

PUC OTTATI

PIANO
URBANISTICO
COMUNALE



COMUNE DI OTTATI
PROVINCIA DI SALERNO
REGIONE CAMPANIA

PIANO DEFINITIVO

*ai sensi della L.R 16/2004 e s.m.i. e del
Regolamento di attuazione per il governo
del territorio n. 5/2011*

Sindaco

dott. Elio Guadagno

Responsabile del Procedimento

geom. Sabato Cupo

Ufficio di Piano

Progettisti - P.U.C. - R.U.E.C. - V.A.S.

pian. terr. Francesco Abbamonte

arch. ing. Mario Luca Capasso

ing. Rosario Antonini

Collaboratore

pian. terr. Roberto Musumeci

Studio agronomico

dott. agr. Luigi Pugliese

Studio geologico e zonizzazione acustica

dott. geol. Rocco Tasso

TAV: GEO 02 - Indagini geologiche

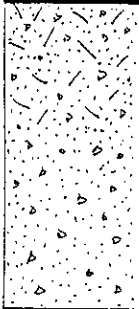

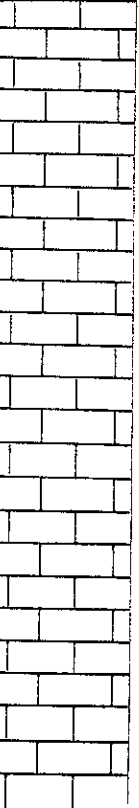


rev. 01 | marzo 2025

scala 1:5.000

SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

comune: **OTTATI (SA)**
 loc. p.zza umberto I
 sondaggio meccanico

litologia	profondità in metri	S ₂	H ₂ O	CAMPIONE
- Terreno di riporto.	1 2 3 4 5 6			
- Breccie di natura calcarea in matrice limo-argillosa.	7 8 9 10 11 12 13 14			
- Calcareniti.	15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30			

comune: **OTTATI (SA)**
 loc. cardoneto
 sondaggio meccanico

litologia	profondità in metri	S ₃	H ₂ O	CAMPIONE
- Humus.	1			
- Argilla satura molto compatta di colore marrone.	2			S ₃ C1
	3			S ₃ C2
	4			
	5			S ₃ C3
- Argilla molto compatta leggermente umida.	6			S ₃ C4
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
- Argilla limosa di colore marrone.	17			
	18			
- Argilla molto compatta leggermente umida.	19			
	20			
	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			

comune: **OTTATI (SA)**
loc. madonna delle grazie
sondaggio meccanico

litologia	profondità in metri	S ₄	H ₂ O	CAMPIONE
- Detriti e brecce calcaree in matrice limosa sciolte.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10			
- Detriti in matrice calcarea.	11			
- Argilla limo-sabbiosa con inclusi di natura calcare- nitica.	12 13 14			
- Calcareniti.	15			
- Detriti in matrice sabbiosa.	16 17			
- Argilla limosa blu compatta	18			
- Calcareniti.	19 20 21			
- Argilla limosa blu compatta.	22 23			
- Detriti in matrice limo- argillosa.	24 25 26 27 28 29 30			

comune: **OTTATI (SA)**
 loc. chiesa s. biagio
 sondaggio meccanico

litologia	profondità in metri	S ₅	H ₂ O	CAMPIONE
- Terreno di riporto.	1			
	2			
- Breccie calcaree in matrice limo-sabbiosa di natura calcarea.	3			
	4			
	5			
	6			
- Argilla limo-sabbiosa molto addensata.	7			
	8			
- Sabbia molto addensata.	9			
- Calcareniti.	10			
	11			
- Calcareniti in matrice limo-argillosa scura. La percentuale limo-argillosa diminuisce con la profondità.	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
- Argilla limosa blu compatta.	19			
	20			
	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			

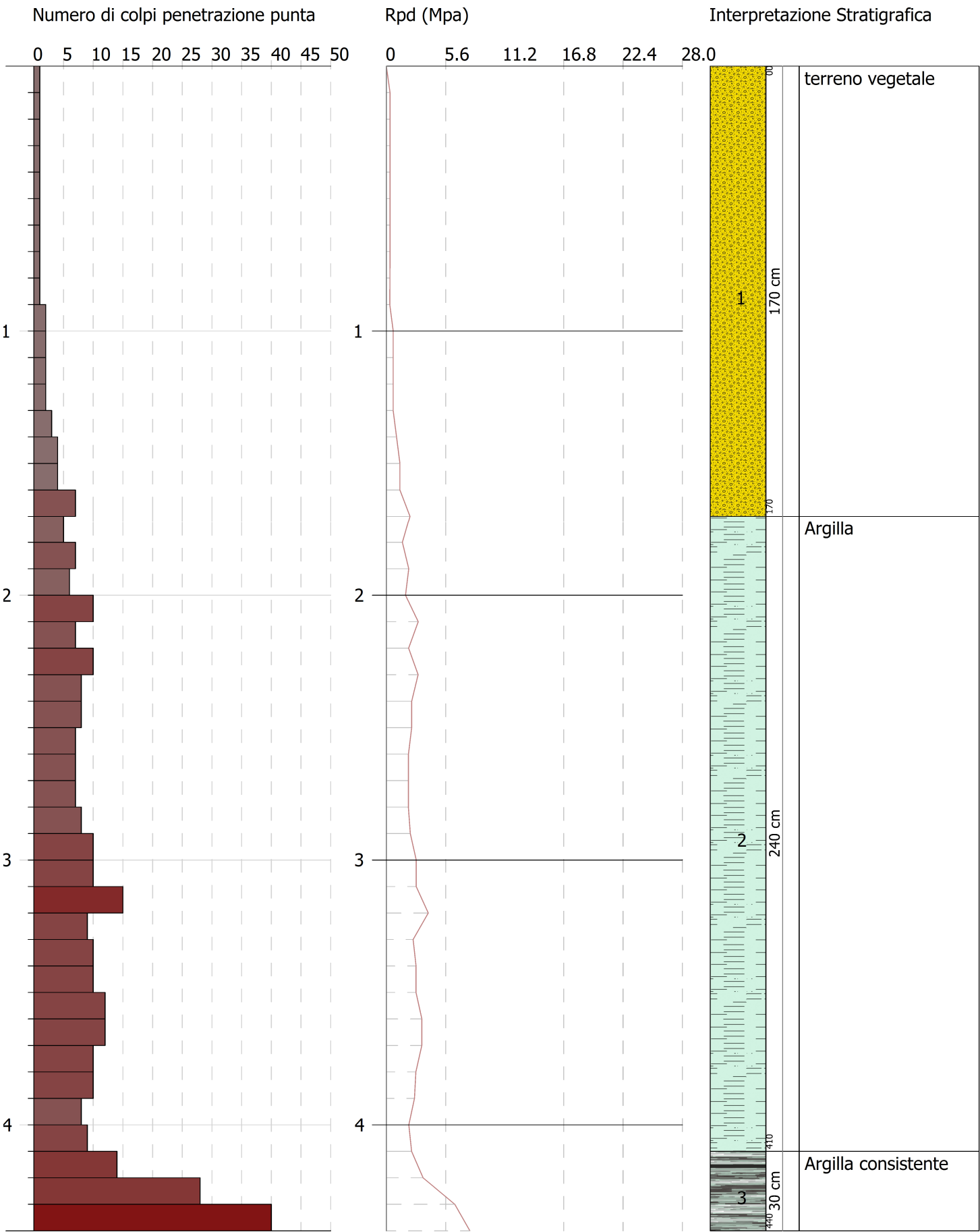
PENETROMETRICHE

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA 1 (P2)
Strumento utilizzato... DL-30 (60°)

Committente: Comune di Ottati
Descrizione: Indagini geognostiche piano di recupero
Località: Cardoneto

02-05-1989

Scala 1:21



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA 1 (P2)

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato (1) terreno vegetale	1.00	0.00-1.70	Terzaghi-Peck	6.08
Strato (2) Argilla	7.00	1.70-4.10	Terzaghi-Peck	42.95
Strato (3) Argilla consistente	21.00	4.10-4.40	Terzaghi-Peck	139.06

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato (1) terreno vegetale	1.00	0.00-1.70	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	1.18
Strato (2) Argilla	7.00	1.70-4.10	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	7.18
Strato (3) Argilla consistente	21.00	4.10-4.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	21.18

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Mpa)
Strato (1) terreno vegetale	1.00	0.00-1.70	Apollonia	0.98
Strato (2) Argilla	7.00	1.70-4.10	Apollonia	6.86
Strato (3) Argilla consistente	21.00	4.10-4.40	Apollonia	20.59

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	1.00	0.00-1.70	A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato (2) Argilla	7.00	1.70-4.10	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (3) Argilla consistente	21.00	4.10-4.40	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato (1)	1.00	0.00-1.70	Meyerhof	14.51

terreno vegetale				
Strato (2) Argilla	7.00	1.70-4.10	Meyerhof	18.24
Strato (3) Argilla consistente	21.00	4.10-4.40	Meyerhof	20.59

Peso unità di volume saturo

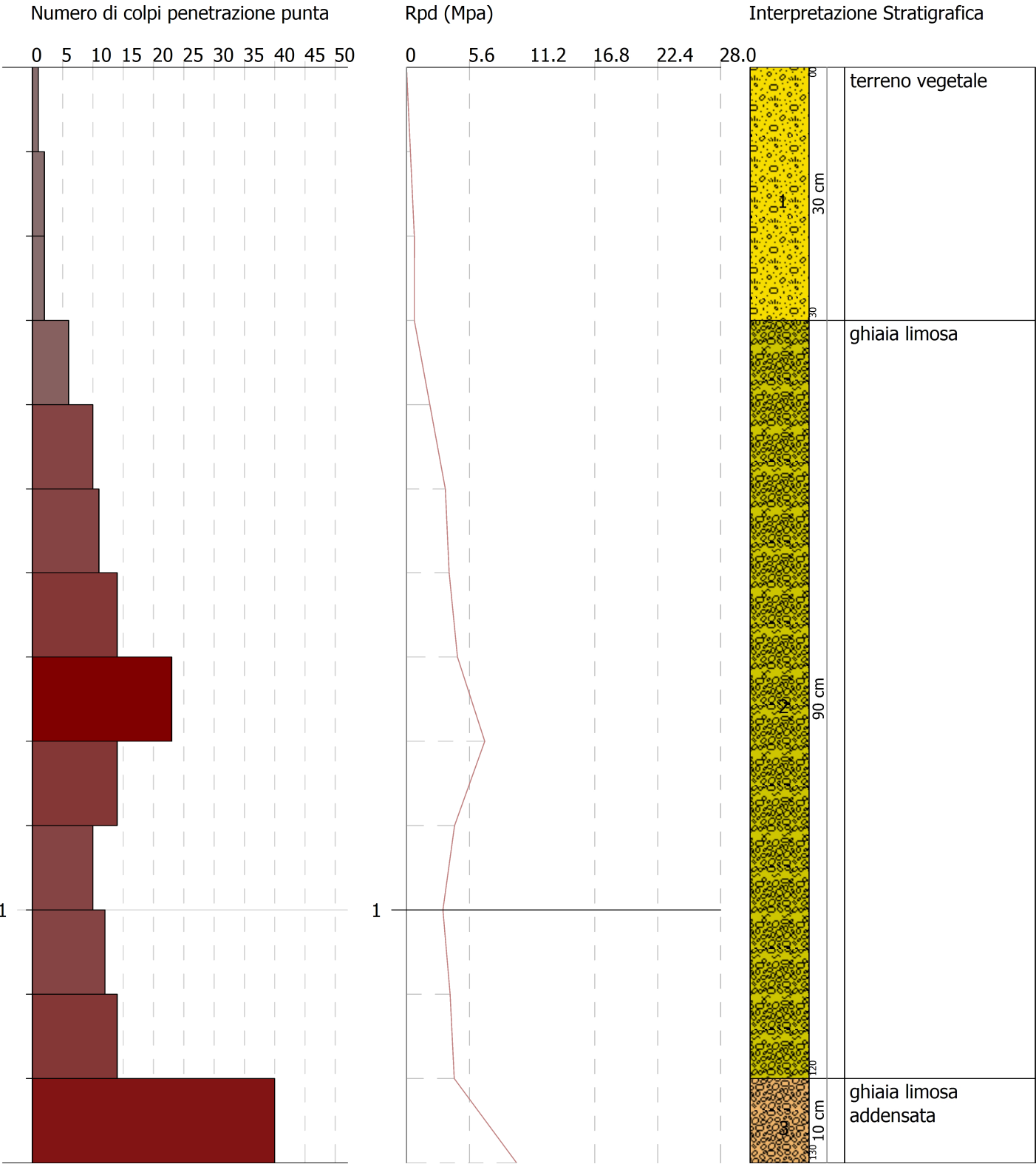
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)	
Strato (1) terreno vegetale	1.00	0.00-1.70	Meyerhof	18.04	
Strato (2) Argilla	7.00	1.70-4.10	Meyerhof	18.63	
Strato (3) Argilla consistente	21.00	4.10-4.40	Meyerhof	20.79	

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA 2 (P4)
Strumento utilizzato... DL-30 (60°)

Committente: Comune di Ottati
Descrizione: Indagini Piano di recupero
Località: Madonna delle Grazie

02-05-1989

Scala 1:7



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA 2 (P4)

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) terreno vegetale	1.31	0.00-0.30	1.31	Meyerhof 1957	28.73
Strato (2) ghiaia limosa	9.92	0.30-1.20	9.92	Meyerhof 1957	79.05
Strato (3) ghiaia limosa addensata	31.32	1.20-1.30	31.32	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) terreno vegetale	1.31	0.00-0.30	1.31	Meyerhof (1956)	15.37
Strato (2) ghiaia limosa	9.92	0.30-1.20	N1,60=0	Schmertmann (1977) Ghiaie	41.54
Strato (3) ghiaia limosa addensata	31.32	1.20-1.30	N1,60=0	Schmertmann (1977) Ghiaie	44.5

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) terreno vegetale	1.31	0.00-0.30	1.31	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) ghiaia limosa	9.92	0.30-1.20	9.92	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (3) ghiaia limosa addensata	31.32	1.20-1.30	31.32	Bowles (1982) Sabbia Media	22.71

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) terreno vegetale	1.31	0.00-0.30	1.31	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	2.96
Strato (2) ghiaia limosa	9.92	0.30-1.20	9.92	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	4.69
Strato (3) ghiaia limosa	31.32	1.20-1.30	31.32	Begemann 1974 (Ghiaia con	9.00

addensata				sabbia)	
-----------	--	--	--	---------	--

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) terreno vegetale	1.31	0.00-0.30	1.31	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2) ghiaia limosa	9.92	0.30-1.20	9.92	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3) ghiaia limosa addensata	31.32	1.20-1.30	31.32	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) terreno vegetale	1.31	0.00-0.30	1.31	Terzaghi-Peck 1948	13.35
Strato (2) ghiaia limosa	9.92	0.30-1.20	9.92	Terzaghi-Peck 1948	14.48
Strato (3) ghiaia limosa addensata	31.32	1.20-1.30	31.32	Terzaghi-Peck 1948	16.77

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) terreno vegetale	1.31	0.00-0.30	1.31	Terzaghi-Peck 1948	18.12
Strato (2) ghiaia limosa	9.92	0.30-1.20	9.92	Terzaghi-Peck 1948	18.82
Strato (3) ghiaia limosa addensata	31.32	1.20-1.30	31.32	Terzaghi-Peck 1948	20.24

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) terreno vegetale	1.31	0.00-0.30	1.31	(A.G.I.)	0.35
Strato (2) ghiaia limosa	9.92	0.30-1.20	9.92	(A.G.I.)	0.33
Strato (3) ghiaia limosa addensata	31.32	1.20-1.30	31.32	(A.G.I.)	0.29

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Mpa)
Strato (1) terreno vegetale	1.31	0.00-0.30	1.31	Ohsaki (Sabbie pulite)	8.22

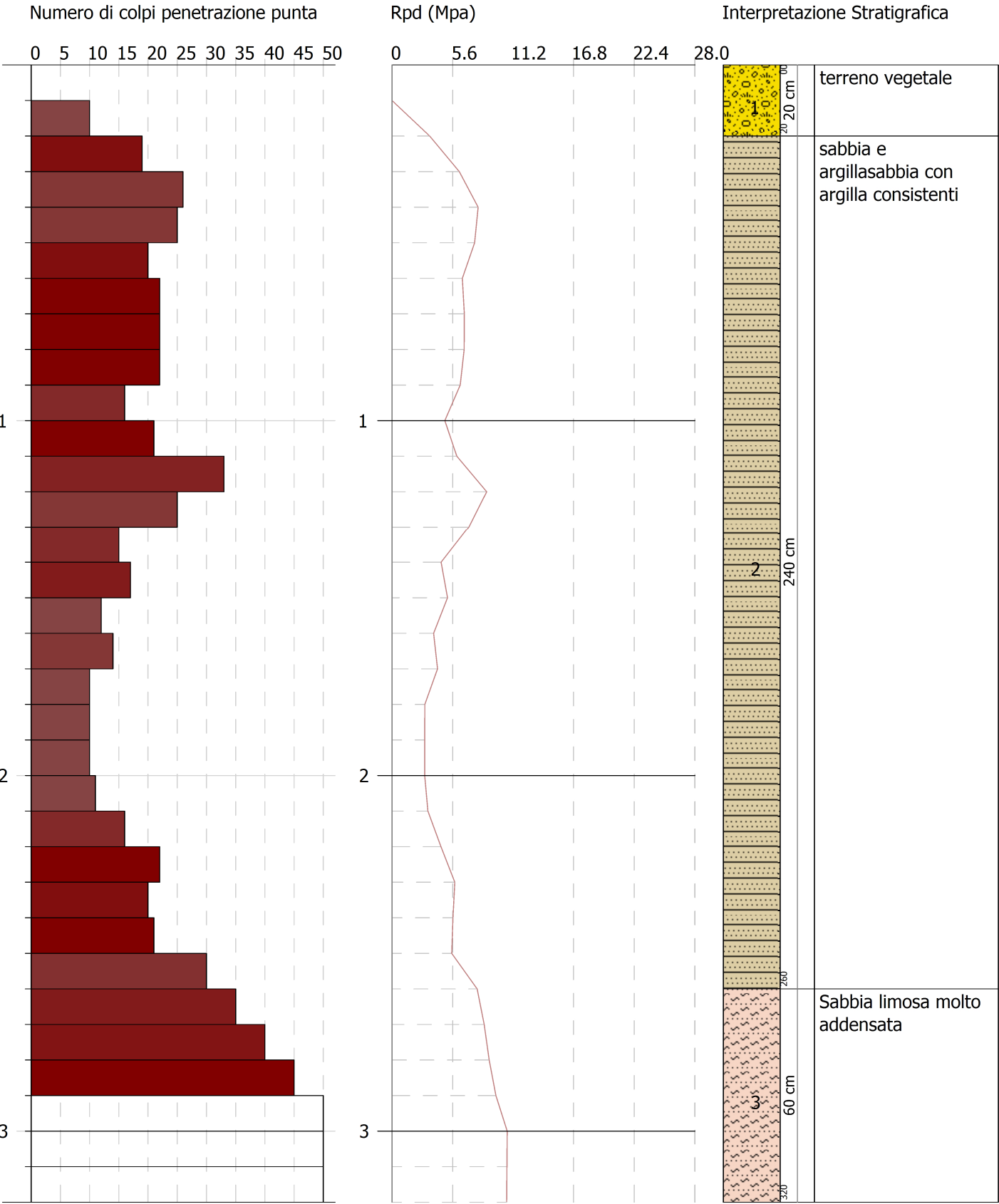
Strato (2) ghiaia limosa	9.92	0.30-1.20	9.92	Ohsaki (Sabbie pulite)	55.10
Strato (3) ghiaia limosa addensata	31.32	1.20-1.30	31.32	Ohsaki (Sabbie pulite)	162.37

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA 3 (P6)
Strumento utilizzato... DL-30 (60°)

Committente: Comune di Ottati
Descrizione: Indagini Piano di recupero
Località: Convento Cappuccini

02-05-1989

Scala 1:16



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA 3 (P6)

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (KPa)
Strato (1) terreno vegetale	3.91	0.00-0.20	Sanglerat	25.5
Strato (2) sabbia e argillasabbia con argilla consistenti	14.97	0.20-2.60	Sanglerat	97.67

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Mpa)
Strato (1) terreno vegetale	3.91	0.00-0.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	4.09
Strato (2) sabbia e argillasabbia con argilla consistenti	14.97	0.20-2.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	15.15

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Mpa)
Strato (1) terreno vegetale	3.91	0.00-0.20	Apollonia	3.83
Strato (2) sabbia e argillasabbia con argilla consistenti	14.97	0.20-2.60	Apollonia	14.68

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	3.91	0.00-0.20	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) sabbia e argillasabbia con argilla consistenti	14.97	0.20-2.60	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)
Strato (1) terreno vegetale	3.91	0.00-0.20	Meyerhof	16.57
Strato (2)	14.97	0.20-2.60	Meyerhof	20.30

sabbia e argillasabbia con argilla consistenti				
--	--	--	--	--

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	
Strato (1) terreno vegetale	3.91	0.00-0.20	Meyerhof	18.34	
Strato (2) sabbia e argillasabbia con argilla consistenti	14.97	0.20-2.60	Meyerhof	22.36	

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) Sabbia limosa molto addensata	35.24	2.60-3.20	35.24	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) Sabbia limosa molto addensata	35.24	2.60-3.20	35.24	Shioi-Fukuni (1982)	37.99

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (3) Sabbia limosa molto addensata	35.24	2.60-3.20	35.24	Bowles (1982) Sabbia Media	24.63

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (3) Sabbia limosa molto addensata	35.24	2.60-3.20	35.24	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	9.79

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) Sabbia limosa molto addensata	35.24	2.60-3.20	35.24	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m ³)
Strato (3) Sabbia limosa molto addensata	35.24	2.60-3.20	35.24	Terzaghi-Peck 1948	17.11

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m ³)
Strato (3) Sabbia limosa molto addensata	35.24	2.60-3.20	35.24	Terzaghi-Peck 1948	20.45

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) Sabbia limosa molto addensata	35.24	2.60-3.20	35.24	(A.G.I.)	0.28

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Mpa)
Strato (3) Sabbia limosa molto addensata	35.24	2.60-3.20	35.24	Ohsaki (Sabbie pulite)	181.40

Velocità onde di taglio

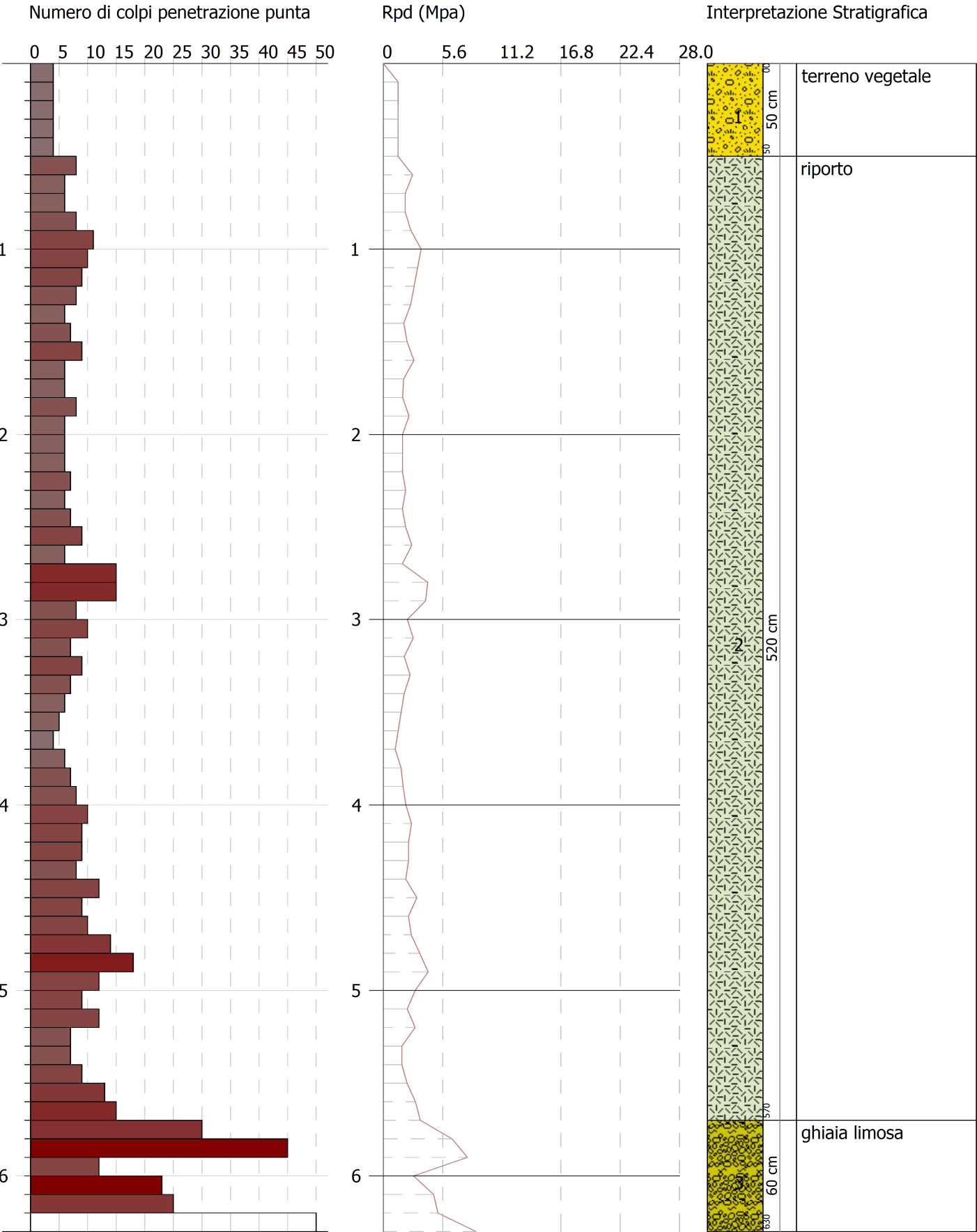
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (3) Sabbia limosa molto addensata	35.24	2.60-3.20	35.24	Ohta & Goto (1978) Limi	155.6

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA 4 (P11)
Strumento utilizzato... DL-30 (60°)

Committente: Comune di Ottati
Descrizione: Indagini Piano di recupero
Località: Piazza Umberto I

02-05-1989

Scala 1:30



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA 4 (P11)

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) terreno vegetale	3.00	0.00-0.50	3.00	Meyerhof 1957	43.47
Strato (2) riporto	6.00	0.50-5.70	6.00	Meyerhof 1957	61.48
Strato (3) ghiaia limosa	24.00	5.70-6.30	24.00	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) terreno vegetale	3.00	0.00-0.50	3	Meyerhof (1956)	15.86
Strato (2) riporto	6.00	0.50-5.70	6	Meyerhof (1956)	16.71
Strato (3) ghiaia limosa	24.00	5.70-6.30	N1,60=0	Schmertmann (1977) Ghiaie	46.0

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) terreno vegetale	3.00	0.00-0.50	3.00	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) riporto	6.00	0.50-5.70	6.00	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (3) ghiaia limosa	24.00	5.70-6.30	24.00	Bowles (1982) Sabbia Media	19.12

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) terreno vegetale	3.00	0.00-0.50	3.00	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	3.30
Strato (2) riporto	6.00	0.50-5.70	6.00	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	3.90
Strato (3) ghiaia limosa	24.00	5.70-6.30	24.00	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	7.53

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) terreno vegetale	3.00	0.00-0.50	3.00	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2) riporto	6.00	0.50-5.70	6.00	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3) ghiaia limosa	24.00	5.70-6.30	24.00	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) terreno vegetale	3.00	0.00-0.50	3.00	Terzaghi-Peck 1948	13.58
Strato (2) riporto	6.00	0.50-5.70	6.00	Terzaghi-Peck 1948	13.98
Strato (3) ghiaia limosa	24.00	5.70-6.30	24.00	Terzaghi-Peck 1948	16.07

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) terreno vegetale	3.00	0.00-0.50	3.00	Terzaghi-Peck 1948	18.27
Strato (2) riporto	6.00	0.50-5.70	6.00	Terzaghi-Peck 1948	18.51
Strato (3) ghiaia limosa	24.00	5.70-6.30	24.00	Terzaghi-Peck 1948	19.80

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) terreno vegetale	3.00	0.00-0.50	3.00	(A.G.I.)	0.35
Strato (2) riporto	6.00	0.50-5.70	6.00	(A.G.I.)	0.34
Strato (3) ghiaia limosa	24.00	5.70-6.30	24.00	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico

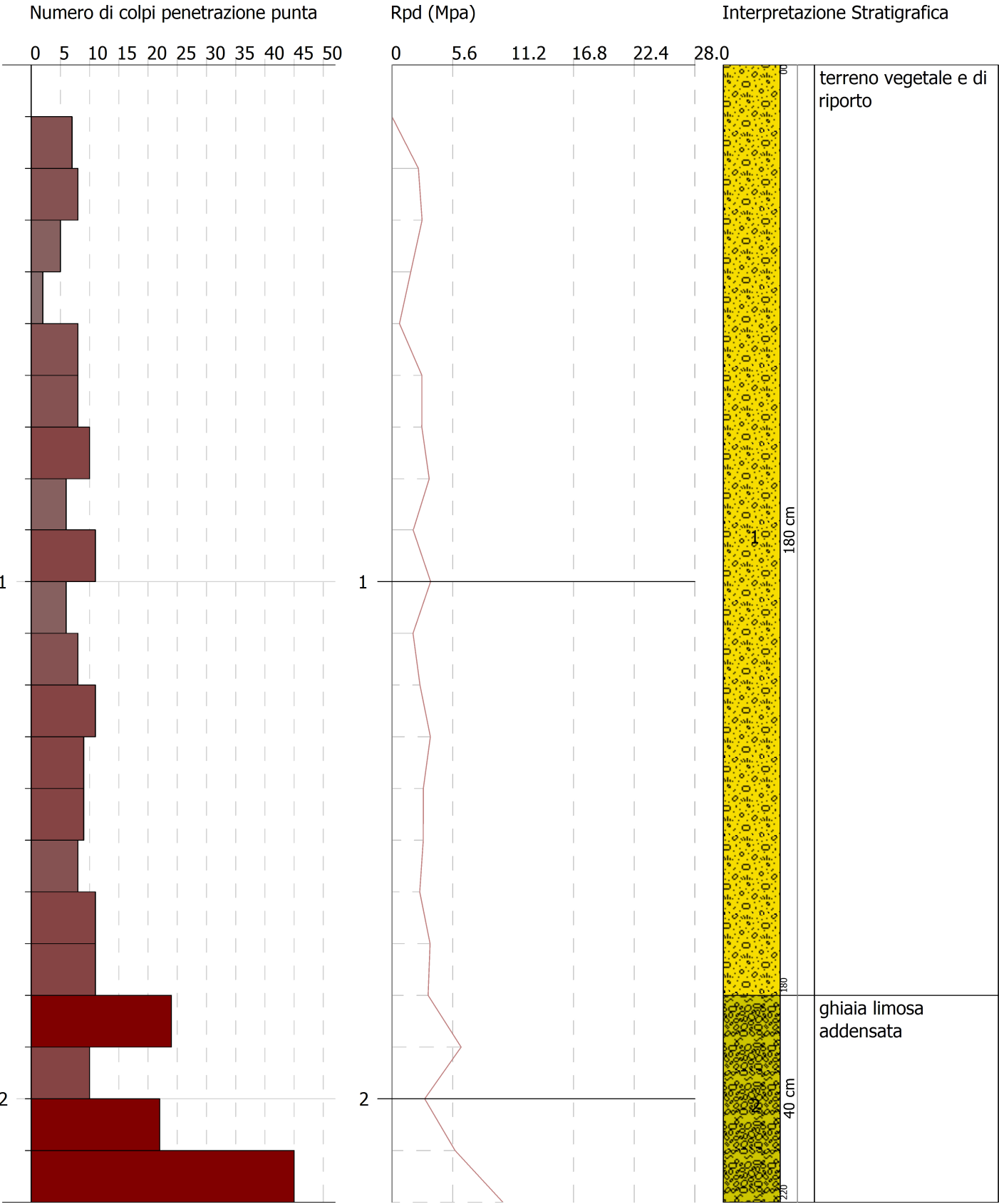
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Mpa)
Strato (1) terreno vegetale	3.00	0.00-0.50	3.00	Ohsaki (Sabbie pulite)	17.90
Strato (2) riporto	6.00	0.50-5.70	6.00	Ohsaki (Sabbie pulite)	34.35
Strato (3) ghiaia limosa	24.00	5.70-6.30	24.00	Ohsaki (Sabbie pulite)	126.43

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA 5 (P14)
Strumento utilizzato... DL-30 (60°)

Committente: Comune di Ottati
Descrizione: Indagini Piano di recupero
Località: Municipio

02-05-1989

Scala 1:11



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA 5 (P14)

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) terreno vegetale e di riporto	6.00	0.00-1.80	6.00	Meyerhof 1957	61.48
Strato (2) ghiaia limosa addensata	19.00	1.80-2.20	19.00	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) terreno vegetale e di riporto	6.00	0.00-1.80	6	Meyerhof (1956)	16.71
Strato (2) ghiaia limosa addensata	19.00	1.80-2.20	19	Japanese National Railway	32.7

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) terreno vegetale e di riporto	6.00	0.00-1.80	6.00	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) ghiaia limosa addensata	19.00	1.80-2.20	19.00	Bowles (1982) Sabbia Media	16.67

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) terreno vegetale e di riporto	6.00	0.00-1.80	6.00	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	3.90
Strato (2) ghiaia limosa addensata	19.00	1.80-2.20	19.00	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	6.52

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) terreno vegetale e di riporto	6.00	0.00-1.80	6.00	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2) ghiaia limosa addensata	19.00	1.80-2.20	19.00	Classificazione A.G.I	MODERATAM ENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) terreno vegetale e di riporto	6.00	0.00-1.80	6.00	Terzaghi-Peck 1948	13.98
Strato (2) ghiaia limosa addensata	19.00	1.80-2.20	19.00	Terzaghi-Peck 1948	15.54

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) terreno vegetale e di riporto	6.00	0.00-1.80	6.00	Terzaghi-Peck 1948	18.51
Strato (2) ghiaia limosa addensata	19.00	1.80-2.20	19.00	Terzaghi-Peck 1948	19.48

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) terreno vegetale e di riporto	6.00	0.00-1.80	6.00	(A.G.I.)	0.34
Strato (2) ghiaia limosa addensata	19.00	1.80-2.20	19.00	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

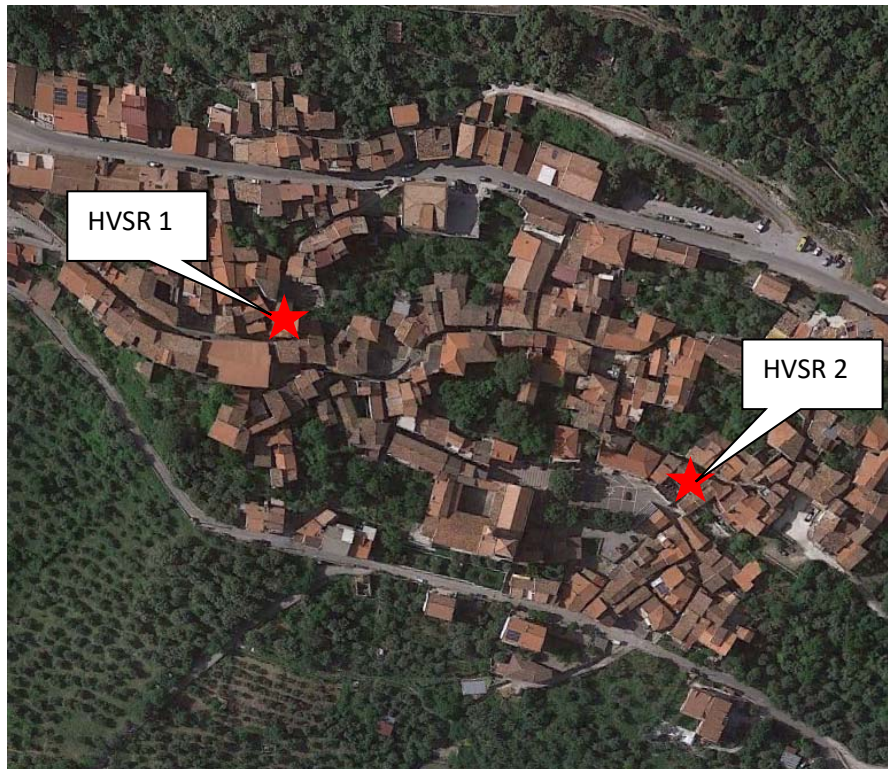
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Mpa)
Strato (1) terreno vegetale e di riporto	6.00	0.00-1.80	6.00	Ohsaki (Sabbie pulite)	34.35
Strato (2) ghiaia limosa addensata	19.00	1.80-2.20	19.00	Ohsaki (Sabbie pulite)	101.50

INDAGINI GEOFISICHE- HVSR

COMUNE DI OTTATI



INDAGINE GEOFISICA TECNICA PASSIVA HVSr



Il Tecnico
Geol. Rocco Tasso

HVSR: MISURA DEL MICROTREMORE SISMICO

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità della formazione rocciosa compatta (bedrock geofisico).

Con tale metodo viene stimata la velocità di propagazione delle onde di taglio (V_{s30}) e della frequenza fondamentale del sito di indagine come esplicitamente richiesto dalle N.T.C. del 17 gennaio 2018.

L'indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

I parametri che si possono stimare con tale tecnica sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio
- la velocità media delle onde di taglio V_s
- la sismostratigrafia del sottosuolo

Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso. Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori.

La forma di un'onda registrata in un sito da uno strumento dipende:

- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di

quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per eseguire misure HSRV occorrono tre forme d'onda o sismogrammi, due delle componenti orizzontali e una delle componenti verticali. La tecnica dei rapporti spettrali, o semplicemente HVSR, è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, che corrispondono alle frequenze naturali f_n di vibrazione del deposito, mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno.

Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito f_1 , denominata frequenza fondamentale di risonanza. Per la ricostruzione sismica e per una buona stima delle onde V_s è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione dove:

$$V_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}}$$

V_s =valore di velocità delle onde di taglio [m/s]

H = profondità alla quale si desidera stimare V_s [m] (30m in caso di V_{s30})

h_i =spessore dello strato i -esimo [m]

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato il geofono 3D da superficie 3DLG-2 della PASI che rappresenta la nuova generazione di strumenti leggeri e compatti in alta risoluzione adatto a tali misurazioni.

Il geofono 3D da superficie 3DLG-2 è composto da un sensore verticale e due sensori orizzontali dalle elevate prestazioni, con frequenza di risonanza di 2Hz e opportunamente accoppiati, sono assemblati all'interno di un robusto contenitore waterproof



geofono 3D da superficie 3DLG-2

Di seguito si riportano le caratteristiche tecniche del geofono.

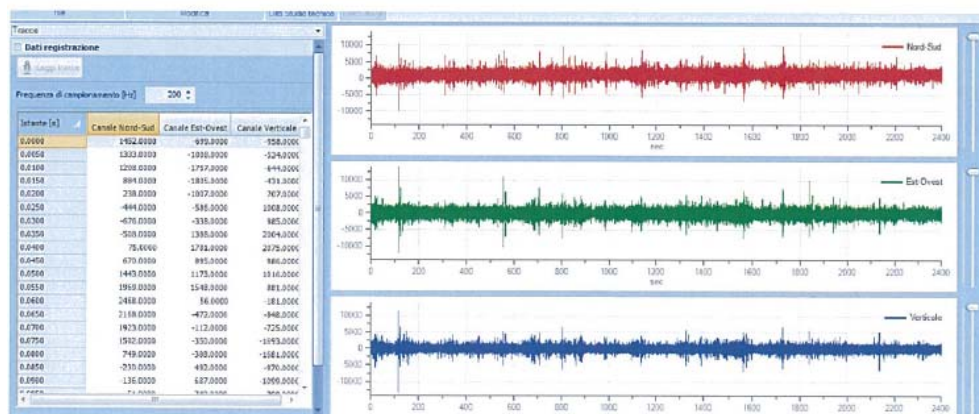
SPECIFICHE TECNICHE 3DLG-2	
Freq. nat. di risonanza	2 Hz \pm 10%
Sensibilità	2 V/cm·S ⁻¹ \pm 5%
Resistenza interna	5.8 k Ω \pm 5%
Damping	0.7 \pm 10%
Distorsione armonica	\leq 0.2%
Impedenza d'ingresso	\geq 10 M Ω
Temperatura operativa	da -25°C a +55°C
Bloccaggio sensori	Con connettore di blocco
Dimensioni	Diam. 128 mm h. 175mm
Peso	2.3 Kg

PROCEDURA PROVA SISMICA PASSIVA HVSR

I segnali acquisiti con il sismografo digitale sopra descritto sono stati analizzati mediante il programma di analisi Geostru EASY HVRS.

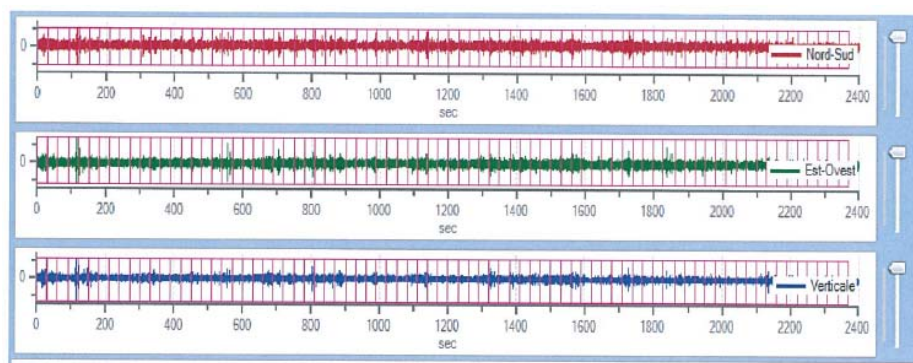
Di seguito è visualizzata una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione.

Tale registrazione viene effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.



Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione

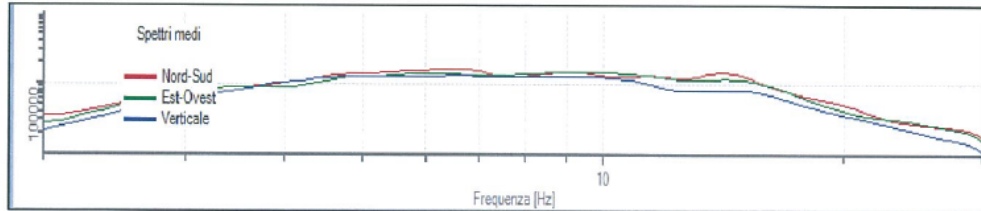


Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre rela-

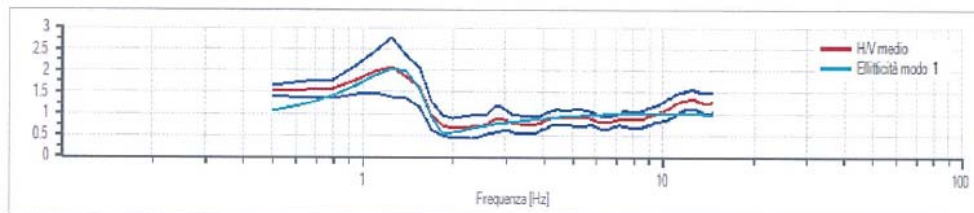
tive alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone.

Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

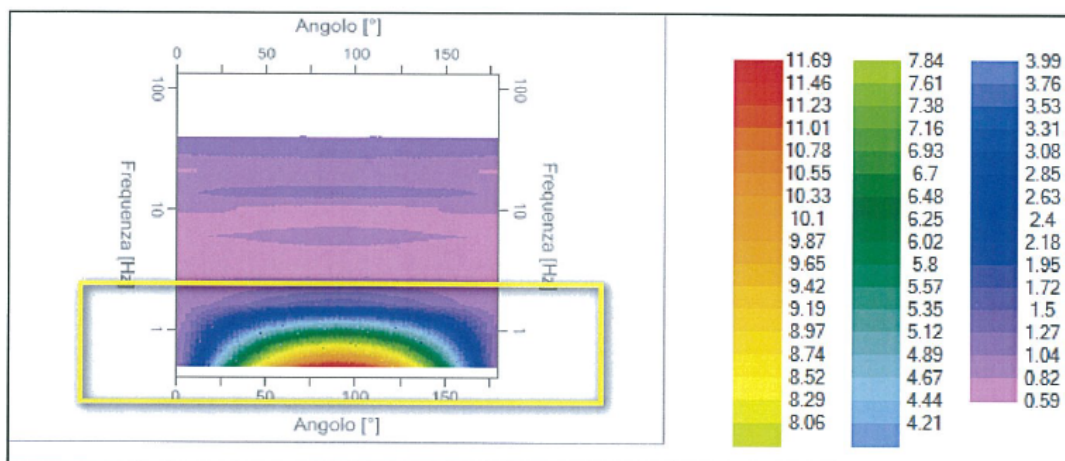


Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale HN per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale HN medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.



Ad ulteriore riscontro della bontà dell'interpretazione si analizza la mappa di direzionalità che permette di verificare la provenienza del rumore per una determinata frequenza (quella di picco): un'analisi corretta prevede che la frequenza naturale fondamentale provenga da tutte le direzioni



L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico.

Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio, avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativa Vs30.

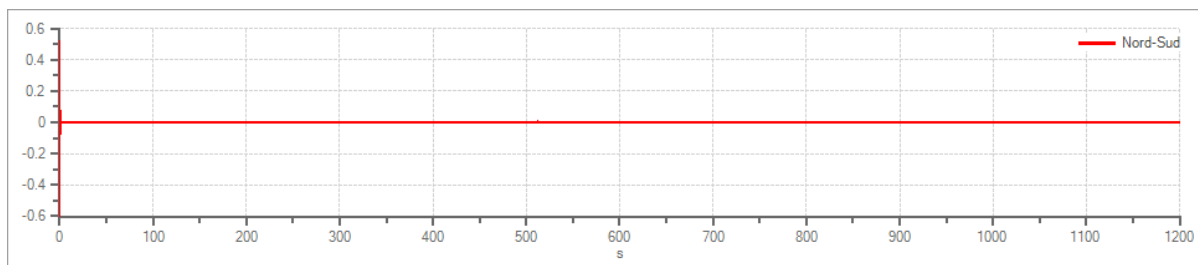
PROVA PASSIVA HVSR 1

Tracce in input

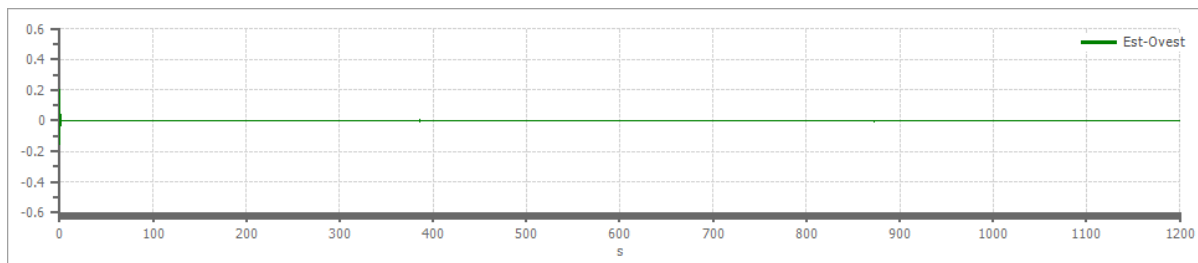
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Numero campioni:	300000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

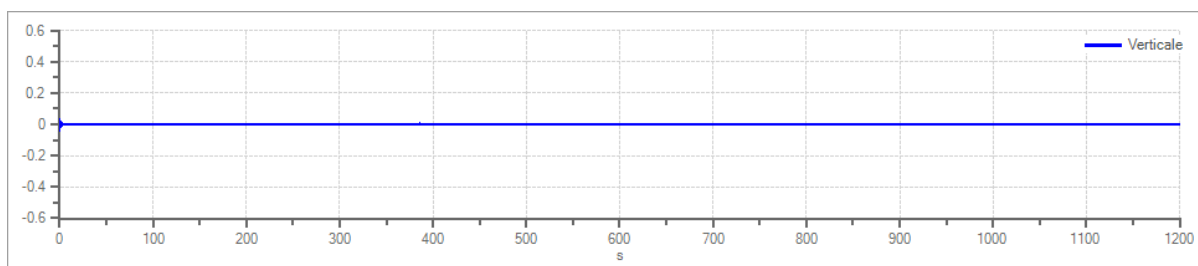
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 59

Numero finestre incluse nel calcolo: 59

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi

Percentuale di lisciamiento: 10.00 %

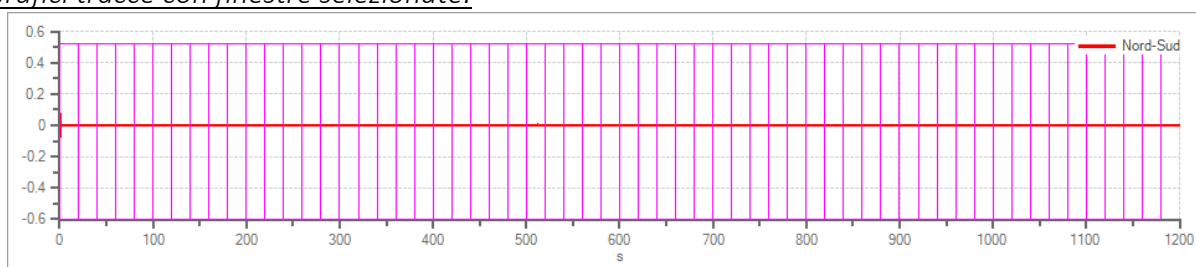
Coefficiente di banda: 40.00

Tabella finestre:

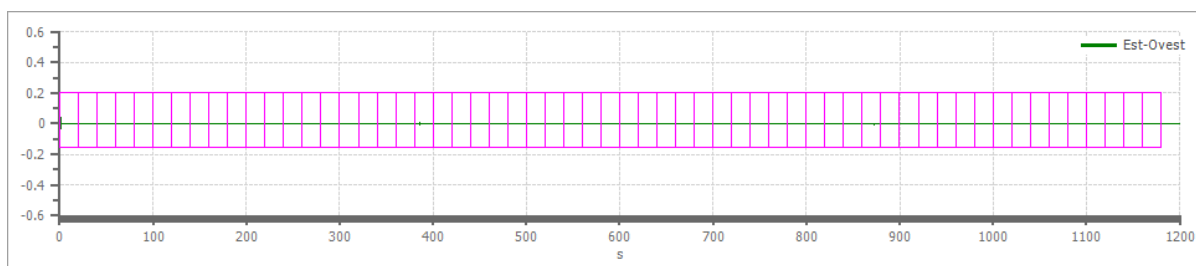
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	20	40	Inclusa
3	40	60	Inclusa
4	60	80	Inclusa
5	80	100	Inclusa
6	100	120	Inclusa
7	120	140	Inclusa
8	140	160	Inclusa
9	160	180	Inclusa
10	180	200	Inclusa
11	200	220	Inclusa
12	220	240	Inclusa
13	240	260	Inclusa
14	260	280	Inclusa
15	280	300	Inclusa
16	300	320	Inclusa
17	320	340	Inclusa
18	340	360	Inclusa
19	360	380	Inclusa
20	380	400	Inclusa
21	400	420	Inclusa
22	420	440	Inclusa
23	440	460	Inclusa
24	460	480	Inclusa
25	480	500	Inclusa
26	500	520	Inclusa
27	520	540	Inclusa
28	540	560	Inclusa
29	560	580	Inclusa
30	580	600	Inclusa
31	600	620	Inclusa
32	620	640	Inclusa
33	640	660	Inclusa
34	660	680	Inclusa
35	680	700	Inclusa
36	700	720	Inclusa
37	720	740	Inclusa
38	740	760	Inclusa

39	760	780	Inclusa
40	780	800	Inclusa
41	800	820	Inclusa
42	820	840	Inclusa
43	840	860	Inclusa
44	860	880	Inclusa
45	880	900	Inclusa
46	900	920	Inclusa
47	920	940	Inclusa
48	940	960	Inclusa
49	960	980	Inclusa
50	980	1000	Inclusa
51	1000	1020	Inclusa
52	1020	1040	Inclusa
53	1040	1060	Inclusa
54	1060	1080	Inclusa
55	1080	1100	Inclusa
56	1100	1120	Inclusa
57	1120	1140	Inclusa
58	1140	1160	Inclusa
59	1160	1180	Inclusa

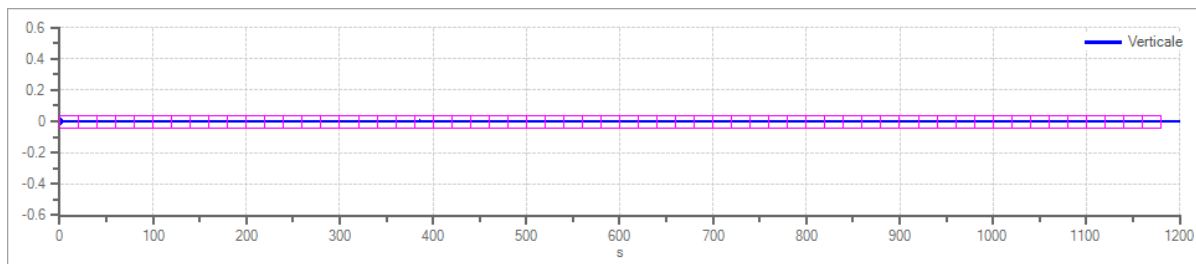
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

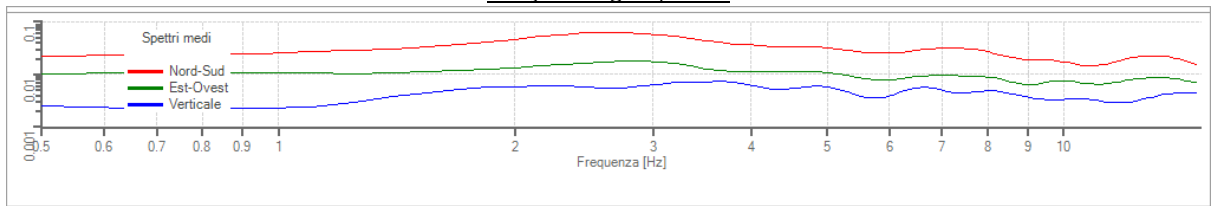


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

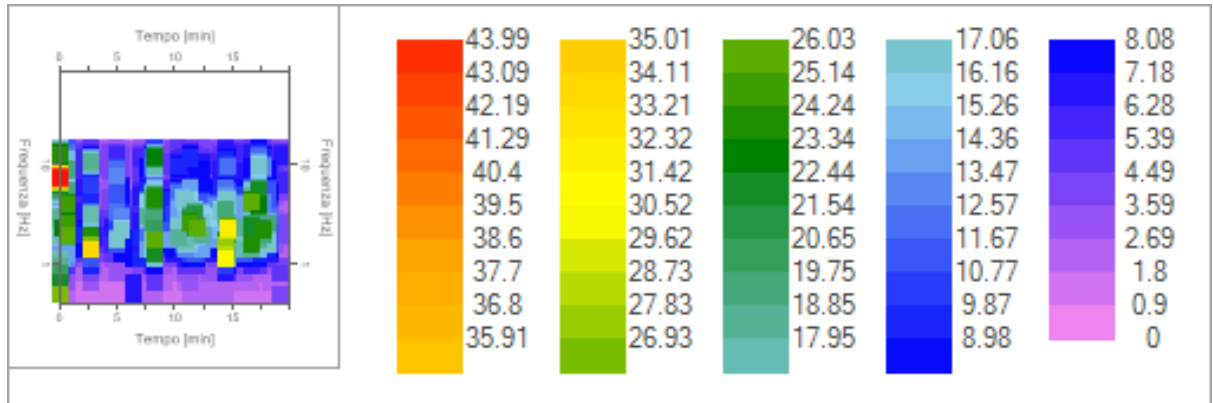


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

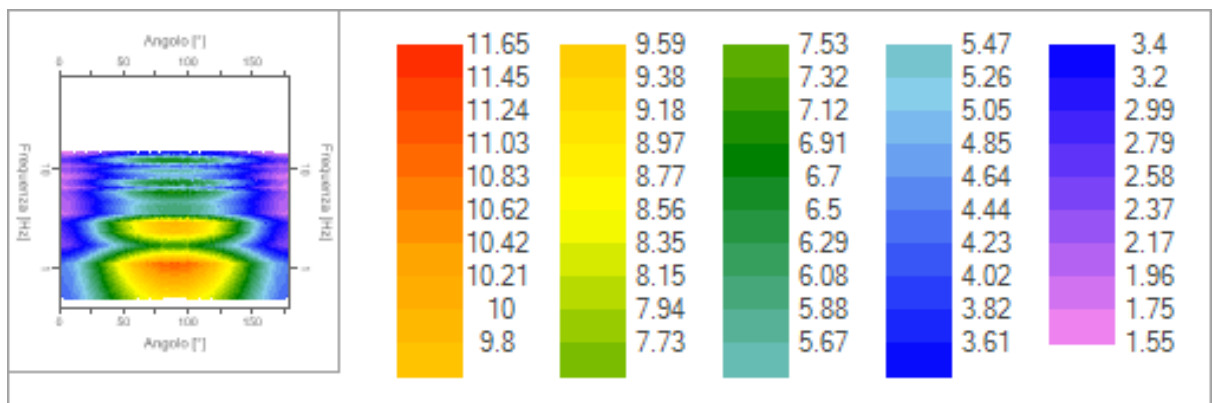
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

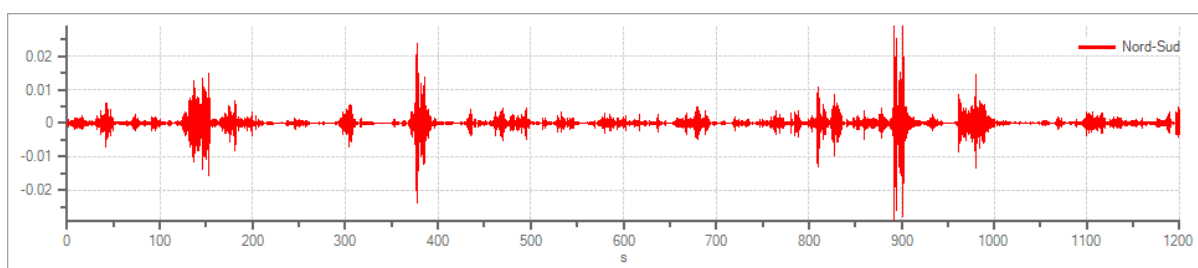
PROVA PASSIVA HVSR 2

Tracce in input

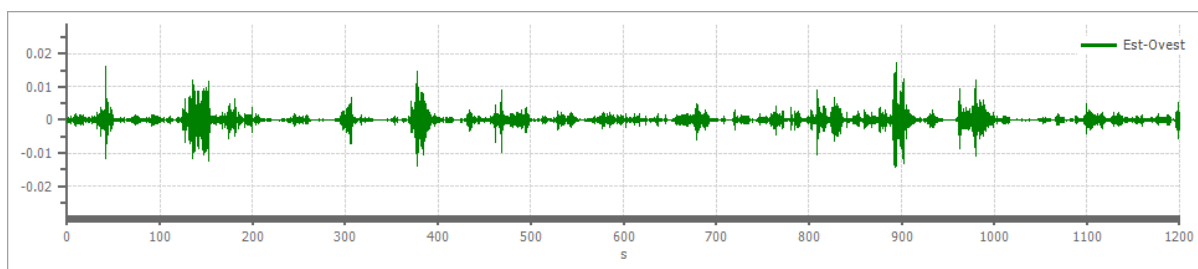
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Numero campioni:	300000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

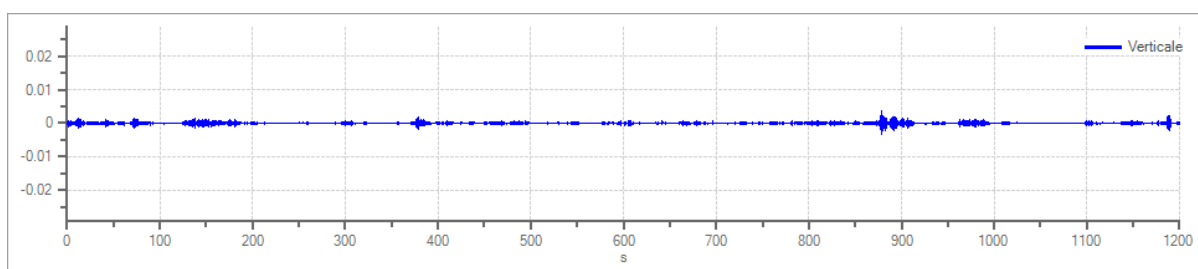
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 49

Numero finestre incluse nel calcolo: 49

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi

Percentuale di lisciamiento: 10.00 %

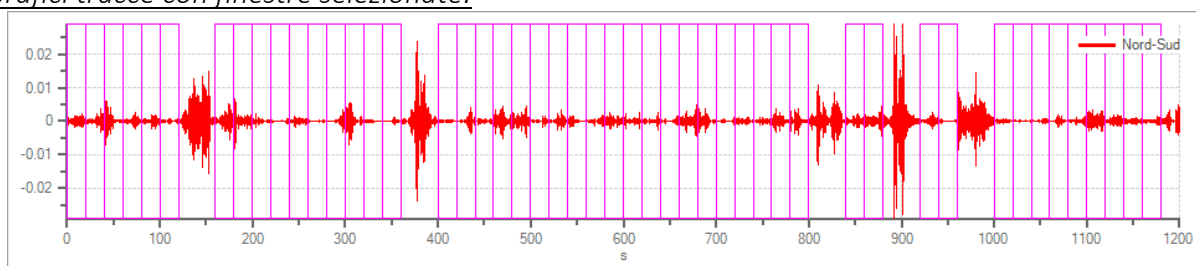
Coefficiente di banda: 40.00

Tabella finestre:

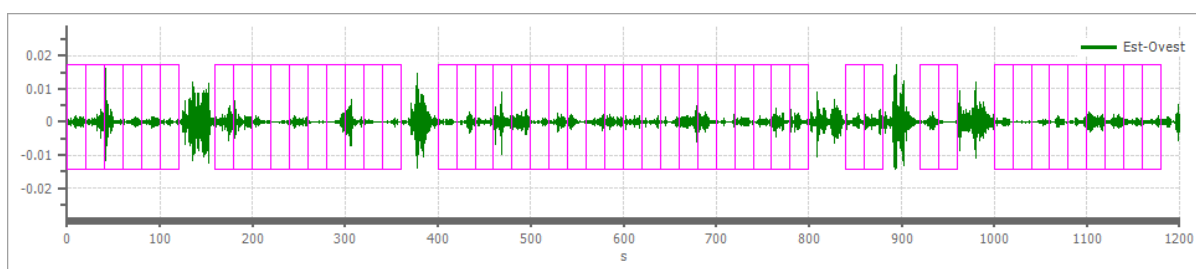
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	20	40	Inclusa
3	40	60	Inclusa
4	60	80	Inclusa
5	80	100	Inclusa
6	100	120	Inclusa
7	160	180	Inclusa
8	180	200	Inclusa
9	200	220	Inclusa
10	220	240	Inclusa
11	240	260	Inclusa
12	260	280	Inclusa
13	280	300	Inclusa
14	300	320	Inclusa
15	320	340	Inclusa
16	340	360	Inclusa
17	400	420	Inclusa
18	420	440	Inclusa
19	440	460	Inclusa
20	460	480	Inclusa
21	480	500	Inclusa
22	500	520	Inclusa
23	520	540	Inclusa
24	540	560	Inclusa
25	560	580	Inclusa
26	580	600	Inclusa
27	600	620	Inclusa
28	620	640	Inclusa
29	640	660	Inclusa
30	660	680	Inclusa
31	680	700	Inclusa
32	700	720	Inclusa
33	720	740	Inclusa
34	740	760	Inclusa
35	760	780	Inclusa
36	780	800	Inclusa
37	840	860	Inclusa
38	860	880	Inclusa

39	920	940	Inclusa
40	940	960	Inclusa
41	1000	1020	Inclusa
42	1020	1040	Inclusa
43	1040	1060	Inclusa
44	1060	1080	Inclusa
45	1080	1100	Inclusa
46	1100	1120	Inclusa
47	1120	1140	Inclusa
48	1140	1160	Inclusa
49	1160	1180	Inclusa

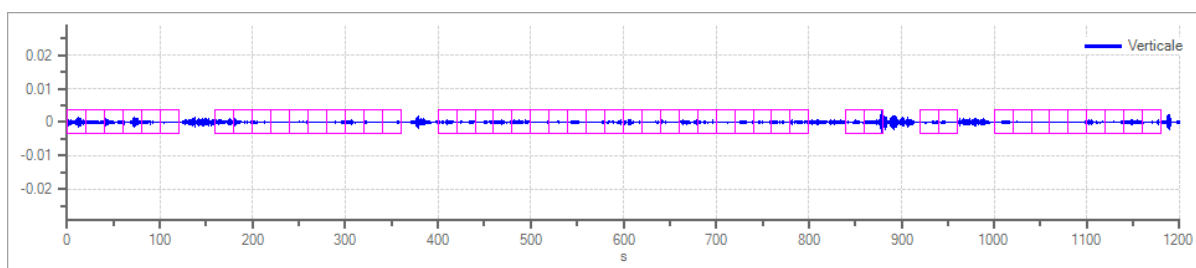
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

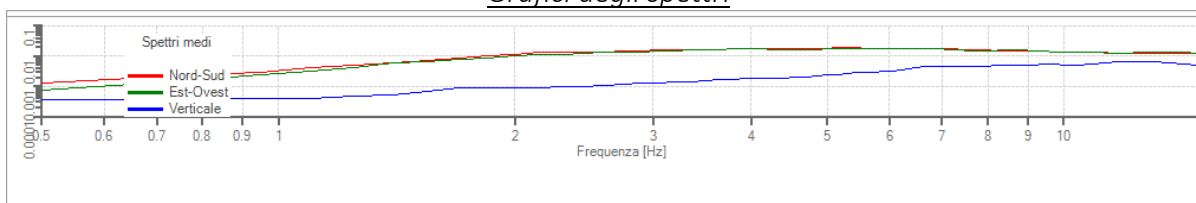


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

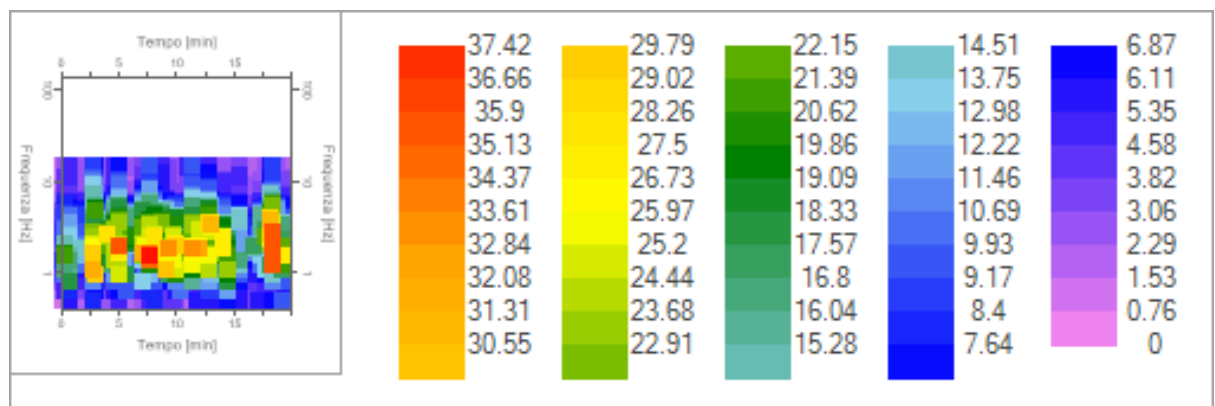


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

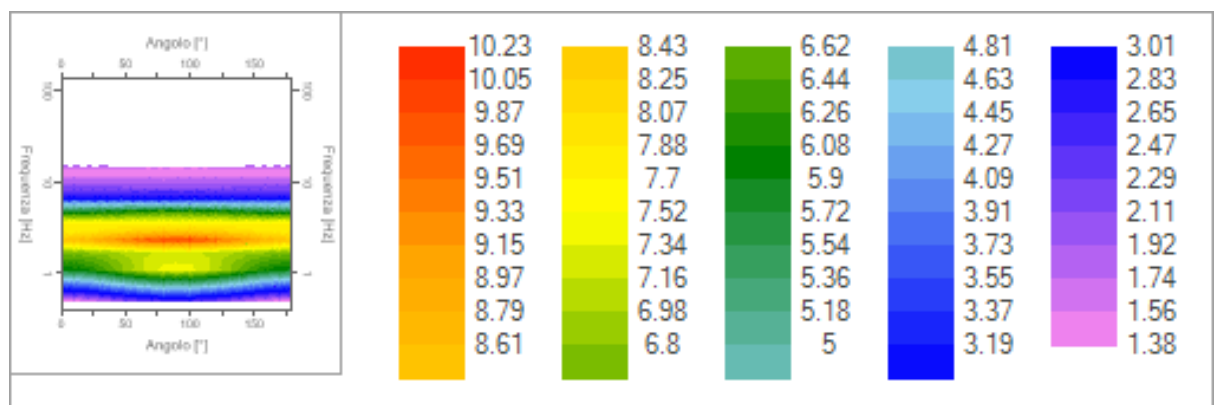
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

Le seguenti condizioni di rappresentatività sono state stabilite grazie al progetto SESAME (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations), a seguito dei numerosi studi condotti.

La prima condizione necessaria per ritenere una curva H/V rappresentativa, è la sua riproducibilità nello stesso sito con altre sorgenti e tipologie di rumore ambientale e mediante una differente selezione di finestre. Inoltre devono essere verificate le seguenti condizioni:

1. $f_o > 10/l_w$, ovvero che alla frequenza di interesse devono trovarsi almeno 10 ciclisignificativi nella finestra selezionata;
2. $n_c = l_w * n_w * f_o > 200$, ossia che il numero di cicli significativi sia maggiore di 200;
3. un basso livello di scattering tra le finestre. Deviazioni standard troppo elevate sono riportabili a situazioni di scarsa stazionarietà ed alta perturbazione del segnale, quindi ad una bassa rappresentatività. Sono raccomandate deviazioni standard < 2 per $f_o > 0.5$ Hz.

Nel migliore dei casi, la curva mostra un singolo picco 'netto', definibile in termini di ampiezza deviazione standard relativa ed assoluta.

In termini di ampiezza deve soddisfare le seguenti condizioni:

1. esistenza di una frequenza f^- tra $f_o/4$ e f_o tale che $A_o/A_{h/v}(f^-) > 2$;
2. esistenza di un'altra frequenza f^+ , compresa tra f_o e $4f_o$, tale che $A_o / A_{h/v}(f^+) > 2$;
3. $A_o > 2$.

Quindi se la curva H/V per un dato sito soddisfa almeno 5 di queste 6 condizioni, il valore di f_o è da considerarsi rappresentativo della frequenza fondamentale; se l'ampiezza di picco A_o è maggiore di 4 o 5, si può affermare con certezza che esiste una discontinuità ed un contrasto di velocità ad una qualche profondità.

f_o (Hz)	h (m)
< 1	> 100
1 – 2	50 – 100
2 – 3	30 – 50
3 – 5	20 – 30
5 – 8	10 – 20
8 – 20	5 – 10
> 20	< 5

Le misure del rapporto H/V, quando significativamente ampie ($H/V > 3$), danno una valutazione qualitativa sulla presenza nel sottosuolo di sensibili variazioni del contrasto di impedenza sismica alla base delle coperture.

Sulla base delle frequenze di risonanza è poi possibile fornire una stima di massima degli spessori delle coperture soffici, responsabili dei possibili fenomeni di risonanza provocati dal contatto bedrock-copertura e la cui profondità può essere stimata dalle frequenze fondamentali come riportato nella tabella schematica (tratta da indirizzi e criteri per la microzonazione sismica).

Rapporto spettrale H/V – HVSR 1

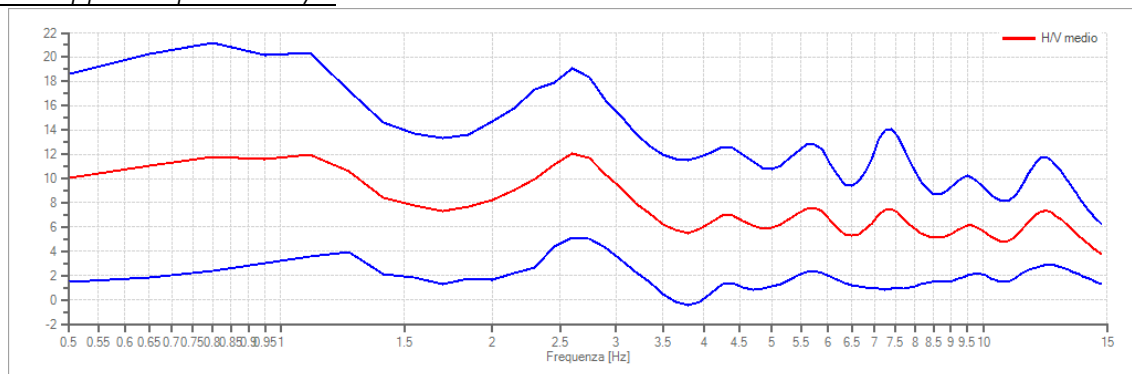
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Passo frequenze: 0.15 Hz
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 2.60 Hz \pm 0.58 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Rapporto spettrale H/V – HVSR 2

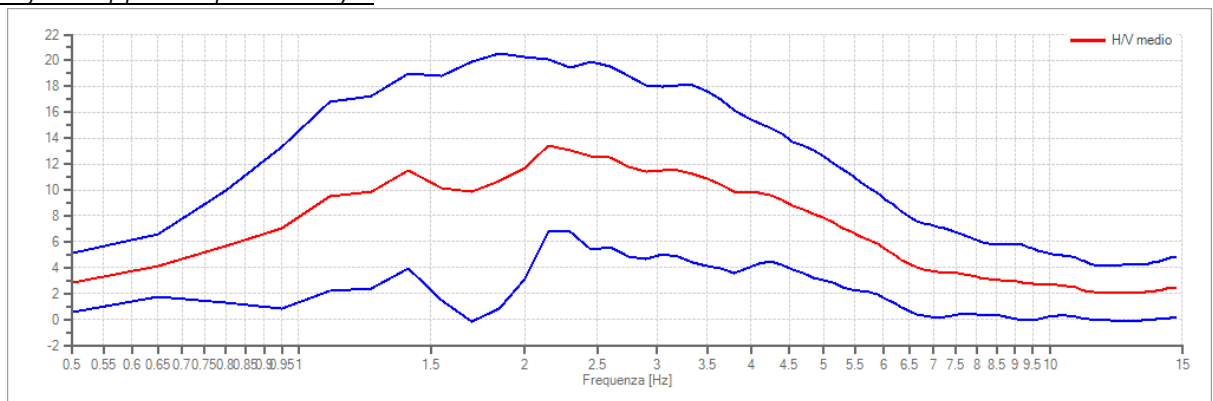
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Passo frequenze: 0.15 Hz
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media quadratica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 2.15 Hz ± 0.50 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

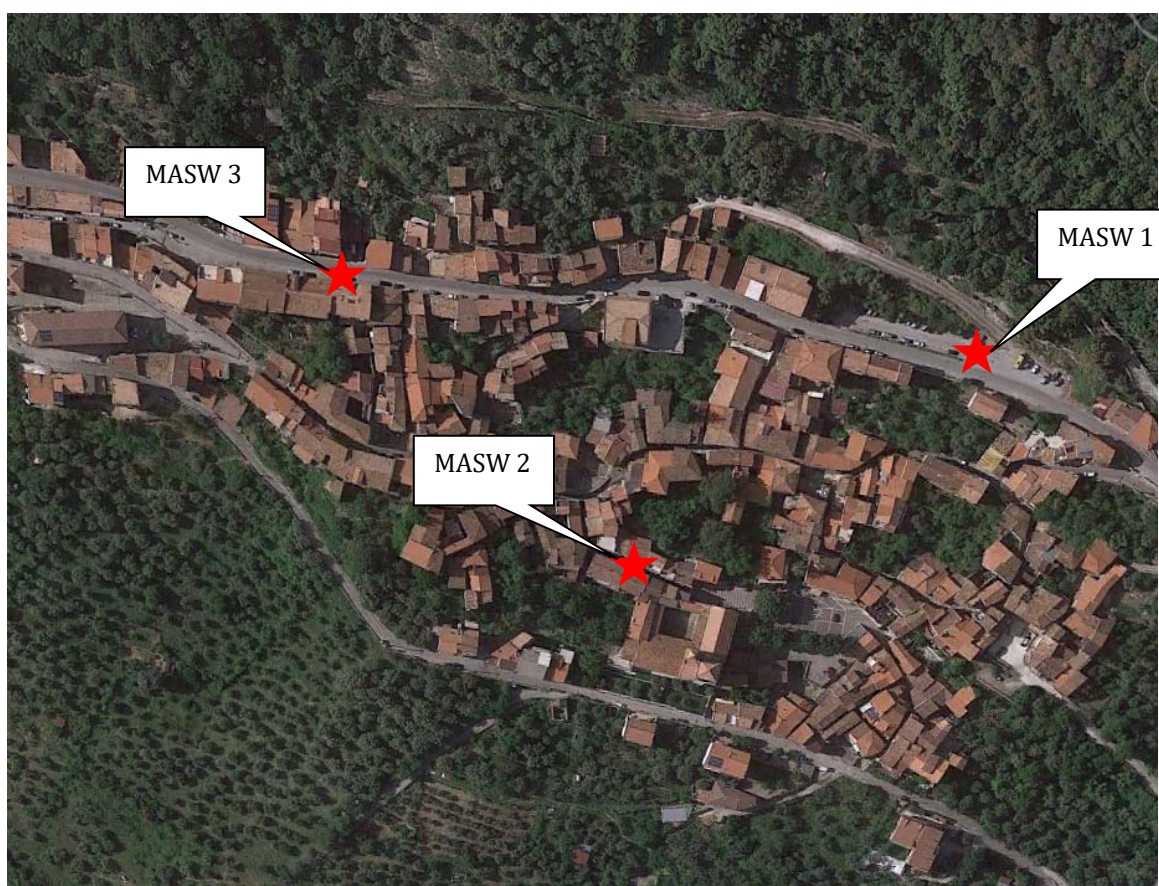
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

INDAGINI GEOFISICHE- MASW

COMUNE DI OTTATI



INDAGINE GEOFISICA TECNICA ATTIVA MASW



**Il Tecnico
Geol. Rocco Tasso**

INDICE

1 - PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH	3
2 - PROSPEZIONI SISMICHE MASW.....	5
3 - STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	11
4 - ACQUISIZIONE DATI	12
5 - ELABORAZIONE DATI	13
6 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI	20

1 - PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 1) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde che vengono generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a $0.92V_s$. In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e $0.92V_s$. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

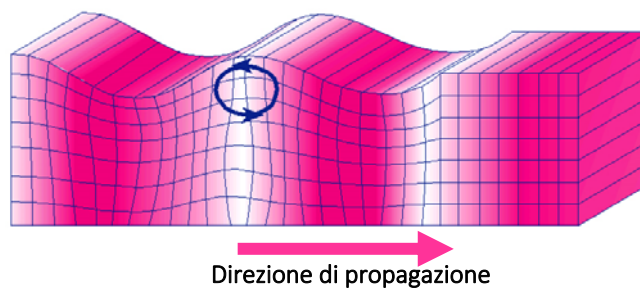


Fig. 1 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

La determinazione della velocità delle onde di taglio V_s tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da \sqrt{r} e non da r come per le onde di volume.

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , parametro di fondamentale importanza per la

caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. 3274/03; O.P.C.M. 3431/05; D.M. 17 gennaio 2018). Infatti, mentre la velocità delle onde P misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde S è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde P , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_s , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (Fig. 2).

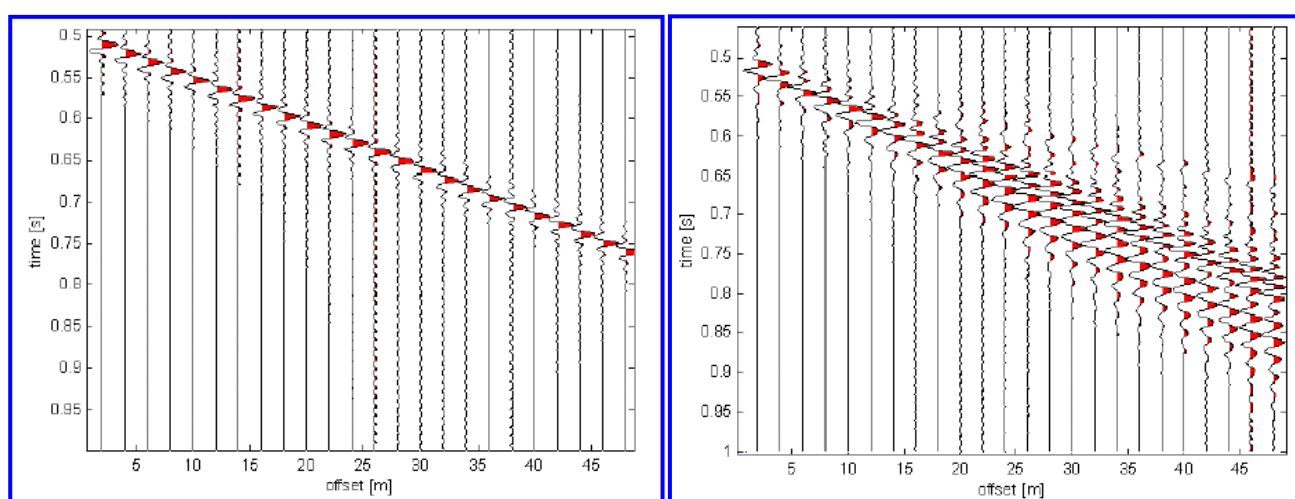


Fig. 2 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione (Fig. 3).

La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) è pari a circa il 90% delle onde di taglio (V_s). Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh vengono realizzate con procedure operative meno onerose della comune sismica a rifrazione e delle prove in foro e hanno un grado di incertezza nella determinazione delle $V_s < 15\%$.

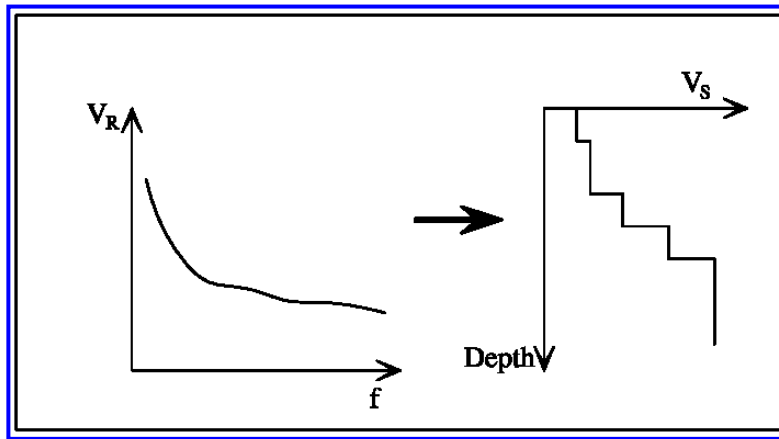


Fig. 3 – Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.

La modellazione del sottosuolo mediante l'impiego di comuni geofoni verticali a 4.5Hz e l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh viene ottenuta con le seguenti metodologie: ReMi (Refraction Microtremor), FTAN (Frequency Time ANalysis), SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

La tecnica MASW, fondata sulla tecnica SASW, consente una dettagliatissima ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo.

2 - PROSPEZIONI SISMICHE MASW

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio V_s . Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 4 passi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici (Fig. 4), generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni (Fig. 5) che viene spostato lungo la linea dello stendimento stesso dopo ogni acquisizione;

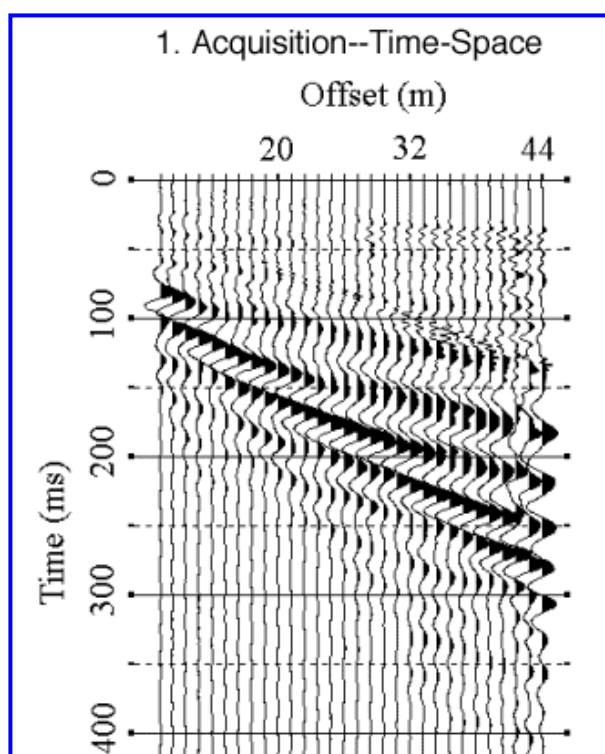


Fig. 4 – Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento.

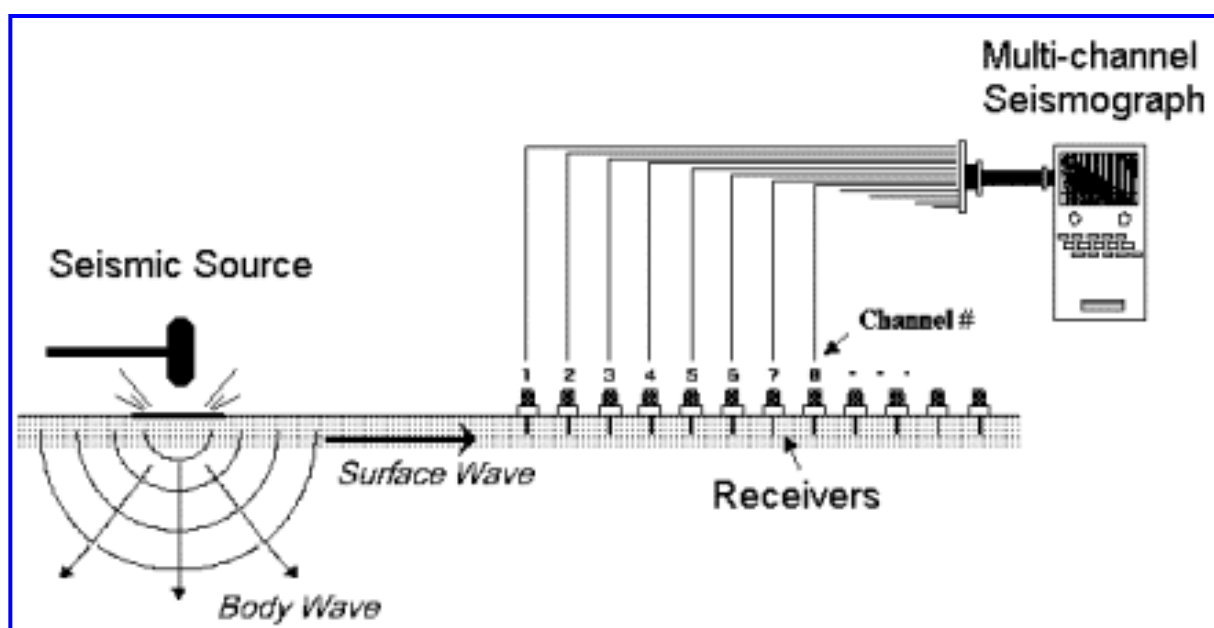


Fig. 5 – Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo MASW.

2. Estrazione del modo fondamentale di oscillazione dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione) (Fig. 6);

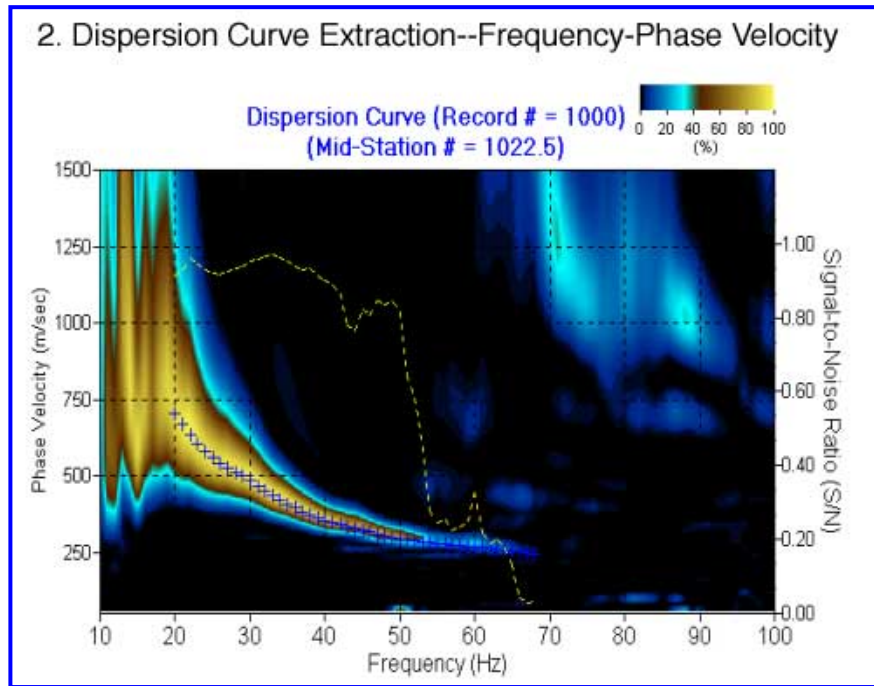


Fig. 6 – Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh.

3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle V_s (Fig. 7)
(un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);

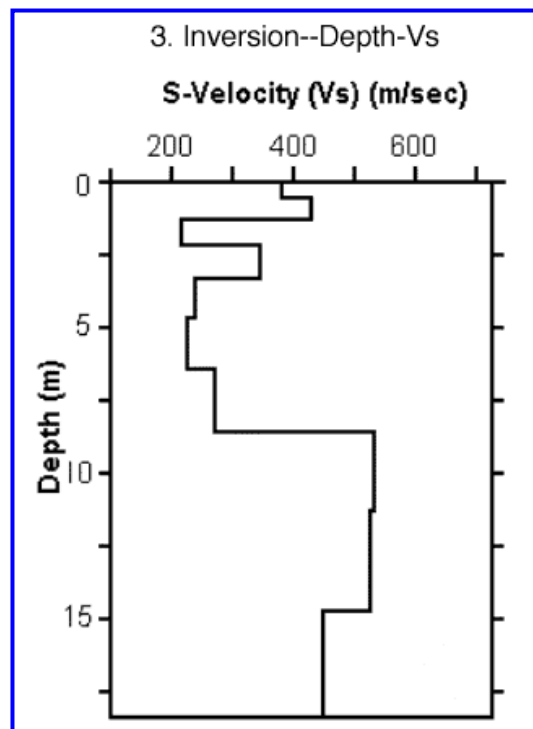


Fig. 7 – Modello di velocità delle onde di taglio (V_s) ottenuto dalla curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso l'inversione di un modello multistrato di terreno. La velocità delle onde di

taglio è approssimativamente pari a $1.1V_R$ (V_R =velocità delle onde di Rayleigh) e la profondità è pari a circa 0.4λ (λ =lunghezza d'onda).

4. Ricostruzione di una sezione (modello 2D) delle V_S dei terreni con approccio multicanale (con almeno due acquisizioni dei segnali, ovvero uno spostamento lungo la linea dello stendimento) (Fig. 8).

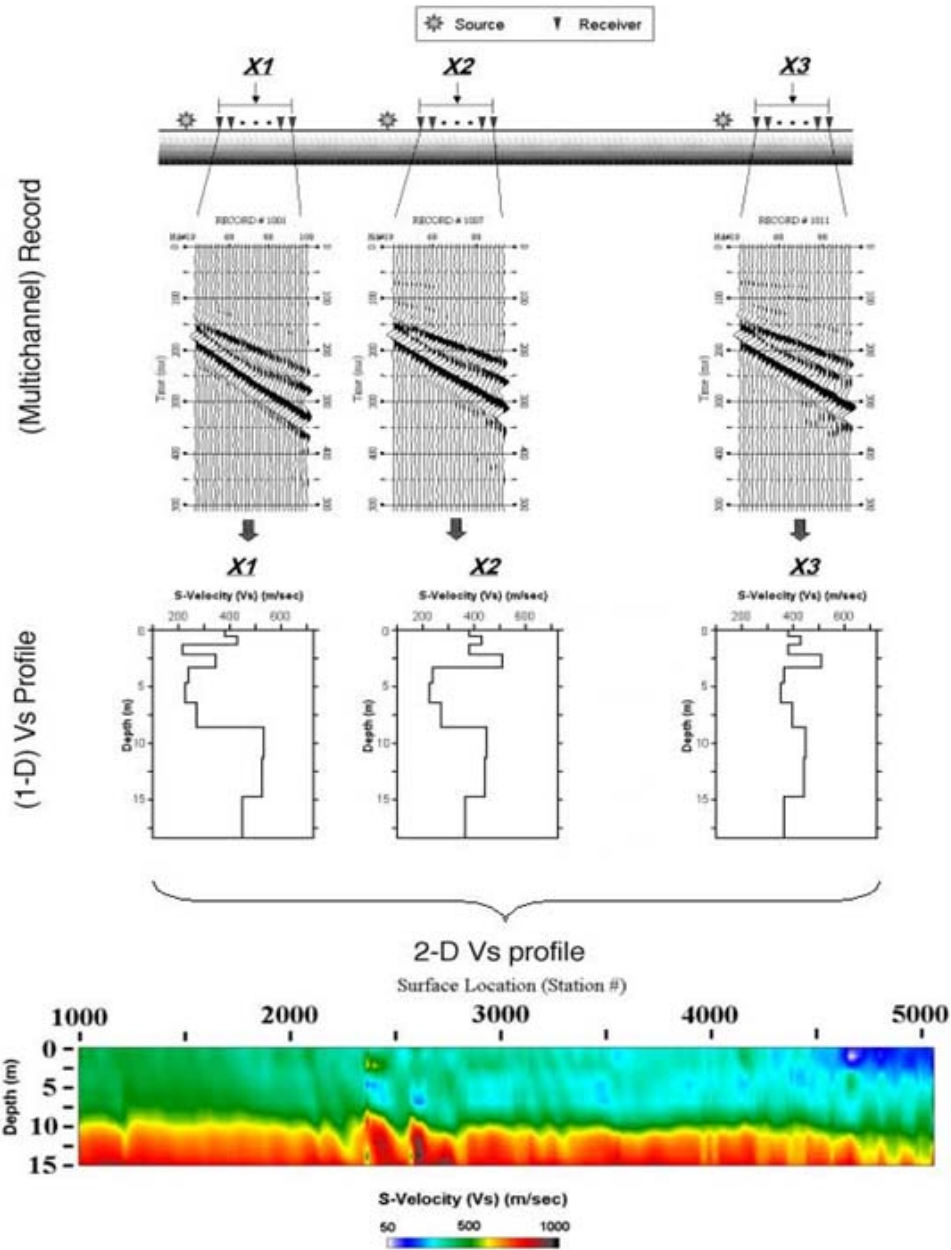


Fig. 8 – Modello 2D di velocità delle onde di taglio (V_S) ottenuto dalle inversioni delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh.

Quando vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume (P ed S), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, canali sotterranei, trovanti lapidei, ecc.) e diventano rumore (Fig. 9).

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana (Fig. 9).

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni. L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali.

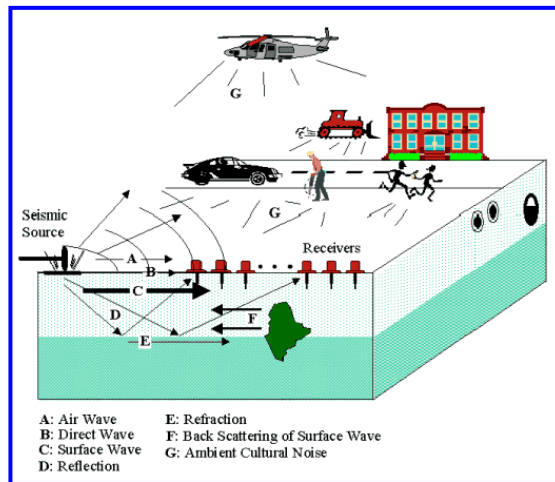


Fig. 9 – Schematizzazione dei vari tipi di onde (di volume e superficiali) e di alcune possibili sorgenti di rumore ambientale.

Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti (Fig. 10) in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni (Fig. 11).

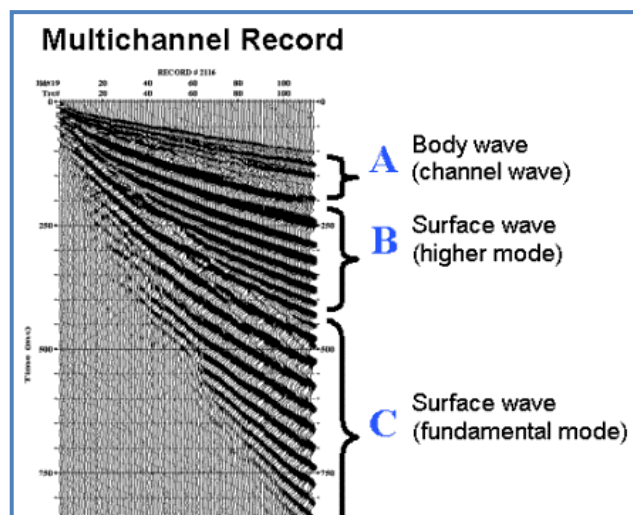


Fig. 10 – Segnali sismici con acquisizione multicanale e riconoscimento delle varie fasi sismiche (onde di volume, modo fondamentale e modi superiori delle onde superficiali).

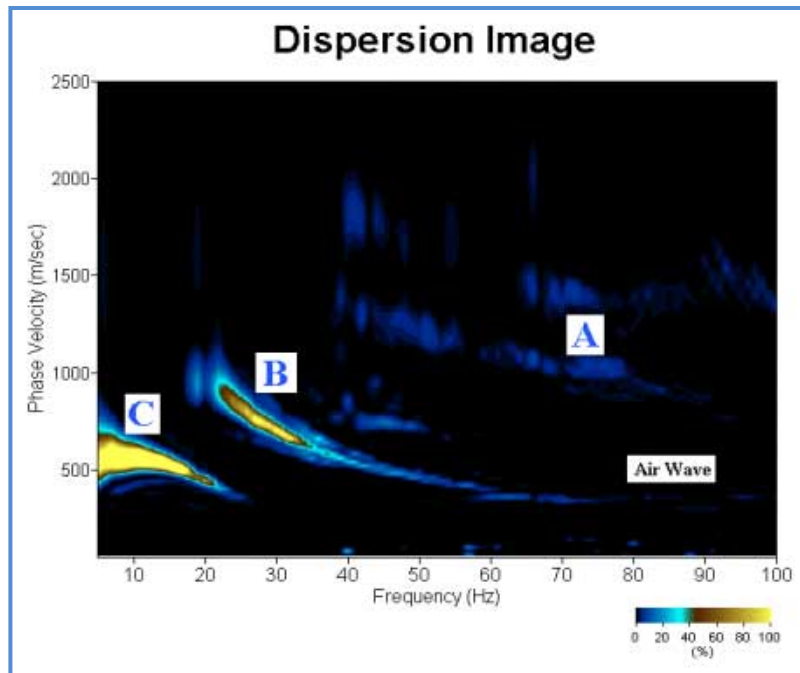


Fig. 11 – Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh relativa ai segnali sismici in Fig. 10. Il picco energetico in corrispondenza di C rappresenta, nel modello della dispersione, il modo fondamentale da estrarre. Il picco energetico in B rappresenta il primo modo mentre quello in A, poco evidente, rappresenterebbe il secondo modo.

Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico. Tutte le altre onde (riflesse, disperse, modi superiori delle onde superficiali, noise ambientale) vengono quindi rimosse durante il processo di elaborazione.

3 – STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

- Sistema di acquisizione dati: costituito da un sismografo digitale GEA 24 mat. 18297 (prodotto dalla PASI) con risoluzione 24 bit a 24 canali, con le caratteristiche tecniche, riportate nella seguente tabella



Sistema di acquisizione GEA 24 PASI

SPECIFICHE TECNICHE GEA 24	
Numero di canali	24 can. + trigger (can. AUX) - 2 unità serializzabili per un tot. di 48 can.
Conversione Dati	Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)
Intervallo Campionamento	Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can. - fino a 31.25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.
Lunghezza Acquisizione	27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux) Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue
Guadagno Preamp.	0/52 dB, selezionabile via software
Stacking	Numero di stacking illimitato
Impedenza di ingresso	2M Ω m // 22nF
Range Dinamico	144dB (sistema); >117db (istantaneo, misurato @1ksps)
Distorsione	0.007% @16kHz
Largh.Banda -3dB	6.8kHz@32ksps - 0.21 kHz@1ksps
Largh.Banda +/- 0.1dB	3.5 kHz@32ksps - 0.11 kHz@1ksps
Filtri	Passa Basso: 125-200-500-1000Hz Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz
Filtri "Notch"	50-60Hz + armoniche
Trigger	Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software
Visualizzazione Tracce	Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / area variabile
Noise-monitor	Tutti i canali + trigger ; display in tempo reale
Canale AUX (ausiliario)	1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)
Interfaccia comunicazione	1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente)
Formato Dati	SEG2 (altri formati su richiesta)
Alimentazione	5VDC da USB, 0.25A
Temp.operativa/stoccaggio	-30°C to +80°C
Umidità	80% umidità relativa, non condensante
Dimensioni	24cm x19.5cm x11cm
Peso	2 Kg

- Sistema di ricezione: costituito da geofoni verticali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa, con frequenza propria 4.5 Hz. I trasduttori di velocità sono in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali e trasversali prodotte da una specifica sorgente.



Geofoni verticali con frequenza 4.5 Hz

- Sistema di energizzazione costituita da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su una piastra metallica posta direttamente sul piano campagna.
- Sistema trigger: consiste in circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati. In questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizi della registrazione.



Geofono trigger

- Sistema trasferimento segnale: il trasferimento del segnale dal sistema di ricezione (geofono) al sistema di acquisizione dati (sismografo) è effettuato tramite cavo sismico, costituiti da cavo elettrico bipolari in pur schermati collegato al geofono.

4 - ACQUISIZIONE DATI

L'acquisizione è stata condotta mediante uno stendimento lineare di geofoni superficiali. Dopo aver posizionato i geofoni sul terreno e dopo il collegamento di questi ultimi ai cavi elettrici, tramite appositi morsetti bipolari, per ogni acquisizione sono state realizzati alcune energizzazioni di prova allo scopo di tarare i parametri di amplificazione dei singoli canali di registrazione.

Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione sismica M.A.S.W. in modo tale che, dopo ogni energizzazione (o somma di energizzazioni) su ciascun punto d'impatto prestabilito, si è acquisito e registrato il segnale sul sismografo per la successiva elaborazione. L'istante di tempo zero, ovvero il segnale d'inizio registrazione, è stato inviato allo strumento da uno shock-sensor (trigger) posto direttamente sul terreno.

La sorgente per l'energizzazione è stata posta ad una distanza ottimale dagli ultimi geofoni (Optimum Field Parameters of an MASW Survey", Park et al., 2005; Dal Moro, 2008).

Nello specifico sono stati eseguiti n° due stendimenti M.A.S.W. le cui caratteristiche geometriche e di configurazione sono riportate nella Tab. 1.

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Passo geofonico (m)</i>	<i>N° geofoni</i>	<i>Lunghezza stendimento (m)</i>	<i>Frequenza acquisizione (Hz)</i>	<i>Tempo di acquisizione (sec.)</i>
<i>MASW n.1</i>	<i>3</i>	<i>12</i>	<i>36</i>	<i>1000</i>	<i>1,5</i>
<i>MASW n.2</i>	<i>3</i>	<i>12</i>	<i>36</i>	<i>1000</i>	<i>1,5</i>
<i>MASW n.3</i>	<i>3</i>	<i>12</i>	<i>36</i>	<i>1000</i>	<i>1,5</i>

Tab. 1 – Riepilogo caratteristiche delle fasi di acquisizione relative allo stendimento geofonico messo in opera.

5 - ELABORAZIONE DATI

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC per l'elaborazione e successiva interpretazione attraverso l'utilizzo del software WinMasw lite della Eliosoft con numero di serie 0X3109A511

Operativamente sono state completate le seguenti operazioni:

1. Visualizzazione e filtraggio della registrazione;
2. Estrazione e visualizzazione della curva di dispersione;
3. Picking della curva di dispersione;
4. Calcolo del profilo (1D) di velocità delle onde di taglio Vs con la profondità.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocityfrequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica effettuata.

ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

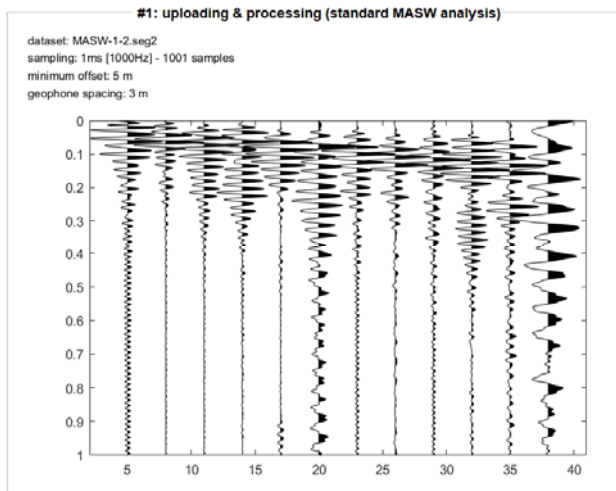
MASW 1

Fig. 12 - Sismogramma ZVF (onde Rayleigh)

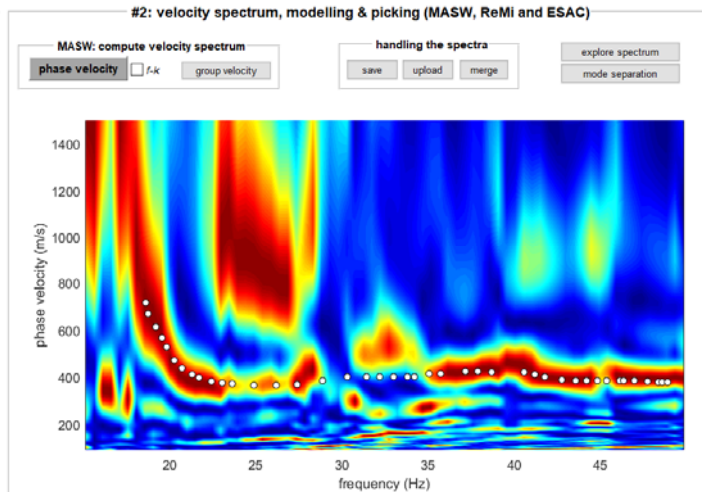
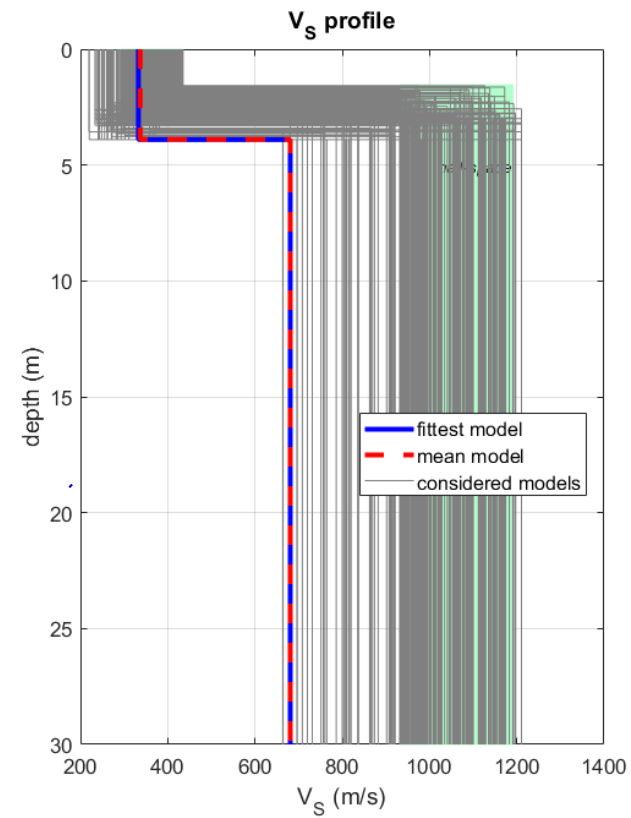
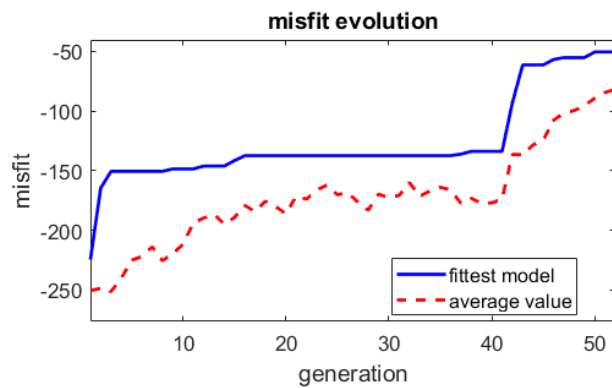
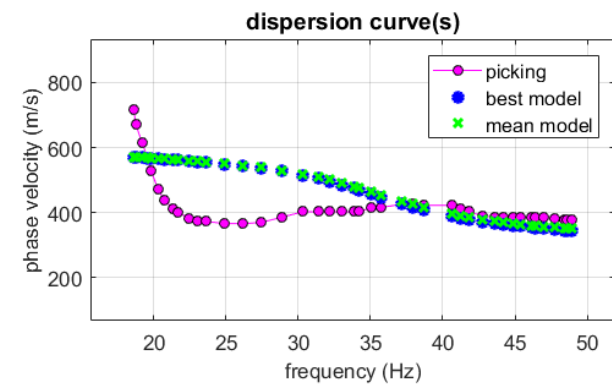


Fig. 13 - Spettro di velocità base sismica con picking.

L'elaborazione del sismogramma ha consentito di estrapolare lo spettro di velocità (fig. 13) dal quale si è risalito tramite picking alla curva di dispersione che consente di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.



www.winmasw.com

dispersion curve: Ottati 1.cdp
 V_{s30} & V_{sE} (best model): 600 600 m/s
 V_{s30} & V_{sE} (mean model): 601 601 m/s

Figura 14: Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati

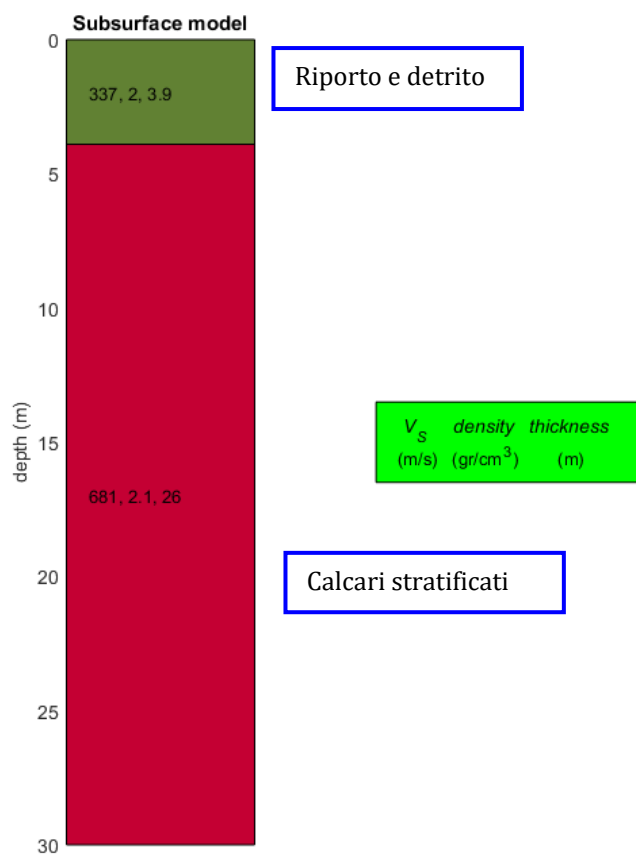


Figura 15: Modello stratigrafico su base sismica

MASW 2

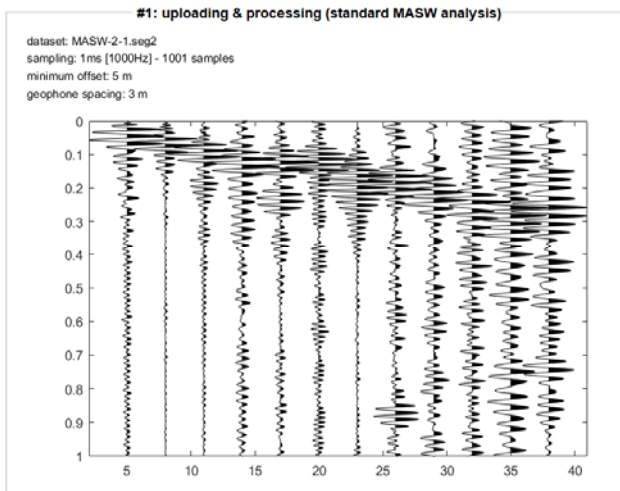


Fig. 16 - Sismogramma ZVF (onde Rayleigh)

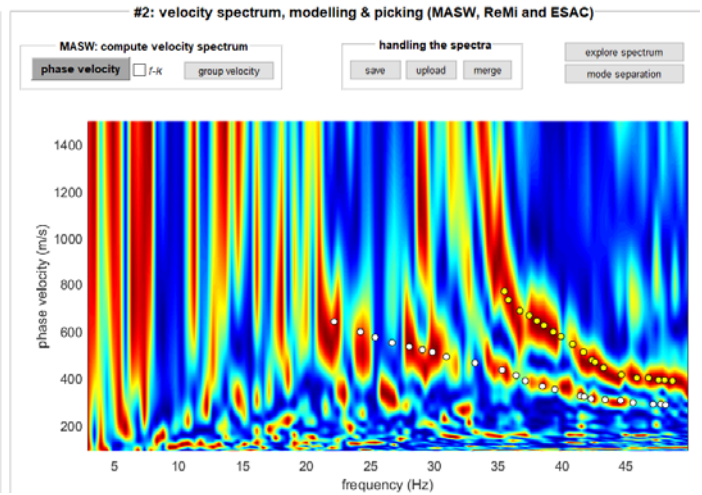
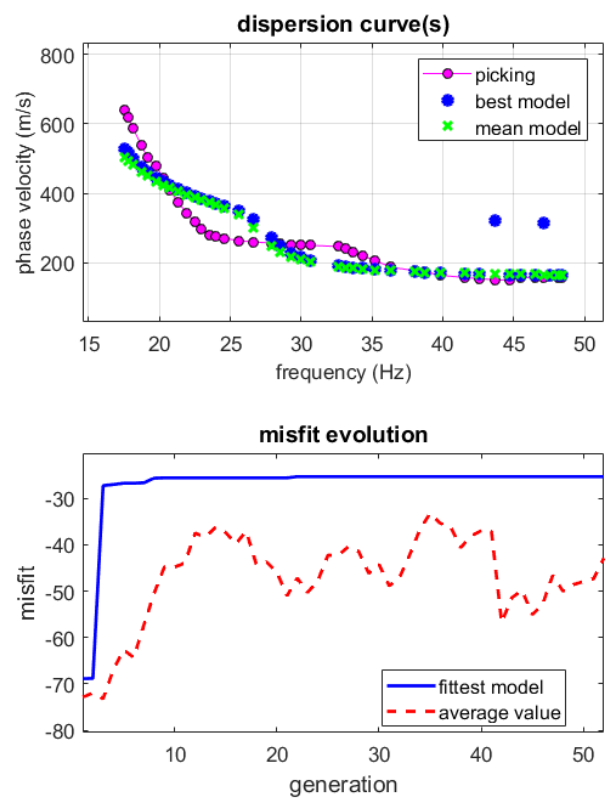
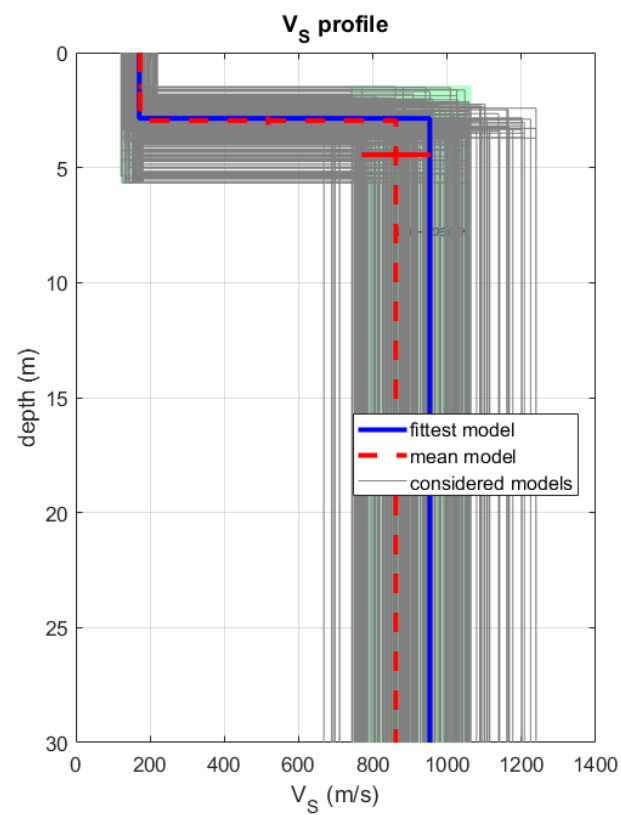


Fig. 17 - Spettro di velocità base sismica con picking.

L'elaborazione del sismogramma ha consentito di estrapolare lo spettro di velocità (fig. 17) dal quale si è risalito tramite picking alla curva di dispersione che consente di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.



www.winmasw.com



dispersion curve: Ottati 3.cdp
 V_{s30} & V_{sE} (best model): 664 171 m/s
 V_{s30} & V_{sE} (mean model): 619 173 m/s

Figura 18: Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati

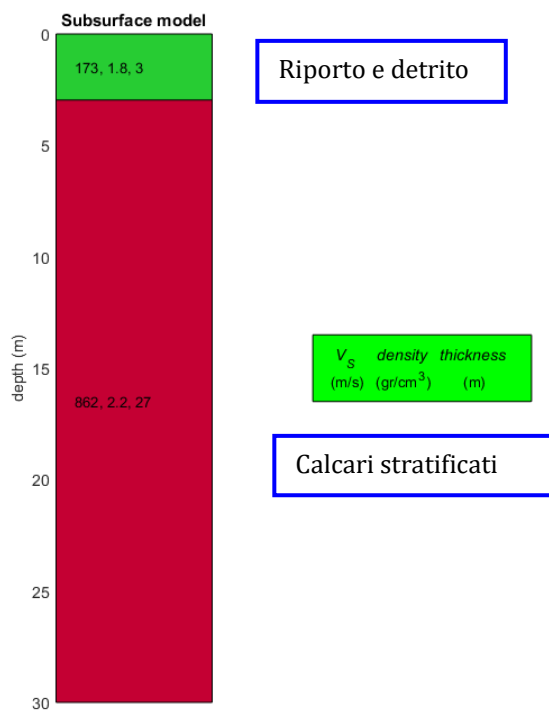


Figura 19: Modello stratigrafico su base sismica

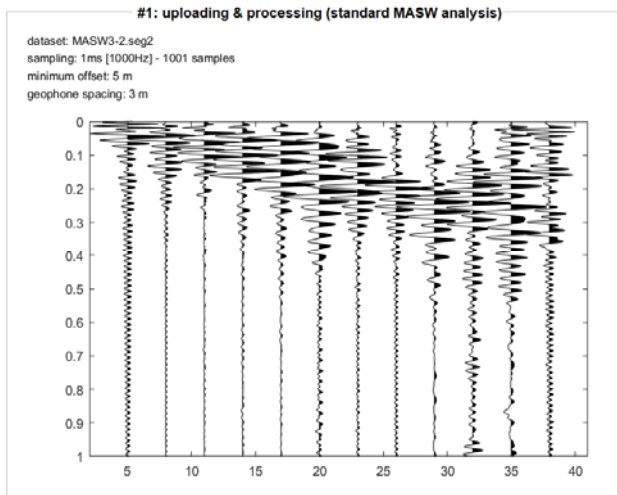
MASW 3

Fig. 20- Sismogramma ZVF (onde Rayleigh)

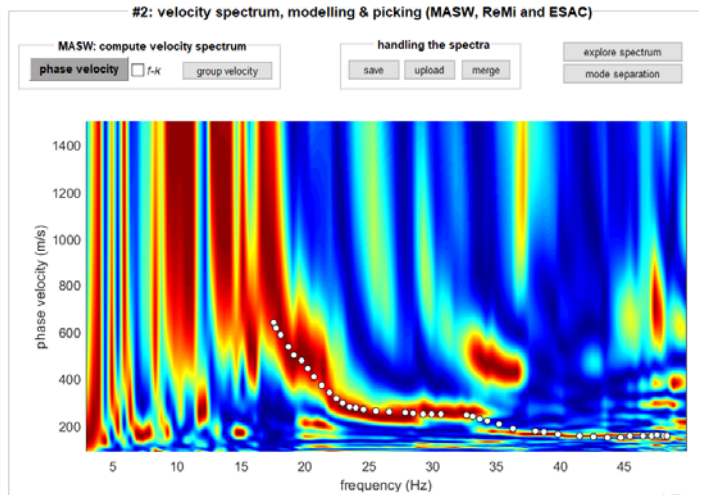
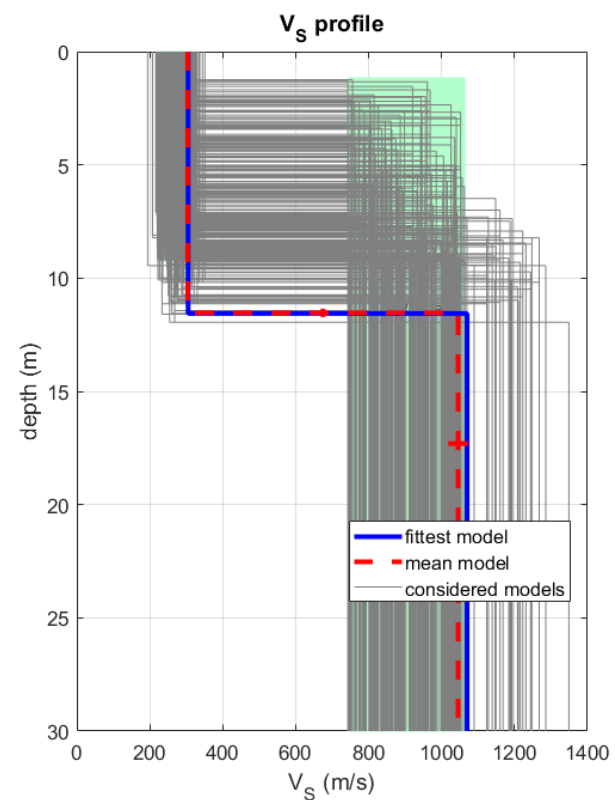
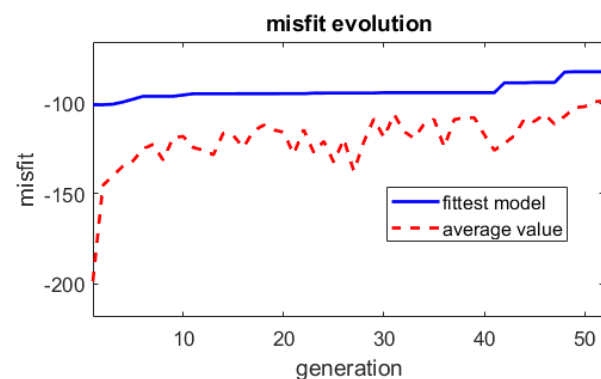
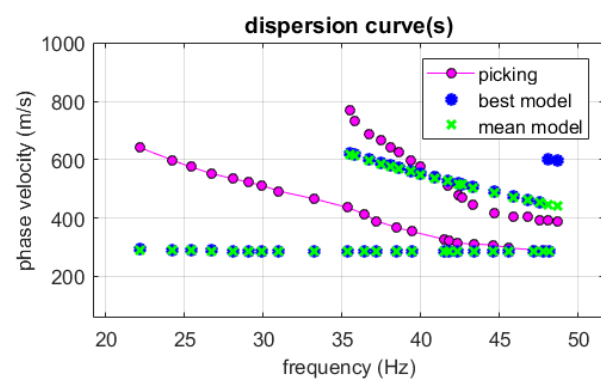


Fig. 21 - Spettro di velocità base sismica con picking.

L'elaborazione del sismogramma ha consentito di estrapolare lo spettro di velocità (fig. 21) dal quale si è risalito tramite picking alla curva di dispersione che consente di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.



dispersion curve: Ottati 2.cdp
 V_{s30} & V_{sE} (best model): 544 305 m/s
 V_{s30} & V_{sE} (mean model): 539 304 m/s

Figura 22 - Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati

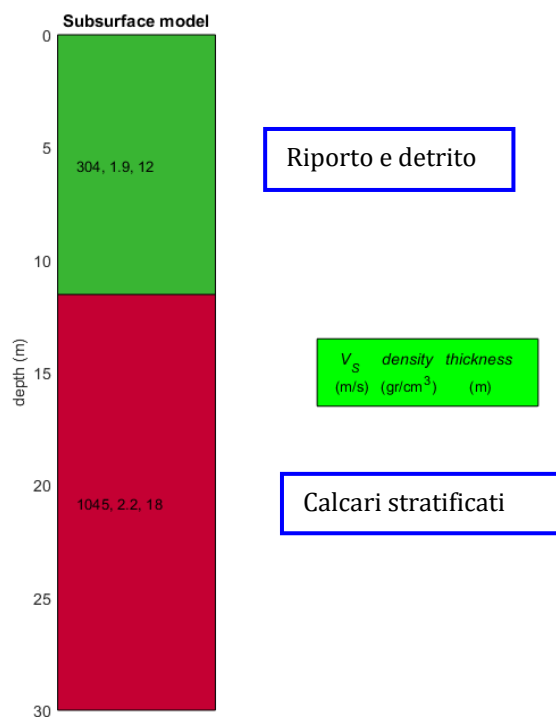


Figura 23: Modello stratigrafico su base sismica

6 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Dove

- h_i spessore dell' i -esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;
- N numero di strati;
- **H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.**

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella espressione precedente e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Trovandoci nel caso specifico nella condizione stratigrafica di substrato sismico posto a profondità superiore ai 30 metri la categoria di sottosuolo viene calcolata riferendoci ai valori di velocità delle onde di taglio mediate, sui primi 30 metri di terreno (V_{S30}).

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, definiscono una serie di categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (tab.2).

Categoria di suolo	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab. 2 – Categorie di Suoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018)

<i>Prospezione sismica</i>	<i>$V_{S,eq}$ (m/s)</i>	<i>Categoria Suoli di Fondazione (0-30m) (D.M. 17/01/2018)</i>
MASW-1	[600-601]	B
MASW -2	[619-664]	B
MASW -3	[539-544]	B

Tab. 3 – Categoria Suolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW effettuata.

Categoria di suolo di fondazione B = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Il Tecnico

Geol. Rocco TASSO
