

COMUNE DI CESENA

AREE DI CINTURA A DESTINAZIONE PREVALENTEMENTE RESIDENZIALE E DI CONNESSIONE DEI MARGINI URBANI - SAN GIORGIO 10 / 02 - AT3 / AT5

R/4

INDAGINE GEOLOGICA, SISMICA ED IDROGEOLOGICA

NOVEMBRE 2013

Committenti:

I.D.S.C. Diocesi Cesena - Sarsina via Giovanni XXIII n.13 - Cesena
Parrocchia di S. Giorgio e Bagnile - via S. Giorgio n.2992 - S. Giorgio di Cesena
Azienda U.S.L. - p.zza Leonardo Sciascia n.111 - Cesena
Lucchi Gilberto - via Francesco Cilea n.320 - Cesena
Sirri Gabriella - via Francesco Cilea n.320 - Cesena
Lucchi Alessandra - via Giovanni Pascoli n.540 - Cesena
Lucchi Beatrice - via Giovanni Pascoli n.550 - Cesena
Della Strada Tino - via Morigi n.55 - S. Giorgio di Cesena
Mazzoni Raffaele - via Montaletto n.3272 - S. Giorgio di Cesena
Eredi Ceccarelli Antonio: Ceccarelli Anna Maria - via A. Romagnoli n.8 - Bologna
Vitali Antonio - via Cerca n.1170 - S. Giorgio di Cesena
Zannoli Romano e Benedetti Sonia - via Zena n.77/1 - Pianoro di Bologna
Zannoli Verardo - via S. Giorgio n.3186 - S. Giorgio di Cesena

Progettisti:

Dott. Ing. Marco Ceredi
Dott. Arch. Francesco Ceredi
Via Chiaramonti, 91 - Cesena
tel+fax 0547.26685 - info@ceredi.net

Dott. Ing. Massimo Frattini
Dott. Arch. Sara Frattini
Galleria Cavour, 3 - Cesena
tel+fax 0547.24049 - ingfrattini@libero.it

INDICE

1. *Normative di Riferimento*
2. *Premessa*
3. *Ubicazione area d'indagine*
4. *Inquadramento morfologico*
5. *Inquadramento geologico*
6. *Indagini eseguite, metodologia ed elaborazione dati*
7. *Stratigrafia dell'area in esame*
8. *Acque di superficie e sotterranee, rischio di alluvionamento dell'area*
9. *Modellazione geotecnica del sito*
10. *Considerazioni sismiche*
11. *Valutazione del rischio di liquefazione dei terreni di fondazione in caso di sisma*
12. *Valutazione capacità portante dei terreni di fondazione*
13. *Conclusioni*

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Decreto Ministeriale 14.01.2008: Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M.14.01.2008. Circolare 2.02.2009.

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n°36 del 27.07.2007

Eurocodice 8 (1998) – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture: parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica - Parte I: Regole Generali. – UNI

Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: progettazione assistita con prove in sito (2002). – UNI

Leggi Regionali in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico

Piano Stralcio dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli

PREMESSA

Il progetto è inerente alla urbanizzazione di due aree a destinazione residenziale con la previsione di realizzare fabbricati per i quali si è ipotizzata una classe d'uso II.

In sostanza la presente relazione, sulla base dei dettami indicati nella norma attuale, è finalizzata a definire l'idoneità geologica e sismica delle due aree, in relazione a quanto previsto nel piano.

UBICAZIONE AREE D'INDAGINE

Le aree in esame, si trovano l'una alla periferia sud e l'altra alla periferia nord dell'abitato di San Giorgio, frazione del comune di Cesena. La prima (sud), di forma rettangolare e di superficie complessiva pari a circa m² 37.800 è limitata su due lati dalla via Parataglio e dal viale della Libertà e sugli altri lati da altra proprietà. La seconda (nord), sempre di forma rettangolare e di superficie pari a circa m²13.000, si trova sul retro del cimitero urbano e presenta l'accesso da via Cerca. Dal punto di vista topografico le due aree sono rilevabili negli allegati stralci di C.T.R, ottenuti dall'originario elemento in scala 1:10.000 (n°255040).

INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

Le aree si trovano in pianura e si sviluppano a quote medie comprese m 15.00 per quella a sud e m 14.00 per quella a nord (le quote sono riferite al livello del mare). La morfologia superficiale di entrambe si presenta sostanzialmente pianeggiante, con modesti avvallamenti, corrispondenti ad alcuni fossi interpoderali diretti da sud a nord.

In zona i processi morfogenetici che hanno modellato il territorio sono principalmente di origine fluviale, processi naturali ai quali in epoca storica si sono aggiunti gli interventi antropici che attraverso il rimodellamento superficiale hanno modificato il reticolo idrografico originario con conseguente influsso sull'ambiente attuale.

Trattandosi di un territorio pianeggiante i lineamenti geomorfologici risultano difficilmente individuabili direttamente sul terreno in quanto presentano dislivelli di entità minima, risultano al contrario chiaramente evidenti osservando le quote topografiche riportate in cartografia, essendo l'altimetria condizionata dall'evoluzione geomorfologica generale. Nel complesso la zona presenta una debole acclività generale (inferiore a 1°) diretta verso NE.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico le due aree sono caratterizzate nel primo sottosuolo da una successione, più o meno lentiforme, di sedimenti argilloso limosi e limosi, raramente sabbiosi. Tali depositi, di età pliocenico-quadernaria, sono ascrivibili ai termini più recenti della sequenza deposizionale superiore (Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, SERS), corrispondente alla più recente fase di forte subsidenza bacinale e quiescenza tettonica relativa iniziata all'incirca $0,45 \div 0,35$ Ma fa (milioni di anni) e tuttora in atto.

In particolare, come riportato nell'allegato stralcio della Carta geologica del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, i terreni interessati dalle opere in progetto risultano appartenenti al seguente termine della successione neogenico-quadernaria del margine appenninico padano:

AES8 - SUBSINTEMA DI RAVENNA: argille, argille limose e limi argillosi di tracimazione fluviale (piana alluvionale). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico. Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsintemi e sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 28 metri. *Pleistocene superiore-Olocene*

Al tetto suoli, variabili da non calcarei a calcarei a basso grado di alterazione. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana.

ALLEGATI

Stralcio di C.T.R. in scala 1:5.000

Stralcio di C.T.R. in scala 1:10.000

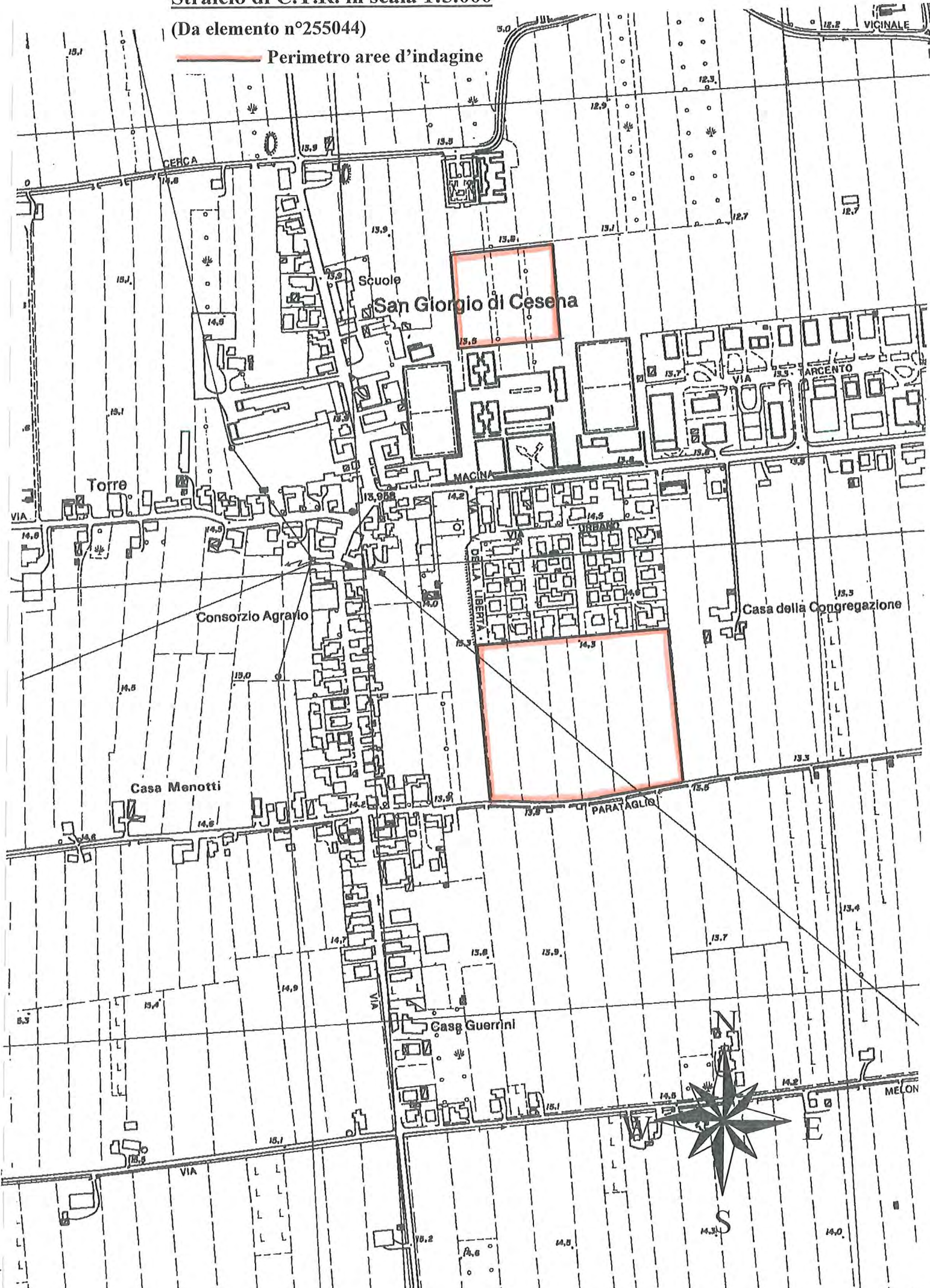
Tavolette I SE e II NE – foglio n°100 "Forlì" in scala 1:25.000

Carta Geologica in scala 1: 10.000

Stralcio di C.T.R. in scala 1:5.000

(Da elemento n°255044)

— Perimetro aree d'indagine





Stralcio di C.T.R in scala 1:10.000


(Da elemento n°2255040)

 Perimetro aree d'indagine



Stralcio di C.T.R. in scala 1:25.000

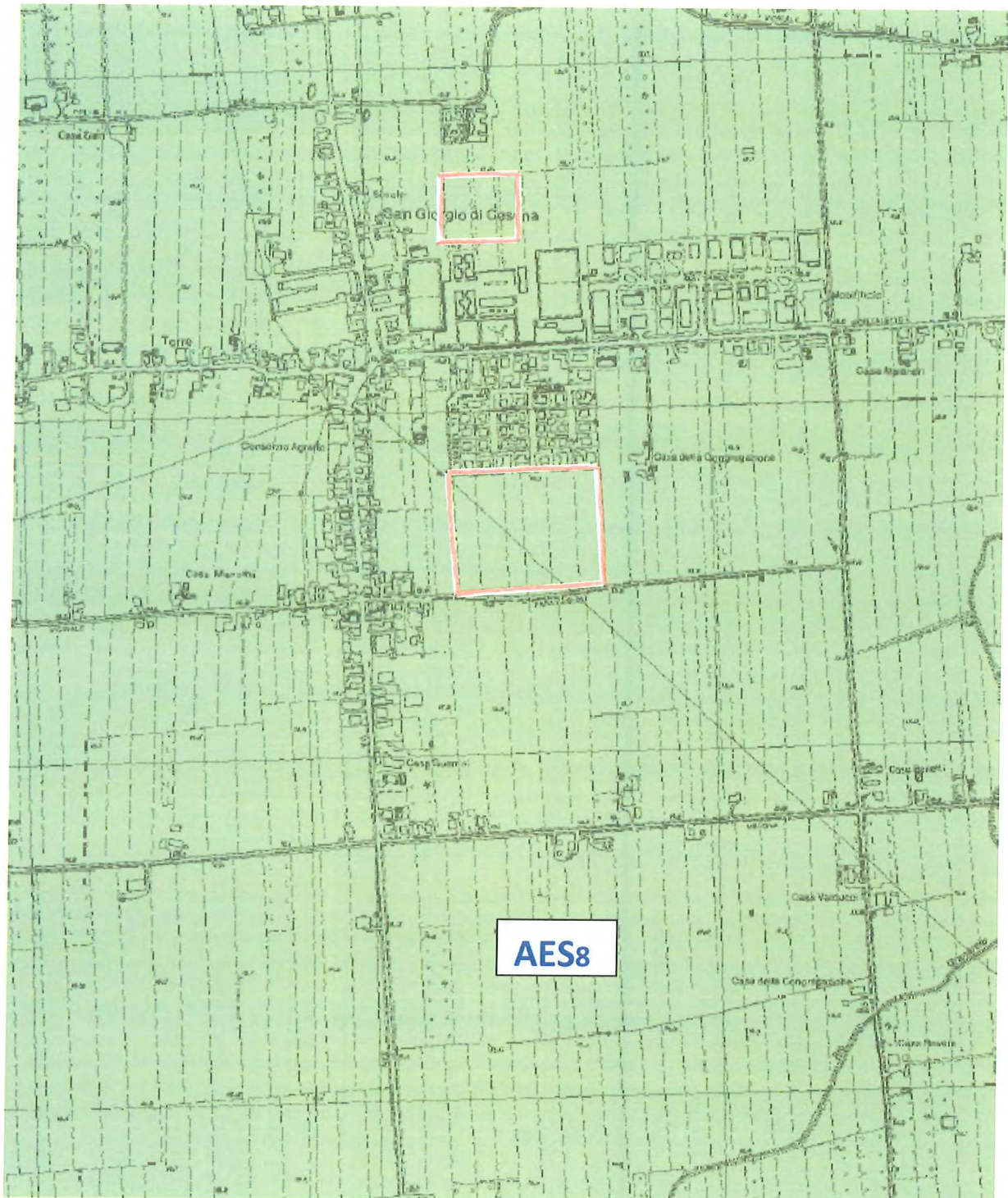
(Da tavolette 100ISE e 100IINE)

 **Aree d'indagine**



Carta Geologica in Scala 1:10.000

— Perimetro aree d'indagine



AES8 Subsistema di Ravenna

INDAGINI ESEGUITE , METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI

Le due aree sono state esplorate complessivamente con cinque (5) penetrometrie statiche di tipo meccanico (CPT), tre in quella a sud e due in quella a nord, prove ubicate come indicato nella planimetria allegata e spinte a profondità comprese fra un minimo di m-15.40 ed un massimo di m-16.40. Si sono inoltre realizzate due indagini geofisiche (MASW), una per ciascuna area, che hanno permesso di definire il valore della velocità media delle onde sismiche nei primi trenta metri di terreno (V_{S30}), necessaria alla definizione sismica della categoria del suolo di fondazione.

Penetrometria statica (CPT)

La penetrometria statica consiste nel valutare la resistenza alla penetrazione di una punta meccanica (CPT) di caratteristiche e dimensioni standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante : $v = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$.

La penetrazione avviene mediante un dispositivo di spinta opportunamente ancorato, che agisce su una doppia batteria di aste (esterne cave e interne piene e coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta. Lo sforzo necessario alla infissione viene registrato, ad intervalli di 20 cm, da una cella tensiometrica collegata ad un trasduttore digitale.

I dati rilevati durante la prova, riportati sugli allegati tabulati, sono i seguenti:

$q_c(Rp)(\text{kg/cm}^2)$ resistenza statica alla punta; $f_s(Rl)(\text{kg/cm}^2)$ resistenza all'attrito laterale locale

I valori di resistenza così elaborati (valori di resistenza del terreno sondato) hanno permesso di ottenere utili informazioni per il riconoscimento dei principali parametri geotecnici (coesione non drenata C_u – angolo di attrito efficace ϕ' – densità relativa D_r – modulo edometrico M_o – moduli di deformazione non drenata E_u e drenata F' – peso di volume Y , ecc.). Le elaborazioni citate, effettuate utilizzando un programma di calcolo automatico, fanno riferimento a esperienze e ricerche condotte in diversi paesi da diversi autori.

Prova MASW

Le prove MASW (di tipo attivo e passivo) sono state realizzate con sismografo a 24 canali modello "DOLANG JEA 24" (vedere metodologia della prova riportata in allegato)

ALLEGATI

Planimetria in scala 1:2.000 con ubicate prove CPT e con tracce sezioni stratigrafiche

Tabulati con dati penetrometrici

N°5 Profili penetrometrici e colonne stratigrafiche

Planimetria in scala 1:2.000

Ubicazione penetrometrie
Traccia sezioni Stratigrafiche



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: Istituto Diocesano per il Sostegno del Clero della Diocesi di Cesena-Sarsina e altri
 Cantiere: PUA AT3 - AT5
 Località: San Giorgio di Cesena

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 04/09/2010

Profondità prova m-15,40

Falda idrica: Quota iniziale = m-2,40

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	31	56	31,138	1,666667	18,6827962634408	5,35251782388079
0,40	27	52	27,138	1,666667	16,2827967434407	6,14145110177611
0,60	32	57	32,138	3,2	10,043125	9,95706017798245
0,80	31	79	31,138	3	10,3793333333333	9,63453015607939
1,00	44	89	44,138	2,6	16,9761538461538	5,89061579591282
1,20	22	61	22,276	2	11,138	8,97827258035554
1,40	18	48	18,276	0,5333334	34,267495716563	2,9182173342088
1,60	13	21	13,276	0,8666667	15,31846094929	6,52807095510696
1,80	19	32	19,276	1,066667	18,0712443527361	5,53365324756173
2,00	13	29	13,276	0,8	16,595	6,02591141910214
2,20	16	28	16,414	0,4	41,035	2,43694407213354
2,40	18	24	18,414	0,9333333	19,7292864189031	5,06860703812317
2,60	12	26	12,414	0,6	20,69	4,83325277912035
2,80	14	23	14,414	0,6666667	21,6209989189501	4,62513320382961
3,00	12	22	12,414	0,6666667	18,62099906895	5,37028113420332
3,20	15	25	15,552	1	15,552	6,43004115226337
3,40	21	36	21,552	0,6666667	32,3279983836001	3,09329389383816
3,60	14	24	14,552	0,7333333	19,8436372656199	5,03939870808136
3,80	16	27	16,552	0,8	20,69	4,83325277912035
4,00	17	29	17,552	0,7333333	23,9345465424794	4,17806118960802
4,20	15	26	15,69	0,9333333	16,810714886097	5,94858699808795
4,40	16	30	16,69	1,066667	15,6468701103531	6,39105452366687
4,60	18	34	18,69	1	18,69	5,35045478865704
4,80	12	27	12,69	0,7333333	17,3045462411157	5,77882821118991
5,00	14	25	14,69	0,6	24,4833333333333	4,08441116405718
5,20	10	19	10,828	0,6	18,0466666666667	5,5411895086812
5,40	14	23	14,828	0,7333333	20,220000919091	4,94559819260858
5,60	13	24	13,828	0,6666667	20,7419989629001	4,82113610066532
5,80	17	27	17,828	0,7333333	24,3109101959505	4,11337951536908
6,00	16	27	16,828	0,7333333	22,9472737703306	4,35781613976705
6,20	19	30	19,966	1,266667	15,7626274308875	6,34412000400681
6,40	23	42	23,966	1,666667	14,3795971240806	6,95429775515313
6,60	31	56	31,966	2,066667	15,4674168600941	6,46520365388225
6,80	34	65	34,966	1,933333	18,0858651872181	5,52917977463822
7,00	37	66	37,966	2,4	15,8191666666667	6,32144550387189
7,20	45	81	46,104	2,666667	17,2889978388753	5,78402524726705
7,40	47	87	48,104	2,866667	16,7804631650624	5,959311076002
7,60	44	87	45,104	2,533333	17,8042128689754	5,61664819084782
7,80	38	76	39,104	2,066667	18,9212872707601	5,28505268003273
8,00	44	75	45,104	2,333333	19,3302884757555	5,17322853848883
8,20	30	65	31,242	2,2	14,2009090909091	7,04180270149158
8,40	36	69	37,242	1,8	20,69	4,83325277912035
8,60	27	54	28,242	1,733333	16,2934646718201	6,13743006869202
8,80	18	44	19,242	0,8	24,0525	4,15757197796487
9,00	20	32	21,242	0,8666667	24,5099990573077	4,07996751718294

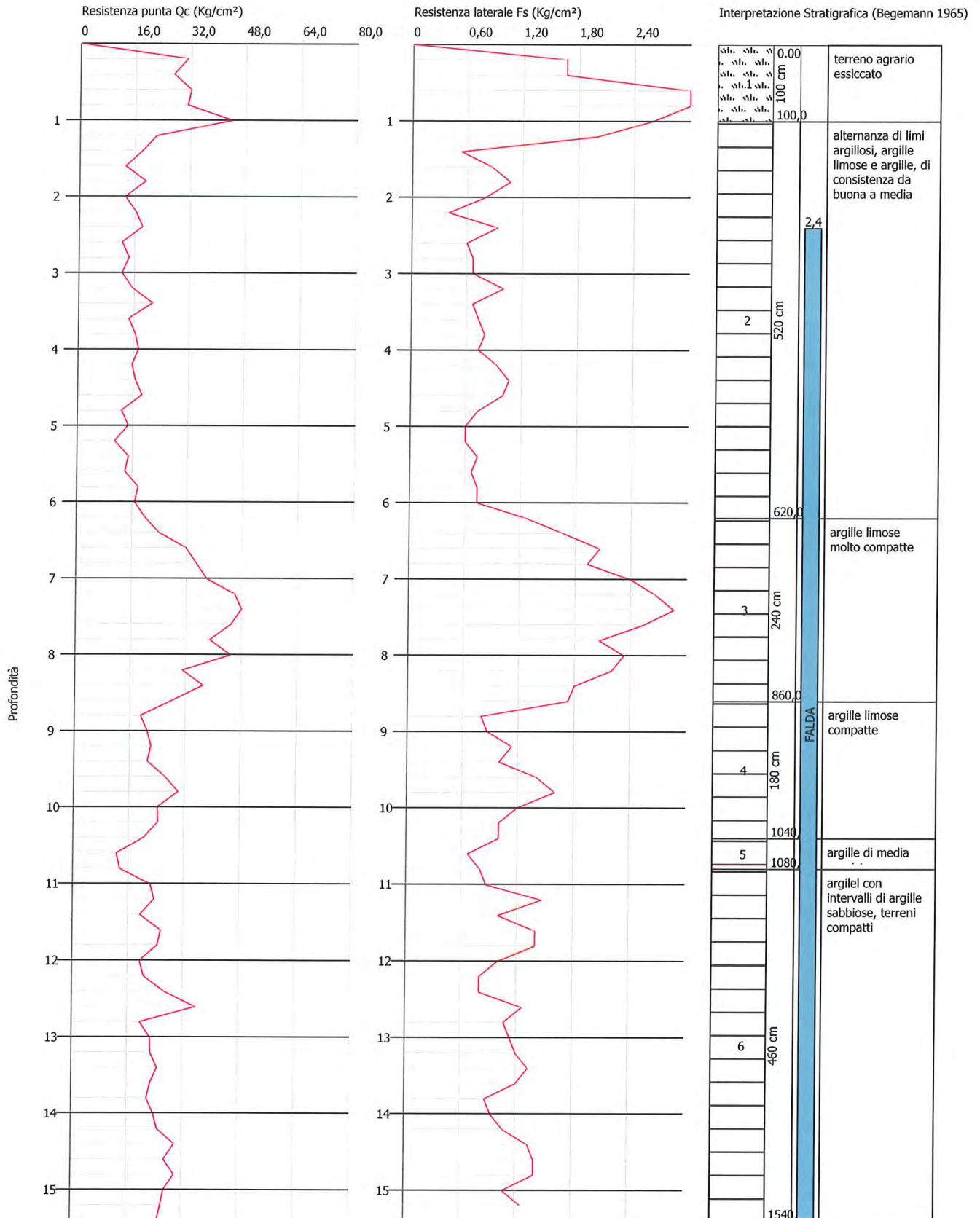
9,20	21	34	22,38	1,133333	19,7470646314896	5,06404378909741
9,40	20	37	21,38	1	21,38	4,67726847521048
9,60	25	40	26,38	1,4	18,8428571428571	5,30705079605762
9,80	29	50	30,38	1,6	18,9875	5,26662277814352
10,00	23	47	24,38	1,2	20,3166666666667	4,92206726825267
10,20	23	41	24,518	1	24,518	4,07863610408679
10,40	19	34	20,518	1	20,518	4,87376937323326
10,60	11	26	12,518	0,6666667	18,7769990611501	5,3256646429142
10,80	12	22	13,518	0,8	16,8975	5,91803521230951
11,00	21	33	22,518	0,8666667	25,9823066929882	3,84877298161471
11,20	22	35	23,656	1,466667	16,1290872433893	6,19997886371322
11,40	18	40	19,656	1	19,656	5,08750508750509
11,60	24	39	25,656	1,4	18,3257142857143	5,45681322107889
11,80	23	44	24,656	1,4	17,6114285714286	5,67813108371188
12,00	18	39	19,656	1	19,656	5,08750508750509
12,20	19	34	20,794	0,8	25,9925	3,8472636337405
12,40	25	37	26,794	0,8	33,4925	2,98574307680824
12,60	34	46	35,794	1,266667	28,2584136162069	3,53876906744147
12,80	18	37	19,794	1,066667	18,5568692009784	5,38884005254117
13,00	21	37	22,794	1,133333	20,1123588565761	4,97206721066947
13,20	21	38	22,932	1,2	19,11	5,23286237571952
13,40	23	41	24,932	1,333333	18,6990046747512	5,34787822878229
13,60	21	41	22,932	1,2	19,11	5,23286237571952
13,80	20	38	21,932	0,8666667	25,3061528728403	3,95160815247127
14,00	22	35	23,932	0,9333333	25,6414294871939	3,89993857596524
14,20	23	37	25,07	1,066667	23,5031176552757	4,25475468687675
14,40	28	44	30,07	1,333333	22,5525056381264	4,43409710675092
14,60	25	45	27,07	1,4	19,3357142857143	5,17177687476912
14,80	28	49	30,07	1,4	21,4785714285714	4,65580312603924
15,00	25	46	27,07	1,066667	25,3781170693384	3,94040265977096
15,20	24	40	26,208	1,266667	20,6905208709156	4,83313110500611
15,40	23	42	25,208	0		0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1,00	33,138	2,426667	2,054931	Coesivo	terreno agrario essiccato
6,20	16,10639	0,8282052	1,927535	Coesivo	alternanza di limi argillosi, argille limose e argille, di consistenza da buona a media
8,60	37,42583	2,188889	2,07023	Coesivo	argille limose molto compatte
10,40	23,38	1,111111	1,988828	Coesivo	argille limose compatte
10,80	13,018	0,7333333	1,883196	Coesivo	argille di media consistenza
15,40	24,74757	1,098551	1,996088	Coesivo	argilati con intervalli di argille sabbiose, terreni compatti

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
 Strumento utilizzato... PAGANI 100 kN
 Diagramma Resistenze qc fs

Committente : Istituto Diocesano per il Sostegno del Clero della Diocesi di Cesena-Sarsina e altri
 Cantiere : PUA AT3 - AT5
 Località : San Giorgio di Cesena
 Data :04/09/2010

Scala 1:72



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: Istituto Diocesano per il Sostegno del Clero della Diocesi di Cesena-Sarsina e altri
 Cantiere: PUA AT3 - AT5
 Località: San Giorgio di Cesena

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN
 Prova eseguita in data: 04/09/2010
 Profondità prova: m-15,40
 Falda idrica: Quota iniziale = m-2,40

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	53	88	53,138	2,333333	22,773431824776	4,39108171176936
0,40	34	69	34,138	3,533333	9,66169902468859	10,3501464643506
0,60	55	108	55,138	4,333333	12,724154824935	7,85906815626247
0,80	35	100	35,138	2,733333	12,8553674213863	7,77885195514827
1,00	22	63	22,138	1,933333	11,4506916294296	8,73309693739272
1,20	20	49	20,276	1	20,276	4,93193923850858
1,40	20	35	20,276	1,266667	16,0073642085884	6,24712467942395
1,60	16	35	16,276	1,066667	15,2587452316421	6,55361882526419
1,80	13	29	13,276	0,666667	19,9139990043001	5,02159310033143
2,00	13	23	13,276	0,5333334	24,8924968884379	4,01727478156071
2,20	11	19	11,414	0,466667	24,4585696815307	4,08854652181531
2,40	13	20	13,414	1,333333	10,0605025151256	9,93986133889966
2,60	10	30	10,414	0,866667	12,0161533839941	8,32213078548108
2,80	17	30	17,414	0,8	21,7675	4,59400482370507
3,00	12	24	12,414	0,8	15,5175	6,44433703882713
3,20	19	31	19,552	0,8	24,44	4,09165302782324
3,40	33	45	33,552	1	33,552	2,98044825941822
3,60	24	39	24,552	0,466667	52,6114248134697	1,90072784294558
3,80	14	21	14,552	0,666667	21,8279989086001	4,58127199010445
4,00	17	27	17,552	0,933333	18,805714957347	5,31753247493163
4,20	17	31	17,69	0,866667	20,4115376764793	4,89918993781798
4,40	14	27	14,69	0,5333334	27,5437465570317	3,63058815520762
4,60	14	22	14,69	0,866667	16,9499993480769	5,89970524166099
4,80	13	26	13,69	0,5333334	25,6687467914067	3,89578816654492
5,00	9	17	9,69	0,4	24,225	4,12796697626419
5,20	9	15	9,828	0,666667	14,7419992629	6,78334045584046
5,40	17	27	17,828	0,866667	20,5707684395858	4,86126710792013
5,60	17	30	17,828	0,933333	19,1014292536225	5,23521034328023
5,80	16	30	16,828	1,066667	15,7762450699234	6,33864392678869
6,00	20	36	20,828	1,266667	16,4431535675912	6,08155847897062
6,20	16	35	16,966	1,133333	14,9700044029425	6,68002475539314
6,40	18	35	18,966	1,133333	16,7347108043267	5,97560371190551
6,60	23	40	23,966	1,533333	15,6300033978268	6,39795126429108
6,80	27	50	27,966	1,6	17,47875	5,72123292569549
7,00	38	62	38,966	1,933333	20,1548310611778	4,96158959092542
7,20	40	69	41,104	2,666667	15,4139980732502	6,48760947839626
7,40	38	78	39,104	2,533333	15,4357915047094	6,47844977495908
7,60	44	82	45,104	2,866667	15,7339516588428	6,35568242284498
7,80	45	88	46,104	2,4	19,21	5,20562207183758
8,00	38	74	39,104	2,533333	15,4357915047094	6,47844977495908

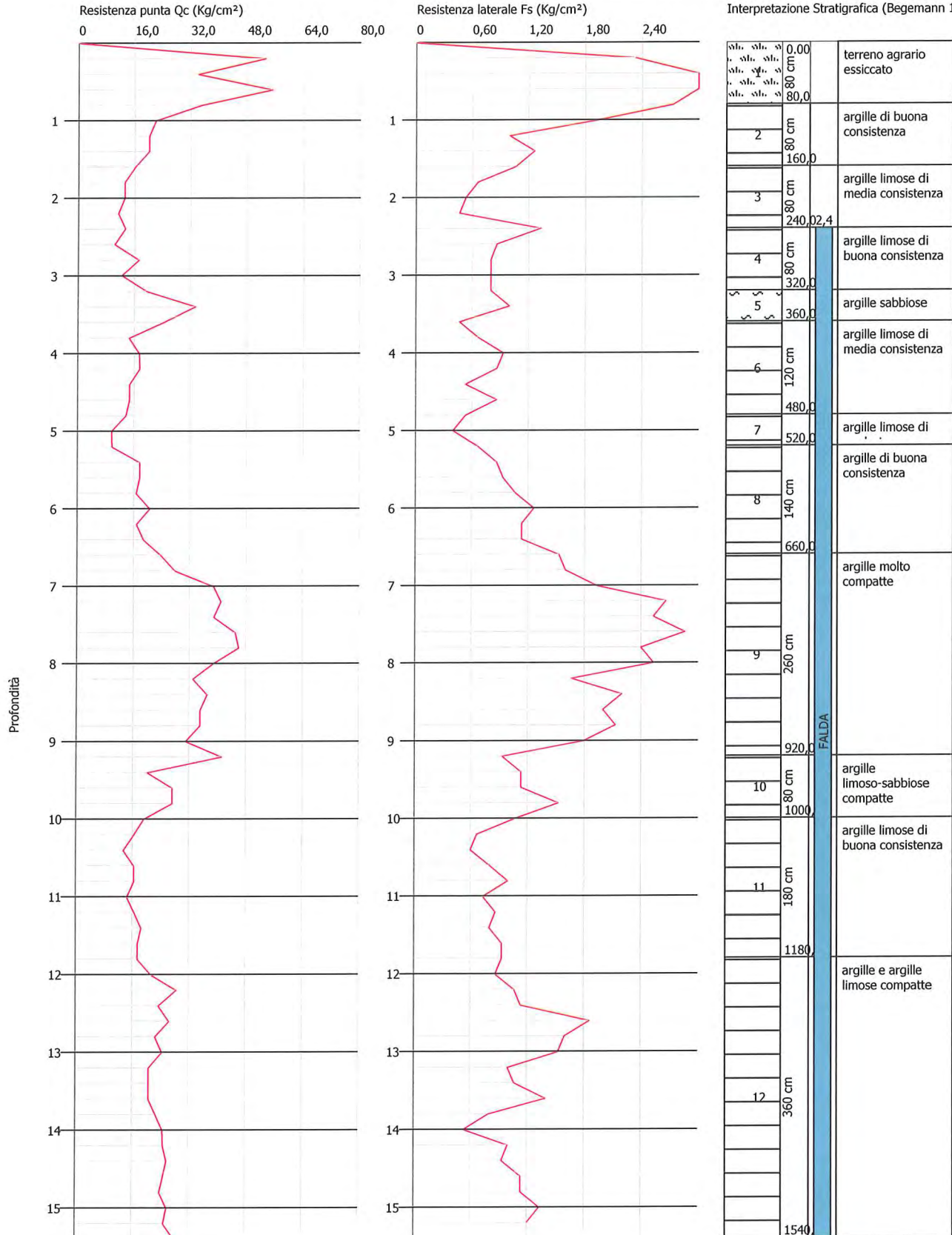
8,20	32	70	33,242	1,666667	19,9451960109608	5,01373864388424
8,40	36	61	37,242	2,2	16,9281818181818	5,9073089522582
8,60	34	67	35,242	2	17,621	5,67504681913626
8,80	34	64	35,242	2,133333	16,5196900812016	6,05338232790421
9,00	30	62	31,242	1,8	17,3566666666667	5,76147493758402
9,20	40	67	41,38	0,9333333	44,3357158691327	2,25551788303528
9,40	19	33	20,38	1,133333	17,9823582301054	5,56100588812561
9,60	26	43	27,38	1,133333	24,1588306349502	4,13927319211103
9,80	26	43	27,38	1,533333	17,8565256209838	5,60019357195033
10,00	18	41	19,38	1,066667	18,1687443222674	5,50395768833849
10,20	15	31	16,518	0,6666667	24,7769987611501	4,03600133188037
10,40	12	22	13,518	0,6	22,53	4,43852640923213
10,60	15	24	16,518	0,8	20,6475	4,84320135609638
10,80	15	27	16,518	1	16,518	6,05400169512047
11,00	13	28	14,518	0,7333333	19,7972736271488	5,05120057859209
11,20	15	26	16,656	0,8666667	19,21846079929	5,2033303314121
11,40	17	30	18,656	0,8	23,32	4,28816466552316
11,60	16	28	17,656	0,9333333	18,9171435327551	5,28621035342093
11,80	16	30	17,656	0,9333333	18,9171435327551	5,28621035342093
12,00	20	34	21,656	0,8666667	24,9876913466273	4,00197035463613
12,20	27	40	28,794	1,066667	26,9943665642604	3,70447662707509
12,40	22	38	23,794	1,133333	20,9947120572683	4,76310414390182
12,60	25	42	26,794	1,866667	14,3539260082275	6,96673508994551
12,80	21	49	22,794	1,6	14,24625	7,01939106782487
13,00	23	47	24,794	1,533333	16,1700035152182	6,18429055416633
13,20	19	42	20,932	1	20,932	4,77737435505446
13,40	19	34	20,932	1,066667	19,62374386758	5,09586757118288
13,60	19	35	20,932	1,4	14,9514285714286	6,68832409707625
13,80	21	42	22,932	0,8	28,665	3,48857491714635
14,00	23	35	24,932	0,5333334	46,7474941565632	2,13915209369485
14,20	23	31	25,07	1	25,07	3,98883127243718
14,40	24	39	26,07	0,9333333	27,9321438547194	3,58010471806674
14,60	23	37	25,07	1,133333	22,1205947413514	4,52067411248504
14,80	22	39	24,07	1,133333	21,2382415406593	4,70848774407977
15,00	24	41	26,07	1,333333	19,5525048881262	5,11443421557346
15,20	23	43	25,208	1,2	21,0066666666667	4,7603935258648
15,40	26	44	28,208	0		0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,80	44,388	3,233333	2,102323	Coesivo	terreno agrario essiccato
1,60	19,7415	1,316667	1,967404	Coesivo	argille di buona consistenza
2,40	12,845	0,7499999	1,892621	Coesivo	argille limose di media consistenza
3,20	14,9485	0,8166667	1,912464	Coesivo	argille limose di buona consistenza
3,60	29,052	0,7333333	2,030195	Coesivo	argille sabbiose
4,80	15,47733	0,7333333	1,921741	Coesivo	argille limose di media consistenza
5,20	9,759	0,5333334	1,839444	Coesivo	argille limose di modesta consistenza
6,60	19,03	1,133333	1,956027	Coesivo	argille di buona consistenza
9,20	37,77246	2,097436	2,073608	Coesivo	argille molto compatte
10,00	23,63	1,216666	1,989865	Coesivo	argille limoso-sabbiose compatte
11,80	16,46822	0,8148148	1,925493	Coesivo	argille limose di buona consistenza
15,40	24,39178	1,088889	1,994237	Coesivo	argille e argille limose compatte

Probe CPT - Cone Penetration Nr.2
 Strumento utilizzato... PAGANI 100 kN
 Diagramma Resistenze qc fs

Committente : Istituto Diocesano per il Sostentamento del Clero della Diocesi di Cesena-Sarsina e altri Data :04/09/2010
 Cantiere : PUA AT3 - AT5
 Località : San Giorgio di Cesena

Scala 1:72



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: Istituto Diocesano per il Sostentamento del Clero della Diocesi di Cesena-Sarsina e altri
 Cantiere: PUA AT3 - AT5
 Località: San Giorgio di Cesena

PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 04/09/2010

Profondità prova: m-15,40

Falda idrica: Quota iniziale = m-2,40

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	33	58	33,138	2,133333	15,5334399271	6,43772406300923
0,40	30	62	30,138	3	10,046	9,95421063109695
0,60	42	87	42,138	3,266667	12,8993864388381	7,75230670653567
0,80	34	83	34,138	3,066667	11,131955311744	8,9831478118226
1,00	28	74	28,138	2,533333	11,1071067246193	9,0032447224394
1,20	21	59	21,276	1,2	17,73	5,64015792442188
1,40	19	37	19,276	1,266667	15,217890732134	6,57121290724217
1,60	15	34	15,276	1,066667	14,3212455246108	6,98263288819063
1,80	14	30	14,276	0,9333333	15,2957148319898	6,53777878957691
2,00	13	27	13,276	0,8666667	15,31846094929	6,52807095510696
2,20	15	28	15,414	0,9333333	16,5150005898214	6,05510120669521
2,40	13	27	13,414	0,8666667	15,4776917123965	6,46091173400924
2,60	11	24	11,414	0,8666667	13,1699994934616	7,59301471876643
2,80	16	29	16,414	0,8	20,5175	4,87388814426709
3,00	13	25	13,414	0,8	16,7675	5,96391829431937
3,20	17	29	17,552	0,9333333	18,805714957347	5,31753247493163
3,40	24	38	24,552	0,8666667	28,329229679645	3,52992302052786
3,60	21	34	21,552	0,9333333	23,0914293961225	4,33061108017817
3,80	18	32	18,552	0,8666667	21,4061530228403	4,67155401034929
4,00	18	31	18,552	0,8666667	21,4061530228403	4,67155401034929
4,20	17	30	17,69	0,8666667	20,4115376764793	4,89918993781798
4,40	15	28	15,69	0,6	26,15	3,82409177820268
4,60	14	23	14,69	0,8666667	16,9499993480769	5,89970524166099
4,80	12	25	12,69	0,5333334	23,7937470257816	4,20278486997636
5,00	10	18	10,69	0,5333334	20,0437474945316	4,98908699719364
5,20	11	19	11,828	0,6666667	17,7419991129	5,63634342238755
5,40	15	25	15,828	0,8666667	18,2630762206509	5,47552880970432
5,60	16	29	16,828	0,7333333	22,9472737703306	4,35781613976705
5,80	17	28	17,828	1,2	14,8566666666667	6,73098496746691
6,00	19	37	19,828	1,133333	17,4952992633233	5,71582106112568
6,20	21	38	21,966	1,266667	17,3415743837962	5,76648911954839
6,40	22	41	22,966	1,6	14,35375	6,96682051728642
6,60	30	54	30,966	1,466667	21,1131770197325	4,73637860879674
6,80	29	51	29,966	1,866667	16,0532114190694	6,22928318761263
7,00	36	64	36,966	2,133333	17,3278152074711	5,77106800844019
7,20	43	75	44,104	1,8	24,5022222222222	4,08126247052422
7,40	41	68	42,104	2,4	17,5433333333333	5,70017100513015
7,60	43	79	44,104	2,466667	17,8799975837841	5,59284191910031
7,80	41	78	42,104	2,6	16,1938461538462	6,17518525555767
8,00	42	81	43,104	2,533333	17,0147390808867	5,87725733110616
8,20	31	69	32,242	2,333333	13,8180019740003	7,23693629427455
8,40	37	72	38,242	1,866667	20,4867820559318	4,8811960671513
8,60	31	59	32,242	1,866667	17,2724969156255	5,78955089634638
8,80	29	57	30,242	2	15,121	6,61331922491899

9,00	25	55	26,242	1,866667	14,0582117753193	7,11328023778675
9,20	33	61	34,38	1,266667	27,1420981205005	3,68431355439209
9,40	20	39	21,38	1,066667	20,0437437363301	4,98908793264733
9,60	27	43	28,38	1,8	15,7666666666667	6,34249471458774
9,80	18	45	19,38	1,133333	17,1000050294132	5,84795149638803
10,00	21	38	22,38	1,133333	19,7470646314896	5,06404378909741
10,20	16	33	17,518	1,066667	16,423119867775	6,08897705217491
10,40	14	30	15,518	0,8	19,3975	5,15530351849465
10,60	13	25	14,518	0,9333333	15,5550005555357	6,42880079900813
10,80	17	31	18,518	0,866667	21,3669222551184	4,68013122367426
11,00	16	29	17,518	0,8	21,8975	4,56673136202763
11,20	14	26	15,656	0,8	19,57	5,10986203372509
11,40	13	25	14,656	0,866667	16,9107685803551	5,9133917849345
11,60	15	28	16,656	0,9333333	17,8457149230612	5,60358609510086
11,80	16	30	17,656	0,866667	20,3723069087574	4,90862426370639
12,00	14	27	15,656	1	15,656	6,38732754215636
12,20	17	32	18,794	1,066667	17,619369493947	5,67557199106098
12,40	19	35	20,794	1,066667	19,4943689080097	5,12968644801385
12,60	21	37	22,794	1,4	16,2814285714286	6,14196718434676
12,80	23	44	24,794	1,266667	19,5742053752091	5,10876421714931
13,00	21	40	22,794	1	22,794	4,38711941739054
13,20	24	39	25,932	0,9333333	27,7842867065817	3,59915664044424
13,40	23	37	24,932	1,2	20,7766666666667	4,81309160917696
13,60	20	38	21,932	1,133333	19,3517703975795	5,16748586540215
13,80	24	41	25,932	1,866667	13,8921403764035	7,19831482338424
14,00	16	44	17,932	1,133333	15,8223575948111	6,3201706446576
14,20	25	42	27,07	1,066667	25,3781170693384	3,94040265977096
14,40	23	39	25,07	1,266667	19,7921000547105	5,05252094136418
14,60	21	40	23,07	1,266667	18,2131531018018	5,49053749458171
14,80	25	44	27,07	1,133333	23,8853011427356	4,18667528629479
15,00	24	41	26,07	1,133333	23,0029479420435	4,34726889144611
15,20	23	40	25,208	1,266667	19,9010473944612	5,02486115518883
15,40	25	44	27,208	0		0

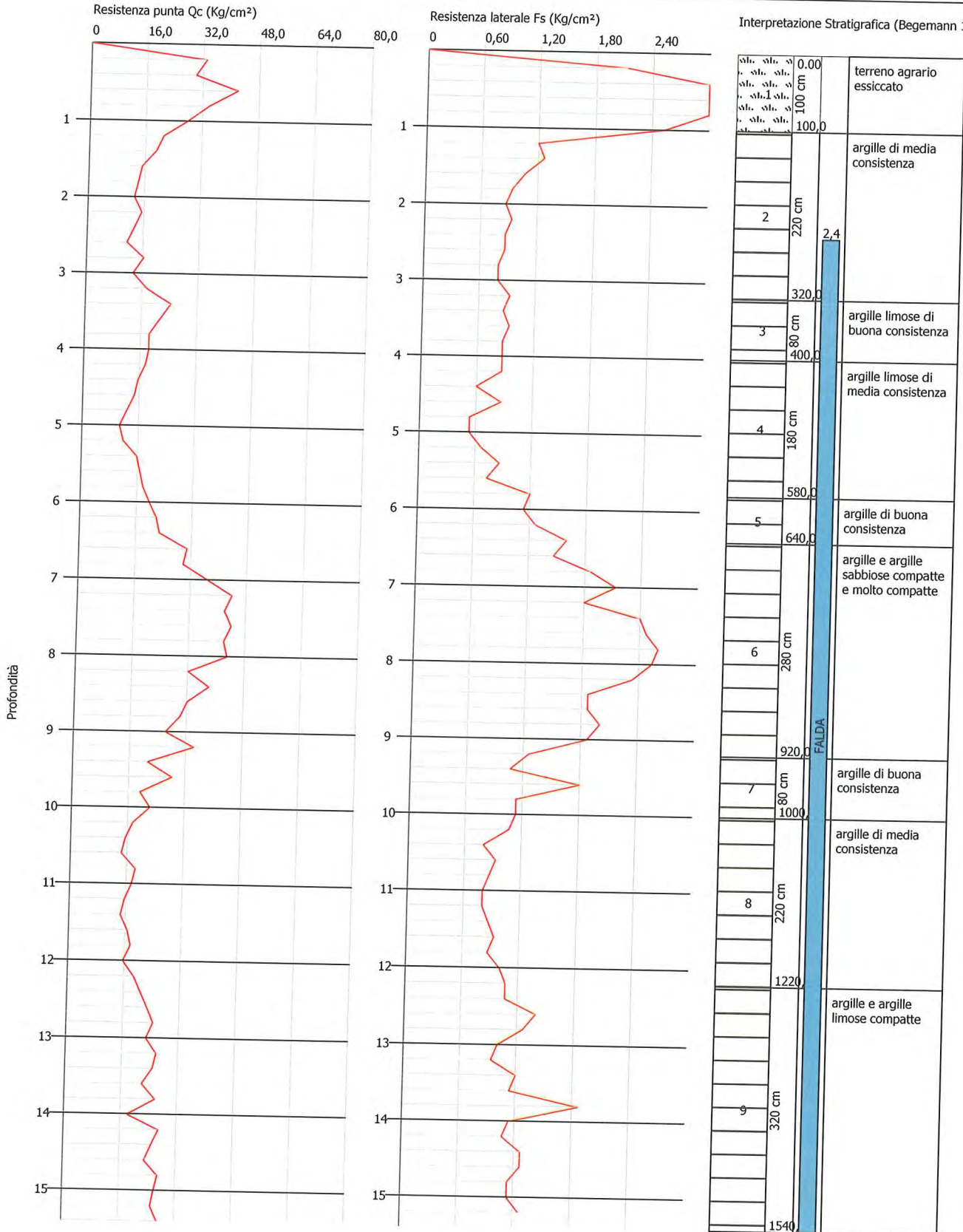
Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1,00	33,538	2,8	2,057578	Coesivo	terreno agrario essiccato
3,20	15,54564	0,9575759	1,923261	Coesivo	argille di media consistenza
4,00	20,802	0,8833333	1,973449	Coesivo	argille limose di buona consistenza
5,80	14,86245	0,762963	1,912115	Coesivo	argille limose di media consistenza
6,40	21,58666	1,333333	1,978907	Coesivo	argille di buona consistenza
9,20	36,21486	2,033334	2,065581	Coesivo	argille e argille sabbiose compatte e molto compatte
10,00	22,88	1,283333	1,984676	Coesivo	argille di buona consistenza
12,20	16,60582	0,909091	1,926918	Coesivo	argille di media consistenza
15,40	24,28763	1,133333	1,99312	Coesivo	argille e argille limose compatte

Probe CPT - Cone Penetration Nr.3
 Strumento utilizzato... PAGANI 100 kN
 Diagramma Resistenze qc fs

Committente : Istituto Diocesano per il Sostentamento del Clero della Diocesi si Sarsina-Cesena e altri Data :04/09/2010
 Cantiere : PUA AT3 - AT5

Località : San Giorgio di Cesena

Scala 1:73



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: Istituto Diocesano Per Sostentamento del Clero della Diocesi di Cesena-Sarsina e altri
 Cantiere: PUA AT3 - AT5
 Località: San Giorgio di Cesena

PROVA ... Nr.4

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN
 Prova eseguita in data: 02/10/2010
 Profondità prova: m-16,40
 Falda idrica: Quota iniziale = m-2,30

Profondità (m)	Letture punta (Kg/cm ²)	Letture laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	7	15	7,138	0,6	11,89666666666667	8,40571588680303
0,40	8	17	8,138	0,9333333	8,71928602568879	11,4688289506021
0,60	28	42	28,138	1,4	20,0985714285714	4,97547800127941
0,80	30	51	30,138	2,733333	11,0260989056218	9,06939082030938
1,00	23	64	23,138	1,666667	13,8827972234406	7,20315930503933
1,20	25	50	25,276	1,466667	17,2336324469017	5,8026072163317
1,40	16	38	16,276	0,9333333	17,4385720513776	5,73441447530106
1,60	18	32	18,276	1	18,276	5,4716568176844
1,80	16	31	16,276	0,6666667	24,4139987793001	4,09601069058737
2,00	18	28	18,276	1	18,276	5,4716568176844
2,20	15	30	15,414	0,9333333	16,5150005898214	6,05510120669521
2,40	18	32	18,414	0,7333333	25,1100011413637	3,98247691973498
2,60	21	32	21,414	0,9333333	22,9435722479847	4,35851919305127
2,80	22	36	22,414	1,066667	21,0131184334005	4,75893191755153
3,00	21	37	21,414	0,8666667	24,7084605881361	4,04719669375175
3,20	23	36	23,552	1,2	19,6266666666667	5,09510869565217
3,40	15	33	15,552	0,7333333	21,2072736912397	4,7153632973251
3,60	16	27	16,552	0,7333333	22,5709101168596	4,43048151280812
3,80	23	34	23,552	0,9333333	25,2342866155102	3,96286217730978
4,00	17	31	17,552	0,7333333	23,9345465424794	4,17806118960802
4,20	19	30	19,69	0,8	24,6125	4,06297613001524
4,40	20	32	20,69	1,2	17,2416666666667	5,79990333494442
4,60	18	36	18,69	0,6	31,15	3,21027287319422
4,80	14	23	14,69	0,6666667	22,0349988982501	4,53823485364193
5,00	15	25	15,69	0,5333334	29,4187463226567	3,3991931166348
5,20	11	19	11,828	0,2666667	44,3549944556257	2,25453753804532
5,40	16	20	16,828	1,2	14,0233333333333	7,13097218920846
5,60	18	36	18,828	1,066667	17,6512444839861	5,66532292330572
5,80	21	37	21,828	0,8	27,285	3,66501740883269
6,00	17	29	17,828	0,8	22,285	4,4873233116446
6,20	18	30	18,966	0,8	23,7075	4,21807444901402
6,40	21	33	21,966	1,133333	19,3817704064031	5,15948738960211
6,60	19	36	19,966	1,266667	15,7626274308875	6,34412000400681
6,80	30	49	30,966	1,733333	17,8650034355776	5,59753600723374
7,00	31	57	31,966	1,866667	17,1246397991715	5,83953888506538
7,20	39	67	40,104	2,466667	16,2583761813005	6,15067574306802
7,40	37	74	38,104	2,533333	15,0410546106651	6,64846997690531
7,60	35	73	36,104	2,666667	13,5389983076252	7,38607079547972
7,80	38	78	39,104	2,066667	18,9212872707601	5,28505268003273
8,00	33	64	34,104	2,133333	15,986252497852	6,25537473610134
8,20	36	68	37,242	2,2	16,9281818181818	5,9073089522582
8,40	37	70	38,242	2	19,121	5,22985199518854
8,60	33	63	34,242	1,666667	20,5451958909608	4,86731791367327
8,80	25	50	26,242	1,066667	24,6018673119165	4,06473210883317
9,00	27	43	28,242	1,666667	16,9451966109607	5,9013773812053

9,20	25	50	26,38	1,266667	20,8263103088657	4,8016186504928
9,40	23	42	24,38	1,266667	19,247363355957	5,19551681706317
9,60	16	35	17,38	0,8	21,725	4,6029919447641
9,80	16	28	17,38	0,6	28,9666666666667	3,45224395857307
10,00	17	26	18,38	0,9333333	19,6928578461735	5,07798313384113
10,20	12	26	13,518	0,9333333	14,4835719458419	6,9043741677763
10,40	81	95	82,518	0,4666667	176,824273083981	0,56553321699508
10,60	78	85	79,518	0,6	132,53	0,754546140496491
10,80	58	67	59,518	0,7333333	81,1609127800415	1,23212019893142
11,00	87	98	88,518	1,066667	82,9855990670003	1,20502835581464
11,20	67	83	68,656	0,4666667	147,119989491429	0,679717286180377
11,40	54	61	55,656	1,133333	49,1082497377205	2,03631773753054
11,60	78	95	79,656	1,666667	47,7935904412819	2,09233077232098
11,80	22	47	23,656	1,066667	22,1774930695334	4,5090759215421
12,00	15	31	16,656	0,9333333	17,8457149230612	5,60358609510086
12,20	21	35	22,794	1	22,794	4,38711941739054
12,40	22	37	23,794	1	23,794	4,20274018660166
12,60	26	41	27,794	1,4	19,8528571428571	5,03705835791897
12,80	22	43	23,794	1,2	19,8283333333333	5,043288223922
13,00	34	52	35,794	0,9333333	38,3507156553827	2,60751327038051
13,20	16	30	17,932	0,8	22,415	4,4612982377872
13,40	17	29	18,932	0,8666667	21,8446145444379	4,57778734417917
13,60	24	37	25,932	1,133333	22,881183200348	4,37040336264075
13,80	21	38	22,932	1,333333	17,1990042997511	5,81429007500436
14,00	22	42	23,932	1,066667	22,4362429886741	4,45707421026241
14,20	20	36	22,07	1	22,07	4,53103760761214
14,40	23	38	25,07	0,8	31,3375	3,19106501794974
14,60	23	35	25,07	1,133333	22,1205947413514	4,52067411248504
14,80	19	36	21,07	0,7333333	28,73181948781	3,48046179401993
15,00	17	28	19,07	0,8666667	22,0038453075444	4,54466019926586
15,20	13	26	15,208	0,9333333	16,2942862962245	6,13712059442399
15,40	23	37	25,208	1,133333	22,2423594830469	4,49592589654078
15,60	19	36	21,208	0,9333333	22,7228579543878	4,40085486608827
15,80	24	38	26,208	0,6666667	39,3119980344001	2,54375267094017
16,00	19	29	21,208	0,6	35,3466666666667	2,8291210863825
16,20	23	32	25,346	1,066667	23,7618675744164	4,20842341986901
16,40	22	38	24,346	0		0

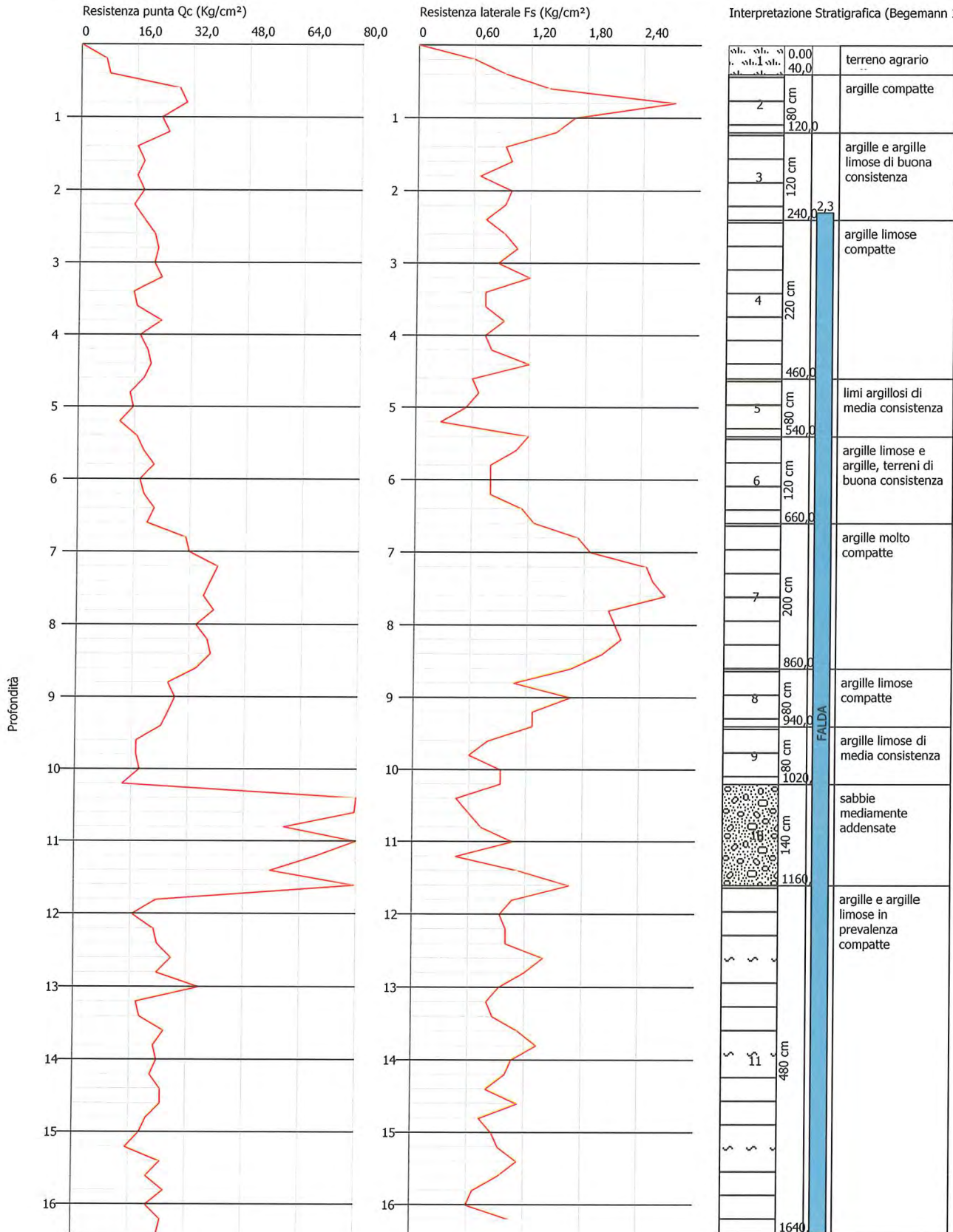
Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,40	7,638	0,7666667	1,809748	Coesivo	terreno agrario soffice
1,20	26,6725	1,816667	2,019387	Coesivo	argille compatte
2,40	17,15533	0,8777778	1,943163	Coesivo	argille e argille limose di buona consistenza
4,60	20,09746	0,8909091	1,967449	Coesivo	argille limose compatte
5,40	14,759	0,6666667	1,912153	Coesivo	limi argillosi di media consistenza
6,60	19,897	0,9777778	1,964696	Coesivo	argille limose e argille, terreni di buona consistenza
8,60	36,0178	2,133334	2,066672	Coesivo	argille molto compatte
9,40	26,311	1,316667	2,011562	Coesivo	argille limose compatte
10,20	16,6645	0,8166667	1,928549	Coesivo	argille limose di media consistenza
11,60	73,43428	0,8761905	2,186226	Incoerente	sabbie mediamente addensate
16,40	23,12601	0,9416666	1,982148	Coesivo	argille e argille limose in prevalenza compatte

Probe CPT - Cone Penetration Nr.4
 Strumento utilizzato... PAGANI 100 kN
 Diagramma Resistenze qc fs

Committente : Istituto Diocesano Per Sostentamento del Clero della Diocesi di Cesena-Sarsina e altri
 Cantiere : PUA AT3 - AT5
 Località : San Giorgio di Cesena

Data :02/10/2010

Scala 1:77



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: Istituto Diocesano Per Sostentamento Clero della Diocesi di Cesena-Sarsina e altri
 Cantiere: PUA AT3 - AT5
 Località: San Giorgio di Cesena

PROVA ... Nr.5

Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN

Prova eseguita in data: 02/10/2010

Profondità prova: m-15,40

Falda idrica: Quota iniziale = m-2,30

Profondità (m)	Letture punta (Kg/cm ²)	Letture laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	14	25	14,138	1,666667	8,48279830344034	11,7885627387183
0,40	18	43	18,138	1,6	11,33625	8,82125923475576
0,60	18	42	18,138	1,2	15,115	6,61594442606682
0,80	25	43	25,138	1,133333	22,1805947589985	4,50844538149415
1,00	14	31	14,138	0,866667	16,3130762956509	6,13005163389447
1,20	18	31	18,276	1	18,276	5,4716568176844
1,40	14	29	14,276	1,2	11,8966666666667	8,40571588680303
1,60	15	33	15,276	1,266667	12,0599968263166	8,29187614558785
1,80	14	33	14,276	1	14,276	7,00476323900252
2,00	14	29	14,276	0,7333333	19,4672736121488	5,13682614177641
2,20	12	23	12,414	0,5333334	23,2762470904691	4,29622522957951
2,40	11	19	11,414	0,4666667	24,4585696815307	4,08854652181531
2,60	10	17	10,414	0,5333334	19,5262475592191	5,12131169579412
2,80	10	18	10,414	0,4666667	22,3157126917348	4,4811474937584
3,00	11	18	11,414	0,5333334	21,4012473248441	4,67262484667952
3,20	12	20	12,552	0,5333334	23,5349970581254	4,2489913957935
3,40	13	21	13,552	0,8666667	15,636922475503	6,39512027744982
3,60	17	30	17,552	0,7333333	23,9345465424794	4,17806118960802
3,80	17	28	17,552	1,2	14,6266666666667	6,83682771194166
4,00	28	46	28,552	1,4	20,3942857142857	4,90333426730176
4,20	26	47	26,69	1,133333	23,5500069264726	4,24628325215436
4,40	19	36	19,69	1,2	16,4083333333333	6,09446419502285
4,60	31	49	31,69	1,133333	27,9617729299332	3,57631113916062
4,80	28	45	28,69	1,066667	26,8968665947292	3,71790519344719
5,00	30	46	30,69	1,466667	20,9249952443193	4,77897360703812
5,20	22	44	22,828	1,333333	17,1210042802511	5,84077886805677
5,40	33	53	33,828	1,133333	29,848244073013	3,35028083244649
5,60	21	38	21,828	1,2	18,19	5,49752611324904
5,80	24	42	24,828	0,9333333	26,6014295214796	3,75919647172547
6,00	16	30	16,828	1,066667	15,7762450699234	6,33864392678869
6,20	19	35	19,966	0,8	24,9575	4,00681157968546
6,40	13	25	13,966	0,6666667	20,9489989525501	4,77349778032364
6,60	13	23	13,966	0,6	23,2766666666667	4,29614778748389
6,80	14	23	14,966	0,6	24,9433333333333	4,00908726446612
7,00	19	28	19,966	0,8	24,9575	4,00681157968546
7,20	17	29	18,104	0,9333333	19,397143549898	5,15539825452939
7,40	18	32	19,104	1,266667	15,0821012941839	6,63037583752094
7,60	18	37	19,104	1,2	15,92	6,28140703517588
7,80	18	36	19,104	1,2	15,92	6,28140703517588
8,00	26	44	27,104	1,666667	16,2623967475207	6,14915510625738
8,20	32	57	33,242	1,866667	17,8082111056766	5,61538716082065
8,40	38	66	39,242	2,4	16,3508333333333	6,11589623362724
8,60	27	63	28,242	1,8	15,69	6,37348629700446
8,80	24	51	25,242	1,4	18,03	5,54631170271769
9,00	25	46	26,242	1,4	18,7442857142857	5,33495922566877

9,20	23	44	24,38	1,466667	16,6227234948356	6,01586136177194
9,40	15	37	16,38	0,9333333	17,5500006267857	5,6980054945055
9,60	13	27	14,38	0,8	17,975	5,56328233657858
9,80	11	23	12,38	0,5333334	23,2124970984379	4,30802423263328
10,00	10	18	11,38	1,133333	10,0411794238763	9,95898945518453
10,20	19	36	20,518	1,333333	15,388503847126	6,49835753972122
10,40	29	49	30,518	1,266667	24,0931515544338	4,15055704829936
10,60	24	43	25,518	1,666667	15,3107969378406	6,53133866290462
10,80	18	43	19,518	1	19,518	5,12347576595963
11,00	12	27	13,518	0,4	33,795	2,95901760615476
11,20	11	17	12,656	0,266667	47,4599940675007	2,10703776864728
11,40	19	23	20,656	0,866667	23,8338452371598	4,19571407823393
11,60	21	34	22,656	0,8	28,32	3,53107344632768
11,80	19	31	20,656	0,866667	23,8338452371598	4,19571407823393
12,00	15	28	16,656	1,066667	15,614995120314	6,40410062439962
12,20	20	36	21,794	0,9333333	23,3507151196684	4,28252408919886
12,40	22	36	23,794	1,266667	18,7847318987548	5,32347230394217
12,60	19	38	20,794	0,9333333	22,2792865099745	4,48847407906127
12,80	11	25	12,794	0,6	21,3233333333333	4,68969829607629
13,00	14	23	15,794	0,5333334	29,6137462982817	3,37681018108142
13,20	17	25	18,932	0,866667	21,8446145444379	4,57778734417917
13,40	19	32	20,932	1,133333	18,4694171968874	5,41435600993694
13,60	26	43	27,932	1,733333	16,1146184835805	6,20554561076901
13,80	30	56	31,932	1,666667	19,1591961681608	5,21942565451585
14,00	26	51	27,932	1,866667	14,9635687565056	6,68289775168266
14,20	27	55	29,07	1,666667	17,4419965116007	5,73328861369109
14,40	29	54	31,07	1,533333	20,2630478832713	4,93509172835533
14,60	29	52	31,07	1,666667	18,6419962716007	5,36423237850016
14,80	21	46	23,07	0,866667	26,6192297454142	3,75668270481144
15,00	17	30	19,07	1,466667	13,0022697722114	7,69096486628212
15,20	16	38	18,208	0,6	30,3466666666667	3,29525483304042
15,40	13	22	15,208	0		0

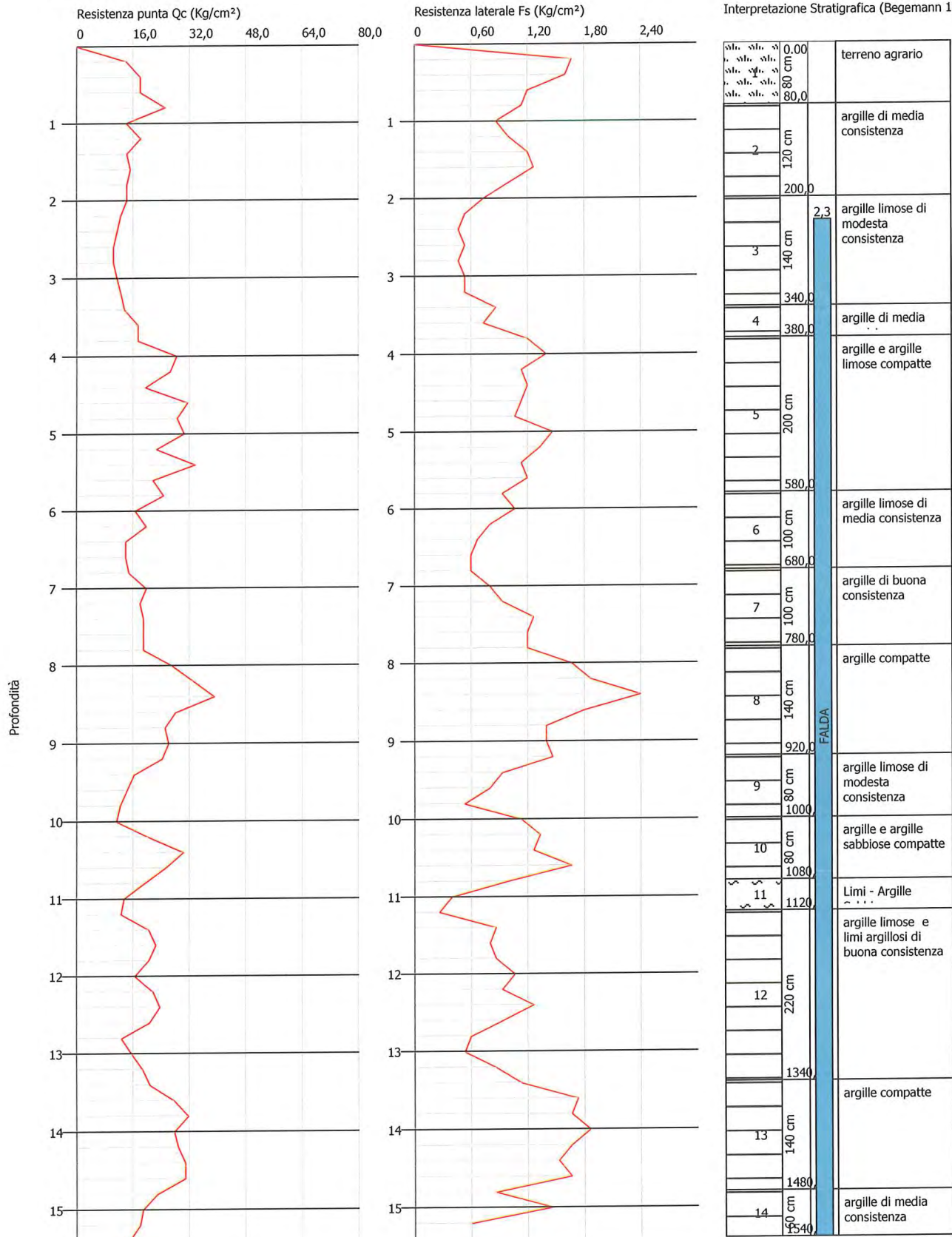
Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,80	18,888	1,4	1,958999	Coesivo	terreno agrario
2,00	15,08633	1,011111	1,92157	Coesivo	argille di media consistenza
3,40	11,73914	0,5619048	1,875775	Coesivo	argille limose di modesta consistenza
3,80	17,552	0,9666667	1,945634	Coesivo	argille di media consistenza
5,80	26,9314	1,2	2,016283	Coesivo	argille e argille limose compatte
6,80	15,9384	0,7466667	1,924116	Coesivo	argille limose di media consistenza
7,80	19,0764	1,08	1,956655	Coesivo	argille di buona consistenza
9,20	29,09915	1,714286	2,027498	Coesivo	argille compatte
10,00	13,63	0,85	1,891788	Coesivo	argille limose di modesta consistenza
10,80	24,018	1,316667	1,991938	Coesivo	argille e argille sabbiose compatte
11,20	13,087	0,3333334	1,884338	Coesivo	limi e argille limose
13,40	19,58709	0,8969697	1,954121	Coesivo	argille limose e limi argillosi di buona consistenza
14,80	28,868	1,571429	2,024229	Coesivo	argille compatte
15,40	17,49533	0,688889	1,932581	Coesivo	argille di media consistenza

Probe CPT - Cone Penetration Nr.5
 Strumento utilizzato... PAGANI 100 kN
 Diagramma Resistenze qc fs

Committente : Istituto Diocesano Per Sostentamento Clero della Diocesi di Cesena-Sarsina e altri
 Cantiere : PUA AT3 - AT5
 Località : San Giorgio di Cesena

Data :02/10/2010

Scala 1:72



STRATIGRAFIA DELL'AREA IN ESAME

Dalla elaborazione dei dati penetrometrici si è ricostruita la successione dei litotipi presenti, litotipi il cui riconoscimento è stato ottenuto utilizzando il rapporto q_c/f_s (Begemann 1965 – raccomandazioni A.G.I.) e in base alla relazione fra i valori di q_c ed il rapporto $FR = (f_s/q_c)\%$ (Schmertmann 1977).

La stratigrafia dei punti sondati si configura come segue:

Area di via Parataglio

Penetrometria n°1

Dal p.c. a m-1.00 : terreno agrario essiccato

Da m-1.00 a m-6.20 : argille e argille limose di consistenza da media a buona

Da m-6.20 a m-8.60 : argille limose molto compatte

Da m-8.60 a m-10.40 : argille limose compatte

Da m-10.40 a m-10.80 : argille di media consistenza

Da m-10.80 a m-15.40 : argille con intervalli di argille sabbiose, terreni compatti

Penetrometria n°2

Dal p.c. a m-0.80 : terreno agrario essiccato

Da m-0.80 a m-1.60 : argille di buona consistenza

Da m-1.60 a m-2.40 : argille limose di media consistenza

Da m-2.40 a m-3.20 : argille limose di buona consistenza

Da m-3.20 a m-3.60 : argille sabbiose

Da m-3.60 a m-4.80 : argille limose di media consistenza

Da m-4.80 a m-5.20 : argille limose di modesta consistenza

Da m-5.20 a m-6.60 : argille di buona consistenza

Da m-6.60 a m-9.20 : argille molto compatte

Da m-9.20 a m-10.00 : argille limoso-sabbiose compatte

Da m-10.00 a m-11.80 : argille limose di buona consistenza

Da m-11.80 a m-15.40 : argille e argille limose compatte

Penetrometria n°3

Dal p.c. a m-1.00 : terreno agrario essiccato

Da m-1.00 a m-3.20 : argille di media consistenza
Da m-3.20 a m-4.00 : argille limose di buona consistenza
Da m-4.00 a m-5.80 : argille limose di media consistenza
Da m-5.80 a m-6.40 : argille di buona consistenza
Da m-6.40 a m-9.20 : argille e argille sabbiose compatte e molto compatte
Da m-9.20 a m-10.00 : argille di buona consistenza
Da m-10.00 a m-12.20 : argille di media consistenza
Da m-12.20 a m-15.40 : argille e argille limose compatte
Si è in presenza di terreni esclusivamente coesivi, normalconsolidati, con configurazione lenticolare e di consistenza in prevalenza media, non particolarmente sensibili alle sollecitazioni di carico che deriveranno dalle opere in progetto.

Area di via Cerca

Penetrometria n°4

Dal p.c. a m-0.40 : terreno agrario soffice
Da m-0.40 a m-1.20 : argille compatte per essiccamento
Da m-1.20 a m-2.40 : argille e argille limose di buona consistenza
Da m-2.40 a m-4.60 : argille limose compatte
Da m-4.60 a m-5.40 : limi argillosi di media consistenza
Da m-5.40 a m-6.60 : argille limose e argille, terreni di buona consistenza
Da m-6.60 a m-8.60 : argille molto compatte
Da m-8.60 a m-9.40 : argille limose compatte
Da m-9.40 a m-10.20 : argille limose di media consistenza
Da m-10.20 a m-11.60 : sabbie mediamente addensate
Da m-11.60 a m-16.40 : argille e argille limose in prevalenza compatte

Penetrometria n°5

Dal p.c. a m-0.80 : terreno agrario
Da m-0.80 a m-2.00 : argille di media consistenza
Da m-2.00 a m-3.40 : argille limose di modesta consistenza
Da m-3.40 a m-3.80 : argille di media consistenza

Da m-3.80 a m-5.80 : argille e argille limose compatte
Da m-5.80 a m-6.80 : argille limose di media consistenza
Da m-7.80 a m-9.20 : argille compatte
Da m-9.20 a m-10.00 : argille limose di modesta consistenza
Da m-10.00 a m-10.80 : argille e argille sabbiose compatte
Da m-10.80 a m-11.20 : limi e argille limose
Da m-11.20 a m-13.40 : argille limose e limi argillosi di buona consistenza
Da m-13.40 a m-14.80 : argille compatte
Da m-14.80 a m-15.40 : argille di media consistenza

Anche in questo si è in presenza di terreni esclusivamente coesivi, salvo che per un livello di sabbie mediamente addensate rilevate nella CPT n°4 fra m-10.20 e m-11.60 di profondità. Si tratta di terreni normalconsolidati, con configurazione lenticolare e di consistenza in prevalenza media, non particolarmente sensibili alle sollecitazioni di carico che deriveranno dalle opere in progetto.

ALLEGATI

N°10 profili stratigrafici (Begemann e Schmertmann)

N°2 Sezioni stratigrafiche, una per ciascuna area

GRAFICO PROFONDITA' / VALUTAZIONI LITOLOGICHE (Begemann 1965)
PROVA: Nr.2

Committente : Istituto Diocesano per il Sostentamento del Clero della Diocesi di Cesena e altri
Cantiere : PUA AT3 - AT5
Località : San Giorgio di Cesena

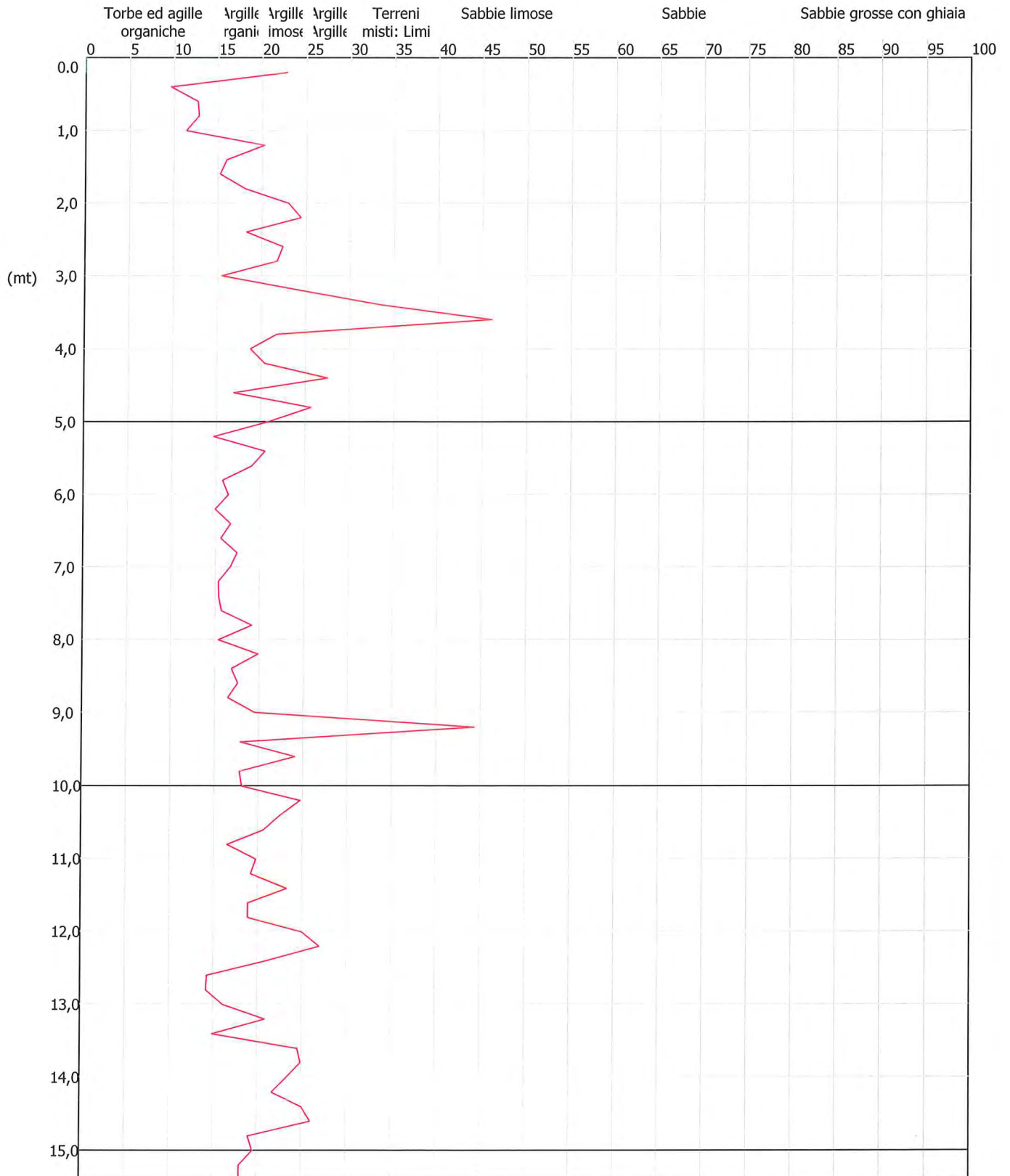


GRAFICO PROFONDITA' / VALUTAZIONI LITOLOGICHE (Begemann 1965)
PROVA: Nr.3

Committente : Istituto Diocesano per il Sostentamento del Clero della Diocesi di Cesena e altri
Cantiere : PUA AT3 - AT5

Località : San Giorgio di Cesena

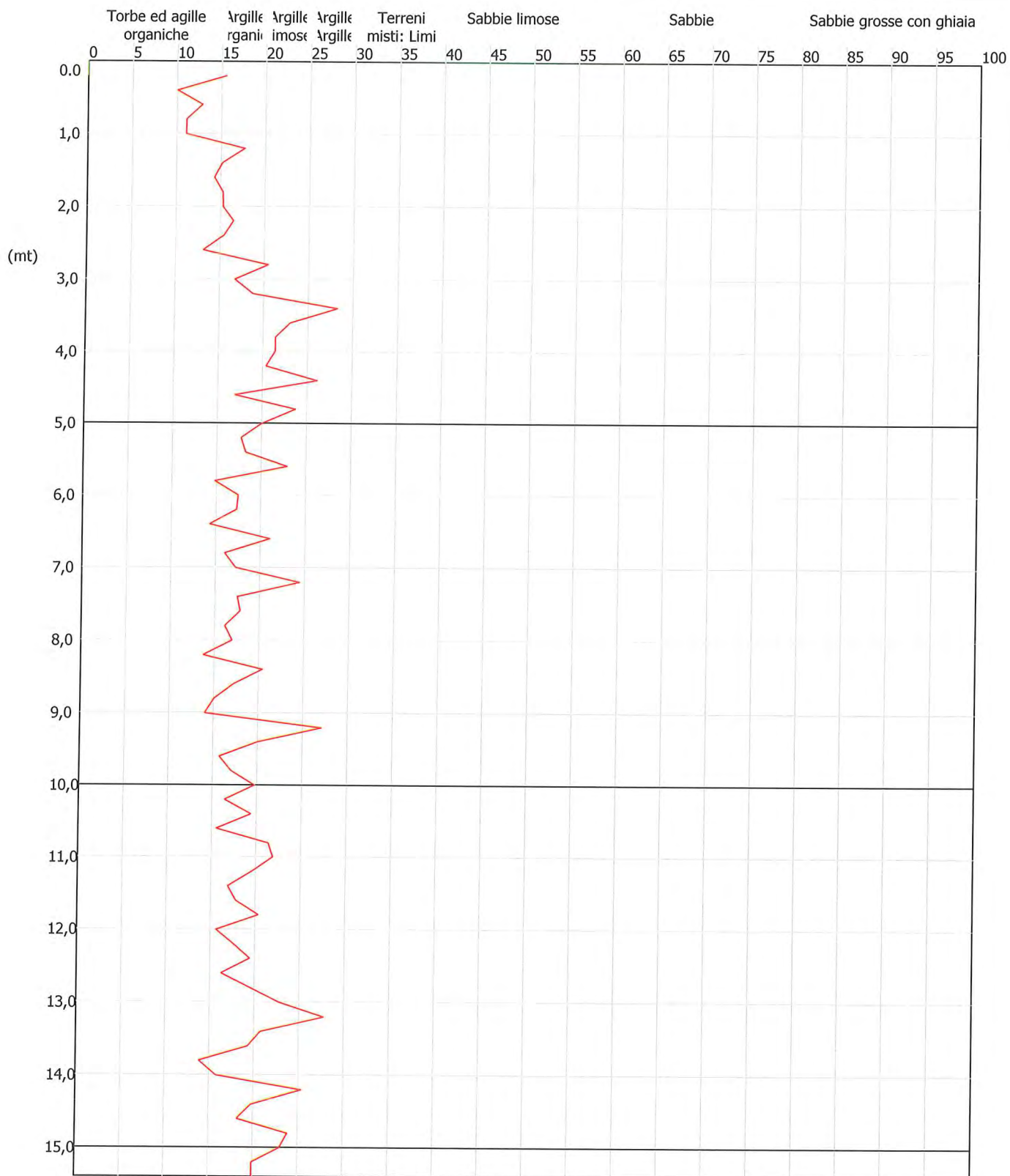


GRAFICO PROFONDITA' / VALUTAZIONI LITOLOGICHE (Begemann 1965)
PROVA: Nr.4

Committente : Istituto Diocesano Per Sostentamento del Clero della Diocesi di Cesena e altri
Cantiere : PUA AT3 - AT5
Località : San Giorgio di Cesena

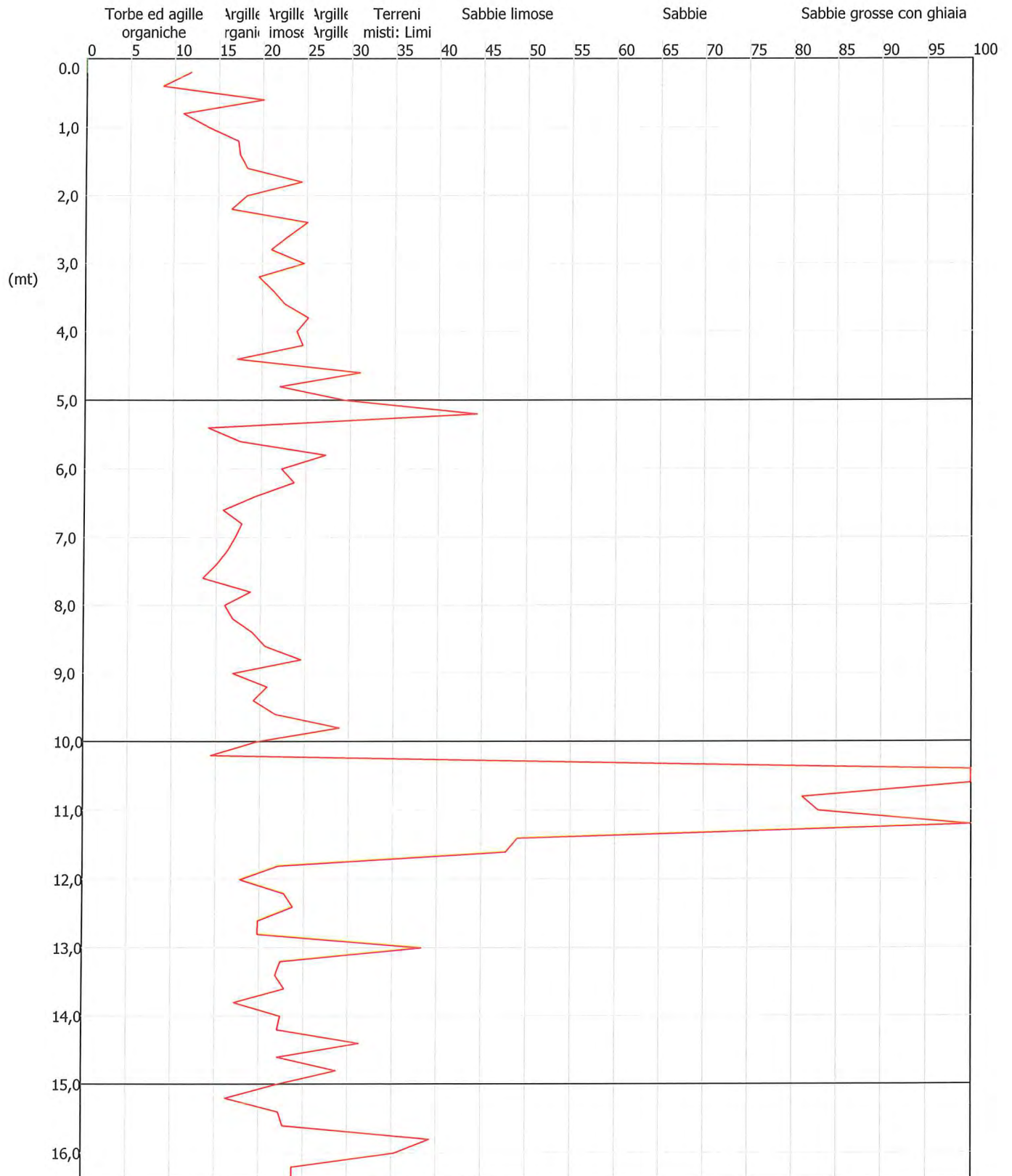


GRAFICO PROFONDITA' / VALUTAZIONI LITOLOGICHE (Begemann 1965)
PROVA: Nr.5

Committente : Istituto Diocesano Per Sostentamento Clero della Diocesi di Cesena
Cantiere : PUA AT3 - AT5
Località : San Giorgio di Cesena

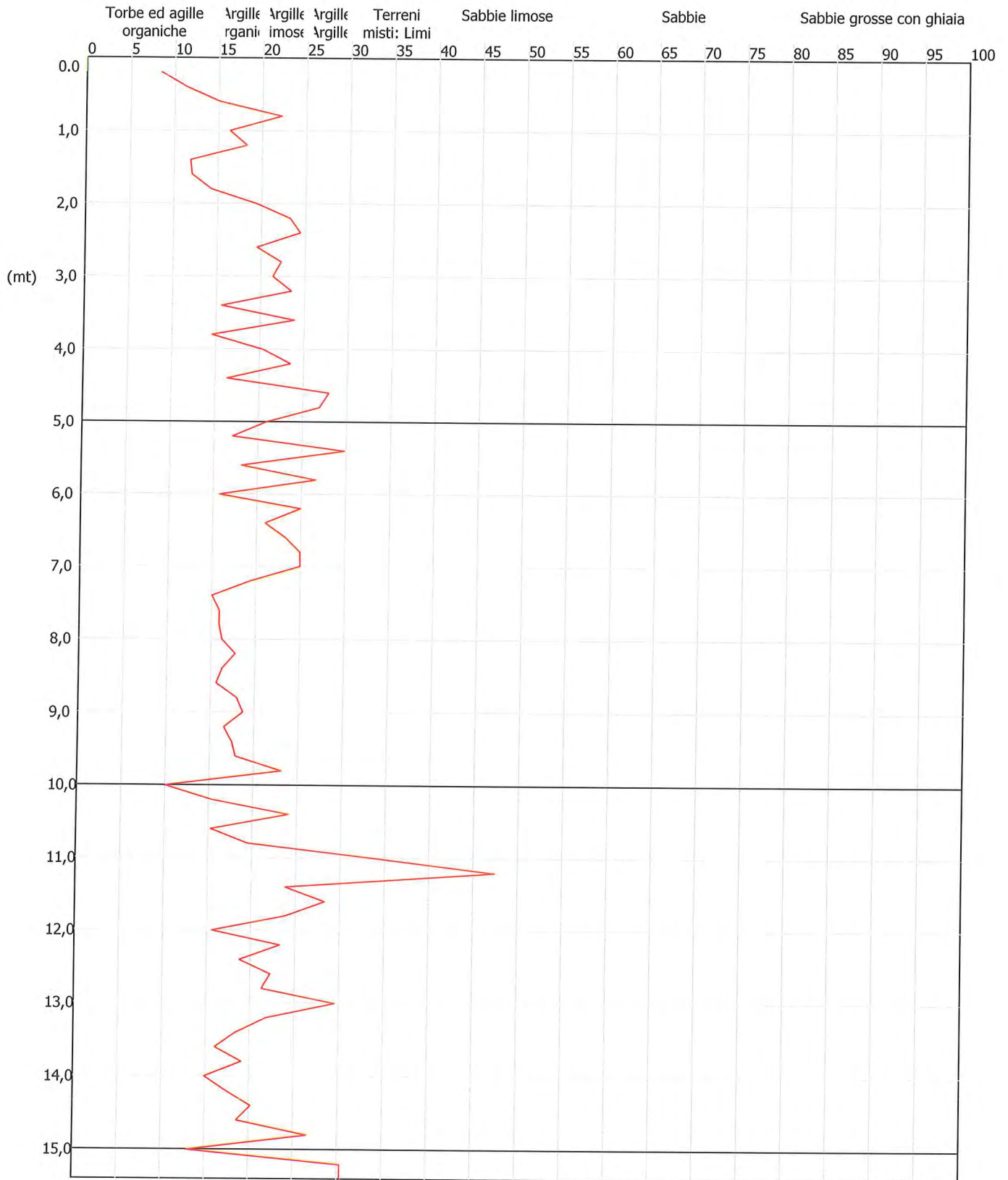


GRAFICO PROFONDITA' / VALUTAZIONI LITOLOGICHE (Schmertmann 1978)
PROVA: Nr.1

Committente : Istituto Diocesano per il Sostegno del Clero della Diocesi di Cesena
 Cantiere : PUA AT3 - AT5
 Località : San Giorgio di Cesena

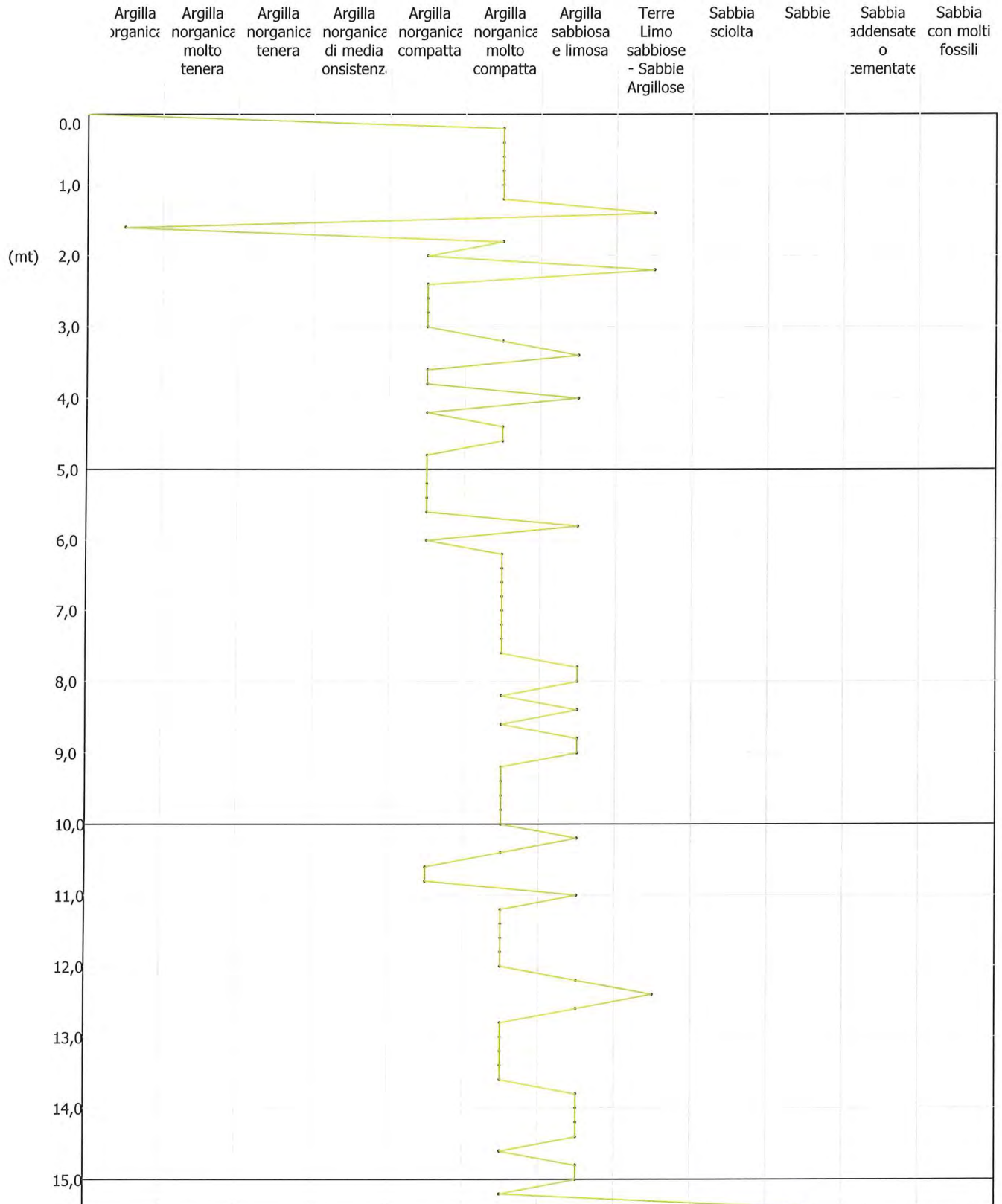


GRAFICO PROFONDITA' / VALUTAZIONI LITOLOGICHE (Schmertmann 1978)
PROVA: Nr.2

Committente : Istituto Diocesano per il Sostemento del Clero della Diocesi di Cesena
 Cantiere : PUA AT3 - AT5
 Località : San Giorgio di Cesena

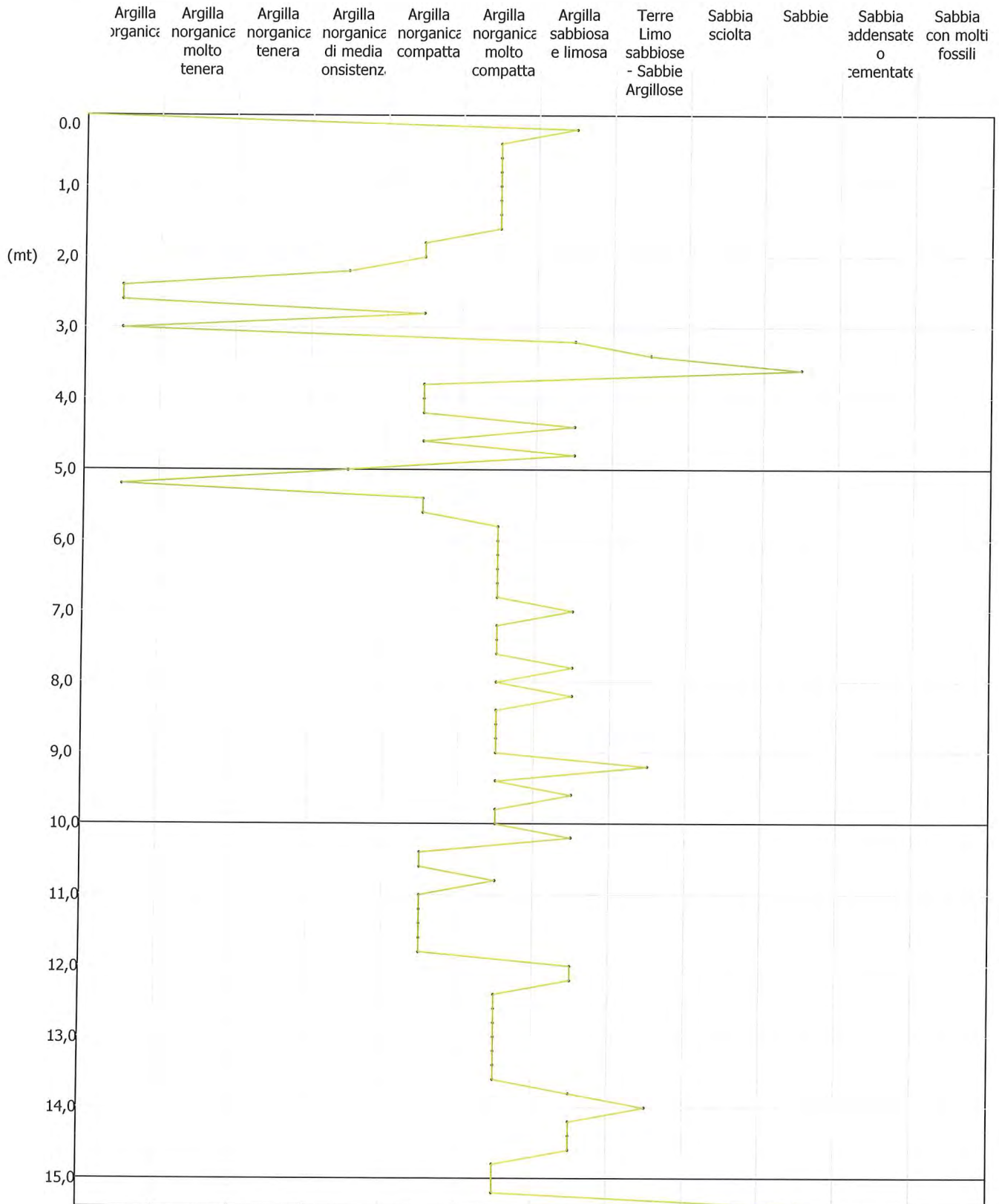


GRAFICO PROFONDITA' / VALUTAZIONI LITOLOGICHE (Schmertmann 1978)
PROVA: Nr.3

Committente : Istituto Diocesano per il Sostentamento del Clero della Diocesi di San Marino e altri
Cantiere : PUA AT3 - AT5

Località : San Giorgio di Cesena

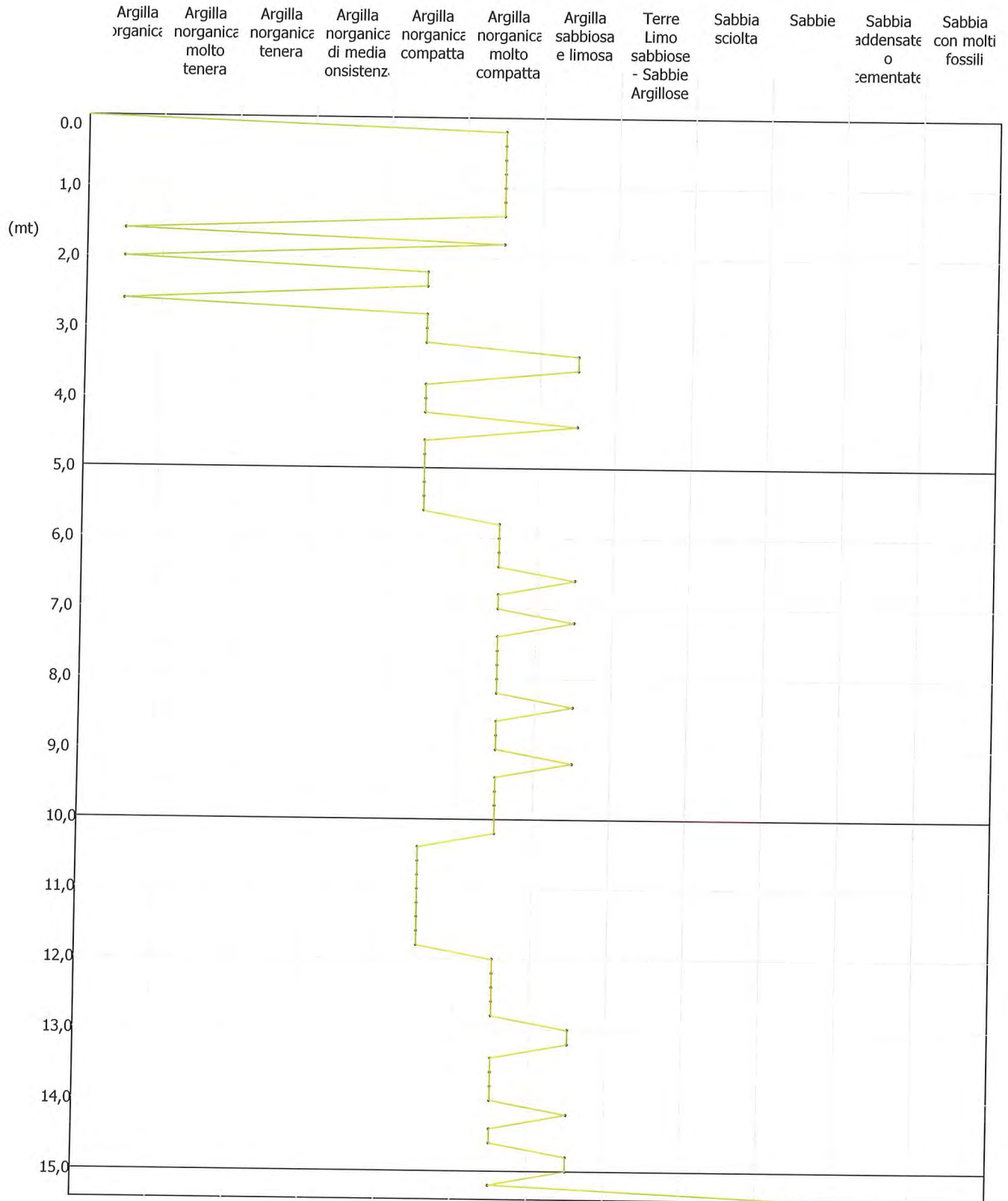


GRAFICO PROFONDITA' / VALUTAZIONI LITOLOGICHE (Schmertmann 1978)
PROVA: Nr.4

Committente : Istituto Diocesano Per Sostentamento del Clero della Diocesi di Cesena e altri
 Cantiere : PUA AT3 - AT5
 Località : San Giorgio di Cesena

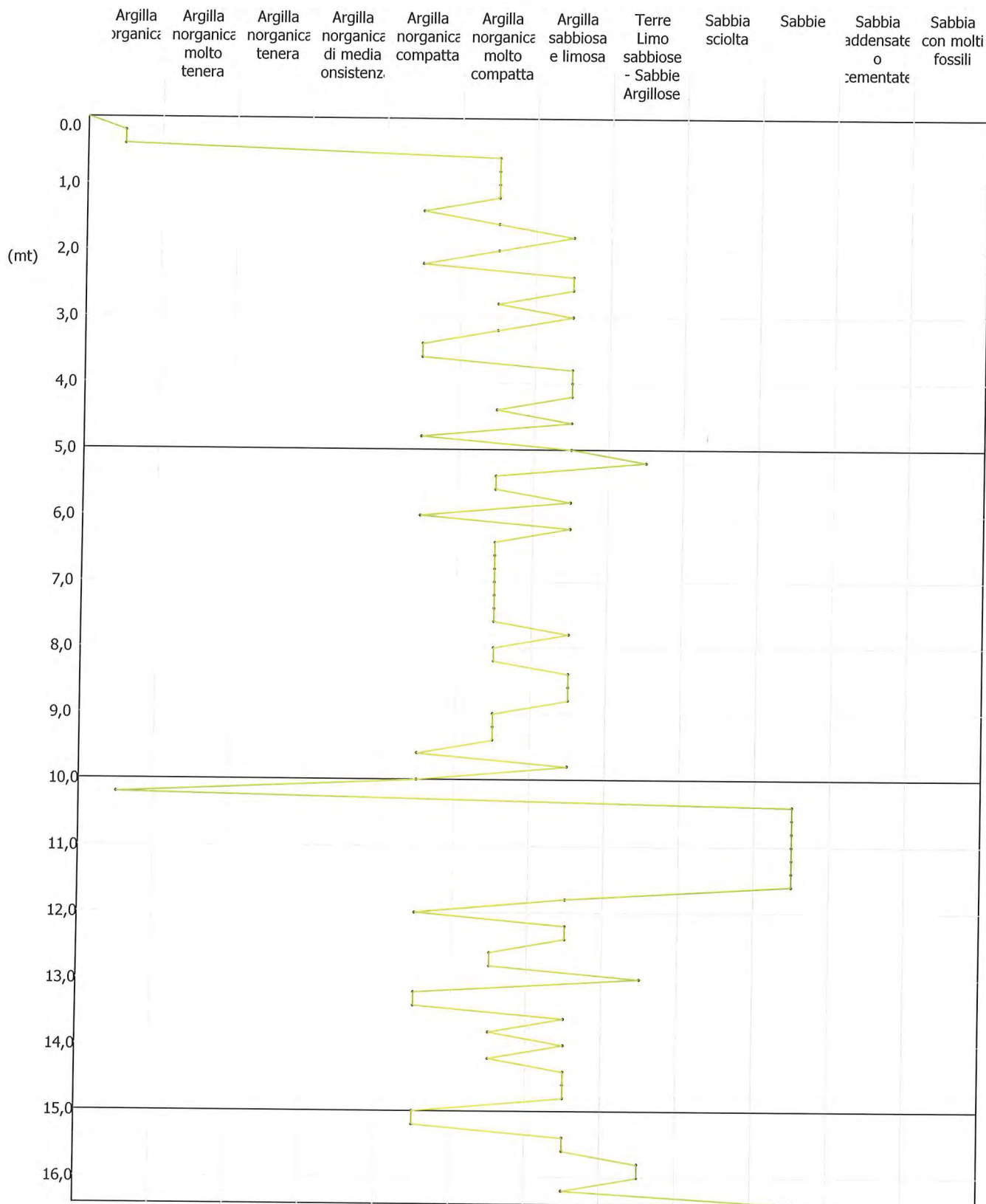
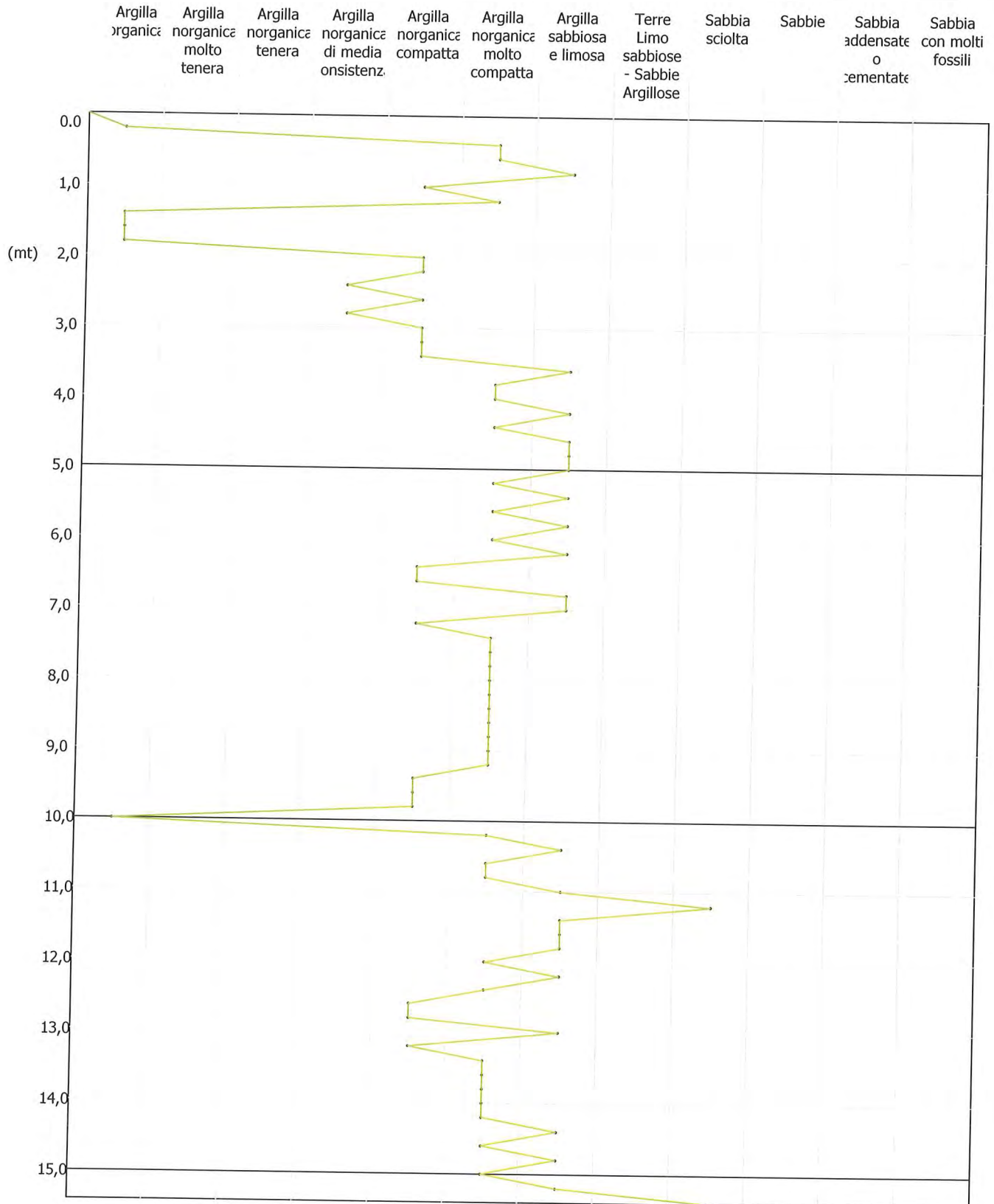


GRAFICO PROFONDITA' / VALUTAZIONI LITOLOGICHE (Schmertmann 1978)
PROVA: Nr.5

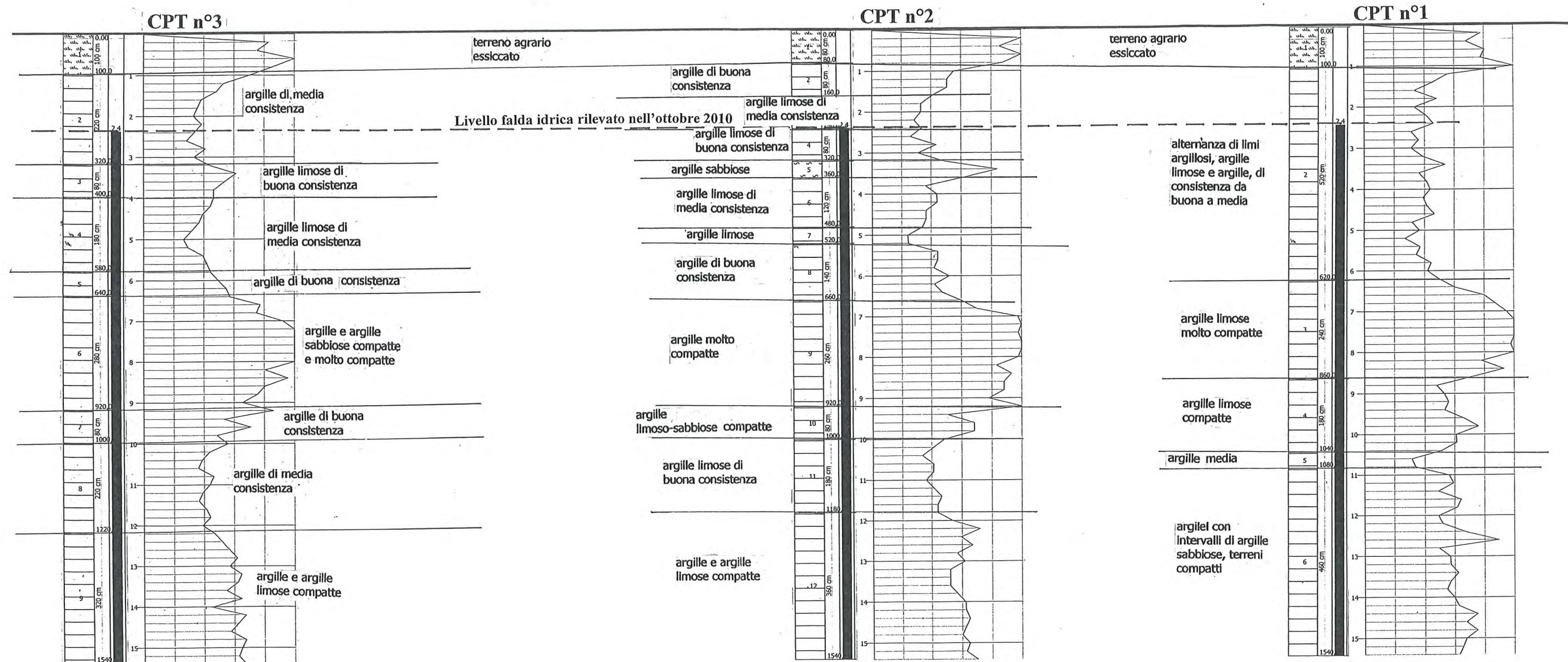
Committente : Istituto Diocesano Per Sostentamento Clero della Diocesi di Cesena
 Cantiere : PUA AT3 - AT5
 Località : San Giorgio di Cesena



Scala distanze 1:670

Scala profondità 1:100

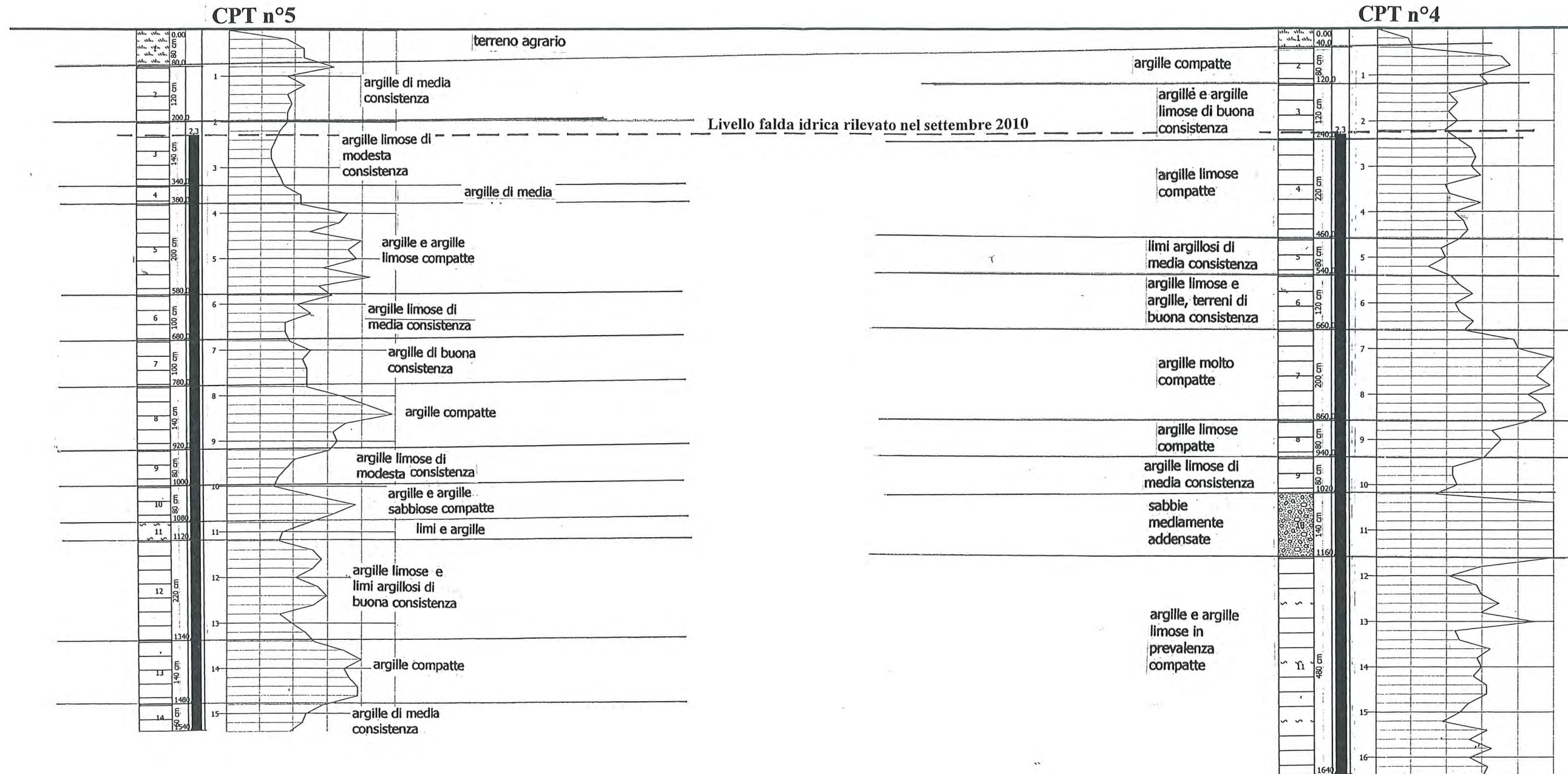
Sezione stratigrafica con profili penetrometrici



Scala distanze 1:400

Scala profondità 1:100

Sezione stratigrafica con profili penetrometrici



ACQUE DI SUPERFICIE E SOTTERRANEE, RISCHIO IDROGEOLOGICO

Acque superficiali

Nelle aree in esame il drenaggio delle acque meteoriche è dovuto in parte all'assorbimento diretto del terreno, indicato a permeabilità *alta* nella Carta Idrogeologica del P.T.C.P. ed in parte al deflusso nei fossi interpoderali presenti nelle due aree, fossi tributari dello scolo consorziale *San Giorgio* per l'area di via Parataglio e dello scolo consorziale *Ponte Cucco* per l'area di via Cerca.

Falda idrica

In zona esiste una falda idrica sospesa, a pelo libero, piuttosto superficiale e ad alimentazione prevalentemente meteorica con oscillazioni stagionali di livello comprese fra m-1.00, in condizioni di massimo ravvenamento e m-3.00, in condizioni di minimo ravvenamento (vedere carta tematica allegata con isofreatiche e livello minimo e massimo rilevato in pozzi presenti in zona, livello riferito al p.c. – da Carta di P.R.G.). Nei fori di sondaggio il livello rilevato al momento dell'indagine e risultato compreso fra m-2.30 e m-2.40. Vi è poi una prima falda idrica confinata più profonda avente scarse comunicazioni con quella superficiale, falda alimentata da circolazione idrica sotterranea e che è stata rilevata ad una profondità prossima a m-2.50 sul livello del mare e cioè a circa m-12.00 dal piano di campagna (Da Carta Idrogeologica del P.T.C.P. - fonte IDROSER/ARPA, vedere allegati).

Rischio idrogeologico dell'area

Entrambe le aree si trovano in zona indicata "di potenziale allagamento - Art.6" (da Carta del Rischio Idrogeologico del Piano Stralcio dell'Autorità dei Bacini regionali Romagnoli). Si tratta di aree in cui la rete scolante non è sufficiente ad evitare fenomeni di allagamento e andranno disposti i mezzi necessari ad evitare che il fenomeno induca danni nei fabbricati. Andrà cioè predisposto il piano di calpestio del piano terra ad una quota adeguata rispetto al piano di campagna attuale.

Interventi da prevedersi in relazione alla impermeabilizzazione dell'area

L'attuazione del piano porterà alla impermeabilizzazione di parte delle aree, quindi per mantenere l'invarianza idraulica della zona e cioè per evitare l'incremento di deflusso nella rete scolante circostante, si dovrà operare in modo che la portata d'acqua attuale non aumenti

 **Aree d'indagine**



PIANO TERRITORIALE
DI
COORDINAMENTO PROVINCIALE

LEGENDA

PERMEABILITA'

Individuazione in pianura delle aree ad uguale accettazione delle acque meteoriche, identificate in base alla "Carta dei suoli" della Regione Emilia-Romagna (1994)

	Molto alta
	Molto alta - moderata
	Alta - molto alta
	Alta
	Alta - moderata
	Moderata
	Moderata - bassa

Individuazione per le aree di montagna e collina di aree ad uguale permeabilita' sulla base della "Carta litologica" della Regione Emilia-Romagna (1984)

	Alta
	Media
	Bassa
	Impermeabile

PIEZOMETRIA

Isofreatiche relative alla piezometria media dell'acquifero piu' superficiale nell'anno 1993, in m.

Fonte: Idroser/A.R.P.A. (1995)

 Piezometria di pianura

dopo l'intervento e il deflusso dovrà essere controllato in modo da non superare l'attuale stato di carico durante il tempo in cui si verificano precipitazioni meteoriche. A tale scopo si dovrà provvedere la rete fognante, di opportune opere di stoccaggio (vasche o laghetti di laminazione, ecc) da dimensionarsi per una capienza minima da valutarsi sulla base di quanto disposto dalle autorità competenti

ALLEGATI

Carta della idrografia superficiale in scala 1:10.000, con riportati i canali consorziali

Carta comunale in scala 1:10.000 con indicazioni relative alla falda idrica superficiale sospesa e con isofreatiche relative alla prima falda confinata

Carta in scala 1:10.000 con indicate le aree a rischio di alluvionamento

Carta idrogeologica del P.T.C.P.

Idrografia Superficiale

Canali Consorziali a scolo naturale



Carta Tematica in Scala 1:10.000

Perimetrazione aree d'indagine
Autorità dei Bacini regionali Romagnoli
Aree a Rischio Idrogeologico
Art.4 Aree a moderata probabilità di esondazione
Art.6 Aree di potenziale allagamento



MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

Per la definizione dei parametri geotecnici dei terreni sondatisi sono utilizzate correlazioni empiriche con i dati penetrometrici, correlazioni elaborate da diversi autori. Qui di seguito vengono riportate alcune delle correlazioni utilizzate.

Parametri degli strati coesivi

I principali parametri geotecnici calcolabili per terreni coesivi (componente limosa o argillosa dominante) attraverso le correlazioni dirette con i valori di R_p sono i seguenti:

- coesione non drenata C_u
- modulo edometrico E_d
- rapporto di sovraconsolidazione OCR
- modulo dinamico di taglio G_0
- indice di compressione vergine C_c
- permeabilità

Coesione non drenata (Lunne e Eide)

Il metodo è valido per argille in genere e si basa sulla seguente relazione:

$$c_u \text{ (kg/cmq)} = \frac{R_p - \sigma}{20.7 - 0.18IP} \text{ dove:}$$

R_p (kg/cmq)= Resistenza alla punta media dello strato

IP Indice di plasticità medio dello strato

σ (kg/cmq)= Pressione litostatica efficace a metà strato

Modulo edometrico (Mitchell e Gardner)

Il metodo, valido per argille in genere, si basa sulla seguente relazione: $E_d \text{ (kg/cmq)} = \alpha R_p$

dove R_p è la resistenza alla punta media dello strato e α è un coefficiente variabile in funzione del tipo di terreno, secondo la seguente tabella:

Terreno	α
CL	Per $0.7 > R_p$ $\alpha=5$
	Per $2 > R_p > 0.7$ $\alpha=3.5$
	Per $R_p > 2$ $\alpha=1.7$
ML	Per $2 > R_p$ $\alpha=2$
	Per $2 < R_p$ $\alpha=4.5$
MH-CH	$\alpha=4$
OL-OH	$\alpha=4$

Dove R_p è la resistenza alla punta espressa in Mpa

Rapporto di sovraconsolidazione (Ladd e Foot)

Si basa sulla seguente relazione: $OCR = \left(\frac{C_u}{\sigma_{KK}}\right)^{1.25}$

C_u = coesione non drenata dello strato (Kg/cmq);

σ = Pressione efficace a metà strato (Kg/cmq);

KK = $7-K_p$, parametro correttivo in funzione della profondità.

K_p viene calcolato come illustrato dalla seguente tabella:

Profondità media dello strato P(m)	K_p
$h \leq 1$	$K_p = 0.2(h/p)$
$1 < h < 4$	$K_p = (0.2/p) + [0.35(h-1)/p]$
$h > 4$	$K_p = (0.2/p) + (0.35 \cdot 3/p) + [0.5(h-4)/p]$

dove p è il passo di lettura della prova espresso in metri.

Nel caso risultasse $KK < 0.25$ si pone $KK = 0.25$.

Modulo dinamico di taglio (Imai e Tomauchi)

Il metodo, valido per tutti i tipi di terreno, si basa sulla seguente relazione:

$G_0 (kg/cmq) = 28R_p^{0.611}$, dove R_p è la resistenza di punta media nello strato.

Fattore di Compressione (Schmertmann)

Per una stima del parametro C è possibile utilizzare la relazione Schmertmann:

$C_c = 0.09 - 0.055 \text{Log} \left(\frac{2c_u}{\sigma} \right)$ dove c_u è la coesione non drenata media dello strato e σ la

pressione litostatica efficace media a metà strato.

Permeabilità (Piacentini e Righi)

Un'indicazione della permeabilità dello strato può essere ottenuta attraverso la relazione di

Piacentini e Righi: $k(m/s) = 10^{-\left(\frac{165}{f_r} + \frac{160R_p}{f_r^{3.5}}\right)}$

Parametri degli strati incoerenti

I principali parametri geotecnici calcolabili per terreni incoerenti (componente sabbiosa o ghiaiosa dominante) attraverso le correlazioni dirette con i valori di R_p sono i seguenti:

- angolo di resistenza al taglio φ ;
- densità relativa $Dr(\%)$
- modulo di deformazione (o di Young)

- modulo edometrico M_0 (E_{ed})
- modulo dinamico di taglio G_0
- permeabilità.

Angolo di resistenza al taglio efficace φ' (Caquot)

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\varphi = 9.8 + 4.96 \ln \left(\frac{R_p}{\sigma} \right) \text{ dove } \sigma \text{ è la pressione litostatica efficace a metà strato in kg/cm}^2 \text{ e } R_p$$

la resistenza alla punta media misurata nello strato, sempre in kg/cm^2 .

Densità relativa (Schmertmann)

La densità relativa viene valutata attraverso correlazioni applicabili nel caso di terreni di punta media misurata nello strato e si basa sulla relazione: $Dr\% = -97.8 + 36.6 \ln R_p - 26.9 \ln \sigma$

Modulo di Young (E_{y50}) (Schmertmann)

Il metodo è valido per le sabbie in genere normalmente consolidate. La relazione non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di R_p ad una diminuzione di E con la profondità: $E(\text{kg/cmq}) = 2.5 R_p$

Modulo edometrico (Mitchell & Gardner)

Il metodo è valido per le sabbie in genere. Si basa sulla seguente relazione:
 $M(\text{kg/cmq}) = 0.03 R_p + 11.7 \sigma + 0.79 Dr\%$

dove σ è la pressione litostatica efficace a metà strato in kg/cmq , $R_p(\text{kg/cm}^2)$ la resistenza di punta media misurata nello strato e Dr la densità relativa in percentuale.

Modulo di deformazione di taglio (Imai e Tomauchi)

Il metodo, valido per tutti i tipi di terreno, si basa sulla seguente relazione:

$$G_0(\text{kg/cmq}) = 28 R_p^{0.611} \text{ dove } R_p \text{ è la resistenza di punta media nello strato.}$$

Permeabilità (Piacentini e Righi)

Un'indicazione della permeabilità dello strato può essere ottenuta attraverso la relazione

$$k(m/s) = 10^{-\left(\frac{165}{f_r} + \frac{160 R_p}{f_r^{3.5}} \right)}$$

dove R_p è la resistenza di punta media nello strato in kg/cmq e f_r è il rapporto R_p/R_l

I parametri geotecnici ottenuti sono riportati nelle pagine successive

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI (CPT n°1)

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 1	1,00	33,138	2,426667	0,1027465	0,1027465	Lunne & Eide	1,892053
Strato 2	6,20	16,10639	0,8282052	0,7066522	0,5866522	Lunne & Eide	0,8888739
Strato 3	8,60	37,42583	2,188889	1,456239	0,956239	Lunne & Eide	2,088751
Strato 4	10,40	23,38	1,111111	1,883661	1,173661	Lunne & Eide	1,271841
Strato 5	10,80	13,018	0,7333333	2,100319	1,280319	Lunne & Eide	0,6722612
Strato 6	15,40	24,74757	1,098551	2,597084	1,527084	Lunne & Eide	1,329925

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 1	1,00	33,138	2,426667	0,1027465	0,1027465	Mitchell & Gardner (1975)	82,84500
Strato 2	6,20	16,10639	0,8282052	0,7066522	0,5866522	Mitchell & Gardner (1975)	80,53195
Strato 3	8,60	37,42583	2,188889	1,456239	0,956239	Mitchell & Gardner (1975)	93,56457
Strato 4	10,40	23,38	1,111111	1,883661	1,173661	Mitchell & Gardner (1975)	58,44999
Strato 5	10,80	13,018	0,7333333	2,100319	1,280319	Mitchell & Gardner (1975)	65,09
Strato 6	15,40	24,74757	1,098551	2,597084	1,527084	Mitchell & Gardner (1975)	61,86892

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 1	1,00	33,138	2,426667	0,1027465	0,1027465	Ladd ed Altri 1977 n=30	49,8
Strato 2	6,20	16,10639	0,8282052	0,7066522	0,5866522	Ladd ed Altri 1977 n=30	24,3
Strato 3	8,60	37,42583	2,188889	1,456239	0,956239	Ladd ed Altri 1977 n=30	56,1
Strato 4	10,40	23,38	1,111111	1,883661	1,173661	Ladd ed Altri 1977 n=30	35,1
Strato 5	10,80	13,018	0,7333333	2,100319	1,280319	Ladd ed Altri 1977 n=30	19,5
Strato 6	15,40	24,74757	1,098551	2,597084	1,527084	Ladd ed Altri 1977 n=30	37,2

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 1	1,00	33,138	2,426667	0,1027465	0,1027465	Imai & Tomauchi	237,7264
Strato 2	6,20	16,10639	0,8282052	0,7066522	0,5866522	Imai & Tomauchi	152,9798
Strato 3	8,60	37,42583	2,188889	1,456239	0,956239	Imai & Tomauchi	256,0742
Strato 4	10,40	23,38	1,111111	1,883661	1,173661	Imai & Tomauchi	192,0976
Strato 5	10,80	13,018	0,7333333	2,100319	1,280319	Imai & Tomauchi	134,3212
Strato 6	15,40	24,74757	1,098551	2,597084	1,527084	Imai & Tomauchi	198,887

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 1	1,00	33,138	2,426667	0,1027465	0,1027465	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	6,20	16,10639	0,8282052	0,7066522	0,5866522	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 3	8,60	37,42583	2,188889	1,456239	0,956239	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 4	10,40	23,38	1,111111	1,883661	1,173661	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 5	10,80	13,018	0,7333333	2,100319	1,280319	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 6	15,40	24,74757	1,098551	2,597084	1,527084	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

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 1	1,00	33,138	2,426667	0,1027465	0,1027465	Meyerhof	2,05731
Strato 2	6,20	16,10639	0,8282052	0,7066522	0,5866522	Meyerhof	1,930392
Strato 3	8,60	37,42583	2,188889	1,456239	0,956239	Meyerhof	2,073925
Strato 4	10,40	23,38	1,111111	1,883661	1,173661	Meyerhof	1,99058
Strato 5	10,80	13,018	0,7333333	2,100319	1,280319	Meyerhof	1,883468
Strato 6	15,40	24,74757	1,098551	2,597084	1,527084	Meyerhof	1,998083

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	C	Crm
Strato 1	1,00	33,138	2,426667	0,1027465	0,1027465		
Strato 2	6,20	16,10639	0,8282052	0,7066522	0,5866522		
Strato 3	8,60	37,42583	2,188889	1,456239	0,956239		
Strato 4	10,40	23,38	1,111111	1,883661	1,173661		
Strato 5	10,80	13,018	0,7333333	2,100319	1,280319		
Strato 6	15,40	24,74757	1,098551	2,597084	1,527084		

Peso unità di volume saturo

	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 saturo (t/m ³)
Strato 1	1,00	33,138	2,426667	0,1027465	0,1027465	Meyerhof	2,13731
Strato 2	6,20	16,10639	0,8282052	0,7066522	0,5866522	Meyerhof	2,010392
Strato 3	8,60	37,42583	2,188889	1,456239	0,956239	Meyerhof	2,153925
Strato 4	10,40	23,38	1,111111	1,883661	1,173661	Meyerhof	2,07058
Strato 5	10,80	13,018	0,7333333	2,100319	1,280319	Meyerhof	1,963468
Strato 6	15,40	24,74757	1,098551	2,597084	1,527084	Meyerhof	2,078083

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	1,00	33,138	2,426667	0,1027465	0,1027465	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 2	6,20	16,10639	0,8282052	0,7066522	0,5866522	Piacentini-Righi 1988	5,26E-10
Strato 3	8,60	37,42583	2,188889	1,456239	0,956239	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 4	10,40	23,38	1,111111	1,883661	1,173661	Piacentini-Righi 1988	1,92E-09
Strato 5	10,80	13,018	0,7333333	2,100319	1,280319	Piacentini-Righi 1988	6,63E-11
Strato 6	15,40	24,74757	1,098551	2,597084	1,527084	Piacentini-Righi 1988	8,83E-09

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	1,00	33,138	2,426667	0,1027465	0,1027465	Piacentini-Righi 1988	9,9414E-07
Strato 2	6,20	16,10639	0,8282052	0,7066522	0,5866522	Piacentini-Righi 1988	2,541821E-05
Strato 3	8,60	37,42583	2,188889	1,456239	0,956239	Piacentini-Righi 1988	1,122775E-06
Strato 4	10,40	23,38	1,111111	1,883661	1,173661	Piacentini-Righi 1988	1,346479E-04
Strato 5	10,80	13,018	0,7333333	2,100319	1,280319	Piacentini-Righi 1988	2,588957E-06
Strato 6	15,40	24,74757	1,098551	2,597084	1,527084	Piacentini-Righi 1988	6,554449E-04

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI (CPT n°2)

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 1	0,80	44,388	3,233333	8,409292E-02	8,409292E-02	Lunne & Eide	2,537452
Strato 2	1,60	19,7415	1,316667	0,246882	0,246882	Lunne & Eide	1,11653
Strato 3	2,40	12,845	0,7499999	0,401283	0,401283	Lunne & Eide	0,7126986
Strato 4	3,20	14,9485	0,8166667	0,5534864	0,5134864	Lunne & Eide	0,8267476
Strato 5	3,60	29,052	0,7333333	0,6705889	0,5705889	Lunne & Eide	1,631238
Strato 6	4,80	15,47733	0,7333333	0,8264972	0,6464972	Lunne & Eide	0,8494177
Strato 7	5,20	9,759	0,5333334	0,9785905	0,7185906	Lunne & Eide	0,5177783
Strato 8	6,60	19,03	1,133333	1,152301	0,8023013	Lunne & Eide	1,043969
Strato 9	9,20	37,77246	2,097436	1,558792	1,008792	Lunne & Eide	2,105594
Strato 10	10,00	23,63	1,216666	1,907956	1,187956	Lunne & Eide	1,28534
Strato 11	11,80	16,46822	0,8148148	2,160845	1,310845	Lunne & Eide	0,86812
Strato 12	15,40	24,39178	1,088889	2,693102	1,573102	Lunne & Eide	1,306912

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 1	0,80	44,388	3,233333	8,409292E-02	8,409292E-02	Mitchell & Gardner (1975)	110,97000
Strato 2	1,60	19,7415	1,316667	0,246882	0,246882	Mitchell & Gardner (1975)	98,7075
Strato 3	2,40	12,845	0,7499999	0,401283	0,401283	Mitchell & Gardner (1975)	64,225
Strato 4	3,20	14,9485	0,8166667	0,5534864	0,5134864	Mitchell & Gardner (1975)	74,7425
Strato 5	3,60	29,052	0,7333333	0,6705889	0,5705889	Mitchell & Gardner (1975)	72,630000
Strato 6	4,80	15,47733	0,7333333	0,8264972	0,6464972	Mitchell & Gardner (1975)	77,38665
Strato 7	5,20	9,759	0,5333334	0,9785905	0,7185906	Mitchell & Gardner (1975)	48,795
Strato 8	6,60	19,03	1,133333	1,152301	0,8023013	Mitchell & Gardner (1975)	95,15
Strato 9	9,20	37,77246	2,097436	1,558792	1,008792	Mitchell & Gardner (1975)	94,431152
Strato 10	10,00	23,63	1,216666	1,907956	1,187956	Mitchell & Gardner (1975)	59,074997
Strato 11	11,80	16,46822	0,8148148	2,160845	1,310845	Mitchell & Gardner (1975)	82,34109
Strato 12	15,40	24,39178	1,088889	2,693102	1,573102	Mitchell & Gardner (1975)	60,979452

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 1	0,80	44,388	3,233333	8,409292E-02	8,409292E-02	Ladd ed Altri 1977 n=30	66,6
Strato 2	1,60	19,7415	1,316667	0,246882	0,246882	Ladd ed Altri 1977 n=30	29,7
Strato 3	2,40	12,845	0,7499999	0,401283	0,401283	Ladd ed Altri 1977 n=30	19,2
Strato 4	3,20	14,9485	0,8166667	0,5534864	0,5134864	Ladd ed Altri 1977 n=30	22,5
Strato 5	3,60	29,052	0,7333333	0,6705889	0,5705889	Ladd ed Altri 1977 n=30	43,5
Strato 6	4,80	15,47733	0,7333333	0,8264972	0,6464972	Ladd ed Altri 1977 n=30	23,1
Strato 7	5,20	9,759	0,5333334	0,9785905	0,7185906	Ladd ed Altri 1977 n=30	14,7
Strato 8	6,60	19,03	1,133333	1,152301	0,8023013	Ladd ed Altri 1977 n=30	28,5
Strato 9	9,20	37,77246	2,097436	1,558792	1,008792	Ladd ed Altri 1977 n=30	56,7
Strato 10	10,00	23,63	1,216666	1,907956	1,187956	Ladd ed Altri 1977 n=30	35,4
Strato 11	11,80	16,46822	0,8148148	2,160845	1,310845	Ladd ed Altri 1977 n=30	24,6
Strato 12	15,40	24,39178	1,088889	2,693102	1,573102	Ladd ed Altri 1977 n=30	36,6

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 1	0,80	44,388	3,233333	8,409292E-02	8,409292E-02	Imai & Tomauchi	284,2086
Strato 2	1,60	19,7415	1,316667	0,246882	0,246882	Imai & Tomauchi	173,2349
Strato 3	2,40	12,845	0,7499999	0,401283	0,401283	Imai & Tomauchi	133,2277
Strato 4	3,20	14,9485	0,8166667	0,5534864	0,5134864	Imai & Tomauchi	146,1629
Strato 5	3,60	29,052	0,7333333	0,6705889	0,5705889	Imai & Tomauchi	219,3606
Strato 6	4,80	15,47733	0,7333333	0,8264972	0,6464972	Imai & Tomauchi	149,3009
Strato 7	5,20	9,759	0,5333334	0,9785905	0,7185906	Imai & Tomauchi	112,6379
Strato 8	6,60	19,03	1,133333	1,152301	0,8023013	Imai & Tomauchi	169,3929
Strato 9	9,20	37,77246	2,097436	1,558792	1,008792	Imai & Tomauchi	257,5207
Strato 10	10,00	23,63	1,216666	1,907956	1,187956	Imai & Tomauchi	193,3501
Strato 11	11,80	16,46822	0,8148148	2,160845	1,310845	Imai & Tomauchi	155,0705
Strato 12	15,40	24,39178	1,088889	2,693102	1,573102	Imai & Tomauchi	197,135

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 1	0,80	44,388	3,233333	8,409292E-02	8,409292E-02	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	1,60	19,7415	1,316667	0,246882	0,246882	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 3	2,40	12,845	0,7499999	0,401283	0,401283	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 4	3,20	14,9485	0,8166667	0,5534864	0,5134864	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 5	3,60	29,052	0,7333333	0,6705889	0,5705889	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 6	4,80	15,47733	0,7333333	0,8264972	0,6464972	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 7	5,20	9,759	0,5333334	0,9785905	0,7185906	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 8	6,60	19,03	1,133333	1,152301	0,8023013	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 9	9,20	37,77246	2,097436	1,558792	1,008792	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 10	10,00	23,63	1,216666	1,907956	1,187956	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 11	11,80	16,46822	0,8148148	2,160845	1,310845	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 12	15,40	24,39178	1,088889	2,693102	1,573102	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

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 1	0,80	44,388	3,233333	8,409292E-02	8,409292E-02	Meyerhof	2,106617
Strato 2	1,60	19,7415	1,316667	0,246882	0,246882	Meyerhof	1,9687
Strato 3	2,40	12,845	0,7499999	0,401283	0,401283	Meyerhof	1,893281
Strato 4	3,20	14,9485	0,8166667	0,5534864	0,5134864	Meyerhof	1,918219
Strato 5	3,60	29,052	0,7333333	0,6705889	0,5705889	Meyerhof	2,032391
Strato 6	4,80	15,47733	0,7333333	0,8264972	0,6464972	Meyerhof	1,922764
Strato 7	5,20	9,759	0,5333334	0,9785905	0,7185906	Meyerhof	1,839603
Strato 8	6,60	19,03	1,133333	1,152301	0,8023013	Meyerhof	1,957411
Strato 9	9,20	37,77246	2,097436	1,558792	1,008792	Meyerhof	2,075275
Strato 10	10,00	23,63	1,216666	1,907956	1,187956	Meyerhof	1,992354
Strato 11	11,80	16,46822	0,8148148	2,160845	1,310845	Meyerhof	1,926423
Strato 12	15,40	24,39178	1,088889	2,693102	1,573102	Meyerhof	1,99515

Fattori di compressibilità C Crm

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

Peso unità di volume saturo

	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 saturo (t/m ³)
Strato 1	0,80	44,388	3,233333	8,409292E-02	8,409292E-02	Meyerhof	2,186617
Strato 2	1,60	19,7415	1,316667	0,246882	0,246882	Meyerhof	2,0487
Strato 3	2,40	12,845	0,7499999	0,401283	0,401283	Meyerhof	1,973281
Strato 4	3,20	14,9485	0,8166667	0,5534864	0,5134864	Meyerhof	1,998219
Strato 5	3,60	29,052	0,7333333	0,6705889	0,5705889	Meyerhof	2,112391
Strato 6	4,80	15,47733	0,7333333	0,8264972	0,6464972	Meyerhof	2,002764
Strato 7	5,20	9,759	0,5333334	0,9785905	0,7185906	Meyerhof	1,919603
Strato 8	6,60	19,03	1,133333	1,152301	0,8023013	Meyerhof	2,037411
Strato 9	9,20	37,77246	2,097436	1,558792	1,008792	Meyerhof	2,155275
Strato 10	10,00	23,63	1,216666	1,907956	1,187956	Meyerhof	2,072354
Strato 11	11,80	16,46822	0,8148148	2,160845	1,310845	Meyerhof	2,006423
Strato 12	15,40	24,39178	1,088889	2,693102	1,573102	Meyerhof	2,07515

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0,80	44,388	3,233333	8,409292E-02	8,409292E-02	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 2	1,60	19,7415	1,316667	0,246882	0,246882	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 3	2,40	12,845	0,7499999	0,401283	0,401283	Piacentini-Righi 1988	2,38E-11
Strato 4	3,20	14,9485	0,8166667	0,5534864	0,5134864	Piacentini-Righi 1988	1,19E-10
Strato 5	3,60	29,052	0,7333333	0,6705889	0,5705889	Piacentini-Righi 1988	5,20E-05
Strato 6	4,80	15,47733	0,7333333	0,8264972	0,6464972	Piacentini-Righi 1988	4,06E-09
Strato 7	5,20	9,759	0,5333334	0,9785905	0,7185906	Piacentini-Righi 1988	2,44E-10
Strato 8	6,60	19,03	1,133333	1,152301	0,8023013	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 9	9,20	37,77246	2,097436	1,558792	1,008792	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 10	10,00	23,63	1,216666	1,907956	1,187956	Piacentini-Righi 1988	2,15E-10
Strato 11	11,80	16,46822	0,8148148	2,160845	1,310845	Piacentini-Righi 1988	1,34E-09
Strato 12	15,40	24,39178	1,088889	2,693102	1,573102	Piacentini-Righi 1988	7,95E-09

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	0,80	44,388	3,233333	8,409292E-02	8,409292E-02	Piacentini-Righi 1988	1,33164E-06
Strato 2	1,60	19,7415	1,316667	0,246882	0,246882	Piacentini-Righi 1988	5,92245E-07
Strato 3	2,40	12,845	0,7499999	0,401283	0,401283	Piacentini-Righi 1988	9,187706E-07
Strato 4	3,20	14,9485	0,8166667	0,5534864	0,5134864	Piacentini-Righi 1988	5,31961E-06
Strato 5	3,60	29,052	0,7333333	0,6705889	0,5705889	Piacentini-Righi 1988	4,53497
Strato 6	4,80	15,47733	0,7333333	0,8264972	0,6464972	Piacentini-Righi 1988	1,886089E-04
Strato 7	5,20	9,759	0,5333334	0,9785905	0,7185906	Piacentini-Righi 1988	7,135186E-06
Strato 8	6,60	19,03	1,133333	1,152301	0,8023013	Piacentini-Righi 1988	5,709001E-07
Strato 9	9,20	37,77246	2,097436	1,558792	1,008792	Piacentini-Righi 1988	1,133174E-06
Strato 10	10,00	23,63	1,216666	1,907956	1,187956	Piacentini-Righi 1988	1,527649E-05
Strato 11	11,80	16,46822	0,8148148	2,160845	1,310845	Piacentini-Righi 1988	6,606556E-05
Strato 12	15,40	24,39178	1,088889	2,693102	1,573102	Piacentini-Righi 1988	5,819741E-04

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI (CPT n°3)

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 1	1,00	33,538	2,8	0,1028789	0,1028789	Lunne & Eide	1,914955
Strato 2	3,20	15,54564	0,9575759	0,4173165	0,4173165	Lunne & Eide	0,8664561
Strato 3	4,00	20,802	0,8833333	0,7078131	0,5878131	Lunne & Eide	1,157743
Strato 4	5,80	14,86245	0,762963	0,9588414	0,7088414	Lunne & Eide	0,8106305
Strato 5	6,40	21,58666	1,333333	1,190299	0,820299	Lunne & Eide	1,189368
Strato 6	9,20	36,21486	2,033334	1,538848	0,9988476	Lunne & Eide	2,016954
Strato 7	10,00	22,88	1,283333	1,907416	1,187416	Lunne & Eide	1,242416
Strato 8	12,20	16,60582	0,909091	2,198764	1,328764	Lunne & Eide	0,8749745
Strato 9	15,40	24,28763	1,133333	2,729624	1,589624	Lunne & Eide	1,3

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 1	1,00	33,538	2,8	0,1028789	0,1028789	Mitchell & Gardner (1975)	83,84499
Strato 2	3,20	15,54564	0,9575759	0,4173165	0,4173165	Mitchell & Gardner (1975)	77,7282
Strato 3	4,00	20,802	0,8833333	0,7078131	0,5878131	Mitchell & Gardner (1975)	52,00500
Strato 4	5,80	14,86245	0,762963	0,9588414	0,7088414	Mitchell & Gardner (1975)	74,31225
Strato 5	6,40	21,58666	1,333333	1,190299	0,820299	Mitchell & Gardner (1975)	53,96665
Strato 6	9,20	36,21486	2,033334	1,538848	0,9988476	Mitchell & Gardner (1975)	90,53714
Strato 7	10,00	22,88	1,283333	1,907416	1,187416	Mitchell & Gardner (1975)	57,19999
Strato 8	12,20	16,60582	0,909091	2,198764	1,328764	Mitchell & Gardner (1975)	83,0291
Strato 9	15,40	24,28763	1,133333	2,729624	1,589624	Mitchell & Gardner (1975)	60,71907

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 1	1,00	33,538	2,8	0,1028789	0,1028789	Ladd ed Altri 1977 n=30	50,4
Strato 2	3,20	15,54564	0,9575759	0,4173165	0,4173165	Ladd ed Altri 1977 n=30	23,4
Strato 3	4,00	20,802	0,8833333	0,7078131	0,5878131	Ladd ed Altri 1977 n=30	31,2
Strato 4	5,80	14,86245	0,762963	0,9588414	0,7088414	Ladd ed Altri 1977 n=30	22,2
Strato 5	6,40	21,58666	1,333333	1,190299	0,820299	Ladd ed Altri 1977 n=30	32,4
Strato 6	9,20	36,21486	2,033334	1,538848	0,9988476	Ladd ed Altri 1977 n=30	54,3
Strato 7	10,00	22,88	1,283333	1,907416	1,187416	Ladd ed Altri 1977 n=30	34,2
Strato 8	12,20	16,60582	0,909091	2,198764	1,328764	Ladd ed Altri 1977 n=30	24,9
Strato 9	15,40	24,28763	1,133333	2,729624	1,589624	Ladd ed Altri 1977 n=30	36,3

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 1	1,00	33,538	2,8	0,1028789	0,1028789	Imai & Tomauchi	239,4756
Strato 2	3,20	15,54564	0,9575759	0,4173165	0,4173165	Imai & Tomauchi	149,7031
Strato 3	4,00	20,802	0,8833333	0,7078131	0,5878131	Imai & Tomauchi	178,8629
Strato 4	5,80	14,86245	0,762963	0,9588414	0,7088414	Imai & Tomauchi	145,6483
Strato 5	6,40	21,58666	1,333333	1,190299	0,820299	Imai & Tomauchi	182,9554
Strato 6	9,20	36,21486	2,033334	1,538848	0,9988476	Imai & Tomauchi	250,9793
Strato 7	10,00	22,88	1,283333	1,907416	1,187416	Imai & Tomauchi	189,577
Strato 8	12,20	16,60582	0,909091	2,198764	1,328764	Imai & Tomauchi	155,8609
Strato 9	15,40	24,28763	1,133333	2,729624	1,589624	Imai & Tomauchi	196,6203

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 1	1,00	33,538	2,8	0,1028789	0,1028789	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	3,20	15,54564	0,9575759	0,4173165	0,4173165	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 3	4,00	20,802	0,8833333	0,7078131	0,5878131	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 4	5,80	14,86245	0,762963	0,9588414	0,7088414	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 5	6,40	21,58666	1,333333	1,190299	0,820299	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 6	9,20	36,21486	2,033334	1,538848	0,9988476	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 7	10,00	22,88	1,283333	1,907416	1,187416	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 8	12,20	16,60582	0,909091	2,198764	1,328764	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 9	15,40	24,28763	1,133333	2,729624	1,589624	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

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 1	1,00	33,538	2,8	0,1028789	0,1028789	Meyerhof	2,059331
Strato 2	3,20	15,54564	0,9575759	0,4173165	0,4173165	Meyerhof	1,9261
Strato 3	4,00	20,802	0,8833333	0,7078131	0,5878131	Meyerhof	1,97479
Strato 4	5,80	14,86245	0,762963	0,9588414	0,7088414	Meyerhof	1,914912
Strato 5	6,40	21,58666	1,333333	1,190299	0,820299	Meyerhof	1,979317
Strato 6	9,20	36,21486	2,033334	1,538848	0,9988476	Meyerhof	2,068049
Strato 7	10,00	22,88	1,283333	1,907416	1,187416	Meyerhof	1,986648
Strato 8	12,20	16,60582	0,909091	2,198764	1,328764	Meyerhof	1,927744
Strato 9	15,40	24,28763	1,133333	2,729624	1,589624	Meyerhof	1,994259

Peso unità di volume saturo

	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 saturo (t/m ³)
Strato 1	1,00	33,538	2,8	0,1028789	0,1028789	Meyerhof	2,139331
Strato 2	3,20	15,54564	0,9575759	0,4173165	0,4173165	Meyerhof	2,0061
Strato 3	4,00	20,802	0,8833333	0,7078131	0,5878131	Meyerhof	2,05479
Strato 4	5,80	14,86245	0,762963	0,9588414	0,7088414	Meyerhof	1,994912
Strato 5	6,40	21,58666	1,333333	1,190299	0,820299	Meyerhof	2,059317
Strato 6	9,20	36,21486	2,033334	1,538848	0,9988476	Meyerhof	2,148049
Strato 7	10,00	22,88	1,283333	1,907416	1,187416	Meyerhof	2,066648
Strato 8	12,20	16,60582	0,909091	2,198764	1,328764	Meyerhof	2,007744
Strato 9	15,40	24,28763	1,133333	2,729624	1,589624	Meyerhof	2,07426

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	1,00	33,538	2,8	0,1028789	0,1028789	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 2	3,20	15,54564	0,9575759	0,4173165	0,4173165	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 3	4,00	20,802	0,8833333	0,7078131	0,5878131	Piacentini-Righi 1988	2,94E-08
Strato 4	5,80	14,86245	0,762963	0,9588414	0,7088414	Piacentini-Righi 1988	6,32E-10
Strato 5	6,40	21,58666	1,333333	1,190299	0,820299	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 6	9,20	36,21486	2,033334	1,538848	0,9988476	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 7	10,00	22,88	1,283333	1,907416	1,187416	Piacentini-Righi 1988	1,64E-11
Strato 8	12,20	16,60582	0,909091	2,198764	1,328764	Piacentini-Righi 1988	8,85E-11
Strato 9	15,40	24,28763	1,133333	2,729624	1,589624	Piacentini-Righi 1988	2,80E-09

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	1,00	33,538	2,8	0,1028789	0,1028789	Piacentini-Righi 1988	1,00614E-06
Strato 2	3,20	15,54564	0,9575759	0,4173165	0,4173165	Piacentini-Righi 1988	4,663692E-07
Strato 3	4,00	20,802	0,8833333	0,7078131	0,5878131	Piacentini-Righi 1988	1,834538E-03
Strato 4	5,80	14,86245	0,762963	0,9588414	0,7088414	Piacentini-Righi 1988	2,818808E-05
Strato 5	6,40	21,58666	1,333333	1,190299	0,820299	Piacentini-Righi 1988	6,475998E-07
Strato 6	9,20	36,21486	2,033334	1,538848	0,9988476	Piacentini-Righi 1988	1,086446E-06
Strato 7	10,00	22,88	1,283333	1,907416	1,187416	Piacentini-Righi 1988	1,126825E-06
Strato 8	12,20	16,60582	0,909091	2,198764	1,328764	Piacentini-Righi 1988	4,409759E-06
Strato 9	15,40	24,28763	1,133333	2,729624	1,589624	Piacentini-Righi 1988	2,04266E-04

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI (CPT n°4)

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 1	0,40	7,638	0,7666667	3,619496E-02	3,619496E-02	Lunne & Eide	0,435384
Strato 2	1,20	26,6725	1,816667	0,1531654	0,1531654	Lunne & Eide	1,518862
Strato 3	2,40	17,15533	0,8777778	0,3505307	0,3505307	Lunne & Eide	0,9624742
Strato 4	4,60	20,09746	0,8909091	0,6835398	0,5635398	Lunne & Eide	1,118781
Strato 5	5,40	14,759	0,6666667	0,9764453	0,7064453	Lunne & Eide	0,8048428
Strato 6	6,60	19,897	0,9777778	1,170813	0,8008132	Lunne & Eide	1,093711
Strato 7	8,60	36,0178	2,133334	1,495362	0,9653621	Lunne & Eide	2,007585
Strato 8	9,40	26,311	1,316667	1,782492	1,112492	Lunne & Eide	1,443214
Strato 9	10,20	16,6645	0,8166667	1,940096	1,190096	Lunne & Eide	0,8862774
Strato 11	16,40	23,12601	0,9416666	2,799026	1,629026	Lunne & Eide	1,231213

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 1	0,40	7,638	0,7666667	3,619496E-02	3,619496E-02	Mitchell & Gardner (1975)	38,19
Strato 2	1,20	26,6725	1,816667	0,1531654	0,1531654	Mitchell & Gardner (1975)	66,68125
Strato 3	2,40	17,15533	0,8777778	0,3505307	0,3505307	Mitchell & Gardner (1975)	85,77666
Strato 4	4,60	20,09746	0,8909091	0,6835398	0,5635398	Mitchell & Gardner (1975)	100,4873
Strato 5	5,40	14,759	0,6666667	0,9764453	0,7064453	Mitchell & Gardner (1975)	73,795
Strato 6	6,60	19,897	0,9777778	1,170813	0,8008132	Mitchell & Gardner (1975)	99,485
Strato 7	8,60	36,0178	2,133334	1,495362	0,9653621	Mitchell & Gardner (1975)	90,04449
Strato 8	9,40	26,311	1,316667	1,782492	1,112492	Mitchell & Gardner (1975)	65,77750
Strato 9	10,20	16,6645	0,8166667	1,940096	1,190096	Mitchell & Gardner (1975)	83,32249
Strato 11	16,40	23,12601	0,9416666	2,799026	1,629026	Mitchell & Gardner (1975)	57,81502

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 1	0,40	7,638	0,7666667	3,619496E-02	3,619496E-02	Ladd ed Altri 1977 n=30	11,4
Strato 2	1,20	26,6725	1,816667	0,1531654	0,1531654	Ladd ed Altri 1977 n=30	39,9
Strato 3	2,40	17,15533	0,8777778	0,3505307	0,3505307	Ladd ed Altri 1977 n=30	25,8
Strato 4	4,60	20,09746	0,8909091	0,6835398	0,5635398	Ladd ed Altri 1977 n=30	30
Strato 5	5,40	14,759	0,6666667	0,9764453	0,7064453	Ladd ed Altri 1977 n=30	22,2
Strato 6	6,60	19,897	0,9777778	1,170813	0,8008132	Ladd ed Altri 1977 n=30	29,7
Strato 7	8,60	36,0178	2,133334	1,495362	0,9653621	Ladd ed Altri 1977 n=30	54
Strato 8	9,40	26,311	1,316667	1,782492	1,112492	Ladd ed Altri 1977 n=30	39,6
Strato 9	10,20	16,6645	0,8166667	1,940096	1,190096	Ladd ed Altri 1977 n=30	24,9
Strato 11	16,40	23,12601	0,9416666	2,799026	1,629026	Ladd ed Altri 1977 n=30	34,8

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 1	0,40	7,638	0,7666667	3,619496E-02	3,619496E-02	Imai & Tomauchi	96,97473
Strato 2	1,20	26,6725	1,816667	0,1531654	0,1531654	Imai & Tomauchi	208,2011
Strato 3	2,40	17,15533	0,8777778	0,3505307	0,3505307	Imai & Tomauchi	158,9922
Strato 4	4,60	20,09746	0,8909091	0,6835398	0,5635398	Imai & Tomauchi	175,1367
Strato 5	5,40	14,759	0,6666667	0,9764453	0,7064453	Imai & Tomauchi	145,028
Strato 6	6,60	19,897	0,9777778	1,170813	0,8008132	Imai & Tomauchi	174,0673
Strato 7	8,60	36,0178	2,133334	1,495362	0,9653621	Imai & Tomauchi	250,144
Strato 8	9,40	26,311	1,316667	1,782492	1,112492	Imai & Tomauchi	206,4724
Strato 9	10,20	16,6645	0,8166667	1,940096	1,190096	Imai & Tomauchi	156,1971
Strato 11	16,40	23,12601	0,9416666	2,799026	1,629026	Imai & Tomauchi	190,8199

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 1	0,40	7,638	0,7666667	3,619496E-02	3,619496E-02	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	1,20	26,6725	1,816667	0,1531654	0,1531654	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 3	2,40	17,15533	0,8777778	0,3505307	0,3505307	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 4	4,60	20,09746	0,8909091	0,6835398	0,5635398	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 5	5,40	14,759	0,6666667	0,9764453	0,7064453	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 6	6,60	19,897	0,9777778	1,170813	0,8008132	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 7	8,60	36,0178	2,133334	1,495362	0,9653621	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 8	9,40	26,311	1,316667	1,782492	1,112492	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 9	10,20	16,6645	0,8166667	1,940096	1,190096	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 11	16,40	23,12601	0,9416666	2,799026	1,629026	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

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 1	0,40	7,638	0,7666667	3,619496E-02	3,619496E-02	Meyerhof	1,810486
Strato 2	1,20	26,6725	1,816667	0,1531654	0,1531654	Meyerhof	2,0204
Strato 3	2,40	17,15533	0,8777778	0,3505307	0,3505307	Meyerhof	1,943757
Strato 4	4,60	20,09746	0,8909091	0,6835398	0,5635398	Meyerhof	1,969039
Strato 5	5,40	14,759	0,6666667	0,9764453	0,7064453	Meyerhof	1,913708
Strato 6	6,60	19,897	0,9777778	1,170813	0,8008132	Meyerhof	1,965231
Strato 7	8,60	36,0178	2,133334	1,495362	0,9653621	Meyerhof	2,067267
Strato 8	9,40	26,311	1,316667	1,782492	1,112492	Meyerhof	2,011817
Strato 9	10,20	16,6645	0,8166667	1,940096	1,190096	Meyerhof	1,9299
Strato 11	16,40	23,12601	0,9416666	2,799026	1,629026	Meyerhof	1,985126

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	C	Crm
Strato 10	11,60	73,43428	0,8761905	2,170274	1,310274	0,09798	0,01274

Peso unità di volume saturo

	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 saturo (t/m ³)
Strato 1	0,40	7,638	0,7666667	3,619496E-02	3,619496E-02	Meyerhof	1,890486
Strato 2	1,20	26,6725	1,816667	0,1531654	0,1531654	Meyerhof	2,1004
Strato 3	2,40	17,15533	0,8777778	0,3505307	0,3505307	Meyerhof	2,023757
Strato 4	4,60	20,09746	0,8909091	0,6835398	0,5635398	Meyerhof	2,049039
Strato 5	5,40	14,759	0,6666667	0,9764453	0,7064453	Meyerhof	1,993708
Strato 6	6,60	19,897	0,9777778	1,170813	0,8008132	Meyerhof	2,045231
Strato 7	8,60	36,0178	2,133334	1,495362	0,9653621	Meyerhof	2,147267
Strato 8	9,40	26,311	1,316667	1,782492	1,112492	Meyerhof	2,091817
Strato 9	10,20	16,6645	0,8166667	1,940096	1,190096	Meyerhof	2,0099
Strato 11	16,40	23,12601	0,9416666	2,799026	1,629026	Meyerhof	2,065126

TERRENI INCOERENTI**Densità relativa**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 10	11,60	73,43428	0,8761905	2,170274	1,310274	Schmertmann	52,18

Angolo di resistenza al 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	Angolo d'attrito (°)
Strato 10	11,60	73,43428	0,8761905	2,170274	1,310274	Caquot	29,77

Modulo di Young

	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 Young (Kg/cm ²)
Strato 10	11,60	73,43428	0,8761905	2,170274	1,310274	Schmertmann	183,5857

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	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 10	11,60	73,43428	0,8761905	2,170274	1,310274	Mitchell & Gardner 1975	124,84

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	G (Kg/cm ²)
Strato 10	11,60	73,43428	0,8761905	2,170274	1,310274	Imai & Tomauchi	386,5647

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 10	11,60	73,43428	0,8761905	2,170274	1,310274	Piacentini Righi 1978	8,56

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ko
Strato 10	11,60	73,43428	0,8761905	2,170274	1,310274	Kulhawy-Mayne (1990)	0,42

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	C	Crm
Strato 10	11,60	73,43428	0,8761905	2,170274	1,310274	0,09798	0,01274

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 10	11,60	73,43428	0,8761905	2,170274	1,310274	Meyerhof	1,9

Peso unità di volume saturo

	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 saturo (t/m ³)
Strato 10	11,60	73,43428	0,8761905	2,170274	1,310274	Meyerhof	2,2

Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,265

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 10	11,60	73,43428	0,8761905	2,170274	1,310274	Robertson e Wride 1997	2,841

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0,40	7,638	0,7666667	3,619496E-02	3,619496E-02	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 2	1,20	26,6725	1,816667	0,1531654	0,1531654	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 3	2,40	17,15533	0,8777778	0,3505307	0,3505307	Piacentini-Righi 1988	5,32E-10
Strato 4	4,60	20,09746	0,8909091	0,6835398	0,5635398	Piacentini-Righi 1988	1,25E-08
Strato 5	5,40	14,759	0,6666667	0,9764453	0,7064453	Piacentini-Righi 1988	1,21E-08
Strato 6	6,60	19,897	0,9777778	1,170813	0,8008132	Piacentini-Righi 1988	1,13E-09
Strato 7	8,60	36,0178	2,133334	1,495362	0,9653621	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 8	9,40	26,311	1,316667	1,782492	1,112492	Piacentini-Righi 1988	3,65E-10
Strato 9	10,20	16,6645	0,8166667	1,940096	1,190096	Piacentini-Righi 1988	1,66E-09
Strato 10	11,60	73,43428	0,8761905	2,170274	1,310274	Piacentini-Righi 1988	1,00E-03
Strato 11	16,40	23,12601	0,9416666	2,799026	1,629026	Piacentini-Righi 1988	5,99E-08

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	0,40	7,638	0,7666667	3,619496E-02	3,619496E-02	Piacentini-Righi 1988	2,2914E-07
Strato 2	1,20	26,6725	1,816667	0,1531654	0,1531654	Piacentini-Righi 1988	8,00175E-07
Strato 3	2,40	17,15533	0,8777778	0,3505307	0,3505307	Piacentini-Righi 1988	2,737464E-05
Strato 4	4,60	20,09746	0,8909091	0,6835398	0,5635398	Piacentini-Righi 1988	7,518549E-04
Strato 5	5,40	14,759	0,6666667	0,9764453	0,7064453	Piacentini-Righi 1988	5,377105E-04
Strato 6	6,60	19,897	0,9777778	1,170813	0,8008132	Piacentini-Righi 1988	6,760364E-05
Strato 7	8,60	36,0178	2,133334	1,495362	0,9653621	Piacentini-Righi 1988	1,080534E-06
Strato 8	9,40	26,311	1,316667	1,782492	1,112492	Piacentini-Righi 1988	2,884631E-05
Strato 9	10,20	16,6645	0,8166667	1,940096	1,190096	Piacentini-Righi 1988	8,282531E-05
Strato 10	11,60	73,43428	0,8761905	2,170274	1,310274	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 11	16,40	23,12601	0,9416666	2,799026	1,629026	Piacentini-Righi 1988	4,154388E-03

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI (CPT n°5)

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 1	0,80	18,888	1,4	7,835996E-02	7,835996E-02	Lunne & Eide	1,077299
Strato 2	2,00	15,08633	1,011111	0,2720141	0,2720141	Lunne & Eide	0,8484717
Strato 3	3,40	11,73914	0,5619048	0,5186126	0,4786126	Lunne & Eide	0,6449328
Strato 4	3,80	17,552	0,9666667	0,6888295	0,5588295	Lunne & Eide	0,9732629
Strato 5	5,80	26,9314	1,2	0,9293705	0,6793705	Lunne & Eide	1,503553
Strato 6	6,80	15,9384	0,7466667	1,227205	0,8272047	Lunne & Eide	0,8654751
Strato 7	7,80	19,0764	1,08	1,421243	0,9212433	Lunne & Eide	1,039814
Strato 8	9,20	29,09915	1,714286	1,661001	1,041001	Lunne & Eide	1,606996
Strato 9	10,00	13,63	0,85	1,878597	1,148597	Lunne & Eide	0,714857
Strato 10	10,80	24,018	1,316667	2,033946	1,223946	Lunne & Eide	1,305501
Strato 11	11,20	13,087	0,3333334	2,151311	1,281311	Lunne & Eide	0,6761563
Strato 12	13,40	19,58709	0,8969697	2,403951	1,403951	Lunne & Eide	1,041417
Strato 13	14,80	28,868	1,571429	2,7606	1,5806	Lunne & Eide	1,562852
Strato 14	15,40	17,49533	0,688889	2,960274	1,680274	Lunne & Eide	0,9057879

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 1	0,80	18,888	1,4	7,835996E-02	7,835996E-02	Mitchell & Gardner (1975)	94,44
Strato 2	2,00	15,08633	1,011111	0,2720141	0,2720141	Mitchell & Gardner (1975)	75,43166
Strato 3	3,40	11,73914	0,5619048	0,5186126	0,4786126	Mitchell & Gardner (1975)	58,6957
Strato 4	3,80	17,552	0,9666667	0,6888295	0,5588295	Mitchell & Gardner (1975)	87,76
Strato 5	5,80	26,9314	1,2	0,9293705	0,6793705	Mitchell & Gardner (1975)	67,328500
Strato 6	6,80	15,9384	0,7466667	1,227205	0,8272047	Mitchell & Gardner (1975)	79,692
Strato 7	7,80	19,0764	1,08	1,421243	0,9212433	Mitchell & Gardner (1975)	95,382
Strato 8	9,20	29,09915	1,714286	1,661001	1,041001	Mitchell & Gardner (1975)	72,747874
Strato 9	10,00	13,63	0,85	1,878597	1,148597	Mitchell & Gardner (1975)	68,15
Strato 10	10,80	24,018	1,316667	2,033946	1,223946	Mitchell & Gardner (1975)	60,044999
Strato 11	11,20	13,087	0,3333334	2,151311	1,281311	Mitchell & Gardner (1975)	65,435
Strato 12	13,40	19,58709	0,8969697	2,403951	1,403951	Mitchell & Gardner (1975)	97,93545
Strato 13	14,80	28,868	1,571429	2,7606	1,5806	Mitchell & Gardner (1975)	72,170000
Strato 14	15,40	17,49533	0,688889	2,960274	1,680274	Mitchell & Gardner (1975)	87,47665

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 1	0,80	18,888	1,4	7,835996E-02	7,835996E-02	Ladd ed Altri 1977 n=30	28,2
Strato 2	2,00	15,08633	1,011111	0,2720141	0,2720141	Ladd ed Altri 1977 n=30	22,5
Strato 3	3,40	11,73914	0,5619048	0,5186126	0,4786126	Ladd ed Altri 1977 n=30	17,7
Strato 4	3,80	17,552	0,9666667	0,6888295	0,5588295	Ladd ed Altri 1977 n=30	26,4
Strato 5	5,80	26,9314	1,2	0,9293705	0,6793705	Ladd ed Altri 1977 n=30	40,5
Strato 6	6,80	15,9384	0,7466667	1,227205	0,8272047	Ladd ed Altri 1977 n=30	24
Strato 7	7,80	19,0764	1,08	1,421243	0,9212433	Ladd ed Altri 1977 n=30	28,5
Strato 8	9,20	29,09915	1,714286	1,661001	1,041001	Ladd ed Altri 1977 n=30	43,5
Strato 9	10,00	13,63	0,85	1,878597	1,148597	Ladd ed Altri 1977 n=30	20,4
Strato 10	10,80	24,018	1,316667	2,033946	1,223946	Ladd ed Altri 1977 n=30	36
Strato 11	11,20	13,087	0,3333334	2,151311	1,281311	Ladd ed Altri 1977 n=30	19,5
Strato 12	13,40	19,58709	0,8969697	2,403951	1,403951	Ladd ed Altri 1977 n=30	29,4
Strato 13	14,80	28,868	1,571429	2,7606	1,5806	Ladd ed Altri 1977 n=30	43,2
Strato 14	15,40	17,49533	0,688889	2,960274	1,680274	Ladd ed Altri 1977 n=30	26,1

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 1	0,80	18,888	1,4	7,835996E-02	7,835996E-02	Imai & Tomauchi	168,6194
Strato 2	2,00	15,08633	1,011111	0,2720141	0,2720141	Imai & Tomauchi	146,9849
Strato 3	3,40	11,73914	0,5619048	0,5186126	0,4786126	Imai & Tomauchi	126,0973
Strato 4	3,80	17,552	0,9666667	0,6888295	0,5588295	Imai & Tomauchi	161,2284
Strato 5	5,80	26,9314	1,2	0,9293705	0,6793705	Imai & Tomauchi	209,4335
Strato 6	6,80	15,9384	0,7466667	1,227205	0,8272047	Imai & Tomauchi	152,0029
Strato 7	7,80	19,0764	1,08	1,421243	0,9212433	Imai & Tomauchi	169,6451
Strato 8	9,20	29,09915	1,714286	1,661001	1,041001	Imai & Tomauchi	219,578
Strato 9	10,00	13,63	0,85	1,878597	1,148597	Imai & Tomauchi	138,1449
Strato 10	10,80	24,018	1,316667	2,033946	1,223946	Imai & Tomauchi	195,2837
Strato 11	11,20	13,087	0,3333334	2,151311	1,281311	Imai & Tomauchi	134,7558
Strato 12	13,40	19,58709	0,8969697	2,403951	1,403951	Imai & Tomauchi	172,4057
Strato 13	14,80	28,868	1,571429	2,7606	1,5806	Imai & Tomauchi	218,5107
Strato 14	15,40	17,49533	0,688889	2,960274	1,680274	Imai & Tomauchi	160,9102

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 1	0,80	18,888	1,4	7,835996E-02	7,835996E-02	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 2	2,00	15,08633	1,011111	0,2720141	0,2720141	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 3	3,40	11,73914	0,5619048	0,5186126	0,4786126	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 4	3,80	17,552	0,9666667	0,6888295	0,5588295	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 5	5,80	26,9314	1,2	0,9293705	0,6793705	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 6	6,80	15,9384	0,7466667	1,227205	0,8272047	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 7	7,80	19,0764	1,08	1,421243	0,9212433	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 8	9,20	29,09915	1,714286	1,661001	1,041001	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 9	10,00	13,63	0,85	1,878597	1,148597	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 10	10,80	24,018	1,316667	2,033946	1,223946	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 11	11,20	13,087	0,3333334	2,151311	1,281311	Schmertmann 1978	OCR = 3
Strato 12	13,40	19,58709	0,8969697	2,403951	1,403951	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 13	14,80	28,868	1,571429	2,7606	1,5806	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5
Strato 14	15,40	17,49533	0,688889	2,960274	1,680274	Schmertmann 1978	OCR = 1-1.5

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 1	0,80	18,888	1,4	7,835996E-02	7,835996E-02	Meyerhof	1,962691
Strato 2	2,00	15,08633	1,011111	0,2720141	0,2720141	Meyerhof	1,922577
Strato 3	3,40	11,73914	0,5619048	0,5186126	0,4786126	Meyerhof	1,876496
Strato 4	3,80	17,552	0,9666667	0,6888295	0,5588295	Meyerhof	1,945629
Strato 5	5,80	26,9314	1,2	0,9293705	0,6793705	Meyerhof	2,018698
Strato 6	6,80	15,9384	0,7466667	1,227205	0,8272047	Meyerhof	1,92591
Strato 7	7,80	19,0764	1,08	1,421243	0,9212433	Meyerhof	1,956741
Strato 8	9,20	29,09915	1,714286	1,661001	1,041001	Meyerhof	2,029876
Strato 9	10,00	13,63	0,85	1,878597	1,148597	Meyerhof	1,893789
Strato 10	10,80	24,018	1,316667	2,033946	1,223946	Meyerhof	1,994969
Strato 11	11,20	13,087	0,3333334	2,151311	1,281311	Meyerhof	1,884439
Strato 12	13,40	19,58709	0,8969697	2,403951	1,403951	Meyerhof	1,957
Strato 13	14,80	28,868	1,571429	2,7606	1,5806	Meyerhof	2,025196
Strato 14	15,40	17,49533	0,688889	2,960274	1,680274	Meyerhof	1,933559

Peso unità di volume saturo

	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 saturo (t/m ³)
Strato 1	0,80	18,888	1,4	7,835996E-02	7,835996E-02	Meyerhof	2,042691
Strato 2	2,00	15,08633	1,011111	0,2720141	0,2720141	Meyerhof	2,002577
Strato 3	3,40	11,73914	0,5619048	0,5186126	0,4786126	Meyerhof	1,956496
Strato 4	3,80	17,552	0,9666667	0,6888295	0,5588295	Meyerhof	2,025629
Strato 5	5,80	26,9314	1,2	0,9293705	0,6793705	Meyerhof	2,098698
Strato 6	6,80	15,9384	0,7466667	1,227205	0,8272047	Meyerhof	2,00591
Strato 7	7,80	19,0764	1,08	1,421243	0,9212433	Meyerhof	2,036741
Strato 8	9,20	29,09915	1,714286	1,661001	1,041001	Meyerhof	2,109876
Strato 9	10,00	13,63	0,85	1,878597	1,148597	Meyerhof	1,973789
Strato 10	10,80	24,018	1,316667	2,033946	1,223946	Meyerhof	2,074969
Strato 11	11,20	13,087	0,3333334	2,151311	1,281311	Meyerhof	1,964439
Strato 12	13,40	19,58709	0,8969697	2,403951	1,403951	Meyerhof	2,037
Strato 13	14,80	28,868	1,571429	2,7606	1,5806	Meyerhof	2,105196
Strato 14	15,40	17,49533	0,688889	2,960274	1,680274	Meyerhof	2,013559

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0,80	18,888	1,4	7,835996E-02	7,835996E-02	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 2	2,00	15,08633	1,011111	0,2720141	0,2720141	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 3	3,40	11,73914	0,5619048	0,5186126	0,4786126	Piacentini-Righi 1988	4,48E-09
Strato 4	3,80	17,552	0,9666667	0,6888295	0,5588295	Piacentini-Righi 1988	6,48E-11
Strato 5	5,80	26,9314	1,2	0,9293705	0,6793705	Piacentini-Righi 1988	6,97E-09
Strato 6	6,80	15,9384	0,7466667	1,227205	0,8272047	Piacentini-Righi 1988	5,04E-09
Strato 7	7,80	19,0764	1,08	1,421243	0,9212433	Piacentini-Righi 1988	2,19E-11
Strato 8	9,20	29,09915	1,714286	1,661001	1,041001	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 9	10,00	13,63	0,85	1,878597	1,148597	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 10	10,80	24,018	1,316667	2,033946	1,223946	Piacentini-Righi 1988	2,97E-11
Strato 11	11,20	13,087	0,3333334	2,151311	1,281311	Piacentini-Righi 1988	5,52E-05
Strato 12	13,40	19,58709	0,8969697	2,403951	1,403951	Piacentini-Righi 1988	6,31E-09
Strato 13	14,80	28,868	1,571429	2,7606	1,5806	Piacentini-Righi 1988	1,91E-11
Strato 14	15,40	17,49533	0,688889	2,960274	1,680274	Piacentini-Righi 1988	1,46E-07

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	0,80	18,888	1,4	7,835996E-02	7,835996E-02	Piacentini-Righi 1988	5,6664E-07
Strato 2	2,00	15,08633	1,011111	0,2720141	0,2720141	Piacentini-Righi 1988	4,525899E-07
Strato 3	3,40	11,73914	0,5619048	0,5186126	0,4786126	Piacentini-Righi 1988	1,578409E-04
Strato 4	3,80	17,552	0,9666667	0,6888295	0,5588295	Piacentini-Righi 1988	3,413516E-06
Strato 5	5,80	26,9314	1,2	0,9293705	0,6793705	Piacentini-Righi 1988	5,632706E-04
Strato 6	6,80	15,9384	0,7466667	1,227205	0,8272047	Piacentini-Righi 1988	2,411703E-04
Strato 7	7,80	19,0764	1,08	1,421243	0,9212433	Piacentini-Righi 1988	1,254281E-06
Strato 8	9,20	29,09915	1,714286	1,661001	1,041001	Piacentini-Righi 1988	8,729745E-07
Strato 9	10,00	13,63	0,85	1,878597	1,148597	Piacentini-Righi 1988	4,089E-07
Strato 10	10,80	24,018	1,316667	2,033946	1,223946	Piacentini-Righi 1988	2,138112E-06
Strato 11	11,20	13,087	0,3333334	2,151311	1,281311	Piacentini-Righi 1988	2,168186
Strato 12	13,40	19,58709	0,8969697	2,403951	1,403951	Piacentini-Righi 1988	3,707207E-04
Strato 13	14,80	28,868	1,571429	2,7606	1,5806	Piacentini-Righi 1988	1,650159E-06
Strato 14	15,40	17,49533	0,688889	2,960274	1,680274	Piacentini-Righi 1988	7,655317E-03

CONSIDERAZIONI SISMICHE

Considerazioni sismiche di carattere generale

Il territorio del comune di Cesena è classificato in zona 2 (Ordinanza P.C.M. n°3274 del 23.03.2003) con coefficiente di intensità sismica $C = 0.07$, massimo macrosismico compreso fra l' VIII e il IX grado della scala MCS, magnitudo di riferimento $M_w = 6.14$ (da relazione consigliata dal G.N.D.T., $M = \frac{I + 1.93}{1.78}$, con nel nostro caso $I = 9$ e accelerazione di picco

orizzontale al suolo, (per suolo tipo A per $T = 0$) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, $a_g = 0.186g$ per l'area di via Parataglio e $a_g = 0.187g$ per l'area di via Cerca (da tabella B allegata al D.M.14 gennaio 2008).

In particolare per le aree in esame l'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dello stato limite preso in considerazione (SLV), viene definita partendo dalla pericolosità sismica di base del sito (lat.44°,1920N e long.12°,2807E per via Parataglio) e (lat.44°,1962N e long.12.2804E per via Cerca)

Determinazione della categoria del suolo di fondazione in base alla velocità equivalente di propagazione (V_{s30}) delle onde di taglio

Metodo previsto dal D.M. 14 gennaio 2008.

Vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Classe	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ($N_{snt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa o $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi fra 180 e 360 m/s ($15 < N_{snt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{snt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa, $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, giacenti su un substrato di riferimento ($V_{s30} > 800$ m/s).

Classe	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (o $10 < cu_{30} < 20$), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria non rientrante nelle classi precedenti.

Per V_{s30} s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino ad una profondità di 30 metri dal piano di posa della fondazione, calcolata secondo la relazione:

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

Nelle pagine successive sono riportate metodologia e risultati delle indagini sismiche (MASW) realizzate nelle due aree in esame e dalle quali risulta un valore $V_{s30} = 185 \text{ m/s}$ nell'area di via Parataglio e un valore $V_{s30} = 193 \text{ m/s}$, corrispondenti in entrambe le aree a suoli di categoria **C**.

ALLEGATI

Metodologia e risultati delle indagini sismiche (MASW)

COMUNE DI CESENA

PROVINCIA DI FORLÌ-CESENA

Determinazione della categoria di suolo di fondazione eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{s30}) dei terreni costituenti l'area sita in via Parataglio, presso la frazione San Giorgio nel comune di Cesena (FC). P.U.A. AT3-AT5 10/02.



I.G.B. Snc
Via della Tecnica 57/A4
40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel 0516255377 – Cell 349 7846581
Fax 0514998378
E-mail igbsnc@gmail.com
P.I. e C.F.: 02689571202



**Committente: Istituto Diocesano per il sostentamento del clero-
Diocesi Cesena-Sarsina e altri**

Dott. Geol. Stefano Maggi

Agosto 2010



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via Parataglio. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

SOMMARIO.....

2	IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO _____	3
3	PREMESSE _____	4
4	DESCRIZIONE DELLE INDAGINI _____	5
4.1	Metodologia MASW ATTIVA (Multichannel Analysis of Surface Waves) _____	5
4.1.1	Introduzione generale _____	5
4.1.2	Onde superficiali di Rayleigh (onde R) _____	5
4.1.3	Tecnica MASW ATTIVA : procedura e strumentazione utilizzata _____	6
4.2	Tecnica MASW PASSIVA : procedura e strumentazione utilizzata _____	Errore. Il segnalibro non è definito.
5	ACQUISIZIONE DATI _____	9
6	RISULTATI _____	10



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via Parataglio. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

- ❑ Il presente documento viene identificato con il numero **67c.2010** rev. n°1;
- ❑ Le indagini ed il lavoro svolto sono stati coordinati dal Dott. Geol. **Stefano Maggi**;
- ❑ Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. **Stefano Maggi** in data **26/08/2010**;
- ❑ Il documento si compone di n°11 fogli e da n°12 pagine di allegati.



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via Parataglio. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

3 PREMESSE

Su incarico del Dott. Geol. Andrea Magnani, per conto dell'Istituto Diocesano per il Sostentamento del Clero – Diocesi Cesena-Sarsina e Altri, in data 24/08/2010, è stata effettuata un'indagine geofisica mediante tecnica MASW attiva, nel territorio del comune di Cesena (FC), in via Parataglio.

L'indagine è stata eseguita al fine di ottenere la classificazione del tipo di suolo presente nel sito, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio verticali (V_s) entro i primi 30 m di profondità, in ottemperanza a quanto riportato nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" (pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento ordinario n. 30).

La presente indagine geofisica è consistita nell'esecuzione di N. 1 profilo sismico la cui ubicazione è riportata in Tav. 1 in allegato.

L'acquisizione è stata condotta tramite sismografo a 24 canali modello *DOLANG JEA 24* con scarico dei dati direttamente su p.c.

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è "MASW"© by Ing. Vitantonio Roma (All rights reserved).



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via Parataglio. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

4.1 Metodologia MASW ATTIVA (*Multichannel Analysis of Surface Waves*)

4.1.1 Introduzione generale

La tecnica MASW venne introdotta per la prima volta nell'ambito della comunità geofisica e geotecnica agli inizi del 1999. La *Multichannel Analysis of Surface Waves* è un metodo sismico mediante il quale è possibile costruire un profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) in relazione alla profondità (V_s versus *profondità*), attraverso l'analisi delle onde superficiali tipo Rayleigh (onde R). Tale tecnica permette quindi di ottemperare a quanto previsto nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", secondo il quale i terreni, su cui devono essere eseguite opere edili di una certa rilevanza, devono essere classificati sulla base del parametro V_{s30} . La classificazione prevista per i terreni comprende cinque categorie definite da una simbologia alfanumerica da A ad E e successive integrazioni $S1$ e $S2$. A ciascuna di queste categorie corrisponde una valutazione quantitativa della risposta sismica dei terreni sottoposti ad una accelerazione sismica attesa, predefinita per ciascuna classe. Il parametro V_{s30} rappresenta la media ponderata dei valori di velocità delle onde di taglio

V_{s30} nei primi 30 metri di sottosuolo indagato e viene espressa matematicamente dalla seguente equazione:

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

dove V_{s30} : velocità media ponderata delle onde di taglio "S";
 h_i : spessore dello strato esimo;
 v_i : velocità delle onde di taglio "S" nello strato esimo.

4.1.2 Onde superficiali di Rayleigh (onde R)

Esistono diversi tipi di onde superficiali, oltre alle già citate onde di Rayleigh ($P+S_v$), si conoscono le onde di Love (Sh) e le onde di Lamb. Le onde di Rayleigh rappresentano la componente principale delle onde superficiali e sono generate dall'interazione tra onde di compressione (o di volume) P e onde di taglio verticali S_v ogniqualevolta si è in presenza di una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Le onde R si propagano alla superficie libera (vedi Fig. 1) con un moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte alla profondità di $\lambda/2\pi$ (dove λ è la lunghezza d'onda). L'ampiezza di tale spostamento decresce secondo una legge esponenziale, pertanto diviene rapidamente trascurabile con la profondità.

L'utilizzo delle onde superficiali di tipo Rayleigh per la costruzione di un profilo di velocità delle onde di taglio V_s è giustificato da una serie di fattori:

- La percentuale di energia convertita in onde R è nettamente predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione di onde P (7%) e onde S (26%);

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via Parataglio. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

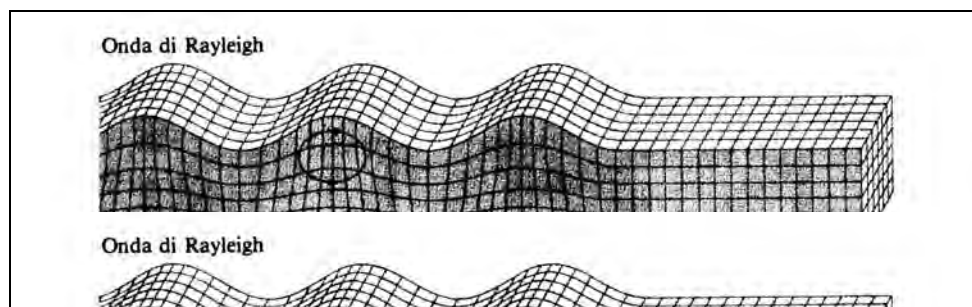


Figura 1 - Modalità di propagazione delle onde R

- ❑ il metodo d'analisi basato sulle onde *R* non è limitato, al contrario del metodo basato sulla rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità;
- ❑ buona risoluzione, a differenza della tecnica a riflessione;
- ❑ la propagazione delle onde di *Rayleigh*, anche se influenzata dalla V_p (velocità delle onde di compressione *P*) e dalla densità del mezzo, è funzione innanzitutto della V_s che rappresenta appunto il parametro fondamentale per la caratterizzazione geotecnica di un sito;
- ❑ la tecnica in questione è inoltre particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

Tenuto conto dei fattori sopraelencati, l'elemento fondamentale che permette l'impiego di tecniche basate sulle onde superficiali, in questo caso la tecnica *MASW* e le onde *Rayleigh*, è una caratteristica chiamata *dispersione*. La dispersione è una proprietà delle onde superficiali che consiste nella deformazione di un treno d'onde dovuta alla variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per le onde *R* questa variazione si manifesta solo all'interno di un mezzo stratificato. In altre parole, ipotizzando una variazione di densità del terreno in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga con una differente velocità (velocità di fase), e quindi con una diversa lunghezza d'onda; questa proprietà si chiama appunto dispersione.

La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda λ (e quindi per una certa frequenza ν) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di $\lambda/2$ (anche se recenti studi hanno posto questo limite a $\lambda/2.5$). Inoltre, la velocità delle onde *R* (V_r) è pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio (V_s).

Secondo quanto detto appare chiaro come la costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio V_s , ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di *Rayleigh*, sia una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

4.1.3 Tecnica MASW ATTIVA : procedura e strumentazione utilizzata

La procedura *MASW* si può sintetizzare in tre stadi successivi e distinti:

- ❑ acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via Parataglio. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

- ❑ costruzione della curva di dispersione : grafico velocità di fase V_r – frequenza ν ;
- ❑ inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale della V_s (si veda fig. 5 nel rapporto in allegato).

La prima fase viene effettuata direttamente in campagna generando un treno di onde superficiali mediante l'utilizzo di una sorgente sismica attiva, quale generalmente una mazza battente, e uno stendimento lineare di geofoni ricevitori (vedi Fig. 2). L'indagine svolta nel presente lavoro è stata condotta utilizzando la strumentazione DOLANG JEA 24 descritta nelle premesse.

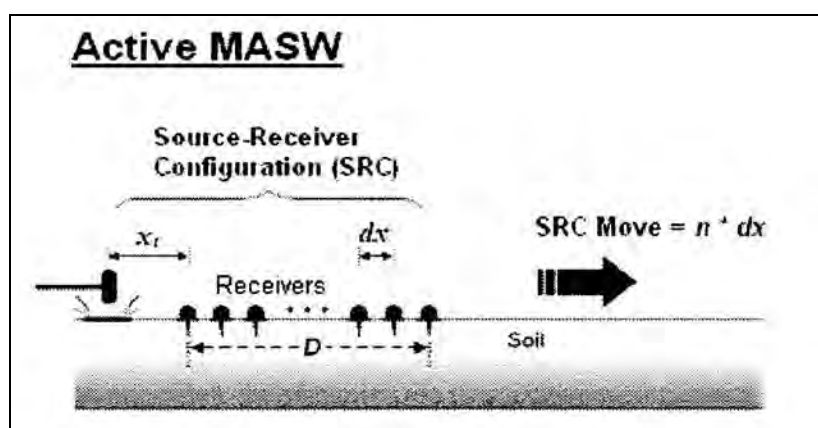


Figura 2 - MASW ATTIVA : stendimento lineare e sorgente attiva

I dati così acquisiti in campagna vengono quindi elaborati utilizzando il software "MASW© by Vitantonio Roma". In particolare mediante il software si procede alla lettura dei dati acquisiti (*common-shot gather*) e al calcolo dello spettro nel dominio frequenza – numero d'onda (spettro f-k). Quindi, dallo spettro f-k è possibile estrarre la curva di dispersione apparente sperimentale (si veda fig. 2 nel rapporto in allegato) mediante una doppia trasformata di Fourier applicata al campo di moto misurato nel dominio spazio - tempo. Sulla curva di dispersione sperimentale viene effettuato il cosiddetto *Picking* (si veda fig. 4 nel rapporto in allegato), cioè la selezione dei punti che, nell'interpretazione dell'utente, appartengono ad un certo modo di propagazione dell'onda superficiale di *Rayleigh*. L'identificazione ed il *Picking* della curva di dispersione sono un'operazione di importanza cruciale. I punti sperimentali ottenuti mediante l'operazione di *Picking* effettuata a partire dalla curva di dispersione apparente sperimentale, devono coincidere il più possibile con le curve teoriche numeriche descritte di seguito.

La curva di dispersione apparente numerica (si veda fig. 5 nel rapporto in allegato) si ottiene in maniera identica alla procedura usata per ottenere la curva di dispersione sperimentale, con l'unica diversità che riguarda la maniera in cui si calcola lo spettro del campo di moto. Mentre nella procedura sperimentale si applica una doppia trasformata di Fourier nella procedura numerica si applica una sola trasformata di Fourier. La curva di dispersione effettiva (si veda fig. 5 nel rapporto in allegato) si ottiene con un metodo alternativo proposto da Lai e Rix (Lai, 1998).



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via Parataglio. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

L'ultimo passo da affrontare è l'inversione della curva di dispersione precedentemente costruita. Questa operazione viene effettuata grazie all'utilizzo di una potente tecnica di ottimizzazione basata su algoritmi genetici. Il risultato finale è quello di ottenere il profilo verticale della velocità delle onde di taglio V_s .

Il grado di incertezza del profilo di V_s finale dipende dai seguenti fattori:

- ❑ incertezza associata alle misure sperimentali: è rappresentata dall'intervallo di variazione della velocità di fase apparente sperimentale ad una determinata frequenza. Tale range di variazione viene assegnato a ciascun punto sperimentale nella fase di Picking (fig. 4 nel rapporto in allegato);
- ❑ propagazione dell'incertezza nel modello di simulazione numerica;
- ❑ errore relativo o distanza tra curve di dispersione sperimentale e numeriche teoriche (apparente/effettiva). L'errore relativo è un indicatore oggettivo della sovrapposizione tra curva di dispersione sperimentale e teorica numerica.

Generalmente un errore relativo tra curva sperimentale e teorica inferiore al 10% indica il raggiungimento di un buon risultato con un profilo di V_s valido da un punto di vista progettuale. A parità di errore relativo l'utente può scegliere il profilo di V_s sulla base della migliore sovrapposizione visiva tra le curve sperimentale e teorica.

L'elaborazione dei dati acquisiti nel sito in questione è riportata in dettaglio nel rapporto d'indagine allegato alla presente relazione.

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via Parataglio. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

5 ACQUISIZIONE DATI

Come anticipato nelle premesse, l'indagine geofisica condotta nel presente lavoro ha visto l'esecuzione di n° 1 stendimento sismico. Per acquisire i dati è stata impiegata la strumentazione *Dolang JEA 24*.

I parametri di campionamento utilizzati nella presente indagine sono riportate in tabella 1.

Modello sismografo	Risoluzione	n° canali	sorgente	Frequenza geofoni	Tipologia geofoni	Velocità di campionamento	Frequenza di campionamento
JEA 24	24 bit	24	Mazza (10 Kg)	4.5 Hz	verticali	250 microsec.	4000 Hz

Tabella 1 - Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata e parametri di acquisizione (metodo MASW attivo)

Nella sottostante tabella vengono riportate sinteticamente le caratteristiche geometriche del profilo sismico effettuato:

Identificazione	Lunghezza da 1° a 24° geofono ricevitore (m)	Passo intergeofonico (m)	N° Geofoni impiegati (verticali)	Distanza Punto di scoppio-1° geofono ricevitore (m)
Via Parataglio	46.00	2.00	24	2.00-4.00

Tabella 2 – Dati geometrici del profilo effettuato

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via Parataglio. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

6 RISULTATI

L'analisi del modello sismico ottenuto per il profilo effettuato evidenzia la presenza di **5 sismostrati**. Nella sottostante tabella sono riportate le profondità e ed i valori di Vs dei **sismostrati individuati** (si veda fig. 5 nel relativo rapporto in allegato).

STENDIMENTO SISMICO "VIA PARATAGLIO"		
Sismostrato	Profondità (m)	Vs (m/s)
1	0.00-2.00	202
2	2.00-5.00	116
3	5.00-10.00	179
4	10.00-17.00	195
5	17.00-35.00	210
6	> 35.00	222

Sulla base di quanto riportato in tabella, la velocità media equivalente delle onde di taglio S nei primi 30 m di profondità (V_{s30}), **con riferimento alla quota del piano campagna su cui è stato eseguito il profilo, risulta pari a 185 m/s. Pertanto, unicamente in riferimento ai valori riportati in tabella e al valore di V_{s30} ottenuto dal profilo sismico, è possibile collocare il sottosuolo in classe C.**

La categoria di suolo così determinata dovrà essere valutata e verificata con i dati e le informazioni di carattere lito-stratigrafico ottenute mediante l'esecuzione di opportune indagini geognostiche.

In fase di progettazione il valore di V_{s30} dovrà essere calcolato da piano di posa delle fondazioni.

La quota raggiunta pari a -35.00 m (sismostrato n° 6 in tabella) dal p.c. indica l'interfaccia in corrispondenza della quale è stata individuata l'ultima variazione di velocità delle onde di taglio S.

Il valore di V_{s30} ottenuto è da riferirsi alla verticale di terreno posta in corrispondenza del punto mediano dell'allineamento sismico effettuato.

San Lazzaro di Savena (BO), 26/08/2010



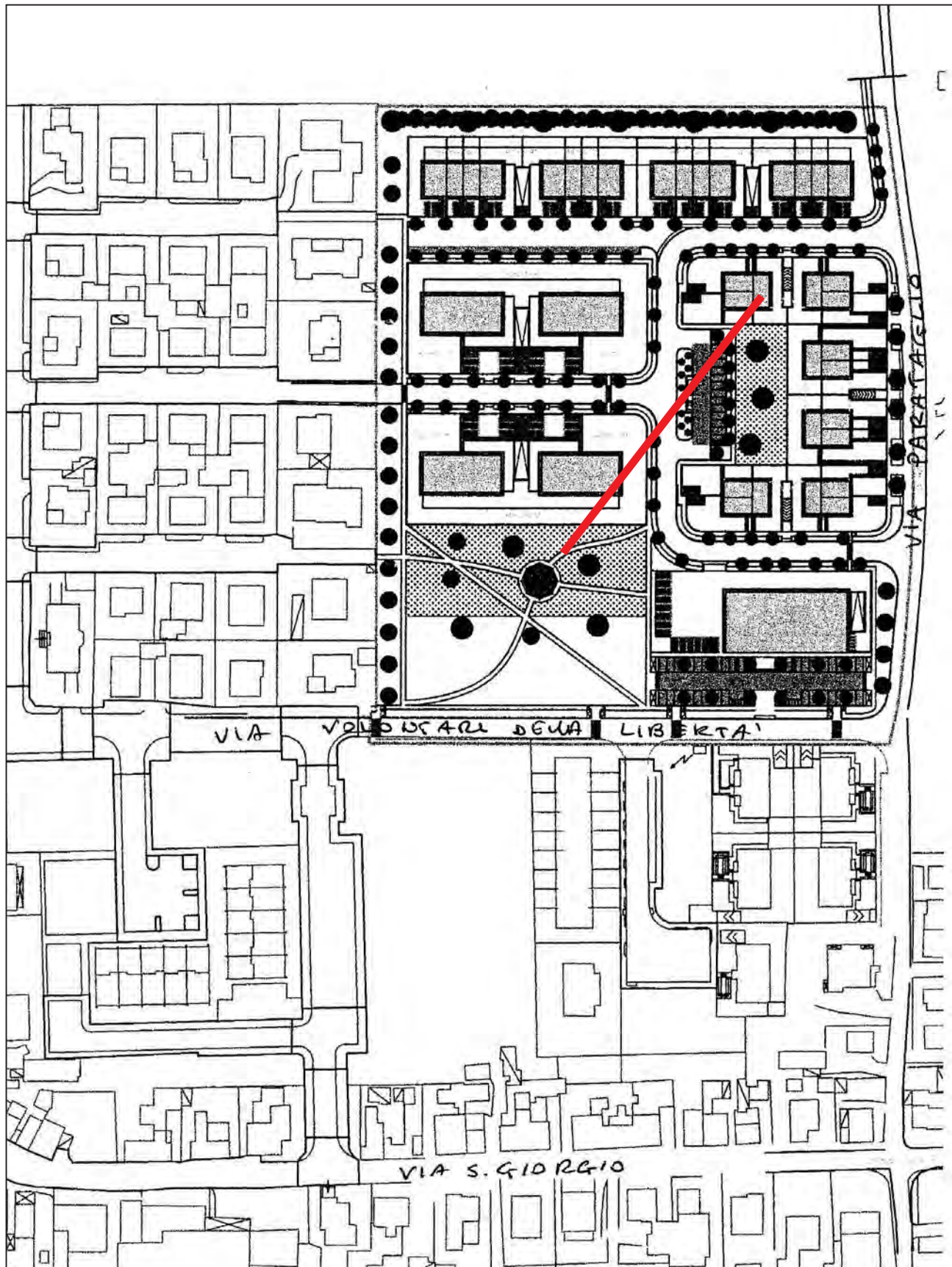


Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via Parataglio. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

ALLEGATI

- Tav. 1 – Ubicazione profilo (n° 1)

- Rapporto stendimento sismico (n° 10)




 Profilo sismico effettuato
 con tecnica MASW



TAV. 1
 Ubicazione indagine
 geofisica

Agosto 2010

Committente:
 Istituto Diocesano per il
 sostentamento del clero
 Diocesi Cesena-Sarsina e altri

Planimetria
 generale



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{S30}), in località San Giorgio di Cesena (FC), via Parataglio. – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

Rapporto indagine geofisica eseguita mediante tecnica masw attiva

Autore: I.G.B. SNC

**Committente: ISTITUTO DIOCESANO PER IL SOSTENTAMENTO
DEL CLERO – DIOCESI CESENA-SARSINA E ALTRI**

**Sito: SAN GIORGIO DI CESENA (FC) – VIA PARATAGLIO
P.U.A. AT3-AT5 10/02**

Data di effettuazione: 24/08/2010

Software utilizzato nell'elaborazione: "MASW"©
by Ing. Vitantonio Roma. All rights reserved.

**IGB Snc via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel 051 6255377 - Fax 051 4998378 - Cell 349 7846581 - E-mail igsnc@gmail.com**



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{S30}), in località San Giorgio di Cesena (FC), via Parataglio. – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

1 – Dati Sperimentali (Tecnica attiva)

Numero di ricevitori.....	24
Numero di campioni temporali	4096
Passo temporale di acquisizione	0.25ms
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	4000ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)	

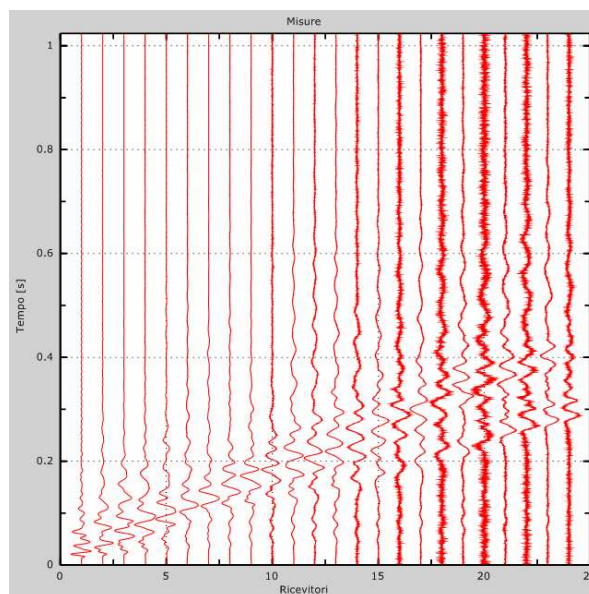


Figura 1: Tracce sperimentali (MASW attiva)



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{S30}), in località San Giorgio di Cesena (FC), via Parataglio. – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

2 – Risultati dell’analisi

Frequenza finale 50Hz
Frequenza iniziale 2Hz

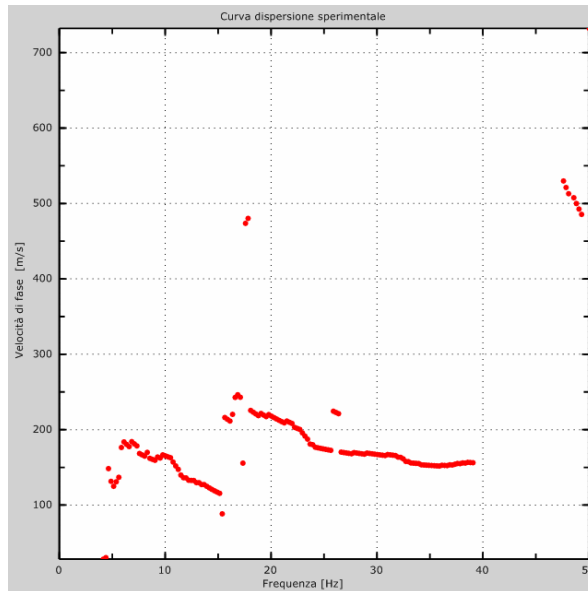


Figura 2: Curva di dispersione apparente sperimentale ottenuta mediante tecnica MASW attiva



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{s30}), in località San Giorgio di Cesena (FC), via Parataglio. – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

3 – Curva di dispersione

Tabella 1: Picking della curva di dispersione sperimentale e relativo range di variazione (valori numerici riportati graficamente in fig. 3)

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
3.69869	193.994	164.922	223.065
4.71125	189.633	178.004	201.262
5.54227	186.003	176.653	195.354
6.68818	181.848	174.575	189.12
7.68462	169.9	163.667	176.134
8.53159	163.667	161.069	166.264
9.37856	161.589	156.394	166.783
10.8732	152.758	149.122	156.394
11.77	137.174	133.538	140.81
13.0156	129.382	126.785	131.979
14.2113	122.629	119.512	125.746
20.4532	214.736	211.239	218.234
22.8113	194.916	191.418	198.414
24.1587	178.01	175.387	180.634
28.4538	168.1	166.351	169.849
32.412	160.522	158.773	162.271



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{S30}), in località San Giorgio di Cesena (FC), via Parataglio. – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

35.2754	153.526	152.069	154.984
38.8967	155.858	154.401	157.315

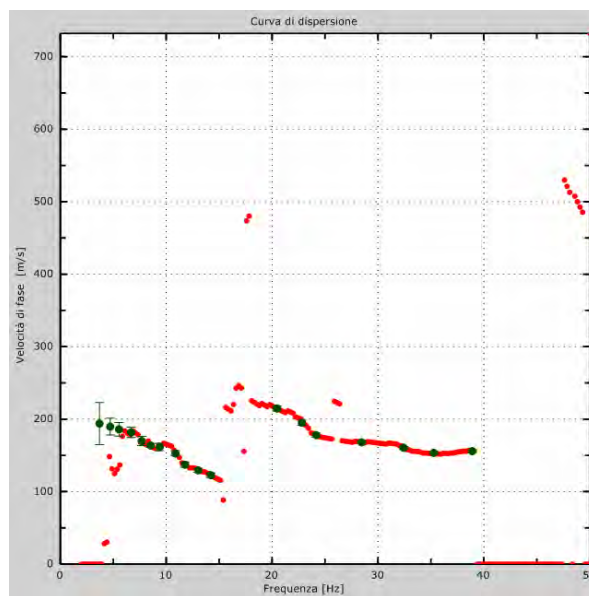


Figura 3: curva di dispersione sperimentale ottenuta mediante tecnica MASW attiva (rappresentazione grafica) e relativo picking. A ciascun punto sperimentale in verde è assegnato un range di variazione della velocità di fase riportato nella tabella precedente.



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{s30}), in località San Giorgio di Cesena (FC), via Parataglio. – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	7
Spaziatura ricevitori [m]	2m
Numero ricevitori	24
Numero modi	5
Strato 1	
h [m]	2
z [m]	-2
Vs fin.[m/s]	202.000
Strato 2	
h [m]	3
z [m]	-5
Vs fin.[m/s]	116.000
Strato 3	
h [m]	5
z [m]	-10
Vs fin.[m/s]	179.000
Strato 4	
h [m]	7
z [m]	-17
Vs fin.[m/s]	195.000
Strato 5	
h [m]	7
z [m]	-24
Vs fin.[m/s]	210.000
Strato 6	
h [m]	11
z [m]	-35
Vs fin.[m/s]	210.000
Strato 7	
h [m]	0
z [m]	-∞
Vs fin.[m/s]	222.000

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{S30}), in località San Giorgio di Cesena (FC), via Parataglio. – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

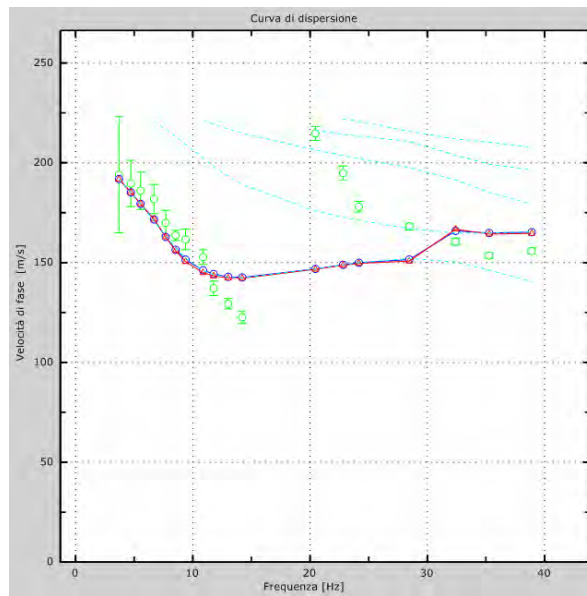


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (Picking - verde), modo fondamentale di Rayleigh (linea azzurra), curva teorica numerica effettiva (linea rossa), curva teorica numerica apparente (linea blu)

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{s30}), in località San Giorgio di Cesena (FC), via Parataglio. – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

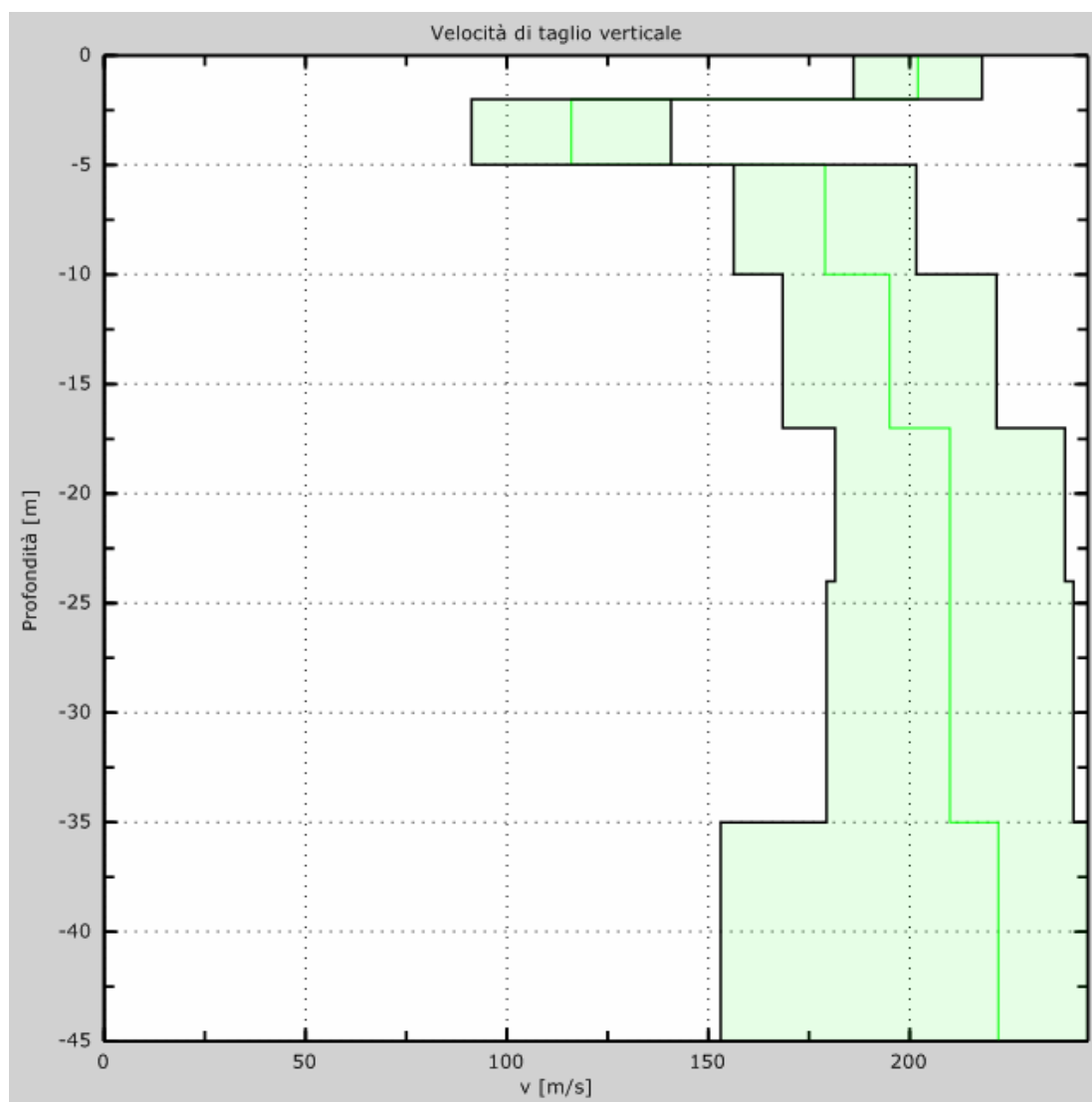


Figura 6: Profilo verticale delle Vs riferito al punto medio dell'allineamento sismico



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{s30}), in località San Giorgio di Cesena (FC), via Parataglio. – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

6 – Risultati finali

Piano di riferimento z = piano campagna attuale

V_{s30} [m/s].....185

La normativa applicata è il DM 14 gennaio 2008

Categoria di suolo determinata unicamente sulla base dei risultati della sola prova masw (media ponderata della velocità equivalente di propagazione delle onde S entro i primi 30 m di profondità dal p.c. su cui è stato eseguito lo stendimento sismico)C

La categoria di suolo così determinata dovrà essere comunque valutata e verificata con i dati e le informazioni di carattere lito-stratigrafico ottenute mediante l'esecuzione di opportune indagini geognostiche.



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{s30}), in località San Giorgio di Cesena (FC), via Parataglio. – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

Appendice

Categorie di suolo

Tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} 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 $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a granagrossa 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 V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ 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 V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ 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 di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_{,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

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.

COMUNE DI CESENA

PROVINCIA DI FORLÌ-CESENA

Determinazione della categoria di suolo di fondazione eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{s30}) dei terreni costituenti l'area sita in via della Cerca, presso la frazione San Giorgio nel comune di Cesena (FC). P.U.A. AT3-AT5 10/02.



I.G.B. Snc
Via della Tecnica 57/A4
40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel 0516255377 – Cell 349 7846581
Fax 0514998378
E-mail igbsnc@gmail.com
P.I. e C.F.: 02689571202



**Committente: Istituto Diocesano per il sostentamento del clero-
Diocesi Cesena-Sarsina e altri**

Dott. Geol. Stefano Maggi

Agosto 2010



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via della Cerca. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

SOMMARIO.....

2	IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO	3
3	PREMESSE	4
4	DESCRIZIONE DELLE INDAGINI	5
4.1	Metodologia MASW ATTIVA (Multichannel Analysis of Surface Waves)	5
4.1.1	Introduzione generale	5
4.1.2	Onde superficiali di Rayleigh (onde R)	5
4.1.3	Tecnica MASW ATTIVA : procedura e strumentazione utilizzata	6
4.2	Tecnica MASW PASSIVA : procedura e strumentazione utilizzata	8
5	ACQUISIZIONE DATI	10
6	RISULTATI	11



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via della Cerca. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

- ❑ Il presente documento viene identificato con il numero **67b.2010** rev. n° 1;
- ❑ Le indagini ed il lavoro svolto sono stati coordinati dal Dott. Geol. **Stefano Maggi**;
- ❑ Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. **Stefano Maggi** in data **26/08/2010**;
- ❑ Il documento si compone di n°12 fogli e da n°12 pagine di allegati.



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via della Cerca. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

3 PREMESSE

Su incarico del Dott. Geol. Andrea Magnani, per conto dell'Istituto Diocesano per il Sostentamento del Clero – Diocesi Cesena-Sarsina e Altri, in data 24/08/2010, è stata effettuata un'indagine geofisica mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi), nel territorio del comune di Cesena (FC), in via Della Cerca.

L'indagine è stata eseguita al fine di ottenere la classificazione del tipo di suolo presente nel sito, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio verticali (V_s) entro i primi 30 m di profondità, in ottemperanza a quanto riportato nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" (pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento ordinario n. 30).

La presente indagine geofisica è consistita nell'esecuzione di N. 1 profilo sismico la cui ubicazione è riportata in Tav. 1 in allegato.

L'acquisizione è stata condotta tramite sismografo a 24 canali modello *DOLANG JEA 24* con scarico dei dati direttamente su p.c.

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è "MASW"© by Ing. Vitantonio Roma (All rights reserved).



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via della Cerca. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

4.1 Metodologia MASW ATTIVA (*Multichannel Analysis of Surface Waves*)

4.1.1 Introduzione generale

La tecnica MASW venne introdotta per la prima volta nell'ambito della comunità geofisica e geotecnica agli inizi del 1999. La *Multichannel Analysis of Surface Waves* è un metodo sismico mediante il quale è possibile costruire un profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) in relazione alla profondità (V_s versus *profondità*), attraverso l'analisi delle onde superficiali tipo Rayleigh (onde R). Tale tecnica permette quindi di ottemperare a quanto previsto nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", secondo il quale i terreni, su cui devono essere eseguite opere edili di una certa rilevanza, devono essere classificati sulla base del parametro V_{s30} . La classificazione prevista per i terreni comprende cinque categorie definite da una simbologia alfanumerica da A ad E e successive integrazioni $S1$ e $S2$. A ciascuna di queste categorie corrisponde una valutazione quantitativa della risposta sismica dei terreni sottoposti ad una accelerazione sismica attesa, predefinita per ciascuna classe. Il parametro V_{s30} rappresenta la media ponderata dei valori di velocità delle onde di taglio

V_{s30} nei primi 30 metri di sottosuolo indagato e viene espressa matematicamente dalla seguente equazione:

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

dove V_{s30} : velocità media ponderata delle onde di taglio "S";
 h_i : spessore dello strato esimo;
 v_i : velocità delle onde di taglio "S" nello strato esimo.

4.1.2 Onde superficiali di Rayleigh (onde R)

Esistono diversi tipi di onde superficiali, oltre alle già citate onde di Rayleigh ($P+S_v$), si conoscono le onde di Love (Sh) e le onde di Lamb. Le onde di Rayleigh rappresentano la componente principale delle onde superficiali e sono generate dall'interazione tra onde di compressione (o di volume) P e onde di taglio verticali S_v ogniqualevolta si è in presenza di una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Le onde R si propagano alla superficie libera (vedi Fig. 1) con un moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte alla profondità di $\lambda/2\pi$ (dove λ è la lunghezza d'onda). L'ampiezza di tale spostamento decresce secondo una legge esponenziale, pertanto diviene rapidamente trascurabile con la profondità.

L'utilizzo delle onde superficiali di tipo Rayleigh per la costruzione di un profilo di velocità delle onde di taglio V_s è giustificato da una serie di fattori:

- La percentuale di energia convertita in onde R è nettamente predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione di onde P (7%) e onde S (26%);

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via della Cerca. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

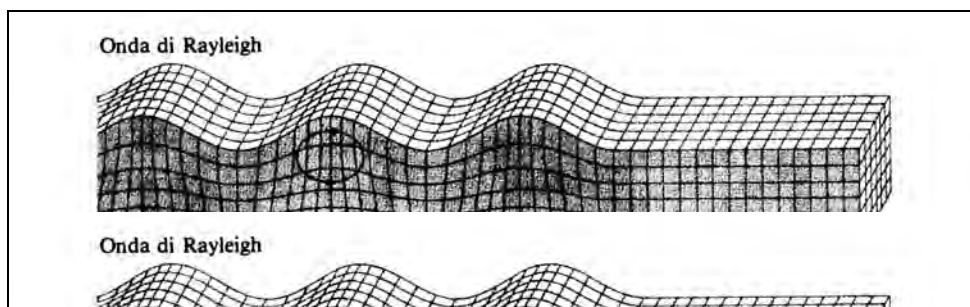


Figura 1 - Modalità di propagazione delle onde R

- ❑ il metodo d'analisi basato sulle onde *R* non è limitato, al contrario del metodo basato sulla rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità;
- ❑ buona risoluzione, a differenza della tecnica a riflessione;
- ❑ la propagazione delle onde di *Rayleigh*, anche se influenzata dalla V_p (velocità delle onde di compressione P) e dalla densità del mezzo, è funzione innanzitutto della V_s che rappresenta appunto il parametro fondamentale per la caratterizzazione geotecnica di un sito;
- ❑ la tecnica in questione è inoltre particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

Tenuto conto dei fattori sopraelencati, l'elemento fondamentale che permette l'impiego di tecniche basate sulle onde superficiali, in questo caso la tecnica *MASW* e le onde *Rayleigh*, è una caratteristica chiamata *dispersione*. La dispersione è una proprietà delle onde superficiali che consiste nella deformazione di un treno d'onde dovuta alla variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per le onde *R* questa variazione si manifesta solo all'interno di un mezzo stratificato. In altre parole, ipotizzando una variazione di densità del terreno in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga con una differente velocità (velocità di fase), e quindi con una diversa lunghezza d'onda; questa proprietà si chiama appunto dispersione.

La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda λ (e quindi per una certa frequenza ν) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di $\lambda/2$ (anche se recenti studi hanno posto questo limite a $\lambda/2.5$). Inoltre, la velocità delle onde *R* (V_r) è pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio (V_s).

Secondo quanto detto appare chiaro come la costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio V_s , ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di *Rayleigh*, sia una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

4.1.3 Tecnica MASW ATTIVA : procedura e strumentazione utilizzata

La procedura *MASW* si può sintetizzare in tre stadi successivi e distinti:

- ❑ acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via della Cerca. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

- ❑ costruzione della curva di dispersione : grafico velocità di fase V_r – frequenza ν ;
- ❑ inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale della V_s (si veda fig. 5 nel rapporto in allegato).

La prima fase viene effettuata direttamente in campagna generando un treno di onde superficiali mediante l'utilizzo di una sorgente sismica attiva, quale generalmente una mazza battente, e uno stendimento lineare di geofoni ricevitori (vedi Fig. 2). L'indagine svolta nel presente lavoro è stata condotta utilizzando la strumentazione DOLANG JEA 24 descritta nelle premesse.

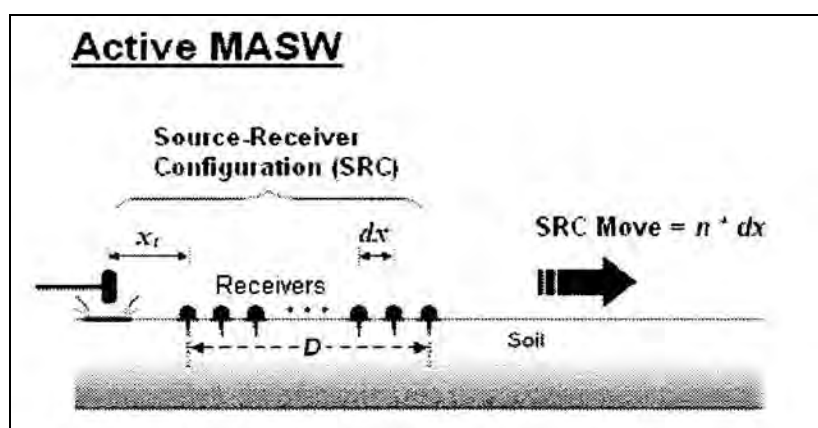


Figura 2 - MASW ATTIVA : stendimento lineare e sorgente attiva

I dati così acquisiti in campagna vengono quindi elaborati utilizzando il software "MASW© by Vitantonio Roma". In particolare mediante il software si procede alla lettura dei dati acquisiti (*common-shot gather*) e al calcolo dello spettro nel dominio frequenza – numero d'onda (spettro f-k). Quindi, dallo spettro f-k è possibile estrarre la curva di dispersione apparente sperimentale (si veda fig. 2 nel rapporto in allegato) mediante una doppia trasformata di Fourier applicata al campo di moto misurato nel dominio spazio - tempo. Sulla curva di dispersione sperimentale viene effettuato il cosiddetto *Picking* (si veda fig. 4 nel rapporto in allegato), cioè la selezione dei punti che, nell'interpretazione dell'utente, appartengono ad un certo modo di propagazione dell'onda superficiale di *Rayleigh*. L'identificazione ed il *Picking* della curva di dispersione sono un'operazione di importanza cruciale. I punti sperimentali ottenuti mediante l'operazione di *Picking* effettuata a partire dalla curva di dispersione apparente sperimentale, devono coincidere il più possibile con le curve teoriche numeriche descritte di seguito.

La curva di dispersione apparente numerica (si veda fig. 5 nel rapporto in allegato) si ottiene in maniera identica alla procedura usata per ottenere la curva di dispersione sperimentale, con l'unica diversità che riguarda la maniera in cui si calcola lo spettro del campo di moto. Mentre nella procedura sperimentale si applica una doppia trasformata di Fourier nella procedura numerica si applica una sola trasformata di Fourier. La curva di dispersione effettiva (si veda fig. 5 nel rapporto in allegato) si ottiene con un metodo alternativo proposto da Lai e Rix (Lai, 1998).



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via della Cerca. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

L'ultimo passo da affrontare è l'inversione della curva di dispersione precedentemente costruita. Questa operazione viene effettuata grazie all'utilizzo di una potente tecnica di ottimizzazione basata su algoritmi genetici. Il risultato finale è quello di ottenere il profilo verticale della velocità delle onde di taglio V_s .

Il grado di incertezza del profilo di V_s finale dipende dai seguenti fattori:

- ❑ incertezza associata alle misure sperimentali: è rappresentata dall'intervallo di variazione della velocità di fase apparente sperimentale ad una determinata frequenza. Tale range di variazione viene assegnato a ciascun punto sperimentale nella fase di Picking (fig. 4 nel rapporto in allegato);
- ❑ propagazione dell'incertezza nel modello di simulazione numerica;
- ❑ errore relativo o distanza tra curve di dispersione sperimentale e numeriche teoriche (apparente/effettiva). L'errore relativo è un indicatore oggettivo della sovrapposizione tra curva di dispersione sperimentale e teorica numerica.

Generalmente un errore relativo tra curva sperimentale e teorica inferiore al 10% indica il raggiungimento di un buon risultato con un profilo di V_s valido da un punto di vista progettuale. A parità di errore relativo l'utente può scegliere il profilo di V_s sulla base della migliore sovrapposizione visiva tra le curve sperimentale e teorica.

L'elaborazione dei dati acquisiti nel sito in questione è riportata in dettaglio nel rapporto d'indagine allegato alla presente relazione.

4.2 Tecnica MASW PASSIVA : procedura e strumentazione utilizzata

A differenza del convenzionale metodo MASW attivo, il quale prevede l'utilizzo di una sorgente sismica attiva (es: mazza battente) e di un profilo lineare di geofoni, la tecnica MASW passiva utilizza onde di superficie generate passivamente dall'ambiente circostante. L'origine di questo cosiddetto "rumore di fondo" è sia di tipo naturale (onde oceaniche di marea, perturbazioni atmosferiche) sia di tipo antropico (traffico veicolare, industrie, ferrovie, etc...). Il metodo MASW passivo si può distinguere in due diverse categorie sulla base della particolare tecnica con cui si esegue l'indagine:

- ❑ metodo *passive remote* (Park et al., 2004; 2005);
- ❑ metodo *passive roadside* (Park & Miller, 2006).

Il metodo *passive remote* prevede la realizzazione di uno stendimento bidimensionale mediante la disposizione dei geofoni secondo una geometria a croce, circolare, quadrata o a triangolo (vedi Fig. 3).

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via della Cerca. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

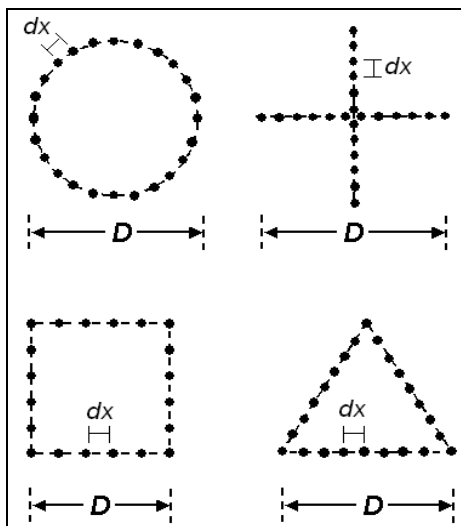


Figura 3 - Possibili configurazioni geometriche nel metodo *passive remote*

Tale metodo è il più accurato per ottenere il profilo verticale di velocità delle onde di taglio V_s , tuttavia prevede la necessità di ampi spazi per potere realizzare il profilo prescelto e di conseguenza una mole di lavoro maggiore da svolgere in campagna.

Il metodo *passive roadside* (utilizzato nel presente studio) adotta invece il convenzionale stendimento lineare di geofoni e cerca di sfruttare principalmente le onde di superficie generate dal traffico veicolare locale (vedi Fig. 4). Tale metodologia permette di superare le difficoltà legate all'eventuale indisponibilità di ampi spazi, dove potrebbe non essere possibile realizzare profili secondo il metodo *passive remote*, ma presenta una precisione inferiore di circa il 10% rispetto ad esso.

Anche in questo caso i dati acquisiti sono stati elaborati utilizzando il software "MASW by Vitantonio Roma" opportunamente implementato per l'analisi passiva.

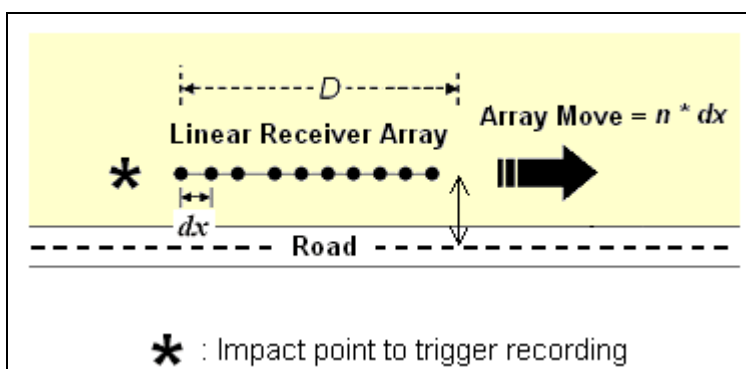


Figura 4 - metodo MASW *passive roadside*

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via della Cerca. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

5 ACQUISIZIONE DATI

Come anticipato nelle premesse, l'indagine geofisica condotta nel presente lavoro ha visto l'esecuzione di n° 1 stendimento sismico. Per acquisire i dati è stata impiegata la strumentazione *Dolang JEA 24*.

I parametri di campionamento utilizzati nella presente indagine sono riportate in tabella 1.

Modello sismografo	Risoluzione	n° canali	sorgente	Frequenza geofoni	Tipologia geofoni	Velocità di campionamento	Frequenza di campionamento
JEA 24	24 bit	24	Mazza (10 Kg)	4.5 Hz	verticali	250 microsec.	4000 Hz

Tabella 1 - Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata e parametri di acquisizione (metodo MASW attivo)

Modello sismografo	Risoluzione	n° canali	sorgente	Frequenza geofoni	Tipologia geofoni	Velocità di campionamento	Frequenza di campionamento
JEA 24	24 bit	24	Rumore ambientale	4.5 Hz	verticali	8000 microsec.	125 Hz

Tabella 2 - Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata e parametri di acquisizione (metodo MASW passivo)

Nella sottostante tabella vengono riportate sinteticamente le caratteristiche geometriche del profilo sismico effettuato:

Identificazione	Lunghezza da 1° a 24° geofono ricevitore (m)	Passo intergeofonico (m)	N° Geofoni impiegati (verticali)	Distanza Punto di scoppio-1° geofono ricevitore (m)
Via della Cerca	69.00	3.00	24	3.00-6.00

Tabella 3 – Dati geometrici del profilo effettuato

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via della Cerca. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

6 RISULTATI

L'analisi del modello sismico ottenuto per il profilo effettuato evidenzia la presenza di **6 sismostrati**. Nella sottostante tabella sono riportate le profondità e ed i valori di Vs dei **sismostrati individuati** (si veda fig. 6 nel relativo rapporto in allegato).

STENDIMENTO SISMICO "VIA DELLA CERCA"		
Sismostrato	Profondità (m)	Vs (m/s)
1	0.00-1.50	277
2	1.50-4.00	133
3	4.00-8.00	144
4	8.00-13.00	178
5	13.00-22.00	196
6	22.00-35.00	277
7	> 35.00	297

Sulla base di quanto riportato in tabella, la velocità media equivalente delle onde di taglio S nei primi 30 m di profondità (V_{s30}), **con riferimento alla quota del piano campagna su cui è stato eseguito il profilo, risulta pari a 193 m/s. Pertanto, unicamente in riferimento ai valori riportati in tabella e al valore di V_{s30} ottenuto dal profilo sismico, è possibile collocare il sottosuolo in classe C.**

La categoria di suolo così determinata dovrà essere valutata e verificata con i dati e le informazioni di carattere lito-stratigrafico ottenute mediante l'esecuzione di opportune indagini geognostiche.

In fase di progettazione il valore di V_{s30} dovrà essere calcolato da piano di posa delle fondazioni.

La quota raggiunta pari a -35.00 m (sismostrato n° 7 in tabella) dal p.c. indica l'interfaccia in corrispondenza della quale è stata individuata l'ultima variazione di velocità delle onde di taglio S.

Il valore di V_{s30} ottenuto è da riferirsi alla verticale di terreno posta in corrispondenza del punto mediano dell'allineamento sismico effettuato.

San Lazzaro di Savena (BO), 26/08/2010



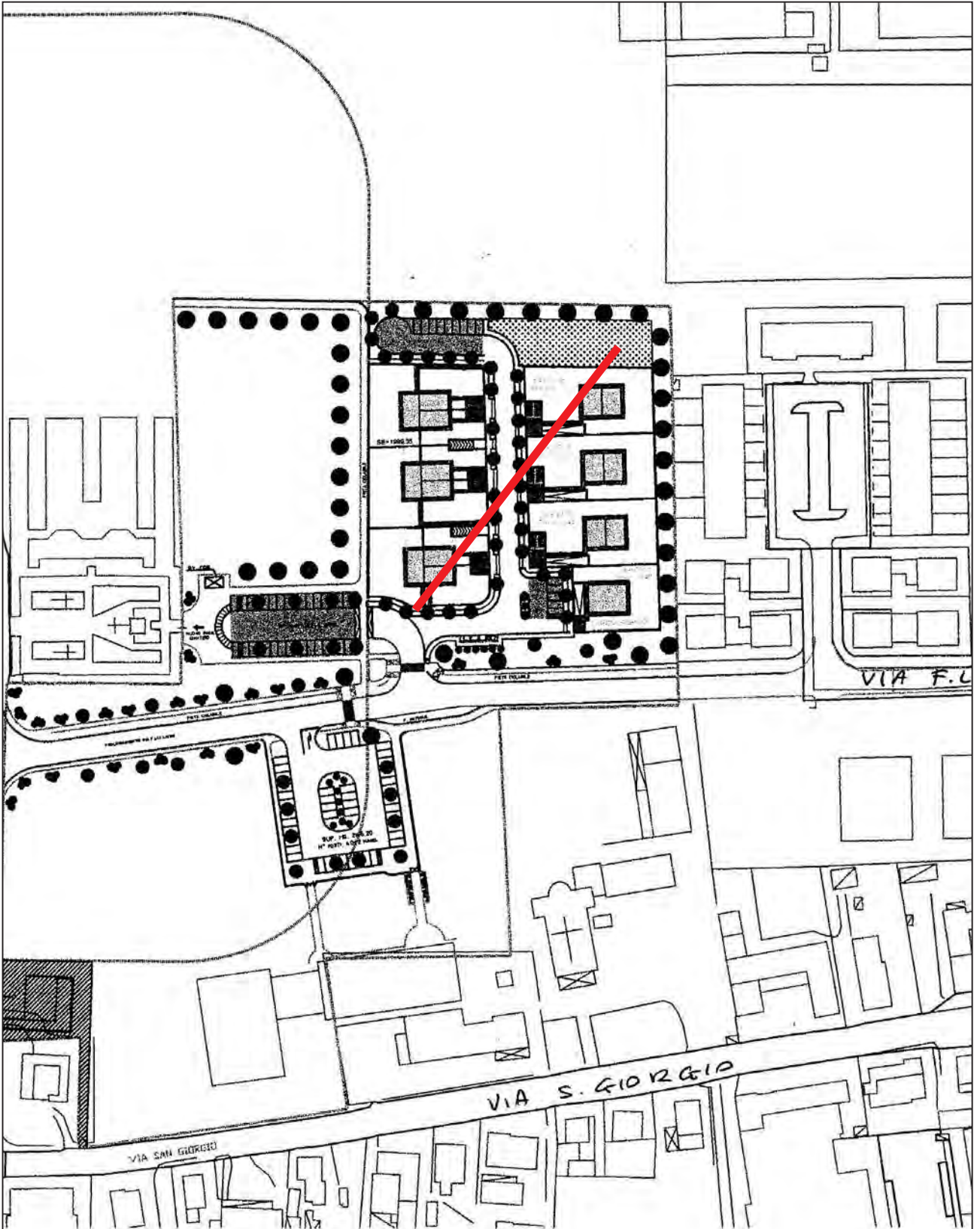


Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in località San Giorgio di Cesena (FC), in via della Cerca. P.U.A. AT3-AT5 10/02.

ALLEGATI

- Tav. 1 – Ubicazione profilo (n° 1)

- Rapporto stendimento sismico (n° 11)



Profilo sismico effettuato con tecnica MASW



TAV. 1
Ubicazione indagine geofisica

Agosto 2010

Committente:
Istituto Diocesano per il sostentamento del clero
Diocesi Cesena-Sarsina e altri

Planimetria generale



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{S30}), in località San Giorgio di Cesena (FC) – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

Rapporto indagine geofisica eseguita mediante tecnica masw attiva e passiva (ReMi)

Autore: I.G.B. SNC

**Committente: ISTITUTO DIOCESANO PER IL SOSTENTAMENTO
DEL CLERO – DIOCESI CESENA-SARSINA E ALTRI**

**Sito: SAN GIORGIO DI CESENA (FC) – VIA DELLA CERCA
P.U.A. AT3-AT5 10/02**

Data di effettuazione: 24/08/2010

Software utilizzato nell'elaborazione: "MASW"©
by Ing. Vitantonio Roma. All rights reserved.

**IGB Snc via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel 051 6255377 - Fax 051 4998378 - Cell 349 7846581 - E-mail igsnc@gmail.com**



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{S30}), in località San Giorgio di Cesena (FC) – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

1 – Dati Sperimentali (Tecnica attiva)

Numero di ricevitori.....24
Numero di campioni temporali4096
Passo temporale di acquisizione 0.25ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi 15
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 4000ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

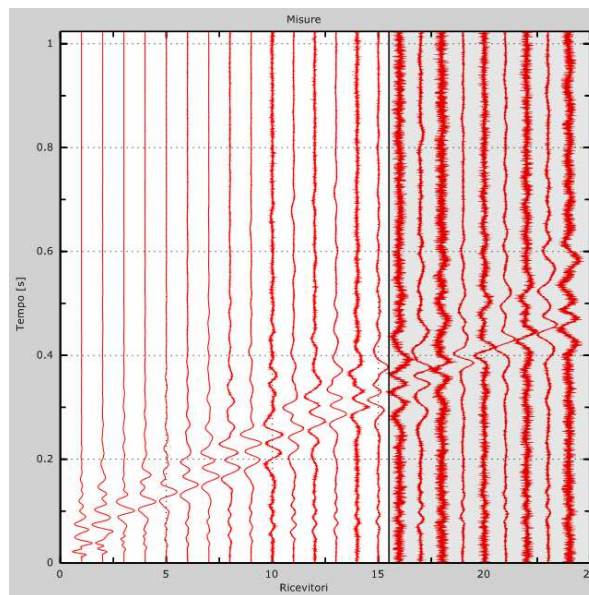


Figura 1: Tracce sperimentali (MASW attiva)



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{S30}), in località San Giorgio di Cesena (FC) – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

2 – Risultati dell'analisi

Frequenza finale 40Hz
Frequenza iniziale 2Hz

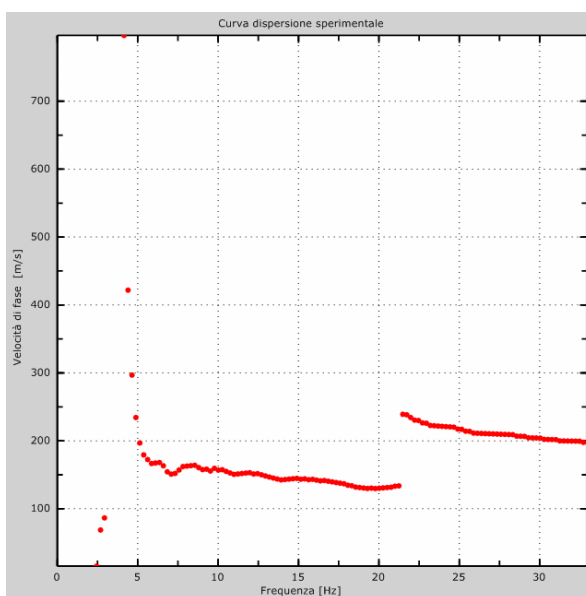


Figura 2: Curva di dispersione apparente sperimentale ottenuta mediante tecnica MASW attiva



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{S30}), in località San Giorgio di Cesena (FC) – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

3 - Dati Sperimentali (tecnica passiva)

Numero di ricevitori.....24
Numero di campioni temporali3.26787e-312
Passo temporale di acquisizione 8ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 10000ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 15000ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

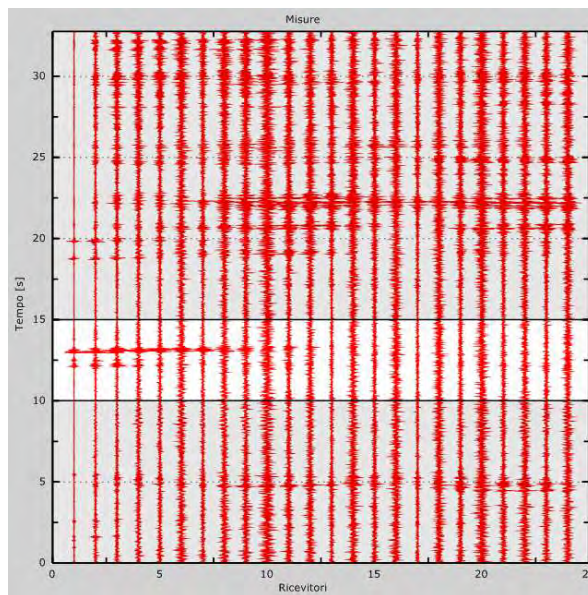


Figura 3: Tracce sperimentali (MASW passiva)



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{S30}), in località San Giorgio di Cesena (FC) – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

4 – Curva di dispersione

Tabella 1: Picking della curva di dispersione sperimentale e relativo range di variazione (valori numerici riportati graficamente in fig. 4)

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
3.71115	248.501	213.297	283.705
4.69948	205.11	187.099	223.121
5.52309	176.456	167.45	185.461
6.67614	160.9	155.988	165.813
8.26845	160.082	155.17	164.994
9.91567	155.17	151.076	159.263
11.1236	151.076	148.62	153.532
12.4963	150.257	147.801	152.713
13.7043	142.889	138.796	146.983
15.1319	143.708	140.433	146.983
16.5045	140.433	135.521	145.345
18.3165	133.065	129.79	136.339
20.0735	130.609	126.515	134.702
21.344	133.454	125.927	140.981
23.0385	121.603	111.779	131.427
23.313	223.94	219.847	228.034

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{S30}), in località San Giorgio di Cesena (FC) – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

26.1682	212.478	208.385	216.572
29.4078	204.291	201.835	206.747
32.8669	198.561	196.104	201.017

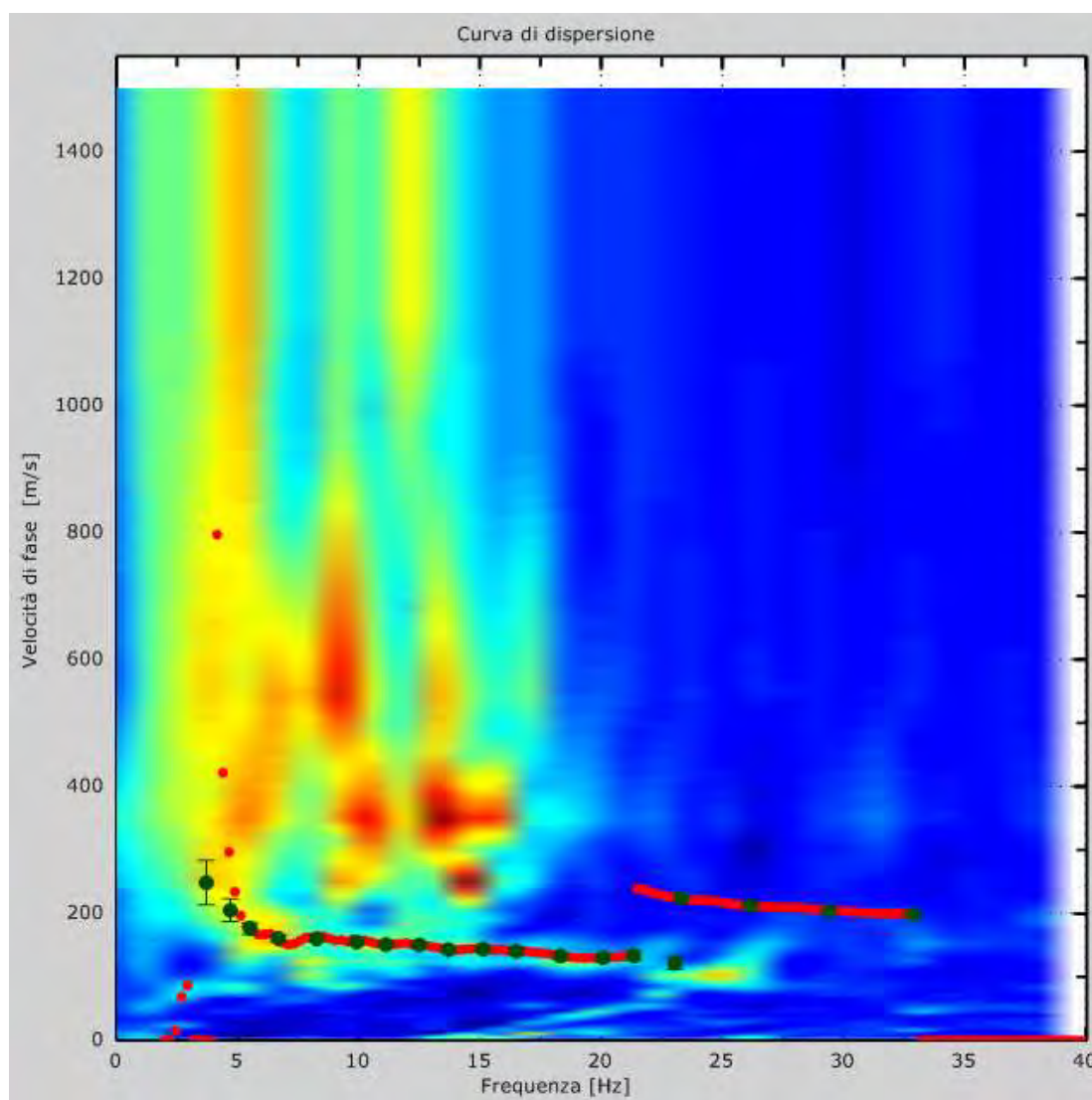


Figura 4: curva di dispersione sperimentale ottenuta mediante tecnica MASW attiva (rappresentazione grafica), spettro (p-f) ottenuto mediante tecnica MASW passiva (ReMi), e relativo picking. A ciascun punto sperimentale in verde è assegnato un range di variazione della velocità di fase riportato nella tabella precedente.



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{S30}), in località San Giorgio di Cesena (FC) – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	7
Spaziatura ricevitori [m]	3m
Numero ricevitori	24
Numero modi	5
Strato 1	
h [m]	1.5
z [m]	-1.5
Vs fin.[m/s]	277.000
Strato 2	
h [m]	2.5
z [m]	-4
Vs fin.[m/s]	133.000
Strato 3	
h [m]	4
z [m]	-8
Vs fin.[m/s]	144.000
Strato 4	
h [m]	5
z [m]	-13
Vs fin.[m/s]	178.000
Strato 5	
h [m]	9
z [m]	-22
Vs fin.[m/s]	196.000
Strato 6	
h [m]	13
z [m]	-35
Vs fin.[m/s]	277.000
Strato 7	
h [m]	0
z [m]	-∞
Vs fin.[m/s]	297.000

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{S30}), in località San Giorgio di Cesena (FC) – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

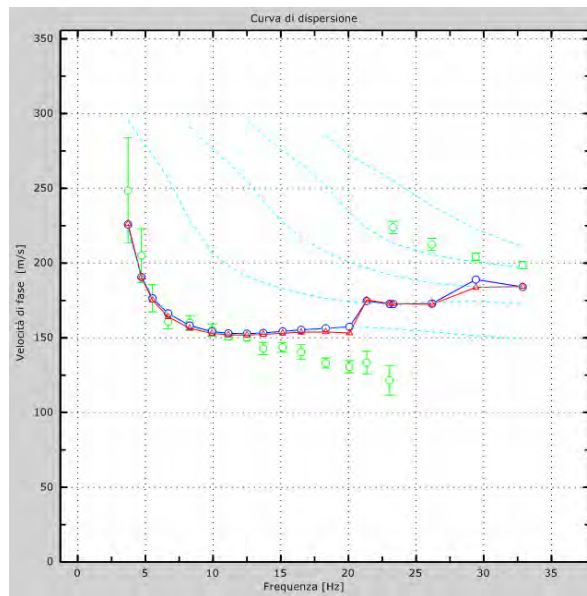


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (Picking - verde), modo fondamentale di Rayleigh (linea azzurra), curva teorica numerica effettiva (linea rossa), curva teorica numerica apparente (linea blu)

Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{S30}), in località San Giorgio di Cesena (FC) – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

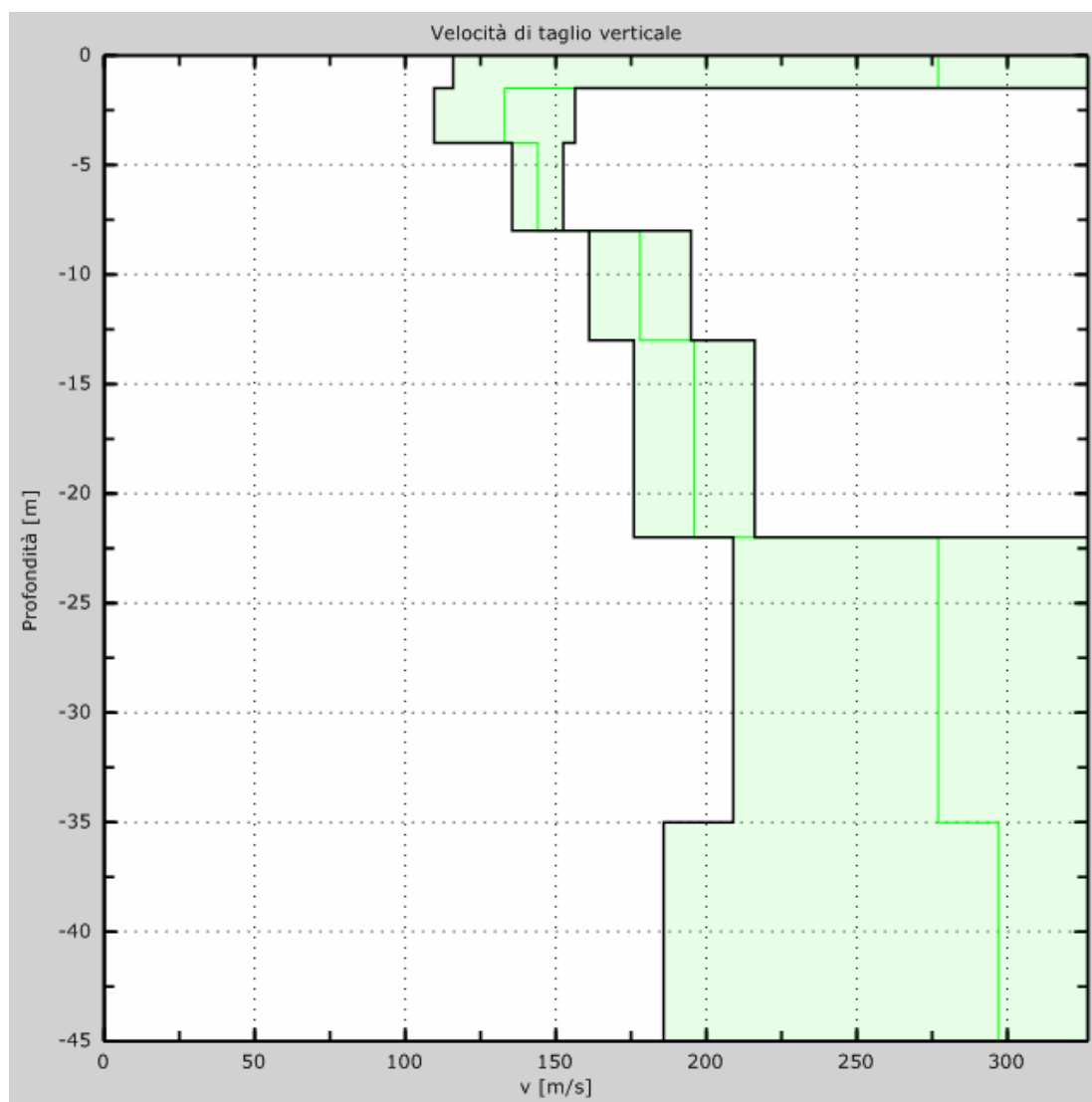


Figura 6: Profilo verticale delle Vs riferito al punto mediano dell'allineamento sismico



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{s30}), in località San Giorgio di Cesena (FC) – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

6 – Risultati finali

Piano di riferimento z = piano campagna attuale

V_{s30} [m/s].....193

La normativa applicata è il DM 14 gennaio 2008

Categoria di suolo determinata unicamente sulla base dei risultati della sola prova masw (media ponderata della velocità equivalente di propagazione delle onde S entro i primi 30 m di profondità dal p.c. su cui è stato eseguito lo stendimento sismico)C

La categoria di suolo così determinata dovrà essere comunque valutata e verificata con i dati e le informazioni di carattere lito-stratigrafico ottenute mediante l'esecuzione di opportune indagini geognostiche.



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW attiva e passiva (ReMi) per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{s30}), in località San Giorgio di Cesena (FC) – P.U.A. AT3-AT5 10/02.

Appendice

Categorie di suolo

Tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} 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 $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a granagrossa 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 V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ 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 V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ 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 di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_{,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

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.

Stima della pericolosità sismica del sito in esame

Per definire la pericolosità sismica delle aree in esame, nonostante il comune di Cesena non sia ancora dotato di PSC, ci si è attenuti a quanto disposto nell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 (Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio), in merito a (Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per pianificazione territoriale e urbanistica), si è quindi effettuata una analisi semplificata relativa al secondo livello di approfondimento (punto 4.1)

Definizione dello spettro di risposta elastico secondo il D.M. 14 gennaio 2008

Nel D.M. 14 gennaio 2008 è previsto uno spettro di risposta elastico dell'accelerazione, per la componente orizzontale del moto, caratterizzato dal seguente andamento:

$$a(g) = a_g S \eta F_0 \left[\frac{T}{T_b} + \frac{1}{\eta F_0} \left(1 - \frac{T}{T_b} \right) \right] \text{ per } 0 \leq T < T_b; \quad a(g) = a_g S \eta F_0 \text{ per } T_b \leq T < T_c$$

$$a(g) = a_g S \eta F_0 \left(\frac{T_c}{T} \right) \text{ per } T_c \leq T < T_d; \quad a(g) = a_g S \eta F_0 \left(\frac{T_c T_d}{T^2} \right) \text{ per } T_d \leq T.$$

La grandezza a_g esprime l'accelerazione di picco nel bedrock in. Il parametro η è il fattore di

correzione per lo smorzamento viscoso ed è dato da: $\eta = \left[\frac{10}{5 + \xi} \right]^{0.5} \geq 0.55$.

S è una grandezza data dal prodotto: $S = S_s \cdot S_t$

dove S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_t il coefficiente di amplificazione topografico, ricavabili dalle tabelle che seguono:

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera	S_t
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.	-	1,00 (casi in esame)
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.	Sommità del pendio	1,20
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.	Cresta del rilievo	1,20
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.	Cresta del rilievo	1,40

Categoria sottosuolo	S_s
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_0 a_g \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_0 a_g \leq 1,50$ (casi in esame)
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_0 a_g \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_0 a_g \leq 1,60$

F_0 è l'amplificazione spettrale massima, su bedrock orizzontale e si ricava, da tabella B allegata al D.M.14 gennaio 2008 (allegato B). F_0 nel nostro è pari a **2.493** (via Parataglio) e **2.492** (via Cerca).

T_c è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da $T_c = C_c T_c^*$, in cui T_c^* è un parametro sempre dell'allegato B del D.M. e per i siti in esame sono **0.298 s** (via Parataglio) e **0.299 s** (via Cerca), mentre C_c deriva dalla categoria del sottosuolo, con la tabella:

Categoria sottosuolo	C_c
A	1,00
B	$1,10(T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,05(T_c^*)^{-0,33}$ (valore utilizzato)
D	$1,25(T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,15(T_c^*)^{-0,40}$

Per cui risulta un valore **$T_c = 0.467$ s** in entrambe le aree

I parametri T_b e T_d sono correlati a T_c con le seguenti relazioni: $T_b = \frac{T_c}{3}$; $T_d = 4,0 a_g + 1,6$

Dallo spettro di risposta elastico dell'accelerazione si ricava lo spettro di risposta dello spostamento, applicando, per ogni periodo T , la relazione: $u = a(g)g \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2$ dove g è l'accelerazione di gravità (981 cm/s^2). Lo spettro di risposta elastico verticale si ottiene con le stesse relazioni viste per quello orizzontale, sostituendo il parametro F_0 con la grandezza F_v , data da: $F_v = 1,35 F_0 a_g^{0,5}$. I parametri a_g , F_0 e T_c^* sono ricavati dall'allegato B del D.M. in funzione del tempo di ritorno (T_r) preso in considerazione. Il parametro T_r viene ricavato dalla seguente relazione: $Tr(anni) = -\frac{V_r}{\ln(1 - P_r)}$; in cui V_r è la vita di riferimento dell'opera e

P_{Vr} la probabilità di superamento legata allo stato limite di calcolo. La vita di riferimento (V_r) dell'opera è data da: $V_r (anni) = C_u V_n$, dove V_n è la vita nominale dell'opera e C_u un fattore moltiplicativo funzione della classe d'uso della struttura in progetto.

Tabella I

TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale V_N (in anni)
Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	=10
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza	≥ 50
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Tabella II

<i>Classe I:</i> Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<i>Classe II:</i> Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, ferrovie la cui interruzione non porti a situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III:</i> Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e ferrovie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<i>Classe IV:</i> Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n.6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tabella III

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0,7	1,0	1,5	2,0

Il parametro P_{Vr} è invece funzione dello stato limite considerato, secondo la tabella:

Stati Limite	P_{Vr}
Stato Limite di Operatività (SLO):	0,81
Stato Limite di Danno (SLD):	0,63
Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):	0,10
Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):	0,05

Spettri di risposta elastici per lo stato limite ultimo SLV

Di seguito si riportano parametri e spettri di risposta elastica e tabelle con parametri sismici relativi alle due aree in esame, ottenuti dal sito “Spettri NTC ver.1.0.2.” del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sito “Spettri NTC ver.1.0.2.”

L’accelerazione sismica massima prevista nei due siti in esame $a_{\max} = a_g S$ (espressa in m/s^2), per lo stato limite ultimo considerato (SLV – stato limite di salvaguardia della vita), con accelerazione di picco per suoli di tipo A, risulta $a_{\max} = 2.59 m/s^2$ nell’area di via Parataglio e $a_{\max} = 2.60 m/s^2$ nell’area di via Cerca.

ALLEGATI

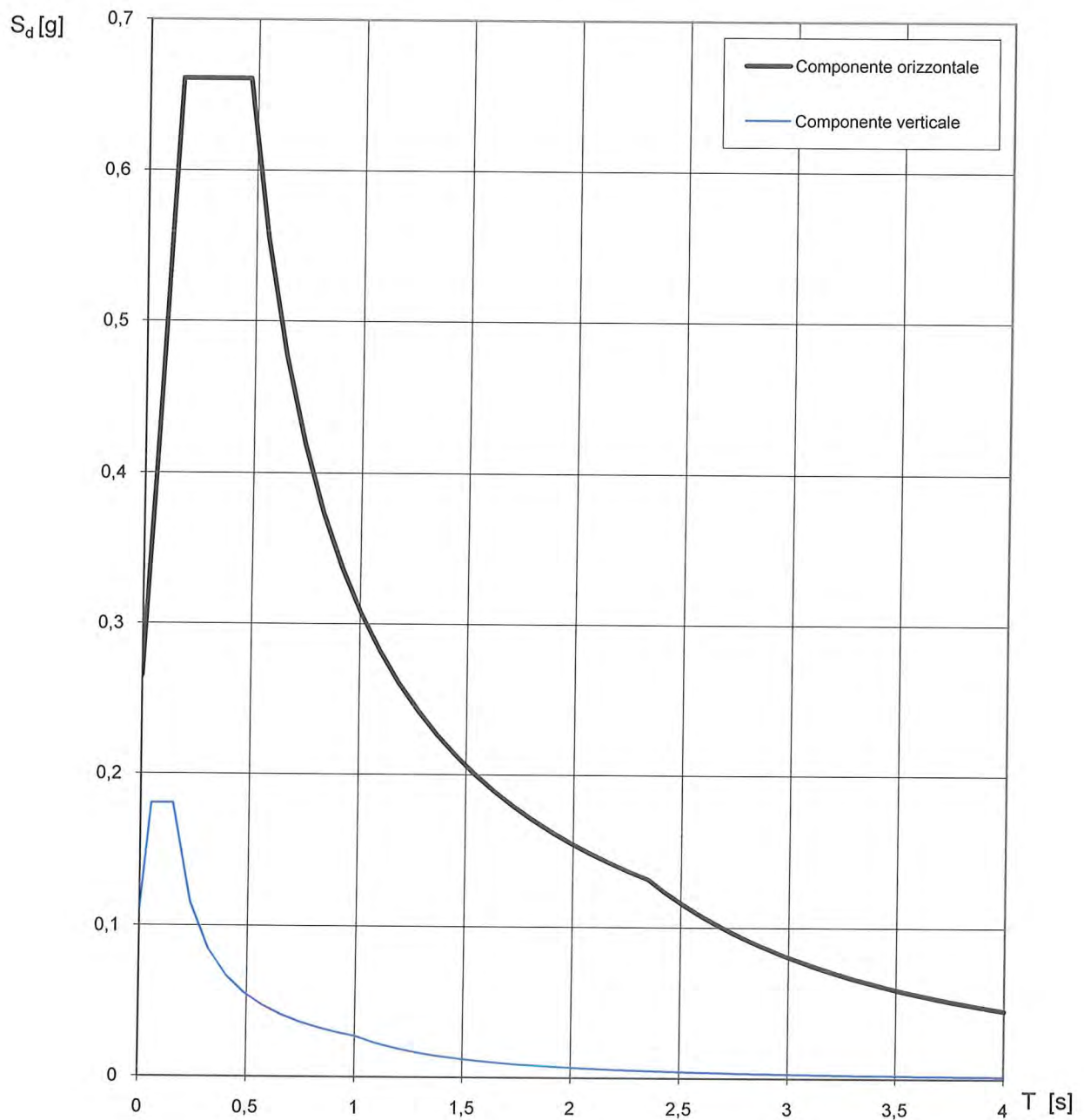
Spettri di risposta (componente orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV

Tabulati con parametri dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV

Tabulato con parametri dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV

N.B.

I primi spettri e tabulati sono riferiti all’area di via Parataglio

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,187 g
F_o	2,492
T_c^*	0,299 s
S_S	1,421
C_C	1,565
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,421
η	1,000
T_B	0,156 s
T_C	0,467 s
T_D	2,347 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(S + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,265
$T_B \leftarrow$	0,156	0,661
$T_C \leftarrow$	0,467	0,661
	0,557	0,555
	0,646	0,478
	0,736	0,420
	0,825	0,374
	0,915	0,338
	1,004	0,308
	1,094	0,282
	1,183	0,261
	1,273	0,243
	1,362	0,227
	1,452	0,213
	1,541	0,200
	1,631	0,189
	1,720	0,180
	1,810	0,171
	1,899	0,163
	1,989	0,155
	2,078	0,149
	2,168	0,142
	2,257	0,137
$T_D \leftarrow$	2,347	0,132
	2,425	0,123
	2,504	0,116
	2,583	0,109
	2,662	0,102
	2,740	0,097
	2,819	0,091
	2,898	0,086
	2,977	0,082
	3,055	0,078
	3,134	0,074
	3,213	0,070
	3,291	0,067
	3,370	0,064
	3,449	0,061
	3,528	0,058
	3,606	0,056
	3,685	0,053
	3,764	0,051
	3,843	0,049
	3,921	0,047
	4,000	0,045

La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{qv}	0,109 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,454
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

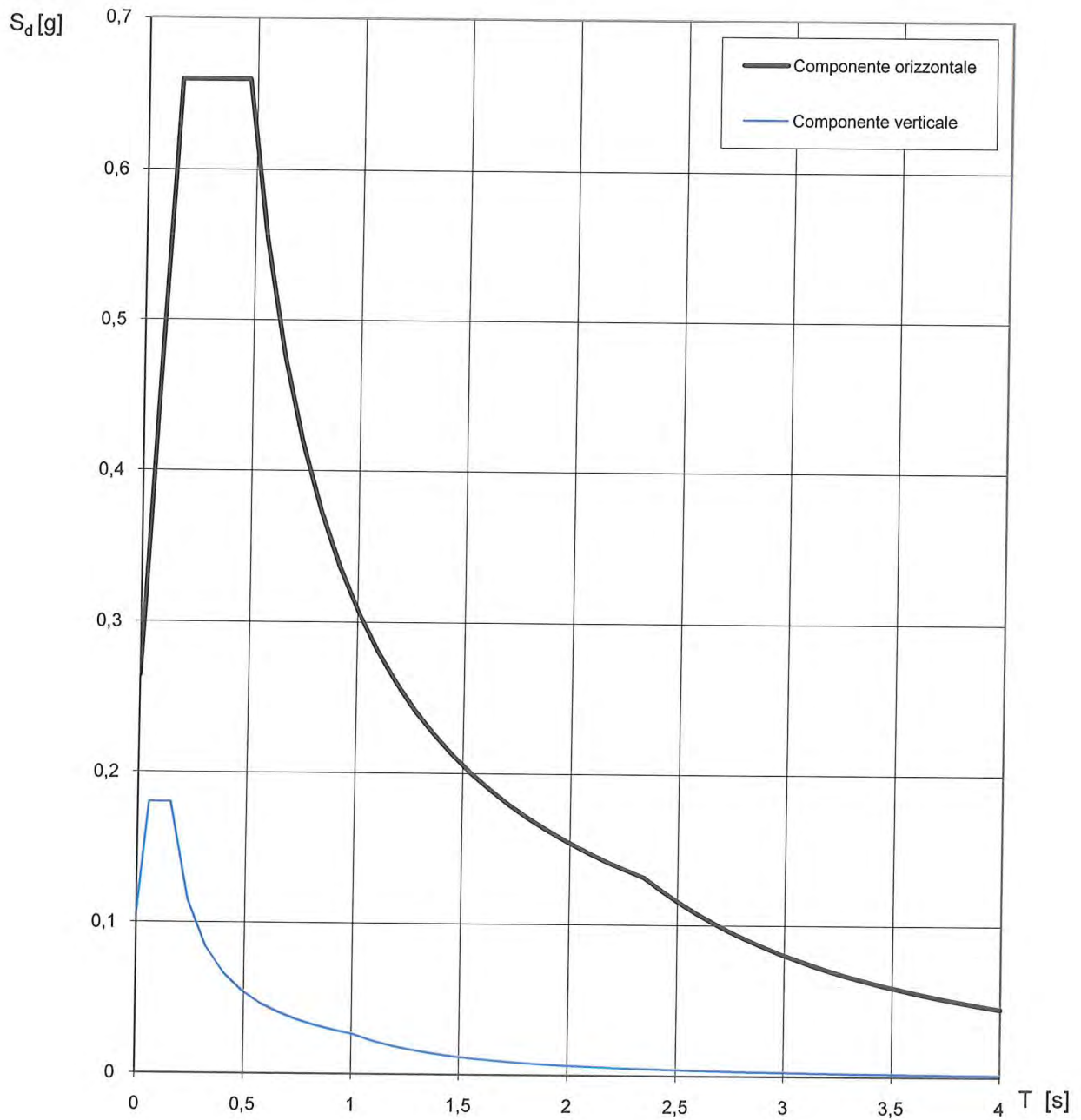
$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,109
$T_B \leftarrow$	0,050	0,181
$T_C \leftarrow$	0,150	0,181
	0,235	0,115
	0,320	0,085
	0,405	0,067
	0,490	0,055
	0,575	0,047
	0,660	0,041
	0,745	0,036
	0,830	0,033
	0,915	0,030
$T_D \leftarrow$	1,000	0,027
	1,094	0,023
	1,188	0,019
	1,281	0,017
	1,375	0,014
	1,469	0,013
	1,563	0,011
	1,656	0,010
	1,750	0,009
	1,844	0,008
	1,938	0,007
	2,031	0,007
	2,125	0,006
	2,219	0,006
	2,313	0,005
	2,406	0,005
	2,500	0,004
	2,594	0,004
	2,688	0,004
	2,781	0,004
	2,875	0,003
	2,969	0,003
	3,063	0,003
	3,156	0,003
	3,250	0,003
	3,344	0,002
	3,438	0,002
	3,531	0,002
	3,625	0,002
	3,719	0,002
	3,813	0,002
	3,906	0,002
	4,000	0,002

La verifica dell' idoneità del programma, l' utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell' utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall' utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,186 g
F_o	2,493
T_c^*	0,298 s
S_s	1,422
C_c	1,565
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,422
η	1,000
T_B	0,156 s
T_C	0,467 s
T_D	2,345 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,265
$T_B \leftarrow$	0,156	0,660
$T_C \leftarrow$	0,467	0,660
	0,556	0,554
	0,646	0,477
	0,735	0,419
	0,825	0,374
	0,914	0,337
	1,004	0,307
	1,093	0,282
	1,182	0,261
	1,272	0,242
	1,361	0,226
	1,451	0,212
	1,540	0,200
	1,629	0,189
	1,719	0,179
	1,808	0,170
	1,898	0,162
	1,987	0,155
	2,076	0,148
	2,166	0,142
	2,255	0,137
$T_D \leftarrow$	2,345	0,131
	2,424	0,123
	2,502	0,115
	2,581	0,108
	2,660	0,102
	2,739	0,096
	2,818	0,091
	2,896	0,086
	2,975	0,082
	3,054	0,077
	3,133	0,074
	3,212	0,070
	3,291	0,067
	3,369	0,064
	3,448	0,061
	3,527	0,058
	3,606	0,056
	3,685	0,053
	3,764	0,051
	3,842	0,049
	3,921	0,047
	4,000	0,045

La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0,108 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,452
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,108
$T_B \leftarrow$	0,050	0,180
$T_C \leftarrow$	0,150	0,180
	0,235	0,115
	0,320	0,084
	0,405	0,067
	0,490	0,055
	0,575	0,047
	0,660	0,041
	0,745	0,036
	0,830	0,033
	0,915	0,030
$T_D \leftarrow$	1,000	0,027
	1,094	0,023
	1,188	0,019
	1,281	0,016
	1,375	0,014
	1,469	0,013
	1,563	0,011
	1,656	0,010
	1,750	0,009
	1,844	0,008
	1,938	0,007
	2,031	0,007
	2,125	0,006
	2,219	0,005
	2,313	0,005
	2,406	0,005
	2,500	0,004
	2,594	0,004
	2,688	0,004
	2,781	0,003
	2,875	0,003
	2,969	0,003
	3,063	0,003
	3,156	0,003
	3,250	0,003
	3,344	0,002
	3,438	0,002
	3,531	0,002
	3,625	0,002
	3,719	0,002
	3,813	0,002
	3,906	0,002
	4,000	0,002

La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Fattori di amplificazione sismica (punto 4.1.1.)

Per quanto attiene ai fattori di amplificazione sismica F.A. , utilizzando le tabelle regionali al punto (A2.1.2 – pianura padana e costa adriatica), in base ai valori di V_{S30} ottenuti dalle due prove MASW, per una zona di *pianura 2* di cui fanno parte le due aree in esame, si ottengono i seguenti valori di amplificazione:

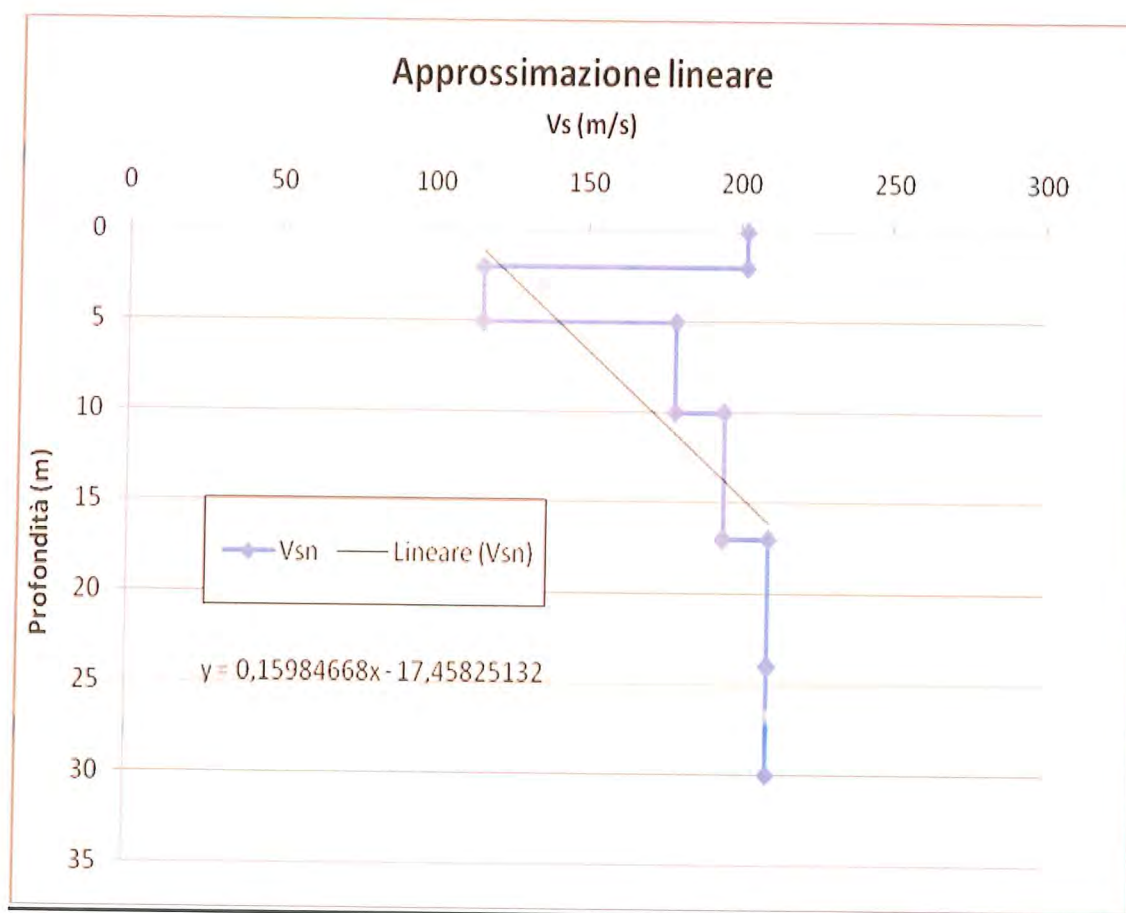
$$F.A. (P.G.A.) = 1.5$$

$$F.A. \text{ Intensità Spettrale} - 0.1s < T_0 < 0.5s = 1.8$$

$$F.A. \text{ Intensità spettrale} - 0.5s < T_0 < 1.0s = 2.5$$

Definizione della profondità del bedrock sismico (punto 4.1.2)

Per definire la profondità del bedrock sismico si è estrapolato il profilo V_s fino ai valori di 800 m/s, utilizzando una retta di regressione e ottenendo una profondità di **m-122** dal p.c. attuale (vedere grafico sottoriportato):



VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE IN CASO DI SISMA

Introduzione

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi.

Se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb: $\tau = c + (\sigma_{v0} - u) \tan \varphi$

c = coesione del terreno

σ_{v0} = pressione litostatica totale agente alla profondità d'indagine

u = pressione interstiziale dell'acqua

φ = angolo di resistenza al taglio del terreno,

È evidente che la grandezza $\langle \tau \rangle$ si può annullare solo nel caso in cui siano

verificate le condizioni: a) $c = 0$; b) $(\sigma_{v0} - u) = 0$;

(il caso $\varphi = 0$ non ha importanza pratica, perché può verificarsi solo in terreni coesivi in condizioni non drenate, dove però la condizione $\langle c=0 \rangle$ non può ovviamente verificarsi).

La condizione a) vieta che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica.

La condizione b) si verifica, quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata ad una data profondità dalla colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie ($\sigma_{v0} = u$). In definitiva il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua.

Fattori che predispongono alla liquefazione

Di seguito si descrivono, nel dettaglio, i fattori principali che predispongono un terreno alla liquefazione, prima di passare ad illustrare i metodi di calcolo della suscettibilità.

1) Fattori geologici-geotecnici. Poiché ai terreni incoerenti sono associati generalmente valori del coefficiente di permeabilità relativamente elevati, l'applicazione di sovraccarichi graduali (per es. dovuti alla costruzione di un fabbricato) non conduce a significativi incrementi di $\langle u \rangle$. In questi casi infatti non si generano gradienti di pressione fra la zona sollecitata e quella indisturbata tali da produrre rapidi flussi idrici fra le due zone. I vuoti dello scheletro solido sono quasi sempre sufficientemente larghi da non ostacolare questo flusso. Nel caso viceversa di sollecitazioni intense sottoposte ad incrementi rapidi, come si verifica durante un evento sismico, i gradienti di pressione che si generano possono essere tali da produrre elevati flussi

idrici dall'interno verso l'esterno. Se il fenomeno si manifesta in depositi incoerenti a granulometria relativamente fine (per es. sabbie fini), la larghezza limitata dei vuoti dello scheletro tenderà ad ostacolare il flusso idrico, con il conseguente sviluppo di elevate pressioni neutre. Oltre alla granulometria, altri fattori condizionano la suscettibilità di un deposito sciolto al fenomeno della liquefazione. I principali sono la profondità del livello potenzialmente liquefacibile ed il suo grado di addensamento. Con l'aumentare della profondità del deposito diminuisce la probabilità di liquefazione dello stesso durante l'evento sismico. È evidente infatti che con l'aumentare della profondità siano richiesti valori di $\langle u \rangle$ sempre più elevati per annullare la pressione litostatica crescente. Inoltre con la profondità tende a diminuire anche l'intensità delle sollecitazioni indotte dal sisma. L'influenza della pressione litostatica permette di spiegare il fenomeno della migrazione della liquefazione dai depositi più superficiali a quelli più profondi. I livelli meno profondi sono quelli che per primi subiscono la liquefazione, che è facilitata dalla minore pressione litostatica. Gli strati più profondi, che inizialmente non subiscono il fenomeno, nel momento in cui il deposito superiore va in liquefazione risentono di un calo del peso della colonna di terreno sovrastante, evento che aumenta la probabilità che anch'essi subiscano la liquefazione. Fondamentale è anche il grado di addensamento del terreno, esprimibile attraverso il parametro densità relativa ($D_r\%$). I terreni molto addensati, se sollecitati, subiscono un aumento di volume (fenomeno di dilatanza) con conseguente diminuzione della $D_r\%$, che tende a portarsi verso un valore critico, variante in funzione principalmente della granulometria del deposito. L'aumento di volume ha come conseguenza, nei depositi saturi, un richiamo dell'acqua dall'esterno verso l'interno, con creazione di una u di segno negativo e si ha un aumento del termine ($\sigma_{v0} - u$). L'esatto contrario avviene in terreni poco addensati, dove una sollecitazione tende a produrre una diminuzione di volume, con conseguente flusso idrico verso l'esterno e la generazione di una $\langle u \rangle$ disegno positivo (diminuisce il valore di ($\sigma_{v0} - u$)).

In conclusione si possono ritenere potenzialmente liquefacibili quei depositi sciolti che presentano le seguenti caratteristiche:

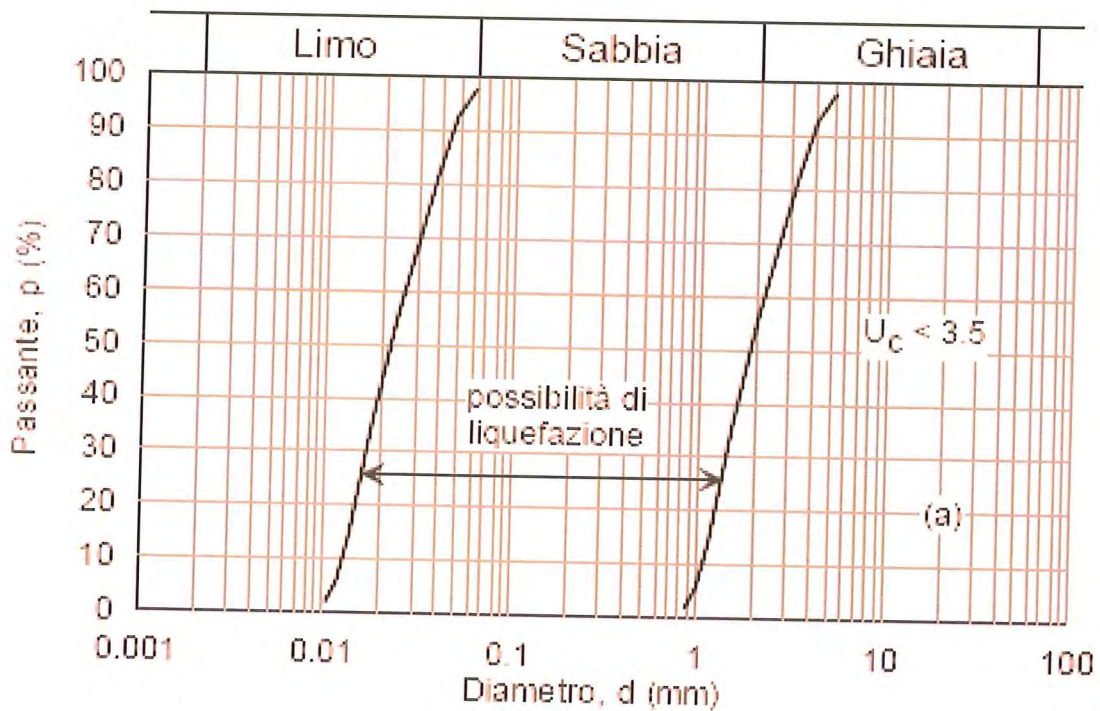
- granulometricamente sono sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile generalmente dallo 0 al 25%;
- si trovano sotto falda;
- sono da poco a mediamente addensati.
- si trovano a profondità relativamente basse (di solito inferiori ai 15 metri)

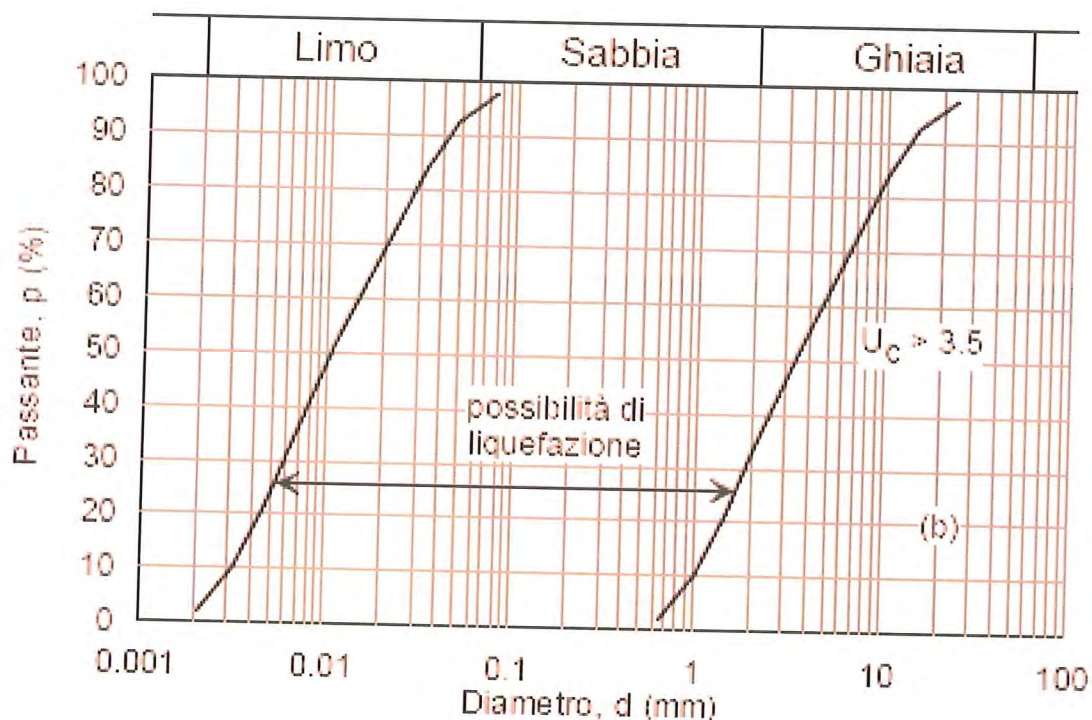
In sostanza le attuali normative (DM14/01/08) indicano che il fenomeno della liquefazione non è da prevedersi se si verifica almeno una delle seguenti condizioni :

- 1) Eventi sismici attesi di magnitudo inferiore a 5
- 2) Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field (campo libero) inferiore a 0.10 g. Accelerazione massima minore di 0.15 g e terreni con:
 - I) Frazione di fine (FC) superiore al 20%, con indice di plasticità $P_I > 10$
 - II) $FC > 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$.
 - III) $FC < 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$.
- 4) Profondità media della falda idrica inferiore a 15 metri dal p.c.
- 5) Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dai fusi di liquefazione indicati nei grafici riportati nella pagina successiva (il primo grafico è relativo a terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e il secondo relativo ai terreni con $U_c > 3.5$), dove $U = D_{60}/D_{10}$

D_{60} = diametro delle particelle corrispondenti ad un passante pari al 60%

D_{10} = diametro delle particelle corrispondenti ad un passante pari al 10%





Verifica del rischio di liquefazione dei terreni nell'area in esame.

Per la verifica si sono utilizzati metodi cosiddetti semplificati che richiedono venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie e della magnitudo di riferimento.

I dati del sisma di progetto sono quelli riportati nelle pagine precedenti ($a_{\max} = 2.580 \text{ m/s}^2$) (possono essere ricavati attraverso l'analisi probabilistica dei dati del Catalogo Sismico

Mentre la magnitudo di riferimento è stata stimata dall'accelerazione al bedrock nel sito con la relazione consigliata dal G.N.D.T.:

$$M = \frac{\text{Log}_{10} a_{g\text{bedrock}} + 2,544}{0,363} \text{ da cui risulta, nel sito, una magnitudo di riferimento } M = 7.72$$

Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilabile nello strato (R) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (T). Cioè in pratica si avrà:

$$F_s = \frac{R}{T}. \text{ Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione, se il coefficiente di}$$

sicurezza sarà minore di 1. La grandezza T dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto). R è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento ed è pertanto stata ricavata attraverso correlazioni con i risultati della prova penetrometrica statica realizzata.

La grandezza T si ottiene dalla relazione:

$$T = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} r_d \frac{1}{MSF}; \text{ dove:}$$

a_{\max} = accelerazione sismica massima;

g = accelerazione di gravità = 980.7 cm/s²;

σ_{v0} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;

σ_{v0}' = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;

MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma,

ricavabile con la relazione $MSF = \left(\frac{M}{7.5}\right)^{-3.3}$ se $M \leq 7.5$ o con la

formula $MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$ se $M > 7.5$

Valutazione delle resistenza al taglio mobilitata R

Per la penetrometria statica (CPT) la resistenza al taglio mobilitata si ottiene utilizzando il metodo di Robertson & Wride. La procedura di calcolo si basa sulle due seguenti equazioni:

$$R = 0.883 \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right] + 0.05 \text{ per } (q_{c1n})_{cs} < 50; \quad R = 93 \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 \text{ per } 50 \leq (q_{c1n})_{cs} < 160.$$

La grandezza $(q_{c1n})_{cs}$ rappresenta la resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente. Il calcolo di $(q_{c1n})_{cs}$ avviene attraverso i seguenti passaggi. Si calcola la resistenza alla punta e l'attrito laterale normalizzati con le relazioni:

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} \text{ e } F = 100 \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}}, \text{ dove:}$$

q_c (kg/cm²) = resistenza alla punta misurata;

f_s (kg/cm²) = attrito laterale specifico misurato;

σ_{v0} (kg/cm²) = pressione verticale totale;

σ_{v0}' (kg/cm²) = pressione verticale efficace.

Si calcola l'indice di tipo dello strato sabbioso con la formula:

$$I_c = \sqrt{(\log_{10} F + 1.22)^2 + (\log_{10} Q - 3.47)^2}$$

Si applica una correzione che tenga conto dell'approfondimento della prova:

$$q_{c1n} = C_Q q_c \text{ dove } C_Q = \left(\frac{1}{\sigma_{v0}'} \right)^n; \text{ L'esponente } n \text{ viene valutato come segue:}$$

se $I_c > 2.6$ allora $n=1$; se $I_c \leq 2.6$ si calcola un primo valore di q_{c1n} , utilizzando $n=0.5$; quindi si

ricalcola I_c con la relazione: $I_c = \sqrt{(\text{Log}_{10} F + 1.22)^2 + (\text{Log}_{10} q_{c1n} - 3.47)^2}$

se il nuovo valore di I_c è ancora minore di 2.6 si conferma il valore $n=0.5$, altrimenti si ricalcola q_{c1n} , utilizzando $n=0.75$; se $q_{c1n} > 2q_c$ si pone $q_{c1n} = 2q_c$.

Si introduce la correzione dovuta alla presenza di fine nel livello sabbioso:

$(q_{c1n})_{cs} = K_c q_{c1n}$, dove K_c è uguale a 1, se $I_c \leq 1.64$, ed è fornito dalla relazione:

$$K_c = -0.403I_c^4 + 5.581I_c^3 - 21.63I_c^2 + 33.75I_c - 17.88$$

Viene considerato non liquefacibile un deposito in cui risulti $FS > 1.25$

Verifica alla liquefazione dei terreni in esame

Come evidenziato nelle tabelle “Liquefazione” allegate ai parametri geotecnici, in cui sono riportati i valori F_L degli strati incoerenti, ottenuti con un programma di calcolo automatico basato sul metodo di Robertson & Wride, l’unico livello incoerente presente nelle due aree in esame è stato rilevato nella prova CPT n°4 a profondità compresa fra m-10.20 e m-11.60 e presenta un valore $F_L = 2.841$ quindi nettamente superiore al valore al disotto del quale è ipotizzabile la liquefazione dei terreni di fondazione in caso di sisma ($F_L \leq 1.25$).

VALUTAZIONE CAPACITA' PORTANTE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Si è proceduto a valutare la portanza dei terreni di fondazione in base a quanto disposto dal testo unico DM 14/01/2008 e cioè sulla base della verifica agli stati limite.

Verifica agli stati limite ultimi (SLU)

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione $E_d < R_d$, dove E_d è il valore di progetto dell’azione e R_d è il valore di progetto della resistenza. La verifica di questa condizione deve essere fatta impiegando combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A_1 e A_2), per i parametri geotecnici (M_1 e M_2) e per le resistenze (R_1 , R_2 e R_3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell’ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio n.1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti, la prima più severa nei confronti del dimensionamento strutturale, la seconda più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio n.2) è prevista una unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche. Nella presente valutazione relativa al dimensionamento delle fondazioni è stata scelta la seconda combinazione dell'approccio n.1, cioè quella più severa nei confronti del dimensionamento geotecnico: Combinazione 2 ($A_2+M_2+R_2$).

Per la scelta dei coefficienti parziali si sono utilizzate le tabelle presenti nel DM08 e si sono considerati terreni pianeggianti in condizioni non drenate (verifica a breve termine) e fondazioni continue con piano di posa orizzontale e carichi permanenti assiali.

I coefficienti parziali risultano:

Coefficiente parziale per l'azione o per l'effetto delle azioni

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale	$A_2(\text{GEO})$
permanenti	favorevole	γ_{g1}	1.0

Coefficiente parziale per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza utilizzata	Coefficiente parziale	M_2
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.4

Coefficienti parziali per capacità portante

Verifica	Coefficiente parziale	R_2
Capacità portante	γ_R	1.8

Valutazione capacità portante in base ai dati penetrometrici

Per quanto riguarda le fondazioni da realizzare, si è ipotizzato un piano di posa a m-3.00 dal piano di campagna attuale (fabbricati con scantinato). Si sono ipotizzate platee di fondazione costituite da piastre rigide con lati di base da m 5.00 x m 5.00 (B x L) e per il calcolo delle pressioni di progetto (q_d) si è operato con un approccio di tipo semiprobabilistico sulla base degli *stati limite ultimi (SLU)*, utilizzando la formula di Brinch-Hansen per terreni coesivi (la zona del cuneo di influenza delle fondazioni si trova in terreni argillosi e argillosi-limosi), considerando i fattori di forma e di profondità delle fondazioni (s_c e d_c) per un piano di posa orizzontale, terreno orizzontale e carichi verticali centrati: $q_d = [c_{up}N_c(1+s_c'+d_c') + qN_q]/\gamma_R$ dove:

c_{ud} = coesione non drenata di progetto

N_c = coefficiente di coesione che per ϕ uguale a zero gradi vale 5.14

N_q = coefficiente di portata che per ϕ uguale a zero gradi vale 1.00

$q = \gamma D$ - pressione litostatica totale a livello del piano di posa delle fondazione a m-3.00 e falda idrica a m-1.00 è pari a **0.36 kg/cm²**, (D = incastro)

$s_c' = 0.2(B/L)$ - fattore di forma della fondazione (B = larghezza, L = lunghezza fondazione)

$d_c' = 0.4k$ con $k = D/B$ per $(D/B) \leq 1$ fattore di profondità

Nel calcolo si sono utilizzati i parametri geotecnici elaborati dai valori di q_c e f_s relativi alle penetrometrie meno favorevoli. La coesione non drenata di progetto (c_{ud}) è data da c_{uk}/γ_{cu} con $\gamma_{cu} = 1.4$ e c_{uk} , valore caratteristico della coesione, al quale è associata una probabilità di non superamento del 5%, è dato $c_{uk} = c_{um}(1+\chi V_{cu})$ dove:

c_{um} = valore medio della coesione non drenata per lo strato influenzato dalle tensioni generate dalle fondazioni, con spessore $H = 0.5B \tan(45^\circ + \phi/2)$ (Meyerhof 1953)

χ = parametro dipendente dalla legge di distribuzione della probabilità di non superamento che nel nostro caso risulta pari a $\chi = -1.645$

V_{cu} = coefficiente di variazione di c_u , definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori di (c_{um})

Carico di progetto (area di via Parataglio)

La valutazione è stata fatta relativamente ai terreni rilevati nella penetrometria n°1, cioè quella meno favorevole, per lo strato che si trova compreso fra m-3.00 e m-5.50 di profondità, strato con coesione non drenata media $c_{um} = 0.87 \text{ kg/cm}^2$ da cui deriva una coesione caratteristica $c_{uk} = 0.62 \text{ kg/cm}^2$ e una coesione non drenata di progetto $c_{ud} = 0.44 \text{ kg/cm}^2$, da cui si ottiene un carico di progetto $q_d = 2.01 \text{ kg/cm}^2$.

Carico di progetto (area di via Cerca)

La valutazione è stata fatta relativamente ai terreni rilevati nella penetrometria n°4, cioè quella meno favorevole, per lo strato che si trova compreso fra m-3.00 e m-5.50 di profondità, strato con coesione non drenata media $c_{um} = 0.99 \text{ kg/cm}^2$ da cui deriva una coesione caratteristica $c_{uk} = 0.67 \text{ kg/cm}^2$ e una coesione non drenata di progetto $c_{ud} = 0.48 \text{ kg/cm}^2$, da cui si ottiene un carico di progetto $q_d = 2.19 \text{ kg/cm}^2$.

Si tratta peraltro in entrambe le aree di carichi di progetto elevati che porterebbero a cedimenti dei terreni difficilmente assimilabili, si consiglia pertanto di considerare un carico di progetto di valore non superiore a **1.00 kg/cm²**.

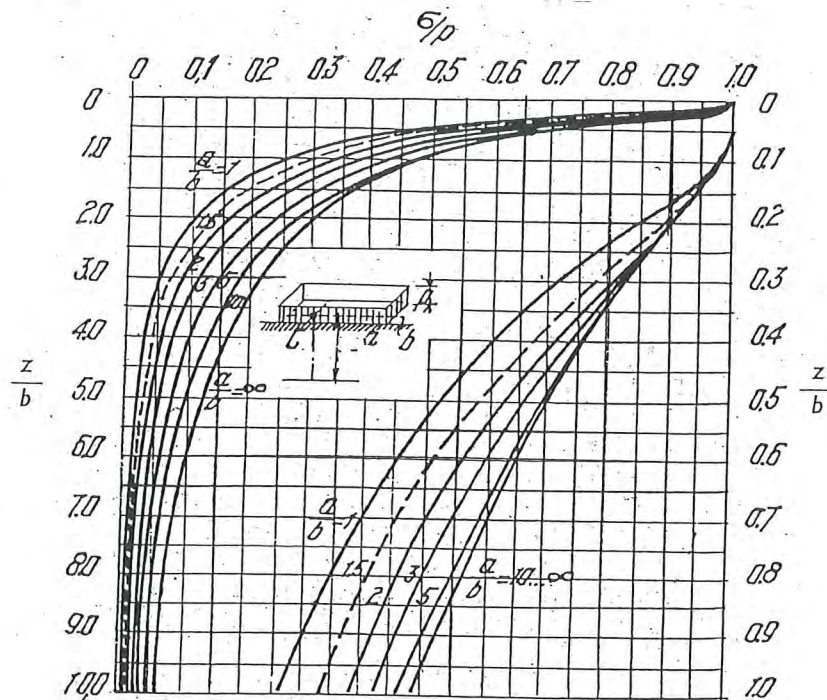
Cedimenti dei terreni di fondazione

Per il carico di progetto consigliato (1.00 kg/cm²) quindi per sovraccarichi effettivi sul piano di posa, al netto del carico esercitato dal terreno asportato (m 3.00 di terreno con falda idrica a

m-1.00 equivalgono a circa 0.36 kg/cm^2), pari a 0.64 kg/cm^2 , si sono valutati i possibili cedimenti del terreno di fondazione relativamente ai punti sondati con le tre penetrometrie. Il calcolo dei cedimenti è stato fatto sulla base dei seguenti assunti ;

Consolidazione monodimensionale (schema edometrico)

Tensioni verticali nel sottosuolo secondo la teoria della elasticità, per il calcolo è stato utilizzato il diagramma di Jelinek sotto riportato.



- Grafico di Jelinek per la determinazione delle pressioni verticali nel sottosuolo, sulla verticale di un punto caratteristico, prodotte da una superficie di carico infinitamente rigida.

Valutazione dei cedimenti nell'ambito della profondità H_c del banco comprimibile, il cui spessore equivale allo strato di terreno alla base del quale la sovrappressione residua risulta inferiore a 15% del carico litostatico.

Modulo edometrico $M_o = \alpha R_p$ con α valutato in base alla litologia.

Il calcolo dei cedimenti è stato condotto per strati successivi omogenei valutando per ciascuno strato la tensione verticale σ_v (al centro della superficie di carico) e il valore del modulo edometrico M_o (ottenuto dalla elaborazione dei dati penetrometrici), in base alla espressione:

$$\text{cedimento } S = n \sum (h \cdot \sigma_v / M_o)$$

La valutazione dei cedimenti è stata fatta per le prove CPT n°1 e n°4), le meno favorevoli.

Cedimento (S) per piastra rigida da m 5.00 x 5.00 con sovraccarico netto pari a 0.64 kg/cm²

Penetrometria n°1

Profondità strato	Spessore strato(m)	Tensione(σ_v) (kg/cm ²)	Modulo edometrico. (kg/cm ²)	Cedimento strato (cm)
Da m-3.00 a m-4.60	1.60	0.56	85.51	1.05
Da m-4.60 a m-5.60	1.00	0.37	66.86	0.55
Da m-5.60 a m-6.40	0.80	0.29	98.23	0.24
Da m-6.40 a m-7.00	0.60	0.24	122.40	0.12
Da m-7.00 a m-8.00	1.00	0.19	156.45	0.12
Da m-8.00 a m-8.60	0.60	0.15	112.84	0.08

Cedimento cm 2.16

Penetrometria n°4

Profondità strato	Spessore strato(m)	Tensione(σ_v) (kg/cm ²)	Modulo edometrico. (kg/cm ²)	Cedimento strato (cm)
Da m-3.00 a m-4.60	1.60	0.56	97.39	0.92
Da m-4.60 a m-5.40	0.80	0.38	73.80	0.41
Da m-5.40 a m-6.60	1.20	0.29	99.49	0.35
Da m-6.60 a m-7.00	0.40	0.23	110.15	0.08
Da m-7.00 a m-7.80	0.80	0.20	134.23	0.12
Da m-7.80 a m-8.60	0.80	0.15	125.86	0.10

Cedimento cm 1.98

E' evidente che con i carichi consigliati si avranno cedimenti assoluti assimilabili. I valori massimi di cedimenti consigliabili, secondo Skempton e McDonald (1955) sono:

Assoluti : per travi continue, plinti : S_{max} - cm 5.0 (in sabbie) - cm 7.5 (in argille)

per platea rigida : S_{max} - cm 3.5-6.0 (in sabbie) – cm 3.5-10.0 (in argille)

Massimo cedimento differenziale : Argille cm 4.5 – Sabbie cm 3.00

CONCLUSIONI

La realizzazione di quanto previsto in progetto non comporta variazioni significative dell'ambiente fisico circostante, si avranno movimentazioni di terreno relativamente modeste. I terreni presentano caratteristiche meccaniche tali da permettere la realizzazione di fondazioni superficiali, si esprime pertanto parere geologico favorevole alla realizzazione di quanto richiesto. In ottemperanza con la Circ.Reg. 1288 dell'11/02/83, si rinvia alla fase di progetto esecutivo il definitivo approfondimento geologico (D.M. 11/03/88).

Cesena Dicembre 2009

Magnani dott. Andrea



Oggetto:

Piano Urbanistico Attuativo di iniziativa privata (10.2 AT3 – AT5) in San Giorgio di Cesena

In merito a quanto richiesto da:

Provincia di Forlì-Cesena

Servizio Ambiente e Pianificazione Territoriale
Urbanistica – Valutazione Previsionale

E cioè:

Integrazioni alla Relazione Geologica:

In merito al progetto di espansione del comparto scolastico, con realizzazione di una nuova palestra e di annesso spogliatoio, non vengono forniti dettagli, né di tipo geologico, né urbanistico.

Pur comprendendo che l'espansione del complesso sia "obbligata" nella direzione scelta, per essere accorpata agli edifici esistenti, e quindi non ritenendo strettamente necessaria un'analisi di risposta sismica approfondita, vista anche la stratigrafia presente nell'area, bisogna rilevare che le successive fasi di attuazione dell'opera, non passeranno più da questo Servizio per l'espressione del proprio parere di competenza. Si ritiene, quindi, che la scelta debba essere suffragata da una prima indagine conoscitiva (anche da prove d'archivio), che confermi la mancanza di problematiche particolari per il successivo sviluppo del progetto, in modo da acquisire un parere pienamente conformato.

Si fa presente che le penetrometrie e la prova MASW realizzate per la parte Nord del P.U.A. in oggetto sono contigue all'area in cui è prevista la realizzazione della palestra scolastica e pertanto si ritiene che per tale area siano valide tutte le considerazioni di carattere geologico e sismico presentate nella relazione geologica inerente l'intero comparto.

Cesena febbraio 2013

Magnani dott. Andrea

