,8	----	9
3,60 - 3,80	1	8,5	----	4	8,40 - 8,60	47	296,1	----	9
3,80 - 4,00	1	7,9	----	5	8,60 - 8,80	46	289,8	----	9
4,00 - 4,20	1	7,9	----	5	8,80 - 9,00	46	275,6	----	10
4,20 - 4,40	1	7,9	----	5	9,00 - 9,20	20	119,8	----	10
4,40 - 4,60	2	15,9	----	5	9,20 - 9,40	31	185,7	----	10
4,60 - 4,80	3	23,8	----	5	9,40 - 9,60	88	527,2	----	10

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DPSH (S. Heavy)**- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,00** cm² - D(diam. punta)= **50,50** mm- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

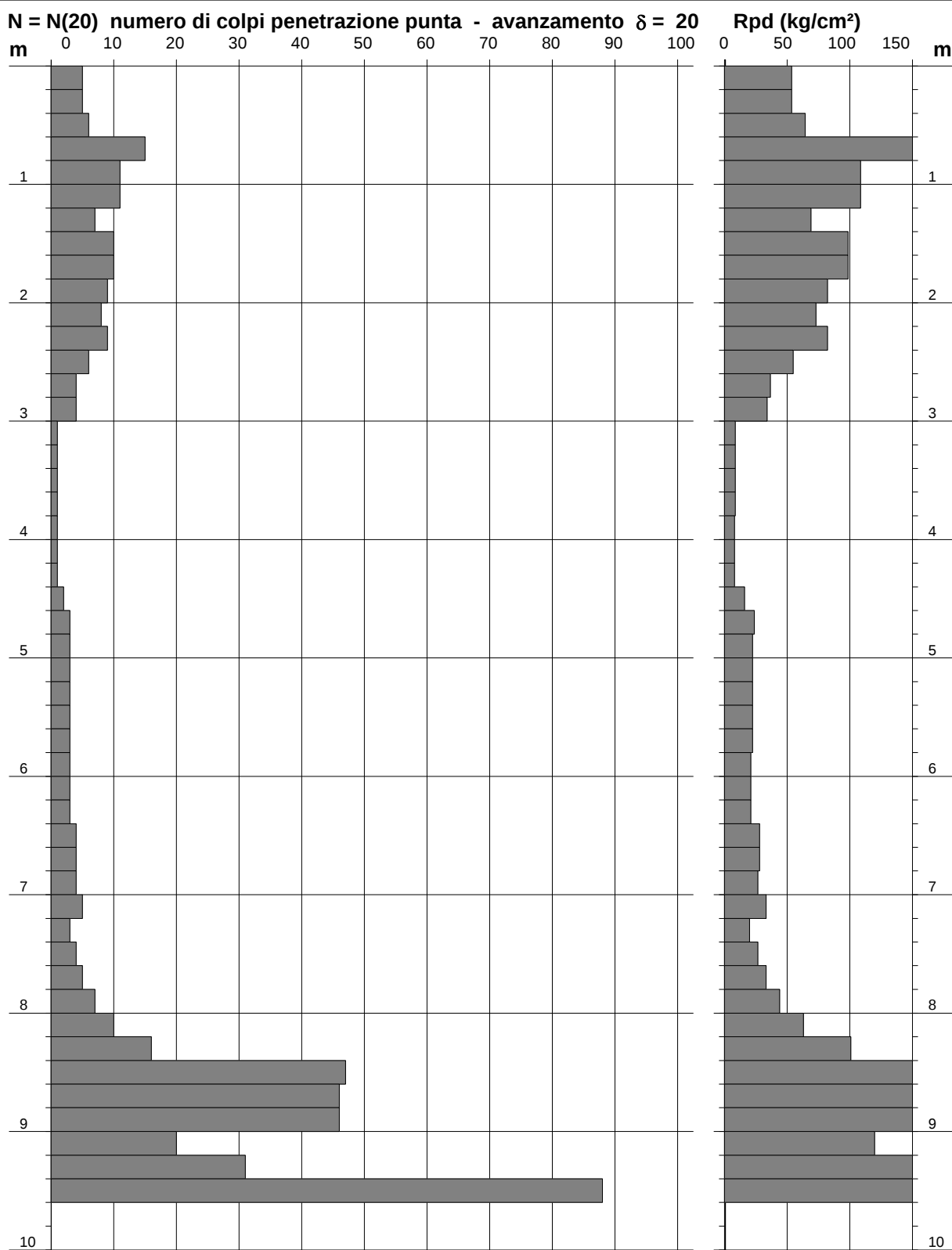
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 6

Scala 1: 50

- committente : AC PECCIOLI
- lavoro : CIMITERO
- località : PECCIOLI
- note :

- data : 06/12/2017
- quota inizio : 0
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

DIN 6
Scala 1: 50

- committente : AC PECCIOLI
- lavoro : CIMITERO
- località : PECCIOLI

- data : 06/12/2017
- quota inizio : 0
- prof. falda : Falda non rilevata

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"

N = N(20) n° colpi $\delta = 20$

