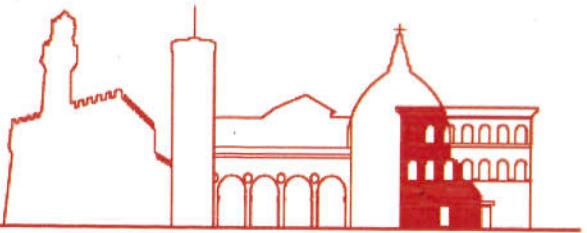




COMUNE DI  
FIRENZE



DIREZIONE SERVIZI TECNICI  
SERVIZIO SUPPORTO TECNICO AI QUARTIERI ED IMPIANTI SPORTIVI

Prog. n. L0175/2016  
rev. Febbraio 2018

**SCUOLA GUICCIARDINI  
LAVORI DI COMPLETAMENTO AUDITORIUM  
C.O. 170292**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**R.U.P.:**

Ing. Michele Mazzoni

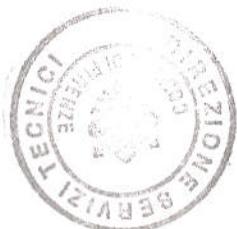
**Supporto al R.U.P.:**

Vie en.ro.se. Ingegneria srl - Arch. Lucia Busa  
Ing. Alessandro Meschi

**Architettonico**

**Progettisti:**

Geom. Bruno Ulivi  
Ing. Samuele Cappelli  
Geom. Marco Noferi  
Geom. Tamara Paoli



**Strutturale**

**Progettista:**

Ing. Claudio Brunori

**Coord. Progettazione Impianti:**

Ing. Filippo Cioni

**Impianti Meccanici**

**Progettisti:**

Ing. Simone Ferroni  
P.I. Lorenzo Cappugi  
P.I. David Cionini  
P.I. Sandro Faggi  
Add. Tecn. Albano Parisi  
Add. Tecn. Claudio Pollastrini

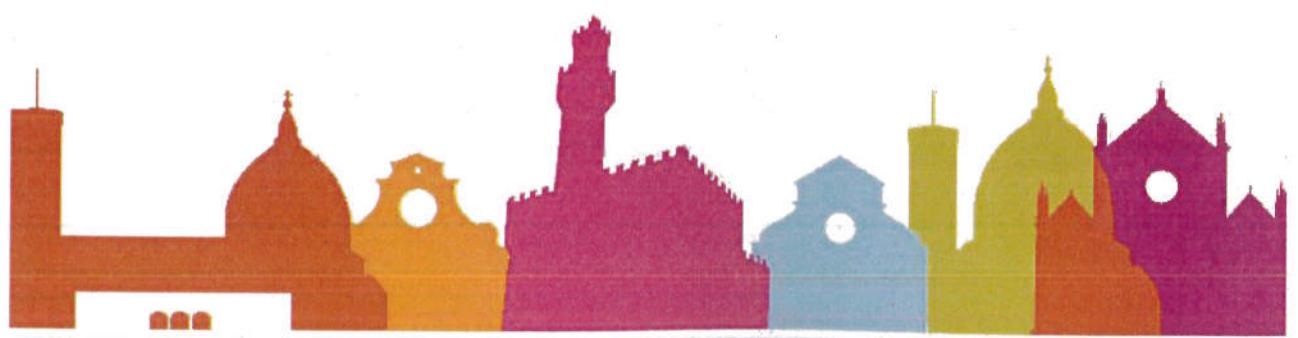
**Collaboratori:**

**Impianti Elettrici**

**Progettisti:**

P.I. Valter Masini  
P.I. Nicola Riccarelli

<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<b>NOME FILE</b>	<b>DATA</b>	<b>ELABORAZIONE</b>
	<b>SPST02</b>	<b>Febbraio 2018</b>	



---

## ELABORAZIONE GEOTECNICA

### PROVE PENETROMETRICHE DPSH

Committente: MIPE/COMUNE FIRENZE

Cantiere: SCUOLA GUICCIARDINI

Località: FIRENZE



## PROVA ... Nr. 1

Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)  
 Prova eseguita in data 05/05/2017  
 Profondità prova 11,00 mt  
 Falda non rilevata  
 Verb. Accettazione 14/17 del 24/05/17  
 Certificato n. 1004 del 09/05/2017

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	9	0,855	7,33	8,58	366,51	428,85
0,40	11	0,851	8,92	10,48	445,93	524,15
0,60	10	0,847	8,07	9,53	403,60	476,50
0,80	10	0,843	8,04	9,53	401,85	476,50
1,00	8	0,840	5,92	7,05	296,13	352,64
1,20	6	0,836	4,42	5,29	221,18	264,48
1,40	13	0,783	8,97	11,46	448,62	573,04
1,60	8	0,830	5,85	7,05	292,53	352,64
1,80	7	0,826	5,10	6,17	254,97	308,56
2,00	25	0,723	14,83	20,50	741,41	1025,21
2,20	16	0,770	10,11	13,12	505,30	656,13
2,40	15	0,767	9,44	12,30	471,89	615,12
2,60	16	0,764	10,03	13,12	501,44	656,13
2,80	24	0,711	14,00	19,68	700,18	984,20
3,00	15	0,759	8,73	11,50	436,27	575,05
3,20	13	0,756	7,54	9,97	376,77	498,38
3,40	8	0,803	4,93	6,13	246,40	306,69
3,60	21	0,701	11,29	16,10	564,25	805,07
3,80	43	0,598	19,73	32,97	986,47	1648,47
4,00	22	0,696	11,02	15,84	551,12	791,82
4,20	21	0,694	10,49	15,12	524,31	755,83
4,40	20	0,741	10,67	14,40	533,71	719,83
4,60	37	0,639	17,03	26,63	851,27	1331,69
4,80	25	0,687	12,36	18,00	618,25	899,79
5,00	23	0,685	10,69	15,60	534,38	780,09
5,20	13	0,733	6,46	8,82	323,20	440,92
5,40	12	0,781	6,36	8,14	317,89	407,01
5,60	13	0,729	6,43	8,82	321,49	440,92
5,80	14	0,727	6,91	9,50	345,34	474,84
6,00	15	0,725	6,98	9,62	348,98	481,03
6,20	16	0,724	7,43	10,26	371,34	513,10
6,40	20	0,722	9,26	12,83	463,08	641,37
6,60	13	0,720	6,01	8,34	300,31	416,89
6,80	15	0,719	6,91	9,62	345,74	481,03
7,00	32	0,617	12,01	19,46	600,61	973,16
7,20	27	0,666	10,93	16,42	546,56	821,11
7,40	8	0,764	3,72	4,87	185,91	243,29
7,60	18	0,713	7,80	10,95	390,14	547,40
7,80	14	0,711	6,06	8,52	302,84	425,76
8,00	16	0,710	6,57	9,25	328,45	462,67
8,20	14	0,709	5,74	8,10	286,85	404,84
8,40	16	0,707	6,54	9,25	327,22	462,67
8,60	36	0,606	12,62	20,82	630,82	1041,01
8,80	38	0,605	13,29	21,98	664,49	1098,84
9,00	14	0,703	5,43	7,72	271,46	385,87
9,20	36	0,602	11,95	19,84	597,62	992,25
9,40	21	0,651	7,54	11,58	376,87	578,81
9,60	13	0,700	5,02	7,17	250,80	358,31
9,80	17	0,699	6,55	9,37	327,44	468,56
10,00	20	0,698	7,35	10,53	367,40	526,58
10,20	28	0,647	9,53	14,74	476,68	737,22
10,40	35	0,596	10,98	18,43	548,78	921,52
10,60	38	0,594	11,89	20,01	594,75	1000,51
10,80	42	0,543	12,02	22,12	600,89	1105,82
11,00	50	0,542	13,67	25,20	683,39	1260,08

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Tensione efficace (KPa)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
1,8	9,11	8,349999	Incoerente	0	18,04	19,02	16,24	1,5	13,7	Limo
3,6	17	13,6	Incoerente	0	20,4	19,71	50,83	1,5	25,57	
5	27,29	19,79	Incoerente	0	21,67	20,69	84,36	1,5	41,04	Sabbia limosa
6,8	14,56	9,55	Incoerente	0	19,91	19,52	117,45	1,5	21,9	Limo sabbioso
10	21,25	12,24	Incoerente	0	21,08	20,1	169,1	1,5	31,96	Limo
11	38,6	20,1	Incoerente	0	22,36	21,28	214,0	1,5	58,05	Sabbia limosa

#### TERRENI INCOERENTI

##### Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Limo	13,7	1,80	44,58	83,55	95,8	40,6
[2] -	25,57	3,60	52,15	96,21	95,73	58,64
[3] - Sabbia limosa	41,04	5,00	58,25	100	100	73,19
[5] - Limo sabbioso	21,9	6,80	38,57	71,34	71,38	53,95
[5] - Limo	31,96	10,00	41,46	76,25	77,73	65,43
[6] - Sabbia limosa	58,05	11,00	51,3	94,24	97,21	87,91

##### Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof of 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Limo	13,7	1,80	13,7	30,91	23,91	31,84	33,15	35,02	39,7	30-32	29,34	31,11	41,22	31,55
[2] -	25,57	3,60	25,57	34,31	27,31	35,16	31,68	38,62	41,47	32-35	34,58	34,67	45,33	37,61
[3] - Sabbia limosa	41,04	5,00	41,04	38,73	31,73	39,49	31,34	41,61	42	35-38	39,81	39,31	48,16	43,65
[5] - Limo sabbioso	21,9	6,80	21,9	33,26	26,26	34,13	29,61	37,63	37,99	30-32	33,12	33,57	41,39	35,93
[5] - Limo	31,96	10,00	31,96	36,13	29,13	36,95	29,43	40,09	38,67	32-35	36,9	36,59	42,69	40,28
[6] - Sabbia limosa	58,05	11,00	58,05	43,59	36,59	44,25	29,88	42,69	41,19	>38	44,51	44,42	46,16	49,07

##### Modulo di Young (Mpa)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Limo	13,7	1,80	13,7	25,91	10,75	15,92	27,73	14,07
[2] -	25,57	3,60	25,57	35,40	20,06	29,66	36,46	19,89
[3] - Sabbia limosa	41,04	5,00	41,04	44,84	32,20	47,56	47,84	27,48
[5] - Limo sabbioso	21,9	6,80	21,9	32,76	17,18	25,41	33,76	18,09
[5] - Limo	31,96	10,00	31,96	39,57	25,07	37,05	41,16	23,03
[6] - Sabbia limosa	58,05	11,00	58,05	53,33	45,54	67,24	60,35	35,82

##### Modulo Edometrico (Mpa)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Limo	13,7	1,80	13,7	8,06	5,45	9,54	9,72
[2] -	25,57	3,60	25,57	15,05	7,84	17,80	14,91
[3] - Sabbia limosa	41,04	5,00	41,04	24,15	10,96	28,57	21,68

[5] - Limo sabbioso	21,9	6,80	21,9	12,89	7,10	15,25	13,30
[5] - Limo	31,96	10,00	31,96	18,81	9,13	22,25	17,70
[6] - Sabbia limosa	58,05	11,00	58,05	34,16	14,39	40,42	29,12

#### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Limo	13,7	1,80	13,7	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[2] -	25,57	3,60	25,57	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Sabbia limosa	41,04	5,00	41,04	Classificazione A.G.I	ADDENSATO
[5] - Limo sabbioso	21,9	6,80	21,9	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[5] - Limo	31,96	10,00	31,96	Classificazione A.G.I	ADDENSATO
[6] - Sabbia limosa	58,05	11,00	58,05	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

#### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m <sup>3</sup> )
[1] - Limo	13,7	1,80	13,7	Meyerhof ed altri	18,04
[2] -	25,57	3,60	25,57	Meyerhof ed altri	20,40
[3] - Sabbia limosa	41,04	5,00	41,04	Meyerhof ed altri	21,67
[5] - Limo sabbioso	21,9	6,80	21,9	Meyerhof ed altri	19,91
[5] - Limo	31,96	10,00	31,96	Meyerhof ed altri	21,08
[6] - Sabbia limosa	58,05	11,00	58,05	Meyerhof ed altri	22,36

#### Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Sastro (KN/m <sup>3</sup> )
[1] - Limo	13,7	1,80	13,7	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,02
[2] -	25,57	3,60	25,57	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,71
[3] - Sabbia limosa	41,04	5,00	41,04	Terzaghi-Peck 1948-1967	20,69
[5] - Limo sabbioso	21,9	6,80	21,9	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,52
[5] - Limo	31,96	10,00	31,96	Terzaghi-Peck 1948-1967	20,10
[6] - Sabbia limosa	58,05	11,00	58,05	Terzaghi-Peck 1948-1967	21,28

#### Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Limo	13,7	1,80	13,7	(A.G.I.)	0,33
[2] -	25,57	3,60	25,57	(A.G.I.)	0,3
[3] - Sabbia limosa	41,04	5,00	41,04	(A.G.I.)	0,27
[5] - Limo sabbioso	21,9	6,80	21,9	(A.G.I.)	0,31
[5] - Limo	31,96	10,00	31,96	(A.G.I.)	0,29
[6] - Sabbia limosa	58,05	11,00	58,05	(A.G.I.)	0,24

#### Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Limo	13,7	1,80	13,7	74,64	60,67
[2] -	25,57	3,60	25,57	134,18	88,83
[3] - Sabbia limosa	41,04	5,00	41,04	209,34	118,60
[5] - Limo sabbioso	21,9	6,80	21,9	116,00	80,81
[5] - Limo	31,96	10,00	31,96	165,49	101,80
[6] - Sabbia limosa	58,05	11,00	58,05	290,01	146,59

**Velocità onde di taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Limo	13,7	1,80	13,7	Ohta & Goto (1978) Limi	105,42
[2] -	25,57	3,60	25,57	Ohta & Goto (1978) Limi	145,18
[3] - Sabbia limosa	41,04	5,00	41,04	Ohta & Goto (1978) Limi	172,37
[5] - Limo sabbioso	21,9	6,80	21,9	Ohta & Goto (1978) Limi	164,36
[5] - Limo	31,96	10,00	31,96	Ohta & Goto (1978) Limi	187,85
[6] - Sabbia limosa	58,05	11,00	58,05	Ohta & Goto (1978) Limi	217,44

**Liquefazione**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Limo	13,7	1,80	13,7	Seed e Idriss (1971)	--
[2] -	25,57	3,60	25,57	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Sabbia limosa	41,04	5,00	41,04	Seed e Idriss (1971)	--
[5] - Limo sabbioso	21,9	6,80	21,9	Seed e Idriss (1971)	--
[5] - Limo	31,96	10,00	31,96	Seed e Idriss (1971)	--
[6] - Sabbia limosa	58,05	11,00	58,05	Seed e Idriss (1971)	--

**Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Limo	13,7	1,80	13,7		---
[2] -	25,57	3,60	25,57		---
[3] - Sabbia limosa	41,04	5,00	41,04		---
[5] - Limo sabbioso	21,9	6,80	21,9		---
[5] - Limo	31,96	10,00	31,96		---
[6] - Sabbia limosa	58,05	11,00	58,05		---

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Mpa)
[1] - Limo	13,7	1,80	13,7		---
[2] -	25,57	3,60	25,57		---
[3] - Sabbia limosa	41,04	5,00	41,04		---
[5] - Limo sabbioso	21,9	6,80	21,9		---
[5] - Limo	31,96	10,00	31,96		---
[6] - Sabbia limosa	58,05	11,00	58,05		---

## PROVA ... Nr. 2

Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)  
 Prova eseguita in data 08/05/2017  
 Profondità prova 5,00 mt  
 Falda non rilevata  
 Verb. Accettazione 14/17 del 24/04/17  
 Certificato n.1005 del 09/05/2017

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	7	0,855	5,70	6,67	285,06	333,55
0,40	11	0,851	8,92	10,48	445,93	524,15
0,60	14	0,797	10,63	13,34	531,68	667,10
0,80	13	0,793	9,83	12,39	491,43	619,45
1,00	7	0,840	5,18	6,17	259,12	308,56
1,20	5	0,836	3,69	4,41	184,31	220,40
1,40	12	0,833	8,81	10,58	440,55	528,96
1,60	10	0,830	7,31	8,82	365,67	440,80
1,80	6	0,826	4,37	5,29	218,55	264,48
2,00	6	0,823	4,05	4,92	202,54	246,05
2,20	4	0,820	2,69	3,28	134,53	164,03
2,40	9	0,817	6,03	7,38	301,59	369,07
2,60	11	0,814	7,35	9,02	367,30	451,09
2,80	8	0,811	5,32	6,56	266,20	328,07
3,00	6	0,809	3,72	4,60	186,01	230,02
3,20	6	0,806	3,71	4,60	185,40	230,02
3,40	7	0,803	4,31	5,37	215,60	268,36
3,60	9	0,801	5,53	6,90	276,32	345,03
3,80	9	0,798	5,51	6,90	275,48	345,03
4,00	5	0,796	2,87	3,60	143,25	179,96
4,20	5	0,794	2,86	3,60	142,83	179,96
4,40	13	0,741	6,94	9,36	346,91	467,89
4,60	14	0,739	7,45	10,08	372,49	503,88
4,80	11	0,787	6,23	7,92	311,62	395,91
5,00	50	0,585	19,84	33,92	992,12	1695,86

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Tensione efficace (KPa)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0,8	11,25	10,72	Incoerente	0	18,93	19,22	7,57	1,5	16,92	Limo
4,2	7,35	6	Incoerente	0	17,26	18,83	44,49	1,5	11,05	Limo
5	22	15,32	Incoerente	0	21,18	20,2	82,3	1,5	33,09	Limo

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Limo	16,92	0,80	51,89	97,98	100	46,37
[2] - Limo	11,05	4,20	34,14	64,99	66,38	35,26
[3] - Limo	33,09	5,00	53,06	97,37	95,45	66,49

#### Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof of 1956	Meyerhof (1961)	Sowers (1964)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmidt & Katti (1977)	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDG E SPECIFICATI)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Limo	16,92	0,80	16,92	31,83	24,83	32,74	35,14	36,11	41,72	30-32	30,93	32,08	43,4	33,4
[2] - Limo	11,05	4,20	11,05	30,16	23,16	31,09	30,61	34,06	37,1	<30	27,87	30,32	38,25	29,87
[3] - Limo	33,09	5,00	33,09	36,45	29,45	37,27	31,05	40,31	41,63	32-35	37,28	36,93	46,36	40,73

**Modulo di Young (Mpa)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Limo	16,92	0,80	16,92	28,79	13,27	19,65	30,10	15,65
[2] - Limo	11,05	4,20	11,05	23,27	8,67	12,86	25,78	12,77
[3] - Limo	33,09	5,00	33,09	40,27	25,96	38,36	41,99	23,58

**Modulo Edometrico (Mpa)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Limo	16,92	0,80	16,92	9,96	6,10	11,78	11,13
[2] - Limo	11,05	4,20	11,05	6,50	4,92	7,69	8,56
[3] - Limo	33,09	5,00	33,09	19,47	9,36	23,04	18,20

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Limo	16,92	0,80	16,92	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[2] - Limo	11,05	4,20	11,05	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Limo	33,09	5,00	33,09	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m <sup>3</sup> )
[1] - Limo	16,92	0,80	16,92	Meyerhof ed altri	18,93
[2] - Limo	11,05	4,20	11,05	Meyerhof ed altri	17,26
[3] - Limo	33,09	5,00	33,09	Meyerhof ed altri	21,18

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Sastro (KN/m <sup>3</sup> )
[1] - Limo	16,92	0,80	16,92	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,22
[2] - Limo	11,05	4,20	11,05	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,83
[3] - Limo	33,09	5,00	33,09	Terzaghi-Peck 1948-1967	20,20

**Modulo di Poisson**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Limo	16,92	0,80	16,92	(A.G.I.)	0,32
[2] - Limo	11,05	4,20	11,05	(A.G.I.)	0,33
[3] - Limo	33,09	5,00	33,09	(A.G.I.)	0,29

**Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Limo	16,92	0,80	16,92	91,02	69,02
[2] - Limo	11,05	4,20	11,05	60,98	53,20
[3] - Limo	33,09	5,00	33,09	170,98	103,98

**Velocità onde di taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Limo	16,92	0,80	16,92	Ohta & Goto (1978) Limi	93,5
[2] - Limo	11,05	4,20	11,05	Ohta & Goto (1978) Limi	123,72
[3] - Limo	33,09	5,00	33,09	Ohta & Goto (1978) Limi	168,24

**Liquefazione**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Limo	16,92	0,80	16,92	Seed e Idriss (1971)	--
[2] - Limo	11,05	4,20	11,05	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Limo	33,09	5,00	33,09	Seed e Idriss (1971)	--

**Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Limo	16,92	0,80	16,92		---
[2] - Limo	11,05	4,20	11,05		---
[3] - Limo	33,09	5,00	33,09		---

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Mpa)
[1] - Limo	16,92	0,80	16,92		---
[2] - Limo	11,05	4,20	11,05		---
[3] - Limo	33,09	5,00	33,09		---

### PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)  
 Prova eseguita in data 08/05/2017  
 Profondità prova 9,00 mt  
 Falda non rilevata  
 Verb. acc 14/17 del 24/04/17  
 cert. n. 1006 del 09/05/17

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	12	0,855	9,77	11,44	488,68	571,80
0,40	19	0,801	14,50	18,11	724,97	905,34
0,60	11	0,847	8,88	10,48	443,95	524,15
0,80	10	0,843	8,04	9,53	401,85	476,50
1,00	11	0,840	8,14	9,70	407,18	484,88
1,20	5	0,836	3,69	4,41	184,31	220,40
1,40	5	0,833	3,67	4,41	183,56	220,40
1,60	6	0,830	4,39	5,29	219,40	264,48
1,80	7	0,826	5,10	6,17	254,97	308,56
2,00	7	0,823	4,73	5,74	236,30	287,06
2,20	8	0,820	5,38	6,56	269,05	328,07
2,40	10	0,817	6,70	8,20	335,10	410,08
2,60	9	0,814	6,01	7,38	300,52	369,07
2,80	8	0,811	5,32	6,56	266,20	328,07
3,00	9	0,809	5,58	6,90	279,02	345,03
3,20	6	0,806	3,71	4,60	185,40	230,02
3,40	9	0,803	5,54	6,90	277,20	345,03
3,60	8	0,801	4,91	6,13	245,62	306,69
3,80	6	0,798	3,67	4,60	183,65	230,02
4,00	13	0,746	6,98	9,36	349,06	467,89
4,20	15	0,744	8,03	10,80	401,50	539,88
4,40	15	0,741	8,01	10,80	400,28	539,88
4,60	10	0,789	5,68	7,20	284,06	359,92
4,80	10	0,787	5,67	7,20	283,29	359,92
5,00	13	0,735	6,48	8,82	324,09	440,92
5,20	12	0,783	6,37	8,14	318,69	407,01
5,40	20	0,731	9,92	13,57	495,90	678,34
5,60	18	0,729	8,90	12,21	445,14	610,51
5,80	9	0,777	4,75	6,11	237,27	305,25
6,00	10	0,775	4,97	6,41	248,69	320,69
6,20	9	0,774	4,47	5,77	223,31	288,62
6,40	8	0,772	3,96	5,13	198,06	256,55
6,60	7	0,770	3,46	4,49	172,93	224,48
6,80	9	0,769	4,44	5,77	221,87	288,62
7,00	8	0,767	3,73	4,87	186,65	243,29
7,20	8	0,766	3,73	4,87	186,27	243,29
7,40	8	0,764	3,72	4,87	185,91	243,29
7,60	10	0,763	4,64	6,08	231,95	304,11
7,80	9	0,761	4,17	5,47	208,37	273,70
8,00	13	0,710	5,34	7,52	266,87	375,92
8,20	18	0,709	7,38	10,41	368,81	520,50
8,40	20	0,707	8,18	11,57	409,03	578,34
8,60	25	0,656	9,48	14,46	474,22	722,92
8,80	37	0,605	12,94	21,40	647,00	1069,92
9,00	50	0,553	15,26	27,56	762,77	1378,12

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Tensione efficace (KPa)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
1	12,6	11,85	Incoerente	0	19,32	19,32	9,66	1,5	18,95	
3,8	7,36	5,99	Incoerente	0	17,36	18,83	43,62	1,5	11,07	Limo
5,6	14	9,79	Incoerente	0	19,71	19,52	85,67	1,5	21,06	
8	9	5,61	Incoerente	0	18,04	19,02	125,05	1,5	13,54	Limo
9	30	17,08	Incoerente	0	21,77	20,99	157,59	1,5	45,12	Sabbia limosa

## TERRENI INCOERENTI

### Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	18,95	1,00	54,15	100	100	49,64
[2] - Limo	11,07	3,80	34,33	65,3	66,78	35,3
[3] -	21,06	5,60	41,78	76,83	76,1	52,77
[4] - Limo	13,54	8,00	27,81	54,98	55,8	40,29
[5] - Sabbia limosa	45,12	9,00	50,78	92,87	93,37	76,41

### Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1961)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanesse National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] -	18,95	1,00	18,95	32,41	25,41	33,31	34,8	36,75	42	30-32	31,86	32,69	44,31	34,47
[2] - Limo	11,07	3,80	11,07	30,16	23,16	31,1	30,65	34,07	37,14	<30	27,89	30,32	38,3	29,88
[3] -	21,06	5,60	21,06	33,02	26,02	33,9	30,23	37,38	38,76	30-32	32,77	33,32	42,28	35,52
[4] - Limo	13,54	8,00	13,54	30,87	23,87	31,79	28,69	34,97	35,7	30-32	29,25	31,06	36,9	31,46
[5] - Sabbia limosa	45,12	9,00	45,12	39,89	32,89	40,63	30,14	42,08	41	35-38	41,02	40,54	46,15	45,04

### Modulo di Young (Mpa)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	18,95	1,00	18,95	30,47	14,87	22,00	31,59	16,65
[2] - Limo	11,07	3,80	11,07	23,29	8,68	12,88	25,79	12,78
[3] -	21,06	5,60	21,06	32,12	16,52	24,44	33,14	17,68
[4] - Limo	13,54	8,00	13,54	25,76	10,62	15,74	27,61	13,99
[5] - Sabbia limosa	45,12	9,00	45,12	47,02	35,40	52,28	50,84	29,48

### Modulo Edometrico (Mpa)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	18,95	1,00	18,95	11,15	6,51	13,19	12,02
[2] - Limo	11,07	3,80	11,07	6,51	4,92	7,71	8,57
[3] -	21,06	5,60	21,06	12,39	6,94	14,66	12,94
[4] - Limo	13,54	8,00	13,54	7,97	5,42	9,43	9,65
[5] - Sabbia limosa	45,12	9,00	45,12	26,55	11,78	31,42	23,46

### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	18,95	1,00	18,95	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[2] - Limo	11,07	3,80	11,07	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] -	21,06	5,60	21,06	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[4] - Limo	13,54	8,00	13,54	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[5] - Sabbia limosa	45,12	9,00	45,12	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m <sup>3</sup> )
[1] -	18,95	1,00	18,95	Meyerhof ed altri	19,32
[2] - Limo	11,07	3,80	11,07	Meyerhof ed altri	17,36
[3] -	21,06	5,60	21,06	Meyerhof ed altri	19,71
[4] - Limo	13,54	8,00	13,54	Meyerhof ed altri	18,04
[5] - Sabbia limosa	45,12	9,00	45,12	Meyerhof ed altri	21,77

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Sastro (KN/m <sup>3</sup> )
[1] -	18,95	1,00	18,95	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,32
[2] - Limo	11,07	3,80	11,07	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,83
[3] -	21,06	5,60	21,06	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,52
[4] - Limo	13,54	8,00	13,54	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,02
[5] - Sabbia limosa	45,12	9,00	45,12	Terzaghi-Peck 1948-1967	20,99

**Modulo di Poisson**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	18,95	1,00	18,95	(A.G.I.)	0,32
[2] - Limo	11,07	3,80	11,07	(A.G.I.)	0,33
[3] -	21,06	5,60	21,06	(A.G.I.)	0,31
[4] - Limo	13,54	8,00	13,54	(A.G.I.)	0,33
[5] - Sabbia limosa	45,12	9,00	45,12	(A.G.I.)	0,26

**Modulo di deformazione a taglio dinamico (Mpa)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	18,95	1,00	18,95	101,25	73,97
[2] - Limo	11,07	3,80	11,07	61,08	53,26
[3] -	21,06	5,60	21,06	111,81	78,90
[4] - Limo	13,54	8,00	13,54	73,82	60,24
[5] - Sabbia limosa	45,12	9,00	45,12	228,85	125,68

**Velocità onde di taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] -	18,95	1,00	18,95	Ohta & Goto (1978) Limi	99,55
[2] - Limo	11,07	3,80	11,07	Ohta & Goto (1978) Limi	122,78
[3] -	21,06	5,60	21,06	Ohta & Goto (1978) Limi	156,24
[4] - Limo	13,54	8,00	13,54	Ohta & Goto (1978) Limi	155,44
[5] - Sabbia limosa	45,12	9,00	45,12	Ohta & Goto (1978) Limi	199,85

**Liquefazione**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	F <sub>s</sub> Liquefazione
[1] -	18,95	1,00	18,95	Seed e Idriss (1971)	--
[2] - Limo	11,07	3,80	11,07	Seed e Idriss (1971)	--
[3] -	21,06	5,60	21,06	Seed e Idriss (1971)	--
[4] - Limo	13,54	8,00	13,54	Seed e Idriss (1971)	--
[5] - Sabbia limosa	45,12	9,00	45,12	Seed e Idriss (1971)	--

**Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] -	18,95	1,00	18,95		---
[2] - Limo	11,07	3,80	11,07		---
[3] -	21,06	5,60	21,06		---
[4] - Limo	13,54	8,00	13,54		---
[5] - Sabbia limosa	45,12	9,00	45,12		---

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Mpa)
[1] -	18,95	1,00	18,95		---
[2] - Limo	11,07	3,80	11,07		---
[3] -	21,06	5,60	21,06		---
[4] - Limo	13,54	8,00	13,54		---
[5] - Sabbia limosa	45,12	9,00	45,12		---

Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l.  
per Comune di Firenze

---

Auditorium scuola Guicciardini  
Via R. de Montalvo - Firenze

---

RISULTATI PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

---

VERBALE DI ACCETTAZIONE:	527	DATA VERBALE :	15/05/17	IL DIRETTORE DEL LABORATORIO DOTT. RICCARDO RAMPI
COMMESSA:	456	DATA EMISSIONE CERTIFICATI:	22/05/17	
<b>CNG S.r.l.</b> Sede Legale e Uffici Tecnici: Via Squinzano, 87 - 00133 - Roma Tel/Fax 06 2018088 - WEB: <a href="http://www.congeo.it">www.congeo.it</a> - E-mail: <a href="mailto:cng@congeo.it">cng@congeo.it</a> - PEC: <a href="mailto:cngsrl@pec.it">cngsrl@pec.it</a> C. F. e P. I.V.A. 11215291003 - R.E.A. n. 1287827 - c.s. 10.000,00 € i.v. Azienda con Sistema Qualità Certificato N° IT239744				

 <b>CNG S.r.l.</b> LABORATORIO GEOTECNICO	<b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l.</b> <b>per Comune di Firenze</b>	SOND.: CAMP.:	1 2	PAGINA: 1
	Auditorium scuola Guicciardini Via R. de Montalvo - Firenze	da m: a m:	15,50 16,00	N° IDENTIFICATIVO INTERNO 2154
	DATA RICEVIMENTO CAMPIONE	15/05/17	DATA EMISSIONE CERTIFICATI	22/05/17

# FOGLIO RIEPILOGATIVO DELLE CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICO-MECCANICHE DEL CAMPIONE

## CARATTERISTICHE CHIMICHE

FRAZIONE CARBONIO ORG. MEDIA (%)	REAZIONE DEL SUOLO (PH)	TENORE CARBONATI
SOSTANZA ORGANICA S.O.	TENORE SOLFATI	

## CARATTERISTICHE FISICHE

UMIDITA' NATURALE	<b>W<sub>n</sub></b>	26,0	(%)	PESO DI VOLUME NATURALE	<b>γ<sub>n</sub></b>	19,00	(kN/m <sup>3</sup> )
INDICE DEI VUOTI	<b>e</b>		( - )	PESO DI VOLUME SECCO	<b>γ<sub>d</sub></b>	15,08	(kN/m <sup>3</sup> )
POROSITA'	<b>n</b>		(%)	PESO DI VOLUME SATURO	<b>γ<sub>sat</sub></b>		(kN/m <sup>3</sup> )
GRADO DI SATURAZ.	<b>S<sub>r</sub></b>		(%)	PESO SPECIFICO DEI GRANULI	<b>γ<sub>s</sub></b>		(kN/m <sup>3</sup> )

## CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE (SECONDO UDDEN - WENTWORTH)

/			PASSEANTE AL SETACCIO 200 (%)		
GHIAIA (%): 64 - 2 mm	SABBIA (%): 2 - 0,0625 mm	LIMO (%): 0,0625 - 0,0039 mm	ARGILLA (%) < 0,0039 mm	U.S.C.S. /	AASHTO /

## CARATTERISTICHE DI PLASTICITA' E PERMEABILITA'

CLASSIFICAZIONE SECONDO ABACO DI PLASTICITA'		/	CONSISTENZA DEL MATERIALE SECONDO IC		
LIMITE DI LIQUIDITA'	<b>W<sub>L</sub></b>	(%)	LIMITE DI RITIRO	<b>W<sub>s</sub></b>	(%)
LIMITE DI PLASTICITA'	<b>W<sub>P</sub></b>	(%)	INDICE DI CONSISTENZA	<b>IC</b>	( - )
INDICE DI PLASTICITA'	<b>IP</b>	(%)	ATTIVITA' ( IP / % < 0,002mm)	<b>Ac</b>	( - )
PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO		(kPa)	PERMEABILITA'	<b>k</b>	(m/sec)

## CARATTERISTICHE MECCANICHE

VAN TEST	/	$C_u$ (kPa)	POCKET PENETROMETER	/	$\phi_f$ (kPa)
ESPANSIONE LATERALE LIBERA			$\sigma_f$ (kPa)	$\varepsilon$ (%)	
			VALORI DI PICCO	VALORI RESIDUI	
PROVA DI TAGLIO DIRETTO TIPO C.D.			$C'$ 12 (kPa)	$C_r$ (kPa)	
			$\phi'$ 27 (°)	$\phi_r$ (°)	
PROVA DI	CID		CIU	UU	
COMPRESIONE	$C'$	(kPa)	$C$	$C_u$	(kPa)
TRIASSIALE	$\phi'$	(°)	$\phi$	$\phi_u$	(°)

## CARATTERISTICHE EDOMETRICHE

<b>INDICE CBR (2,5) (%) =</b>	<b>CARATT.OTTIMALI PROCTOR</b>	<b>PESO DI VOL. SECCO <math>\gamma_d</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>
<b>INDICE CBR (5,0) (%) =</b>	UMIDITA' W (%)	PESO DI VOL. UMIDO $\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )

Azienda con Sistema Qualità Certificato n° IT239744

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
Dott. Geol. Riccardo Rampi

Certificazione Ufficiale - Settore "A" - Prove di laboratorio sui terreni  
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI n° 4537

DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC/2010

MTE<sub>R</sub>-marzo2015

 <b>CNG S.r.l.</b> LABORATORIO GEOTECNICO Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it	<b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l.</b> <b>per Comune di Firenze</b>			SOND.: 1	<b>PAGINA:</b> 2 <b>PAGINA CERTIFICATO</b> 1 di 1
	Auditorium scuola Guicciardini Via R. de Montalvo - Firenze		da m: 15,50	a m: 16,00	
N° VERBALE	527	N° COMMESSA	456	ID. INTERNO:	2154
DATA RICEVIMENTO CAMPIONE	15/05/17	DATA APERTURA CAMPIONE	16/05/17	DATA EMISSIONE CERTIFICATO	22/05/17

## SCHEDA CAMPIONE

### CARATTERISTICHE DI CAMPIONAMENTO

TIPO DI PERFORAZIONE	ASTE E CAROTIERE	TIPO DI CAMPIONATORE (SE NOTO)	/
TIPO DI CONTENITORE	PVC	LUNGHEZZA CONTENITORE (cm)	50
LUNGHEZZA REALE CAMPIONE (cm)	50	DIAMETRO CAMPIONE (mm)	/

### DESCRIZIONE ED ANALISI PRELIMINARI

POCKET(kPa)	V.TEST(kPa)	CAMPIONE	UBICAZIONE PROVE	DESCRIZIONE
/	/		← TD	Sabbia e ghiaino in matrice argillo-limosa di colore marrone rossiccio, plastica alla manipolazione. Si rinvengono frammenti litoidi scagliosi. Il materiale risulta, nel complesso, consistente.
/	/			
/	/			
/	/			
/	/			
/	/	Basso	STATO DICHiarATO DEL CAMPIONE:	RIMANEGGIATO
			/	REAZIONE ALL'HCl: CLASSE DI QUALITA' (BS 5930:1981): 2

### DETERMINAZIONI ESEGUITE

PROVE ESEGUITE		DATA INIZIO	DATA FINE	PROVE ESEGUITE	DATA INIZIO	DATA FINE
CONTENUTO NATURALE D'ACQUA	X	16/05/17	19/05/17	PROVA TRIASSIALE TIPO CID		
PESO DI VOLUME NATURALE	X	16/05/17	18/05/17	PROVA DI COSTIPAMENTO PROCTOR		
PESO SPECIFICO DEI GRANULI				PROVA C.B.R.		
ANALISI GRANULOMETRICA				PROVA DI PERMEABILITA' IN EDOMETRO A CARICO VARIABILE		
LIMITI DI ATTERBERG				PROVA DI PERMEABILITA' IN CELLA TRIASSIALE		
PROVA DI TAGLIO DIRETTO TIPO C.D.	X	16/05/17	21/05/17	PERMEABILITA' IN PERMEAMETRO		
PROVA DI TAGLIO DIRETTO RESIDUO				DETERMINAZIONE PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO		
PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA				PROVA DI RIGONFIAMENTO METODO HUDER-AMBERG		
PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA				DETERMINAZIONE DEFORMAZIONE DI RIGONFIAMENTO		
PROVA TRIASSIALE TIPO UU				DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO DI CARBONATI		
PROVA TRIASSIALE TIPO CIU				DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO DI SOSTANZE ORGANICHE		
PROVA DI COLONNA RISONANTE (RC)				PROVA DI TAGLIO TORSIONALE CICLICO (TTC)		

### NOTE

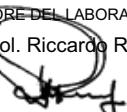
I provini del taglio diretto sono stati parzialmente ricostituiti
---

LO Sperimentatore

Dott. Geol. Simona Pentenè  


IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Riccardo Rampi



 <b>CNG S.r.l.</b> LABORATORIO GEOTECNICO  Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it	<b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l.</b> <b>per Comune di Firenze</b>			SOND.: 1	PAGINA: 3
	Auditorium scuola Guicciardini Via R. de Montalvo - Firenze		CAMP.: 2	PAGINA CERTIFICATO	1 di 1
	N° VERBALE	527	N° COMMESSA	456	N° CERTIFICATO
DATA RICEVIMENTO CAMP.	15/05/17	DATA EMISSIONE CERTIF.	22/05/17	DATA INIZIO PROVA	16/05/17
				DATA FINE PROVA	19/05/17

### CONTENUTO D'ACQUA NATURALE $W_n$

ASTM D 2216

Classe di qualità (BS 5930:1981):	2	/
-----------------------------------	---	---

PROVA DI RIFERIMENTO	$W_1$	$W_2$	ED	Trx CID	Trx CID	Trx CID	TD	TD	TD	Perm Trx
PESO CAPS. (g)	29,95	28,92					29,12	29,99	29,35	
P.UMIDO+CAPS. (g)	75,57	71,87					69,01	67,74	64,95	
P.SECCO+CAPS. (g)	66,21	63,01					60,79	59,91	57,6	
$W$ (%)	25,8	26,0					26,0	26,2	26,0	

PROVA DI RIFERIMENTO	ELL	ELL	ELL	UU	UU	UU	PR. RIG.	HUDER-A.	RC	TTC
PESO CAPS. (g)										
P.UMIDO+CAPS. (g)										
P.SECCO+CAPS. (g)										
$W$ (%)										

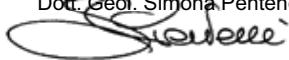
MEDIA VALORI $W_n$ TRATTO PROVA TD (%)	26,0	MEDIA VALORI $W_n$ TRATTO PROVA Trx CID	/	MEDIA VALORI $W_n$ TRATTO PROVA ELL	/	<b><math>W_n</math> MEDIO TOTALE 26 (%)</b>
--	------	--	---	--	---	---

#### NOTE

I contenuti d'acqua naturale  $W_1$  e  $W_2$  si riferiscono all'apertura del campione.

LO SPERIMENTATORE

Dott. Geol. Simona Pentenè



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Riccardo Rampi



 <b>CNG S.r.l.</b> LABORATORIO GEOTECNICO Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it	<b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l.</b> <b>per Comune di Firenze</b>		SOND.: 1	PAGINA: 4
	Auditorium scuola Guicciardini Via R. de Montalvo - Firenze		CAMP.: 2	PAGINA CERTIFICATO 1 di 1
	N° VERBALE	527	N° COMMESSA	456
	ID. INTERNO	2154		N° CERTIFICATO <b>8082 PV</b>
DATA RICEVIMENTO CAMP.	15/05/17	DATA EMISSIONE CERTIF.	22/05/17	DATA INIZIO PROVA
			16/05/17	DATA FINE PROVA
				18/05/17

**PESO DI VOLUME NATURALE  $\gamma_n$**

ASTM D 2937

Classe di qualità (BS 5930:1981):	2	/
-----------------------------------	---	---

PROVA DI RIFERIMENTO	$\gamma_{n1}$	$\gamma_{n2}$	ED	Trx CID	Trx CID	Trx CID	TD	TD	TD	Perm Trx
VOL. FUST. (cm <sup>3</sup> )							67,32	67,32	67,32	
P. FUST. (g)							50,92	50,92	50,92	
PESO TOTALE (g)							181,33	179,52	183,25	
$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )							19,00	18,73	19,28	

PROVA DI RIFERIMENTO	UU	UU	UU	ELL	ELL	ELL	PR. RIG.	HUDER-A.	RC	TTC
VOL. FUST. (cm <sup>3</sup> )										
P. FUST. (g)										
PESO TOTALE (g)										
$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )										

MEDIA VALORI $\gamma_n$ TRATTO PROVA TD (kN/m <sup>3</sup> )	19	MEDIA VALORI $\gamma_n$ TRATTO PROVA Trx CID	/	MEDIA VALORI $\gamma_n$ TRATTO PROVA ELL	/	<b><math>\gamma_n</math> MEDIO TOTALE 19 (kN/m<sup>3</sup>)</b>
--	----	---	---	---	---	---

**NOTE**

I provini del taglio diretto sono stati parzialmente ricostituiti

LO SPERIMENTATORE

Dott. Geol. Simona Pentenè



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Riccardo Rampi



 <b>CNG S.r.l.</b> LABORATORIO GEOTECNICO Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it	<b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l.</b> <b>per Comune di Firenze</b>		SOND.: 1	PAGINA: 5
	Auditorium scuola Guicciardini Via R. de Montalvo - Firenze		CAMP.: 2	PAGINA CERTIFICATO 1 di 3
N° VERBALE 527		N° COMMESSA 456	da m: 15,50 a m: 16,00	N° CERTIFICATO 8083 TD
DATA RICEVIMENTO CAMP. 15/05/17		ID. INTERNO 2154	DATA EMISSIONE CERTIF. 22/05/17	DATA INIZIO PROVA 16/05/17 DATA FINE PROVA 21/05/17

### PROVA DI TAGLIO DIRETTO TIPO C.D. ASTM D 3080

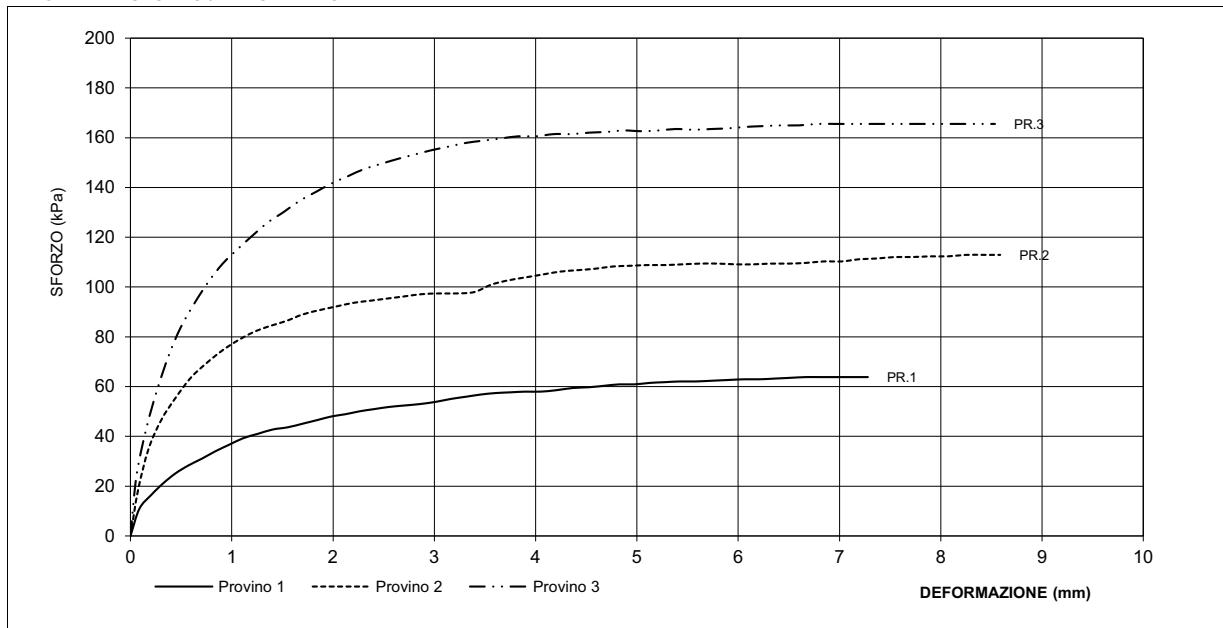
#### CONDIZIONI INIZIALI E DATI RELATIVI ALLA CONSOLIDAZIONE E AL TAGLIO

PROVINO N°	LATO L (mm)	ALTEZZA H (mm)	INIZIO CONS. VOL. (cm <sup>3</sup> )	UMIDITÀ NAT. Wn (%)	PESO DI VOL. $\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	CONSOLIDAZIONE 24 h		FINE CONSOL. VOL. (cm <sup>3</sup> )	VELOCITA' (mm/min)	VALORI DI SFORZO MAX.	
						$\sigma'$ (kPa)	CEDIM. (mm)			$\tau$ (kPa)	$\delta_t$ (mm)
1	60,0	18,7	67,3	26,0	19,00	98	0,685	64,9	0,006	63,82	6,664
2	60,0	18,7	67,3	26,2	18,73	196	1,098	63,4	0,006	112,92	8,249
3	60,0	18,7	67,3	26,0	19,28	294	1,580	61,6	0,006	165,54	6,778

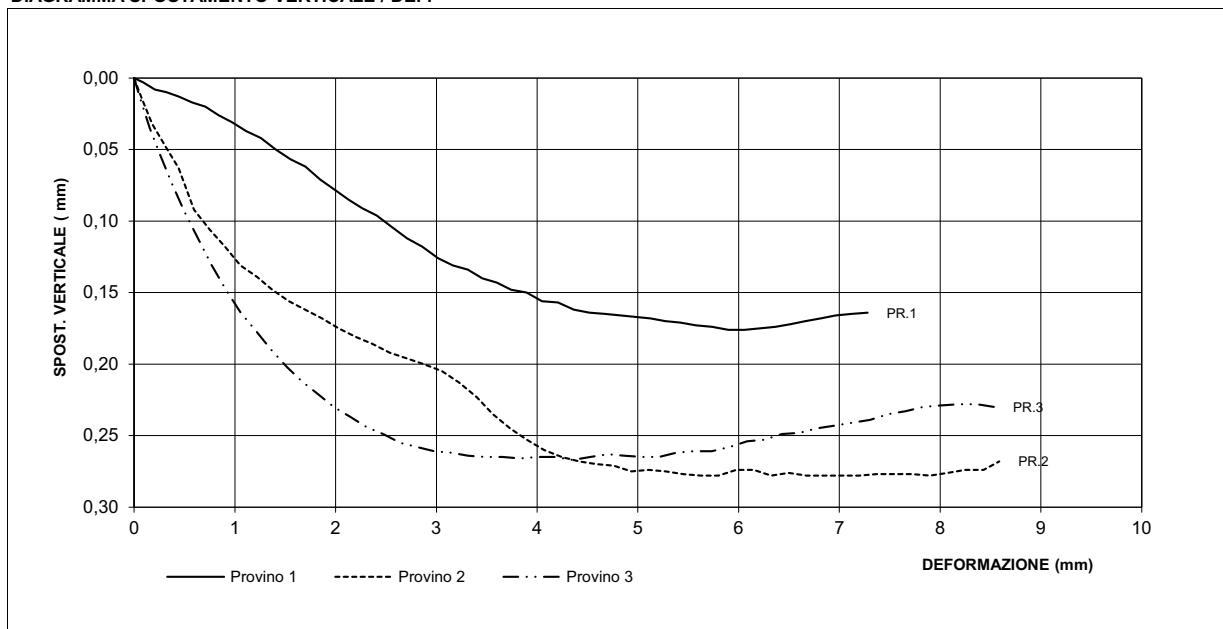
#### CARATTERISTICHE DEL CAMPIONE

Classe di qualità (BS 5930:1981):	2	RIMANEGGIATO	/
-----------------------------------	---	--------------	---

#### DIAGRAMMA SFORZO / DEFORMAZIONI



#### DIAGRAMMA SPOSTAMENTO VERTICALE / DEF.



LO SPERIMENTATORE

Dott. Geol. Simona Pentenè

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Riccardo Rampi

 <b>CNG S.r.l.</b> LABORATORIO GEOTECNICO Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it	<b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l.</b> <b>per Comune di Firenze</b>				SOND.: 1	PAGINA: 6
	Auditorium scuola Guicciardini Via R. de Montalvo - Firenze				CAMP.: 2	PAGINA CERTIFICATO 2 di 3
	N° VERBALE 527 N° COMMESSE 456 ID. INTERNO 2154				da m: 15,50	N° CERTIFICATO
	a m: 16,00				8083 TD	
DATA RICEVIMENTO CAMP.	15/05/17	DATA EMISSIONE CERTIF.	22/05/17	DATA INIZIO PROVA	16/05/17	DATA FINE PROVA
						21/05/17

**DATI Sperimentali relativi al Taglio**

**PROVINO 1 PRESSIONE DI CONSOLIDAZIONE (kPa) = 98**

Def.	$\tau$ (kPa)	Def.Vert.									
0,00	0,00	0,000	3,74	57,68	0,148						
0,09	10,91	0,003	3,89	57,97	0,150						
0,21	16,46	0,008	4,05	57,97	0,156						
0,32	21,14	0,010	4,21	58,55	0,157						
0,45	25,23	0,013	4,37	59,43	0,162						
0,58	28,45	0,017	4,52	59,72	0,164						
0,71	31,08	0,020	4,67	60,31	0,165						
0,84	34,00	0,026	4,83	60,89	0,166						
0,97	36,63	0,031	4,98	60,89	0,167						
1,11	39,26	0,037	5,12	61,48	0,168						
1,26	41,02	0,042	5,27	61,77	0,170						
1,41	42,77	0,050	5,42	62,06	0,171						
1,55	43,65	0,057	5,58	62,06	0,173						
1,70	45,11	0,062	5,74	62,35	0,174						
1,85	46,57	0,071	5,90	62,65	0,176						
1,99	48,03	0,078	6,06	62,94	0,176						
2,12	48,91	0,085	6,21	62,94	0,175						
2,26	50,08	0,091	6,37	63,23	0,174						
2,41	50,95	0,096	6,52	63,52	0,172						
2,56	51,83	0,104	6,66	63,82	0,170						
2,71	52,42	0,112	6,81	63,82	0,168						
2,86	53,00	0,118	6,97	63,82	0,166						
3,02	53,88	0,126	7,12	63,82	0,165						
3,16	55,05	0,131	7,28	63,82	0,164						
3,31	55,92	0,134									
3,46	56,80	0,140									
3,60	57,38	0,143									

**PROVINO 2 PRESSIONE DI CONSOLIDAZIONE (kPa) = 196**

Def.	$\tau$ (kPa)	Def.Vert.									
0,00	0,00	0,000	4,24	106,20	0,265						
0,07	18,21	0,014	4,42	106,79	0,268						
0,18	34,88	0,032	4,59	107,37	0,270						
0,30	46,57	0,047	4,76	108,25	0,271						
0,44	55,34	0,063	4,94	108,54	0,275						
0,60	63,52	0,092	5,11	108,83	0,274						
0,75	69,37	0,106	5,28	108,83	0,275						
0,90	74,34	0,118	5,45	109,12	0,277						
1,06	78,43	0,131	5,62	109,42	0,278						
1,22	81,94	0,139	5,80	109,42	0,278						
1,37	84,28	0,148	5,98	109,12	0,274						
1,54	86,32	0,156	6,15	109,12	0,274						
1,70	88,95	0,162	6,32	109,42	0,278						
1,86	90,71	0,168	6,50	109,42	0,276						
2,03	92,17	0,175	6,67	109,71	0,278						
2,20	93,63	0,181	6,85	110,29	0,278						
2,37	94,51	0,186	7,02	110,29	0,278						
2,54	95,39	0,192	7,20	111,17	0,278						
2,71	96,26	0,196	7,37	111,46	0,277						
2,88	97,14	0,200	7,54	112,05	0,277						
3,05	97,43	0,205	7,72	112,05	0,277						
3,23	97,43	0,213	7,90	112,34	0,278						
3,40	98,02	0,223	8,07	112,34	0,276						
3,56	100,94	0,235	8,25	112,92	0,274						
3,73	102,69	0,245	8,43	112,92	0,274						
3,90	103,86	0,253	8,59	112,92	0,268						
4,07	105,03	0,260									

LO SPERIMENTATORE

Dott. Geol. Simona Pentenè

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Riccardo Rampi

 <b>CNG S.r.l.</b> LABORATORIO GEOTECNICO Via Squinzano, 87 - 00133 Roma Tel/Fax 06 2018088 cng@congeo.it	<b>Geotecnica Palazzi - Giomarelli S.r.l.</b> <b>per Comune di Firenze</b>		SOND.: 1	PAGINA: 7
	Auditorium scuola Guicciardini Via R. de Montalvo - Firenze		CAMP.: 2	PAGINA CERTIFICATO 3 di 3
N° VERBALE 527		N° COMMESMA 456	da m: 15,50 a m: 16,00	N° CERTIFICATO 8083 TD
DATA RICEVIMENTO CAMP.	15/05/17	DATA EMISSIONE CERTIF.	22/05/17	DATA INIZIO PROVA 16/05/17 DATA FINE PROVA 21/05/17

**DATI Sperimentali relativi al taglio**

PROVINO 3 PRESSIONE DI CONSOLIDAZIONE (kPa) = 294

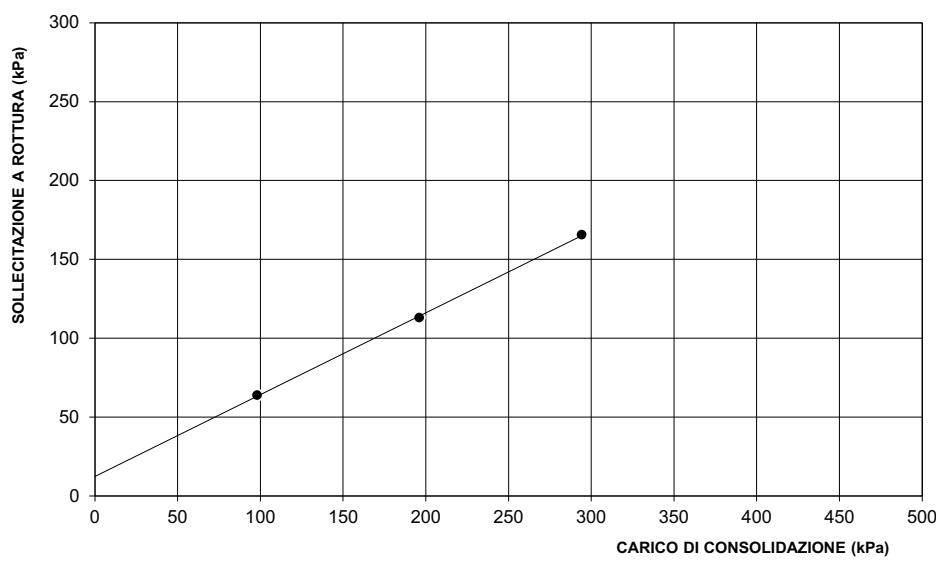
Def.	$\tau$ (kPa)	Def.Vert.									
0,00	0,00	0,000	4,01	160,57	0,265						
0,06	24,06	0,014	4,18	161,45	0,265						
0,16	43,06	0,035	4,35	161,45	0,267						
0,26	58,26	0,054	4,53	162,03	0,265						
0,38	72,29	0,074	4,70	162,33	0,263						
0,50	83,69	0,093	4,87	162,91	0,264						
0,63	93,63	0,112	5,04	162,62	0,265						
0,77	102,11	0,131	5,21	162,91	0,265						
0,91	109,42	0,148	5,38	163,49	0,262						
1,06	115,26	0,164	5,55	163,20	0,261						
1,21	120,82	0,177	5,74	163,49	0,261						
1,36	126,08	0,190	5,91	163,79	0,258						
1,51	130,17	0,202	6,08	164,37	0,254						
1,67	134,56	0,212	6,25	164,66	0,253						
1,82	138,06	0,221	6,43	164,96	0,249						
1,98	141,57	0,230	6,60	164,96	0,248						
2,15	144,49	0,237	6,78	165,54	0,245						
2,31	147,42	0,244	6,96	165,54	0,243						
2,47	149,46	0,249	7,13	165,54	0,241						
2,64	151,51	0,255	7,30	165,54	0,239						
2,81	153,26	0,258	7,48	165,54	0,235						
2,98	155,02	0,261	7,66	165,54	0,233						
3,15	156,48	0,262	7,83	165,54	0,230						
3,32	157,94	0,264	8,01	165,54	0,229						
3,48	158,82	0,265	8,19	165,54	0,228						
3,66	159,69	0,265	8,37	165,54	0,228						
3,83	160,57	0,266	8,54	165,54	0,230						

**RISULTATI TAGLIO DRENATO**

**NOTE**

COESIONE EFFICACE (kPa)	12	I provini del taglio diretto sono stati parzialmente ricostituiti
ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE	27	
LA RETTA DI INVILUPPO CHE PASSA PER I TRE PUNTI E' UNA LINEA DI INTERPOLAZIONE SENZA ALCUNA INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI.		

**DIAGRAMMA SOLLECITAZIONE A ROTTURA / CARICO**

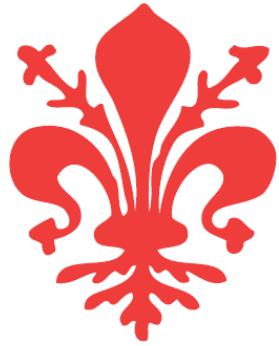


LO SPERIMENTATORE

Dott. Geol. Simona Pentenè

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

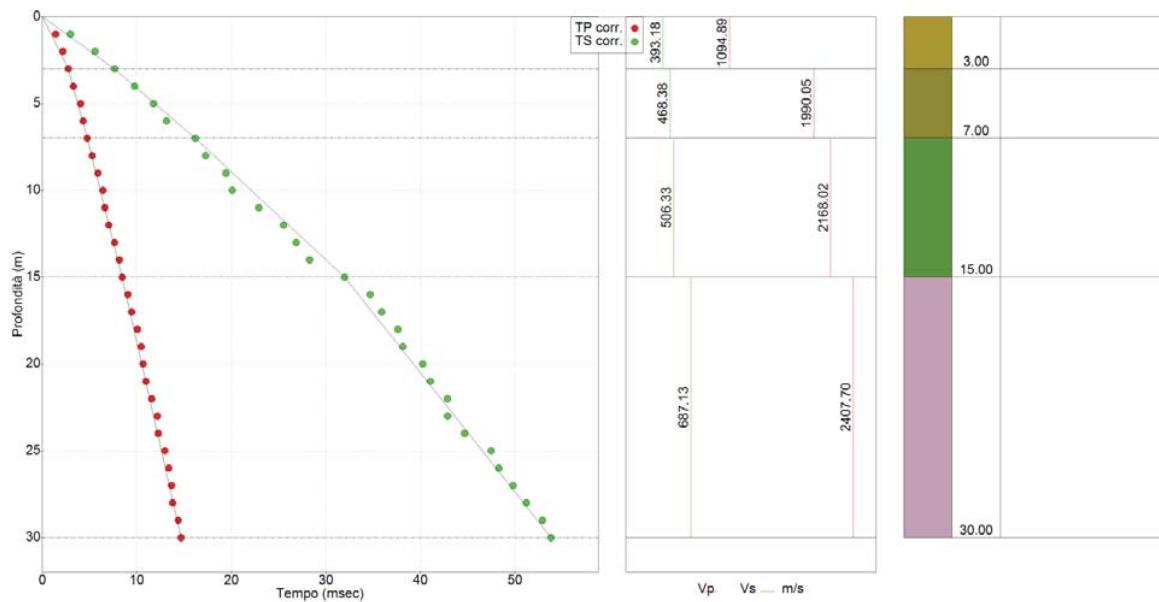
Dott. Geol. Riccardo Rampi



Comune di Firenze

Via E. Ramirez De Montalvo, 1

Provincia di Firenze



## Indagini geofisiche integrate di supporto alla caratterizzazione sismica dei terreni presso la scuola media statale Guicciardini

MAGGIO 2017

**ENKI**  
INGEGNERIA

Enki s.r.l.  
Via Giambattista Lulli 62  
50144 Firenze  
Tel. e fax 055 3247209  
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  
Mail: [info@enki.it](mailto:info@enki.it)  
REA CCIAA FI n. 510082 - Reg. Imp. FI n. 9079/2000  
Partita IVA 05008670480



## SOMMARIO RELAZIONE TECNICA INTERPRETATIVA

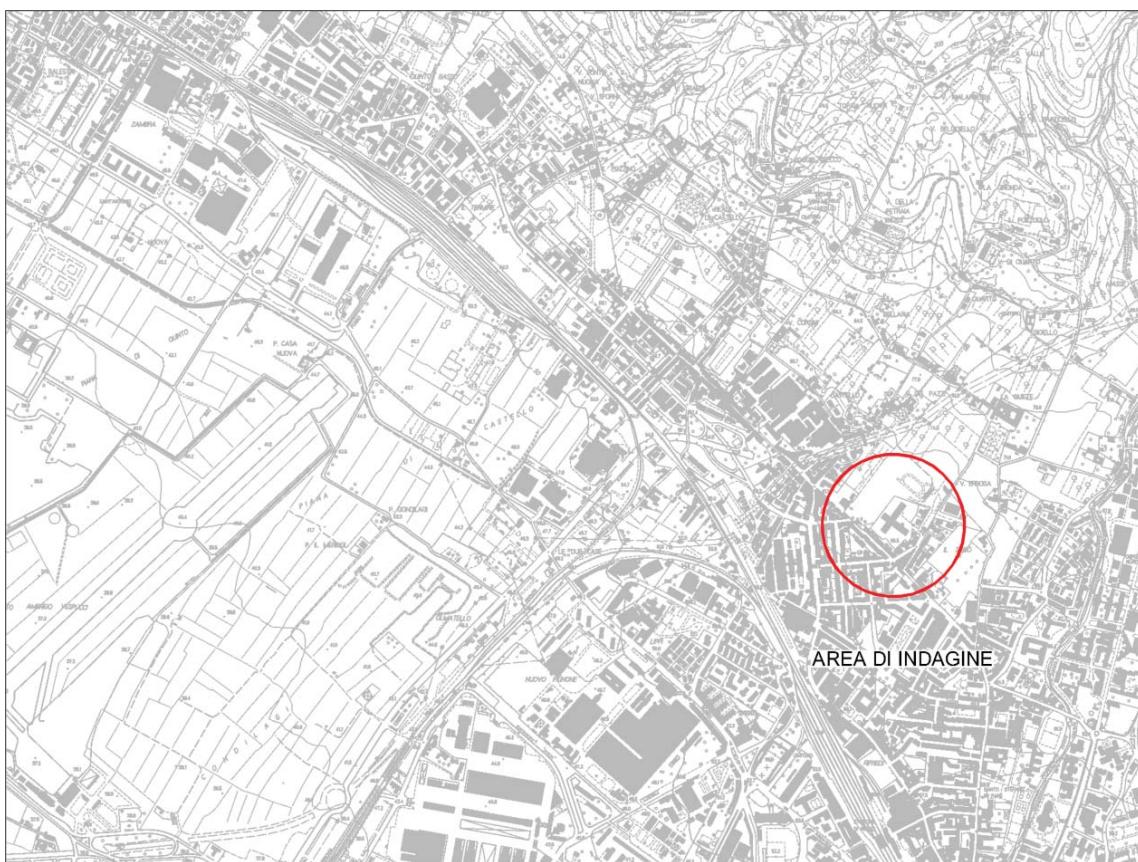
SOMMARIO RELAZIONE TECNICA INTERPRETATIVA .....	1
INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI .....	2
1 Introduzione .....	2
1.1 Premesse .....	2
1.2 Scopo delle indagini .....	2
1.3 Descrizione dei contenuti della relazione .....	3
2 Caratterizzazione sismica .....	4
2.1 Sismica a rifrazione .....	4
2.2 Tomografia sismica in onde P .....	5
2.3 Strumentazione e metodologia per sismica a rifrazione e tecnica tomografica .....	6
2.4 Indagine Down-hole .....	7
2.5 Prospettazione sismica attiva frequenziale - tecnica MASW .....	10
2.5.1 Strumentazione e metodologia .....	12
3 Elaborazione dati e risultati .....	14
3.1 Elaborazione dei dati sismici con tecnica tomografica .....	14
3.2 Elaborazione dati sismici - interpretazione in down-hole con il metodo diretto .....	15
3.3 Elaborazione dei dati di sismica frequenziale – tecnica MASW .....	24
4 Conclusioni .....	26
5 Glossario .....	27
6 Riferimenti normativi e bibliografici .....	28
6.1 Riferimenti normativi e specifiche tecniche .....	28
6.2 Riferimenti bibliografici .....	28
ALLEGATO TECNICO - SPECIFICHE TECNICHE STRUMENTI, SENSORI, SOFTWARE DI ACQUISIZIONE ED ANALISI .....	31
I. ALLEGATO GRAFICO: INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO DI DETTAGLIO DELLE INDAGINI ....	43
II. ALLEGATO GRAFICO: INDAGINE SISMICA IN FORO – DROMOCRONE ONDE P E S E RISULTATI 45	
III. ALLEGATO GRAFICO: STESA SISMICA S01 - TOMOGRAFIE ONDE P- ANALISI MASW ZVF – SISMOGRAMMA – SPETTRO E CURVA DISPERSIONE – RISULTATO MODELLO – PROFILO Vs .....	47
IV. ALLEGATO FOTOGRAFICO .....	52

## INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI

### 1 Introduzione

#### 1.1 Premesse

Il presente documento riferisce sulle prove geofisiche, di tipo sismico attivo e passivo, condotte in data 26 maggio 2017 a supporto degli studi di caratterizzazione sismolitostratigrafica dei terreni presso la Scuola Media Statale Guicciardini sita in via E. Ramirez De Montalvo nel comune di Firenze.



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

#### 1.2 Scopo delle indagini

La caratterizzazione sismica-dinamica del terreno, è stata eseguita attraverso prove geofisiche integrate e complementari fra loro, di cui:

- Sismica a rifrazione con onde P, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità Vp nel sottosuolo;

- 
- Indagine sismica in foro di tipo Down-hole per la determinazione diretta dei profili di velocità  $V_p$  e  $V_s$  nel sottosuolo;
  - Prove MASW (Multistation Analysis of Surface Waves), per determinazione di profili di velocità  $V_s$  nel sottosuolo, che hanno permesso di ottenere la classificazione del sottosuolo ai sensi della vigente normativa NCT 2008 *“Norme Tecniche per le Costruzione DM 14/01/2008”*.

### **1.3 Descrizione dei contenuti della relazione**

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

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

Glossario e riferimenti bibliografici sono forniti rispettivamente nei capitoli 4 e 5.

Il documento è poi completato con sei allegati contenenti rispettivamente:

- ALLEGATO TECNICO, in cui sono riportate le specifiche tecniche degli strumenti, dei sensori e dei software di acquisizione ed analisi utilizzati;
- 2 ALLEGATI GRAFICI, in cui sono riportati in dettaglio i dati acquisiti, l'elaborazione ed i risultati ottenuti della stessa sismica e della prova down hole;
- ALLEGATO FOTOGRAFICO.

## 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 Vp;
2. Indagine sismica in foro di tipo Down-hole per la determinazione diretta dei profili di velocità Vp e Vs nel sottosuolo;
3. 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 Vs.

### 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 (Vp) o trasversali (Vs) 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 dromocroni che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocroni 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.

E' stata effettuata 1 prospezione sismica a rifrazione a 24 geofoni , in onde P, come da schema seguente:

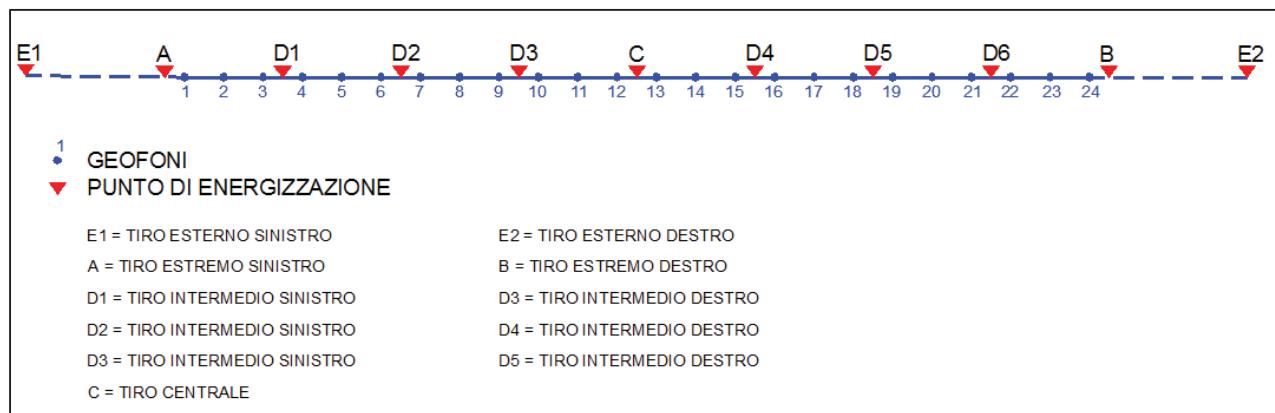


Figura 2-1: Schema acquisizioni prospezioni sismiche

Le lunghezze totali, le distanze intergeofoniche e le distanze 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	2	46

## 2.4 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 "stacking" 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, normalmente pari a 1 m.

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.

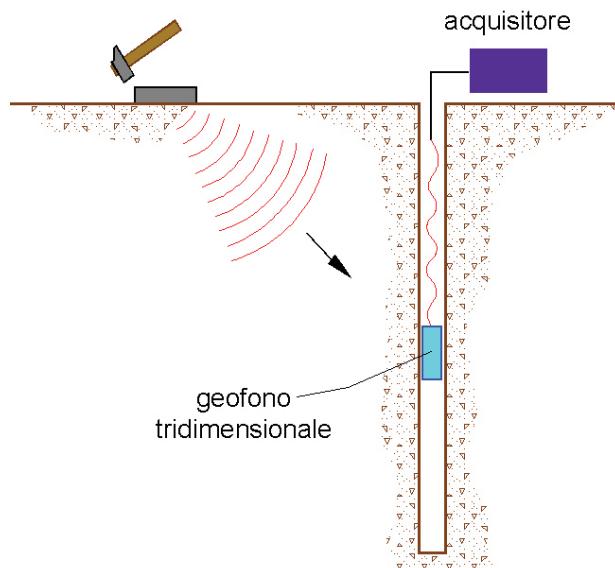


Figura 2-2: Tecnica di acquisizione Down-hole a singolo geofono

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 dal 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 presso la Scuola Media Statale Guicciardini nel comune di Firenze, con profondità d'indagine, relativa al piano campagna, di **30 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 **1.8 m** dal foro.

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

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.

## 2.5 Prospessione sismica attiva frequenziale - tecnica MASW

Il principio ispiratore della tecnica MASW è il carattere dispersivo delle onde di Rayleigh e di Love 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 complessive, 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 rigidezza superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi:

- L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll);
- la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

Per ottenere un profilo  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo 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, in quanto 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 preliminari per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale  $V_s$  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.

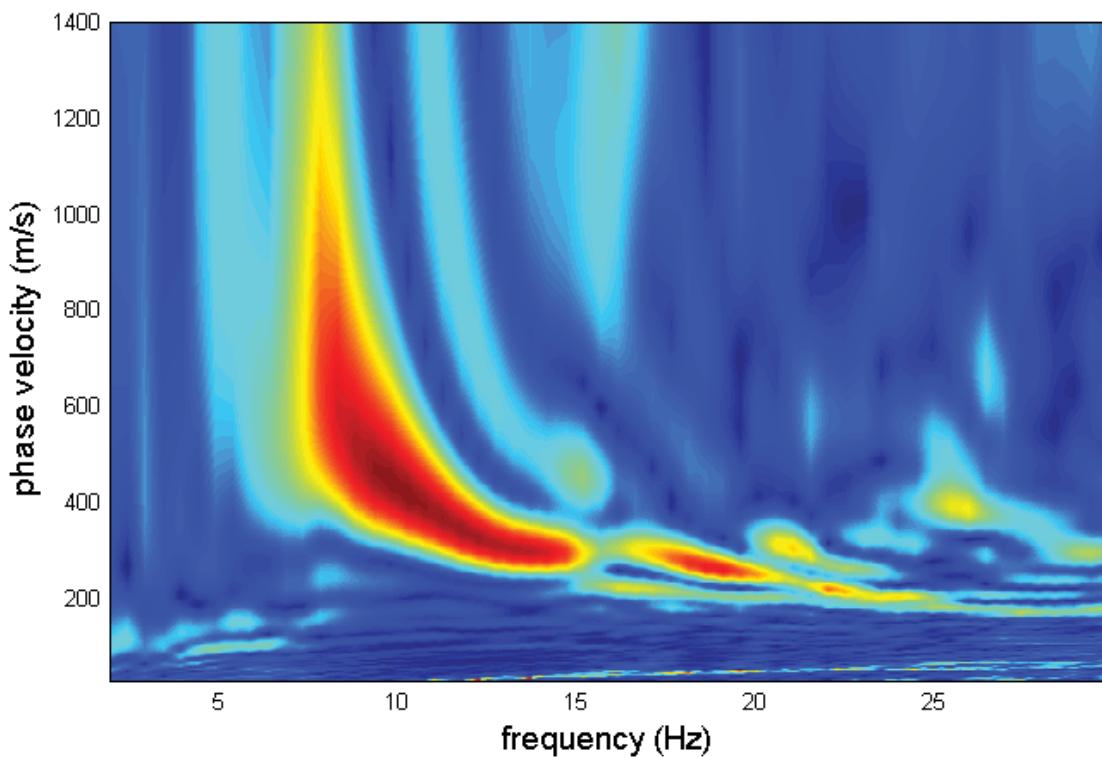
Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

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, un'opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.



**Figura 2.3: Curva dispersione**

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.

In particolare l'analisi MASW è realizzata con tre diversi tipi di acquisizione:

- **acquisizione ZVF** ossia con energizzazione verticale e acquisizione con geofoni verticali per l'analisi MASW della componente verticale delle onde di Rayleigh;
- **acquisizione THF** ossia con energizzazione trasversale e acquisizione con geofoni orizzontali disposti con asse perpendicolare alla stesa per l'analisi MASW delle onde di Love.

### 2.5.1 Strumentazione e metodologia

La strumentazione impiegata per le indagini MASW è la seguente:

#### MASW ZVF:

- 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 da 120 kg;
- Ricevitori: Geofoni ad asse verticale RTC 4.5 Hz 395 – R.T. CLARK;
- Tempo di campionamento: 1 ms;
- Periodo di acquisizione: 1024 campioni, pari a 1 s.

E' stata effettuata 1 prospezione sismica MASW a 24 geofoni, come da schema seguente:



Figura 2-4: Schema acquisizioni prospezioni sismiche

---

La lunghezza totale, la distanza intergeofonica e la distanza dei punti di energizzazione rispetto al primo geofono per la prospezione sono riassunte nella seguente tabella:

**Tabella 2-2: Riepilogo geometria prospezioni sismiche**

<b>INDAGINE [n°]</b>	<b>DISTANZA INTERGEOFONICA [m]</b>	<b>OFFSET BATTUTE ESTERNE E1 – E2 [m]</b>	<b>LUNGHEZZA STENDIMENTO [m]</b>
<b>S01</b>	2	10	46

### 3 Elaborazione dati e risultati

#### 3.1 Elaborazione dei dati sismici con tecnica tomografica

Per l'inversione dei dati sismici con tecnica tomografica 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 Travelttime), 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.

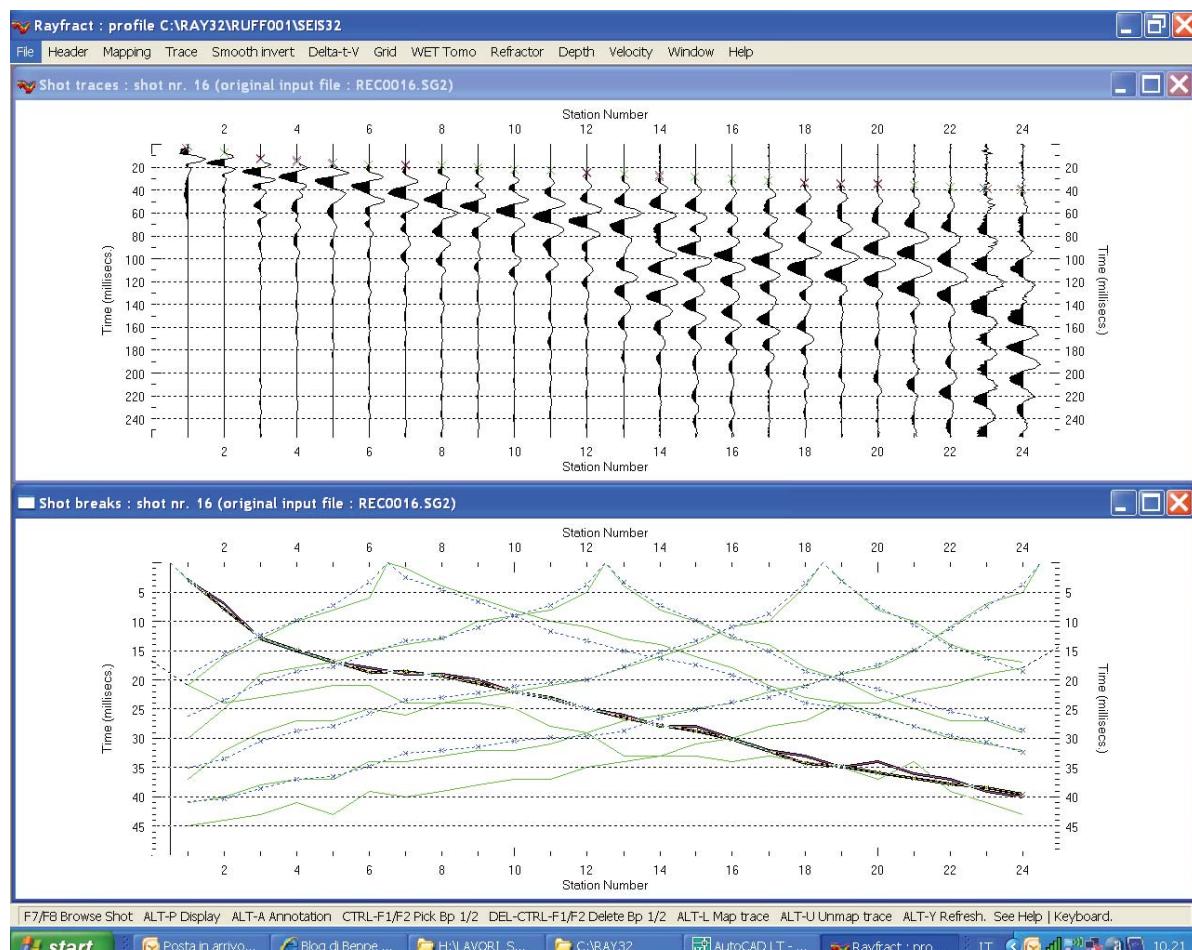


Figura 3-1: Confronto shot break primi arrivi e dromocrone

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 riportano in dettaglio le tomografie sismiche ottenute.

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

Ai fini di una completa caratterizzazione sismica dell'area indagata, la campagna di acquisizione dei dati Down-Hole ha previsto l'acquisizione dei tempi di arrivo sia delle onde Vp che delle onde Vs, al fine di determinare un modello monodimensionale verticale di velocità di propagazione delle onde di compressione Vp e delle onde di taglio Vs.

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

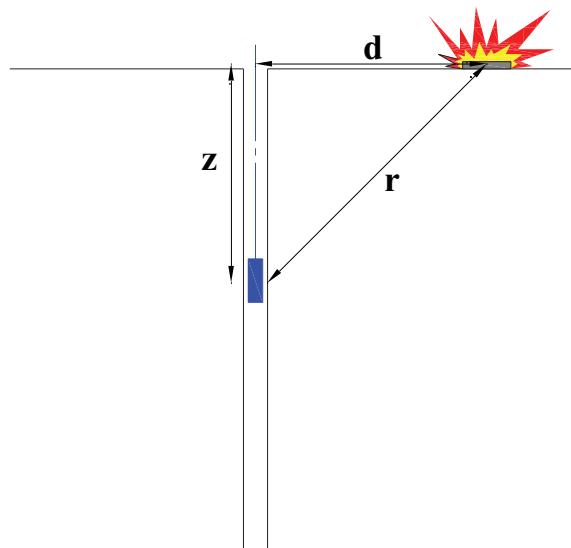


Figura 3-2: Elaborazione di Down-hole con metodo diretto

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 ( $t_{corr}$ ) mediante la seguente formula di conversione:

1) Correzione tempi di arrivo:

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

Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S si realizza il grafico  $t_{\text{corr}} - z$  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.

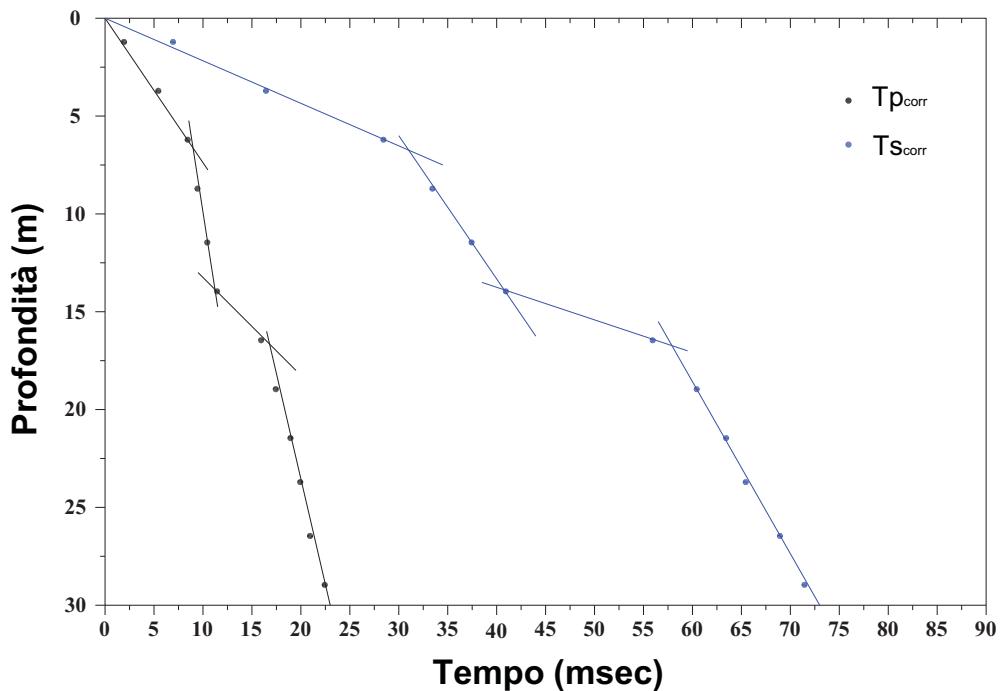


Figura 3-3: Elaborazione di Down-hole con metodo diretto - Dromocrone

Ottenuti graficamente i sismostrati 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:

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

5) modulo di Young medio:

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

6) modulo di compressibilità volumetrica medio:

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

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:

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

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  $t_{2corr} < t_{1corr}$ .

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.

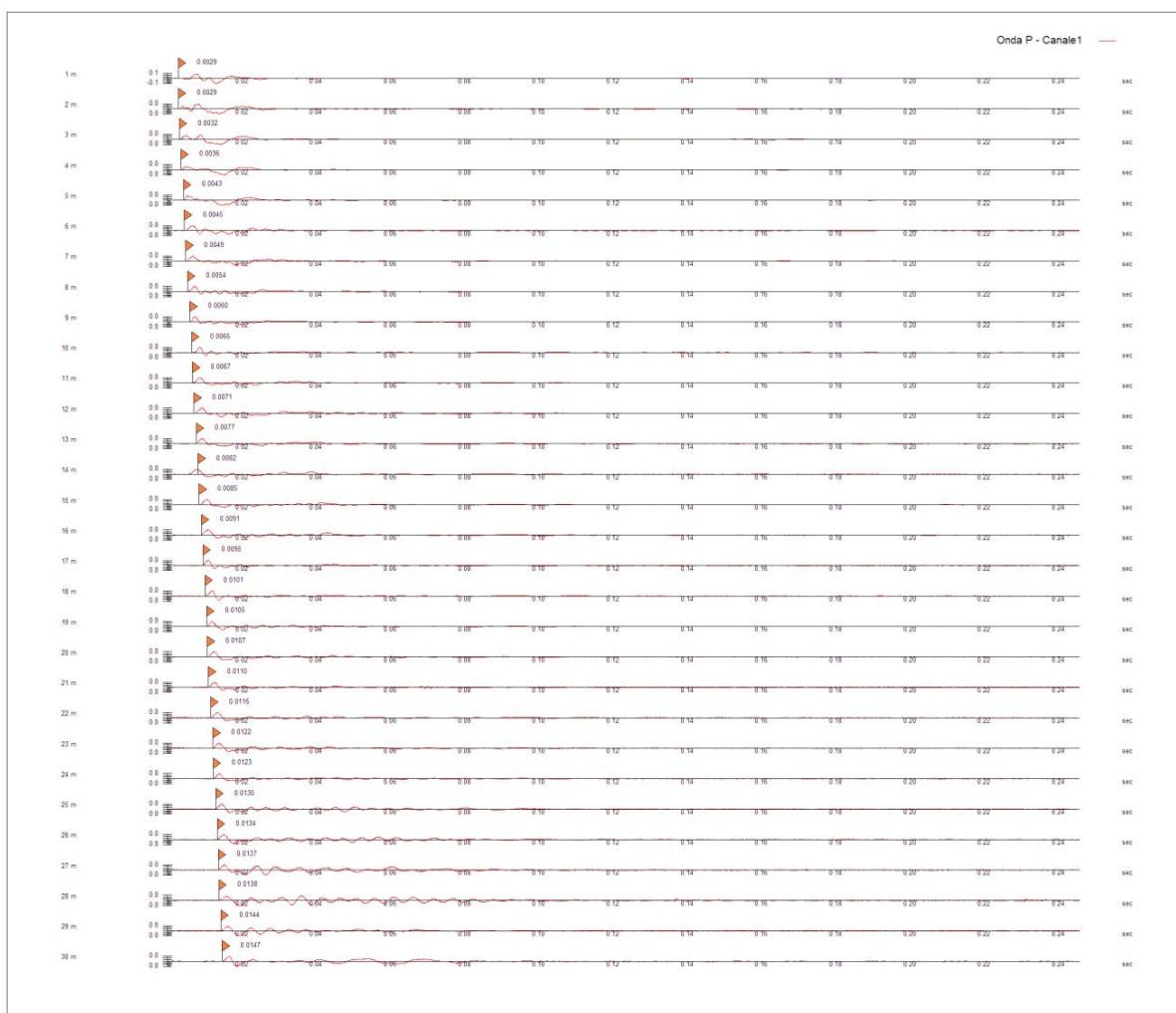


Figura 3-4: Elaborazione dati Down-hole con metodo diretto – Grafico comparativo primi arrivi Vp



Figura 3-5: Elaborazione dati Down-hole con metodo diretto – Grafico comparativo primi arrivi Vs

Tabella 3-1: Layout geometrico Down-hole

Offset scoppio (m)	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono (m)	Interdistanza (m)
1.8	30	1	1

Tabella 3-2: Tempi primi arrivi Down-hole

Registrazione Nr.	Z (m)	Tp (msec)	Ts (msec)
1	1.00	2.9	6.1
2	2.00	2.9	7.5
3	3.00	3.2	8.9
4	4.00	3.6	10.7
5	5.00	4.3	12.5
6	6.00	4.5	13.7
7	7.00	4.9	16.7
8	8.00	5.4	17.7
9	9.00	6	19.8
10	10.00	6.5	20.4
11	11.00	6.7	23.2
12	12.00	7.1	25.8
13	13.00	7.7	27.1
14	14.00	8.2	28.5
15	15.00	8.5	32.2
16	16.00	9.1	34.9
17	17.00	9.5	36.1
18	18.00	10.1	37.8
19	19.00	10.5	38.3
20	20.00	10.7	40.4
21	21.00	11	41.2
22	22.00	11.6	43
23	23.00	12.2	43
24	24.00	12.3	44.8
25	25.00	13	47.6
26	26.00	13.4	48.4
27	27.00	13.7	49.9
28	28.00	13.8	51.3
29	29.00	14.4	53
30	30.00	14.7	53.9

Tabella 3-3: Tempi primi arrivi Down-hole corretti per fattore geometrico

SR [m]	Tpcorr [msec]	Tscorr [msec]
2.0591	1.4084	2.9624
2.6907	2.1556	5.5747
3.4986	2.7440	7.6317
4.3863	3.2829	9.7576
5.3141	4.0458	11.7611
6.2642	4.3102	13.1222
7.2277	4.7456	16.1738
8.2000	5.2683	17.2683
9.1782	5.8835	19.4155
10.1607	6.3972	20.0773
11.1463	6.6121	22.8955
12.1343	7.0214	25.5146
13.1240	7.6272	26.8439
14.1152	8.1331	28.2673
15.1076	8.4395	31.9706
16.1009	9.0430	34.6812
17.0950	9.4472	35.8993
18.0898	10.0499	37.6124
19.0851	10.4532	38.1293
20.0808	10.6569	40.2374
21.0770	10.9598	41.0495
22.0735	11.5614	42.8568
23.0703	12.1628	42.8689
24.0674	12.2656	44.6745
25.0647	12.9664	47.4771
26.0622	13.3680	48.2844
27.0599	13.6697	49.7895
28.0578	13.7716	51.1943
29.0558	14.3723	52.8982
30.0540	14.6736	53.8032

Tabella 3-4: Sismogrammi invertiti con metodo diretto

Descrizione [-]	Profondità [m]
SISMOSTRATO I	3
SISMOSTRATO II	7
SISMOSTRATO III	15
SISMOSTRATO IV	30

Tabella 3-5: Parametri geotecnici medi ottenuti con metodo diretto

SISMO- STRATO	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]
I	1094.89	393.18	21.36	0.43	336.75	2611.27	960.38	2162.27
II	1990.05	468.38	21.67	0.47	484.76	8750.89	1425.86	8104.54
III	2168.02	506.33	21.4	0.47	559.53	10258.59	1646.32	9512.55
IV	2407.7	687.13	21.94	0.46	1056.47	12971.46	3075.74	11562.84

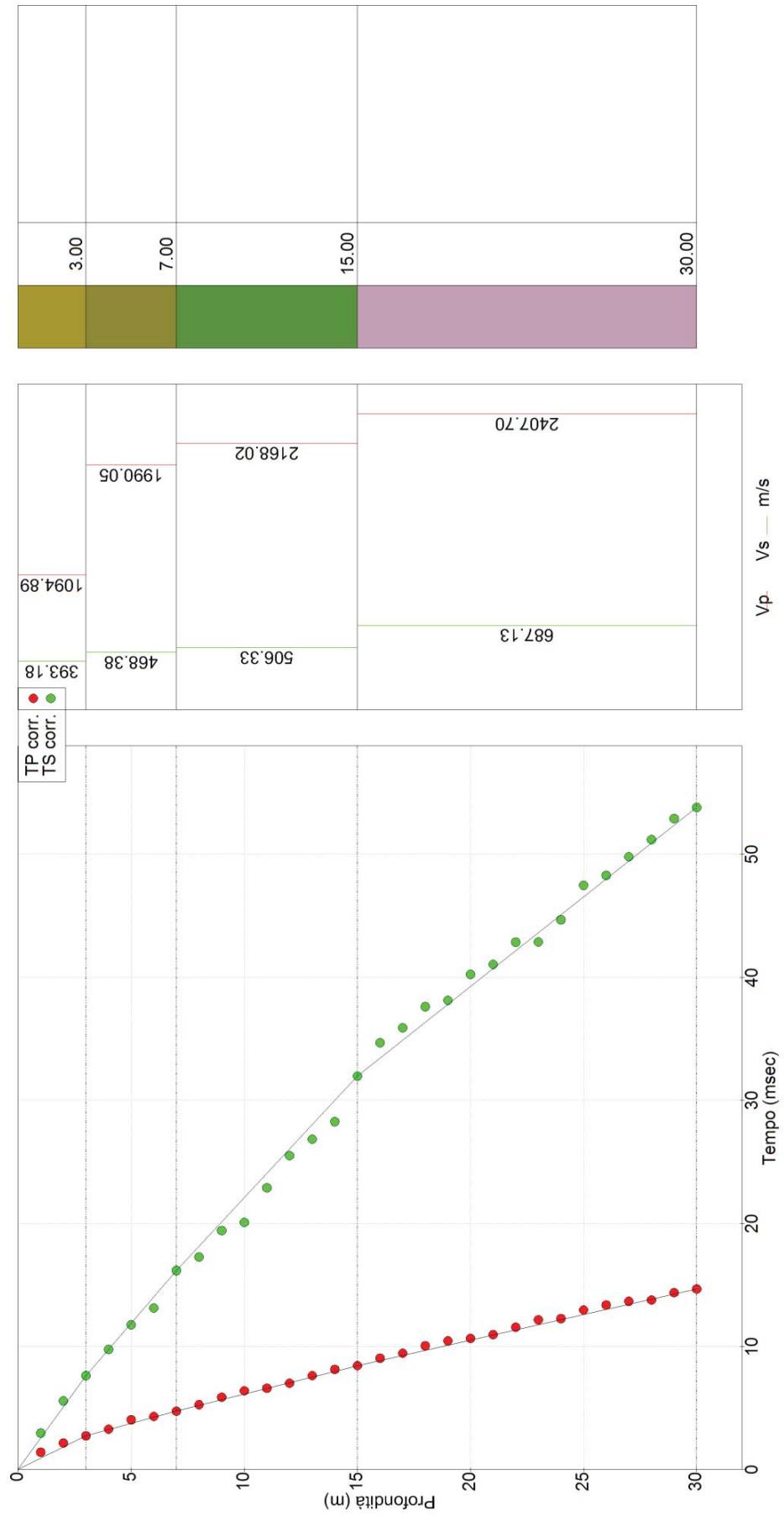


Figura 3-6: Dromocrona ottenuta con metodo diretto

---

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):

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

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $y < 10^{-6}$ ) 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 Down-hole, ha prodotto dei profili di velocità riportati nell'allegato grafico; di seguito viene riportato il parametro vs30 ottenuto.

Tabella 3-6: RIEPILOGO CALCOLO Vs30

INDAGINE	Vs30 [m/s]
DH01	558

### 3.3 Elaborazione dei dati di sismica frequenziale – tecnica MASW

i dati sismici sono stati acquisiti per l'analisi frequenziale con tecnica MASW secondo le tecniche tradizionali di acquisizione:

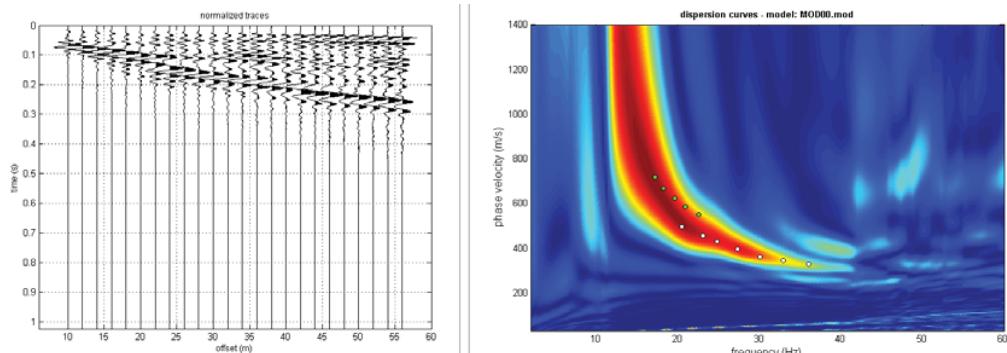
- ZVF ossia con la sorgente di energizzazione ad impatto verticale e l'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh;

I sismogrammi vengono elaborati secondo la trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio, detto dominio trasformato, si tenta di identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh e Love da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria, e disturbi antropici.

L'osservazione dello spettro consente di notare che le onde superficiali si propagano a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione, per cui sulla base della teoria sviluppata e degli algoritmi di calcolo, e dell'analisi correlata dei diversi spettri, si ipotizzano e si modellano le preliminari *curve di dispersione*, che associano ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda.

La determinazione della curva di dispersione (*picking*) è un processo particolarmente complesso che non può essere lasciato ad algoritmi automatici di calcolo dei software ma deve essere sempre attentamente valutato dall'interpretatore.

Determinate le curve di dispersione si ricerca un primo modello sintetico che verrà modificato iterativamente per n volte, in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenerne uno a cui è associata una curva di dispersione sperimentale che ben approssima le curve di dispersione ricavate dai sismogrammi. Questa delicata seconda fase di interpretazione è comunemente detta *fase di inversione*.



**Figura 3.7: Picking della curva di dispersione congiunta (MASW ZVF)**

Le due fasi iterative di interpretazione, per quanto debbano seguire le linee guida dettate dalla teoria, devono rigorosamente essere controllate accuratamente dall'interpretatore poiché non è possibile affidarsi completamente ad un sistema automatico di inversione che lavora unicamente alla ricerca della soluzione matematicamente migliore, spesso non coincidente con la realtà fisica del sito.

I dati sono stati elaborati mediante il software commerciale “WinMASW 2015 ver. 7.0 Academy” prodotto dalla Elosoft.

Il software presenterà come soluzione del processo d'inversione due modelli di Vs di cui:

- il modello “migliore” (in termini di minor misfit, cioè discrepanza tra curva osservata e calcolata);
- il modello medio calcolato secondo un'operazione statistica nota come MPPD (Dal Moro et al., 2007).

Come modello di Vs viene scelto modello medio, perché consigliato da bibliografia, anche se normalmente i due modelli non differiscono di molto.

## 4 Conclusioni

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

Il valori del parametro Vs,30, determinati con l'elaborazione dei dati sismici MASW e DH sono i seguenti:

INDAGINE	Vs30 [m/s]
Down Hole	558
Analisi MASW S01	541

Di conseguenza, in base all'analisi dei profili della velocità delle onde di taglio, il sottosuolo interessato dall'opera in progetto può essere definito come:

- **Sottosuolo di categoria B** - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

In questi suoli il fattore S, relativo al profilo stratigrafico del suolo di fondazione, risulta essere:

$$S = SS * ST$$

dove SS è il coefficiente di amplificazione stratigrafica, desumibile dalla Tab. 3.2.V delle N.T.C. 2008 in base al tempo di ritorno assegnato in funzione della tipologia ed importanza dell'opera, ed ST è il coefficiente di amplificazione topografica, desumibile dalla Tab. 3.2.VI (vedi relazione geologica).

## 5 Glossario

$V_p$	Velocità di propagazione delle onde di pressione
$V_s$	Velocità di propagazione delle onde di taglio
$V_{s30}$	Velocità di propagazione delle onde di taglio, media nei primi 30 m
$V_{sv}$	Componente verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio
$V_{sh}$	Componente orizzontale della velocità di propagazione delle onde di taglio
$V_a$	Velocità apparente di propagazione delle onde elastiche
$V_r$	Velocità reale di propagazione delle onde elastiche
$t$	Tempo
$f$	Frequenza
$H$	Spessore dello strato

Onde P	Onde sismiche di pressione che sono le prime ad essere individuate in quanto le più veloci;
Onde S	Onde sismiche di taglio
Battuta S1	Prima battuta contro piastra per generazione onde S, con direzione ad esempio E-W;
Battuta S2	Seconda battuta contro piastra, con direzione coniugata rispetto ad S1, ad esempio W-E, per determinazione di first break delle onde S
FIRST BREAK	processo di interpretazione dei dati sismici per determinazione del primo arrivo delle onde sismiche, sia di tipo P che S;
ESAC	Extended Spatial AutoCorrelation
MASW	Multi-Channel Analysis Surface Waves
HVSR	Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo Nakamura rapporto spettrale tra le componenti del orizzontale e verticale dei microtremori
Inversione	Processo di fit per l'ottenimento di un modello sperimentale a partire da dati osservati, mediante il confronto iterativo delle differenze tra due serie di dati, definiti da un modello sperimentale (invertito) e da un modello diretto (sintetico).
MS	Microzonazione Sismica
MOPS	Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

## 6 Riferimenti normativi e bibliografici

### 6.1 Riferimenti normativi e specifiche tecniche

- [1] Decreto Ministeriale Infrastrutture 14 gennaio 2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, e indicato anche con N.T.C. nel presente documento.
- [2] Indirizzi e Criteri di microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla conferenza delle Regioni e delle Province autonome;
- [3] Specifiche tecniche regionali: Allegato A alla DGRT n.261/2011, Appendice 1, Appendice 2
- [4] Istruzioni Tecniche per le indagini geologico-tecniche, geofisiche e geotecniche, statiche e dinamiche, finalizzate alla valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana - Programma VEL Toscana – Del. GRT. n. 1343 del 18 dicembre 2000 e s.m.e.i.

### 6.2 Riferimenti bibliografici

- [5] Iervolino I., Galasso C., Cosenza E., 2010, Rexel: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis, Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362.
- [6] Dal Moro G., 2008a, VS and VP Vertical Profiling and Poisson Ratio Estimation via Joint Inversion of Rayleigh Waves and Refraction Travel Times by means of Bi-Objective Evolutionary Algorithm, J. Appl. Geophysics (in stampa)
- [7] Dal Moro G., Pipan M., Forte E., Finetti I., 2003, Determination of Rayleigh wave dispersion curves for near surface applications in unconsolidated sediments, Proceedings SEG, 73st Annual Int. Mtg. (Dallas, Texas, Oct 2003)
- [8] Xia J., Miller R.D. and Park C.B.; 1999: Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves. Geophysics. 64, 691-700.
- [9] Xia J., Miller R.D., Park C.B., Ivanov J., Tian G. and Chen C.; 2004: Utilization of high-frequency Rayleigh waves in near-surface geophysics. The Leading Edge, 23, 753-759.
- [10] Xia J., Miller R.D., Park C.B. and Tian G.; 2002: Determining Q of near-surface materials from Rayleigh waves. J. Appl. Geophys., 51, 121– 129.
- [11] Xia J., Miller R.D., Park C.B. and Tian G.; 2003: Inversion of high frequency surface waves with fundamental and higher modes. Jour. of Appl. Geophys., 52, 45–57.
- [12] Rix, G.J. and Lai, C.G. Model-Based Uncertainty in Surface Wave Inversion Proceedings, GeoCongress 2006, “Geotechnical Engineering in the Information Technology Age”, Atlanta, February 26-March 1, 2006. Paper Reference No. 11904.
- [13] Lai C.G., Wilmanski K. (Editors) Surface Waves in Geomechanics: Direct and Inverse Modeling for Soils and Rocks, CISM Lecture Notes No. 481, CISM-Springer Verlag, pp. 385, ISBN: 3-211-27740-4. CD with software programs for surface wave analysis is included.

- 
- [14] Lai, C.G. "Chapter 3 – Surface Waves in Dissipative Media: Forward and Inverse Modelling" in Surface Waves in Geomechanics: Direct and Inverse Modeling for Soils and Rocks. Edited by C.G. Lai and K. Wilmanski, CISM Lecture Notes Vol. No. 481, Springer-Verlag, pp. 385, October 2005. ISBN: 3-211-27740-4. CD with software programs for surface wave analysis is included.
  - [15] Rix, G.J. "Chapter 3 – Near-Surface Site Characterization Using Surface Waves" in Surface Waves in Geomechanics: Direct and Inverse Modeling for Soils and Rocks. Edited by C.G. Lai and K. Wilmanski, CISM Lecture Notes Vol. No. 481, Springer-Verlag, pp. 385, October 2005.
  - [16] Lai, C.G., Foti, S., Rix, G.J. Propagation of Data Uncertainty in Surface Wave InversionJournal of Environmental and Engineering Geophysics, 10(2), pp. 219-228, July 2005.
  - [17] Lai, C.G., Rix, G.J., Foti, S., Roma, V. Simultaneous Measurement and Inversion of Surface Wave Dispersion and Attenuation Curves Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 22, No. 9-12, pp. 923-930, October-December 2002.
  - [18] Rix, G.J., Lai, C.G., Spang, A.W. In Situ Measurements of Damping Ratio Using Surface Waves Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 126, No.5, pp. 472-480, May 2000.
  - [19] Lai, C.G., Foti, S., Godio, A., Rix, G.J., Sambuelli, L., Socco, V. Geotechnical Site Characterization Using Geophysical Techniques Italian Geotechnical Journal, RIG, Special Publication, No.3, pp. 99-118, September 2000.
  - [20] Lai, C.G. Spectral Analysis of Surface Waves – Active Methods – Technical Recommendations Italian Geotechnical Journal, RIG, No.4, pp. 201-212. December 2000.
  - [21] Lai, C.G., Rix, G.J. Inversion of Multi-Mode Effective Dispersion Curves Proceedings, 2nd International Symposium on Pre-Failure Deformation Characteristics of Geomaterials, IS Torino 99, Torino, Italy, September 26-29, 1999, Vol. I, pp. 411-418.
  - [22] Lai, C.G., Rix, G.J. Simultaneous Inversion of Rayleigh Phase Velocity and Attenuation for Near- Surface Site Characterization Contract Report prepared for the National Science Foundation under Grant No. CMS-9402358, and the U.S. Geological Survey, Department of Interior, Report No. GIT-CEE/GEO-98-2, July, 1998, pp. 258.
  - [23] Strobbia, C. Surface wave methods: acquisition, processing and inversion, Ph.D. Thesis, Politecnico di Torino, Italy, 2003.
  - [24] Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute. 30-1, pp 25-33.
  - [25] Ibs-von Seht, M. y Wohlenberg, J. (1999). Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. Bulletin of Seismological Society of America, Vol 89, pp 250-259.

- 
- [26] Rohdewald, S., Burton, B., Sheehan, J., Doll, W., 2010, Processing of seismic refraction tomography data, SAGEEP short course notes, Keystone, Colorado.
  - [27] Schuster, G.T., Quintus-Bosz, A., 1993, Wavepath eikonal travelttime inversion: Theory. *Geophysics*, Volume 58, 1314-1323.
  - [28] Sheehan, J.R., Doll, W.E., Mandell, W., 2005, An evaluation of methods and available software for seismic refraction tomography analysis, *JEEG*, Volume 10(1), 21-34.
  - [29] Watanabe, T., Matsuoka, T., Ashida, Y., 1999, Seismic travelttime tomography using Fresnel volume approach, *SEG Houston 1999 Meeting, Expanded Abstracts*.
  - [30] White, D.J., 1989, Two-dimensional seismic refraction tomography, *Geophysical Journal*, Volume 97, 223-245.
  - [31] Zelt, 2010, SAGEEP 2011 Seismic refraction shootout: blind test of methods for obtaining velocitymodels from first-arrival travel times.
  - [32] Semih, S. Tezcan, Ali, Keceli, Zuhal Ozdemir, 2006, Allowable bearing capacity of shallow foundations based on shear wave velocity, *Geotechnical and Geological Engineering* (2006) 24: 203–218
  - [33] Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1967) *Soil Mechanics in Engineering Practice* , 2nd edn, John Wiley and Sons, New York.
  - [34] Turesson, A (2007), A comparison of methods for the analysis of compressional, shear, and surface wave seismic data, and determination of the shear modulus, *Journal of Applied Geophysics*, 61, Elsevier
  - [35] Orlando, L. Pelliccioni, G., (2010), P and PS data to reduce the uncertainty in the reconstruction of near-surface alluvial deposits, *Journal of Applied Geophysics*, 42, Elsevier
  - [36] Aki K. (1957), Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, *Bullettin of the Earthquake Research Institute* 35:415-456
  - [37] Dal Moro G. et al., (2007), Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via genetic algorithms and posterior probability density evaluation, *J.Appl.Geophysics*, 61, 39-55
  - [38] M. Ali Ak (2006), An Analytical Raypath approach to the Refraction Wavefront Method, *Geophysical Prospecting*, 38, 971-982

**ALLEGATO TECNICO - SPECIFICHE TECNICHE STRUMENTI, SENSORI,  
SOFTWARE DI ACQUISIZIONE ED ANALISI**



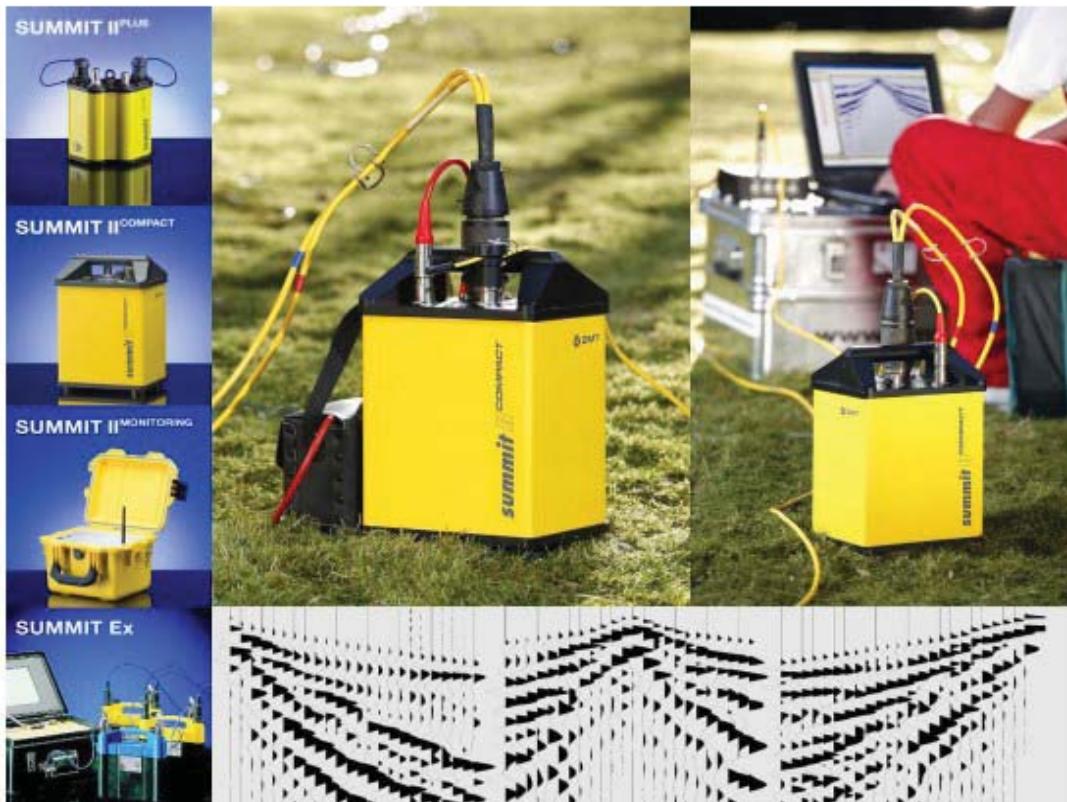
## Summit II Compact

The Seismic 'Productivity System'!

The Summit II Compact is the most productive and robust seismic acquisition system for LVL measurements, borehole tomography, and VSP surveys: The twenty-four channel box in a solid metal casing with the Summit 'Plug & Trace' technology can be used in any environment for high speed production. The seismograph works as a stand alone system or several boxes can be linked together with the 'Snap-on' line cable to comprise a multi-channel seismic acquisition system.

### Specialised for LVL and Engineering Seismics !

- Highest productivity due to its sophisticated system design
- For specialist applications such as LVL and engineering surveys
- Extremely robust, lightweight metal casing
- Supreme service via rapid reaction support hotline



Allegato 1. 1: Sismografo Summit

Technical Specifications	
Sample Interval	1/48, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8 ms
Record Length	0.5 K samples, ..., 120 K samples
Preamp Gain	0 dB, 20 dB or 40 dB
A/D Converter	24 bit delta sigma technology
Maximum Input Signal	2.0 Volt RMS 5.6 Volt peak to peak
Input Impedance	20 kOhm
Instantaneous Dynamic Range	≥ 120 dB @ 2 ms sampling interval
Equivalent Input Noise	Less than 0.3 $\mu$ V RMS @ 2 ms sampling interval and 40 dB preamp gain
Crosstalk	≥ 112 dB (between channels)
Total Harmonic Distortion	≤ 0.0008 %
Common Mode Rejection Ratio	≥ 100 dB
Gain Accuracy	Typical 1 % (between all channels)
Time Accuracy	Typical 5 ppm (between all channels)
Power Supply	+ 9 - 18 VDC @ 0.2 W / channel
Dimensions	20.0 x 15.0 x 29.0 cm
Weight	4.9 kg
Analogue Anti-Alias Filter	
Analogue Low-Cut Filter	
Digital Anti-Alias Filter	
Rejection at Nyquist Frequencies	
Passband Ripple	
Built-In Test Functions	
System Check	
Geophone Check	

Subject to technical changes

Environmental Specifications	
Operation Temperature	-30°C to + 70°C
Humidity Range	0 – 95 %
Case	Solid waterproof metal housing deployable in any surface environment

DMT GmbH & Co. KG  
Exploration & Geosurvey

Am Technologiepark 1  
45307 Essen, Germany

Phone +49 201-172-1970  
Fax +49 201-172-1971  
info.summit@dmtn.de  
www.summit-system.de

Member of TÜV NORD Group



## Overall System Performance and Flexibility

### Typical Shot Cycling Time

- 10 seconds @ 1 ms sampling rate
- 2 K trace length with 256 channels inclusive data storage; reduced by using multiple USB

### Mobile System Control

- via easy to handle standard PC / Laptop

### Cables

- Simple low cost two-conductor wire for Snap-on technology or alternatively configured four wire round cable

### Connectors

- 55 pin plug input connector
- Snap-on connector or four-wired round cable
- USB 2.0

## Allegato 1. 2: Specifiche tecniche Sismografo Summit

**HORIZONTAL Geophones SM-6/U-B 10 Hz – SENSOR NEDERLAND b.v.**

Specifications			INPUT/OUTPUT, INC.
<b>SM-6/U-B</b>			
<b>Frequency</b>			
Natural frequency ( $f_n$ )	8 Hz	10 Hz	14 Hz
Tolerance	$\pm 0.5$ Hz	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
Maximum tilt angle for specified $f_n$	20°	25°	25°
Typical spurious frequency	150 Hz	170 Hz	190 Hz
<b>Distortion</b>			
Distortion with 0.7 in/s p.p. coil-to-case velocity	<0.2%	<0.2%	<0.2%
Distortion measurement frequency	12 Hz	12 Hz	14 Hz
Maximum tilt angle for distortion specification	15°	20°	20°
<b>Damping</b>			
Open-circuit damping	0.315	0.25	0.18
Damping calibration-shunt resistance	2,257 Ω	1,339 Ω	645 Ω
Damping with shunt	0.6	0.6	0.6
Tolerance with shunt	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
<b>Resistance</b>			
Standard coil resistance	375 Ω	375 Ω	375 Ω
Tolerance	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
<b>Sensitivity</b>			
Open-circuit sensitivity	28.8 V/m/s	28.8 V/m/s	28.8 V/m/s (0.73 V/in/s)
Tolerance	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
$R_s B_0 f_n$	6,000 ΩHz	6,000 ΩHz	6,000 ΩHz
Moving mass	11.1 g	11.1 g	(0.39 oz)
Maximum coil excursion p.p.	4 mm	4 mm	(0.16 in)
<b>Physical Characteristics</b>			
Diameter	25.4 mm	25.4 mm	(1 in)
Height	36 mm	36 mm	(1.42 in)
Weight	81 g	81 g	(2.85 oz)
Operating temperature range	-40°C to +100°C	-40°C to +100°C	-40°C to +100°C (-40°F to +212°F)
<b>Limited Warranty Period*</b>	2 years	2 years	2 years
* Warranty excludes damage caused by high-voltage and physical damage to the element case.			
All parameters are specified at +20 °C in the vertical position unless otherwise stated.			

**Allegato 1. 3: Specifiche tecniche geofoni orizzontali 10 Hz – SENSOR NEDERLAND**

### VERTICAL Geophones GEOSPACE GS-20DX 14 Hz

#### Specifications (*All parameters are specified at a temperature of 22°C*)

- FREQUENCY:
  - Natural Frequency (fn): 14Hz
  - Tolerance: +/- 5%
  - Max. tilt angle for specified fn: 10 degrees
  - Typical spurious frequency: > 250Hz
- DISTORTION:
  - Distortion: <= 0.22 +/- 10 %
  - Distortion measurement frequency: 14Hz
  - Max tilt angle for distortion specification: Vertical
- COIL RESISTANCE:
  - Standard: 395ohm
  - Tolerance: +/- 5%
- SENSITIVITY:
  - Sensitivity: 0.28 V/m/s (0.698 V/in/s)
  - Tolerance: +/- 7.5%
  - Moving Mass: 11.2 g (0.395 oz)
  - Maximum coil excursion p.p.: 1.52 mm (0.060 in)
- PHYSICAL CHARACTERISTICS:
  - Diameter: 25.4 mm (1 in)
  - Height: 33.0 mm (1.26 in)
  - Weight: 86 g (3.03 oz)
  - Operating temperature range: -45 Celcius to +100 Celcius

#### **Allegato 1. 4: Specifiche tecniche geofoni verticali 14 Hz – GEOSPACE**

### VERTICAL Geophones RTC 4.5 Hz 395 – R.T. CLARK companies

#### Specifications (*All parameters are specified at temperature of 22°C*)

- FREQUENCY:
  - Natural Frequency (fn): 4.5Hz
  - Tolerance: +/- 0.5Hz
  - Max. tilt angle for specified fn: 10 degrees
  - Typical spurious frequency: > 160Hz
- DISTORTION:
  - Distortion: <= 0.2%
  - Distortion measurement frequency: 12Hz
  - Max tilt angle for distortion specification: Vertical
- COIL RESISTANCE:
  - Standard: 395ohm
  - Tolerance: +/- 5%
- SENSITIVITY:
  - Sensitivity: 22.0 V/m/s (0.698 V/in/s)
  - Tolerance: +/- 7.5%
  - Moving Mass: 11.2 g (0.395 oz)
  - Maximum coil excursion p.p.: 1.52 mm (0.060 in)
- PHYSICAL CHARACTERISTICS:
  - Diameter: 25.4 mm (1 in)
  - Height: 33.0 mm (1.26 in)
  - Weight: 86 g (3.03 oz)
  - Operating temperature range: -45 Celcius to +100 Celcius

**Allegato 1. 5: Specifiche tecniche geofoni verticali 4.5 Hz – RTC CLARK**

# TROMINO®

La nuova generazione di sistemi per sismica a stazione singola e analisi vibrazionali

*Sembra mite, è dinamite!*



**TROMINO®** è il primo strumento realmente 'tutto in uno' per la registrazione sismica a stazione singola passiva ed attiva e per il monitoraggio delle vibrazioni.

**TROMINO®** è dotato di\*:

- 3 canali velocimetrici per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a  $\pm 1.5 \text{ mm/s} \sim$ )
- 3 canali velocimetrici per la registrazione di vibrazioni forti (fino a  $\pm 5 \text{ cm/s} \sim$ )
- 3 canali accelerometrici per monitoraggio di vibrazioni
- 1 canale analogico (es. trigger esterno per MASW/rifrazione)
- ricevitore GPS integrato, antenna interna e/o esterna per localizzazione e/o sincronizzazione tra diverse unità
- modulo radio per sincronizzazione tra diverse unità e trasmissione di allarmi (es. superamento di soglie)

**TROMINO®** è la soluzione ideale negli ambiti

#### GEOLOGICO-TECNICO

- misura delle frequenze di risonanza dei suoli
- effetti di sito e microzonazione sismica (curve H/V, metodo di Nakamura)
- stratigrafia sismica passiva
- Vs30 da fit vincolato della curva H/V
- doppia risonanza suolo-struttura
- array sismici attivi o passivi tramite sincronizzazione di più unità via radio o GPS
- sismica a rifrazione a piccola-media scala per onde P e S, MASW, FTAN (**TROMINO®** + trigger)

#### INGEGNERISTICO

- misura dei modi di vibrazione delle strutture
- monitoraggio delle vibrazioni
- acquisizione sincronizzata da più unità via radio o GPS
- trasmissione di allarmi (superamento soglie)

**TROMINO®** opera nell'intervallo di frequenze 0.1 - 1024 Hz su tutti canali (fino a 32 kHz su 2 canali\*) con conversione A/D > 24 bit equivalenti a 128 Hz.

Il tutto in un unico strumento realmente portatile:

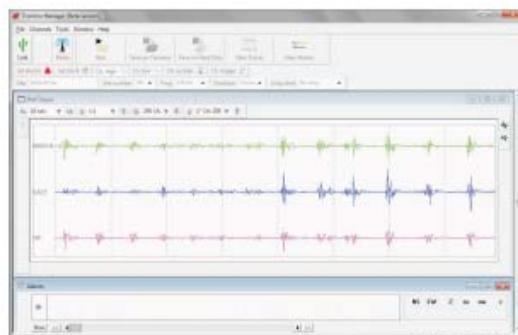
- nessun cavo esterno
- dimensioni minime (10 x 14 x 8 cm)
- peso minimo (~1 kg)

a bassissimo consumo (75 mW\*):

- 2 batterie AA (1.5 V) garantiscono fino a oltre 100 h di registrazione in continua
- può essere alimentato da rete elettrica per monitoraggi prolungati

\* specifiche variabili a seconda dei modelli

**TROMINO®** è un brevetto internazionale



[www.tromino.eu](http://www.tromino.eu)

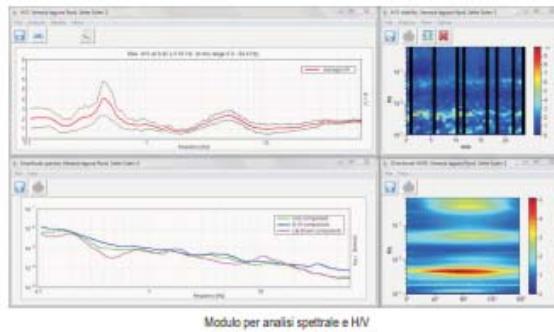
**micromed**

Allegato 1. 6: Tromino Microtremori

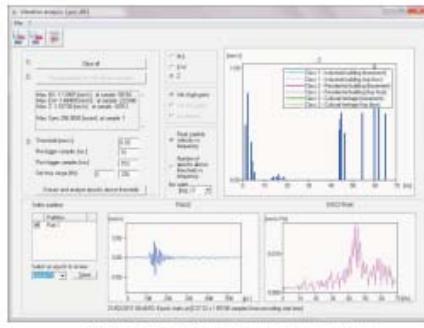
**Grilla** è il software creato per archiviare, gestire, visualizzare ed analizzare le registrazioni di **TROMINO®**. **Grilla** è interattivo, di uso intuitivo e per ogni tipo di analisi produce un referto automatico.

I diversi moduli di **Grilla** permettono di effettuare:

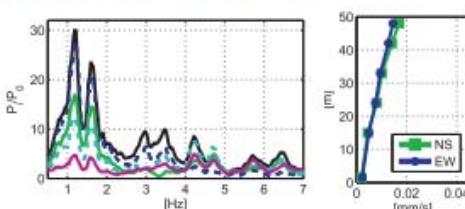
**ANALISI HV ESTESA.** Analisi spettrale completa delle tracce, calcolo delle curve H/V per la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo, procedure di pulizia dei tracciati nel dominio del tempo e della frequenza, test sulla significatività dei picchi secondo le linee guida europee, metodo del sito di riferimento, determinazione delle frequenze dei modi di vibrare delle strutture con rimozione dell'effetto di sottosuolo, analisi direzionale, confronto tra analisi e registrazioni diverse, numerosi altri strumenti matematici di analisi. Referto automatico con tabelle e illustrazioni.



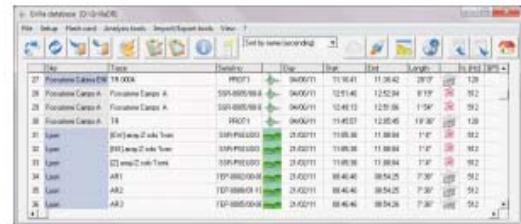
**ANALISI DI VIBRAZIONI.** Modulo per l'estrazione di finestre temporali con segnale al di sopra di soglie date e per la loro analisi spettrale secondo le norme europee in materia di vibrazioni su strutture. Referto automatico con tabelle e illustrazioni.



**ANALISI MODALE DELLE STRUTTURE.** Modulo per il calcolo delle frequenze e delle forme dei modi di vibrazione delle strutture.

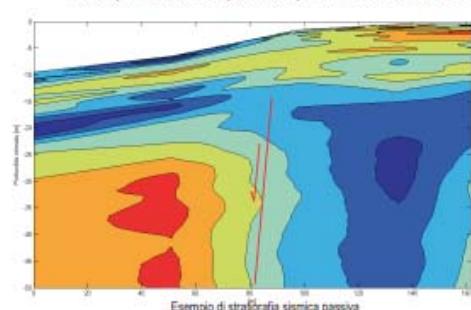
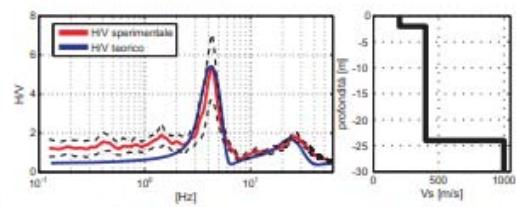


[www.tromino.eu](http://www.tromino.eu)



**FIT VINCOLATO DI CURVE HV PER PRODURRE PROFILI DI Vs E STIMA DEL Vs30.** Strumento di modellazione di curve H/V teoriche basato su onde di superficie (Rayleigh e Love) a partire da modelli di sottosuolo inseriti dall'utente o in modo semiautomatico.

**FIT CONGIUNTO DI CURVE HV E CURVE DI DISPERSIONE.** Modulo per il fit congiunto di curve H/V e spettri di velocità di fase delle onde di superficie (curve di dispersione) provenienti da indagini in array attive (MASW ecc.) e passive (ReMi™, ESAC, SPAC ecc.). Consulta la brochure di Micromed **SoilSpy Rosina**.



E per chi non ha ancora **TROMINO®**? **Grilla Paws** è la versione ridotta di **Grilla** per raccogliere in un database, gestire e analizzare registrazioni a stazione singola e multicanale acquisite con strumenti diversi da **TROMINO®** e **SoilSpy Rosina**.

**micromed** s.p.a.

Via Giotto, 2 - 31021  
Mogliano Veneto (TV) - ITALY  
Tel. +39 041 5937000  
Fax. +39 041 5937011  
e-mail: [info@tromino.it](mailto:info@tromino.it)  
web: [www.tromino.eu](http://www.tromino.eu)  
[www.micromed.eu](http://www.micromed.eu)

— IQNet —

Distribuito da:

TRO.IT-4.00

**micromed**

#### Allegato 1. 7: Tromino Microtremori

**Rayfract® Seismic Refraction/Borehole Tomography software**  
Subsurface velocity structure imaging for geotechnical engineering and exploration

Intelligent Resources Inc.

Rayfract® software allows reliable imaging of subsurface velocity with modeling of propagation of seismic first break energy. Import the seismic data and define the 2D profile geometry. Pick or import first breaks. Run our Smooth inversion method to objectively image velocity structure, even with extreme topography and strong lateral velocity variation. No assignment of traces to refractors required.

The initial 1D-gradient model is determined automatically from the travel time data, with our DeltatV (Improved Wiechert-Herglotz) method. This method gives a good initial fit between modeled and picked times, even with velocity inversions.

The initial model is refined with WET Wavepath Eikonal Traveltime tomographic inversion, aka Fresnel Volume Tomography. While conventional ray tracing is limited to modeling just one ray per first break, WET models multiple signal propagation paths contributing to one first break. Our Eikonal solver used for traveltime field computation explicitly models diffraction besides refraction and transmission of seismic waves.

Rayfract® supports any surface-based 2D recording geometry, including roll-along seismic reflection lines. Add uphole refraction shots to constrain the WET tomography solution. Allows crosshole and multi-offset VSP survey interpretation.

Use our conventional Wavefront and Plus-Minus methods to obtain alternative interpretations, in case of true layering of the subsurface geology. Assign traces to refractors interactively or automatically.

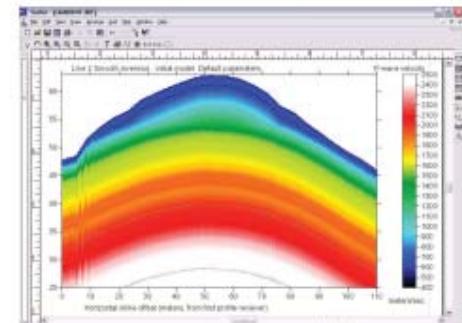
Specifications

- Requires Golden Software Surfer® 8, 9 or 10 for automatic plotting and interactive editing of tomography output
- Runs under Microsoft Windows® 2000, XP, Vista and Windows® 7 both 32 and 64-bit
- Max. 360 traces per shot, 500 shots per profile
- Define your own irregular receiver spread types
- Geometrics, ABEM, BISON, DMT SUMMIT, OYO, SEISMIC SOURCE COMPANY, SEISTRONIX SEG-2 data import
- Import ASCII, Interpex GREMIX, OYO SEISREFA, Rimrock PIK, EarthFX VIEWSEIS, W\_GeoSoft WINSIM, OPTIM LLC SEISOPT, Geometrics SEISMAGER, Tweeton GeoTomCG files with first break times and geometry
- Use overlapping receiver spreads to simulate one long spread. Use offset shots for depth penetration
- Build own model with Surfer®. Synthesize traveltime data by forward modeling propagation with Rayfract®
- Interpret P-wave and S-wave data for same line, and map dynamic Poisson's ratio with Surfer® Grid Math
- Interpret downhole VSP and crosshole surveys
- Min. / max. sample rate of 1 microsecond / 1 second
- Max. 20,000 samples per trace
- Handle Surfer® grid files with up to 640,000 nodes, up to 1,280,000 nodes with Pro Annual Subscription license
- Flexible trace display and frequency filtering
- Automatic & interactive first break picking
- Automatic, interactive assignment of traces to refractors
- Import/export picks & geometry from/to ASCII files
- Uses multiple CPU cores, for fast back-projection of residuals along Fresnel volumes, with SIRT algorithm
- Pro Annual Subscription license for long lines recorded with marine/land streamer. Uses all installed RAM, up to 64 GB.

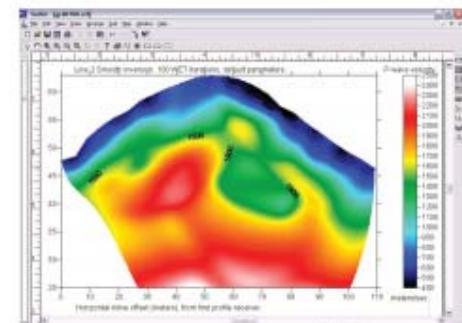
Copyright © 1996-2012 Intelligent Resources Inc. All rights reserved. Contact us at

Intelligent Resources Inc.  
142 - 757 West Hastings Street  
Vancouver B.C. V6C 1A1, Canada

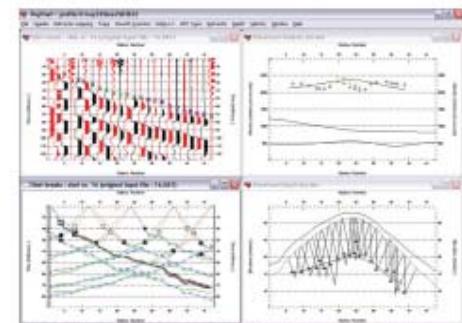
Phone 1 604 782-9845 Fax 1 604 408-8678  
E-mail [sales@rayfract.com](mailto:sales@rayfract.com) Web <http://rayfract.com>



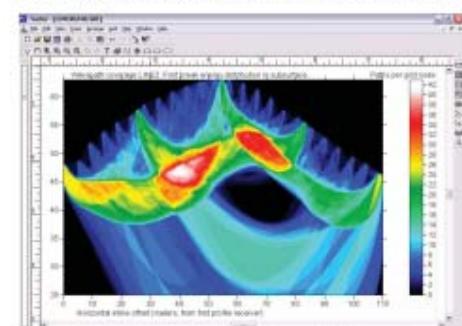
1D-gradient initial model : horizontally averaged DeltatV



Final WET inversion output, after 100 WET iterations



Conventional Wavefront interpretation. Note diving waves.



WET subsurface coverage with first break energy

Allegato 1. 8: Software Rayfract ver. 3.24 per tomografia sismica



Potente software per l'elaborazione di dati sismici perfetto anche per la valutazione della Vs30  
SWAN è il software per analisi ed interpretazione di dati di natura sismica.

- ☒ **MASW e SASW** (Multi-Channel Analysis of Surface Waves - Spectral Analysis of Surface Waves)
- ☒ **REMI** (REFraction Microtremors)

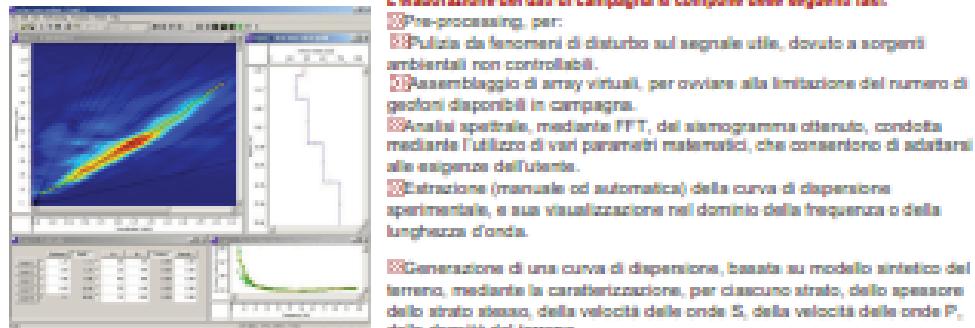
La metodologia **MASW e SASW** permette una dettagliata ricostruzione della distribuzione delle velocità di propagazione delle onde superficiali (S e P) nei primi metri del sottosuolo; mentre, la tecnica **REMI**, permette, a scopo di una minore accuratezza nei primi metri, di raggiungere profondità maggiori. Entrambe le metodologie di indagine sono molto convenienti sia sul lato economico sia sul tempo richiesto per effettuare le misure e le analisi.

**SWAN** si presta a diversi livelli di utilizzo, senza per questo compromettere la qualità dei risultati ottenuti. È un potente strumento sia per chi è interessato ad approfondire la conoscenza in materia sismica, sfruttando l'utilità dei vari strumenti messi a disposizione; sia per il professionista che si vuole limitare ad una semplice e veloce interpretazione dei dati di campagna raccolti.

Principali caratteristiche del software sono:

- ☒ Analisi di sezioni bidimensionali del terreno su dati raccolti mediante acquisizioni multiple, ottenute tramite la traslazione dell'array dei ricevitori.
- ☒ Interfaccia grafica studiata per rendere semplice l'uso degli strumenti disponibili, come:
  - ☒ Impostazione dei parametri che definiscono il modello sintetico per l'inversione del modello del terreno in modalità interattiva.
  - ☒ Picking dello spettro per l'estrazione della curva di dispersione.
  - ☒ Editing della curva di dispersione sperimentale.
- ☒ Algoritmi di calcolo completi, veloci ed efficienti:
  - ☒ calcolo spettro FK, FV, FX.
  - ☒ molteplici finestre di windowing (boxcar, hamming, hanning, blackman, ...).
  - ☒ parametrizzazione del modello sintetico del terreno fino a 30 strati.
  - ☒ controllo dei principali parametri dell'inversione (numero massimo delle iterazioni, tolleranza sui parametri, quantificazione del disturbo).
- ☒ Exportazione delle immagini nei più comuni formati grafici.
- ☒ Editing della curva di dispersione sperimentale.

L'elaborazione dei dati di campagna si compone delle seguenti fasi:

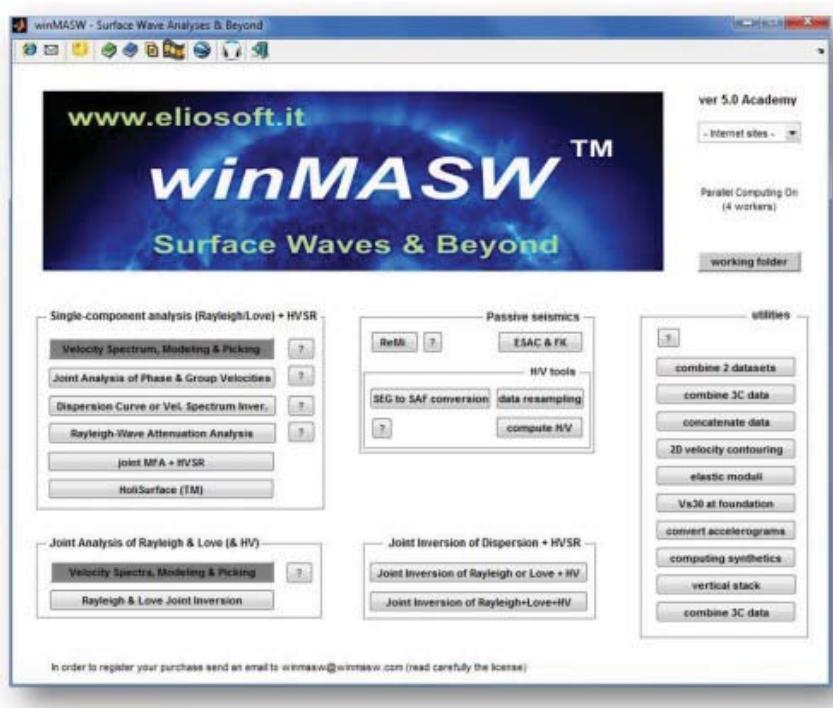


- ☒ Pre-processing, per:
  - ☒ Pulizia da fenomeni di disturbo sul segnale utile, dovuto a sorgenti ambientali non controllabili.
  - ☒ Assemblaggio di array virtuali, per ovviare alla limitazione del numero di geofoni disponibili in campagna.
  - ☒ Analisi spettrale, mediante FFT, del sismogramma ottenuto, condotta mediante l'utilizzo di vari parametri matematici, che consentono di adattarsi alle esigenze dell'utente.
  - ☒ Estrazione (manuale ed automatica) della curva di dispersione sperimentale, e sua visualizzazione nel dominio della frequenza o della lunghezza d'onda.
- ☒ Generazione di una curva di dispersione, basata su modello sintetico del terreno, mediante la caratterizzazione, per ciascuno strato, dello spessore dello strato stesso, della velocità delle onde S, della velocità delle onde P, della densità del terreno.
- ☒ Inversione del modello sintetico in modalità interattiva o automatica (inversione basata sulle velocità delle onde S o sugli spessori degli strati).
- ☒ A seguito della interpretazione eseguita viene fornito anche il valore della Vs30 del sito, consentendone la classificazione secondo le normative tecniche, attualmente in corso, in materia di progettazione antisismica.

#### Allegato 1. 9: Software Swan per tecnica MASW e REMI



Software per la determinazione di spettri di velocità di fase (MASW, ReMi, ESAC e FK) e gruppo (MFA), la modellazione e l'inversione (anche multimodale) delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e Love (anche congiuntamente), l'analisi delle curve di attenuazione delle onde di Rayleigh per la stima dei fattori di qualità Q, la stima del periodo proprio di sito da equazione della risonanza e determinazione e modellazione del rapporto spettrale H/V.



Il software winMASW consente di analizzare dati sismici per ricavare il profilo verticale della  $V_s$  (velocità delle onde di taglio) secondo i seguenti metodi:

- Analisi MASW (onde di Rayleigh & Love, anche congiuntamente)
- Analisi ReMi
- Analisi ESAC e FK
- HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) (si raccomanda la loro analisi congiuntamente ad analisi di dispersione)
- Modellazione 1D tempi onde rifratte
- Interfaccia grafica per la suite del Prof. Herrmann per la generazione di sismogrammi sintetici e conseguentemente: inversione degli spettri di velocità *full waveform* senza necessità di *picking* o interpretazione dei modi
- Analisi attenuazione onde di Rayleigh per stima fattori di qualità  $Q_s$
- Interfaccia grafica per la generazione di sismogrammi sintetici (open-source codes del Prof. Herrmann)

Allegato 1. 10: Software WinMASW Academy 6.0 per tecnica MASW-REMI-ESAC e fattore di qualità

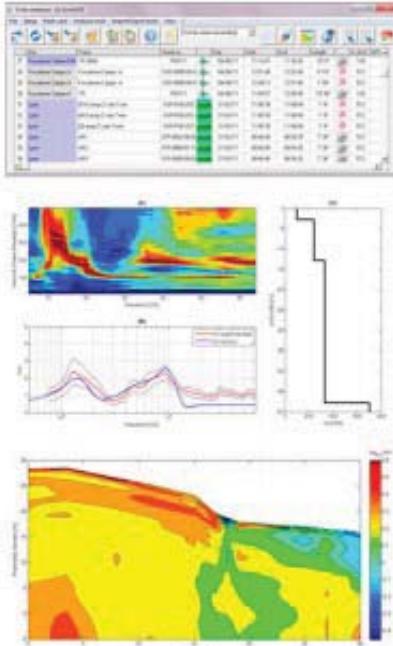
ITA / ENG

# micromed

## GEOPHYSICS

**I nostri Prodotti**

- » Sismica e vibrazioni
- » Geoelettrica
- » Software
  - > Grilla
  - Tromino® Manager



**GRILLA**

Grilla è il software per lo scaricamento dei dati di TROMINO® e SoilSpy Rosina, per la loro archiviazione in un database e la loro analisi.

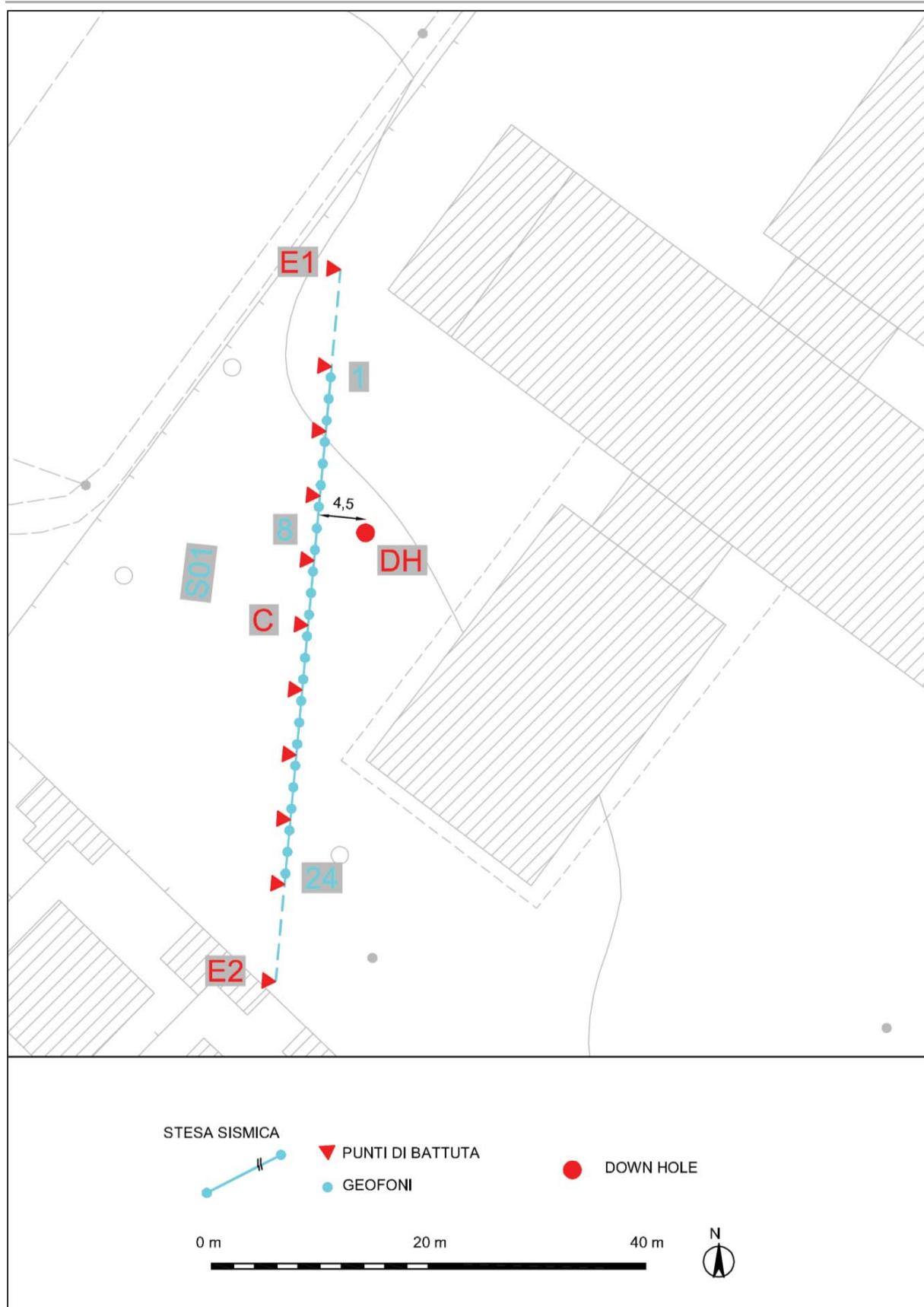
Grilla è articolato in moduli che consentano di effettuare:

- Analisi spettrali (nel tempo, nello spazio, direzionalità)
- Analisi H/V secondo linee guida internazionali e nazionali
- Fit vincolato della curva H/V per ottenere profili di Vs e classificazione sismica di sito
- Analisi multicanale di onde di superficie, sia Rayleigh che Love (SASW, MASW, ReMiTM, ESAC, SPAC, altre correlazioni spaziali)
- Fit delle curve di dispersione delle onde di superficie per profili di Vs e classificazione sismica di sito
- Fit congiunto delle curve H/V e di dispersione delle onde di superficie
- Analisi vibrazionali secondo UNI 9916, DIN 4150
- Piccola analisi modale delle strutture (frequenze dei modi di vibrare, deformate)

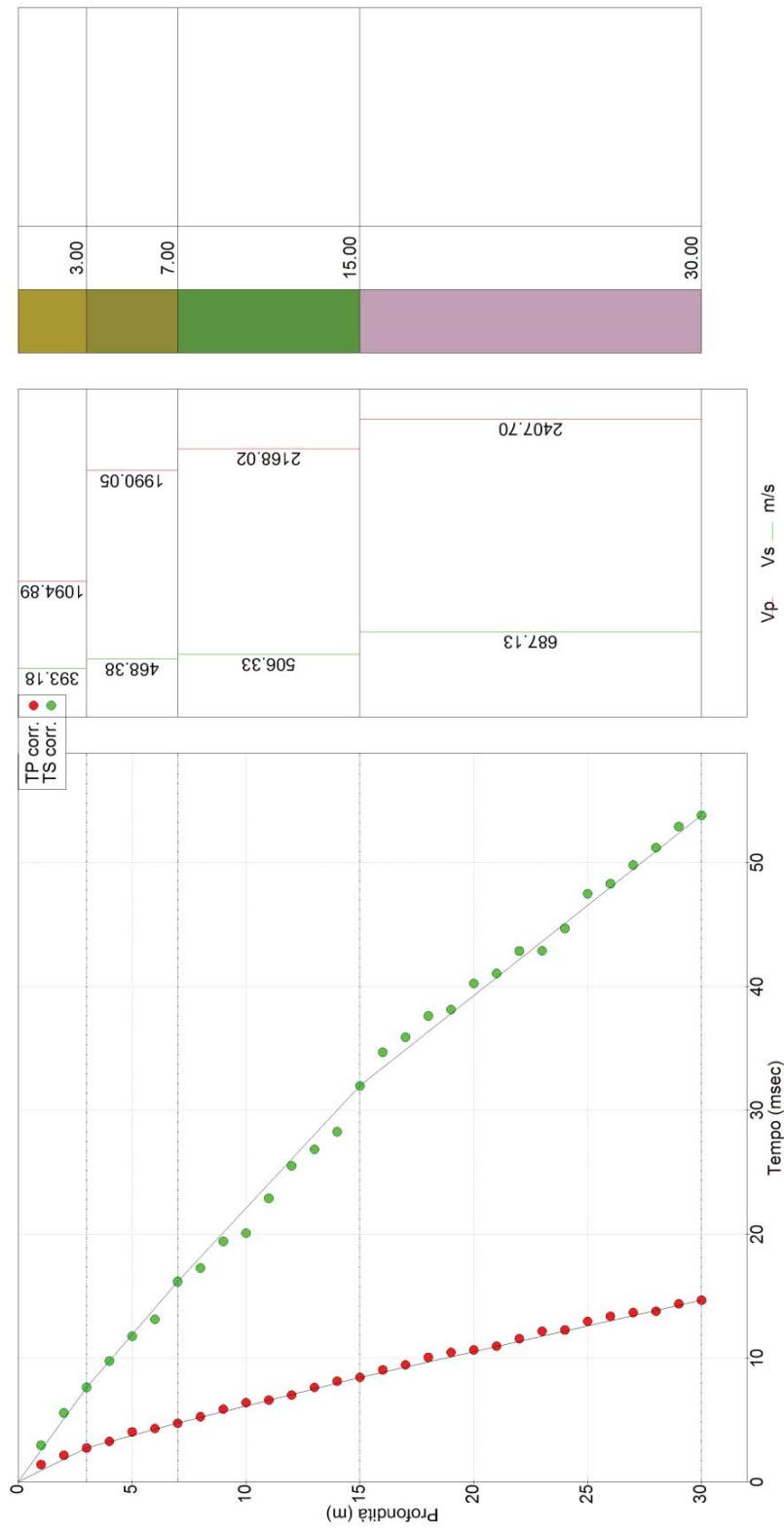
Grilla viene aggiornato costantemente seguendo lo stato dell'arte pubblicato sulle più accreditate riviste geofisiche peer-reviewed internazionali.

Grilla produce report automatici completi di immagini per le diverse analisi e permette l'importazione nel database e l'analisi anche di registrazioni di strumenti non proprietari.

**I. ALLEGATO GRAFICO: INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO DI  
DETTAGLIO DELLE INDAGINI**



**II. ALLEGATO GRAFICO: INDAGINE SISMICA IN FORO – DROMOCRONE  
ONDE PES E RISULTATI**



SISMOSTRATO	Profondità [m]	$V_p$ medio [m/s]	$V_s$ medio [m/s]	$g$ medio [kN/mc]	$\eta$ medio	$G$ medio [MPa]	$E_d$ medio [MPa]	$E$ medio [MPa]	$E_v$ medio [MPa]
I	3	1094.89	393.18	21.36	0.43	336.75	2611.27	960.38	2162.27
II	7	1990.05	468.38	21.67	0.47	484.76	8750.89	1425.86	8104.54
III	15	2168.02	506.33	21.4	0.47	559.53	10258.59	1646.32	9512.55
IV	30	2407.7	687.13	21.94	0.46	1056.47	12971.46	3075.74	11562.84

**III. ALLEGATO GRAFICO: STESA SISMICA S01 - TOMOGRAFIE ONDE P-  
ANALISI MASW ZVF – SISMOGRAMMA – SPETTRO E CURVA  
DISPERSSIONE – RISULTATO MODELLO – PROFILO Vs**

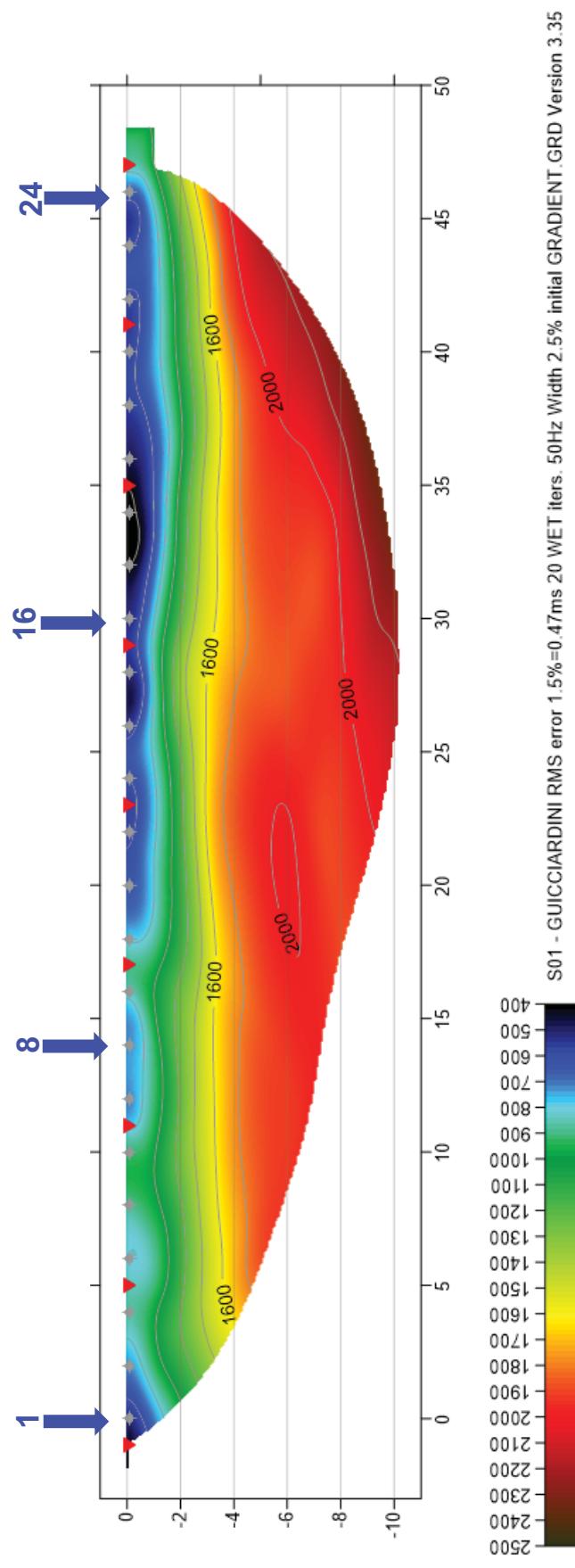


Fig. III-1: Stesa sismica S01 ONDE P - Tomografia sismica

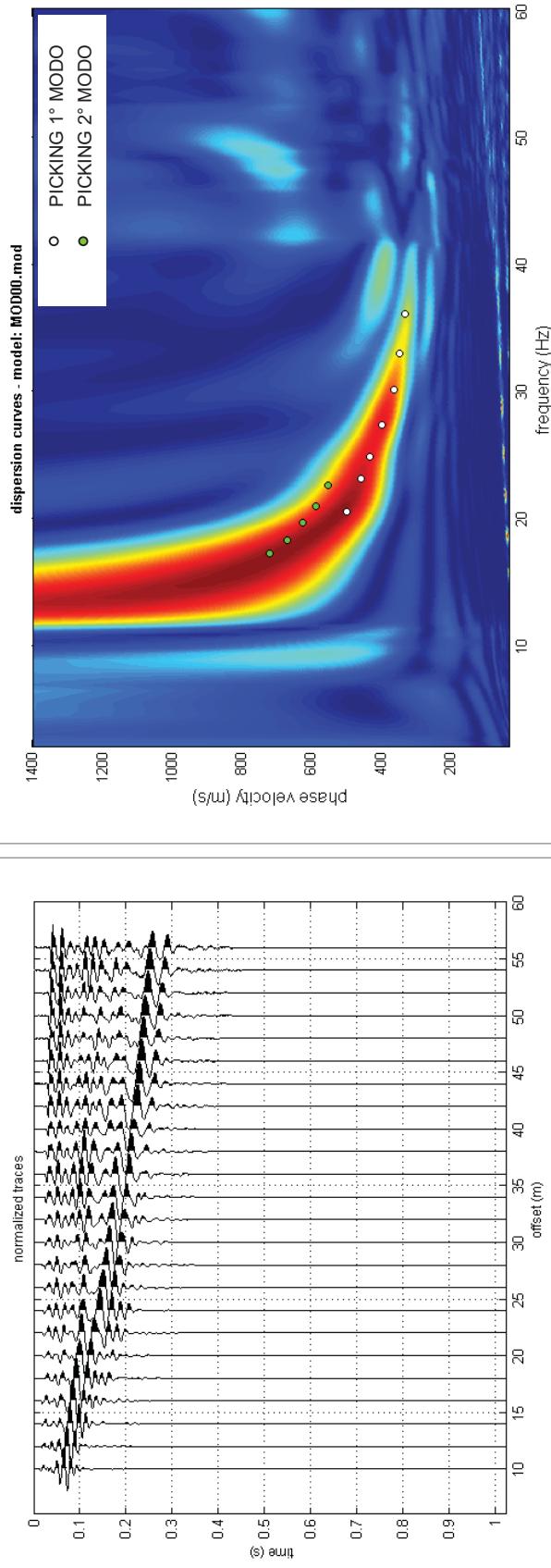


Fig. III-2: Analisi MASW CONGIUNTA S01 ZVF – Sismogrammi (sinistra) - Spettri di velocità con picking

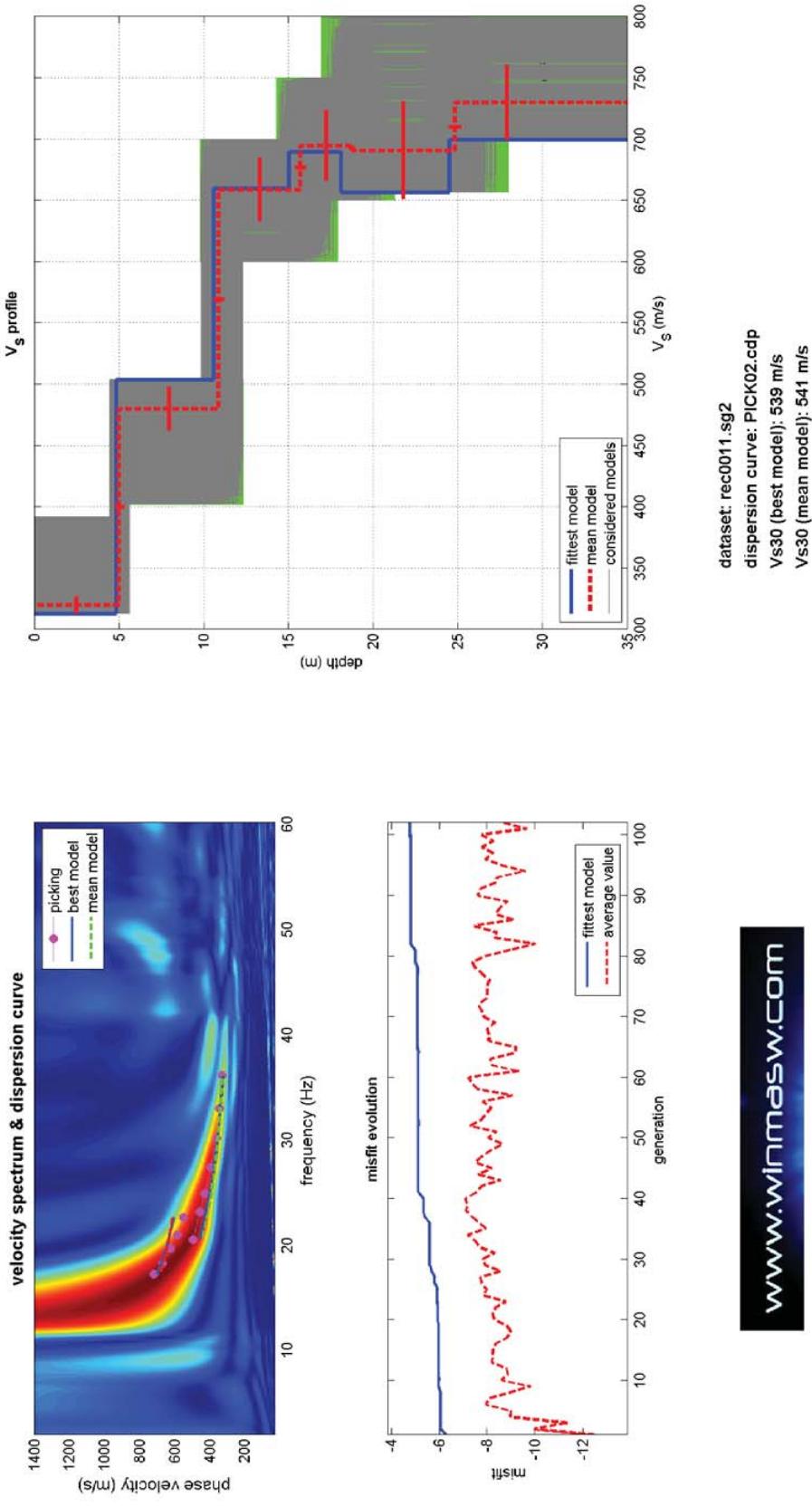


Fig. III-3: Analisi MASW S01 CONGIUNTA ZVF – Risultati dei modelli di velocità V<sub>s</sub>

PROF. (m)	SPESSORE (m)	$V_{sv}$ (m/s)	$V_p$ (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v$
5.03	5.03	320	986	2040	0.44
10.88	5.85	480	1645	2040	0.45
15.74	4.86	659	2093	2110	0.44
18.75	3.01	695	2174	2180	0.44
-	-	691	2113	2120	0.44
<b><math>V_{s30}</math></b>		<b>541</b>			

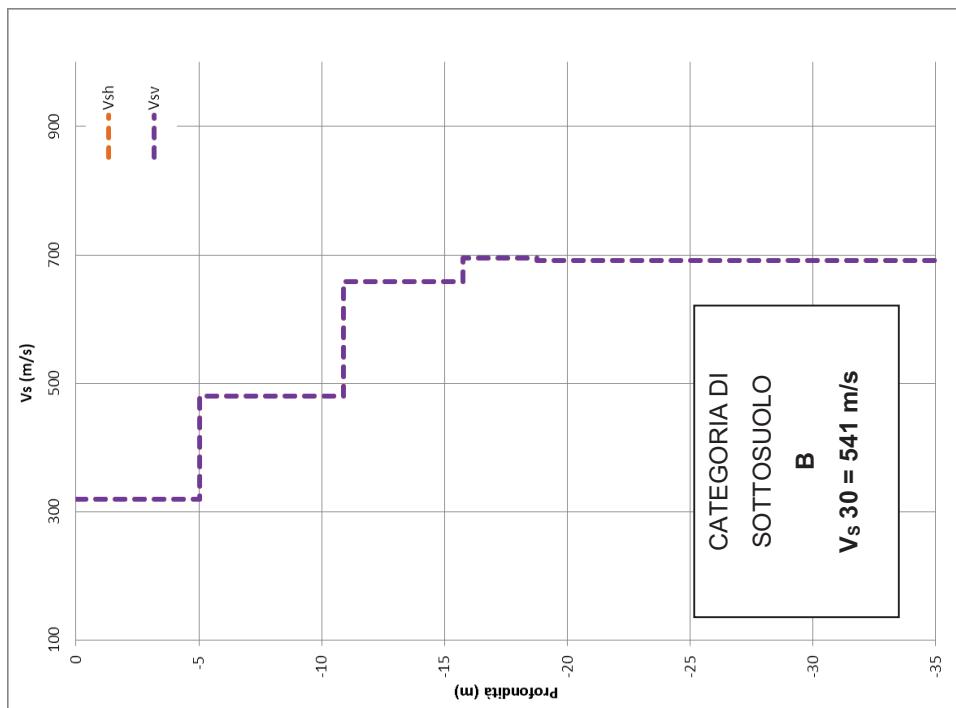


Fig. III-4: Analisi MASW S01 ZVF - Stratigrafia e profili di velocità (Mean Model)

**IV. ALLEGATO FOTOGRAFICO**



Foto 1: Stesa sismica S01



Foto 4: Down hole