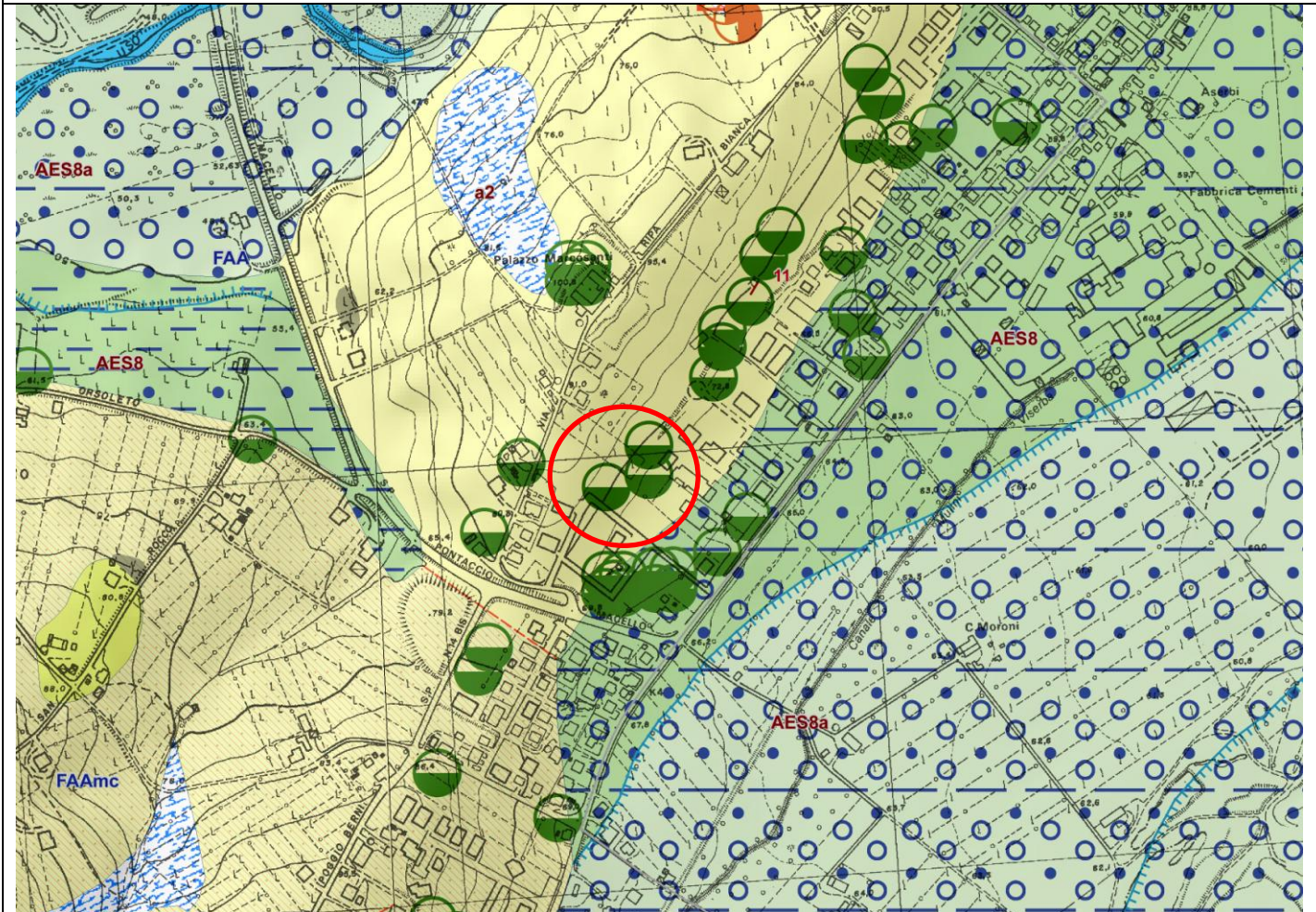


ALLEGATI

ALLEGATO 1

CARTA GEOLOGICA

Scala 1:5.000



Legenda

Province



Comuni



Griglia 10.000



Prove puntuali

prova dinamica generica



ee geomorf./antrop. (10K)

orlo di terrazzo fluviale



Punti di osserv. e misura (10K)



stratificazione dritta

Ambienti deposiz. e litologie (10K)

Ghiaia Sabbiosa Argillosa - Piana alluvionale



Limo Argilloso Sabbioso - Piana alluvionale



Coperture quaternarie (10K)

AES8 - Subsistema di Ravenna



AES8a - Unità di Modena



a2 - Deposito di frana quiescente di tipo indeterminato



Limiti di unità geologiche (10K)

contatto stratigrafico o litologico certo

faglia incerta

limite di natura incerta

Affioramenti (aree) (10K)

affioramento

unità geologiche (10K)

FAA - Argille Azzurre

FAAmc - Argille Azzurre - litofacies delle mame di Corpolò

ALLEGATO 2
UBICAZIONE INDAGINE GEOGNOSTICA
Scala 1:5000



LEGENDA: — LINEA SISMICA MASW ● PROVE PENETROMETRICHE CPT — SEZIONE VERIFICA STABILITA'

ALLEGATO 3

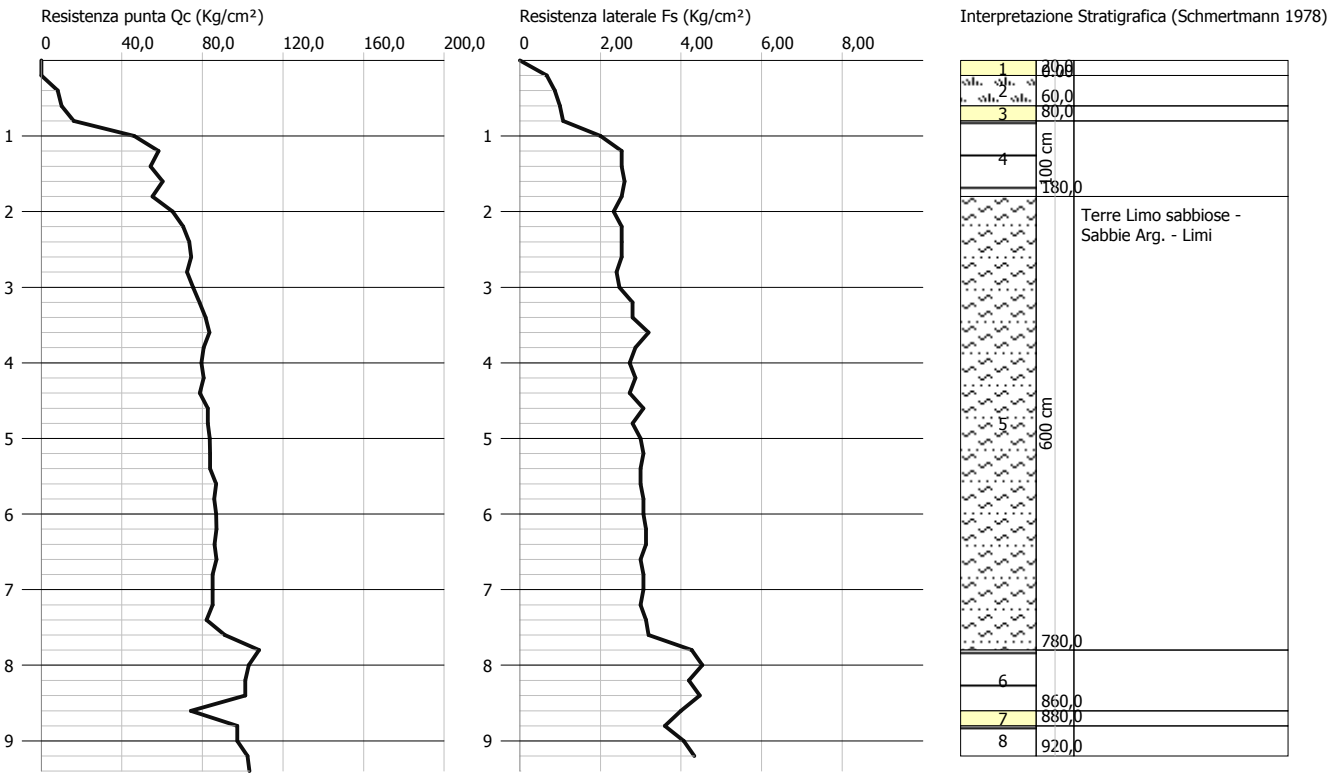
PROVE CPT

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
Strumento utilizzato... PAGANI 73/200
Diagramma Resistenze qc fs

Committente : Dr. GIANLUCA VENTURINI
Cantiere :
Località : POGGIO BERNI

Data :15/12/2017

Scala 1:100



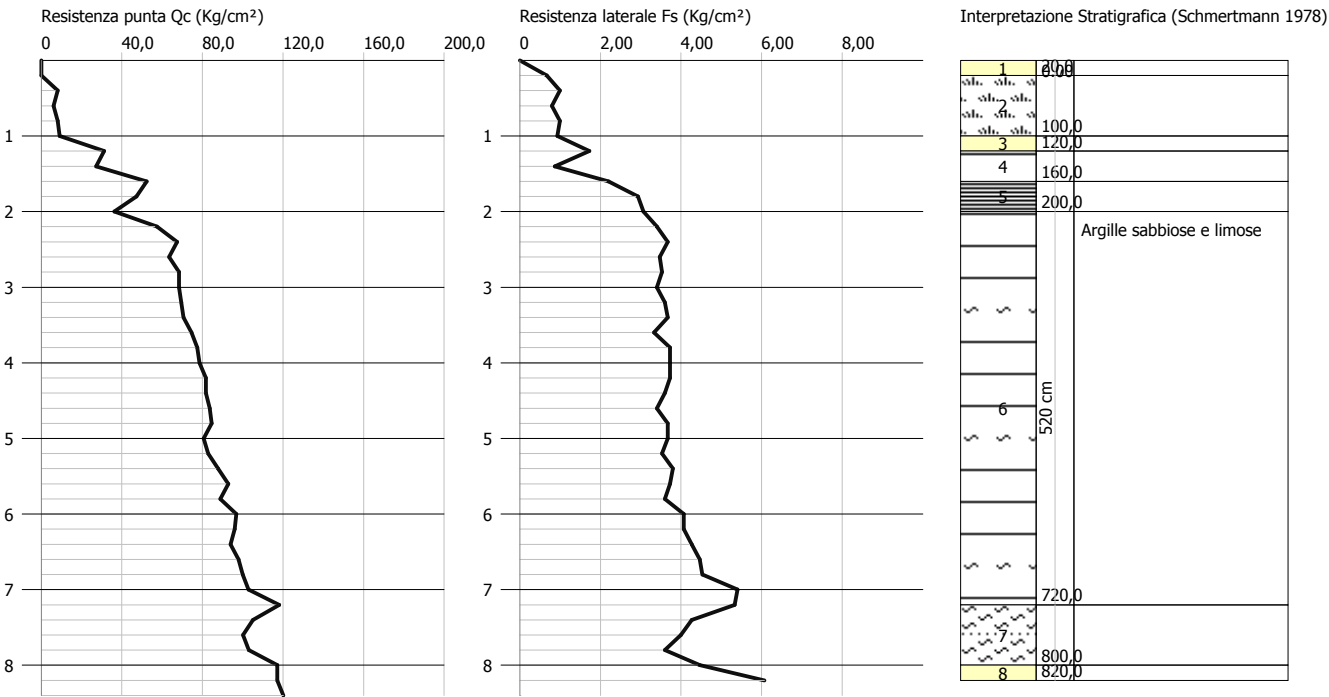
Profondità

Probe CPT - Cone Penetration Nr.2
Strumento utilizzato... PAGANI 73/200
Diagramma Resistenze qc fs

Committente : Dr. GIANLUCA VENTURINI
Cantiere :
Località : POGGIO BERNI

Data :15/12/2017

Scala 1:100



Profondità

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: Dr. GIANLUCA VENTURINI

Cantiere:

Località: POGGIO BERNI

Rif.: G17-249

Caratteristiche Strumentali PAGANI 73/200

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

OPERATORE
RONCI

RESPONSABILE

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...
Prova eseguita in data

PAGANI 73/200
15/12/2017

Profondità prova

9,40 mt

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,0	0,0	0,0	0,67	0,0	
0,40	8,0	18,0	8,14	0,87	9,36	10,69
0,60	10,0	23,0	10,14	1,0	10,14	9,86
0,80	16,0	31,0	16,14	1,07	15,08	6,63
1,00	46,0	62,0	46,14	2,0	23,07	4,33
1,20	58,0	88,0	58,28	2,53	23,04	4,34
1,40	54,0	92,0	54,28	2,53	21,45	4,66
1,60	60,0	98,0	60,28	2,6	23,18	4,31
1,80	55,0	94,0	55,28	2,53	21,85	4,58
2,00	65,0	103,0	65,28	2,33	28,02	3,57
2,20	70,0	105,0	70,41	2,53	27,83	3,59
2,40	73,0	111,0	73,41	2,53	29,02	3,45
2,60	74,0	112,0	74,41	2,53	29,41	3,4
2,80	72,0	110,0	72,41	2,4	30,17	3,31
3,00	75,0	111,0	75,41	2,47	30,53	3,28
3,20	78,0	115,0	78,55	2,8	28,05	3,56
3,40	81,0	123,0	81,55	2,8	29,13	3,43
3,60	83,0	125,0	83,55	3,2	26,11	3,83
3,80	80,0	128,0	80,55	2,87	28,07	3,56
4,00	79,0	122,0	79,55	2,73	29,14	3,43
4,20	80,0	121,0	80,69	2,87	28,11	3,56
4,40	78,0	121,0	78,69	2,73	28,82	3,47
4,60	82,0	123,0	82,69	3,07	26,93	3,71
4,80	82,0	128,0	82,69	2,8	29,53	3,39
5,00	83,0	125,0	83,69	3,0	27,9	3,58
5,20	83,0	128,0	83,83	3,07	27,31	3,66
5,40	83,0	129,0	83,83	3,0	27,94	3,58
5,60	86,0	131,0	86,83	3,0	28,94	3,46
5,80	85,0	130,0	85,83	3,07	27,96	3,58
6,00	86,0	132,0	86,83	3,07	28,28	3,54
6,20	86,0	132,0	86,97	3,13	27,79	3,6
6,40	85,0	132,0	85,97	3,13	27,47	3,64
6,60	86,0	133,0	86,97	3,0	28,99	3,45
6,80	84,0	129,0	84,97	3,07	27,68	3,61
7,00	84,0	130,0	84,97	3,07	27,68	3,61
7,20	84,0	130,0	85,1	3,0	28,37	3,53
7,40	81,0	126,0	82,1	3,13	26,23	3,81
7,60	90,0	137,0	91,1	3,2	28,47	3,51
7,80	107,0	155,0	108,1	4,27	25,32	3,95
8,00	102,0	166,0	103,1	4,53	22,76	4,39
8,20	100,0	168,0	101,24	4,2	24,1	4,15
8,40	100,0	163,0	101,24	4,47	22,65	4,42
8,60	73,0	140,0	74,24	4,0	18,56	5,39
8,80	96,0	156,0	97,24	3,6	27,01	3,7
9,00	96,0	150,0	97,24	4,07	23,89	4,19
9,20	101,0	162,0	102,38	4,33	23,64	4,23
9,40	102,0	167,0	103,38	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,20	0,0	0,67	0,0		Stima non eseguibile
0,60	9,14	0,94	1,84	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
0,80	16,14	1,07	1,94	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
1,80	54,85	2,44	2,14	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
7,80	82,23	2,93	2,21	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi

8,60	94,95	4,3	2,23	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
8,80	97,24	3,6	2,24	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
9,20	99,81	4,2	2,24	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 2	0,60	9,14	0,94	0,04	0,04	Begemann	0,65
Strato 3	0,80	16,14	1,07	0,09	0,09	Begemann	1,15
Strato 4	1,80	54,85	2,44	0,22	0,22	Begemann	3,9
Strato 5	7,80	82,23	2,93	0,99	0,99	Begemann	5,8
Strato 6	8,60	94,95	4,3	1,74	1,74	Begemann	6,66
Strato 7	8,80	97,24	3,6	1,85	1,85	Begemann	6,81
Strato 8	9,20	99,81	4,2	1,92	1,92	Begemann	6,99

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 2	0,60	9,14	0,94	0,04	0,04	Metodo generale del modulo Edometrico	41,57
Strato 3	0,80	16,14	1,07	0,09	0,09	Metodo generale del modulo Edometrico	47,93
Strato 4	1,80	54,85	2,44	0,22	0,22	Metodo generale del modulo Edometrico	109,7
Strato 5	7,80	82,23	2,93	0,99	0,99	Metodo generale del modulo Edometrico	164,46
Strato 6	8,60	94,95	4,3	1,74	1,74	Metodo generale del modulo Edometrico	189,9
Strato 7	8,80	97,24	3,6	1,85	1,85	Metodo generale del modulo Edometrico	194,48
Strato 8	9,20	99,81	4,2	1,92	1,92	Metodo generale del modulo Edometrico	199,62

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eu (Kg/cm ²)
--	------------------	--------------------------	--------------------------	---	---	--------------	--------------------------

Strato 2	0,60	9,14	0,94	0,04	0,04	Cancelli 1980	341,37
Strato 3	0,80	16,14	1,07	0,09	0,09	Cancelli 1980	601,76
Strato 4	1,80	54,85	2,44	0,22	0,22	Cancelli 1980	2048,65
Strato 5	7,80	82,23	2,93	0,99	0,99	Cancelli 1980	3046,52
Strato 6	8,60	94,95	4,3	1,74	1,74	Cancelli 1980	3495,31
Strato 7	8,80	97,24	3,6	1,85	1,85	Cancelli 1980	3577,0
Strato 8	9,20	99,81	4,2	1,92	1,92	Cancelli 1980	3670,86

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
Strato 2	0,60	9,14	0,94	0,04	0,04	Imai & Tomauchi	108,22
Strato 3	0,80	16,14	1,07	0,09	0,09	Imai & Tomauchi	153,17
Strato 4	1,80	54,85	2,44	0,22	0,22	Imai & Tomauchi	323,44
Strato 5	7,80	82,23	2,93	0,99	0,99	Imai & Tomauchi	414,23
Strato 6	8,60	94,95	4,3	1,74	1,74	Imai & Tomauchi	452,28
Strato 7	8,80	97,24	3,6	1,85	1,85	Imai & Tomauchi	458,91
Strato 8	9,20	99,81	4,2	1,92	1,92	Imai & Tomauchi	466,29

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 2	0,60	9,14	0,94	0,04	0,04	P.W.Mayne 1991	4,07
Strato 3	0,80	16,14	1,07	0,09	0,09	P.W.Mayne 1991	7,57
Strato 4	1,80	54,85	2,44	0,22	0,22	P.W.Mayne 1991	9
Strato 5	7,80	82,23	2,93	0,99	0,99	P.W.Mayne 1991	9
Strato 6	8,60	94,95	4,3	1,74	1,74	P.W.Mayne 1991	9
Strato 7	8,80	97,24	3,6	1,85	1,85	P.W.Mayne 1991	9
Strato 8	9,20	99,81	4,2	1,92	1,92	P.W.Mayne 1991	9

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 2	0,60	9,14	0,94	0,04	0,04	Meyerhof	1,84
Strato 3	0,80	16,14	1,07	0,09	0,09	Meyerhof	1,94
Strato 4	1,80	54,85	2,44	0,22	0,22	Meyerhof	2,14
Strato 5	7,80	82,23	2,93	0,99	0,99	Meyerhof	2,21
Strato 6	8,60	94,95	4,3	1,74	1,74	Meyerhof	2,23
Strato 7	8,80	97,24	3,6	1,85	1,85	Meyerhof	2,24
Strato 8	9,20	99,81	4,2	1,92	1,92	Meyerhof	2,24

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	C	Crm
Strato 4	1,80	54,85	2,44	0,22	0,22	0,1	0,01
Strato 5	7,80	82,23	2,93	0,99	0,99	0,1	0,01
Strato 6	8,60	94,95	4,3	1,74	1,74	0,09	0,01
Strato 7	8,80	97,24	3,6	1,85	1,85	0,09	0,01
Strato 8	9,20	99,81	4,2	1,92	1,92	0,09	0,01

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 2	0,60	9,14	0,94	0,04	0,04	Meyerhof	1,92
Strato 3	0,80	16,14	1,07	0,09	0,09	Meyerhof	2,02
Strato 4	1,80	54,85	2,44	0,22	0,22	Meyerhof	2,22
Strato 5	7,80	82,23	2,93	0,99	0,99	Meyerhof	2,29
Strato 6	8,60	94,95	4,3	1,74	1,74	Meyerhof	2,31
Strato 7	8,80	97,24	3,6	1,85	1,85	Meyerhof	2,32
Strato 8	9,20	99,81	4,2	1,92	1,92	Meyerhof	2,32

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato...

PAGANI 73/200

Prova eseguita in data

15/12/2017

Profondità prova

8,40 mt

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,0	0,0	0,0	0,67	0,0	
0,40	8,0	18,0	8,14	1,0	8,14	12,29
0,60	6,0	21,0	6,14	0,8	7,68	13,03
0,80	8,0	20,0	8,14	1,0	8,14	12,29
1,00	9,0	24,0	9,14	0,93	9,83	10,18
1,20	31,0	45,0	31,28	1,73	18,08	5,53
1,40	27,0	53,0	27,28	0,87	31,36	3,19
1,60	52,0	65,0	52,28	2,2	23,76	4,21
1,80	47,0	80,0	47,28	2,93	16,14	6,2
2,00	36,0	80,0	36,28	3,07	11,82	8,46
2,20	57,0	103,0	57,41	3,4	16,89	5,92
2,40	67,0	118,0	67,41	3,67	18,37	5,44
2,60	63,0	118,0	63,41	3,47	18,27	5,47
2,80	68,0	120,0	68,41	3,53	19,38	5,16
3,00	68,0	121,0	68,41	3,4	20,12	4,97
3,20	69,0	120,0	69,55	3,6	19,32	5,18
3,40	70,0	124,0	70,55	3,67	19,22	5,2
3,60	74,0	129,0	74,55	3,33	22,39	4,47
3,80	77,0	127,0	77,55	3,73	20,79	4,81
4,00	78,0	134,0	78,55	3,73	21,06	4,75
4,20	81,0	137,0	81,69	3,73	21,9	4,57
4,40	81,0	137,0	81,69	3,6	22,69	4,41
4,60	83,0	137,0	83,69	3,4	24,61	4,06
4,80	84,0	135,0	84,69	3,67	23,08	4,33
5,00	80,0	135,0	80,69	3,67	21,99	4,55
5,20	82,0	137,0	82,83	3,53	23,46	4,26
5,40	87,0	140,0	87,83	3,8	23,11	4,33
5,60	92,0	149,0	92,83	3,73	24,89	4,02
5,80	88,0	144,0	88,83	3,6	24,68	4,05

6,00	96,0	150,0	96,83	4,07	23,79	4,2
6,20	95,0	156,0	95,97	4,07	23,58	4,24
6,40	93,0	154,0	93,97	4,27	22,01	4,54
6,60	97,0	161,0	97,97	4,47	21,92	4,56
6,80	99,0	166,0	99,97	4,53	22,07	4,53
7,00	102,0	170,0	102,97	5,4	19,07	5,24
7,20	117,0	198,0	118,1	5,33	22,16	4,51
7,40	104,0	184,0	105,1	4,27	24,61	4,06
7,60	99,0	163,0	100,1	4,0	25,03	4,0
7,80	102,0	162,0	103,1	3,6	28,64	3,49
8,00	116,0	170,0	117,1	4,47	26,2	3,82
8,20	116,0	183,0	117,24	6,07	19,31	5,18
8,40	119,0	210,0	120,24	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,20	0,0	0,67	0,0		Stima non eseguibile
1,00	7,89	0,93	1,81	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
1,20	31,28	1,73	2,05	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
1,60	39,78	1,54	2,08	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
2,00	41,78	3,0	2,09	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
7,20	83,32	3,86	2,21	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
8,00	106,35	4,09	2,25	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
8,20	117,24	6,07	2,27	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 2	1,00	7,89	0,93	0,07	0,07	Begemann	0,56
Strato 3	1,20	31,28	1,73	0,17	0,17	Begemann	2,22
Strato 4	1,60	39,78	1,54	0,23	0,23	Begemann	2,83
Strato 5	2,00	41,78	3,0	0,31	0,31	Begemann	2,96
Strato 6	7,20	83,32	3,86	0,93	0,93	Begemann	5,89
Strato 7	8,00	106,35	4,09	1,59	1,59	Begemann	7,48
Strato 8	8,20	117,24	6,07	1,7	1,7	Begemann	8,25

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 2	1,00	7,89	0,93	0,07	0,07	Metodo generale del modulo Edometrico	38,11
Strato 3	1,20	31,28	1,73	0,17	0,17	Metodo generale del	62,56

						modulo Edometrico	
Strato 4	1,60	39,78	1,54	0,23	0,23	Metodo generale del modulo Edometrico	79,56
Strato 5	2,00	41,78	3,0	0,31	0,31	Metodo generale del modulo Edometrico	83,56
Strato 6	7,20	83,32	3,86	0,93	0,93	Metodo generale del modulo Edometrico	166,64
Strato 7	8,00	106,35	4,09	1,59	1,59	Metodo generale del modulo Edometrico	212,7
Strato 8	8,20	117,24	6,07	1,7	1,7	Metodo generale del modulo Edometrico	234,48

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eu (Kg/cm ²)
Strato 2	1,00	7,89	0,93	0,07	0,07	Cancelli 1980	293,16
Strato 3	1,20	31,28	1,73	0,17	0,17	Cancelli 1980	1166,8
Strato 4	1,60	39,78	1,54	0,23	0,23	Cancelli 1980	1483,22
Strato 5	2,00	41,78	3,0	0,31	0,31	Cancelli 1980	1555,1
Strato 6	7,20	83,32	3,86	0,93	0,93	Cancelli 1980	3089,73
Strato 7	8,00	106,35	4,09	1,59	1,59	Cancelli 1980	3928,43
Strato 8	8,20	117,24	6,07	1,7	1,7	Cancelli 1980	4332,58

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
Strato 2	1,00	7,89	0,93	0,07	0,07	Imai & Tomauchi	98,92
Strato 3	1,20	31,28	1,73	0,17	0,17	Imai & Tomauchi	229,49
Strato 4	1,60	39,78	1,54	0,23	0,23	Imai & Tomauchi	265,8
Strato 5	2,00	41,78	3,0	0,31	0,31	Imai & Tomauchi	273,89
Strato 6	7,20	83,32	3,86	0,93	0,93	Imai & Tomauchi	417,58
Strato 7	8,00	106,35	4,09	1,59	1,59	Imai & Tomauchi	484,72
Strato 8	8,20	117,24	6,07	1,7	1,7	Imai & Tomauchi	514,47

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 2	1,00	7,89	0,93	0,07	0,07	P.W.Mayne	3,44

						1991	
Strato 3	1,20	31,28	1,73	0,17	0,17	P.W.Mayne 1991	9
Strato 4	1,60	39,78	1,54	0,23	0,23	P.W.Mayne 1991	9
Strato 5	2,00	41,78	3,0	0,31	0,31	P.W.Mayne 1991	9
Strato 6	7,20	83,32	3,86	0,93	0,93	P.W.Mayne 1991	9
Strato 7	8,00	106,35	4,09	1,59	1,59	P.W.Mayne 1991	9
Strato 8	8,20	117,24	6,07	1,7	1,7	P.W.Mayne 1991	9

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 2	1,00	7,89	0,93	0,07	0,07	Meyerhof	1,82
Strato 3	1,20	31,28	1,73	0,17	0,17	Meyerhof	2,05
Strato 4	1,60	39,78	1,54	0,23	0,23	Meyerhof	2,09
Strato 5	2,00	41,78	3,0	0,31	0,31	Meyerhof	2,1
Strato 6	7,20	83,32	3,86	0,93	0,93	Meyerhof	2,21
Strato 7	8,00	106,35	4,09	1,59	1,59	Meyerhof	2,25
Strato 8	8,20	117,24	6,07	1,7	1,7	Meyerhof	2,27

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	C	Crm
Strato 4	1,60	39,78	1,54	0,23	0,23	0,11	0,01
Strato 6	7,20	83,32	3,86	0,93	0,93	0,1	0,01
Strato 7	8,00	106,35	4,09	1,59	1,59	0,09	0,01
Strato 8	8,20	117,24	6,07	1,7	1,7	0,09	0,01

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 2	1,00	7,89	0,93	0,07	0,07	Meyerhof	1,9
Strato 3	1,20	31,28	1,73	0,17	0,17	Meyerhof	2,13
Strato 4	1,60	39,78	1,54	0,23	0,23	Meyerhof	2,17
Strato 5	2,00	41,78	3,0	0,31	0,31	Meyerhof	2,18
Strato 6	7,20	83,32	3,86	0,93	0,93	Meyerhof	2,29
Strato 7	8,00	106,35	4,09	1,59	1,59	Meyerhof	2,33
Strato 8	8,20	117,24	6,07	1,7	1,7	Meyerhof	2,35

ALLEGATO 4

PROVE DI LABORATORIO

**LABORATORIO GEOTECNICO**

del Dr. Geol. M. Mularoni
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000
Cert. SGS n. IT05/1218
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	Dr. GIANLUCA VENTURINI	SONDAGGIO	1
CANTIERE	0,00	CAMPIONE	1
LOCALITA'	POGGIO BERNI	PROFONDITA' da m	1,00
RIF.	G17-249	a m	1,50

Data ricevimento campione	31.01.2018	Verbale accettazione	030/18
Data certificati	19.02.2018	Procedura operativa	

SOMMARIO DELLE CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE

CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE				LIMITI DI ATTERBERG			
Contenuto in acqua	Wn	25,81	%	Limite di liquidità	LL	61	%
Peso di volume umido	γ	2,00	g/cmc	Limite di plasticità	LP	28,5	%
Peso di volume secco	γd	1,59	g/cmc	Limite di ritiro	LR		%
Peso specifico	G		g/cmc	Indice liquido	IL		
Indice dei vuoti	e			Indice plastico	IP	32,5	
Porosità	n		%	Indice di consistenza	IC	1,08	
Umidità di saturazione	Wsat		%	Indice di ritiro	IS		
Grado di saturazione	Sr		%	Grado di attività	A		
Tenore CaCO3			%	Sensibilità	St		
GRANULOMETRIA				RESISTENZA A COMPRESSIONE			
Ciottoli	C		%	Compressione semplice	sc		KPa
Ghiaia	G		%		Deformazione a rottura	ev	
Sabbia	S	3,3	%	PP-VT			
Limo+argilla	L+A		%		da	a	
Limo	L	52,5	%	Pocket penetrometer	PP	> 600	KPa
Argilla	A	44,2	%	Vane Test	VT	> 200	KPa
Coeff. di uniformità							
Classificazione CNR-UNI 10006							
PROVA DI TAGLIO DIRETTO							
Test CD	Angolo di attrito	f ' 24,9	°	Coesione efficace	c' 44		KPa
Test CU	Angolo di attrito	f cu	°	Coesione non drenata	cu		KPa
Test CR	Angolo di attrito	f r	°	Coesione residua	cr		KPa
PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE							
Test CD	Angolo di attrito	f ' °		Coesione efficace	c' °		KPa
Test CU	Angolo di attrito	f cu °		Coesione non drenata	ccu °		KPa
Test CR	Angolo di attrito	f uu °		Coesione non drenata	cuu °		KPa
PROVA EDOMETRICA							
Modulo edometrico	Ed		KPa	Gradino di carico	s		KPa
Coeff. di consolidazione	Cv		cmq/sec	Indice di rigonfiamento	Cs		
Coeff. di compress. edom.	Mv		mq/KN				
Coeff. di permeabilità	K		m/sec	Coeff. di cons. second.	Ca		%

Note:



Lo Sperimentatore
Dr. Marino Mularoni

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Marino Mularoni

**LABORATORIO GEOTECNICO**

del Dr. Geol. M. Mularoni
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000
Cert. SGS n. IT05/1218
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	Dr. GIANLUCA VENTURINI	SONDAGGIO	1
CANTIERE	0,00	CAMPIONE	1
LOCALITA'	POGGIO BERNI	PROFONDITA' da m	1,00
RIF.	G17-249	a m	1,50

Data ricevimento campione	31.01.2018	Numero accettazione	030/18
Data esecuzione prova	05.02.2018	Procedura operativa	IST 06/01

APERTURA E DESCRIZIONE CAMPIONI (ASTM 2488 - AGI 1977)

Contenitore	fustella metallica	Diametro campione	84 mm
Classe di qualità (AGI 1977)	Q5	Lunghezza campione	44 cm

PP		VT		PROGRAMMA PROVE DI LABORATORIO		DESCRIZIONE LITOLOGICA
da	a	da	a			
	> 6		> 2	Volumetria	10 cm	Limo argilloso ed argilla limosa verdastri. Locali concrezioni biancastre sub-millimetriche. Duro, molto duro.
				Aerometria	20 cm	
	> 6		> 2	Limiti di Atterberg	30 cm	
				Taglio Casagrande CD	40 cm	
	> 6		> 2		50 cm	
					60 cm	
					70 cm	
					80 cm	
					90 cm	
					100 cm	

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Certificato n. **030/18.1**
Data certificato **19.02.2018**

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. *Marino Mularoni*

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. *Marino Mularoni*

**LABORATORIO GEOTECNICO**

del Dr. Geol. M. Mularoni
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000
Cert. SGS n. IT05/1218
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	Dr. GIANLUCA VENTURINI	SONDAGGIO	1
CANTIERE		CAMPIONE	1
LOCALITA'	POGGIO BERNI	da m	1,00
RIF.	G17-249	a m	1,50
Data ricevimento campione	31.01.2018	Numero accettazione	030/18
Data esecuzione prova	05.02.018	Procedura operativa	

PARAMETRI CALCOLATI

sulla base dei risultati di prova

DATI MISURATI

Peso di volume naturale	γ	2,00	Mg/m ³
Umidità allo stato naturale	W	25,81	%
Temperatura media delle prove	T	19	°C
Peso specifico dei granuli	γ_r		Mg/m ³

ALTRI VALORI IMPIEGATI PER IL CALCOLO

Peso specifico dell'acqua	δ_w	1,00	Mg/m ³
---------------------------	------------	------	-------------------

PARAMETRI CALCOLATI

peso di volume saturo	γ_w		Mg/m ³
peso di volume secco	γ_d	1,59	Mg/m ³
indice dei vuoti	e		
porosità	n		%
grado di saturazione	S_r		%



Certificato n. **030/18.2**

Data certificato 19.02.2018

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. Marino Mularoni

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Marino Mularoni

**LABORATORIO GEOTECNICO**

del Dr. Geol. M. Mularoni
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000
Cert. SGS n. IT05/1218
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE **Dr. GIANLUCA VENTURINI**
CANTIERE
LOCALITA' **POGGIO BERNI**
RIF. **G17-249**

SONDAGGIO **1**
CAMPIONE **1**
da m **1,00**
a m **1,50**

Data ricevimento campione 31.01.2018
Data esecuzione prova 05.02.018

Numero accettazione 030/18
Procedura operativa IST 06.03

PESO DI VOLUME (UNI CEN ISO/TS 17892-2)

<i>volume (cm³)</i>	<i>peso umido (g)</i>
62,19	124,54
62,19	126,10
62,19	121,77

Peso di volume ρ **2,00** Mg/m³



Certificato n. **030/18.2**

Data certificato 19.02.2018

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. Marino Mularoni

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Marino Mularoni

**LABORATORIO GEOTECNICO**

del Dr. Geol. M. Mularoni
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000
Cert. SGS n. IT05/1218
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE	Dr. GIANLUCA VENTURINI	SONDAGGIO	1
CANTIERE		CAMPIONE	1
LOCALITA'	POGGIO BERNI	da m	1,00
RIF.	G17-249	a m	1,50

Data ricevimento campione	31.01.2018	Numero accettazione	030/18
Data esecuzione prova	05.02.018	Procedura operativa	IST 06.02

UMIDITA' NATURALE (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

<i>peso umido (g)</i>	<i>peso secco (g)</i>
124,54	99,06
126,10	100,23
121,77	96,72

Umidità allo stato naturale **W 25,81 %**



Certificato n. **030/18.2**

Data certificato 19.02.2018

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. Marino Mularoni

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Marino Mularoni

**LABORATORIO GEOTECNICO**

del Dr. Geol. M. Mularoni
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000
Cert. SGS n. IT05/1218
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani
A.L.G.I. n. 56

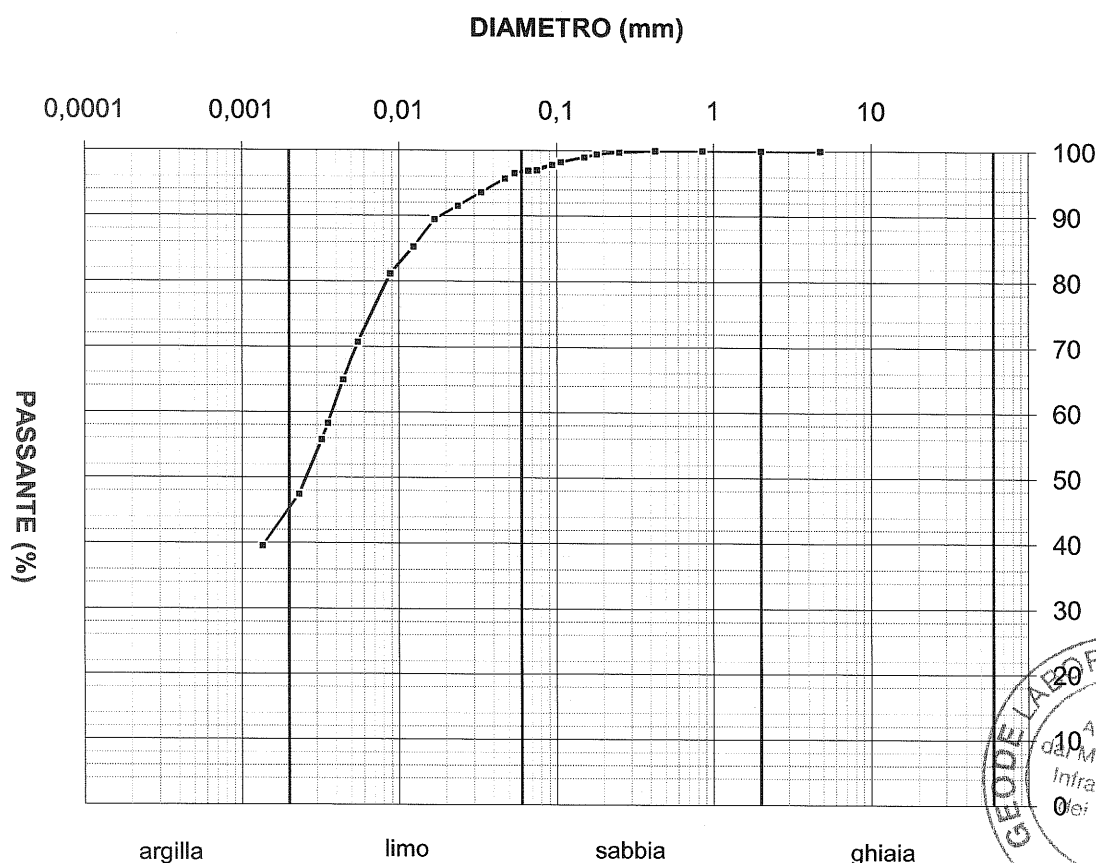
Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE **Dr. GIANLUCA VENTURINI**
CANTIERE
LOCALITA' **POGGIO BERNI**
RIF. **G17-249**

SONDAGGIO **1**
CAMPIONE **1**
PROFONDITA' da m **1,00**
a m **1,50**

Data ricevimento campione 31.01.2018
Data esecuzione prova 05.02.2018

Numero accettazione 030/18
Procedura operativa IST 06.06

ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE (ASTM D 422-63)

Descrizione AGI **LIMO
CON ARGILLA**

d10 (mm)	0,0000	d15 (mm)	0,0000
d60 (mm)	0,0039	d85 (mm)	0,0120

Classificazione UNI-CNR 10006

Coefficiente di uniformità
(d60/d10) **U =**

Certificato n. **030/18.3**

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. Marino Mularoni

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Marino Mularoni

Data certificato 19.02.2018

**LABORATORIO GEOTECNICO**

del Dr. Geol. M. Mularoni
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000
Cert. SGS n. IT05/1218
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE **Dr. GIANLUCA VENTURINI**
CANTIERE
LOCALITA' **POGGIO BERNI**
RIF. **G17-249**

SONDAGGIO **1**
CAMPIONE **1**
PROFONDITA' da m **1,00**
a m **1,50**

Data ricevimento campione 31.01.2018
Data esecuzione prova 05.02.2018

Numero accettazione 030/18
Procedura operativa IST 06.06

ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE (ASTM D 422-63)

peso campione alla sedimentazione (g): 40,00
temperatura di prova (°C): 18,0

densimetro utilizzato: ASTM 151 H
peso specifico: 2,71

tempo (s)	Ø equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
0,25	0,094	28,00	97,80
0,5	0,066	27,80	96,97
0,75	0,054	27,70	96,55
1	0,047	27,50	95,72
2	0,033	27,00	93,64
4	0,024	26,50	91,56
8	0,017	26,00	89,48
15	0,012	25,00	85,32
30	0,009	24,00	81,17
80	0,005	21,50	70,77
125	0,004	20,10	64,95
200	0,004	18,50	58,29
240	0,003	17,90	55,80
480	0,002	15,90	47,48
1440	0,001	14,00	39,58
1440	0,001	14,00	39,58

*correzioni applicate:

$C_m = 0,5$

$C_d = 5$

$C_t = 0,0$

composizione granulometrica	
% ghiaia	0,0
% sabbia	3,3
% limo	52,5
% argilla	44,2



Certificato n. **030/18.3**

Data certificato 19.02.2018

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. Marino Mularoni

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Marino Mularoni

**LABORATORIO GEOTECNICO**

del Dr. Geol. M. Mularoni
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000
Cert. SGS n. IT05/1218
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE **Dr. GIANLUCA VENTURINI**
CANTIERE
LOCALITA' **POGGIO BERNI**
RIF. **G17-249**

SONDAGGIO **1**
CAMPIONE **1**
PROFONDITA' da m **1,00**
a m **1,50**

Data ricevimento campione 31.01.2018
Data esecuzione prova 05.02.2018

Numero accettazione 030/18
Procedura operativa IST 06.06

ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)**SETACCIATURA**

peso terreno setacciato (g): 40

ϕ / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
4,75	0,00	40,00	100,00
2	0,00	40,00	100,00
0,85	0,00	40,00	100,00
0,425	0,00	40,00	100,00
0,25	0,10	39,90	99,75
0,18	0,20	39,80	99,50
0,15	0,40	39,60	99,00
0,106	0,70	39,30	98,25
0,075	1,20	38,80	97,00



Certificato n. **030/18.3**

Data certificato 19.02.2018

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. Marino Mularoni

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Marino Mularoni

**LABORATORIO GEOTECNICO**

del Dr. Geol. M. Mularoni
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000
Cert. SGS n. IT05/1218
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani
A.L.G.I. n. 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE **Dr. GIANLUCA VENTURINI**
CANTIERE **0,00**
LOCALITA' **POGGIO BERNI**
RIF. **G17-249**

SONDAGGIO **1**
CAMPIONE **1**
PROF. da m **1,00**
a m **1,50**

Data ricevimento campione 31.01.2018
Data esecuzione prova 12.02.2018

Numero accettazione 030/18
Procedura operativa IST 06.07

LIMITI DI ATTERBERG (CNR-UNI 10014)

n° di cadute	limite di liquidità			limite di plasticità		
	peso umido (g)	peso secco (g)	umidità (%)	peso umido (g)	peso secco (g)	umidità (%)
23	39,85	24,62	61,86	8,41	6,53	28,79
18	63,19	38,50	64,13	7,34	5,73	28,10
28	60,48	37,81	59,96	7,63	5,93	28,7
33	62,26	44,22	57,12			

limite di ritiro			
volume umido (cm ³)	peso umido (g)	volume secco (cm ³)	peso secco (g)

(Umidità naturale	W	25,81	%)
-------------------	---	-------	----

LIMITE DI LIQUIDITA'	WI	61,00	%
LIMITE DI PLASTICITA'	Wp	28,50	%
LIMITE DI RITIRO	Wr		%
INDICE DI PLASTICITA'	IP	32,50	
INDICE DI LIQUIDITA'	IL	-0,08	
INDICE DI CONSISTENZA	Ic	1,08	



Certificato n. **030/18.4**

Data certificato 19.02.2018

Lo Sperimentatore
Dr. Marino Mularoni

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Marino Mularoni

**LABORATORIO GEOTECNICO**

del Dr. Geol. M. Mularoni
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000
Cert. SGS n. IT05/1218
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani
A.L.G.I. n. 56

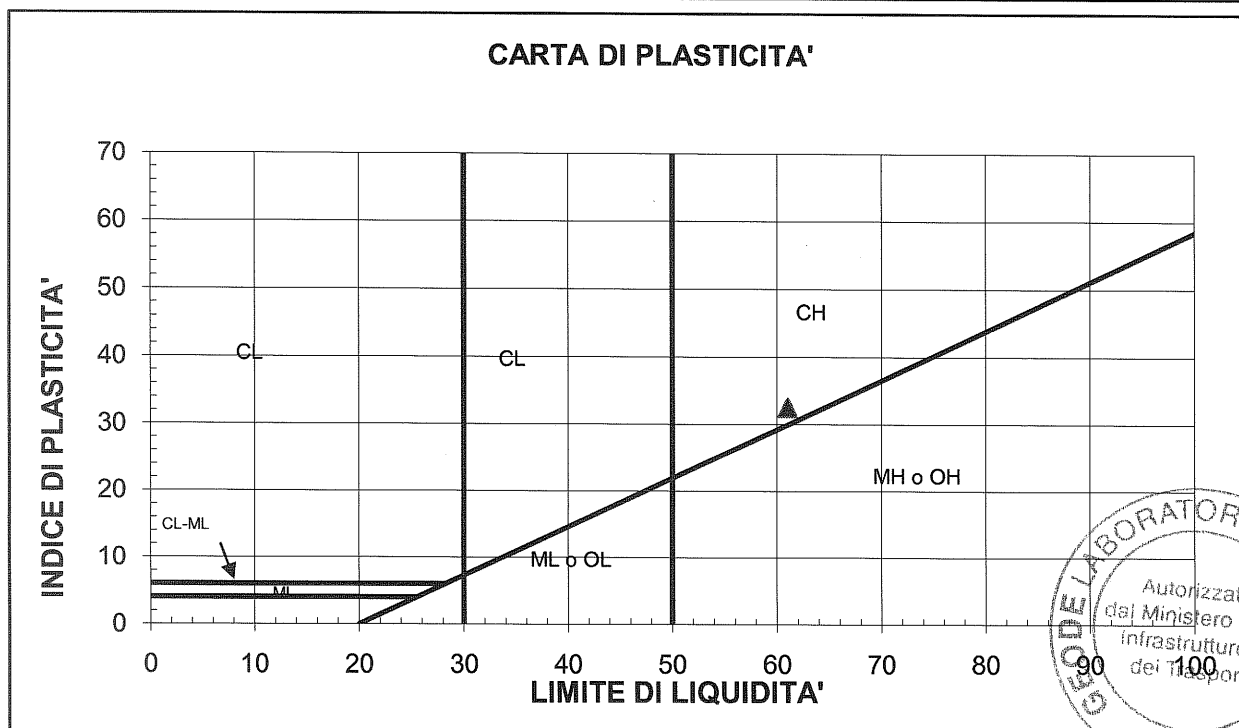
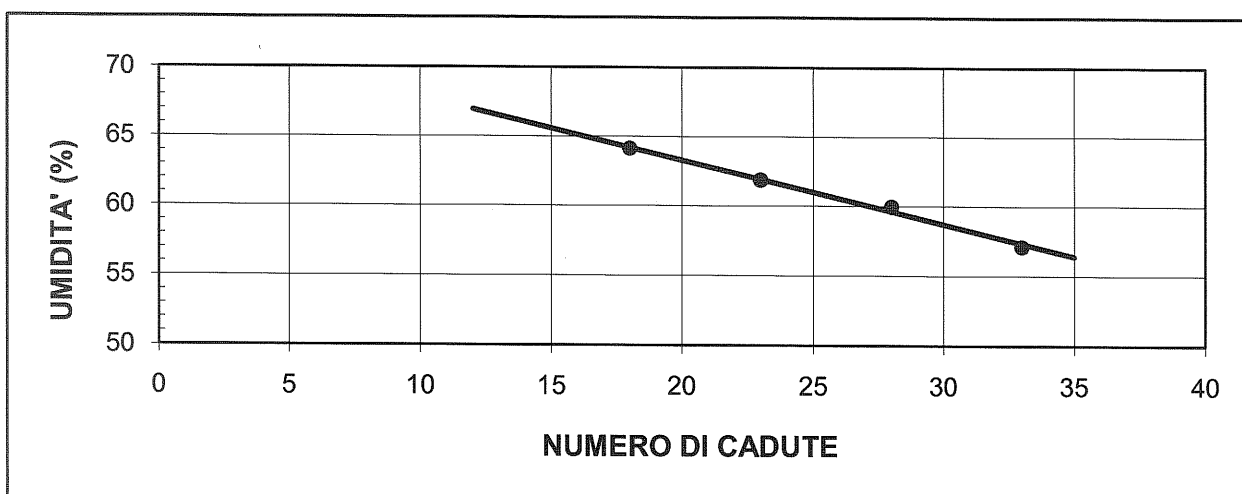
Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE **Dr. GIANLUCA VENTURINI**
CANTIERE **0,00**
LOCALITA' **POGGIO BERNI**
RIF. **G17-249**

SONDAGGIO **1**
CAMPIONE **1**
PROF. da m **1,00**
a m **1,50**

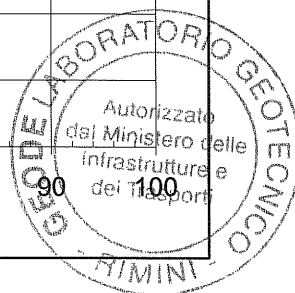
Data ricevimento campione **31.01.2018**
Data esecuzione prova **12.02.2018**

Numero accettazione **030/18**
Procedura operativa **IST 06.07**



M = limi inorganici
C = argille inorganiche
O = limi e argille organiche

L = basso limite di liquidità
H = alto limite di liquidità



Certificato n. **030/18.4**

Data certificato **19.02.2018**

Lo Sperimentatore
Dr. Marino Mularoni

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. Marino Mularoni



LABORATORIO GEOTECNICO
del Dott. Geol. M. Mularoni
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000
Cert. SGS n. IT05/1219
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani A.L.G.I. n° 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE **Dr. GIANLUCA VENTURINI**

CANTIERE

LOCALITA'

RIF.

POGGIO BERNI

G17-249

0

SONDAGGIO **1**

CAMPIONE **1**

PROF. Da m **1,00**

a m. **1,50**

Data ricevimento Campione 31.01.2018

Numero di accettazione 030/18

Data esecuzione Prova 06.02.2018

Procedura operativa IST 06.11

PROVA DI TAGLIO DIRETTO CASAGRANDE C. D. (ASTM 3080-04)

I valori riportati sono quelli relativi alla regressione lineare dei valori massimi della tensione orizzontale (o di quelli al raggiungimento del 15 % di deformazione) La valutazione dei parametri di resistenza al taglio spetta comunque al Professionista.

PIANO τ - σ

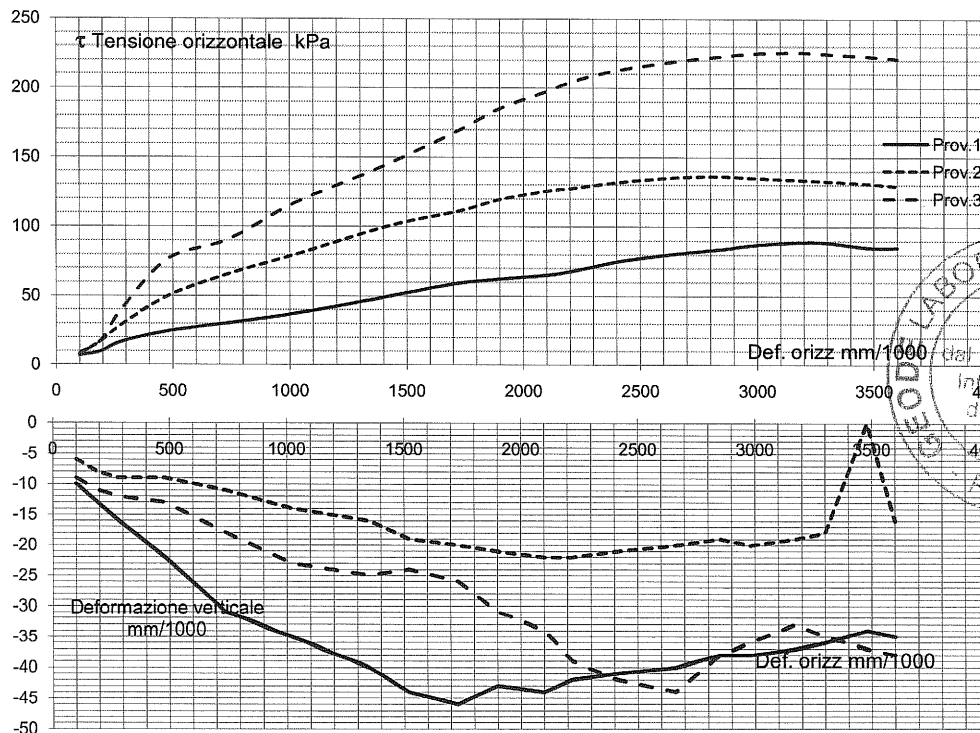
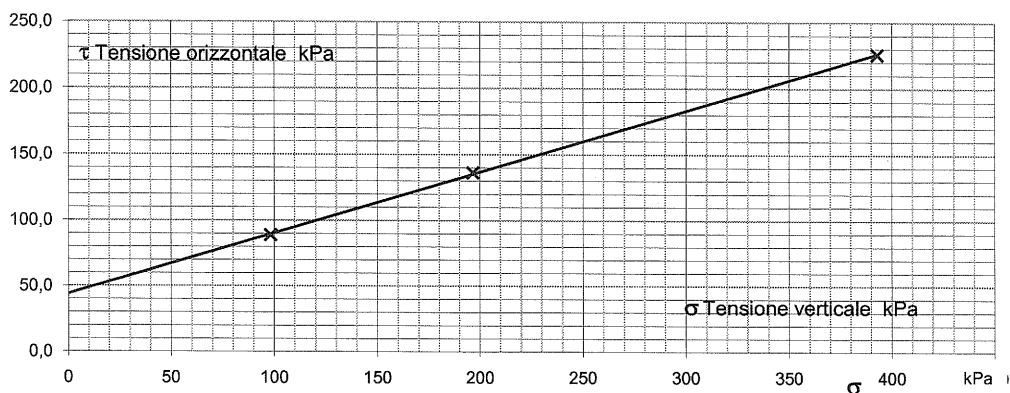
$C' = (\text{kPa})$ **44,0**

Regressione Lineare

$\phi' = (^\circ)$ **24,9**

Scelta valori manuale SI/NO: NO

Sforzo a rottura	89	136	226
Deformazione a rottura	5,283	4,750	5,3



Certificato n. 030/18.5

Data certif. 19.02.2018

Lo Sperimentatore
Dott. Stefano Ronci

IL Direttore
Dott. Marino Mularoni

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE **Dr. GIANLUCA VENTURINI**
CANTIERE
LOCALITA' **POGGIO BERNI**
RIF. **G17-249**

SONDAGGIO **1**
CAMPIONE **1**
PROF. Da m **1,00**
a m. **1,50**

Data ricevimento Campione 31.01.2018 Numero di accettazione 030/18
Data esecuzione Prova 06.02.2018 Procedura operativa IST 06.11

PROVA DI TAGLIO DIRETTO CASAGRANDE C. D. (ASTM 3080-04)

PROVINI (Inizio Prova)	UM	Simbolo	Provino 1	Provino 2	Provino 3	Medie
Condizione provino	/		indisturbato	indisturbato	ricostruito	
Diametro iniziale	mm	ϕ_o	60	60	60	
Altezza iniziale	mm	h_o	22	22	22	
Sezione iniziale	mm ²	A_o	2827	2827	2827	
Volume iniziale	mm ³	V_o	62203	62203	62203	
Peso di volume iniziale	gr/cm ³	γ_o	2,44	2,00	2,03	
Contenuto d'acqua iniziale	%	Wi	56,9	127,4	25,8	
Peso di volume secco	gr/cm ³	γ_d	1,555	1,59	1,61	1,59
Peso specifico dei grani	gr/cm ³	G	2,720	2,720	2,720	2,72
Determinato / assunto						
Indice dei Vuoti	/	e	0,11	0,36	0,34	0,27
Porosità	%	n	10,29	26,40	25,44	20,7
Umidità di saturazione	%	Wsat	6,61	16,58	15,78	13,0
Grado saturazione	%	Sr	860,38	768,49	163,48	597,5

CONSOLOLIDAZIONE - PROVA

Pressione di cella	KPa	σ_v	98	196	393	
Velocità pressa	mm/min	vel	0,006	0,006	0,006	
Altezza inizio prova (post consolidaz)	mm	h	21,45	21,44	21,09	
Tempo per 50 % consolid.	min	t50	0	5	3	
Tempo per arrivare a rottura (stimato)	min	tf	8	272	127	
Deformazione a rottura (stimata)	mm	df		5,0		

FASE DI ROTTURA

Criterio di rottura (1 =Raggiungimento del picco; 2 = Deform. magg. 15 %)				1		
Deformazione a rottura	mm		3,17	2,85	3,17	
Deformazione a rottura	%		5,3	4,8	5,3	
Tempo rottura effettivo	min		615	555	615	
Velocità media a rottura	mm/min		0,0052	0,0051	0,0052	
Tensione di rottura	KPa	τ	89	136	226	



Note: Macchine Utilizzate:
Taglio Casagrande Tecnoctest: Prov.1 TG04; Provino 2 TG05; Provino 3 TG06

Certificato n. 030/18.5

Data certif. 19.02.2018

Lo Sperimentatore
Dott. Stefano Ronci

IL Direttore
Dott. Marino Mularoni

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE **Dr. GIANLUCA VENTURINI**

SONDAGGIO 1

CANTIERE

0	CAMPIONE	1
---	----------	---

LOCALITA' **POGGIO BERNI**

CAMPIONE 1

RIF. **G17-249**

PROF. Da m	1,00
------------	------

a m. 1.50

Data ricevimento Campione 31.01.2018

Numero di accettazione 030/18

Data esecuzione Prova 06.02.2018

Procedura operativa IST 06.11

PROVA DI TAGLIO DIRETTO CASAGRANDE C. D. (ASTM 3080-04)

PROVINO 1

[illegible]

Certificato n. 030/18.5

Data certif. 19.02.2018

Lo Sperimentatore

Dott. Stefano Ronci

IL Direttore

Dott. Marino Mularoni



LABORATORIO GEOTECNICO
del Dott. Geol. M. Mularoni
Via Casalecchio, 39 - 47924 Rimini

Azienda certificata ISO 9001:2000
Cert. SGS n. IT05/1219
Ass. Laboratori Geotecnici Italiani A.L.G.I. n° 56

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014

COMMITTENTE **Dr. GIANLUCA VENTURINI**

SONDAGGIO **1**

CANTIERE

0

CAMPIONE **1**

LOCALITA' **POGGIO BERNI**

PROF. Da m **1,00**

RIF. **G17-249**

a m. **1,50**

Data ricevimento Campione **31.01.2018**

Numero di accettazione **030/18**

Data esecuzione Prova **06.02.2018**

Procedura operativa **IST 06.11**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO CASAGRANDE C. D. (ASTM 3080-04)

PROVINO 2

tempo min	Def. orizz. mm	e %	Def. Vert. mm	Sforzo N	Tensione Orizz kPa
25,0	0,1	0	-0,006	21	7,43
45,0	0,19	0,32	-0,008	48	17,0
65,0	0,28	0,47	-0,009	82	29,0
110	0,48	0,80	-0,009	141	49,9
155	0,74	1,23	-0,011	186	65,8
225	1,02	1,70	-0,014	225	79,6
285	1,35	2,25	-0,016	274	96,9
315	1,52	2,53	-0,019	295	104,3
345	1,73	2,88	-0,020	315	111,4
375	1,9	3,17	-0,021	338	119,5
405	2,1	3,50	-0,022	355	125,6
445	2,22	3,70	-0,022	361	127,7
480	2,41	4,02	-0,021	373	131,9
525	2,66	4,43	-0,020	383	135,5
555	2,85	4,75	-0,019	385	136,2
585	2,98	4,97	-0,020	382	135,1
615	3,17	5,28	-0,019	378	133,7
650	3,3	5,50	-0,018	375	132,6
680	3,48	5,80	-0,017	370	130,9
710	3,6	6,00	-0,016	365	129,1



Certificato n. **030/18.5**

Data certif. **19.02.2018**

Lo Sperimentatore
Dott. Stefano Ronci

IL Direttore
Dott. Marino Mularoni

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Art. 59 DPR 380/2001 D. n. 0000128 del 10/01/2014			
COMMITTENTE	Dr. GIANLUCA VENTURINI	SONDAGGIO	1
CANTIERE	0	CAMPIONE	1
LOCALITA'	POGGIO BERNI	PROF. Da m	1,00
RIF.	G17-249	a m	1 50

Data ricevimento Campione	31.01.2018	Numero di accettazione	030/18
Data esecuzione Prova	06.02.2018	Procedura operativa	IST 06.11

PROVA DI TAGLIO DIRETTO CASAGRANDE C. D. (ASTM 3080-04)

PROVINO 3

[illegible]

Certificato n. 030/18.5

Data certif. 19.02.2018

Lo Sperimentatore
Dott. Stefano Ronci

IL Direttore
Dott. Marino Mularoni

ALLEGATO 5

RELAZIONE GEOFISICA

RELAZIONE GEOFISICA

1 - PREMESSA

La presente relazione riporta le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di un' indagine geofisica consistente in un profilo sismico con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) effettuato presso Via delle Ginestre in Comune di Poggio Torriana (RN), al fine di caratterizzare il profilo del sottosuolo.

Scopo dell'indagine è quello di definire la classificazione sismica del suolo per il calcolo dell'azione sismica di progetto ricostruendo, per l'area in oggetto, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_s - z) e determinando il parametro V_{s30} in accordo con O.P.C.M. 3274 e s.m.i, D.M.14.09.2005 e D.M. 14.01.2008.

Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione geofisica delle stesse.

In Figura 1 si riporta l'ubicazione dell'indagine eseguita.



Fig. 1 – Foto aerea da Google Earth con ubicazione dell' indagine geofisice eseguita.

2 – INDAGINE MASW

2.1 – DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA MASW

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 2) 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 alla direzione di propagazione delle onde che vengono così 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 $0.92 V_s$. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



Fig. 2 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso 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 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 dall'O.P.C.M. 3274/03. 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. 3).

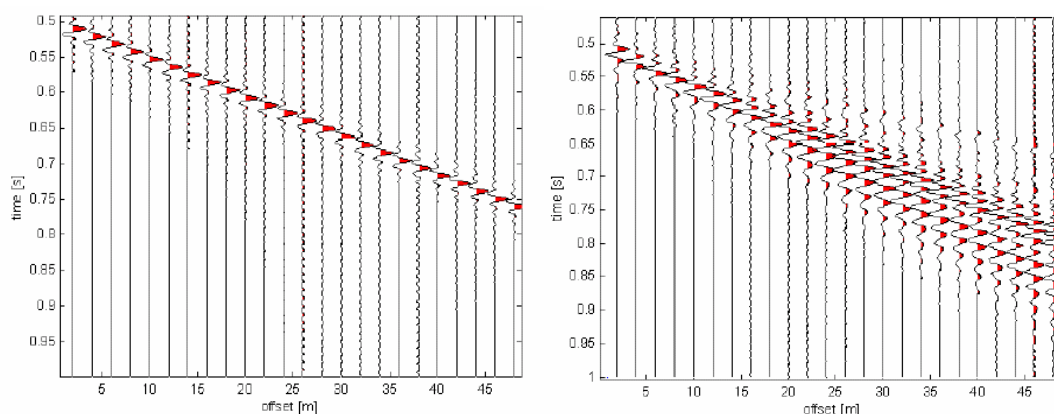


Fig. 3 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è l'inverso della lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite il processo d'inversione (Fig. 4).

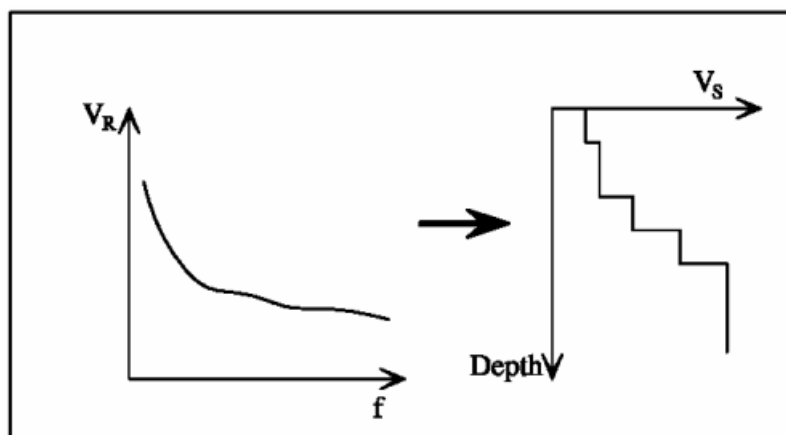


Fig. 4 – Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.

La 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 più onerose della comune sismica a rifrazione e delle prove in foro e hanno un grado di incertezza nella determinazione della $V_s < 20\%$.

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 tecniche: 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.

2.2 – PROSPEZIONI SISMICHE MASW

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh – MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) – è un'efficiente 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 di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. And Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva

delle onde superficiali è correlabile al fatto che le onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali, mentre le onde a bassa frequenza raggiungono gli strati più profondi.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J., 1999). Il metodo utilizzato nell'indagine è quello attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente e sono misurate da uno stendimento lineare di geofoni). Tal e metodo consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenza compreso tra 5Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni nei primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo.

La metodologia MASW non è influenzata dai fenomeni di inversione di velocità (strati soffici compresi tra strati più rigidi) o presenza di falde acquifere superficiali consentendo di individuare il profilo di velocità Vs anche in presenza di contrasti di rigidità fra gli strati del suolo.

Considerando un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, si dimostra che la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e che il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità, sino ad estinguersi ad una profondità circa pari ad una lunghezza d'onda. Ciò vuol dire che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda e che, a diverse lunghezze d'onda corrisponde la stessa velocità di fase (VR). In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, il comportamento delle onde superficiali è differente.

In particolare, la propagazione presenta un comportamento dispersivo (a frequenze diverse corrispondono diverse velocità di fase). Ciò vuol dire che lunghezze d'onda diverse interessano strati diversi ai quali sono associate proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione.

Quindi, nel caso di un mezzo eterogeneo, le onde superficiali non hanno una singola velocità ma una velocità di fase che è funzione della frequenza: tale fenomeno, dipende dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione.

Alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre, alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante, e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità. La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni, infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e, posto di riuscire a misurarla sperimentalmente, può essere utilizzata per un processo inverso avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione, e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche con il metodo SWM è una curva apparente, derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che per i limiti indotti dal campionamento non necessariamente coincide con i singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali può essere suddiviso nelle tre fasi di:

- 1) Acquisizione
- 2) Processing
- 3) Inversione

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici (Fig. 6), generati da una sorgente energizzante artificiale (mazza battente su piastra), lungo uno stendimento rettilineo di geofoni, energizzando ai due estremi dello stendimento. (Fig. 5);

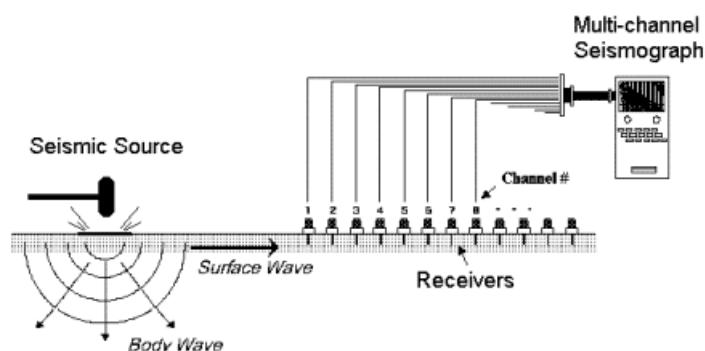


Fig. 5 – Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo MASW.

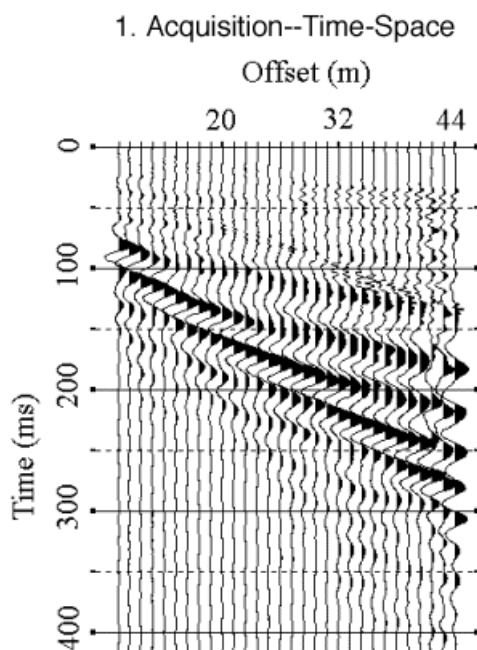


Fig. 6 – Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento.

2. Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione) (Fig. 7);

2. Dispersion Curve Extraction--Frequency-Phase Velocity

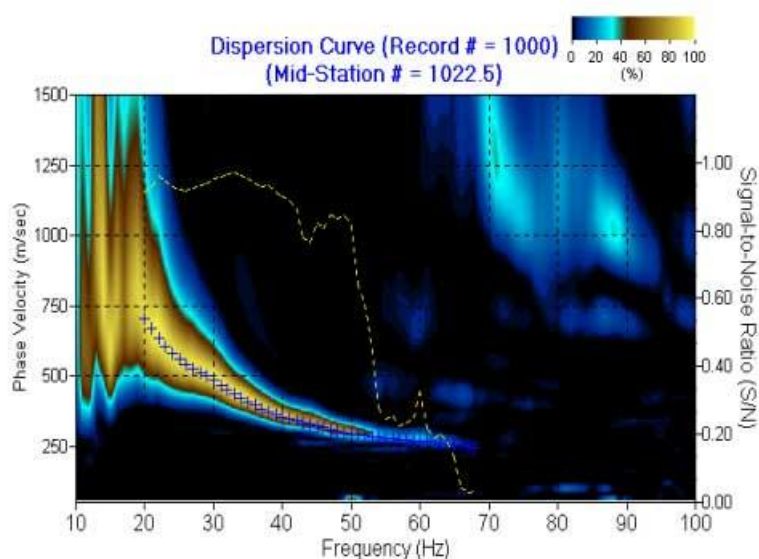


Fig. 7 – Curva di dispersione delle velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh.

I dati acquisiti vengono cioè sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza. Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda).

I dati sismici registrati vengono sottoposti ad una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio-tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e se le caratteristiche del sito sono tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_r , determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_r(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori (V_r, f) in un grafico si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione.

In sintesi dal calcolo della curva di dispersione sperimentale si passa al calcolo della curva di dispersione apparente numerica mediante il metodo Roma (2001) ed al calcolo della dispersione effettiva numerica mediante il metodo Lai-Rix (1998).

3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle V_s (Fig. 8) (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);

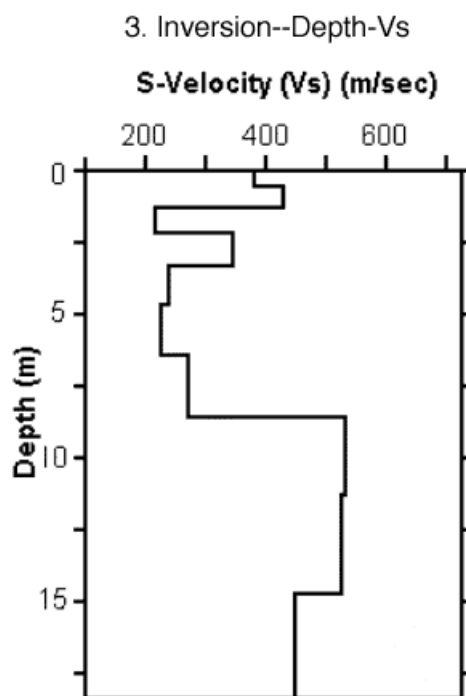


Fig. 8 – Modello di velocità delle onde di taglio (V_s) ottenuto dalla curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso l'inversione di un modello multistrato di terreno. La velocità delle onde di taglio è approssimativamente pari a $1.1V_R$ (V_R =velocità delle onde di Rayleigh) e la profondità è pari a circa 0.4λ (λ =lunghezza d'onda).

La fase di inversione –deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello.

Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura.

Lo scopo è quello di raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato; l'affidabilità del profilo di velocità V_s trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativa tra le due curve.

2.3 – STRUMENTAZIONE, MODALITA' DI ACQUISIZIONE

La strumentazione utilizzata è composta da: un acquisitore a 24 canali della SARA Electronics Instruments a 16 bit (registratore DOREMI), 24 geofoni a frequenza di 4.5 Hz ed un pc.

Come sistema di energizzazione è stato utilizzata una mazza di 8 kg battente su un piattello metallico.

L'indagine MASW è stata realizzata predisponendo una stendimento lineare di 48 m di lunghezza con 24 geofoni a 4.5 Hz equidistanziati di 2.0 m.

Per l'acquisizione dei dati sono state effettuate 4 energizzazioni disposte alle estremità del profilo ad una distanza di 2 e 3.0 m dal primo e dall'ultimo geofono. Per ogni punto di energizzazione sono stati generati 3 impulsi sismici (shots).

I dati sono stati elaborati tramite il software MASW (V. Roma, 2007). L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "f-k" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie. Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze. Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione del modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fittine" con i valori sperimentali.

3 – ELABORAZIONE DATI

3.1 – DATI SPERIMENTALI

Numero di ricevitori.....	24
Numero di campioni temporali	2000
Passo temporale di acquisizione	1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi	24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....	0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a	1999ms

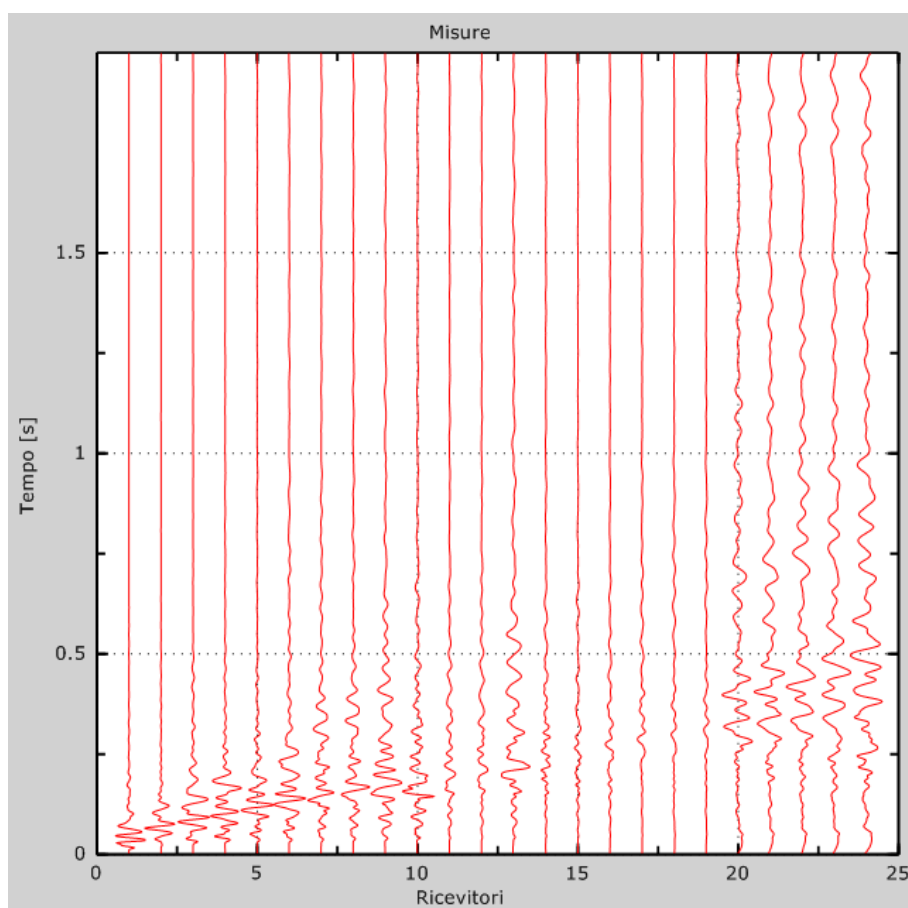


Figura 9: Tracce sperimentali

3.2 – RISULTATI DELLE ANALISI

Frequenza finale 70Hz

Frequenza iniziale 2Hz

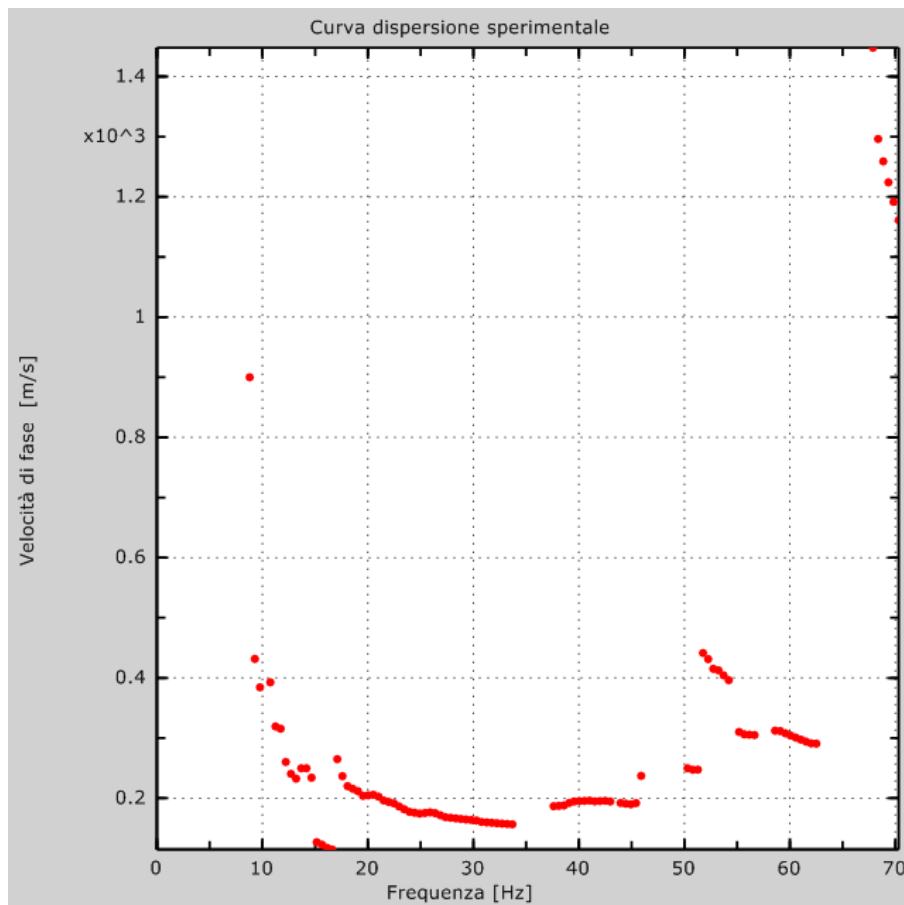


Figura 10: Curva dispersione sperimentale

3.3 – CURVA DI DISPERSIONE

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
9.32068	437.552	384.867	490.238
10.1658	387.501	353.255	421.747
11.011	324.278	279.495	369.061
12.4196	258.421	232.078	284.764
13.9691	255.786	232.078	279.495
15.3776	129.341	108.266	150.415
16.3637	118.803	105.632	131.975

	Indagine geofisica MASW	
--	--------------------------------	--

17.6314	242.615	211.004	274.226
18.4766	218.906	197.832	239.981
19.8852	208.369	197.832	218.906
21.1529	208.369	192.564	224.175
21.8572	197.832	184.661	211.004
22.7024	197.832	184.661	211.004
23.8292	187.295	174.124	200.466
25.2378	184.661	171.489	197.832
26.6464	179.392	158.318	200.466
27.7733	166.221	158.318	174.124
29.1819	171.489	166.221	176.758
30.1679	168.855	155.683	182.026
31.0131	171.489	160.952	182.026
32.14	160.952	153.049	168.855
37.7744	192.564	182.026	203.101
39.3238	195.198	187.295	203.101
40.169	197.832	187.295	208.369
41.7184	203.101	189.929	216.272
42.8453	195.198	179.392	211.004
44.3948	200.466	192.564	208.369
50.3109	247.884	232.078	263.689
51.156	250.518	234.712	266.324
52.0012	371.695	239.981	503.41
52.8464	419.112	350.621	487.604
53.9732	405.941	361.158	450.724
55.241	313.741	292.666	334.815
56.6496	311.106	295.301	326.912
59.7485	313.741	284.764	342.718

60.7345	300.569	292.666	308.472
62.284	297.935	279.495	316.375

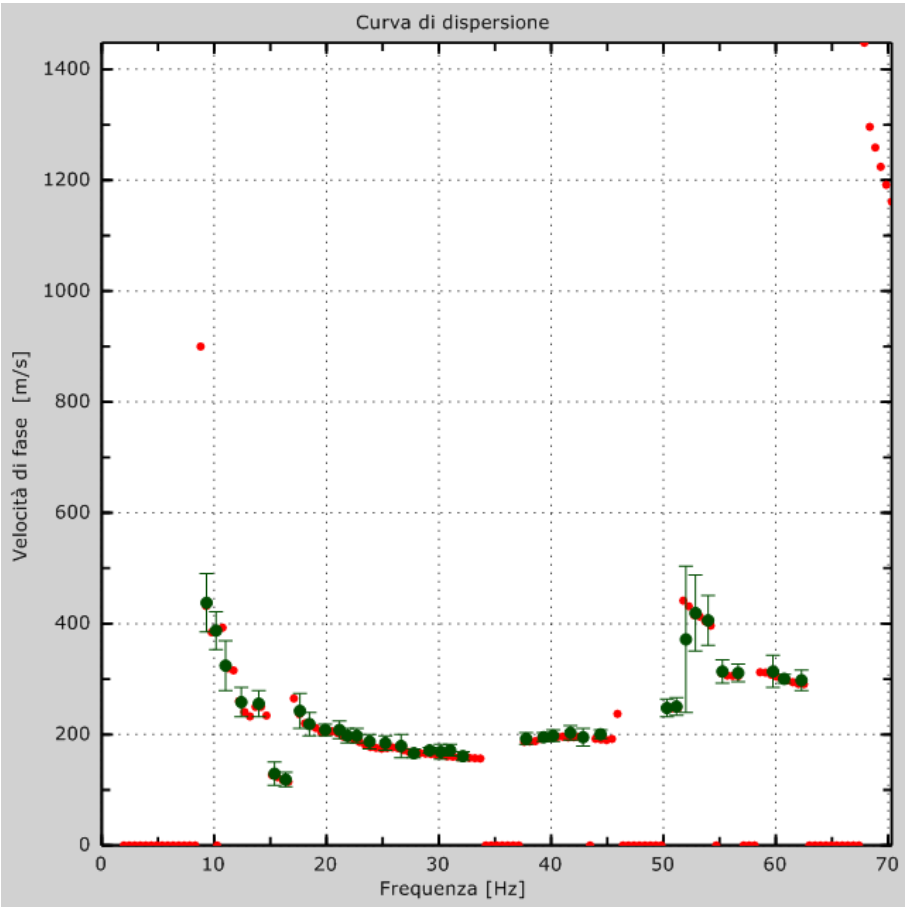


Figura 11: Curva di dispersione

3.4 – PROFILO IN SITO

Numero di strati (escluso semispazio)	2
Spaziatura ricevitori [m]	2m
Numero ricevitori	24
Numero modi	1
Numero iterazioni	4
Massimo errore [%]	2.000000e-001

Strato 1

h [m]	8
z [m]	-8
Densità [kg/m^3]	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s]	222.74
Vp [m/s]	355.14
Vs min [m/s]	111.37
Vs max [m/s]	445.48

Falda non presente nello strato

Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s]217.475

Strato 2

h [m]0

z [m] -∞

Densità [kg/m³]1800

Poisson0.2

Vs [m/s]486.17

Vp [m/s]1217.73

Vs min [m/s]243.08

Vs max [m/s]972.34

Falda non presente nello strato

Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s]745.702

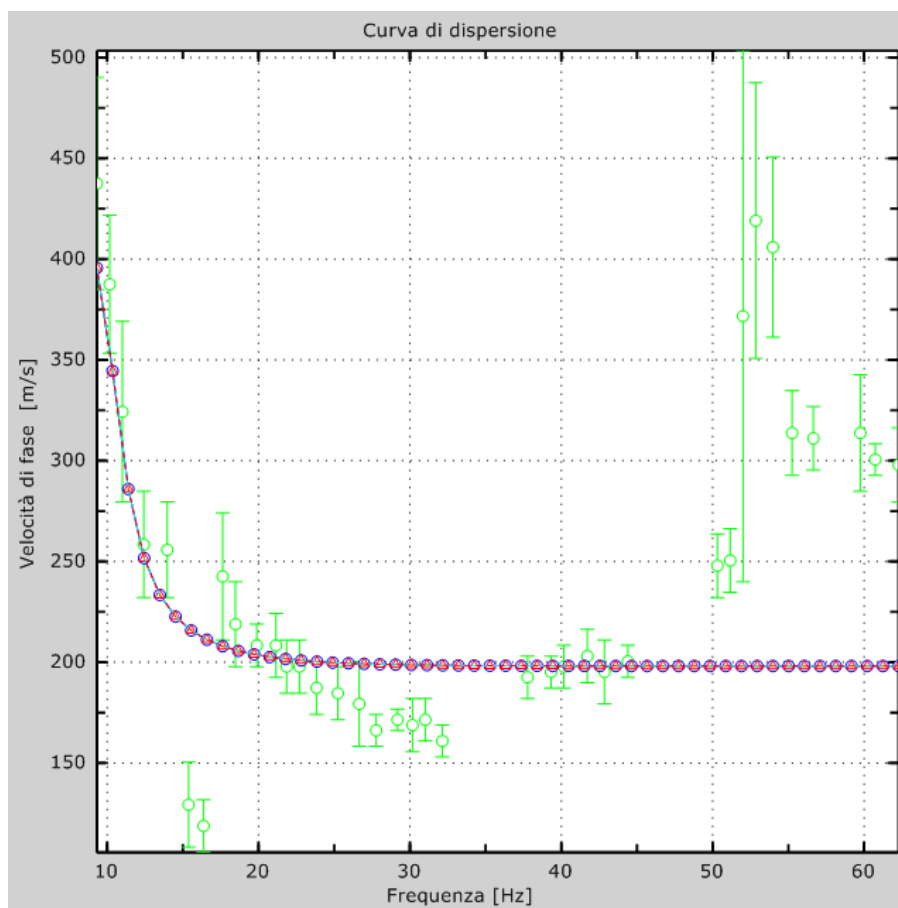


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

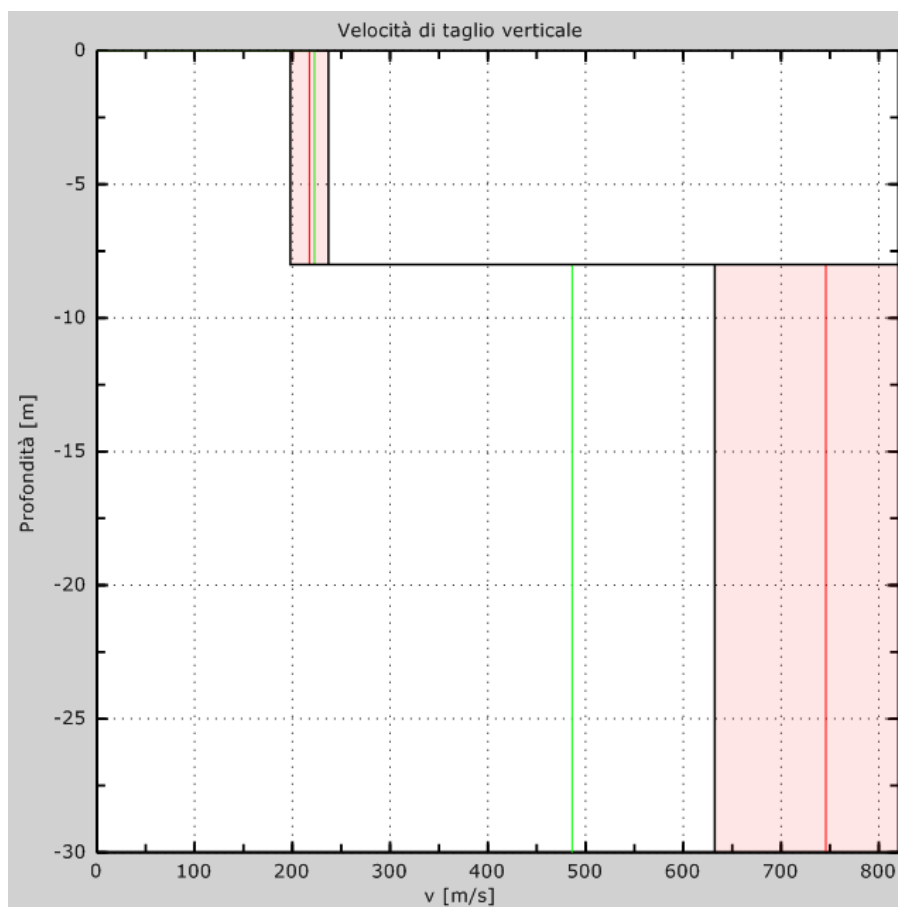


Figura 5: Velocità

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 48 m):

Modello 1			
Strato	Spessore(m)	V_s (m/s)	Profondità
1	8.0	217.47	8.0
2	∞	745.70	∞

3.5 – RISULTATI FINALI E CALCOLO DELLE V_{s30}

Offset [m].....0

V_{s30} [m/s].....452

La normativa applicata è il DM 14 gennaio 2008

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E o S1 (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.

L'unità geotecnica dello strato rigido è la numero 2.

Tipo di suolo B

Dall'analisi delle indagini geognostiche e dalle indagini geofisiche realizzate risulta che il sottosuolo si presenta fondamentalmente a due strati.

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la “velocità equivalente” di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“*Norme tecniche per le costruzioni*”):

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

dove H_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore (quota iniziale = piano campagna attuale):

Vs30 =452 m/s

a cui corrisponde la **categoria di suolo di fondazione di tipo B** (si veda la tabella seguente).

Appendice

Tipo di suolo

Tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

Tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Tipo C: Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Tipo D: Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT30 < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

Tipo E: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tipo S1: Depositati costituiti da, o contenenti uno strato di almeno 10 m di spessore, argille/limi soffici con un alto indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto d'acqua

Tipo S2: Depositati di terreno liquefacibile o argille sensitive o altri profili di terreno non inclusi nei tipi A, B, C, D, E o S1. Attenzione: la nuova norma classifica come S2 una serie di siti che prima erano classificati come B, C, D, E.

ALLEGATO 6

RELAZIONE DI CALCOLO DELLA VERIFICA DI STABILITA'

RELAZIONE DI CALCOLO

Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;

n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i

$(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;

$(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;

n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;

$(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;

una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

mentre le equazioni a disposizione sono:

Equazioni di equilibrio dei momenti n

Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n

Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n

Equazioni relative al criterio di rottura n

Totale numero di equazioni $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2)-(4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quando si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni.

Metodo di JANBU (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i}{\sum W_i \times \tan \alpha_i} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}$$

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_o F$$

dove f_o è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

K_o : Coefficiente sismico orizzontale

K_v : Coefficiente sismico verticale.

Calcolo coefficienti sismici

Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti K_O e K_V in dipendenza di vari fattori:

$$K_O = \beta_s \times (a_{\max}/g)$$

$$K_V = \pm 0,5 \times K_O$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq S_S \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

S_T (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminare un numero elevato di potenziali superfici. Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1956)

Lat./Long.	44,034694/12,419259
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1

Coefficiente parziale resistenza 1,1
Analisi Condizione drenata
Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi 193,21 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi 328,37 m
Ascissa vertice destro superiore xs 302,91 m
Ordinata vertice destro superiore ys 382,83 m
Passo di ricerca 10,0
Numero di celle lungo x 10,0
Numero di celle lungo y 10,0

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	230,0	5,0
3	287,0	10,0
4	321,0	15,0
5	365,0	20,0
6	421,0	25,0

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	-2,0
2	230,0	3,0
3	287,0	8,0
4	321,0	13,0
5	365,0	18,0
6	421,0	23,0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-2,0
2	230,0	3,0
3	287,0	8,0
4	321,0	13,0
5	365,0	18,0
6	421,0	23,0

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-8,0
2	230,0	-3,0
3	287,0	2,0
4	321,0	7,0
5	365,0	12,0
6	421,0	17,0

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo.

Strato	c (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.25	0.60	15	1790	1860	LIMO ARGILLOSO	
2	0.6	5.54	15	2090	2230		
3	1.60	6.50	19	2150	2260		

G0: Modulo di taglio dinamico a basse deformazioni; G: Modulo di taglio dinamico; Dr: Densità relativa; OCR: Grado di sovraconsolidazione; IP: Indice di plasticità

Strato	G0 (KPa)	G (KPa)	Dr (%)	OCR	IP (%)
1	26000	20000	0	5	32,5
2	58500	45000	0	9	28
3	66300	51000	0	9	25

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si