

RELAZIONE GEOLOGICA

Studio della fattibilità geologica generale per la realizzazione del nuovo Polo Scolastico di Via F.lli Rosselli – 2° Lotto, Comune di Reggio Emilia (RE)



Il tecnico



(Dott.^{ssa} Geol. Erika Montanari)

10 Agosto 2018

RELAZIONE GEOLOGICA

*Studio della fattibilità geologica generale
per la realizzazione del nuovo Polo Scolastico
di Via F.lli Rosselli – 2° Lotto,
Comune di Reggio Emilia (RE)*

Località:

Via F.lli Rosselli - 42123 Reggio Emilia (RE)

Committente:

PROVINCIA DI REGGIO EMILIA

Corso Garibaldi, n.26 - 42121 Reggio Emilia (RE)

CIG n.Z0224558E9 – CUP n.C85E17000020001

SOMMARIO

1. OGGETTO E SCOPO DEL LAVORO	6
1.1 FONTI DEI DATI	6
1.2 SCHEMA REDAZIONALE DELLO STUDIO.....	7
1.3 CAMPAGNE DI INDAGINI IN SITO	8
1.4 CARATTERI GENERALI DELL'INTERVENTO IN PROGETTO.....	8
1.5 PREMessa METODOLOGICA	10
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA.....	11
2.1 INQUADRAMENTO SISMICO E SISMO TETTONICO – PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	11
2.1.1 Quadro normativo sismico	11
2.1.2 Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna	12
2.1.3 Valutazione della pericolosità sismica negli strumenti di pianificazione.....	14
2.1.4 Valori di accelerazione massima del suolo	15
2.1.5 Zonazione sismogenetica ed episodi sismici.....	16
2.1.6 Sismicità recente.....	20
2.1.7 Categoria del suolo di fondazione.....	21
2.1.8 Calcolo della frequenza di risonanza del sottosuolo	22
2.1.9 Azione sismica di progetto (ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008).....	23
2.2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO – MODELLO GEOLOGICO	24
2.2.1 Inquadramento geografico	24
2.2.2 Quadro geologico generale.....	24
2.2.3 Lineamenti strutturali	25
2.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	27
2.4 INQUADRAMENTO IDROLOGICO.....	29
3. CAMPAGNA DI INDAGINI	32
3.1 PROVA PENETROMETRICA STATICA.....	33
3.1.1 Lo strumento	33
3.1.2 Modalità di esecuzione dell'indagine penetrometrica	33
3.1.3 Elaborazione dati della prova penetrometrica statica	34
3.2 SONDAGGIO A ROTAZIONE E CAROTAGGIO CONTINUO	35
3.2.1 Premessa.....	35
3.2.2 Perforazioni - sondaggi	35
3.2.3 Prova penetrometrica dinamica – Standard Penetration Test S.P.T.....	36
3.3 PROSPEZIONE MASW ONDE DI RAYLEIGH.....	37
3.3.1 Caratteristiche dell'attrezzatura.....	37
3.3.2 Configurazione spaziale della prova MASW in sito	38
3.3.3 Metodologia d'indagine	39
3.3.4 Interpretazione dei dati acquisiti	39
3.4 INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA DOWN HOLE.....	41
3.4.1 Modalità esecutive della prova	41
3.4.2 Elaborazione dei dati.....	42
3.5 PROSPEZIONE HVSR, CON MISURA DI RUMORE SISMICO.....	43
3.5.1 Modalità di indagine.....	43
3.5.2 Sorgente del rumore.....	43

3.5.3 Effetti di percorso	43
3.5.4 Tecnica impiegata	44
4. VALUTAZIONI LITOLOGICHE E STRATIGRAFICHE – MODELLO GEOTECNICO	46
4.1 RISULTANZE DELLE INDAGINI PENETROMETRICHE STATICHE	46
4.1.1 Successione lito-stratigrafica e geomeccanica	47
4.2 RISULTANZE DEI SONDAGGI A ROTAZIONE	51
4.2.1 Letture al pocket penetrometer	53
4.2.2 Valori dello Standard Penetration Test (S.P.T.)	55
4.3 RISULTANZE DELLE ANALISI DI LABORATORIO	57
4.4 RISULTANZE DELLA PROSPEZIONI MASW ONDE DI RAYLEIGH	63
4.5 RISULTANZE DELLA PROVA DOWN-HOLE	64
4.6 RISULTANZE DELLE PROSPEZIONI SISMICHE HVSR	65
4.6.1 Analisi dei dati	65
4.6.2 Frequenze di risonanza	66
4.7 DATI STRATIGRAFICI POZZO	66
4.8 VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOMECCANICI	67
4.8.1 Distribuzione statistica normale	68
4.8.2 Campioni di scarsa numerosità	68
4.8.3 Distribuzioni diverse dalla normale	69
4.8.4 Prove di laboratorio con parametri efficaci	70
4.8.5 Sintesi delle analisi statistiche e parametri geotecnici caratteristici	71
5. VALUTAZIONI SISMICHE	74
5.1 RISPOSTA SISMICA LOCALE	74
5.1.1 Azione sismica di progetto, spettri di risposta e amplificazione litologica	75
5.1.2 Secondo livello di approfondimento - Analisi semplificata	76
5.1.3 Terzo livello di approfondimento - Analisi approfondita condotta con EERA	78
5.1.3 Valutazione dei coefficienti sismici e del coefficiente di fondazione	88
5.2 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	88
5.2.1 Il fenomeno della liquefazione	88
5.2.2 Premessa	89
5.3 STIMA DEI CEDIMENTI POST-SISMICI DEI TERRENI COESIVI	91
5.4 MICROZONAZIONE SISMICA	92
5.5 INDICAZIONI OPERATIVE	93
6. NOTE CONCLUSIVE	95
NOTA BIBLIOGRAFICA	97
APPENDICE	99

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Tabella sintetica di attribuzione dei valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo e sottosuolo (ag/g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (prima colonna); dei valori di accelerazione orizzontale (ag/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (seconda colonna), alle varie zone sismiche; specifiche della sismicità ai sensi del D.M. 16/01/1996 (terza colonna)	15
Tabella 2 – Storia sismica di Reggio Emilia: Int.=intensità macrosismica (in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg); Data=anno, mese, giorno, ora, minuto dell'evento registrato; Area epicentrale=area geografica in cui sono stati riscontrati gli effetti maggiori del terremoto; NMDP=Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io=Intensità macrosismica epicentrale in scala MCS (MCS); Mw=magnitudo momento (INGV – DBMI15, Data Base Macrosismico Italiano 2015).	19
Tabella 3 - Eventi sismici recenti con M > 4,5 entro raggio di 100 km dal comune di interesse	21
Tabella 4 - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato, secondo il NTC2018 (Decreto 17/01/2018).	22

Tabella 5 – Tabella riassuntiva relativa ai livelli acquiferi registrati durante l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche e del sondaggio geognostico (Intergeo, 2002).	31
Tabella 6 – Tabella sintetica riguardante i sondaggi penetrometrici statici eseguiti in data 24/10/2011.	31
Tabella 7 – Tabella sintetica riguardante i sondaggi penetrometrici statici eseguiti in data 27/07/2018 e 30/07/2018.	31
Tabella 8 – Tabella delle caratteristiche del sismografo e dei geofoni utilizzati.	42
Tabella 9 – Tabella relativa al rapporto qc/fs, da cui discende la natura litologica dei litotipi.	46
Tabella 10 – Tabella sintetica riguardante i sondaggi penetrometrici statici ed il sondaggio geognostico, relativi alla campagna di indagini eseguita da Intergeo nell'anno 2002.	47
Tabella 11 – Tabella sintetica riguardante i sondaggi penetrometrici statici eseguiti in data 24/10/2011.	47
Tabella 12 – Tabella sintetica riguardante i sondaggi penetrometrici statici eseguiti in data 27/07/2018 e 30/07/2018.	47
Tabella 13 – Tabella sintetica relativa alla successione lito-stratigrafica registrata nella campagna Intergeo 2002.	48
Tabella 14 – Tabella sintetica riguardante la successione lito-stratigrafica osservata nel terreno di fondazione del 1° lotto.	48
Tabella 15 – Tabella sintetica riguardante la successione lito-stratigrafica osservata nel terreno di fondazione del 2° lotto.	49
Tabella 16 – Caratteristiche geomeccaniche medie degli strati costituenti il terreno di fondazione del 1° lotto. qc: resistenza alla punta; Y': peso dell'unità di volume efficace; Φ' : angolo di attrito interno efficace; Cu: coesione non drenata; M: modulo edometrico.	50
Tabella 17 – Caratteristiche geomeccaniche medie degli strati costituenti il terreno di fondazione del 2° lotto. qc: resistenza alla punta; Y': peso dell'unità di volume efficace; Φ' : angolo di attrito interno efficace; Cu: coesione non drenata; M: modulo edometrico.	51
Tabella 18 – Tabella sintetica riguardante la successione lito-stratigrafica osservata nel sondaggio S1.	52
Tabella 19 – Tabella sintetica riguardante la successione lito-stratigrafica osservata nel sondaggio S2.	53
Tabella 20 – Media dei valori letti al pocket penetrometer per ogni litotipo, confrontati con il valore della coesione registrato durante l'esecuzione delle prove penetrometriche, e con i valori registrati sui campioni di laboratorio.	54
Tabella 21 – Media dei valori letti al pocket penetrometer per ogni litotipo.	55
Tabella 22 – Caratteristiche degli strati granulari di S1 alle diverse profondità.	56
Tabella 23 – Caratteristiche degli strati granulari di S2 alle diverse profondità.	56
Tabella 24 – Caratteristiche degli strati granulari registrati nei due sondaggi, determinate da SPT.	57
Tabella 25 – Tabella sintetica riguardante le indagini di laboratorio eseguite sui campioni.	58
Tabella 26 – Tabella sintetica relativa contenuto d'acqua allo stato naturale ed al peso specifico naturale, secco e immerso dei campioni.	58
Tabella 27 – Tabella sintetica relativa all'analisi granulometrica dei campioni.	59
Tabella 28 – Tabella sintetica relativa alle caratteristiche di plasticità e consistenza dei campioni.	59
Tabella 29 – Tabella sintetica relativa ai valori di Cu ottenuti dai Limiti di Atterberg, tramite correlazioni empiriche.	60
Tabella 30 – Tabella sintetica relativa ai valori di Cu ottenuti dai Limiti di Atterberg a confronto con i valori registrati con pocket e torvane.	61
Tabella 31 – Tabella sintetica riguardante le caratteristiche di compressibilità, determinate sulla base delle prove edometriche sui campioni del sondaggio S1.	62
Tabella 32 – Tabella sintetica riguardante le caratteristiche di compressibilità, determinate sulla base delle prove edometriche sui campioni del sondaggio S2.	63
Tabella 33 – Tabella sintetica riguardanti le sigle che contrassegnano i parametri registrati con le prove edometriche.	63
Tabella 34 – Parametri desunti dalle prove triassiali CIU. c': coesione efficace; Φ' : angolo di attrito interno efficace.	63
Tabella 35 – Tabella sintetica relativa alle risultanze della prospezione sismica MASW ZN_A (eseguita nel mese di dicembre 2007): Vs=velocità media di propagazione delle onde di taglio; Vs30=velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m.	64
Tabella 36 – Tabella sintetica relativa alle risultanze della prospezione sismica MASW ZN_B (eseguita nel mese di dicembre 2007): Vs=velocità media di propagazione delle onde di taglio; Vs30=velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m.	64
Tabella 37 – Metodo diretto. Velocità e parametri calcolati con Prova Down Hole. Vp: velocità di propagazione onde P; Vs: velocità di propagazione onde S; Ydin: densità del mezzo attraversato; v: coefficiente di Poisson; E: modulo di Young; G: modulo di deformazione al taglio.	65
Tabella 38 – Tabella sintetica relativa alla stratigrafia registrata durante l'esecuzione del pozzo ad uso irriguo n.2068 (200120P719 - Banca Dati Regione Emilia-Romagna).	67
Tabella 39 – Parametri geomeccanici caratteristici del terreno di fondazione dell'area di intervento 2° lotto. Nelle colonne in grigio vengono posti a confronto con i parametri geomeccanici registrati per il 1° lotto.	72
Tabella 40 – Schema sintetico relativo alle equazioni statistiche applicate.	72
Tabella 41 – Tabella sintetica con i parametri caratteristici determinati per il terreni di fondazione del 1° stralcio, correlati con i livelli registrati nelle indagini effettuate a corredo della progettazione del 2° stralcio.	73
Tabella 42 – Tabella sintetica con i parametri caratteristici determinati per il terreni di fondazione del 1° stralcio, correlati con i livelli registrati nelle indagini effettuate a corredo della progettazione del 2° stralcio.	73
Tabella 43 – Espressioni dei valori dei parametri sismici ag, Fo e T*c per i periodi di ritorno associati a ciascun SL.	75
Tabella 44 – Valori dei coefficienti sismici.	75
Tabella 45 – Tabelle sintetiche tratte dall'Allegato A.2.1 della Del.Ass. Leg. Emilia-Romagna 2 maggio 2007.	77
Tabella 46 – Tabella riepilogativa dei fattori di amplificazione calcolati relativamente a vari parametri del moto sismico.	77
Tabella 47 – Fattori di amplificazione in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGAo) e di rapporto di Intensità di Housner (SI/SIo) per prefissati intervalli di periodi.	79
Tabella 48 – Fattore di sicurezza MSF (SEED e Idriss, 1982).	89
Tabella 49 – Tabella sintetica con i valori medi dei parametri geomeccanici medi impiegati per la stima dei cedimenti post-sismici in terreni coesivi; qc=resistenza alla punta; cu=coesione non drenata; Mo=modulo edometrico.	92

Tabella 50 – Riepilogo delle possibili opzioni di gestione delle terre e rocce da scavo, delle norme di riferimento e dei relativi adempimenti.	94
--	----

Indice delle figure

Figura 1 – Ripresa da satellite (ORTOFOTO MOKA MAPPE 2014 Consorzio TeA), con individuazione dell'ubicazione del nuovo Polo Scolastico di Via F.lli Rosselli (RE) e indicazione sommaria dei tre stralci (cfr. anche figura seguente).	9
Figura 2 – Stralcio della documentazione progettuale con rappresentazione dei 3 stralci per la realizzazione del nuovo Polo.	10
Figura 3 – Riclassificazione sismica della Regione Emilia Romagna (Ordinanza del P.C.M. n.3274/2003).	12
Figura 4 – Stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, in scala 1:250.000 (stralcio fuori scala), con indicazione dell'ubicazione dell'area in oggetto.	13
Figura 5 - Mappa di pericolosità sismica, espressa in termini di accelerazione massima del suolo a_{max} con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (PGA).	15
Figura 6 – Aree sismogenetiche caratterizzanti la Provincia di Reggio Emilia, in Zonazione ZSg.	16
Figura 7 – Storia sismica di Reggio Emilia: I_s =intensità al sito (MCS).	20
Figura 8 – Eventi sismici recenti con $M > 4,5$ entro raggio di 100 km dal comune di interesse.	20
Figura 9 - Schema strutturale del margine e del fronte appenninico in relazione con il "sistema del Taro". 1- margine morfologico appenninico; 2- strutture descritte nel testo (thrusts sepolti); 3- faglie normali della fossa tettonica della Lunigiana; 4- linee trasversali di ordine maggiore; 5- asse di alto del "basamento magnetico"; 6- massimo dell'anomalia magnetica residua (da: Bernini M. e Papani G., 1986).	26
Figura 10 – Stralcio della Carta Geomorfologica della Pianura di Reggio Emilia (Boretti G., Cremaschi M. e Mazza G., 1988), con individuazione dell'area in oggetto.	28
Figura 11 - Schema di acquisizione multicanale.	40
Figura 12 – Rapporto spettrale H/V orizzontale su verticale.	66
Figura 13 – Esempio di un processo aleatorio approssimato ad una funzione a gradini.	71
Figura 14 – Tipiche configurazioni responsabili di effetti di sito, rispetto ad un sito roccioso di riferimento con superficie libera orizzontale (Fig.6.1 in Raccomandazioni AGI, 2005).	74
Figura 15 – Terminologia utilizzata per il moto sismico con riferimento ad un deposito di terreno poggianti su un basamento roccioso (Fig.6.2 in Raccomandazione AGI, 2005).	74
Figura 16 - Spettri di risposta per i diversi SL e spettro di risposta elastico per lo stato limite di salvaguardia della vita su suolo in studio di tipo C. "Spettri di risposta SPETTRI-NTC" Ver.1.03.	76
Figura 17 – Correlazioni empiriche tra fattore di amplificazione e velocità delle onde di taglio (Tab.6.2 in Raccomandazione AGI, 2005).	78
Figura 18 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (Fig.7.11.1 del nuovo NTC2018).	90
Figura 19 – Stralcio planimetrico dell'intervento da effettuare con parametri e indici di pericolosità sismica.	93

1. OGGETTO E SCOPO DEL LAVORO

Su incarico e di concerto con la Committente Amm.ne Provinciale di Reggio Emilia, Servizio Infrastrutture, Mobilità Sostenibile, Patrimonio ed Edilizia, viene redatta la presente relazione finalizzata alla **verifica di fattibilità geologica generale e sismica** per un intervento da effettuarsi in un lotto di terreno sito in prossimità dell'esistente Polo Scolastico di Via F.lli Rosselli, nel territorio comunale di Reggio Emilia, in Provincia di Reggio Emilia.

Nell'area in oggetto, posta ad una quota topografica pari a ca. 62 m s.l.m. e sita nel settore sud-occidentale del territorio comunale di Reggio Emilia (cfr. Tav.1), è prevista la realizzazione di un nuovo Polo Scolastico in ampliamento dell'esistente plesso scolastico di Via F.lli Rosselli: il presente documento costituisce uno studio di fattibilità geologica relativo alla realizzazione del 2° Lotto del polo scolastico in oggetto. Ciò ad integrazione di precedente Relazione Geologica-Geotecnica redatta nell'anno 2012 a corredo della progettazione esecutiva del 1° Lotto del nuovo Polo scolastico.

Al fine di valutare le caratteristiche geomeccaniche, litostratimetriche del terreno, nonché i caratteri idrogeologici e sismici dell'area, vengono impiegati i dati provenienti dalle campagne di indagini eseguite in sito e vengono raccolte informazioni bibliografiche riguardanti l'area in oggetto ed un adeguato intorno.

Al fine di valutare le caratteristiche geomeccaniche, litostratimetriche del terreno, nonché i caratteri geologici, geotecnici, idrogeologici e sismici dell'area, vengono impiegati i dati provenienti dalle campagne di indagini eseguite in sito e vengono raccolte informazioni bibliografiche riguardanti l'area in oggetto ed un adeguato intorno.

Ciò in ottemperanza alle vigenti disposizioni di legge, in materia di indagini geologiche e geotecniche (D.M. 21 gennaio 1981; D.M. 11 marzo 1988; Circolare M. LL.PP. n.30483 del 1988; D.M. 14 settembre 2005 c.d. TU, e nuove NTC2018) ed in materia sismica (O.P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003; D.M. 14/09/2005; Del.G.R. Emilia-Romagna n.1677/2005 e Del. Ass.Leg. Emilia-Romagna n.112 del 2 maggio 2007; NTC2008; Circolare Cons. Sup. LL.PP. N.617/2009; nonché Eurocodici – EC8 e EC7.1, 7.2, 7.3).

1.1 Fonti dei dati

I dati contenuti nel presente studio provengono:

- da una campagna di indagini eseguita da Intergeo nel maggio 2002, per un precedente ampliamento dell'Istituto Tecnico Agrario "A. Zanelli";
- dalle prospezioni sismiche (metodologia MASW) eseguite in sito per lo studio preliminare del dicembre 2007, con una previsione di ubicazione del nuovo polo scolastico differente dall'attuale;
- dalla campagna di indagini eseguite in sito nei mesi di ottobre e novembre 2011, per la progettazione esecutiva;
- dalla campagna di indagini eseguite in sito nel mese di luglio 2018, a corredo della progettazione per la realizzazione del 2° Lotto;
- dalla bibliografia esistente in materia geologica-geotecnica ed idrogeologica, nonché dalla pratica professionale.

Ad essi si aggiungono le notizie riguardanti le caratteristiche dell'intervento in progetto fornite dal progettista (Ing. Paolo Genta di CAIREPRO S.c.) al quale si farà riferimento, da questo punto in poi, con il termine progettista. Fonti bibliografiche fondamentali per quel che attiene la geologia, la geomorfologia, l'idrologia dell'area in esame, sono:

- Carta tecnica regionale aggiornata (Carta Geografica Unica del territorio, CTR5*-RG) in scala 1:5.000, Elementi n.200121 Reggio Emilia S-E, n.200122 Due Maestà, n.200123 Castello Canali, n.200124 Reggio Emilia S-O;
- Carta Geologica in scala 1: 10.000 della Regione Emilia-Romagna, Sez.200120 - Reggio Emilia Sud-Est (Ed. 2009);

- Carta geomorfologica della Pianura di Reggio Emilia, Amministrazione Provinciale, Assessorato alla Pianificazione Territoriale, Tutela dell'Ambiente, Difesa del Suolo (1988);
- Carta degli elementi fisico-morfologici, a corredo del PTCP di Reggio Emilia, tavola 200SE in scala 1:25.000 (All.6 Tav. PTCP 2008);
- Carta della vulnerabilità degli acquiferi alta pianura reggiana tra T. Crostolo e F. Secchia, in scala 1:25.000. Pubblicazione GNDICI-CNR n.532 (1992), in Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi n.4, Quaderni di tecniche di protezione ambientale n.33 (1994);
- Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, cartografia in scala 1:250.000 e Note Illustrative (2004).

1.2 Schema redazionale dello studio

Le tavole tematiche allegate al presente studio e riportate in Appendice sono:

Tav.1:	<i>Corografia generale</i>	scala 1:10.000;
Tav.2:	<i>Ubicazione indagini su planimetria di progetto</i>	scala 1:2.000;
Tav.3A:	<i>Sezione lito-stratigrafica interpretativa – 1° Lotto</i>	scala 1:300;
Tav.3B:	<i>Sezione lito-stratigrafica interpretativa – 2° Lotto</i>	scala 1:300;
Tav.4:	<i>Stralcio "Carta geologica dell'appennino emiliano-romagnolo"</i>	scala 1:10.000;
Tav.5:	<i>Stralcio "Carta della vulnerabilità degli acquiferi"</i>	scala 1:25.000.

In ognuna di esse sono rappresentati elementi e sono riportate notizie e dati, che verranno illustrati nelle pagine successive: per ogni sezione sono citate le fonti documentali ed iconografiche dalle quali essi sono stati tratti. Al termine del presente studio è riportata una nota bibliografica sintetica.

Si precisa che la documentazione allegata alla progettazione esecutiva del 1° Lotto - elaborati fuori testo che riportavano le risultanze delle campagne geognostiche eseguite in sito e le analisi di laboratorio - non verrà nuovamente trasmessa in allegato alla presente, rimandando a tale fascicolo per evitare inutili appesantimenti e duplicati di documentazione. Nella presente relazione verranno esclusivamente richiamate le risultanze delle precedenti campagne, quando risulterà necessario per avere un quadro complessivo della situazione geologica e geotecnica del sito. Trattasi in particolare di:

- stratigrafie dei sondaggi a rotazione, CERTIFICATO N.11/031-09/A e CERTIFICATO N.11/031-10/A - GEOPROGETTI S.a.s.;
- tabulati delle prove penetrometriche statiche, CERTIFICATI dal N.11/031-01/C al N.11/031-08/C - GEOPROGETTI S.a.s.;
- esecuzione di n.1 prova Down Hole a 34 m per la determinazione della V_{s30} per la progettazione del Nuovo Polo Scolastico in Via F.lli Rosselli nel Comune di Reggio Emilia - C.G.A. Studio Tecnico Associato Consulenze di Geologia e Ambiente;
- Prove di laboratorio su terreni provenienti dal cantiere. Nuovo Polo Scolastico Via F.lli Rosselli – Reggio Emilia, CERTIFICATI DI PROVA - ELLETIPI S.r.l., Commessa 9459/11.

Relativamente alle indagini eseguite per la progettazione del 2° Lotto si allega in Appendice:

- tabulati delle prove penetrometriche statiche (n.5 CPT a 15 m da p.c.) eseguite nel mese di luglio 2018;
- risultanze dell'indagine sismica HVSR.

1.3 Campagne di indagini in sito

La campagna di indagini eseguita nel maggio 2002 da Intergeo, le cui risultanze saranno sinteticamente riportate nelle pagine successive, si è avvalsa di **n.6 prove penetrometriche statiche CPT** (di tipo meccanico) e **n.1 sondaggio geognostico**, al fine di caratterizzare il lotto di intervento per l'ampliamento dell'Istituto Tecnico Agrario "A. Zanelli" la cui ubicazione è riportata nella Tav.1, in Appendice.

Ad essa si sono aggiunte **n.2 prospezioni sismiche con metodologia MASW** ed **una ricerca bibliografica relativa ai caratteri geologici, geomorfologici, sismici ed idrologici** del sito di ubicazione del nuovo polo scolastico, individuato in prima istanza in un sito differente dall'attuale, condotte dalla scrivente a corredo dello studio preliminare del mese di dicembre 2007. Nel prosieguo del documento verranno esposte sinteticamente le risultanze delle campagne di indagini sopra richiamate e i dati bibliografici raccolti.

La campagna di indagini in sito a corredo della progettazione definitiva ed esecutiva del 1° Lotto, eseguita nel mese di ottobre-novembre 2011, si è avvalsa di:

- **prove penetrometriche statiche CPT** (di tipo meccanico) **n.8**, la cui ubicazione è riportata in Tav.2, in Appendice;
- **sondaggi geognostici a distruzione di nucleo n.2** (designati dalla sigla S1 e S2), al centro dell'area di intervento, S1 spinto alla profondità massima di 34,00 m da p.c. con prelievo di n.3 campioni ed esecuzione di n.2 SPT, S2 spinto alla profondità massima di 30,00 m da p.c. con prelievo di n.3 campioni ed esecuzione di n.4 SPT;
- **prelievo campioni n.6**, durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici sopra richiamati, designati con le sigle S1SH1 a prof. 6,00÷6,60 m da p.c., S1SH2 a prof. 9,00÷9,60 m da p.c., S1SH3 a prof. 15,00÷15,60 m da p.c., S2SH1 a prof. 5,60÷6,20 m da p.c., S2SH2 a prof. 9,20÷9,80 m da p.c., S2SH3 a prof. 14,40÷15,00 m da p.c.;
- **indagine sismica con metodologia DOWN-HOLE n.1** (denominata DH1), con ubicazione riportata in Tav.2, in Appendice.

La campagna di indagini, eseguita nel mese di luglio 2018, a corredo della progettazione del 2° Lotto, si è avvalsa di:

- **prove penetrometriche statiche CPT** (di tipo meccanico) **n.2**, la cui ubicazione è riportata in Tav.2, in Appendice;
- **prospezione sismica con metodologia HVSR n.1** (denominata HVSR1);
- **osservazioni geomorfologiche ed idrologiche** del sito in esame e **ricerca bibliografica**, riguardanti l'idrologia superficiale e sotterranea, la morfologia del terreno in oggetto e delle aree circostanti, condotte dalla scrivente.

Nel prosieguo del documento verranno esposte le risultanze delle campagne di indagini sopra richiamate ed i dati bibliografici raccolti.

1.4 Caratteri generali dell'intervento in progetto

In sintesi, sulla base delle indicazioni fornite dal progettista, nel lotto di terreno in oggetto è prevista la realizzazione di un nuovo edificio scolastico, da edificarsi in più stralci (o altresì denominati lotti), in ampliamento del Polo Scolastico esistente, sito in Via F.lli Rosselli, a Reggio Emilia.

L'edificio in progetto oggetto del 2° Lotto, come comunicato dal progettista, sarà realizzato in elevazione, a tre piani, senza la presenza di piani interrati e/o seminterrati, e sarà edificato a est del complesso scolastico esistente e a sud del 1° Lotto. Nella ripresa da satellite, riportata in Figura 1, è chiaramente visibile il Polo Scolastico esistente (al centro dell'immagine), a oriente del quale verrà realizzato l'edificio costituente il nuovo polo in 3 successivi stralci, di cui il secondo è oggetto del presente studio.

Riguardo all'opera da realizzare si presume trattarsi di opere con livello di prestazioni ordinari (Tipo 2 con $V_N \geq 50$ anni, ai sensi Cap.2.4.1 NTC2018) e Classe d'uso III. Il valore del coefficiente d'uso C_u è definito con il variare della classe

d'uso: nel caso in esame è pari a 1,5. Ciò permette di ottenere il periodo di riferimento, moltiplicando la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU.

Di seguito sono sintetizzati i caratteri dell'opera in progetto sopra richiamati:

Tipo di costruzione	2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari
Vita nominale (VN)	≥ 50 anni	
Classe d'uso	III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi
Coefficiente d'uso (Cu)	1,5	
Periodo di riferimento (VR)	75	



Figura 1 – Ripresa da satellite (ORTOFOTO MOKA MAPPE 2014 Consorzio TeA), con individuazione dell'ubicazione del nuovo Polo Scolastico di Via F.lli Rosselli (RE) e indicazione sommaria dei tre stralci (cfr. anche figura seguente).

Nella figura seguente viene stralciata parte della documentazione progettuale con ubicazione dei tre stralci di intervento.

Per ulteriori dettagli progettuali si rimanda alle tavole e alle relazioni di progetto redatte dal progettista.

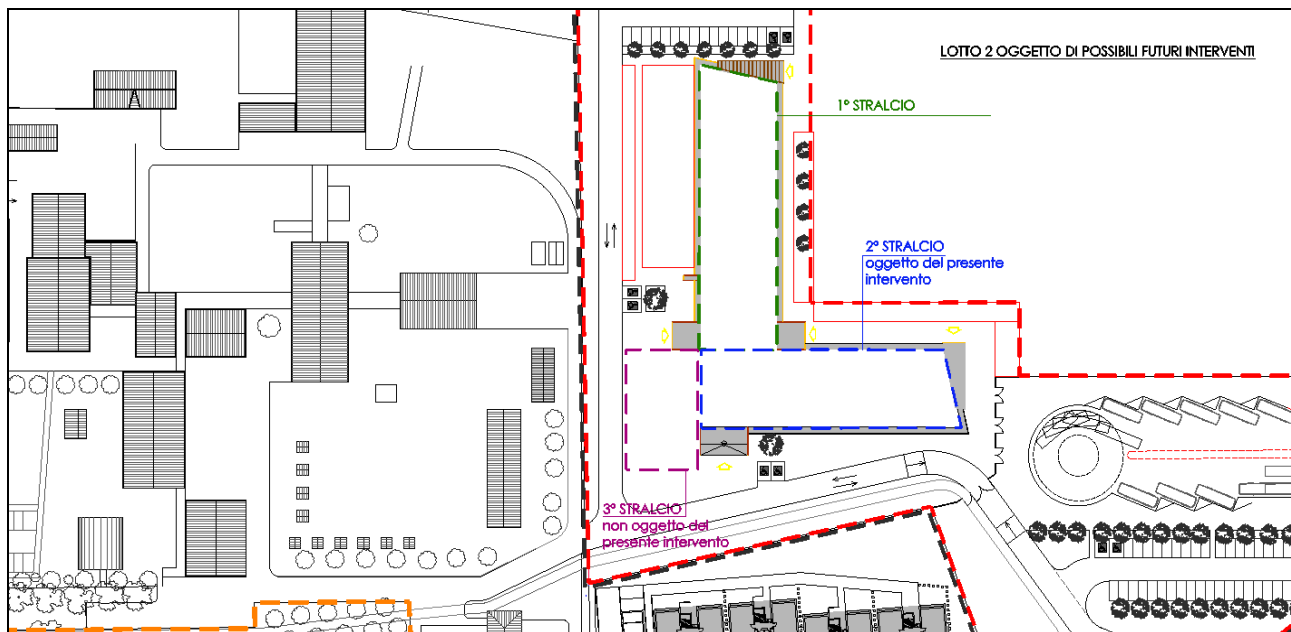


Figura 2 – Stralcio della documentazione progettuale con rappresentazione dei 3 stralci per la realizzazione del nuovo Polo.

1.5 Premessa metodologica

A premessa del quadro ambientale che verrà tratteggiato di seguito, costituito dagli aspetti sismici e sismotettonici, geologici, geomorfologici ed idrologici del sito e di un adeguato intorno, si precisa che con tale inquadramento, si vuole rispondere al dettato normativo espresso nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (cfr. D.M. 14 settembre 2005, c.d. TU e altresì nuove NTC, emanate con Decreto del 17/01/2018).

Nella declaratoria del Cap.6.2.1 del nuovo TU viene sancita l'importanza della ricostruzione del modello geologico del sito: *"Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento. In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico. Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche."*

2. INQUADRAMENTO DELL'AREA

2.1 Inquadramento sismico e sismo tettonico – Pericolosità sismica di base

Nel presente capitolo viene illustrato il quadro sismico e sismotettonico dell'area in oggetto e di un ampio intorno, delineando dapprima lo stato dell'arte della normativa sismica (classificazione sismica del sito e normativa vigente) e riportando poi informazioni sulle probabili sorgenti sismotettoniche prossime al sito in studio, sull'intensità probabile o attesa di eventi sismici.

2.1.1 Quadro normativo sismico

Considerando la normativa nazionale¹ e regionale² più recente in materia, con l'ordinanza PCM n.3274 del 20/03/2003 è entrata in vigore la nuova riclassificazione sismica nazionale (cfr. figura seguente). Riguardo le nuove normative tecniche allegate all'ordinanza testé citata il percorso è stato più complesso a causa del permanere di notevoli incertezze e difficoltà applicative (soprattutto in relazione alle opere ed edifici strategici): con il dispositivo di legge O.P.C.M. n.3431/2005 e successivi (O.P.C.M. n.3542 del 1 agosto 2005) l'applicazione obbligatoria delle norme sismiche contenute nella stessa era stata prorogata fino al 23 ottobre 2005 per riallineare i termini di entrata in vigore di questa norma con il nuovo testo unico sulle costruzioni (D.M. 14/09/2005 – Testo Unico delle Norme Tecniche per le costruzioni).

Immediatamente successivo al testo unico è la delibera regionale (Del. G.R. Emilia-Romagna N.1677 del 24 ottobre 2005) che forniva i primi indirizzi e indicazioni sui principali effetti e rapporti con le procedure relative all'attività edilizia ed alla pianificazione urbanistica per i Comuni dell'Emilia Romagna nell'applicazione del D.M. 14/09/2005 (in vigore dal 23 ottobre 2005), e stabiliva l'avvio, dalla medesima data, di un periodo transitorio di 18 mesi nel quale era ammessa, in alternativa, l'applicazione della normativa precedente sulla medesima materia.

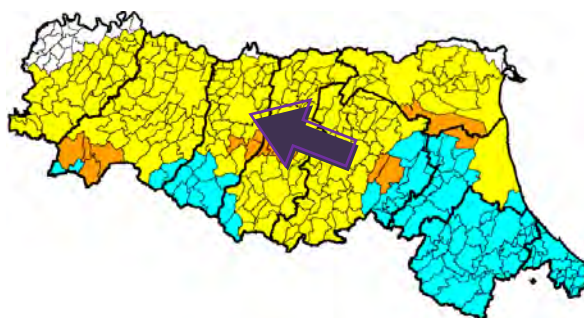
Al fine di avviare la fase sperimentale di applicazione della normativa tecnica di cui al D.M. 14/09/2005, a decorrere dal 23 ottobre 2005 ha trovato attuazione la classificazione sismica dei Comuni della regione, stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n.3274 del 20 marzo 2003, in via di prima applicazione e comunque fino alla deliberazione regionale di individuazione delle zone sismiche.

Il periodo transitorio sopra citato è stato prorogato al 31/12/2007 e, successivamente, ulteriormente prorogato al 30 giugno 2010 (disegno di legge di conversione del D.L. n.207 del 30/12/2008 "Milleproroghe"): quest'ultima proroga è stata poi annullata nel mese di aprile 2009 a seguito dell'occorrenza del sisma in Abruzzo. Pertanto, sino al 30 giugno 2009, potevano essere impiegate le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008 ovvero, in alternativa, le Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 settembre 2005, o le Norme Tecniche antecedenti.

Tornando alla classificazione sismica del comune di interesse, come rappresentato in figura e come riportato in Allegato B della Del. G.R. Emilia-Romagna n.1677 del 24 ottobre 2005, il territorio del Comune di Reggio Emilia rientra in Zona 3, a bassa sismicità (S=6), secondo la nuova riclassificazione.

¹ Ordinanza del P.C.M. n.3274/2003; Ordinanza del P.C.M. n.3316 del 2 ottobre 2003; Ordinanza del P.C.M. n.3333 del 23 gennaio 2004; Ordinanza del P.C.M. n.3431 del 23 gennaio 2005.

² Deliberazione della Giunta regionale n.1435 del 21 luglio 2003.



LEGENDA

Zone sismiche	N° Comuni coinvolti		grado di sismicità	note
Zona 2	89	105	media	precedente riclassificazione sismica (1983-1984)
Zona 3	16		bassa	
Zona 4	214		bassa	
	22			

Figura 3 – Riclassificazione sismica della Regione Emilia Romagna (Ordinanza del P.C.M. n.3274/2003).

2.1.2 Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna

Al fine di rendere conto del quadro sismogenetico dell'area interessata dal progetto e di un adeguato intorno, si ritiene utile riportare lo stralcio della Carta Sismotettonica che il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna ha pubblicato nell'anno 2004. Tale carta è il risultato di un progetto di ricerca dei dati sismologici e degli elementi strutturali attivi riconoscibili sulla base di informazioni sia morfologiche che geologiche: essa offre quindi un quadro delle relazioni fra l'attività tettonica ed i rischi naturali, nonché la definizione della pericolosità sismica locale e l'individuazione di strutture potenzialmente sismogenetiche.

Infatti sebbene esistano delle strutture a scorrimento lento asismico, molte delle faglie attive sono considerate sorgenti sismiche, poiché lo scorrimento istantaneo dei due lati dello stress genera il rilascio di onde elastiche che si propagano in tutte le direzioni.

Dall'osservazione dello stralcio riportato (cfr. Figura 4) si nota la presenza, immediatamente a nord e a sud del sito in esame, di strutture affioranti (sovrascorrimenti) che potrebbero costituire possibili sorgenti sismiche. Si osserva altresì che gli epicentri macrosismici, segnalati nella carta con il circolo arancio, si trovano a oriente del lotto di terreno in oggetto in corrispondenza del centro storico di Reggio Emilia, e a nord-est, in prossimità della loc. Massenzatico. Nella carta è altresì segnalata la profondità della base del Sintema Emiliano-Romagnolo superiore³, compresa tra -50 e -100 m rispetto al livello del mare e in prossimità del limite del -50 m, quindi considerando la quota topografica del sito pari a ca. 62 m slm tra -112 e 162 m da pc. Immediatamente sottostante il sito in oggetto non sono segnalate strutture affioranti, possibili sorgenti sismiche, o epicentri sismici e meccanismi focali.

Si è ritenuto utile riportare l'inquadramento sismo-tettonico dell'ambito territoriale in studio, poiché sono le strutture segnalate dalla cartografia in oggetto che possono costituire a volte linee di debolezza lungo le quali si possono avere concentrazioni di stress tettonici e quindi di sismicità. Sarà quindi la fase progettuale esecutiva che dovrà farsi carico di tutti quegli accorgimenti tecnici e tecnologici atti a scongiurare problematiche legate ad eventuali sismi che si possano verificare in prossimità dell'area in oggetto, ciò per rispondere anche agli attuali dettati normativi in materia.

³ Trattasi di depositi della Pianura Padana (età Pleistocene medio-sup., da 0,35 a 0,45 Ma B.P. all'Olocene), costituiti in prevalenza di ghiaie e conglomerati, sabbie e peliti di terrazzo e conoide alluvionale; generalmente hanno un letto costituito da conglomerati eterometrici, eterogenei, con matrice sabbiosa poco cementata. Il Sintema E.R. sup. appartiene al più esteso supersintema informale (secondo la terminologia Unconformity Bounded Stratigraphic Units, C.N.R.-C.C.G.G., 1992) denominato Supersintema Emiliano-Romagnolo, costituito dai gruppi acquiferi più superficiali della Pianura padana, soprastanti i depositi pliocenici del Quaternario Marino.

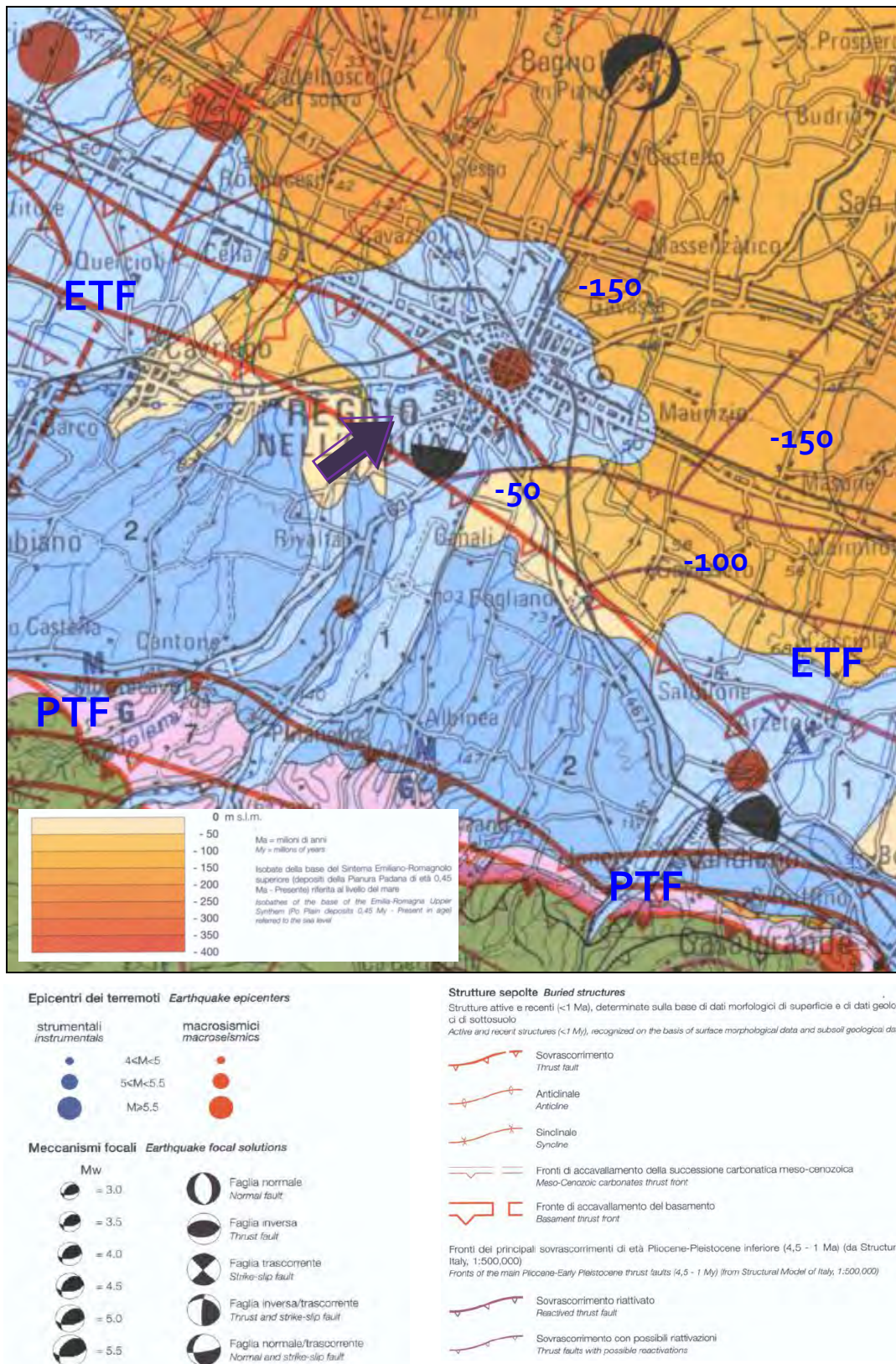


Figura 4 – Stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, in scala 1:250.000 (stralcio fuori scala), con indicazione dell'ubicazione dell'area in oggetto.

Si conclude rimandando ad un successivo capitolo (cfr. Cap. 2.2.3 Lineamenti strutturali) che delineando le strutture e linee tettoniche principali, rende conto delle strutture affioranti (sovrascorimenti), site immediatamente a nord e a sud del sito in oggetto. Si anticipa solamente che trattasi del Fronte di accavallamento pedeappenninico (PTF), a sud, e del Fronte di accavallamento esterno (ETF), a nord (cfr. Figura 9), riconducibili alla orogenesi appenninica.

2.1.3 Valutazione della pericolosità sismica negli strumenti di pianificazione

Cartografia del PTCP 2010

A conclusione del quadro sismico e sismotettonico sin qui delineato, si ritiene utile descrivere parte della cartografia prodotta in fase di redazione del nuovo PTCP. La Provincia di Reggio Emilia ha approvato nel 2010 (Delibera di C.P. n.124 del 17/06/10) i documenti del piano: si tratta del Quadro conoscitivo, degli Elaborati di Progetto e della Valutazione di Sostenibilità Ambientale e Territoriale.

A corredo del quadro conoscitivo sono state prodotte una serie di tavole tematiche significative, raffiguranti i principali elementi e fattori che compongono la struttura del territorio e ne definiscono i valori e le criticità, e tavole di dettaglio. L'allegato 6 (Tavola 8 – Rischio Sismico-Carta degli effetti locali) del Quadro Conoscitivo attiene agli aspetti fisici del territorio che influiscono sulla pericolosità locale, quali le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geotecniche ed idrogeologiche che possono determinare instabilità dei versanti, effetti di amplificazione del moto sismico, addensamento e liquefazione.

Tutto ciò premesso si sono consultate le carte prodotte nell'ambito del percorso di definizione del nuovo PTCP, in particolare gli elaborati di progetto: tra queste di rilevante interesse, in relazione al rischio sismico, sono la "Tav.9a-Carta degli effetti attesi" (in scala 1:25.000) e la "Tav.9b-Carta dei livelli di approfondimento" (sempre in scala 1:25.000). La prima carta rende conto delle zone caratterizzate da differenti scenari di pericolosità sismica, con indicazione degli effetti locali attesi: vale a dire quelle zone in cui le condizioni geologiche e/o le forme del paesaggio possono amplificare il moto sismico in superficie, favorendo fenomeni di instabilità dei terreni quali cedimenti, frane o fenomeni di liquefazione. La seconda tavola, derivata dalla prima, individua diverse classi di terreno suscettibili ad effetti indotti in caso di evento sismico. Ognuna di queste prevede diverse indagini geologiche e livelli di analisi più o meno approfonditi.

Per quanto riguarda l'area in oggetto, essa rientra nel Foglio 200SE di tali cartografie, e viene classificata come area ricadente nel settore di pianura caratterizzato dalla presenza quale litologia affiorante di "Ghiaie delle conoidi appenniniche; Ghiaie sabbiose" (cfr. TAV: QC6 Tav8 200SE) e appartenente alla "Classe C" degli effetti attesi (cfr. TAV: Pga EA 200SE): per la quale deve essere eseguita la valutazione specifica relativa alla sola amplificazione stratigrafica (descritta in un successivo capitolo) e al secondo livello di approfondimento (descritta al cap. seguente Risposta Sismica Locale).

Cartografia del PSC di Reggio Emilia

Tra i documenti costituenti il Piano Strutturale Comunale di Reggio Emilia (adottato dal C.C. con Del. P.G. n.5835/87 del 06/04/2009 e approvato dal C.C. con Del. P.G. n.5167/70 del 05/04/2011) in questa sede risulta di interesse consultare il Quadro Conoscitivo ed in particolare lo Studio Geologico-Ambientale. Tra la cartografia prodotta nell'ambito della redazione dello studio citato si segnala la "Tav.8-Carta delle aree suscettibili di effetti locali ed effetti attesi". In essa si rende conto degli effetti locali, quali le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geotecniche ed idrogeologiche che possono determinare effetti di amplificazione del moto sismico, addensamento e liquefazione, e la conseguente classe di questi ultimi che suggerisce il livello di approfondimento necessario.

Per quanto riguarda l'area in oggetto, essa viene classificata come zona soggetta ad effetti locali legati alla presenza di "Ghiaie delle conoidi appenniniche; Ghiaie sabbiose" e appartenente alla "Classe C-Aree potenzialmente soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche" degli effetti attesi. Per questa classe tra gli studi prescritti è la

valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e la microzonazione sismica di II livello: stima che come scritto in precedenza è riportata al cap. successivo denominato Risposta Sismica Locale.

2.1.4 Valori di accelerazione massima del suolo

Ai fini dell'applicazione delle norme sismiche, come riportato al Cap. 3.2.2.1 del TU, il territorio nazionale è suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g (accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A). I valori convenzionali di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10 per cento in 50 anni ed assumono i valori riportati nella tabella seguente.

Zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni (ag/g)	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (ag/g)	Sismicità (1)
1	> 0,25	0,35 g	Alta (S=12)
2	0,15-0,25	0,25 g	Media (S=9)
3	0,05-0,15	0,15 g	Bassa (S=6)
4	<0,05	0,05 g	Bassa (S=6)

(1) specifica della sismicità ai sensi del D.M. 16 gennaio 1996.

Tabella 1 - Tabella sintetica di attribuzione dei valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo e sottosuolo (ag/g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (prima colonna); dei valori di accelerazione orizzontale (ag/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (seconda colonna), alle varie zone sismiche; specifiche della sismicità ai sensi del D.M. 16/01/1996 (terza colonna).

Le zone 1, 2 e 3 possono essere suddivise in sottozone caratterizzate da valori di a_g intermedi rispetto a quelli riportati nella Tabella 1 e intervallati da valori non minori di 0,025: è ciò che viene rappresentato nelle mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale elaborate dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ed allegate alle O.P.C.M., che si sono succedute nel tempo. I vari territori sono assegnati alle sottozone in base ai valori di a_g con probabilità di superamento pari al 10 per cento in 50 anni.

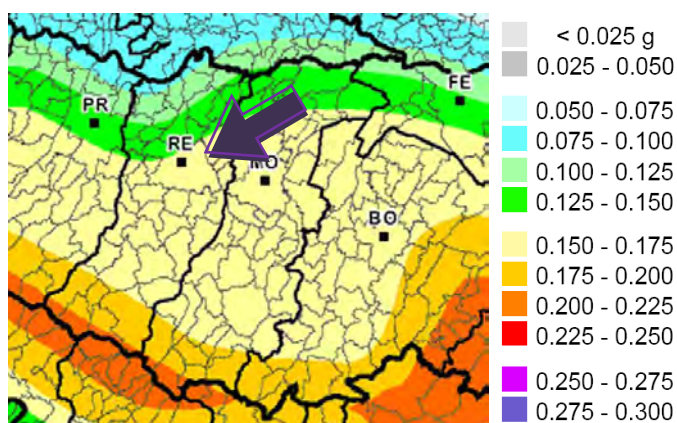


Figura 5 - Mappa di pericolosità sismica, espressa in termini di accelerazione massima del suolo a_{max} con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (PGA).

Nella mappa dei valori di pericolosità sismica del territorio nazionale (cfr. Figura 5), allegata all'OPCM n.3519/2006, sono riportate le accelerazioni massime attese al suolo *free field* di categoria A, secondo le più dettagliate suddivisioni fatte del territorio regionale. Nella zona in esame, in corrispondenza del Comune di Reggio Emilia, le accelerazioni massime attese sono comprese tra **0,175 g** e **0,150 g** (fascia beige): intese come valore dell'accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli di categoria A (PGA), per la cui stima sono già state considerate le leggi di attenuazione. La Del. dell'Ass. Leg. Dell'Emilia-Romagna n.112 del 2007, alla tabella 2 riporta, come valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, per T=0 espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{ref0}) per il Comune di Reggio Emilia, il valore **0,157**.

2.1.5 Zonazione sismogenetica ed episodi sismici

Ciò premesso, si è ritenuto utile consultare gli studi più recenti pubblicati in materia ed i cataloghi degli eventi sismici registrati nella Regione Emilia-Romagna: in essi la zona alla quale l'area in studio appartiene è la Zona sismogenetica n.30, secondo Scandone et al. (1992), versione ZS₄ (aprile 1996). Una successiva evoluzione della ZS₄ è rappresentata dalla Zonazione Sismogenetica ZS₉: nella figura successiva è riportata la mappa delle aree sismogenetiche dell'Italia Settentrionale, ed una ricostruzione grafica, eseguita dalla scrivente, in cui si vede che il territorio in oggetto ricade entro la Zona 913. La Zonazione ZS₉ è il risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni della ZS₄ e dell'introduzione di nuove zone. L'elaborazione di questa zonazione si fonda su una base informativa più ricca e attendibile di quella disponibile all'epoca della prima realizzazione di ZS₄.

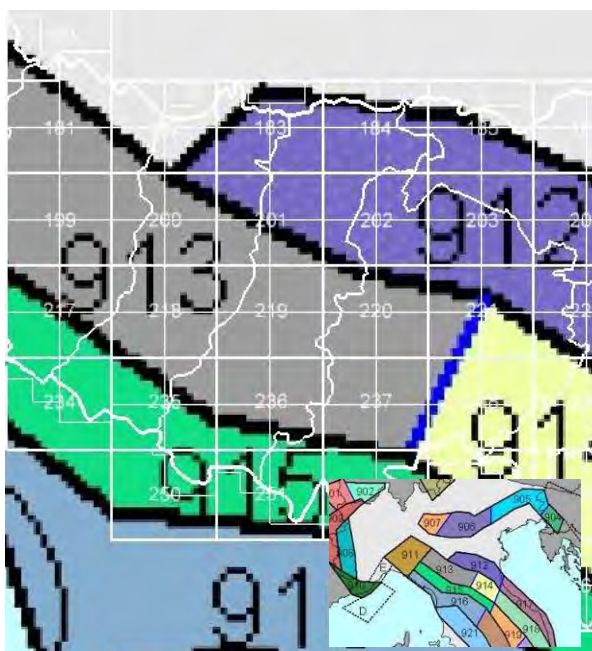


Figura 6 – Aree sismogenetiche caratterizzanti la Provincia di Reggio Emilia, in Zonazione ZS₉.

Nel seguito si descrivono nel dettaglio le zone sismiche rappresentate nella Provincia di Reggio Emilia:

- la **zona 912** appartiene alla porzione più esterna della fascia di compressione dell'arco appenninico settentrionale, in essa la sismicità sembra evidenziare l'andamento del fronte compressivo sepolto più avanzato a ridosso del Po;
- la **zona 913** risulta dalla scomposizione della fascia che da Parma si estende fino all'Abruzzo, l'intera fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo e le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori in questa fascia che in quella più esterna;
- la **zona 915** appartiene alla fascia che dalla Lunigiana arriva sino al confine Abruzzo-Molise, essa include le sorgenti sismogenetiche responsabili dei terremoti di più elevata magnitudo che hanno caratterizzato l'arco appenninico settentrionale e centrale; nonostante ciò la zona 915 appare complessivamente caratterizzata da tassi di sismicità leggermente inferiori (MELETTI C. E VALENSISE G., 2004).

Ciò premesso gli eventi sismici di maggiore interesse, registrati nel Data Base Macrosismico Italiano 2015 (INGV – DBMI15), riferiti al sito in oggetto sono 126 riportati alla tabella e alla figura successivi:

Effetti Intensity	In occasione del terremoto:				
	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
5-6	1222 12 25 12 30	Bresciano-Veronese	18	7-8	5,68
5	1249 09	Modena	2	6-7	4,86
F	1348 01 25	Alpi Giulie	89	9	6,63

Effetti Intensity	In occasione del terremoto:				
	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
6-7	1465 04 07 15 30	Pianura emiliana	5	5-6	4,4
5	1485	Reggio nell'Emilia	1	5	4,16
5	1485 09 01	Pianura padano-veneta	4	5	4,16
6	1501 06 05 10	Modenese	17	9	6,05
6	1505 01 03 02	Bolognese	31	8	5,62
5	1522 10 05 00 10	Pianura Padana	6	5	4,71
8	1547 02 10 13 20	Reggiano	7	7	5,1
5-6	1547 03 24	Reggiano	1	5-6	4,4
4	1570 11 17 19 10	Ferrarese	58	7-8	5,44
6	1591 05 24	Reggio nell'Emilia	1	6	4,63
7-8	1600 10 28	Reggio nell'Emilia	1	7-8	5,33
5	1607 12 31	Reggio nell'Emilia	1	5	4,16
6-7	1608 01 06 22 20	Reggio nell'Emilia	2	5-6	4,4
F	1624 03 19	Argenta	18	7-8	5,43
6-7	1653 04 19 04 15	Reggiano	4	5-6	4,4
7	1671 06 20 10	Modenese-Reggiano	8	7	5,27
5	1688 04 11 12 20	Romagna	39	8-9	5,84
F	1695 02 25 05 30	Asolano	107	10	6,4
5	1732 02 04 18 20	Parma	9	5-6	4,65
4-5	1738 11 05 00 30	Emilia occidentale	10	7	5,1
4-5	1740 03 06 05 40	Garfagnana	32	8	5,64
5	1779 07 14 19 30	Bolognese	17		
4	1779 11 23 18 30	Bolognese	14	5	4,7
F	1779 12 24 17	Appennino pistoiese	9	5-6	4,59
6-7	1806 02 12	Reggiano	28	7	5,21
6	1810 12 25 00 45	Pianura emiliana	33	6	5,06
6-7	1811 07 15 22 44	Modenese-Reggiano	19	6-7	5,13
5	1818 12 09 18 55	Parmense	26	7	5,24
6	1831 07 14 15 30	Reggiano	8	5-6	4,6
7	1831 09 11 18 15	Pianura emiliana	25	7-8	5,48
4	1832 03 11 06 45	Carpi	14	5	4,51
4	1832 03 11 08 45	Parmense	14		
5	1832 03 12 08 45	Reggiano	7		
7	1832 03 13 03 30	Reggiano	97	7-8	5,51
5	1832 03 14 04 40	Reggiano	5		
5	1832 03 14 07 41	Reggiano	7		
5	1832 04 19 14 14	Reggiano	5		
4	1834 02 14 13 15	Val di Taro-Lunigiana	112	9	5,96
4	1834 07 04 00 45	Val di Taro-Lunigiana	24	6-7	5,08
4-5	1837 04 11 17	Lunigiana	60	9	5,94
F	1843 10 25 03 30	Mugello	17	6-7	5,03
F	1845 09 14 22 20	Appennino tosco-emiliano	9	5	4,73
4-5	1850 09 18 06 20	Modenese	7	5	4,16
6-7	1857 02 01	Parmense-Reggiano	22	6-7	5,11
4-5	1860 07 17 13 43 31.00	Reggiano	5	4-5	3,93
3	1864 03 15	Zocca	13	6-7	4,84

Effetti Intensity	In occasione del terremoto:				
	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
5	1869 12 13 02 53	Sassuolo	13	5	4,57
F	1870 10 30 18 34	Forlivese	41	8	5,61
6-7	1873 05 16 19 35	Reggiano	15	6-7	5,01
2-3	1874 10 07	Imolese	60	7	4,96
2	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5,74
4	1878 03 12 21 36	Bolognese	31	6	4,84
4	1881 01 24 16 14	Bolognese	38	7	5,22
3	1881 01 25 07 06	Bolognese	18	5	4,59
2	1881 02 14 09 00 30.00	Appennino bolognese	21	6	4,77
3-4	1885 02 26 20 48	Pianura Padana	78	6	5,01
5	1886 10 15 02 20	Collecchio	44	6	4,7
3-4	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	1511	9	6,27
3	1889 03 08 02 57 04.00	Bolognese	38	5	4,53
F	1891 06 07 01 06 14.00	Valle d'Ilasi	403	8-9	5,87
3	1892 05 17 03 08 15.00	Carpinetti	28	5	4,28
4	1894 11 27 05 07	Bresciano	183	6	4,89
4-5	1895 05 12 20 29	Reggiano	13	4-5	3,98
4	1895 05 18 19 55 12.00	Fiorentino	401	8	5,5
F	1895 08 07 19 49 32.00	Appennino tosco-emiliano	84	5	4,67
4-5	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5,37
F	1901 10 30 14 49 58.00	Garda occidentale	289	7-8	5,44
F	1904 02 25 18 47 50.00	Reggiano	62	6	4,81
F	1904 06 10 11 15 28.00	Frignano	101	6	4,82
5	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5,36
3	1913 11 25 20 55	Appennino parmense	73	4-5	4,65
5-6	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5,63
6-7	1915 10 10 23 10	Reggiano	30	6	4,87
F	1916 05 17 12 50	Riminense	132	8	5,82
6	1918 05 06 08 05	Reggiano	8	5-6	4,41
3	1919 06 29 15 06 13.00	Mugello	565	10	6,38
5	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6,53
2-3	1928 08 03 23 09	Lunigiana	21	5	4,26
3	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6	5,05
4-5	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5,13
4	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7	5,36
4	1929 04 22 08 26	Bolognese	41	6-7	5,1
4	1929 04 29 18 36	Bolognese	45	6	5,2
4	1929 05 11 19 23	Bolognese	64	6-7	5,29
4-5	1932 07 13 03 42	Reggiano	8	4-5	3,86
4	1939 10 15 14 05	Garfagnana	62	6-7	4,96
F	1940 01 24 23 32 16.00	Appennino emiliano	6		
4	1950 05 06 03 43	Reggiano	4	4	4,41
4	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7	5,17
4	1963 11 04 15 46	Bassa modenese	5	5	4,16
3	1965 11 09 15 35	Appennino reggiano	32	5	4,17
5-6	1967 04 03 16 36 18.00	Reggiano	45	5	4,44

Effetti Intensity	In occasione del terremoto:				
	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
4	1967 12 30 04 19	Emilia Romagna orientale	40	6	5,05
6-7	1971 07 15 01 33 23.00	Parmense	228	8	5,51
4	1972 10 25 21 56 11.31	Appennino settentrionale	198	5	4,87
4	1976 05 06 20	Friuli	770	9-10	6,45
2-3	1978 12 05 15 39 04.00	Romagna	34	4-5	4,61
4	1978 12 25 22 53 41.00	Bassa modenese	28	5	4,39
3	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	1394	10	6,81
4	1980 12 23 12 01 06.00	Piacentino	69	6-7	4,57
4-5	1981 05 26 09 27 56.00	Reggiano	6	5	3,75
6	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
NF	1984 04 29 05 02 59.00	Umbria settentrionale	709	7	5,62
2-3	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4,43
5	1987 04 24 02 30 27.04	Reggiano	54	6	4,64
6	1987 05 02 20 43 53.32	Reggiano	802	6	4,71
6-7	1988 03 15 12 03 16.17	Reggiano	160	6	4,57
3-4	1989 10 03 09 41 32.85	Appennino parmense	91	4	4,04
2-3	1995 10 10 06 54 21.72	Lunigiana	341	7	4,82
6	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	135	7	5,38
4	1996 10 26 04 56 54.10	Pianura emiliana	63	5-6	3,94
4	1996 10 26 06 50 26.94	Pianura emiliana	35	5-6	3,63
3-4	1996 11 25 19 47 53.85	Pianura emiliana	65	5-6	4,29
4	1996 12 16 09 09 53.08	Pianura emiliana	115	5-6	4,06
4-5	1997 05 12 22 13 52.50	Pianura emiliana	56	4-5	3,68
3	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
4-5	1998 02 21 02 21 13.30	Pianura emiliana	104	5	3,93
3-4	1999 07 07 17 16 12.59	Frignano	32	5	4,67
5-6	2000 06 18 07 42 07.68	Pianura emiliana	304	5-6	4,4
3	2002 06 08 20 13 07.10	Frignano	115	4	4,23
4	2003 09 14 21 42 53.18	Appennino bolognese	133	6	5,24
5	2008 12 23 15 24 21.77	Parmense	291	6-7	5,36
3	2011 07 17 18 30 27.31	Pianura lombardo-veneta	73	5	4,79

Tabella 2 – Storia sismica di Reggio Emilia: Int.=intensità macrosismica (in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg); Data=anno, mese, giorno, ora, minuto dell'evento registrato; Area epicentrale=area geografica in cui sono stati riscontrati gli effetti maggiori del terremoto; NMDP=Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io=Intensità macrosismica epicentrale in scala MCS (MCS); Mw=magnitudo momento (INGV – DBMI15, Data Base Macrosismico Italiano 2015).

Nella figura successiva è esemplificata la storia sismica e gli eventi sopra descritti, relativamente al Comune di Reggio Emilia.

Dal Catalogo parametrico CPTI15 dell'INGV si evince che storicamente i terremoti più forti entro una distanza di 30-40 km risultano (periodo tra il 1800 e il 2014):

- Anno 1832 – Reggiano – Mw 5,51;
- Anno 1831 – Pianura emiliana – Mw 5,48;
- Anno 1996 – Pianura emiliana – Mw 5,38.

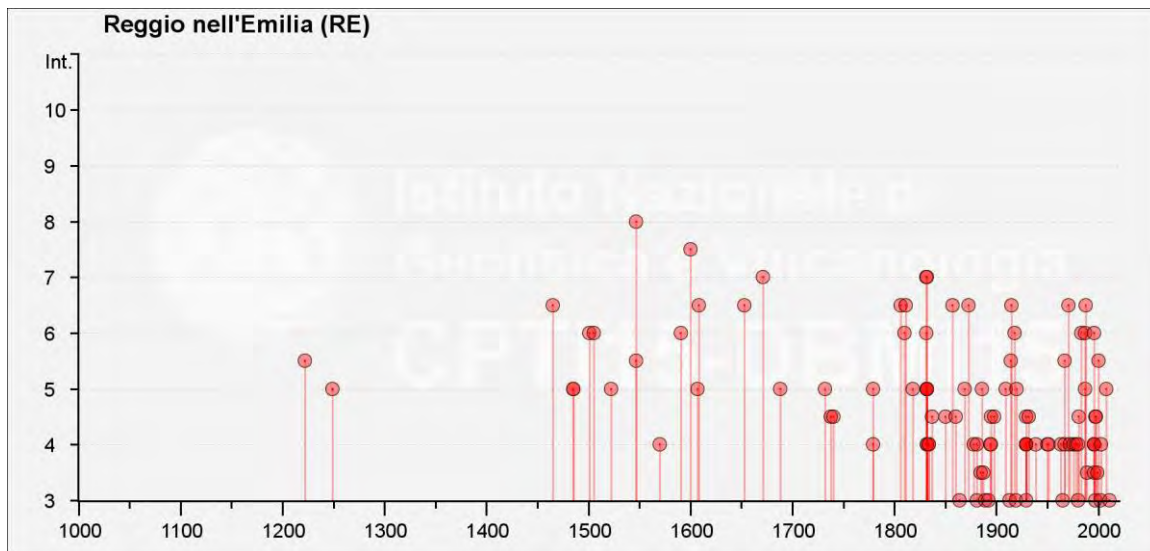


Figura 7 – Storia sismica di Reggio Emilia: Is=intensità al sito (MCS).

2.1.6 Sismicità recente

La sismicità recente che ha interessato il territorio comunale di Reggio Emilia è stata desunta dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISide Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological instrumental and parametric database:

<http://cnt.rm.ingv.it/search>.

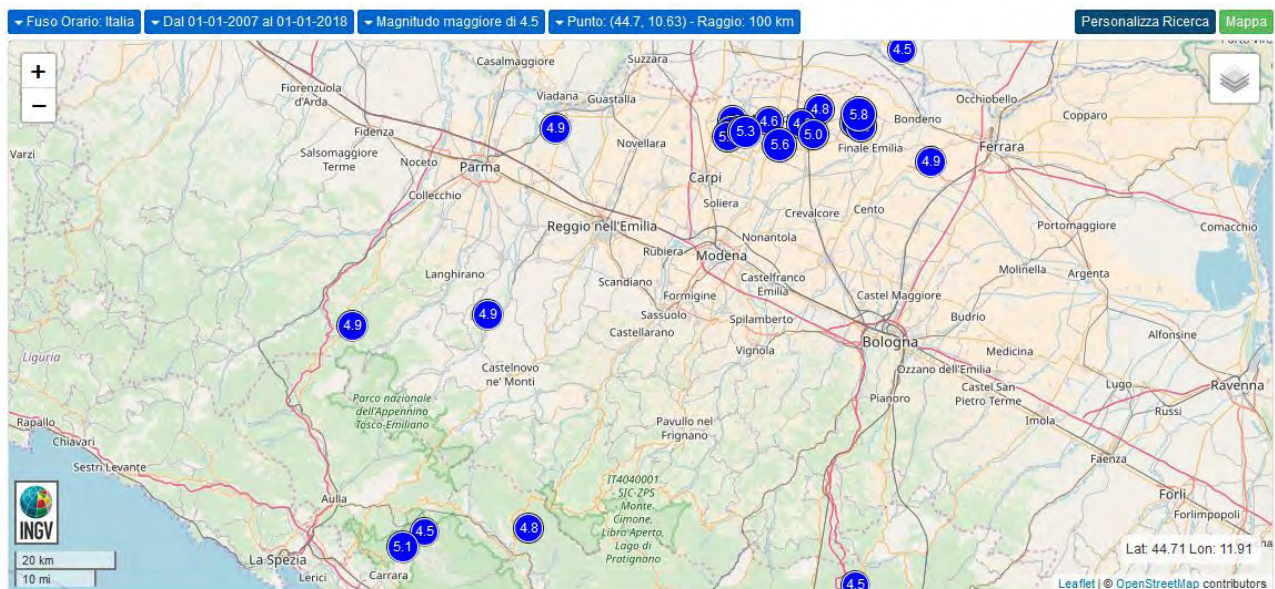


Figura 8 – Eventi sismici recenti con $M > 4,5$ entro raggio di 100 km dal comune di interesse.

Nello specifico sono stati ricercati i terremoti, registrati nell'intervallo di tempo tra il 01/01/2007 e il 01/01/2018, aventi una magnitudo maggiore di 4,5 in un raggio di 100 km dal Comune di Reggio Emilia.

Dalla tabella Tabella 3 e come emerge da Figura 8 i terremoti più forti entro una distanza di ca. 100 km risultano i sismi del maggio-giugno 2012 della bassa pianura modenese e ferrarese e quello di giugno 2013 della Lunigiana in Toscana.

Data e Ora (Italia) ⓘ	Magnitudo ⓘ	Zona ⓘ	Profondità ⓘ	Latitudine	Longitudine
2008-03-01 08:43:13	Mw 4.5	7 km N Barberino di Mugello (FI)	4	44.06	11.25
2011-07-17 20:30:27	Mw 4.5	1 km SW Ceneselli (RO)	2	45.01	11.37
2013-06-30 16:40:08	Mw 4.5	2 km SW Minucciano (LU)	6	44.16	10.19
2012-05-29 10:27:22	ML 4.6	2 km W Mirandola (MO)	6	44.88	11.04
2012-05-20 19:38:14	ML 4.6	6 km NW Finale Emilia (MO)	4	44.88	11.25
2012-06-03 21:20:43	Mw 4.7	4 km W San Possidonio (MO)	9	44.89	10.95
2013-01-25 15:48:18	Mw 4.8	3 km NE Castiglione di Garfagnana (LU)	20	44.16	10.45
2012-05-20 04:06:26	ML 4.8	7 km N San Felice sul Panaro (MO)	4	44.91	11.17
2012-05-20 04:06:12	ML 4.8	4 km E Mirandola (MO)	5	44.88	11.12
2012-01-27 15:53:12	Mw 4.9	2 km NE Berceto (PR)	72	44.52	10.01
2012-01-25 09:06:37	Mw 4.9	4 km S Brescello (RE)	29	44.87	10.51
2012-05-20 15:18:01	Mw 4.9	2 km SW Mirabello (FE)	3	44.81	11.44
2008-12-23 16:24:21	Mw 4.9	5 km SE Neviano degli Arduini (PR)	23	44.54	10.35
2012-05-20 05:02:47	ML 5.0	2 km NE San Felice sul Panaro (MO)	9	44.86	11.15
2012-05-29 10:25:51	ML 5.0	5 km SE Novi di Modena (MO)	8	44.87	10.95
2012-05-20 04:07:28	ML 5.0	5 km NW Finale Emilia (MO)	6	44.87	11.27
2012-05-29 13:00:01	ML 5.0	5 km SE Novi di Modena (MO)	9	44.86	10.94
2012-05-29 13:00:22	ML 5.1	3 km SW San Possidonio (MO)	7	44.87	10.98
2013-06-21 12:33:56	Mw 5.1	7 km NE Carrara (MS)	7	44.13	10.14
2012-05-29 12:55:56	Mw 5.3	3 km SW San Possidonio (MO)	4	44.87	10.98
2012-05-29 09:00:02	Mw 5.6	1 km SW Medolla (MO)	8	44.84	11.07
2012-05-20 04:03:50	Mw 5.8	7 km NW Finale Emilia (MO)	10	44.90	11.26

Tabella 3 - Eventi sismici recenti con $M > 4,5$ entro raggio di 100 km dal comune di interesse

2.1.7 Categoria del suolo di fondazione

Al fine di classificare il terreno di fondazione tra le differenti categorie di uso del suolo indicate dalla normativa sismica (NTC2018, Cap.3.2.II), sono state eseguite n.2 prospezioni sismiche tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves) nel sito individuato in via preliminare per l'ubicazione del nuovo polo scolastico, e una prospezione Down Hole nell'area definitiva, ubicate come indicato in Tav.2 in Appendice. Le indagini sismiche sono state eseguite al fine di determinare la velocità delle onde sismiche di taglio (V_s), nei terreni attraversati, e la valutazione della $V_{s,eq}$ e quindi della categoria di sottosuolo corrispondente come richiesto dal nuovo NTC2018 (Cap.3.2.2). All'interno del territorio nazionale fino ad oggi sono state individuate quattro zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. La classificazione del sottosuolo (cfr. Tabella 4) si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

dove $V_{s,i}$ e h_i sono la velocità delle onde di taglio e lo spessore dello stato i-esimo; N il numero di strati e H la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.

Suolo	Descrizione geotecnica	$V_{s,eq}$ (m/sec)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.	$V_{s,eq} > 800$
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	$V_{s,eq} = 360 \div 800$
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	$V_{s,eq} = 180 \div 360$

D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.	$V_{s,eq} < 180$
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.	-

Tabella 4 - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato, secondo il NTC2018 (Decreto 17/01/2018).

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Tutto ciò premesso sulla base delle risultanze delle prospezioni sismiche MASW eseguite nella prima campagna di indagini geognostiche (dicembre 2007) e sulla base della successiva indagine DH eseguita in data 28/10/2011, è possibile definire la categoria del suolo di fondazione. Si sottolinea che qui si anticipano tali risultanze, che verranno ampiamente illustrate nei paragrafi successivi. Ciò premesso si valuta che il terreno oggetto di studio, per lo spessore di sottosuolo indagato, rientri nella categoria: **C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti** con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

2.1.8 Calcolo della frequenza di risonanza del sottosuolo

Relativamente alla frequenza di risonanza del sottosuolo si sottolinea che nel caso essa coincidesse con quella degli edifici o delle opere, che in esso sono fondati, si produrrebbe un'amplificazione delle onde sismiche, che indurrebbe sollecitazioni con forte potere distruttivo (fenomeno della doppia risonanza). Per prevedere e prevenire questa coincidenza di risonanza è quindi necessario misurare la frequenza propria di risonanza del sito e confrontarla con quella di ciascun edificio o opera da realizzare. Si premette che gli strati in cui si suddivide il terreno si distinguono per le diverse densità e le diverse velocità delle onde sismiche. Un'onda che viaggia in un mezzo, costituito in modo semplificato da due strati, attraversa il primo mezzo e viene parzialmente riflessa dall'interfaccia che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza), quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_1) del primo strato relativo alle onde S è pari a:

$$f_1 = \frac{V_s}{4H}$$

Per f_1 si intende la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito, denominata *frequenza fondamentale* e, analogamente, T_1 rappresenta il primo periodo naturale del deposito o periodo fondamentale:

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{V_s}{4H}$$

Nel caso più comune, in cui il sistema studiato sia a più strati, occorre determinare il valore di V_s tramite una media pesata delle velocità delle onde di taglio che caratterizzano gli strati presenti al di sotto della fondazione dell'edificio per tutta la profondità investigata, più precisamente:

$$\overline{V_s} = \sum_{i=1}^n \frac{V_{si} \cdot H_i}{H}$$

Dove H_i è lo spessore dello strato i -esimo, V_s la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo e H lo spessore totale del deposito investigato.

La disponibilità di dati relativi alle velocità sismiche attribuite ad ogni strato (V_s) permette di calcolare in prima approssimazione la frequenza di risonanza del sottosuolo con la formula:

$$f_1 = 1 / T$$

$$T_1 = \sum_{i=1, N} \frac{4 \cdot H_i}{V_{si}}$$

ove f = frequenza di risonanza; T = periodo (in sec); H_i = spessore strato i -esimo; V_{si} = velocità sismica delle onde di taglio nello strato i -esimo. È quindi la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura ad essere particolarmente pericolosa, perché può dar luogo alla massima amplificazione.

Tutto ciò premesso nel prosieguo si fornisce il dato relativo al valore di frequenza di risonanza del terreno, per consentire al progettista di avere un parametro da confrontare con la frequenza di risonanza dell'opera in oggetto.

2.1.9 Azione sismica di progetto (ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008)

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{S30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

Secondo l'approccio "zona dipendente", adottato dalla precedenti normative nazionali in campo antisismico, l'accelerazione di base a_g , senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni, era direttamente derivante dalla Zona sismica di appartenenza del comune nel cui territorio era localizzato il sito di progetto. Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto: pertanto, secondo quanto riportato nell'All.A del D.M. 14 gennaio 2008, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tab.1 dell'All.B del nuovo TU). Tale griglia è costituita da 10.751 nodi (distanziati non più di 10 km) che copre l'intero territorio nazionale dove, con metodologia e convenzioni analoghe vengono forniti parametri spettrali costanti per tutto il territorio (tab.2 dell'All.B del D.M. 14/01/2008). Per ciascuno dei nodi della griglia vengono forniti, per 9 valori del periodo di ritorno (da 30 anni a 2.475 anni), i valori dei parametri a_g (espresso in $g/10$), F_0 (adimensionale) e T^*c (espresso in secondi) necessari per la definizione dell'azione sismica. Secondo quanto riportato nell'all.A del D.M. 2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, sarà possibile il calcolo dei suddetti parametri spettrali (per uno dei tempi di ritorno forniti) tramite media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni (Tab.1 in All.B) che comprendono il sito in esame. Qualora il tempo di ritorno richiesto sia differente da uno dei 9 tempi di ritorno forniti in tabella, sarà possibile ricavare il valore del parametro di interesse mediante interpolazione tra i valori dei parametri corrispondenti ai due tempi di ritorno (dei nove forniti per ognuno dei nodi del reticolo di riferimento) che comprendono il tempo di ritorno necessario.

Ad oggi risultano disponibili vari siti web e fogli di calcolo che forniscono spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per un generico sito del territorio nazionale.

Utilizzando il foglio elettronico "Spettri di risposta SPETTRI-NTC" Ver.1.03, del Ministero dei Lavori Pubblici, è possibile, inserendo le coordinate e le caratteristiche progettuali del sito, visualizzare e stampare grafici e tabelle relativi al computo dell'azione sismica di progetto ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008.

In un capitolo dedicato viene stimata l'azione sismica ai sensi del nuovo TU.

2.2 Inquadramento geografico e geologico – Modello Geologico

2.2.1 Inquadramento geografico

Come scritto in precedenza nel lotto di terreno in studio è prevista la realizzazione di un nuovo Polo Scolastico da edificarsi in più stralci, in ampliamento del Polo Scolastico esistente, sito in Via F.lli Rosselli, a Reggio Emilia.

Al fine di caratterizzare dal punto di vista litostratigrafico, geomeccanico e geologico il lotto di terreno in studio, verranno impiegate le risultanze delle campagne di indagini eseguite, e illustrate nel capitolo iniziale del presente documento, così sintetizzate: campagna di indagini eseguita nel maggio 2002 da Intergeo, inerente un lotto di terreno sito in Comune di Reggio Emilia in Via F.lli Rosselli interessato dalla costruzione di un ampliamento dell'Istituto Tecnico Agrario "A. Zanelli"; campagna di indagini preliminare condotta dalla scrivente a corredo dello studio del mese di dicembre 2007, sul sito di ubicazione del nuovo polo scolastico individuato in prima istanza in posizione differente rispetto all'area definitiva di realizzazione del nuovo polo; campagna di indagini condotta dalla scrivente, a corredo della progettazione definitiva ed esecutiva del 1° Lotto, eseguita nel mese di ottobre-novembre 2011; ultima e più recente campagna di indagini, eseguita nel mese di luglio 2018, a corredo della progettazione del 2° Lotto.

La quota altimetrica, desunta dalla Carta tecnica regionale aggiornata (Carta Geografica Unica del territorio, CTR5*-RG), in scala 1:5.000, caratterizzante il lotto interessato dall'intervento è pari a ca. 62 m s.l.m. (cfr. Tav.1).

Il lotto di terreno in esame si colloca in Via F.lli Rosselli, nel territorio comunale di Reggio Emilia, ed in particolare nel settore sud-occidentale del comune. Gli elementi in scala 1:5.000 impiegati come base cartografica per la tavola grafica allegata, sono gli Elementi n.200121 Reggio Emilia S-E, n.200122 Due Maestà, n.200123 Castello Canali, n.200124 Reggio Emilia S-O.

2.2.2 Quadro geologico generale

A premessa dell'inquadramento geologico generale, si elenca la cartografia dalla quale sono state tratte le notizie riguardanti la geologia dell'area in studio:

- Carta geologica in scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna, Sezione 200120 – Reggio Emilia Sud-Est (2009);
- Carta geomorfologica della Pianura di Reggio Emilia, Amministrazione Provinciale, Assessorato alla Pianificazione Territoriale, Tutela dell'Ambiente, Difesa del Suolo (1988);
- Carta degli elementi fisico-morfologici, a corredo del PTCP di Reggio Emilia, tavola 200SE in scala 1:25.000 (All.6 Tav. PTCP 2008).

A titolo di inquadramento generale si rammenta che durante il Pliocene, la pianura padana era occupata da un golfo, aperto verso il Mare Adriatico, il quale appariva circondato dai rilievi alpini a nord e da quelli appenninici a sud. Durante tale periodo questa zona è stata colmata da sedimenti finemente depositi in ambiente marino. Alla fine del Pliocene, e per una parte dell'inizio del Quaternario (Pleistocene), è iniziata la regressione marina, i diversi cicli della quale hanno lasciato depositi di ambiente di transizione. Con la fine del quaternario, l'ambiente è divenuto stabilmente continentale, e per tutta la sua durata, fino all'attuale, si è assistito all'accrescimento dei depositi fluviali e fluvio-glaciali, con particolare rapidità ed efficienza durante i periodi glaciali. Infatti, con l'inizio dell'Olocene (Quaternario recente), i depositi sono

costituiti dai sedimenti terrigeni portati dai fiumi. Nella prima parte di questo periodo, i sedimenti sono stati depositati in ambiente alternativamente continentale (durante le regressioni marine) oppure marino transizionale (durante le trasgressioni), mentre nel periodo più recente l'ambiente di deposizione è divenuto stabilmente continentale (Bartolini C. e al., 1982).

Osservando lo stralcio della carta geologica allegata e considerando come intorno stratigrafico significativo una porzione di territorio di raggio pari a circa un migliaio di metri circostante l'area in studio, si rileva la presenza di una successione di depositi alluvionali olocenici in ricoprimento di depositi pleistocenici. In sintesi le formazioni presenti dalla più recente alla più antica sono:

☞ *subsistema di Ravenna* (AES8), sono alluvioni costituite prevalentemente da limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali. Si tratta di depositi riconducibili per lo più alla sedimentazione operata dal T. Crostolo, ne seguono infatti il corso, con sviluppo in direzione prevalente N-S. Il lotto di terreno in esame insiste su tali depositi. Età: Olocene;

☞ *unità di Modena* (AES8a), sono depositi ghiaiosi e fini; corrisponde al primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive e si estende immediatamente a occidente del lotto in terreno lambendone il confine ovest, con decorso prevalente N-S lungo le sponde del T. Modolena. Età: Post-VI secolo d.c.;

☞ *unità di Vignola* (AES7b), sono alluvioni ghiaiose con matrice limo-sabbiosa in prossimità dei torrenti e fiumi principali, passanti distalmente e lateralmente a limi e limi sabbiosi. Si collocano a sud dell'area considerata in una porzione ristretta all'estremità meridionale della tavola grafica allegata (cfr. Tav.4). Età: Pleistocene sup.-Olocene basale.

Il lotto di terreno in oggetto insiste sui depositi continentali quaternari, in particolare sui sedimenti di origine alluvionale risalenti all'Olocene denominati come *subsistema di Ravenna* (AES8): si tratta, come scritto in precedenza, di alluvioni costituite prevalentemente da limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi; subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali.

2.2.3 Lineamenti strutturali

L'ambito territoriale in esame si inquadra in prossimità del limite meridionale del bacino subsidente padano, costituito quest'ultimo da una depressione con stile compressivo occupata in superficie da depositi quaternari di origine alluvionale. La conoscenza della geologia del substrato profondo ha avuto in questi ultimi anni un notevole impulso grazie agli studi coordinati del Progetto Finalizzato Geodinamica e alle ricerche per idrocarburi svolte dall'AGIP SpA. Essi hanno permesso di definire gli assetti geostutturali delle formazioni pre-quaternarie, caratterizzate da una successione plicativa ad anticlinali e sinclinali con assi a vergenza appenninica, spesso fagliate e sovrascorse da lineamenti trasversali (cfr. Figura 9).

Il quadro tettonico generale del margine appenninico emiliano, qui inteso come il limite morfologico che separa la fascia delle colline dall'alta pianura, colloca la zona in esame in un settore molto prossimo e a nord del Fronte di accavallamento esterno (ETF). Per meglio comprendere quanto scritto, si può osservare come l'area rappresentata in Figura 9 sia caratterizzata da due importanti fasci paralleli di strutture sepolte a vergenza appenninica (NO-SE). Il fascio più settentrionale, lungo l'allineamento Cremona-Parma-Reggio Emilia, appartiene all'arco delle cosiddette "Pieghie emiliane", che si estendono dall'Appennino Vogherese fino alla Linea del Sillaro. Esso è direttamente connesso con il *Fronte di accavallamento esterno* (ETF) dell'Appennino sepolto sull'avanfossa pliocenica, che definisce il limite dell'appennino sepolto. Il fascio più meridionale, sviluppantesi nel sottosuolo dei terrazzi pre-würmiani, coincide

grossomodo con il margine morfologico dell'Appennino. Esso è direttamente connesso con il *Fronte di accavallamento pedeappenninico* (PTF), che segna il limite della catena appenninica affiorante.

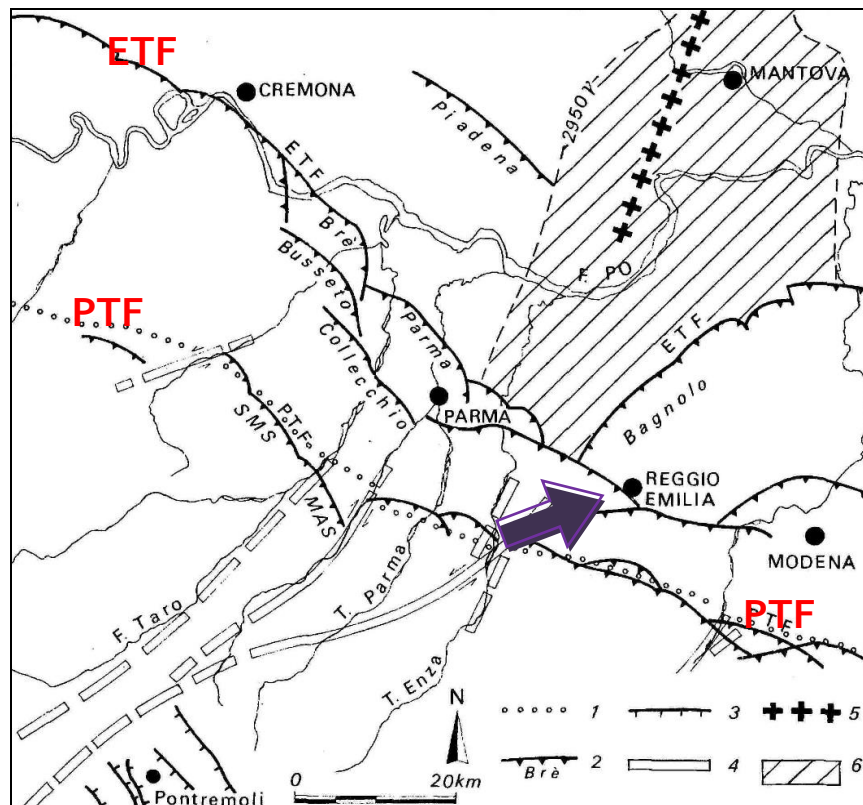


Figura 9 - Schema strutturale del margine e del fronte appenninico in relazione con il "sistema del Taro". 1- margine morfologico appenninico; 2- strutture descritte nel testo (thrusts sepolti); 3- faglie normali della fossa tettonica della Lunigiana; 4- linee trasversali di ordine maggiore; 5- asse di alto del "basamento magnetico"; 6- massimo dell'anomalia magnetica residua (da: Bernini M. e Papani G., 1986).

Entrambi i fasci sopra descritti presentano interruzioni e spostamenti in corrispondenza di discontinuità trasversali, alle quali in letteratura è stato attribuito il nome dei corsi d'acqua con esse coincidenti. Queste discontinuità, a vergenza antiappenninica, sono le linee dello Stirone, del Taro, del Baganza e dell'Enza; esse segmentano il margine appenninico individuando settori a diverso comportamento tettonico-sedimentario. In particolare i lineamenti dell'Enza, del Baganza, del Taro e la linea Passo della Cisa-bassa Val d'Enza sembrano costituire un fascio di faglie cinematicamente legate, vengono quindi raggruppate sotto la denominazione "sistema del Taro".

Sul prolungamento ideale verso NNE della linea dell'Enza, si innesta l'arco occidentale delle Pieghe Ferraresi, presso Reggio Emilia (zona di Bagnolo e Correggio). Il collegamento tra questi elementi strutturali, secondo gli Autori, dovrebbe essere profondo. Questo arco forma, a grande scala, una virgazione con le Pieghe Emiliane; il vertice della "V" si colloca fra Reggio Emilia e Parma, e all'interno di questa si riscontrano i maggiori spessori della successione Plio-Quaternaria. La base del Pliocene giunge qui ad oltre 7.500 m sotto il livello del mare.

Il tetto del substrato marino, secondo quanto emerso dalle perforazioni AGIP, è rappresentato da sedimenti argillosi di mare profondo (Argille di Lugagnano). Localmente si osserva la presenza di sabbie di facies litorale, soprastanti i depositi argillosi, che testimoniano una fase di regressione marina, attribuita in base alle evidenze paleontologiche, palinologiche e paleomagnetiche al Pleistocene inferiore-medio. Superiormente a queste formazioni si rinvencono i depositi continentali di origine prevalentemente alluvionale, legati alla dinamica fluviale che ha caratterizzato nel passato, e che interessa ancora oggi quest'area. Si osservano i sedimenti ghiaioso-sabbiosi propri dei canali fluviali, i depositi sabbioso-limosi costituenti i dossi e le rotte fluviali, i materiali limosi e argillosi di colmata dei bacini interfluviali (piane alluvionali). I depositi alluvionali risalgono quindi al Pleistocene ed all'Olocene. I primi si sono

deposti fino a circa 18.000 anni fa, e nell'alta pianura reggiana hanno dato origine a forme terrazzate caratteristiche, distinte in più ordini. La loro suddivisione avviene tramite i termini classici correlati alle grandi glaciazioni alpine: Fluviale Günz, Fluviale Mindel, Fluviale Riss e Fluviale Würm. Questi ultimi rappresentano i depositi continentali più antichi della pianura reggiana, costituendo i depositi ghiaiosi pedecollinari (terrazzi) che presentano la tipica alterazione superficiale dovuta alla pedogenesi degli Interglaciali Mindel-Riss e Riss-Würm.

I successivi depositi dell'Olocene formano l'ordine più recente dei terrazzi e la pianura antistante. Le Alluvioni antiche, rappresentano la fase di livellamento della pianura da parte dell'Enza e dei torrenti minori, al contorno e all'interno della conoide pleistocenica del torrente testé citato. Le Alluvioni medio-recenti formano bassi terrazzi, di poco sospesi sugli alvei attuali. Infine le Alluvioni Attuali costituiscono gli alvei di piena e di magra dei corsi d'acqua principali.

2.3 Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico il terreno in oggetto si colloca in una zona di alta pianura (circa 62 m s.l.m.). Si rammenta infatti che la pianura reggiana, dal punto di vista idro-morfologico e della litologia dei depositi quaternari, può definirsi costituita da tre fasce territoriali disposte grossomodo in senso est-ovest: l'alta pianura compresa tra il margine collinare pedeappenninico a sud (con quote altimetriche variabili da circa 100 a 140 m s.l.m.) ed il tracciato dell'Autostrada del Sole (A1) verso nord, cioè sino a circa la quota di 35 m s.l.m.; la media pianura compresa tra il tracciato dell'autostrada A1 e la direttrice Poviglio-Novellara, ad una quota che si aggira sui 25-29 m s.l.m.; infine la bassa pianura compresa tra la direttrice appena menzionata ed il corso del fiume Po, alla quota di circa 20 m s.l.m. . L'area in oggetto si colloca quindi nella zona di alta pianura testé descritta.

La formazione dell'ambito territoriale di interesse è attribuibile prevalentemente alla sedimentazione degli apporti fluviali padani e appenninici verso la pianura emiliano-romagnola. Essi hanno costituito un edificio sedimentario complesso, composto da depositi alluvionali in corpi lenticolari, nastriformi o meandriiformi interdigitati tra loro e con variazioni laterali e verticali di facies osservabili anche in porzioni areali ristrette. Sotto il profilo morfologico, le principali forme rilevabili sono legate all'azione delle acque superficiali (attraverso processi di erosione, trasporto e sedimentazione), che subiscono l'influenza dei fenomeni tettonici e delle variazioni climatiche. Premesso ciò dall'osservazione dello stralcio della carta geomorfologica di Figura 10 si riconoscono le seguenti forme (Boretti G., Cremaschi M. e Mazza G., 1988).

Terrazzi pleistocenici

Si tratta di tre ordini di terrazzi che corrispondono ad altrettanti eventi morfoclimatici; per gli scopi del presente studio non si ritiene necessario distinguerli in Fluviale Mindel, Riss e Würm. Essi vengono tutti e tre indicati genericamente come terrazzi di età pleistocenica, e contraddistinti dalle sigle aw, ar, am. Ad ognuna di queste unità geologiche a partire dal tardo Pleistocene inferiore è associata una fase di sollevamento tettonico, alla quale segue un periodo di relativa stabilità climatica che permette la formazione di un vetosuolo (in altre parole un suolo originatosi per prolungata evoluzione pedogenetica).

I terrazzamenti pleistocenici sono definiti da nette scarpate di erosione, che si collocano in corrispondenza di lineamenti tettonici, le quali sono sospese rispetto alle alluvioni oloceniche anche qualche decina di metri.

Si osservano a costituire un'ampia fascia, con decorso prevalente NO-SE, a sud delle loc. Cella, Pieve Modolena, Coviolo, Bosco, rappresentate sulla carta tematica allegata procedendo da ovest verso est. La fascia di terrazzi descritta è più volte interrotta da sedimenti fluviali più recenti depositi dai corsi d'acqua appenninici agli sbocchi vallivi.

Dossi

Si tratta di strutture allungate e a sezione trapezoidale, composte da sedimenti prevalentemente a grana grossa o media (ghiaiosi e sabbiosi), la sommità dei quali si eleva di pochi metri rispetto alla superficie topografica circostante. Queste strutture si formano per deposito dei sedimenti negli alvei dei corsi d'acqua, pertanto corrispondono al corso dei paleoalvei o dei canali di rotta fluviale.

In corrispondenza dell'abitato di Reggio Emilia, fino a raggiungere e superare la loc. Cadelbosco di Sopra, si osserva un ampio e ben rilevato dosso fluviale. Ad est di Reggio Emilia si osservano poi numerose tracce di altri dossi fluviali ben rilevati, stretti e assai sinuosi riconducibili ad altrettanti paleoalvei del T. Crostolo.

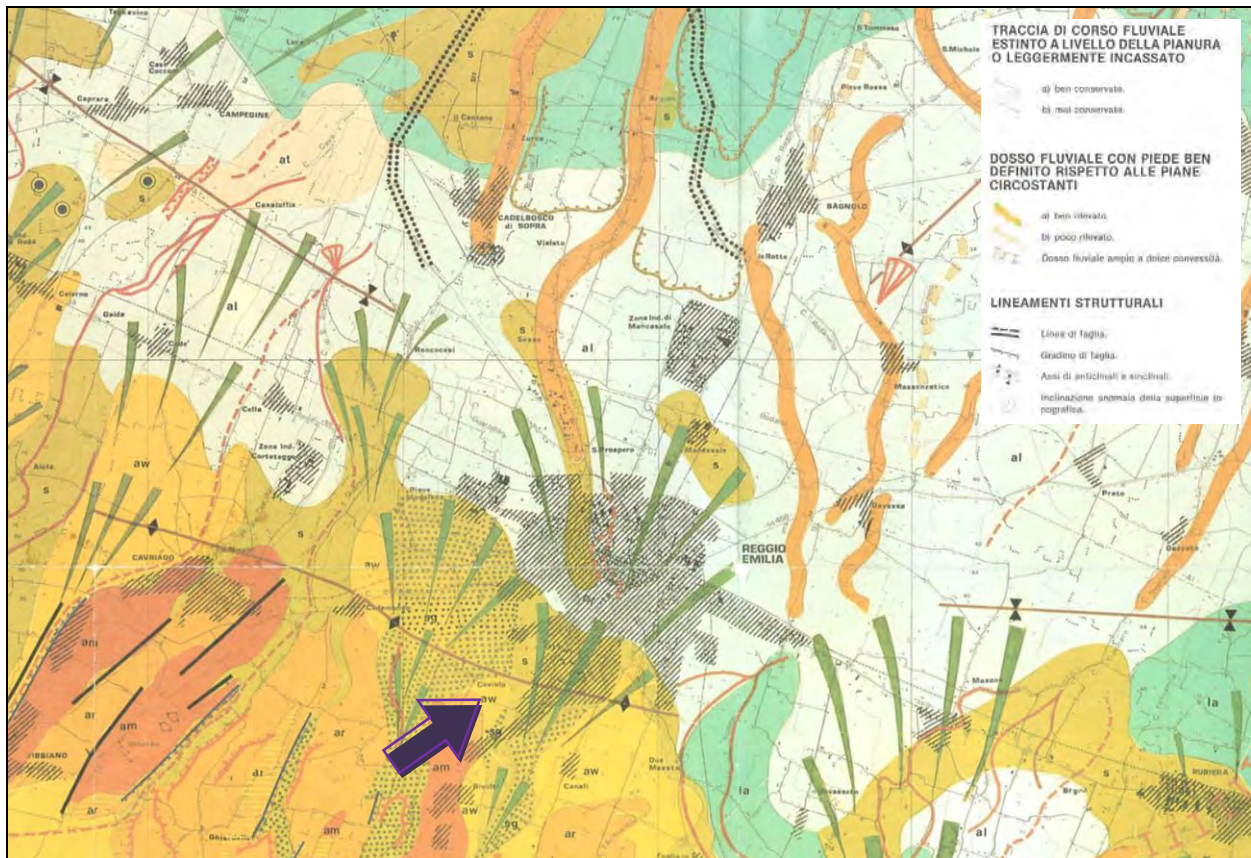


Figura 10 – Stralcio della Carta Geomorfologica della Pianura di Reggio Emilia (Boretti G., Cremaschi M. e Mazza G., 1988), con individuazione dell'area in oggetto.

Conoidi alluvionali

Allo sbocco delle principali valli appenniniche si trovano i conoidi alluvionali: si tratta di forme a tronco di cono molto appiattite e allungate. I conoidi si estendono sino alla Via Emilia dove iniziano i depositi più fini della media e bassa pianura. Sono costituiti prevalentemente da depositi grossolani, ghiaie e sabbie, anche se in superficie possono essere ricoperti da materiali più fini. I principali conoidi che si riconoscono nella pianura reggiana sono quelli dell'Enza, del Crostolo, del Secchia e quelli secondari del T. Modolena e del Tresinaro. La pendenza di questi corpi sedimentari è mediamente compresa tra l'1,8‰ e il 4‰.

L'area in oggetto insiste al limite della conoide alluvionale riconducibile al T. Modolena, a ovest, e al T. Crostolo, a est, in una litologia di superficie al limite tra sabbie e sabbie con ghiaie.

2.4 Inquadramento idrologico

Riguardo l'idrografia superficiale si descrivono caratteri a valenza generale. Si premette che l'evoluzione dell'idrografia superficiale nell'ambito territoriale in studio e in una porzione areale più ampia, risulta condizionata da due fattori dominanti:

- *fattore naturale*, legato all'evoluzione tettonico-sedimentaria dell'area;
- *fattore antropico*, inteso come l'azione dell'uomo volta a rendere compatibile il drenaggio naturale con le istanze legate all'attività agricola.

La rete idrografica risente quindi del mutuo condizionamento dei fattori sopra menzionati: ad un'idrografia superficiale naturale si accompagna una rete drenante artificiale costituita da una maglia di canali, rii e cavi destinati allo scolo delle acque meteoriche ed alla distribuzione delle acque irrigue di provenienza fluviale e sotterranea (emungimenti dal sottosuolo). L'odierno tessuto idrografico, specie quello di ordine minore, discende direttamente dalla parcellizzazione agraria e rappresenta il risultato delle vicende che nel tempo e nello spazio hanno determinato il costituirsi della pianura.

Il tessuto idrografico presente nell'ambito territoriale in esame consente la distinzione di tre tipi di drenaggio (BERNINI M. E AL., 1980):

- *drenaggio libero*: sono i corsi d'acqua che non hanno subito interventi antropici, non presentano argini rettificati e non sono incanalati artificialmente, l'alveo conserva l'andamento originale sinuoso;
- *drenaggio di antica sistemazione agraria*: è contraddistinto da un tessuto di canali con orientazione SSO-NNE e segmenti minori ortogonali ai primi. Il prevalente orientamento verso NNE ricalca il reticolato della centuriazione romana, dove essa è conservata e riconoscibile, individuato da strade e canali con direzione parallela e normale al decumano massimo (Via Emilia). Si osservano per lo più nella media e bassa pianura, e in qualche zona dell'alta pianura;
- *drenaggio di recente sistemazione agraria*: è costituito da una maglia idrografica fitta, generalmente con la stessa orientazione della tipologia di drenaggio descritta in precedenza, ma con una conservazione migliore. In prossimità dei corsi d'acqua ne segue talvolta l'orientazione. L'attuale configurazione della rete drenante è il frutto di modificazioni sia naturali che artificiali verificatesi anche in epoche recenti, a seguito delle bonificazioni idrauliche.

L'attuale assetto della rete di canali della pianura reggiana risponde alle due principali istanze legate all'attività agricola, avvertite fin dall'epoca medioevale: da un lato assicurare la distribuzione e l'utilizzo dell'acqua ai fini irrigui; dall'altra garantire lo smaltimento delle acque meteoriche e la bonificazione delle aree paludose insalubri.

Il terreno in oggetto appartiene al bacino idrografico del T. Crostolo, che a sua volta rientra nel bacino di rilevanza nazionale del F. Po; si aggiunge che esso appartiene altresì ad un bacino di competenza del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale (CBEC): in quest'ultimo rientra la parte di territorio a ovest del T. Crostolo, a est del T. Enza, e a nord del F. Po. La bonifica idraulica consente di raccogliere e convogliare, con scolo meccanico e a gravità, le acque verso i T. Crostolo, T. Enza e F. Secchia; l'irrigazione avviene principalmente attraverso la distribuzione d'acqua prelevata da risorse superficiali, quali il F. Po, mediante l'impianto di sollevamento sito a Boretto, e il T. Enza, a gravità mediante la derivazione d'acqua posta a Cerezzola (in Comune di Canossa).

Da quanto premesso si desume quindi che le acque meteoriche sono raccolte, nel territorio comunale di Reggio Emilia, da un'estesa e sviluppata canalizzazione di pianura che confluisce nel T. Crostolo, da questo le acque raccolte vengono poi fatte confluire, nel F. Po, immediatamente a nord del centro abitato di Guastalla. Il reticolo idrografico principale, esistente in un intorno dell'area in esame, è costituito dai seguenti corsi d'acqua: T. Modolena, con direzione

prevalente nord-sud, a ca. 1.000 m a ovest; T. Crostolo, a ca. 1.100 m a est, con decorso prevalente NO-SE; Canale d'Enza, con tracciato est-ovest, a ca. 200 m a nord; canaletta La Fossa, con decorso prevalente nord-sud che confluisce nel corso testé citato e che si sviluppa a ca. 300 m a ovest. Si aggiunge che nonostante l'estesa opera di canalizzazione realizzata, l'impermeabilizzazione edilizia di cospicue aree di suolo rischia di compromettere l'efficienza, a livello dei bacini di scolo delle acque, del reticolo di canali di bonifica e fognari, è importante quindi che sia cura del progettista verificare la reale possibilità di smaltimento delle acque di precipitazione in modo che non si verifichino ristagni a ridosso delle opere fondali dell'edificio in progetto. Eventuali accumuli e successive infiltrazioni comprometterebbero le caratteristiche geomeccaniche del suolo riducendone inevitabilmente la capacità portante.

Riguardo l'idrologia profonda si riportano dapprima caratteri generali di inquadramento. Il sistema acquifero della pianura emiliano-romagnola, che appartiene al sistema padano, si è costituito per progressivo riempimento di un bacino ad opera di sedimenti alluvionali di apporto padano e appenninico, secondo una successione dei processi morfoevolutivi che viene di seguito schematizzata. Allo sbocco in pianura i fiumi, in tempi remoti, cedevano i sedimenti più grossolani andando a costruire le conoidi; man mano si allontanavano dal margine appenninico perdevano capacità di trasporto e deponevano i sedimenti più fini. Durante la costruzione dell'edificio sedimentario della pianura, i corsi d'acqua ivi presenti non essendo arginati avevano la possibilità di divagare, e spostando il tracciato del loro alveo andavano a colmare le aree altimetricamente più depresse. Con un progressivo abbandono dei materiali trasportati l'alveo si innalzava, divenendo pensile, e in occasione di una piena si verificava lo spostamento dello stesso in una zona più depressa. Si ripeteva quindi il fenomeno di colmamento, a questo seguiva la divagazione del corso d'acqua e il processo riprendeva. Il risultato è oggi una struttura complessa del materasso alluvionale che costituisce il sistema acquifero della pianura emiliano-romagnola, con alternanze irregolari tra i depositi più grossolani e quelli più fini e con le falde interconnesse tra loro che vanno quindi a costituire un sistema multifalda.

Restringendo l'attenzione all'acquifero dell'alta pianura reggiana si può dire che esso costituisce un sistema monostrato, indifferenziato, affiorante o subaffiorante, con falda libera (eventualmente con falde sospese ad andamento lenticolare e discontinuo) ed in connessione idraulica con i corsi d'acqua, nella parte apicale delle conoidi (costituenti lo stesso acquifero), il quale verso valle passa a condizioni compartimentate, con falda in pressione (confinata) per la presenza di coperture e intercalazioni impermeabili, che seppure arealmente estese, consentono contatti idraulici tra i diversi comparti o livelli dell'acquifero. In particolare si rileva che il terreno in esame rientra nell'ambito dell'acquifero dell'alta pianura reggiana tra T. Crostolo e F. Secchia: esso presenta una geometria complessa (sistema da monostrato a multistrato) con condizioni di confinamento variabili.

Osservando la "Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: alta pianura reggiana tra T. Crostolo e F. Secchia", in scala 1:25.000 (cfr. Tav.5 in Appendice), a corredo di uno studio sulla vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento (Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi n.4, Quaderni di tecniche di protezione ambientale n.33, 1994), si registra la presenza dell'acquifero principale ad una profondità variabile da 45 a 50 m s.l.m., con una soggiacenza media di circa 13 m, e direzione prevalente delle linee di flusso N-S con pendenza $p=0,7\%$ ($0,4^\circ$) verso nord.

Nella tabella seguente sono riportati i livelli acquiferi registrati durante l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche (gennaio 2002) e del sondaggio geognostico (luglio 2001), in un sito prossimo all'area in studio (Intergeo, maggio 2002):

INDAGINI n.	Prof. infiltrazioni acquifere (-m da quota inizio sondaggio)	Prof. massima di indagine (-m da quota inizio sondaggio)
CPT ₁	-	6,00
CPT ₂	-	12,00

CPT ₃	-	6,00
CPT ₄	-	6,00
CPT ₅	-	6,00
CPT ₆	-	6,00
Sondaggio geognostico	-3,5	?

Tabella 5 – Tabella riassuntiva relativa ai livelli acquiferi registrati durante l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche e del sondaggio geognostico (Intergeo, 2002).

Nella tabella seguente sono riepilogati i dati relativi alla campagna di indagini eseguita nel mese di ottobre (24/10/2011), rappresentate in rosso in Tav.2:

Prova n.	Prof. infiltrazioni acquifere (-m da quota inizio sondaggio)	Profondità massima sondaggio (-m da p.c.)
CPT ₁	9,00	15,00
CPT ₂	9,00	15,00
CPT ₃	9,00	15,00
CPT ₄	9,00	15,00
CPT ₅	9,00	15,00
CPT ₆	9,00	15,00
CPT ₇	9,00	15,00
CPT ₈	9,00	15,00

Tabella 6 – Tabella sintetica riguardante i sondaggi penetrometrici statici eseguiti in data 24/10/2011.

Nella tabella seguente sono riepilogati i dati relativi alla campagna di indagini eseguita nel mese di luglio 2018 (27 e 30/07/2018), rappresentate in blu in Tav.2:

Prova n.	Prof. infiltrazioni acquifere (-m da quota inizio sondaggio)	Profondità massima sondaggio (-m da p.c.)
CPT ₁	8,80	15,00
CPT ₂	5,80	15,00
CPT ₃	6,20	15,00
CPT ₄	10,20	15,00
CPT ₅	10,20	15,00

Tabella 7 – Tabella sintetica riguardante i sondaggi penetrometrici statici eseguiti in data 27/07/2018 e 30/07/2018.

Quanto sopra riportato concorda con quanto scritto in precedenza sulla posizione del tetto della falda: il livello della falda freatica principale durante la campagna di indagini del 2011 è stato registrato grossomodo a circa -9 m da p.c., nel 2018 si colloca nell'intervallo compreso tra -6 m e -10 m da p.c., che a meno di aggiustamenti e variazioni stagionali concorda con le sopra riportate indicazioni bibliografiche, che situano la falda a ca. -13 m da p.c. e con le misure registrate negli anni precedenti.

3. CAMPAGNA DI INDAGINI

La campagna di indagini eseguita nel maggio 2002 da Intergeo, le cui risultanze saranno sinteticamente riportate nelle pagine successive, si è avvalsa di n.6 prove penetrometriche statiche CPT (di tipo meccanico) e n.1 sondaggio geognostico, al fine di caratterizzare il lotto di intervento per l'ampliamento dell'Istituto Tecnico Agrario "A. Zanelli" la cui ubicazione è riportata nelle Tav.1 e Tav.2, in Appendice. Ad essa si sono aggiunte n.2 prospezioni sismiche con metodologia MASW ed una ricerca bibliografica relativa ai caratteri geologici, geomorfologici, sismici ed idrologici del sito di ubicazione del nuovo polo scolastico, individuato in prima istanza in un sito differente dall'attuale, condotte dalla scrivente a corredo dello studio preliminare del mese di dicembre 2007. Nel prosieguo del documento verranno esposte sinteticamente le risultanze delle campagne di indagini sopra richiamate e i dati bibliografici raccolti. La campagna di indagini in sito a corredo della progettazione definitiva ed esecutiva del 1° Lotto, eseguita nel mese di ottobre-novembre 2011, si è avvalsa di:

- **PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT** (di tipo meccanico) **N.8**;
- **SONDAGGI GEOGNOSTICI A DISTRUZIONE DI NUCLEO N.2** (designati dalla sigla S1 e S2), al centro dell'area di intervento, S1 spinto alla profondità massima di 34,00 m da p.c. con prelievo di n.3 campioni ed esecuzione di n.2 SPT, S2 spinto alla profondità massima di 30,00 m da p.c. con prelievo di n.3 campioni ed esecuzione di n.4 SPT;
- **PRELIEVO CAMPIONI N.6**, durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici sopra richiamati, designati con le sigle S1SH1 a prof. 6,00÷6,60 m da p.c., S1SH2 a prof. 9,00÷9,60 m da p.c., S1SH3 a prof. 15,00÷15,60 m da p.c., S2SH1 a prof. 5,60÷6,20 m da p.c., S2SH2 a prof. 9,20÷9,80 m da p.c., S2SH3 a prof. 14,40÷15,00 m da p.c.;
- **INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA DOWN-HOLE N.1** (denominata DH1).

La campagna di indagini, eseguita nel mese di luglio 2018, a corredo della progettazione del 2° Lotto, si è avvalsa di:

- **PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT** (di tipo meccanico) **N.2**, la cui ubicazione è riportata in Tav.2, in Appendice;
- **PROSPEZIONE SISMICA CON METODOLOGIA HVSR N.1** (denominata HVSR1);
- **OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDROLOGICHE** del sito in esame e **RICERCA BIBLIOGRAFICA**, riguardanti l'idrologia superficiale e sotterranea, la morfologia del terreno in oggetto e delle aree circostanti, condotte dalla scrivente.

L'ubicazione delle indagini è riportata nella tavola allegata (cfr. Tav.2), in colore rosso per le indagini del 2011 e in blu per le indagini del 2018: di seguito vengono illustrati i caratteri delle prospezioni geognostiche, la strumentazione, la modalità di esecuzione, l'elaborazione e le risultanze delle stesse. Non si aggiungono ulteriori notizie relativamente ai caratteri delle indagini in sito, passando all'illustrazione delle risultanze delle suddette campagne geognostiche.

Si precisa che la documentazione allegata alla progettazione esecutiva del 1° Lotto - elaborati fuori testo che riportavano le risultanze delle campagne geognostiche eseguite in sito e le analisi di laboratorio - non verrà nuovamente trasmessa in allegato alla presente, rimandando a tale fascicolo per evitare inutili appesantimenti e duplicati di documentazione. Nella presente relazione verranno esclusivamente richiamate le risultanze delle precedenti campagne, quando risulterà necessario per avere un quadro complessivo della situazione geologica e geotecnica del sito. In Appendice si allegano esclusivamente le risultanze delle indagini eseguite per la progettazione del 2° Lotto del nuovo polo scolastico.

3.1 Prova penetrometrica statica

3.1.1 Lo strumento

Lo strumento utilizzato per l'esecuzione delle prove in sito è il penetrometro statico a punta meccanica *Begemann*: che possiede il manicotto di attrito che si muove indipendentemente dalla punta secondo il metodo Begemann.

In particolare l'attrezzatura del 2011 era montata su un autocarro FIAT IVECO T 80/16 4 x 4 dotato di elica che forniva il contrasto necessario alla spinta. La capacità di spinta era pari a 300 kN (260 kN alla penetrazione, 300 kN in fase di estrazione). Lo strumento utilizzato per l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche nel mese di luglio 2018 è stato il penetrometro GEOPAN 200 KN montato su mezzo cingolato fornito di autoancoraggio per sopportare la spinta massima di 20 tonnellate.

In entrambi i casi il dispositivo di spinta (martinetto idraulico) è ancorato al suolo per mezzo di due vitoni elicoidali laterali che devono fornire, unitamente all'ancoraggio del mezzo, l'adeguato contrasto all'atto della penetrazione delle aste e della punta. Il martinetto agisce su una batteria doppia di aste (aste esterne cave e aste interne piene coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura, collegato al martinetto idraulico.

La *punta conica* (di tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante per la misura dell'attrito laterale (punta/manicotto tipo "Begemann"). Le dimensioni della punta/manicotto sono standardizzate, e precisamente:

- diametro di base del cono	$\varnothing = 35,7 \text{ mm}$
- area della punta conica	$A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo apertura del cono	$B = 60^\circ$
- superf. laterale manicotto	$A_m = 150 \text{ cm}^2$
- spinta massima nominale dello strumento	S_{\max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett. → Spinta)	$C_t = \text{SPINTA (kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA (kg)}$

Riguardo la costante di trasformazione si precisa che per lo strumento in uso corrisponde a 10; relativamente alla spinta S (kg), essa si ottiene moltiplicando ogni valore letto in campagna (L_1 lettura alla punta e L_2 lettura alla punta e laterale) per la costante C_t . Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'approfondimento. I terreni su cui è più efficace l'impiego del penetrometro statico-dinamico sono quelli argillosi, limosi, sabbiosi e ghiaiosi, che costituiscono in genere i depositi di fondovalle, di alveo fluviale, di pianura e costieri.

3.1.2 Modalità di esecuzione dell'indagine penetrometrica

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v = 2 \text{ cm/s} \pm 0,5 \text{ cm/s}$). La penetrazione avviene tramite il dispositivo di spinta (martinetto idraulico) citato in precedenza, che agisce sulla batteria di aste e quindi sulla punta meccanica.

L'esecuzione della prova consiste, una volta posizionato lo strumento, nel far avanzare a intervalli regolari di 20 cm l'intera batteria di aste e la punta. È possibile suddividere in fasi l'avanzamento:

- *fase 1*: si legge per i primi 4 cm di avanzamento la resistenza alla punta (L_1 =lettura di campagna durante l'infissione della sola punta);

- *fase 2*: si legge, per i successivi 4 cm, la resistenza alla punta più quella laterale (L_2 =lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto);

- *fase 3*: negli ultimi 12 cm si ritorna nella posizione iniziale senza alcuna lettura.

Lo sforzo per l'infissione della punta - nell'attrezzatura del 2011 - è misurato mediante manometri collegati al martinetto che esercita la spinta. L'acquisizione dati viene rilevata da manometri meccanici a bagno d'olio con sensibilità massima pari a 0,1 Bar. I manometri sono tre:

n.1 = da 0 a 25 bar

n.2 = da 0 a 160 bar

n.3 = da 0 a 600 bar.

I dati letti e registrati direttamente in campagna sono riportati nella tabella denominata "**Lecture di campagna/valori di resistenza**"; successivamente essi vengono opportunamente elaborati per ottenere le altre tabelle presenti negli elaborati fuori testo.

3.1.3 Elaborazione dati della prova penetrometrica statica

In tabella denominata "**Lecture di campagna/valori di resistenza**", realizzata per ogni prova penetrometrica sono riportate sei colonne con i seguenti valori:

- *prf.*: rappresenta la profondità alla quale vengono letti i valori riportati nelle colonne successive (la lettura avviene per intervalli di 20 cm);

- L_1 e L_2 : rappresentano i valori letti in campagna tali e quali (L_1 lettura alla punta e L_2 lettura punta + laterale citati in precedenza, espressi in kg/cm^2);

- q_c (resistenza alla punta, corrispondente alla fase 1): è ottenuto dall'operazione $[(L_1) \times Ct]/10$; per lo strumento in questione Ct , ovvero la costante di trasformazione, è pari a 10; il dato 10 rappresenta la superficie della punta (10 cm^2);

- f_s (resistenza laterale locale, corrispondente alla fase 2): è ottenuto dall'operazione $[(L_2 - L_1) \times Ct]/150$; 150 rappresenta la superficie laterale del manicotto (150 cm^2); si precisa che a causa della distanza intercorrente (circa 20 cm) tra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale (R_L) ad una data profondità è riportata, nella colonna ad essa riservata, ad una profondità inferiore di 20 cm rispetto alle letture L_2 e L_1 impiegate per il suo calcolo;

- q_c/f_s è dato dal rapporto dei due precedenti parametri e corrisponde a quel rapporto R_p/R_L impiegato da Begemann per ricostruire la natura litologica dei terreni attraversati.

In tabella denominata "**Valutazioni litologiche**", sono riportate le due interpretazioni impiegate per il riconoscimento dei terreni attraversati:

- in base al rapporto q_c/f_s fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro (BEGEMANN, 1965 - RACCOMANDAZIONI A.G.I., 1977);

- in base ai valori di q_c e del rapporto $FR=(q_c/f_s)\%$ (SCHMERTMANN, 1978).

I valori q_c e f_s citati sono poi rappresentati graficamente nella tabella "**Diagramma di resistenza**".

Sempre con riferimento alla prova penetrometrica statica CPT, nella tabella "**Parametri geotecnici**" sono riportati i principali parametri ottenuti tramite correlazioni empiriche e che presentano validità orientativa: coesione non drenata C_u , angolo di attrito interno efficace ϕ , densità relativa D_r , modulo edometrico M_o , moduli di deformazione non drenato E_u e drenato E' , peso di volume Y , etc., come risulta anche dalla legenda in Appendice.

Si precisa inoltre che le elaborazioni sopra citate (effettuate mediante programma di calcolo automatico) fanno riferimento ad esperienze e ricerche condotte in vari Paesi da vari Autori, nonché a conoscenze ed esperienze personali della scrivente. Oltre alle informazioni riguardanti i caratteri geomeccanici e litologici dei terreni attraversati, è possibile al termine dell'esecuzione della prova determinare la presenza di acqua nel sottosuolo. Attraverso la semplice osservazione della punta e delle aste si rileva la presenza di infiltrazioni acquifere o di una falda vera e propria; calando poi nel foro lasciato nel suolo dall'infissione della punta e delle aste un freatimetro ad avvisatore sonoro è possibile misurare la profondità alla quale si collocano le infiltrazioni o il livello della superficie piezometrica.

3.2 Sondaggio a rotazione e carotaggio continuo

3.2.1 Premessa

Il sondaggio a rotazione e carotaggio continuo rappresenta uno dei metodi di perforazione più idonei per ottenere la corretta stratigrafia di un terreno. La potenzialità principale che offre questo tipo di prova è in accoppiamento con i metodi di indagine geognostiche indirette in sito (prove penetrometriche statiche e dinamiche) e le prospezioni geofisiche (prospezioni sismiche a rifrazione e indagini geoelettriche). Tramite l'abbinamento delle diverse tipologie di indagini è possibile con questo sondaggio "tarare" la prova indiretta, e ad ogni parametro caratteristico ottenuto dalla prova indiretta accoppiare la relativa litologia in modo da ottenere parametri geotecnici e stratigrafie attendibili.

3.2.2 Perforazioni - sondaggi

Nella campagna di indagini del 2011 l'attrezzatura utilizzata è stata una sonda a rotazione MUSTANG A 65 ATLAS COPCO completa di pompa triplex tipo Trido e pompa Duplex tipo Garden Denver Fg FDX 6x6 installata su autoveicolo per uso speciale FIAT 260 PAC 26 (6X6) Targato RE 701910 con capacità di perforazione oltre i 50 metri di profondità. La perforazione è avvenuta a rotazione, con fori del diametro pari a 101 mm e a circolazione di fluido immesso nel foro attraverso le aste (circolazione diretta). Il metodo consente il prelievo continuo di materiale rappresentativo in terreno coesivi consistenti, purché la tecnica di perforazione venga adattata alla natura del terreno, specialmente mediante la scelta appropriata della apparecchiatura di perforazione, del tubo carotiere e della corona, della velocità di rotazione e della pressione sul fondo, della portata e della pressione dell'eventuale fluido di circolazione.

Il carotiere utilizzato è stato il **carotiere semplice**. Si tratta di un tubo filettato F/F, provvisto, per assicurare il recupero della carota, alla base, di un portaestrattore con sede conica e di un estrattore a molla in caso di terreni coerenti, oppure a cestello in caso di terreni sciolti. Ruota direttamente incorporando la carota che è a diretto contatto col fluido. Per questa ragione si usa specialmente in terreni omogenei e quando non è richiesta un'alta percentuale di carotaggio.

Il campionatore utilizzato è stato il campionatore a pareti sottili tipo **Shelby**. Esso è costituito da un tubo con scarpa tagliente, collegato per mezzo di tre viti a brugola di arresto con una testa, munita di valvola a sfera e di serbatoio per contenere la parte rimossa del campione. L'avanzamento del campione è effettuato per infissione nel terreno attraverso una batteria di aste, possibilmente in una manovra sola. A campionamento avvenuto, le aste vengono ruotate per staccare il campione dal terreno, dopo di che si può sollevare il campionatore che viene inviato al laboratorio con entrambe le estremità paraffinate e protette da appositi tappi in polietilene.

Durante l'esecuzione di una perforazione è necessario assicurare la stabilità delle pareti e del fondo del foro e il minimo disturbo del terreno. Perforazioni poco profonde al di sopra del livello della falda, in terre coerenti o in rocce possono

essere stabili senza ricorso a particolare cautela; in tutti gli altri casi è indispensabile ricorrere ad adeguati metodi di stabilizzazione. La stabilizzazione si ottiene con tubi di rivestimento provvisorio che segue l'avanzamento dell'utensile di perforazione. Nel caso in oggetto è stato necessario eseguire la stabilizzazione del foro che è avvenuta con tubi di rivestimento di diametro pari a 113 mm, come indicato nella scheda tecnica del sondaggio (cfr. elaborati fuori testo).

Le carote, una volta estratte sono state posizionate in cassette catalogatrici divise per metri. Sulle carote sono state eseguite prove dirette con penetrometro tascabile **Pocket Penetrometer** impiegato per la determinazione approssimativa della resistenza alla compressione semplice " σ " di terre coesive. Si tratta di una molla tarata sino a 5 kg/cm², collegata ad un'astina cilindrica che permette di valutare lo sforzo necessario per infiggere la stessa nel campione per una lunghezza evidenziata da una tacca circolare. La prova si considera eseguita quando, applicando sull'astina uno sforzo costante, essa penetra nel campione sino alla tacca; corrispondentemente potrà essere letto sulla scala graduata il valore di resistenza alla compressione semplice del terreno. Dal valore di resistenza a compressione semplice si può ottenere la coesione non drenata (C_u), la prima è legata alla seconda dal rapporto 2:1, ovvero la coesione non drenata corrisponde alla metà del valore di resistenza: $C_u = \sigma / 2$. Le letture vengono indicate nella scheda tecnica del sondaggio e sono espresse in kPa.

Nella scheda tecnica del sondaggio è riportata: la descrizione stratigrafica delle litologie riscontrate, secondo quanto richiesto dalle normative A.G.I., in base alla profondità di perforazione; sono riportate in simbologia i disegni litologici; viene indicato il numero ed il tipo di campione prelevato, la profondità di prelievo e il giorno del prelievo. Nella scheda viene indicata la percentuale di carotaggio, le misure, se eseguite, del pocket e del torvane, il numero di colpi delle S.P.T. alla profondità d'esecuzione della prova e i risultati del Vane Test. Se utilizzato, in scheda, viene indicato il tipo e il diametro del rivestimento e qualsiasi altra attrezzatura in foro tipo piezometri, inclinometri, packers gonfiabili o altro.

3.2.3 Prova penetrometrica dinamica – Standard Penetration Test S.P.T.

Questa prova consiste nel misurare la resistenza del terreno alla penetrazione di un campionatore standard per una profondità di 30 cm, sotto i colpi di un peso di 63,5 Kg che cade da un'altezza costante di 75 cm. Il campionatore, divisibile in due metà è collegato alle aste di trivellazione e viene abbassato sul fondo del foro dopo che questo sia stato debitamente spurgato ed il livello dell'eventuale falda si sia stabilizzato. Il campionatore permette, subordinatamente, di prelevare piccoli campioni del terreno stesso. Il martino viene abbassato sulla testa di battuta delle aste fino a che il campionatore penetri di circa 15 cm (in modo da evitare interferenze con zone disturbate); da questo punto incomincia il test e vengono registrati i colpi necessari a produrre la penetrazione di 30 cm, distinti in due tratti di 15 cm. Il martino automatico a caduta libera ha un funzionamento molto semplice: tutto l'insieme viene agganciato alla fune dell'argano, sollevato e avvitato alle aste. Una volta tolto lo spinotto di sicurezza, l'argano può alzare il tubo esterno insieme al martino. Raggiunta l'altezza di 75 cm, lo spallamento a canna apre i ganci a molla lasciando cadere il martino sulla testa di battuta. Abbassando il tubo esterno il martino è di nuovo riagganciato e così l'operazione può essere ripetuta tante volte fino a completare la prova. Il primo tratto, detto di avviamento, corrisponde a un avanzamento di 15 cm (ivi inclusa l'eventuale penetrazione iniziale per peso proprio), e il relativo numero di colpi è designato con N_1 . Se $N_1 = 50$ e l'avanzamento è minore di 15 cm, l'infissione deve essere sospesa; la prova è considerata conclusa, e si annota la relativa penetrazione (ad es. $N_1 = 50/13$ cm). Se il tratto di avviamento è superato con $N_1 \leq 50$, la prova prosegue ed il campionatore viene infisso per un secondo tratto di 30 cm, contando separatamente il numero di colpi necessario per la penetrazione dei primi e dei secondi 15 cm (N_2 ed N_3) fino al limite di 100 colpi ($N_2 + N_3 \leq 100$). Se con $N_2 + N_3$ non si raggiunge l'avanzamento di 30 cm, l'infissione viene sospesa e la prova è

considerata conclusa, annotando la relativa penetrazione. Il ritmo della percussione nel corso della prova deve essere compreso tra 10 e 25 colpi/minuto. Quando si estrae il campionatore, è possibile conservare il campione di terreno in sacchetti di plastica. I risultati della prova vengono indicati nella scheda del sondaggio.

3.3 Prospezione MASW Onde di Rayleigh

Le prospezioni sismiche con metodologia Masw (ZN_A e ZN_B) sono state eseguite (cfr. Tav.2) in corrispondenza del sito individuato in prima istanza per l'ubicazione del nuovo polo scolastico, a corredo dello studio preliminare effettuato nel mese di dicembre 2007. Con tale tecnica si ottiene una modellazione del sottosuolo, con analisi delle onde di Rayleigh (o di Love), che costituiscono un particolare tipo di onde di superficie, che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza e della combinazione di onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves). In un mezzo stratificato si verifica una dispersione delle onde prodotte, cioè una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione di propagazione di velocità con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano quindi più in profondità con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti a frequenza maggiore. Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato con grafici $V(\text{fase})/\text{frequenza}$, tramite calcoli e programmi appropriati è convertito in profili $V_s/\text{profondità}$. Si ottiene quindi una dettagliata ricostruzione della distribuzione nel sottosuolo, della velocità delle onde S, anche se sono possibili leggere incertezze nella determinazione ($<10\div20\%$) in particolare quando la stratigrafia è completamente sconosciuta.

3.3.1 Caratteristiche dell'attrezzatura

Le prospezioni geofisiche di tipo Masw sono state eseguite utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale della PASI mod.16SG24 a 24 canali, e impiegando un sistema di energizzazione costituito da un energizzatore sismico di superficie costituito da massa battente.

Le specifiche tecniche dello strumento sono:

Processore:	Pentium 200 MMx Intel
Trattamento dati:	Floating Point 32-Bit
Ambiente operativo:	Windows 3.11
Canali:	24
Display:	VGA colori LCD_TFT 10,4"
Supporto memorizz.:	Hard Disk 2,1 Gb
Risoluzione acquisizione:	6/24 bit
Sonde ambiente interne:	temperatura, umidità relativa
Formato dati:	Pasi (.osv) e SEG-2 (.dat)
Durata acquisizioni:	Rifrazione, $32\div2048$ ms Riflessione, $32\div16384$ ms
Tempi campionamento:	da $16\ \mu\text{s}$ a 2 ms
Filtri digitali:	Passa alto ($25\div400$ Hz) Passa Basso ($100\div250$ Hz) Notch ($50\div180$ Hz)
Attivazione filtri:	in acquisizione o manualmente
Trigger:	inibizione impulsi dovuti a rimbalzi.

Ad esse si aggiungono le seguenti caratteristiche:

- Ricevitori – 24 geofoni da 4,5 Hz collegati in serie da due cavi con lunghezza di 33 m cadauno.

- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm di impatto, disposta direttamente a contatto con il suolo.
- Bindella metrica per la corretta installazione (spaziatura costante) dei ricevitori.

Importanti funzioni dello strumento sono altresì: possibilità di sommatoria con/senza previsualizzazione totale/parziale; marker fisso o dinamico; Auto Gain Control; Delay Time; Pre e post trigger; Noise monitor; Trace size automatica o manuale per ogni canale.

Successivamente, dopo aver computerizzato i dati con un programma dedicato, è possibile rivedere i segnali e quindi eventualmente filtrarli o amplificarli per una più corretta acquisizione dei tempi d'arrivo. La velocità di propagazione delle perturbazioni, indotte energizzando il suolo con il sistema suddetto, dipende dalle caratteristiche meccaniche di un determinato litotipo e in particolare dai moduli elastici di: Young, Poisson, d'incompressibilità, di rigidità e dalla densità. Lo scopo dell'indagine, è la determinazione in sito della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio, o onde S) dei terreni in esame, per la caratterizzazione sismica dell'area in oggetto.

3.3.2 Configurazione spaziale della prova MASW in sito

L'indagine sismica MASW appositamente eseguita nel sito d'intervento, consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - Sh) dei terreni del sottosuolo in esame e di conseguenza una corretta caratterizzazione della categoria sismica del sottosuolo dell'area in oggetto.

L'indagine sismica adottata, Masw (in sismica attiva), è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere le misure di onde Sh nei metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o valutabili con lunghi, costosi ed impegnativi metodi sismici in foro tipo Cross-Hole o Down-Hole).

La tecnica sismica attiva con misura delle onde di superficie (Masw), è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di Vs per la caratterizzazione sismica del sito (NTC-08 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009) questa risulta la miglior indagine per la caratterizzazione del primo sottosuolo anche rispetto alle tecniche basate sull'utilizzo di registrazioni di microtremiti di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) che possono caratterizzare il sottosuolo più in profondità, sino a diverse decine sino alle volte anche a centinaia di metri (Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009) ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie che invece più ci interessa.

Inoltre diversi autori (Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008), segnalano che sistemi d'acquisizione in sismica passiva, sono poco idonei, in quanto l'utilizzo di tecniche passive è possibile o consigliabile nel caso di:

- intenso "rumore antropico" (che impedisce o maschera l'acquisizione dei dati in sismica attiva);
- discreto contrasto di impedenza sismica ($>2,5-3$) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante;
- inoltre è importante l'interramento del sensore sismico passivo (per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno), quindi altri autori (Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002) consigliano di evitare terreni caratterizzati da: erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche, etc.

Per la misura del profilo di Vs è stata quindi realizzata un'indagine sismica: prospezione Masw (rilevazione onde di Rayleigh - tecnica attiva).

La Base Masw eseguita, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta lunghezza (compreso il punto di shot) di 38 m, con geometria come sotto indicato:

➤ Numero geofoni

➤ Spaziatura geofoni	1,0 m
➤ Lunghezza stendimento geofonico	23 m
➤ Distanza punto di shot da ultimo geofono	15 m
➤ Lunghezza complessiva	38 m.

3.3.3 Metodologia d'indagine

Con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh che sono oggi utilizzate mediante approcci multi stazioni che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (Prova Sasw Stoke et al., 1994).

Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica, che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh (V_R) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei.

L'onda di Rayleigh costituisce un particolare tipo d'onda sismica, che si trasmette sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (piccolo sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo di V_s viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione (V_R in funzione della frequenza).

In un mezzo stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza. Gli elementi a bassa frequenza penetrano quindi più in profondità, con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti ad alta frequenza.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici $V(fase)/f(frequenza)$, e tramite elaborazioni e programmi dedicati, è convertito in profili V_s / profondità.

3.3.4 Interpretazione dei dati acquisiti

L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW traggono spunto come sopra accennato dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente d'impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz).

Tale tecnica come d'altronde anche la Masw, è basata sul fatto che, osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, si nota che la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

A tale scopo Park et Alii (1999) hanno studiato e sviluppato il metodo MASW per sopperire alle difficoltà d'applicazione della tecnica Sasw in diverse situazioni. La differenza principale è l'utilizzo simultaneo di 24 (o più) geofoni (sismometri polarizzati verticalmente - frequenza max 4,5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità V_s , ricavati dallo studio delle velocità di fase, dei numerosi treni d'onda di Rayleigh che sono registrati ai geofoni.

I geofoni possono essere spaziati da 0,5 sino ad un massimo di circa 8-10 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su di un'unica misura).

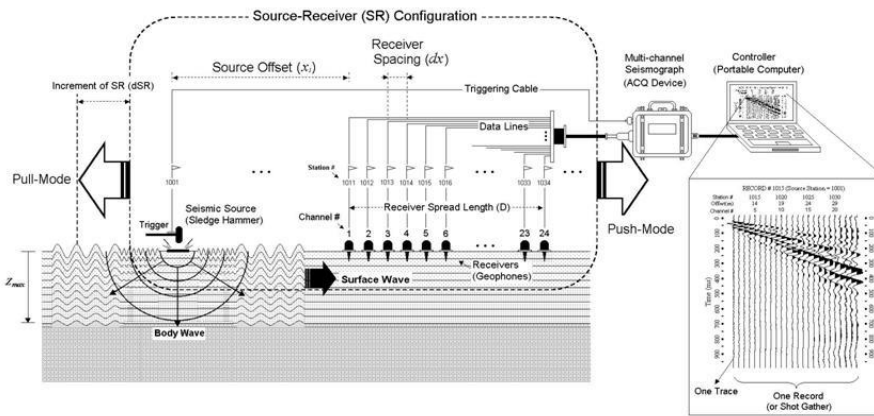


Figura 11 - Schema di acquisizione multicanale.

Le tracce dei sismogrammi, possono essere salvate nel dominio temporale, permettendo quindi di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (la quasi totalità dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).

Si può così costruire un grafico ampiezza/frequenza, che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Successivamente tramite idoneo software (SWAN vers. 2008) eseguendo una particolare "analisi spettrale" si procede all'interpretazione che consiste sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici, secondo il seguente schema.

- Concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ.
- Fase di pre-processing per "ottimizzare" i record stessi in modo da migliorare la qualità dell'interpretazione cioè eventuale filtraggio o "pulizia" dei dati grezzi.
- Passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori.
- Estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK.
- Inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma SWAN utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici.
- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica ricavata dalla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un massimo di 30, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed eseguendo ulteriori inversioni allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale ben sovrapposta a quella sperimentale.

L'obiettivo finale quindi è di ottenere un profilo verticale delle V_s , minimizzando le imprecisioni (risultati random), ottenendo quindi un modello finale ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo mediante le tarature sopra indicate, del reale profilo V_s /profondità.

3.4 Indagine sismica con metodologia DOWN HOLE

Lo scopo della prova consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di volume, di compressione (onde P) e di taglio (onde S), calcolando il tempo ad esse necessario per spostarsi dalla sorgente ai ricevitori, di cui è nota la distanza.

Si suppone che il volume di terreno, interessato dalle indagini sia stratificato orizzontalmente e che all'interno di ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare elastico, omogeneo ed isotropo.

3.4.1 Modalità esecutive della prova

La prova consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, sollecitazioni verticali (per la generazione di onde di compressione P) ed orizzontali (per onde di taglio polarizzate orizzontalmente SH) mediante una sorgente meccanica e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde attraverso un sistema formato da un sensore a cinque componenti, alloggiato a profondità note all'interno del foro di sondaggio appositamente strumentato.

Conosciuta la distanza tra sorgente e ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P ed SH) in corrispondenza della verticale di misura.

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove si compone delle seguenti parti:

- sistema energizzante;
- sistema di ricezione;
- trigger;
- sistema di acquisizione dati.

I sistemi energizzanti (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) devono essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, ovvero con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali (ed eventualmente anche verticali).

Per generare le onde di compressione P, è stato utilizzato l'impatto di una massa battente (martello) su un piatto di alluminio alloggiato sul suolo.

Per generare le onde SH è stato utilizzato un parallelepipedo di legno armato alle estremità di piastre in alluminio.

Il parallelepipedo è stato gravato di un carico statico addizionale in modo da rimanere aderente al terreno sia al momento in cui viene colpito sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venga in parte dispersa. Con questo dispositivo è stato possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile. Inoltre, data l'entità di energia generalmente prodotta, le deformazioni indotte nel terreno in prossimità della superficie sono da considerarsi trascurabili.

Il sistema di ricezione è costituito da cinque componenti, ciascuno dei quali è costituito da un trasduttore di velocità orientato secondo gli assi di due terne cartesiane ortogonali aventi in comune l'origine e l'asse delle ordinate e ruotate rispetto all'origine di 45°. I trasduttori di velocità sono collocati all'interno di un unico contenitore impermeabile sino a 10 Bar di pressione.

È stato adottato un sistema di ancoraggio pneumatico per garantire un buon accoppiamento in foro tra i ricevitori e le pareti di rivestimento.

Il trigger è costituito da un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la sorgente viene attivata, consentendo a un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato

ad un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica.

Il sistema di acquisizione dati è di tipo multicanale in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica minima a 24 bit. Esso è collegato a ciascuno dei geofoni in foro ed al sensore del trigger e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.

SISMOGRAFO M.A.E. - A6000S

CPU NS Geode GXLV 233MHz
Memoria RAM 128 Mb PC100 Mhz
Hard Disk 512 Mb on Compact Flash Disk Udma/33
Batteria di riserva al Litio
Monitoraggio Hardware Winbond W83781D
Display LCD 10,5" Tft Transflective a colori, touch screen
Controller Fast Ethernet Intel 82559ER 10/100 Base-T
Alimentazione con alimentatore Switching 12 Volt 2Ah
Valigia in copolimeri di polypropylene antisciacchiamento
Temperatura di funzionamento da 0 a 60°C
Dimensioni e peso L280 X H220 X P170 mm, 3 Kg

GEOFONI GEOSPACE GS-11D

Natural Frequency	10 ± 0,75 Hz
Coil Resistance @ 25°C ± 5%	380 Ohms
Intrinsic Voltage Sensitivity with 380 Ohm Coil ± 10%	0,32 V/cm/s
Normalized Transduction Constant (V/in/sec)	0,42 (sq.root of Rc)
Open Circuit Damping	0,32 ± 20%
Damping Constant with 380 Ohm Coil	482
Optional Coil Resistances ± 5%	56,16 Ohms
Moving Mass ± 5%	16,8 g
Typical Case to Coil Motion P-P	0,18 cm
Harmonic Distortion with Driving Velocity of 0.7 in/sec (1.8 cm/sec) P-P	0,2 % or less

Dimensioni

Height (less terminals*)	3,35 cm
Diameter	3,18 cm
Weight	111 g

* terminal height is 0,3429 cm

Tabella 8 - Tabella delle caratteristiche del sismografo e dei geofoni utilizzati.

3.4.2 Elaborazione dei dati

La valutazione dei tempi dei primi arrivi, sia nel campo delle onde P che delle onde SH, è stato effettuato utilizzando il software di picking TOM TIME, prodotto dalla Rimrock Geophisic Inc. in collaborazione con la Geo Tom LLC. Tale software permette sia di effettuare analisi di segnali così come rilevati in campagna sia di procedere a filtrazioni, amplificazioni e sovrapposizioni dei segnali stessi.

Si aggiunge che nel caso delle onde SH, è stato utilizzato il software per sovrapporre i segnali in opposizione di fase così da rendere più evidente gli arrivi del primo impulso polarizzato orizzontalmente. Per quanto riguarda le correlazioni applicate per la interpretazione si rimanda all'elaborato specifico fuori testo, si conclude ricordando che le formule utilizzate per il calcolo dei parametri elastici si basano essenzialmente sulle proprietà sismiche dei terreni (V_p e V_s): i

parametri elastici calcolati non sono pertanto sempre confrontabili con quelli ottenuti staticamente da prove in situ e di laboratorio.

E' inoltre opportuno aggiungere che, nel caso di completa saturazione dei materiali attraversati dai treni d'onda la velocità di propagazione delle onde P misurata risulta essere quella caratteristica dell'acqua; ne consegue che il calcolo dei parametri elastici perde di significato.

Nell'elaborato fuori testo sono riportati i certificati delle prove svolte e le relative interpretazioni sia con il metodo diretto che con il metodo del pseudointervallo.

3.5 Prospezione HVSR, con misura di rumore sismico

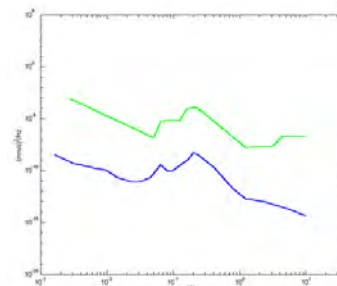
3.5.1 Modalità di indagine

Nel sito in oggetto sono state effettuate nella seconda campagna, in prossimità dell'indagine MASW, la misura del microtremore ambientale della durata di 20 minuti con tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (TROMINO® della Micromed s.p.a.) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1,5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

3.5.2 Sorgente del rumore

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole (10^{-15} [m/s²]² in termini di accelerazione), molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come nel caso delle esplosioni effettuate per la sismica c.d. attiva. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale, in assenza di vento e nel caso in cui il terreno sia roccioso e pianeggiante, lo spettro in frequenza del rumore di fondo presenta l'andamento illustrato in figura a lato, dove



la curva bassa rappresenta il rumore di fondo 'minimo' di riferimento secondo il servizio geologico statunitense (USGS) mentre la curva superiore rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0,14 e 0,07 Hz sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

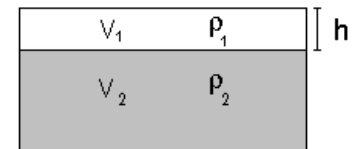
3.5.3 Effetti di percorso

Nel tragitto dalla sorgente *s* al sito *x* le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che, se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di "ray tracing", è presente comunque una parte debolmente correlata nel

segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa

informazione è però 'sepolta' all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste è la tecnica dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR.



3.5.4 Tecnica impiegata

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici, in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). Considerando il sistema in figura a lato in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato. In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a

$$f_r = V_{p1}/(4 h) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = V_{s1}/(4 h) \quad [2]$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati. Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per il contenuto in frequenza, la risposta strumentale e l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo. Si rileva inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, ed in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (LACHET E BARD, 1994). Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. L'applicabilità pratica della semplice formula [2]

è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (GALLIPOLI ET AL., 2000; MUCCIARELLI E GALLIPOLI, 2001; CASTELLARO ET AL., 2005). Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (si veda IBS-VON SEHT e WOHLBERG, 1999).

In questo lavoro i segnali saranno analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali HVSR, ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, come in Mulargia e Castellaro (2006).

4. VALUTAZIONI LITOLOGICHE E STRATIGRAFICHE – MODELLO GEOTECNICO

L'ubicazione dei sondaggi penetrometrici, dei sondaggi a distruzione di nucleo e delle prove di laboratorio e geofisiche è rappresentata in Appendice (cfr. Tav.2, in rosso la campagna del 2011 e precedenti, in blu la campagna del 2018).

La prima campagna di indagini geognostiche (2011 e precedenti) ha consentito di definire il quadro stratigrafico dell'area del 1° lotto e di individuare n.9 litotipi nei terreni costituenti il primo sottosuolo (cfr. Tabella 14). La campagna di indagini geognostiche del 2018 ha consentito di definire il quadro stratigrafico dell'area del 2° lotto e di individuare n.6 litotipi nei terreni costituenti il primo sottosuolo (cfr. Tabella 17).

Sulla base delle correlazioni empiriche, indicate di seguito, si sono ricavati, dalla resistenza alla penetrazione delle prove penetrometriche statiche, le caratteristiche geomeccaniche dei terreni oggetto di analisi e, quindi, i rispettivi valori caratteristici da utilizzare nelle diverse verifiche geotecniche in relazione agli stati limite di riferimento. I dati geotecnici così ottenuti sono stati sottoposti a verifica di dettaglio con i parametri ottenuti da prove di laboratorio effettuati in situ nonché in relazione ad altre esperienze condotte su prove e campioni di terreno prelevati in aree vicine, permettendo di caratterizzare, entro un determinato range di variabilità, le caratteristiche di comportamento geomeccanico dei terreni in esame. La situazione litostratigrafica locale, alla data di esecuzione delle prove, viene rappresentata con le sezioni interpretative in Appendice (cfr. Tav.3A e Tav.3B) cui il progettista potrà fare riferimento.

NOTA

I parametri geotecnici riportati nei paragrafi successivi sono propedeutici alla individuazione dei valori caratteristici utilizzabili nella verifica agli stati limite di interesse. I valori adottabili nelle verifiche di calcolo, che possono essere tratti dalle tabelle successive, dovranno rispondere al criterio di "stima ragionata e cautelativa" (paragrafo 6.2.2 NTC) che deve muovere le scelte all'interno di ogni modello geotecnico. Essi sono stati determinati sulla base degli ambiti di variabilità dei valori riscontrati per ciascun litotipo nelle indagini effettuate. I parametri dovranno essere individuati in relazione alle problematiche geologiche e geotecniche, agli stati limite di riferimento nonché al volume significativo di terreno interessato dalla verifica.

4.1 Risultanze delle indagini penetrometriche statiche

Si ritiene utile precedere i risultati delle interpretazioni delle indagini penetrometriche statiche con indicazioni metodologiche e bibliografiche. Le valutazioni vengono svolte in base al rapporto $F = (q_c/f_s)$ (BEGEMANN, 1965 - RACCOMANDAZIONI A.G.I., 1977), valide in via approssimata per terreni immersi in falda:

F = R_p/RL	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F < 15$	Torbe ed argille organiche	COESIVE
$15 < F \leq 30$	Limi ed argille	COESIVE
$30 < F \leq 60$	Limi sabbiosi e sabbie limose	GRANULARI
$F > 60$	Sabbie e sabbie con ghiaia	GRANULARI

Tabella 9 – Tabella relativa al rapporto q_c/f_s , da cui discende la natura litologica dei litotipi.

Vengono inoltre fornite (si vedano tabelle tra gli Allegati) le valutazioni stratigrafiche indicate da Schmertmann (1978), ottenibili in base ai valori di q_c e di $FR = (q_c/f_s) \%$:

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- Am = argilla (inorganica) tenera
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo/sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi dovrebbe essere:

- $1/3 \div 1/2$ di quello misurato, per i depositi sabbiosi
- il valore misurato (inalterato), per i depositi coesivi.

4.1.1 Successione lito-stratigrafica e geomeccanica

Nella tabella seguente vengono riepilogate alcune informazioni relative alle indagini penetrometriche eseguite. Si tratta della quota altimetrica media alla quale si colloca la prova, dell'indicazione su eventuali lavori preparatori all'esecuzione della stessa (preforo di sondaggio) che nel caso in studio non sono stati eseguiti, la profondità delle infiltrazioni acquifere e la profondità massima raggiunta dalla prospezione. Dapprima vengono riepilogate alcune informazioni relative alle indagini penetrometriche e al sondaggio geognostico, eseguiti nel passato (Intergeo 2002):

Prova n.	Quota altimetrica sondaggio (m s.l.m.)	Preforo di sondaggio (m)	Profondità massima sondaggio (-m da p.c.)
CPT1	64	-	6,00
CPT2	64	-	12,00
CPT3	64	-	6,00
CPT4	64	-	6,00
CPT5	64	-	6,00
CPT6	64	-	6,00
Sondaggio geognostico	?	-	?

Tabella 10 – Tabella sintetica riguardante i sondaggi penetrometrici statici ed il sondaggio geognostico, relativi alla campagna di indagini eseguita da Intergeo nell'anno 2002.

Nella tabella seguente sono riepilogati i dati relativi alla campagna di indagini eseguita nel mese di ottobre (24/10/2011), in rosso in Tav.2:

Prova n.	Quota altimetrica sondaggio (m s.l.m.)	Preforo di sondaggio (m)	Prof. infiltrazioni acquifere (-m da quota inizio sondaggio)	Profondità massima sondaggio (-m da p.c.)
CPT1	62,20	-	9,00	15,00
CPT2	62,20	-	9,00	15,00
CPT3	62,00	-	9,00	15,00
CPT4	62,00	-	9,00	15,00
CPT5	61,80	-	9,00	15,00
CPT6	61,60	-	9,00	15,00
CPT7	61,60	-	9,00	15,00
CPT8	61,80	-	9,00	15,00

Tabella 11 – Tabella sintetica riguardante i sondaggi penetrometrici statici eseguiti in data 24/10/2011.

Nella tabella seguente sono riepilogati i dati relativi alla campagna di indagini eseguita nel mese di luglio 2018 (27 e 30/07/2018), in blu in Tav.2:

Prova n.	Quota altimetrica sondaggio (m s.l.m.)	Preforo di sondaggio (m)	Prof. infiltrazioni acquifere (-m da quota inizio sondaggio)	Profondità massima sondaggio (-m da p.c.)
CPT1	62,80	-	8,80	15,00
CPT2	63,00	-	5,80	15,00
CPT3	62,80	-	6,20	15,00
CPT4	62,40	-	10,20	15,00
CPT5	62,40	-	10,20	15,00

Tabella 12 – Tabella sintetica riguardante i sondaggi penetrometrici statici eseguiti in data 27/07/2018 e 30/07/2018.

Tutto ciò premesso, con riferimento ai risultati delle indagini geognostiche, si rileva nel sottosuolo interessato dalla campagna di indagini eseguita nel 2002 la seguente successione lito-stratigrafica, come descritta sinteticamente nella Relazione geologica più volte citata (Intergeo 2002):

PROF. STRATO da ... m a ...m	Descrizione strato
------------------------------	--------------------

(-m da p.c.)	
da p.c. a ca. -3,0÷3,40 m da p.c.	Strato I - si tratta di <u>argilla limosa consolidata</u> , per essiccazione di color nocciola; lo spessore è pari a ca. 3 m; la qc media registrata è pari a ca. 14÷15 kg/cm² (1,4÷1,5 MPa).
da -3,0÷3,40 m a ca. -7,20 m da p.c.	Strato II - si tratta di uno strato di <u>ghiaie in matrice limo-sabbiosa</u> talora abbondante; lo spessore è pari a ca. 4 m; i valori di N _{SPT} sono compresi tra 30 e 52 colpi/piede .
da -7,20 m a ca. -12,00 m da p.c. (fine prova)	Strato III - si tratta di un livello di natura coesiva, caratterizzato da una litologia prevalentemente <u>argillosa e argillo-limosa</u> , mediamente consolidata; lo spessore è pari a ca. 5 m e si estende fino al termine della prova; la qc media è pari a ca. 16÷18 kg/cm² (1,6÷1,8 MPa).

Tabella 13 – Tabella sintetica relativa alla successione lito-stratigrafica registrata nella campagna Intergeo 2002.

Con riferimento ai risultati delle prove penetrometriche effettuate nella campagna di indagini di ottobre 2011 (in corrispondenza del 1° lotto), si rileva nel sottosuolo la seguente successione lito-stratigrafica (cfr. anche Tav.3A):

PROF. STRATO da ... m a ...m (-m da p.c.)	Descrizione strato
da p.c. a ca. -0,60 m da p.c.	Strato I - si tratta di <u>terreno vegetale</u> , ricoperto da cotico erboso; lo spessore è pari a ca. 0,60 m.
da -0,60 m a ca. -4,20 m da p.c. (1)	Strato II - si tratta di un livello granulare rappresentato da <u>ghiaie</u> , con a tratti la presenza di livelli più francamente limo-argillosi; lo spessore è pari a ca. 3,6 m; la qc media registrata si aggira sui 192 kg/cm² (19,2 MPa).
da -4,20 m a ca. -8,0 m da p.c. (*) (2)	Strato III - si tratta di uno strato coesivo costituito da <u>limi e argille</u> , con a tratti livelli di argille organiche; lo spessore è pari a ca. 3,8 m; la qc media registrata si aggira sui 19 kg/cm² (1,9 MPa).
da -8,0 m a ca. -9,0 m da p.c. (**)	Strato IV - si tratta di un livello di natura coesiva/granulare costituito da <u>limi sabbiosi/sabbie</u> ; lo spessore è pari a ca. 1,0 m; la qc media registrata si aggira sui 35 kg/cm² (3,5 MPa). Non è stata registrata la presenza di questo strato in alcune indagini in sito (cfr. CPT5 e CPT6).
da -9,0 m a ca. -11,60 m da p.c. (***)	Strato V - si tratta di uno strato coesivo caratterizzato dalla prevalenza di <u>argille</u> consistenti; lo spessore è pari a ca. 2,6 m; la qc media registrata si aggira sui 20 kg/cm² (2 MPa).
da -11,6 m a ca. -14,20 m da p.c. (3)	Strato VI - si tratta di un livello granulare rappresentato da <u>ghiaie</u> , con a tratti la presenza di livelli più francamente sabbiosi; lo spessore è pari a ca. 2,6 m; la qc media registrata si aggira sui 230 kg/cm² (23 MPa).
da -14,2 m a ca. -15,00 m da p.c. (fine penetrometriche) o sino a 17,7 m da p.c. (come risulta dai sondaggi) (****)	Strato VII - si tratta di uno strato di natura coesiva costituito da <u>argille</u> ; lo spessore è pari a ca. 3,5 m; la qc media registrata si aggira sui 32 kg/cm² (3,2 MPa). Non è stata registrata la presenza di questo strato in alcune indagini in sito (cfr. CPT1 e CPT2).
da -17,7 m a ca. -19,50 m da p.c. (4)	Strato VIII - si tratta di un livello di natura granulare prevalente, costituito da <u>ghiaie e sabbie</u> , con livelli più francamente limosi. Lo spessore è pari a ca. 1,8 m. È stato osservato nei sondaggi (S1 e S2).
da -19,5 m a ca. -34,00 m da p.c.	Strato IX - si tratta di uno strato di natura coesiva, costituito da <u>argille grigie</u> , mediamente consistenti, osservato unicamente nel sondaggio S2. Lo spessore è pari a ca. 14,5 m.
NOTE qc=resistenza penetrometrica media all'avanzamento della punta (*) in questo livello, denominato Strato III, sono stati prelevati i campioni S1/SH2 , a prof. 9÷9,6 m da p.c., e S2/SH1 , a prof. 5,6÷6,2 m da pc. (**) nel livello denominato Strato IV, è stato prelevato il campione S1/SH1 , a prof. 6÷6,6 m da pc. (***) nel livello denominato Strato V, è stato prelevato il campione S2/SH2 , a prof. 9,2÷9,8 m da pc. (****) nel livello denominato Strato VII, sono stati prelevati i campioni S1/SH3 , a prof. 15÷15,6 m da p.c., e S2/SH3 , a prof. 14,4÷15 m da pc. (1) in questo livello, denominato Strato II, sono state effettuate n.2 SPT nel sondaggio S2 (2) in questo livello, denominato Strato III, è stata effettuata una SPT nel sondaggio S1 (3) nel livello denominato Strato VI, è stata effettuata una SPT, nel sondaggio S1, e una SPT nel sondaggio S2 (4) nel livello denominato Strato VIII, è stata effettuata una SPT nel sondaggio S2	

Tabella 14 – Tabella sintetica riguardante la successione lito-stratigrafica osservata nel terreno di fondazione del 1° lotto.

Con riferimento ai risultati delle prove penetrometriche statiche effettuate nella campagna di indagini di luglio 2018 (in corrispondenza del 2° lotto), si rileva nel sottosuolo la seguente successione lito-stratigrafica (cfr. anche Tav.3B):

PROF. STRATO da ... m a ...m (-m da p.c.)	Descrizione strato
da p.c. a ca. -0,50 m da p.c.	Strato I - si tratta di <u>terreno vegetale</u> , ricoperto da cotico erboso; lo spessore è pari a ca. 0,50 m.
da -0,50 m a ca. -2,00 m da p.c.	Strato II - si tratta di uno strato di <u>limi e argille</u> , molto consistenti, con livelli di argille organiche; lo spessore medio è pari a ca. 1,5 m, che si annulla spostandosi verso il centro del 2° lotto (cfr. CPT2 e CPT5 nei quali è presente tale livello, che risulta invece assente nelle altre CPT); la Rp media registrata

	si aggira sui 42 kg/cm² (4,2 MPa).
da -2,0 m a ca. -4,60 m da p.c.	Strato III - si tratta di un livello granulare rappresentato da <u>ghiaie</u> , con a tratti la presenza di livelli più francamente limo-argillosi; lo spessore è variabile da ca. 2,6 a ca. 4 m; la qc media registrata si aggira sui 222 kg/cm² (22,2 MPa).
da -4,60 m a ca. -11,6 m da p.c.	Strato IV - si tratta di uno strato coesivo caratterizzato dalla prevalenza di <u>argille consistenti</u> , con a tratti livelli di natura coesiva/granulare costituiti da limi sabbiosi/sabbie limose; lo spessore è pari a ca. 7 m; la qc media registrata si aggira sui 26 kg/cm² (2,6 MPa).
da -11,6 m a ca. -14,00 m da p.c.	Strato V - si tratta di un livello granulare rappresentato da <u>ghiaie</u> , con a tratti la presenza di livelli più francamente sabbiosi; lo spessore è pari a ca. 2,4 m; la qc media registrata si aggira sui 289 kg/cm² (29 MPa).
da -14,0 m a ca. -15,00 m da p.c. (fine penetrometriche)	Strato VI - si tratta di uno strato a prevalente natura coesiva costituito da <u>argille consistenti</u> , con a tratti livelli più francamente sabbio-limosi; lo spessore è pari a ca. 1 m; la qc media registrata si aggira sui 34 kg/cm² (3,4 MPa).

Tabella 15 – Tabella sintetica riguardante la successione lito-stratigrafica osservata nel terreno di fondazione del 2° lotto.

Dal punto di vista geotecnico, in corrispondenza delle prove penetrometriche eseguite a corredo della progettazione del 1° lotto, è stata rilevata la seguente successione geomeccanica media:

N.	STR.	PROF. (m)	Descrizione strato	qc		Y'	Φ'	Cu		M	
				(MPa)	(kg/cm ²)	(t/m ³)	(°)	(KPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)
1	I	p.c.+0,60	Terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/
	II	0,60÷4,40	Ghiaie	22,92	229,5	1,85	38	-	-	68,85	688,53
	III	4,40÷7,60	Limi e argille	1,74	17,4	1,85	7	70,41	0,70	5,56	55,63
	IV	7,60÷9,20	Limi sabbiosi/sabbie	5,01	50,1	1,62	18	37,89	0,38	14,28	142,75
	V	9,20÷11,40	Argille consistenti	1,95	19,5	0,96	5	76,48	0,76	6,0	60
	VI	11,40÷15,00	Ghiaie con sabbie	24,85	248,5	1,11	38	-	-	74,55	745,50
2	I	p.c.+0,40	Terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/
	II	0,40÷4,00	Ghiaie	21,81	218,1	1,85	38	-	-	65,44	654,4
	III	4,00÷8,40	Limi e argille	1,84	18,36	1,85	9	72,84	0,73	5,827	58,27
	IV	8,40÷9,00	Limi sabbiosi/sabbie	2,83	28,33	1,54	20	66,1	0,66	8,53	85,3
	V	9,00÷11,00	Argille consistenti	2,13	21,30	0,96	9	81,38	0,81	6,46	64,6
	VI	11,00÷15,00	Ghiaie con sabbie	19,25	192,5	1,09	37	-	-	57,73	577,35
3	I	p.c.+0,60	Terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/
	II	0,60÷4,00	Ghiaie	9,688	96,88	1,85	33	-	-	29,1	291
	III	4,00÷7,00	Limi e argille	2,81	28,07	1,85	19	84,41	0,84	6,98	69,8
	IV	7,00÷7,60	Limi sabbiosi/sabbie	3,93	39,33	1,85	21	60,42	0,60	11,85	118,50
	V	7,60÷8,40	Argille consistenti	2,37	23,75	1,85	14	83,21	0,83	6,67	66,73
	IV	8,40÷9,00	Limi sabbiosi/sabbie	3,93	39,33	1,70	21	60,42	0,60	11,85	118,50
	V	9,00÷11,20	Argille consistenti	2,37	23,75	0,954	14	83,21	0,83	6,67	66,73
	VI	11,20÷13,80	Ghiaie con sabbie	21,10	211,0	1,10	38	-	-	63,29	632,9
4	I	p.c.+0,40	Terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/
	II	0,40÷4,40	Ghiaie	19,51	195,05	1,85	37	-	-	58,51	585,1
	III	4,40÷8,80	Limi e argille	1,82	18,24	1,85	6	73,36	0,73	5,72	57,18
	IV	8,80÷9,20	Limi sabbiosi/sabbie	2,45	24,5	0,895	18	36,75	0,37	7,35	73,5
	V	9,20÷11,80	Argille consistenti	1,97	19,69	0,957	8	77,36	0,77	5,94	59,38
	VI	11,80÷14,00	Ghiaie con sabbie	17,71	177,09	1,083	37	-	-	53,13	531,27
	VII	14,00÷15,00	Argille	2,02	20,2	0,93	10	63,58	0,64	6,27	62,75
5	I	p.c.+0,60	Terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/
	II	0,60÷4,40	Ghiaie	17,31	173,05	1,85	36	-	-	51,94	519,4
	III	4,40÷8,80	Limi e argille	1,46	14,64	1,85	4	62,94	0,629	4,94	49,41
	V	8,80÷12,00	Argille consistenti	2,0	20,0	0,957	8	77,81	0,78	6,131	61,31
	VI	12,00÷13,80	Ghiaie	22,76	227,56	1,11	37	-	-	68,27	682,67
	VII	13,80÷15,00	Argille	2,82	28,17	0,93	18	66,53	0,66	5,68	56,83
6	I	p.c.+0,40	Terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/
	II	0,40÷4,20	Ghiaie	21,02	210,21	1,85	37	-	-	63,05	630,47
	III	4,20÷9,40	Limi e argille	1,69	16,85	1,75	7	69,70	0,697	5,369	53,69

N.	STR.	PROF. (m)	Descrizione strato	qc		Y'	Φ'	Cu		M	
				(MPa)	(kg/cm ²)	(t/m ³)	(°)	(KPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)
	V	9,40÷11,80	Argille consistenti	1,99	19,92	0,95	13	77,36	0,77	6,08	60,83
	VI	11,80÷14,20	Ghiaie	26,46	264,58	1,12	38	-	-	79,37	793,75
	VII	14,20÷15,00	Argille	3,7	37,00	0,94	27	52,27	0,523	4,70	47,0
7	I	p.c.÷0,80	Terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/
	II	0,80÷4,40	Ghiaie	24,17	241,72	1,85	38	-	-	72,52	725,22
	III	4,40÷7,00	Limi e argille	2,21	22,15	1,85	13	83,13	0,83	6,67	66,77
	IV	7,00÷9,20	Limi sabbiosi/sabbie	2,93	29,36	1,68	17	55,09	0,551	7,86	78,64
	V	9,20÷11,80	Argille consistenti	1,79	17,92	0,95	5	72,77	0,728	5,55	55,54
	VI	11,80÷14,20	Ghiaie con sabbie	29,56	295,58	1,145	39	-	-	88,68	886,83
	VII	14,20÷15,00	Argille	4,57	45,75	0,925	20	22,27	0,223	1,85	18,50
8	I	p.c.÷0,40	Terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/
	II	0,40÷4,20	Ghiaie	17,03	170,32	1,85	35	-	-	51,10	511,0
	III	4,20÷8,20	Limi e argille	1,745	17,45	1,85	7	66,29	0,662	5,07	50,75
	IV	8,20÷9,20	Limi sabbiosi/sabbie	3,76	37,60	1,47	21	31,06	0,3106	11,26	112,60
	V	9,20÷11,60	Argille consistenti	2,09	20,92	0,95	11	80,10	0,801	6,275	62,75
	VI	11,60÷14,40	Ghiaie con sabbie	24,01	240,14	1,14	39	-	-	72,02	720,21
	VII	14,40÷15,00	Argille	3,86	38,67	0,92	19	35,93	0,359	3,23	32,33

Tabella 16 – Caratteristiche geomeccaniche medie degli strati costituenti il terreno di fondazione del 1° lotto. qc: resistenza alla punta; Y': peso dell'unità di volume efficace; Φ': angolo di attrito interno efficace; Cu: coesione non drenata; M: modulo edometrico.

Si precisa che nelle tabelle precedenti sono forniti valori medi calcolati sulla base dei dati registrati durante l'esecuzione delle indagini; per ottenere le caratteristiche geomeccaniche ad una profondità prefissata, si rimanda ai tabulati fuori testo relativi alle indagini in sito eseguite nel 2011, essendo lo schema sopra proposto puramente indicativo.

Dal punto di vista geotecnico, in corrispondenza delle prove penetrometriche eseguite a corredo della progettazione del 2° lotto, è stata rilevata la seguente successione geomeccanica media:

N.	STR.	PROF. (m)	Descrizione strato	qc		Y'	Φ'	Cu		M	
				(MPa)	(kg/cm ²)	(t/m ³)	(°)	(KPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)
1 ₂₀₁₈	I	p.c.÷0,60	Terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/
	III	0,60÷4,40	Ghiaie	17,29	172,9	1,85	37	-	-	51,88	518,8
	IV	4,40÷12,00	Argille consistenti con livelli di limi sabbiosi/sabbie	2,54	25,4	1,45	/	64	0,64	5,03	50,3
	V	12,00÷13,40	Ghiaie con sabbie	25,57	255,7	1,10	38	-	-	67,71	677,1
	VI	13,40÷15,00	Argille consistenti	3	30	0,96	-	105	1,05	9,0	90
2 ₂₀₁₈	I	p.c.÷0,60	Terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/
	II	0,60÷1,60	Limi e argille	4,9	49,0	1,85	-	88	0,88	7,92	79,2
	III	1,60÷4,80	Ghiaie	26,92	269,2	1,85	38	-	-	80,76	807,6
	IV	4,80÷11,80	Argille consistenti con livelli di limi sabbiosi/sabbie	2,23	22,3	1,03	-	70	0,70	5,6	56
	V	11,80÷14,20	Ghiaie con sabbie	31,46	314,6	1,14	39	-	-	94,38	943,8
	VI	14,20÷15,00	Argille consistenti	3,75	37,5	0,96	-	97	0,97	8,7	87,0
3 ₂₀₁₈	I	p.c.÷0,40	Terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/
	III	0,40÷5,00	Ghiaie	19,23	192,3	1,85	35	-	-	57,53	575,3
	IV	5,00÷11,80	Argille consistenti con livelli di limi sabbiosi/sabbie	2,34	23,4	1,07	-	75	0,75	6,14	61,4
	V	11,80÷14,40	Ghiaie con sabbie	32,52	325,2	1,13	39	-	-	97,57	975,7
	VI	14,40÷15,00	Argille consistenti	4,4	44	0,9	29	-	-	13,2	132
4 ₂₀₁₈	I	p.c.÷0,60	Terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/
	III	0,60÷4,40	Ghiaie	10,86	108,6	1,85	34	-	-	32,57	325,7

N.	STR.	PROF. (m)	Descrizione strato	qc		Y'	Φ'	Cu		M	
				(MPa)	(kg/cm ²)	(t/m ³)	(°)	(KPa)	(kg/cm ²)	(MPa)	(kg/cm ²)
	IV	4,40÷11,60	Argille consistenti con livelli di imi sabbiosi/sabbie	2,54	25,4	1,65	-	69	0,69	5,45	54,5
	V	11,60÷13,40	Ghiaie con sabbie	34,56	345,6	1,15	40	-	-	103,67	1.036,7
	VI	13,40÷15,00	Argille consistenti	2,93	29,3	0,94	-	77	0,77	6,68	66,8
5 ²⁰¹⁸	I	p.c.÷0,60	Terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/
	II	0,60÷2,40	Limi e argille	3,5	35	1,85	-	122	1,22	10,52	105,2
	III	2,40÷4,40	Ghiaie	36,74	367,4	1,85	40	-	-	110,22	1.102,2
	IV	4,40÷11,20	Argille consistenti con livelli di imi sabbiosi/sabbie	3,97	39,7	1,68	-	63	0,63	5,11	51,1
	V	11,20÷12,80	Ghiaie con sabbie	23,6	236	1,09	37	-	-	70,8	708
	VI	12,80÷15,00	Argille consistenti	3,05	30,5	0,95	-	95	0,95	8,15	81,5

Tabella 17 – Caratteristiche geomeccaniche medie degli strati costituenti il terreno di fondazione del 2° lotto. qc: resistenza alla punta; Y': peso dell'unità di volume efficace; Φ': angolo di attrito interno efficace; Cu: coesione non drenata; M: modulo edometrico.

Si precisa che nelle tabelle precedenti sono forniti valori medi calcolati, conteggiando anche i valori nulli, sulla base dei dati registrati durante l'esecuzione delle indagini; per ottenere le caratteristiche geomeccaniche ad una profondità prefissata, si rimanda ai tabulati riportati in Appendice, essendo lo schema sopra proposto puramente indicativo.

Relativamente ai parametri geomeccanici caratteristici (X_k) dei terreni di fondazione si precisa che il documento "Istruzione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC" (C.6.2.2) del 2 febbraio 2009 n.617, ritiene giustificato considerare che i valori medi dei dati geotecnici rappresentino altresì i valori caratteristici quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (ciò accade ad es. in fondazioni superficiali o in un dissesto) con possibile compensazione delle eterogeneità. Si ricorda altresì che dai parametri caratteristici, al fine di determinare i valori di progetto (X_d), a seconda dell'Approccio progettuale prescelto si dovranno applicare differenti fattori di sicurezza parziale (per parametro) γ_m (ai sensi della normativa vigente). Applicando l'Approccio 2 ($DA_2 = A_1 + M_1 + R_3$), i parametri geotecnici caratteristici risultano uguali ai parametri di progetto, poiché i coefficienti riduttivi γ_m sono pari all'unità. Nel caso invece si applichi l'Approccio 1 Combinazione 2 ($DA_{1-2} = A_2 + M_2 + R_2$) tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nella Tabella 6.2.II (cfr. NTC2018) i parametri geotecnici del terreno vengono ridotti applicando coefficienti γ_m diversi dall'unità.

Nel prosieguo vengono riepilogate le risultanze delle campagne di indagini geognostiche effettuate nel 2011 e precedenti. Rispetto alla campagna di indagine del 2018 verranno poi descritte le risultanze della prospezione sismica passiva HVSR₁ - eseguita a luglio 2018 - per determinare la frequenza di risonanza del sottosuolo, in corrispondenza del 2° lotto del nuovo polo scolastico.

4.2 Risultanze dei sondaggi a rotazione

Durante l'esecuzione dei sondaggi a rotazione e carotaggio continuo (S1 e S2) a corredo della campagna di indagini del 2011 per la progettazione esecutiva del 1° lotto, la cui ubicazione è visibile nella cartografia tematica allegata (cfr. Tav.2) è stato possibile ricostruire le seguenti stratigrafie. In corrispondenza di S1:

STR.	PROF. (m)	Descrizione strato	Pocket		S.P.T.		Falda (m da p.c.)
			(kPa)	(Kg/cm ²)	Quota (m da p.c.)	colpi	
I	p.c.÷0,80	Terreno vegetale limo-argilloso bruno, con resti vegetali					
II	0,80÷3,40	Ghiaie asciutte, non alterate, di dimensioni centimetriche a spigoli arrotondati (di natura calcarea, granitica, serpentinitica etc.) con matrice argillosa					
	3,40÷3,60	Limi argillosi nocciola, asciutti e mediamente addensati	350÷200	3,5÷2,0			

	3,60÷4,70	Ghiaie asciutte, non alterate, di dimensioni centimetriche a spigoli arrotondati (di natura calcarea, granitica, serpentinitica, etc.) con matrice argillosa					
III	4,70÷5,00	Limi argillosi nocciola, asciutti, mediamente consistenti e con livelli organici	300÷240	3,0÷2,4	4,70÷5,30	5 5 8 11	
	5,00÷5,60	Limi argillosi nocciola con matrice sabbiosa e con intercalazioni ghiaiose fini, asciutti, addensati, consistenti e con livelli organici					
IV	5,60÷6,00	Limi sabbiosi nocciola, asciutti, addensati					
	6,00÷6,60	Limo argilloso debolmente sabbioso marrone chiaro PRELIEVO CAMPIONE (S1/SH1)	140÷120	1,4÷1,2 (fondo camp.)			
III	6,60÷9,00	Limi argillosi nocciola ocracei, consistenti, con abbondanti livelli organici e resti carboniosi	220÷100	2,2÷1,0			
	9,00÷9,60	Limo argilloso e sabbioso marrone chiaro PRELIEVO CAMPIONE (S1/SH2)	240÷200	2,4÷2,0 (fondo camp.)			-9,00
V	9,60÷11,50	Argille grigio-nocciola, a tratti più francamente limose e sabbiose, da poco consistenti a mediamente consistenti, con abbondanti livelli organici e resti carboniosi, umide	220÷90	2,2÷0,9			
VI	11,50÷12,30	Ghiaie da medie a fini con matrice sabbiosa grossolana, dimensioni centimetriche (di natura calcarea, serpentinitica, etc.)					
	12,30÷14,20	Ghiaia che passa a sabbia grossolana (tra 14 e 14,20 m) con abbondante matrice limo-argillosa, ocracea			12,70÷13,15	26 20 21	
VII	14,20÷15,00	Argille grigie, mediamente consistenti	180÷110	1,8÷1,1			
	15,00÷15,60	Argilla con limo grigio PRELIEVO CAMPIONE (S1/SH3)	200÷180	2,0÷1,8 (fondo camp.)			
	15,60÷16,00	Argille grigio-nocciola, mediamente consistenti	160÷150	1,6÷1,5			
VIII	16,00÷17,60	Sabbie da medie a fini, con limi, grigie, con scarsa matrice argillosa e qualche occasionale ciottolo ghiaioso centimetrico					
	17,60÷19,50	Limi argillosi grigi-brunastri, da poco a mediamente consistenti, con livelli più francamente sabbiosi e con concrezioni carbonatiche	250÷60	2,5÷0,6			
IX	19,50÷28,60	Argille grigie, plastiche, da mediamente consistenti a consistenti, con occasionale presenza di concrezioni carbonatiche e intercalazioni sabbiose	290÷150	2,9÷1,5			
	28,60÷33,20	Sabbie limose con abbondante matrice argillosa, grigie, mediamente addensate sature, con occasionali livelli ghiaiosi fini e resti carboniosi	80÷130	0,8÷1,3			
	33,20÷34,00	Argille grigie, plastiche, mediamente consistenti, che passano ad argille organiche grigio-nere	160÷240	1,6÷2,4			

Tabella 18 - Tabella sintetica riguardante la successione lito-stratigrafica osservata nel sondaggio S1.

In corrispondenza di S2:

STR.	PROF. (m)	Descrizione strato	Pocket		S.P.T.		Falda (m da p.c.)
			(kPa)	(Kg/cm²)	Quota (m da p.c.)	colpi	
I	p.c.+0,60	Terreno vegetale limo-argilloso bruno, con resti vegetali					
II	0,60÷4,50	Ghiaie asciutte, non alterate, di dimensioni centimetriche a spigoli arrotondati (di natura calcarea, granitica, serpentinitica etc.) con matrice limo-sabbiosa			1,70÷2,15	14 20 21	
					4,00÷4,45	6 6 4	
III	4,50÷5,60	Limi argillosi bruni, asciutti, mediamente consistenti e con livelli organici, con occasionali concrezioni calcaree	300÷80	3,0÷0,8			
	5,60÷6,20	Limo con sabbia argillosa marrone PRELIEVO CAMPIONE (S2/SH1)		1,2 (fondo camp.)			
	6,20÷9,20	Limi argillosi nocciola ocracei, consistenti, con abbondanti livelli organici e resti carboniosi	220÷80	2,2÷0,8			

V	9,20÷9,80	Argilla con limo sabbiosa marrone PRELIEVO CAMPIONE (S₂/SH₂)	180÷170	1,8÷1,7 (fondo camp.)			-9,35
	9,80÷11,60	Argille nocciola, a tratti più francamente limose e sabbiose, da poco consistenti a mediamente consistenti, con abbondanti livelli organici e resti carboniosi, umide	270÷130	2,7÷1,3			
VI	11,60÷12,30	Ghiaie da medie a fini con matrice sabbiosa grossolana, spigoli arrotondati, dimensioni centimetriche (di natura calcarea, serpentinitica, etc.)					
	12,30÷14,00	Ghiaie da medie a fini con matrice limo-sabbiosa, spigoli arrotondati, dimensioni centimetriche (di natura calcarea, serpentinitica, etc.) e residui organici			12,30÷12,75	13 15 32	
VII	14,00÷14,40	Argille limose grigie, mediamente consistenti, con livelli organici					
	14,40÷15,00	Limo argilloso marrone che passa ad argilla limosa grigio scura PRELIEVO CAMPIONE (S₂/SH₃)	230÷150	2,3÷1,5 (fondo camp.)			
	15,00÷16,10	Argille grigie, mediamente consistenti	200÷170	2,0÷1,7			
	16,10÷17,30	Argille limo-sabbiose, grigie, mediamente consistenti	160÷140	1,6÷1,4			
	17,30÷17,70	Argille grigie, plastiche, da mediamente consistenti a consistenti, con occasionale presenza di concrezioni carbonatiche e intercalazioni ghiaiose fini	180÷130	1,8÷1,3			
VIII	17,70÷20,00	Ghiaie da medie a fini, in matrice limo-sabbiosa grigia, con spigoli arrotondati, piatte e dimensioni centimetriche (di natura calcarea, serpentinitica, etc.).			18,60÷19,05	19 24 31	

Tabella 19 - Tabella sintetica riguardante la successione lito-stratigrafica osservata nel sondaggio S₂.

Le stratigrafie ricostruite tramite i sondaggi a rotazione confermano quanto registrato durante l'esecuzione delle prove penetrometriche in sito, come risulta anche graficamente dalla rappresentazione della sezione stratigrafica riportata tra le tavole tematiche (cfr. Tav.3A); il livello della falda registrato durante l'esecuzione dei sondaggi (dal 17/10/2011 al 24/10/2011) si situa a ca. -9,00 m da p.c.; tale livello è confermato dalle indagini penetrometriche (effettuate in data 24/10/2011). Si rammenta che durante l'esecuzione dei sondaggi è stata effettuato il prelievo di n.6 campioni. La sigla S₁ designa il numero del sondaggio, la sigla SH seguita dal numero progressivo contraddistingue il numero del campione:

- S₁SH₁, campione prelevato durante l'esecuzione del sondaggio S₁ a prof. 6,00÷6,60 m da p.c.;
- S₁SH₂, campione prelevato durante l'esecuzione del sondaggio S₁ a prof. 9,00÷9,60 m da p.c.;
- S₁SH₃, campione prelevato durante l'esecuzione del sondaggio S₁ a prof. 15,00÷15,60 m da p.c.;
- S₂SH₁, campione prelevato durante l'esecuzione del sondaggio S₂ a prof. 5,60÷6,20 m da p.c.;
- S₂SH₂, campione prelevato durante l'esecuzione del sondaggio S₂ a prof. 9,20÷9,80 m da p.c.;
- S₂SH₃, campione prelevato durante l'esecuzione del sondaggio S₂ a prof. 14,40÷15,00 m da p.c. .

Le risultanze delle indagini di laboratorio sono riportate in un paragrafo successivo.

4.2.1 Letture al pocket penetrometer

Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche a carotaggio continuo, al momento dell'estrazione del terreno dal campionatore e prima della sua collocazione nelle cassette catalogatrici, si è ricorso alla valutazione della resistenza a compressione semplice "σ" dei litotipi prevalentemente limosi e argillosi tramite il pocket penetrometer. Dal valore di resistenza alla compressione semplice σ si può ottenere la coesione non drenata (C_u), la prima è legata alla seconda dal rapporto 2:1, ovvero la coesione non drenata corrisponde alla metà del valore di resistenza (C_u=σ/2). Analoga registrazione è stata effettuata con torvane tascabile all'atto dell'apertura in campione in laboratorio (cfr. elaborato

fuori testo): esso misura la resistenza al taglio di terre coesive. In questo caso la resistenza al taglio è data unicamente dalla coesione; solitamente nello stesso terreno il valore di resistenza dello scissometro è la metà del valore di resistenza del penetrometro tascabile. I dati medi ottenuti dai valori letti al pocket (terza colonna), hanno permesso di ottenere i seguenti valori di coesione non drenata (C_u) in quarta colonna, durante l'esecuzione del sondaggio S1. Essi vengono confrontati con il dato medio ottenuto dalle prove penetrometriche e dalla lettura al pocket e torvane all'apertura del campione in laboratorio:

STR.	PROF. (m)	Descrizione strato	Pocket (kPa)	C_u (kPa)	C_u^* (kPa)	C_u^{**} (kPa)
I	p.c.÷0,80	Terreno vegetale limo-argilloso bruno, con resti vegetali	/	/	/	/
II	0,80÷3,40	Ghiaie asciutte, non alterate, di dimensioni centimetriche a spigoli arrotondati (di natura calcarea, granitica, serpentinitica etc.) con matrice argillosa				
	3,40÷3,60	Limi argillosi nocciola, asciutti e mediamente addensati	350÷200	175÷100		
	3,60÷4,70	Ghiaie asciutte, non alterate, di dimensioni centimetriche a spigoli arrotondati (di natura calcarea, granitica, serpentinitica, etc.) con matrice argillosa				
III	4,70÷5,00	Limi argillosi nocciola, asciutti, mediamente consistenti e con livelli organici	300÷240	150÷120	75,26	
	5,00÷5,60	Limi argillosi nocciola con matrice sabbiosa e con intercalazioni ghiaiose fini, asciutti, addensati, consistenti e con livelli organici				
IV	5,60÷6,00	Limi sabbiosi nocciola, asciutti, addensati			50,29	
	6,00÷6,60	Limo argilloso debolmente sabbioso marrone chiaro PRELIEVO CAMPIONE (S1/SH1)	140÷120	75÷60		75 - 45
III	6,60÷9,00	Limi argillosi nocciola ocrei, consistenti, con abbondanti livelli organici e resti carboniosi	220÷100	110÷50	75,26	
	9,00÷9,60	Limo argilloso e sabbioso marrone chiaro PRELIEVO CAMPIONE (S1/SH2)	240÷200	120÷100		75 - 70
V	9,60÷11,50	Argille grigio-nocciola, a tratti più francamente limose e sabbiose, da poco consistenti a mediamente consistenti, con abbondanti livelli organici e resti carboniosi, umide	220÷90	110÷45	79,61	
VI	11,50÷12,30	Ghiaie da medie a fini con matrice sabbiosa grossolana, dimensioni centimetriche (di natura calcarea, serpentinitica, etc.)				
	12,30÷14,20	Ghiaia che passa a sabbia grossolana (tra 14 e 14,20 m) con abbondante matrice limo-argillosa, ocrea				
VII	14,20÷15,00	Argille grigie, mediamente consistenti	180÷110	90÷55	50,86	
	15,00÷15,60	Argilla con limo grigio PRELIEVO CAMPIONE (S1/SH3)	200÷180	100÷90		120 - 105
	15,60÷16,00	Argille grigio-nocciola, mediamente consistenti	160÷150	80÷75		
VIII	16,00÷17,60	Sabbie da medie a fini, con limi, grigie, con scarsa matrice argillosa e qualche occasionale ciottolo ghiaioso centimetrico				
	17,60÷19,50	Limi argillosi grigi-brunastri, da poco a mediamente consistenti, con livelli più francamente sabbiosi e con concrezioni carbonatiche	250÷60	125÷30		
IX	19,50÷28,60	Argille grigie, plastiche, da mediamente consistenti a consistenti, con occasionale presenza di concrezioni carbonatiche e intercalazioni sabbiose	290÷150	145÷75		
	28,60÷33,20	Sabbie limose con abbondante matrice argillosa, grigie, mediamente addensate sature, con occasionali livelli ghiaiosi fini e resti carboniosi	80÷130	40÷65		
	33,20÷34,00	Argille grigie, plastiche, mediamente consistenti, che passano ad argille organiche grigio-nere	160÷240	80÷120		

* Valori di coesione non drenata medi registrati durante l'esecuzione delle prove penetrometriche CPT1, CPT2, CPT3, CPT4 (cfr. Tabella 16).
 ** Valori di coesione non drenata ottenuti all'apertura del campione registrati con pocket (primo valore) e torvane (secondo valore), previa applicazione della correlazione sopra riportata $C_u = \sigma/2$ per quanto attiene la lettura con pocket (cfr. elaborato fuori testo del 2011).

Tabella 20 - Media dei valori letti al pocket penetrometer per ogni litotipo, confrontati con il valore della coesione registrato durante l'esecuzione delle prove penetrometriche, e con i valori registrati sui campioni di laboratorio.

I dati medi ottenuti dai valori letti al pocket (terza colonna), hanno permesso di ottenere i seguenti valori di coesione non drenata (C_u) in quarta colonna, durante l'esecuzione del sondaggio S2. Analogamente a quanto fatto per S1 essi

vengono confrontati con il dato medio ottenuto dalle prove penetrometriche e dalla lettura al pocket e torvane all'apertura del campione in laboratorio:

STR.	PROF. (m)	Descrizione strato	Pocket (kPa)	Cu (kPa)	Cu* (kPa)	Cu** (kPa)
I	p.c.+0,60	Terreno vegetale limo-argilloso bruno, con resti vegetali	/	/	/	/
II	0,60÷4,50	Ghiaie asciutte, non alterate, di dimensioni centimetriche a spigoli arrotondati (di natura calcarea, granitica, serpentinitica etc.) con matrice limo-sabbiosa				
III	4,50÷5,60	Limi argillosi bruni, asciutti, mediamente consistenti e con livelli organici, con occasionali concrezioni calcaree	300÷80	150÷40	70,52	60 - 20
	5,60÷6,20	Limo con sabbia argillosa marrone PRELIEVO CAMPIONE (S₂/SH₁)				
	6,20÷9,20	Limi argillosi nocciola ocracei, consistenti, con abbondanti livelli organici e resti carboniosi	220÷80	110÷40		
V	9,20÷9,80	Argilla con limo sabbiosa marrone PRELIEVO CAMPIONE (S₂/SH₂)	180÷170	90÷85	77,01	75 - 60
	9,80÷11,60	Argille nocciola, a tratti più francamente limose e sabbiose, da poco consistenti a mediamente consistenti, con abbondanti livelli organici e resti carboniosi, umide	270÷130	135÷65		
VI	11,60÷12,30	Ghiaie da medie a fini con matrice sabbiosa grossolana, spigoli arrotondati, dimensioni centimetriche (di natura calcarea, serpentinitica, etc.)				
	12,30÷14,00	Ghiaie da medie a fini con matrice limo-sabbiosa, spigoli arrotondati, dimensioni centimetriche (di natura calcarea, serpentinitica, etc.) e residui organici				
VII	14,00÷14,40	Argille limose grigie, mediamente consistenti, con livelli organici			44,25	110 - 100
	14,40÷15,00	Limo argilloso marrone che passa ad argilla limosa grigio scura PRELIEVO CAMPIONE (S₂/SH₃)	230÷150	115÷75		
	15,00÷16,10	Argille grigie, mediamente consistenti	200÷170	100÷85		
	16,10÷17,30	Argille limo-sabbiose, grigie, mediamente consistenti	160÷140	80÷70		
	17,30÷17,70	Argille grigie, plastiche, da mediamente consistenti a consistenti, con occasionale presenza di concrezioni carbonatiche e intercalazioni ghiaiose fini	180÷130	90÷65		
VIII	17,70÷20,00	Ghiaie da medie a fini, in matrice limo-sabbiosa grigia, con spigoli arrotondati, piatte e dimensioni centimetriche (di natura calcarea, serpentinitica, etc.).				

* Valori di coesione non drenata medi registrati durante l'esecuzione delle prove penetrometriche CPT5, CPT6, CPT7, CPT8 (cfr. Tabella 16).
 ** Valori di coesione non drenata ottenuti all'apertura del campione registrati con pocket e torvane, previa applicazione della correlazione sopra riportata $Cu = \sigma/2$ per quanto attiene la lettura con pocket (cfr. elaborato fuori testo della campagna del 2011).

Tabella 21 - Media dei valori letti al pocket penetrometer per ogni litotipo.

Confrontando i valori derivanti dalle letture al pocket in sito con le letture al pocket in laboratorio si nota una certa concordanza; si osserva altresì che generalmente i valori di coesione medi registrati con le prove penetrometriche ricadono all'interno degli intervalli di coesione media determinata con i metodi speditivi sui campioni.

Si nota altresì che i valori registrati al pocket risultano assai variabili: ciò è comprensibile, perché essi derivano da una media di dati che sono influenzati da variazioni granulometriche anche minime, e dall'eventuale rimaneggiamento subito dalla carota al momento dell'estrazione dal tubo campionatore.

4.2.2 Valori dello Standard Penetration Test (S.P.T.)

Nei terreni con caratteristiche medio-grossolane come le sabbie, le ghiaie, o i terreni con una consistente percentuale di esse, si è ricorso alla prova Standard Penetration Test (SPT), eseguita all'interno del foro di sondaggio.

L'esecuzione della prova consiste nel misurare il numero di colpi (NSPT) necessario a far penetrare per 30 centimetri nel terreno un tubo campionatore, dopo aver effettuato un avanzamento preliminare di 15 centimetri allo scopo di attraversare e superare possibili detriti presenti sul fondo dello scavo. Dal numero di colpi si risale, attraverso l'utilizzo

di correlazioni empiriche, allo stato di addensamento del terreno e alla definizione di alcuni parametri geotecnici. Nell'area in oggetto tale prova è stata eseguita alle profondità sopra indicate nei terreni incoerenti al fine di caratterizzarli, laddove non sono stati prelevati campioni.

I risultati ottenuti relativi a S1 sono:

STR.	PROF. (m)	Descrizione strato	S.P.T.		NSPT
			Quota (m da p.c.)	colpi	
III	4,70÷5,30	Limi argillosi nocciola, asciutti, mediamente consistenti e con livelli organici	4,70÷5,30	5	19
	5,00÷5,60	Limi argillosi nocciola con matrice sabbiosa e con intercalazioni ghiaiose fini, asciutti, addensati, consistenti e con livelli organici		5 8 11	
VI	11,50÷12,30	Ghiaie da medie a fini con matrice sabbiosa grossolana, dimensioni centimetriche (di natura calcarea, serpentinitica, etc.)	12,70÷13,15	26	41
	12,30÷14,20	Ghiaia che passa a sabbia grossolana (tra 14 e 14,20 m) con abbondante matrice limo-argillosa, ocreacea		20 21	

Tabella 22 - Caratteristiche degli strati granulari di S1 alle diverse profondità.

I risultati ottenuti relativi a S2 sono:

STR.	PROF. (m)	Descrizione strato	S.P.T.		NSPT
			Quota (m da p.c.)	colpi	
II	0,60÷4,50	Ghiaie asciutte, non alterate, di dimensioni centimetriche a spigoli arrotondati (di natura calcarea, granitica, serpentinitica etc.) con matrice limo-sabbiosa	1,70÷2,15	14 20 21	41
			4,00÷4,45	6 6 4	10
VI	11,60÷12,30	Ghiaie da medie a fini con matrice sabbiosa grossolana, spigoli arrotondati, dimensioni centimetriche (di natura calcarea, serpentinitica, etc.)	12,30÷12,75	13	47
	12,30÷14,00	Ghiaie da medie a fini con matrice limo-sabbiosa, spigoli arrotondati, dimensioni centimetriche (di natura calcarea, serpentinitica, etc.) e residui organici		15 32	
VIII	17,70÷20,00	Ghiaie da medie a fini, in matrice limo-sabbiosa grigia, con spigoli arrotondati, piatte e dimensioni centimetriche (di natura calcarea, serpentinitica, etc.).	18,60÷19,05	19 24 31	55

Tabella 23 - Caratteristiche degli strati granulari di S2 alle diverse profondità.

Il numero di colpi è stato corretto in funzione della pressione litostatica efficace (σ'_{vo}) che agisce alle diverse profondità di prova. È possibile riassumere il percorso di interpretazione con la seguente tabella, dove:

Δz = intervallo di profondità alla quale è stata svolta la prova;

z_{med} = profondità media della volata alla quale è stata calcolata la pressione litostatica efficace;

γ_n = peso di volume naturale del terreno;

σ'_{vo} = pressione litostatica efficace, calcolata con la falda a -9,0 m dal p.c. per S1 e -9,35 m dal p.c. per S2;

N_{SPT} = numero di colpi di maglio della prova SPT letti in campagna;

$(N1)_{60}$ = valore del numero di colpi normalizzato ad una pressione effettiva di confinamento di circa 100 kPa e un fattore di rendimento energetico di 0,6 nell'esecuzione della prova;

D_r = densità relativa dei materiali indagati;

ϕ' = angolo di attrito interno del materiale indagato in termini di pressioni effettive.

S1									
Δz (-m da p.c.)	z_{med} (-m da p.c.)	γ_n (Kg/m ³)	σ'_{vo} (kPa)	N_{SPT}	$(N1)_{60}$	consistenza	D_r (%)	ϕ' (°)	
4,70÷5,30	-5,15	1.850	93,42	19	19,79	media	48	35	32-35
12,70÷13,15	-13,0	1.850	196,58	41	29,44	densa	63	37	32-35
						Terzaghi e Peck, 1948; Skempton, 1986	Peck & Bazaraa	Schmertmann, 1977	Casadio e Elmi, 1995
S2									

Δz (-m da p.c.)	z_{med} (-m da p.c.)	γ_n (Kg/m ³)	σ'_{vo} (kPa)	N_{SPT}	$(N1)_{60}$	consistenza	Dr (%)	ϕ' (°)	
1,70÷2,15	-2,0	1.850	36,28	41	68,52	molto densa	91	41	>38
4,00÷4,45	-4,3	1.850	78,00	10	11,40	media	35	33	32
12,30÷12,75	-12,6	1.850	196,68	47	33,73	densa	67	37	35-38
18,60÷19,05	-18,9	1.850	249,16	55	35,07	densa	69	37	35-38
						Terzaghi e Peck, 1948; Skempton, 1986	Peck & Bazaraa	Schmertmann, 1977	Casadio e Elmi, 1995

Tabella 24 – Caratteristiche degli strati granulari registrati nei due sondaggi, determinate da SPT.

Il peso di volume è stato considerato uguale per tutte le prove per semplificare il calcolo della pressione litostatica efficace, ed è stato ricavato in funzione del valore registrato con le prove penetrometriche (1.850 kg/m³).

La correzione di NSPT in $(N1)_{60}$ è effettuata per tenere conto dell'influenza della pressione effettiva di confinamento (101,325 kPa) e del fattore di rendimento energetico di 0,6 nell'esecuzione della prova. Il valore normalizzato è definito dalla relazione (Riga G., 2007):

$$(N1)_{60} = N_{SPT} \times C_N$$

In cui il coefficiente C_N è ricavabile dall'espressione:

$$C_N = (p_a / \sigma'_{vo})^{0,5}$$

essendo p_a la pressione atmosferica e σ'_{vo} la pressione efficace verticale.

Il valore della densità relativa del materiale indagato è calcolata applicando la relazione proposta da Peck & Bazaraa (Peli G., 1995):

$$\text{per } \sigma'_{vo} \leq 75 \text{ kPa} \rightarrow Dr = \sqrt[3]{N / [20 \times (1 + 0,04 \times \sigma'_{vo})]}$$

$$\text{per } \sigma'_{vo} > 75 \text{ kPa} \rightarrow Dr = \sqrt[3]{N / [20 \times (3,25 + 0,01 \times \sigma'_{vo})]}$$

Questo metodo tiene in considerazione l'effetto della variazione di pressione litostatica efficace con la profondità, pertanto nelle relazioni è stato introdotto il valore non corretto di numero di colpi N_{SPT} .

Infine per valutare l'angolo di attrito interno è stata utilizzata la correlazione di Schmertmann (Cestari, 1996) per una litologia variabile tra ghiaietto uniforme e sabbie e ghiaie poco limose:

$$\phi' = 28 + 0,14 \times Dr (\%).$$

Il valore stimato è stato confrontato con il dato indicativo riportato nella tabella riassuntiva estratta da Casadio e Elmi (1995), entrando con il valore corretto $(N1)_{60}$.

4.3 Risultanze delle analisi di laboratorio

Durante l'esecuzione dei sondaggi a distruzione di nucleo (S_1 e S_2) è stato effettuato il prelievo di n.6 campioni di materiale (S_1SH_1 , S_1SH_2 , S_1SH_3 , S_2SH_1 , S_2SH_2 , S_2SH_3 , sono i codici assegnati dal laboratorio), rispettivamente alle profondità indicate alle tabelle successive, con campionatore di tipo Shelby. Il suddetto campionamento è stato eseguito al fine di caratterizzare le terre, ai sensi della normativa vigente; i certificati di laboratorio sono riportati in apposito elaborato fuori testo della documentazione prodotta a corredo della campagna del 2011.

Nelle tabelle seguenti sono riportate informazioni sintetiche raccolte tramite le analisi di laboratorio:

Sond.	Campione	Profondità (-m da p.c.)	Lunghezza camp. (m)	RESIST. AL TAGLIO				PROVE ESEGUITE	Descrizione campione
				Pocket penetrometer		Torvane			
				(kPa)	(Kg/cm²)	(kPa)	(Kg/cm²)		
S1	SH1	6,00÷6,60 (-6,30 m)	0,53 (1)	150	1,50	45	0,45	H2O GRAN LIM EDOM TRIAX CIU	Limo argilloso debolmente sabbioso marrone chiaro con screziature marrone scuro
S1	SH2	9,00÷9,60	0,61 (1)	150	1,50	70	0,70	H2O GRAN	Limo argilloso e sabbioso marrone

		(-9,30 m)						LIM EDOM TRIAX CIU	chiaro
S1	SH3	15,00÷15,60 (-15,30 m)	0,64 (1)	240	2,40	105	1,05	H2O GRAN LIM EDOM TRIAX CIU	Argilla con limo grigio
S2	SH1	5,60÷6,20 (-5,90 m)	0,52 (1)	120	1,20	20	0,20	H2O GRAN LIM EDOM TRIAX CIU	Limo con sabbia argillosa marrone
S2	SH2	9,20÷9,80 (-9,50 m)	0,46 (1)	150	1,50	60	0,60	H2O GRAN LIM EDOM TRIAX CIU	Argilla con limo sabbiosa marrone
S2	SH3	14,40÷15,00 (-14,70 m)	0,50 (1)	220	2,20	100	1,00	H2O GRAN LIM EDOM TRIAX CIU	Limo argilloso marrone che passa ad argilla limosa grigio scuro
Legenda sigle (1) = campione cilindrico in fustella metallica H2O = determinazione contenuto d'acqua del materiale naturale (CNR U.N.I. 100008) GRAN = analisi granulometrica per via umida (CNR B.U. 23/71; Racc. A.G.I./94) LIM = limiti di Atterberg (CNR U.N.I. 10014) EDOM = prova edometrica (Racc. A.G.I. /94) TRIAX CIU = Triassale CIU									

Tabella 25 – Tabella sintetica riguardante le indagini di laboratorio eseguite sui campioni.

L'ubicazione del sondaggio, e quindi dei campioni, risulta dalla tavola allegata (cfr. Tav.2). Le indagini di laboratorio eseguite hanno permesso di valutare i seguenti parametri geomeccanici:

- l'analisi granulometrica (GRAN) permette di classificare il materiale costituente i campioni, in base alle percentuali delle diverse frazioni granulometriche in essi rappresentate;
- i limiti di Atterberg (LIM) permettono di determinare la coesione non drenata (C_u) tramite correlazioni empiriche, nonché la definizione dello stato fisico di un terreno in termini di stati fluido, plastico, semisolido e solido;
- la prova edometrica (EDOM) consente la determinazione dei parametri di compressibilità di un terreno con caratteristiche coesive, allo scopo di valutare l'entità dei cedimenti delle opere di fondazione e la loro evoluzione nel tempo;
- la prova CIU (CIU), prova consolidata non drenata, sostituisce efficacemente la prova non consolidata e non drenata UIU o, più semplicemente UU, perché quest'ultima prova non può essere interpretata in termini di tensioni effettive, ed è pertanto stata anche recentemente 'declassata' al rango di 'prova indice di resistenza' sia nelle Raccomandazioni ETC5, che nell'EC7-PT2.

La prima tabella riassuntiva riguarda la **determinazione del contenuto d'acqua allo stato naturale**, nonché il peso specifico naturale e secco dei campioni:

Camp.	Profondità (-m da p.c.)	W naturale (%)	γ naturale (t/m ³)	γ secco (t/m ³)	γ immerso (t/m ³)	Porosità (%)	Indice vuoti	Grado di saturazione (%)
S1SH1	6,00÷6,60	33,8	1,89	1,41	0,89	48	0,91	100
S1SH2	9,00÷9,60	26,7	1,96	1,55	0,98	43	0,75	97
S1SH3	15,00÷15,60	30,3	1,90	1,46	0,92	46	0,86	96
S2SH1	5,60÷6,20	29,8	1,87	1,44	0,91	47	0,88	92
S2SH2	9,20÷9,80	26,7	1,96	1,55	0,98	43	0,75	96
S2SH3	14,40÷15,00	27,5	1,98	1,55	0,98	43	0,75	100

Tabella 26 - Tabella sintetica relativa contenuto d'acqua allo stato naturale ed al peso specifico naturale, secco e immerso dei campioni.

La seconda tabella riassuntiva riguarda l'**analisi granulometrica** dei campioni:

Camp.	Profondità (-m da p.c.)	Granulometria								Aspetto campione
		GHIAIA (%)		SABBIA (%)		LIMO (%)		ARGILLA (%)		
		USCS (>4,75 mm)	AGI (>2,0 mm)	USCS (>0,075 mm)	AGI (>0,06 mm)	USCS (>2 μ)	AGI (>2 μ)	USCS (<2 μ)	AGI (<2 μ)	
S1SH1	6,00÷6,60	0,0	0,0	9,5	17,8	69,0	60,6	21,5	21,5	Limo argilloso debolmente sabbioso marrone chiaro
S1SH2	9,00÷9,60	0,0	0,0	16,0	21,7	61,4	55,7	22,7	22,7	Limo argilloso e sabbioso marrone chiaro
S1SH3	15,00÷15,60	0,0	0,0	0,7	5,0	48,0	43,8	51,3	51,3	Argilla con limo grigio
S2SH1	5,60÷6,20	0,0	0,0	30,2	36,7	57,7	51,3	12,1	12,1	Limo con sabbia argilloso marrone
S2SH2	9,20÷9,80	0,0	0,0	16,4	19,9	38,8	35,2	44,9	44,9	Argilla con limo sabbiosa marrone
S2SH3	14,40÷15,00	0,0	0,0	0,6	4,8	29,6	25,3	69,9	69,9	Argilla limosa grigio scuro

Tabella 27 – Tabella sintetica relativa all'analisi granulometrica dei campioni.

Da quanto riportato nella tabella soprastante risulta evidente la variabilità granulometrica che caratterizza i sei campioni: trattasi di terre di prevalente natura coesiva, variabile tra il limo e l'argilla con una componente consistente di sabbia.

La terza tabella riassuntiva riguarda i **limiti di Atterberg** dei campioni:

Campione	Prof. (-m da p.c.)	Umidità naturale W _n (%)	Limite liquido W _L (%)	Limite plastico W _p (%)	ARGILLA (%)	Attività (ad)	Indice di plasticità I _p (%)		Indice di consistenza I _c (ad)		Class. Casagrande/ USCS
S1SH1	6,00÷6,60	34	44	25	21,5	0,84 (normale)	18	plastica	0,54	plastica	Argilla inorganica media plasticità/limi inorganici media compressibilità e limi organici CL/ML-OL
S1SH2	9,00÷9,60	27	37	21	22,7	0,70 (non attiva)	16	plastica	0,64	plastica	Argilla inorganica media plasticità CL
S1SH3	15,00÷15,60	30	58	27	51,3	0,60 (non attiva)	31	plastica	0,90	solido- plastica	Argilla inorganica alta plasticità CH
S2SH1	5,60÷6,20	30	37	24	12,1	1,07 (normale)	13	poco plastica	0,53	plastica	Argilla inorganica media plasticità/limi inorganici media compressibilità e limi organici CL/ML-OL
S2SH2	9,20÷9,80	27	37	22	44,9	0,33 (non attiva)	15	poco plastica	0,69	plastica	Argilla inorganica media plasticità CL
S2SH3	14,40÷15,00	27	56	25	69,9	0,44 (non attiva)	31	plastica	0,91	solido- plastica	Argilla inorganica alta plasticità CH
								Casadio e Elmi, 1995		Casadio e Elmi, 1995	

Tabella 28 – Tabella sintetica relativa alle caratteristiche di plasticità e consistenza dei campioni.

Relativamente all'indice di plasticità in bibliografia per valori di I_p compresi tra 5 e 15 le terre si definiscono poco plastiche, con I_p compresi tra 15 e 40 le terre si definiscono plastiche; riguardo all'indice di consistenza per valori di I_c compresi tra 0,5 e 0,75 le terre si definiscono a consistenza plastica, con valori di I_c compresi tra 0,75 e 1,00 le terre si definiscono a consistenza solido-plastica (CASADIO M. ED ELMI C., 1995). Tanto maggiore è l'indice di consistenza tanto più le terre sono resistenti all'azione esterna: un'argilla con un I_c inferiore a 0,5 deve considerarsi un pessimo terreno di fondazione, prescindendo dalle sue vicissitudini tensionali.

Ulteriore indice considerato è l'attività, valuta il contenuto di minerali argillosi puri che determinano le caratteristiche elettriche di una roccia sciolta e quindi le caratteristiche meccaniche di resistenza, è inoltre espressione del rapporto

tra IP e frazione percentuale di argilla. I campioni risultano ad attività normale o non attivi: ciò è presumibilmente legato all'assenza o ad una ridotta presenza di minerali dotati di attività elettrostatica (ad es. montmorillonite), che comporta di conseguenza una minore potenzialità del terreno di variare il volume proprio.

Considerando la carta di plasticità di Casagrande e la class. U.S.C.S. (Unified Soil Classification System) si nota una notevole uniformità di caratteri tra i campioni del sondaggio 1 e i campioni a profondità analoghe del sondaggio 2: si passa da terre con caratteri al limite tra "Argilla inorganica media plasticità/limi inorganici media compressibilità e limi organici" (CL/ML-OL), ad "Argilla inorganica media plasticità" (CL), infine nei campioni più profondi ad "Argilla inorganica ad alta plasticità" (CH). Si rammenta che i terreni CL ed ML presentano caratteri discreti come terreni di fondazione.

Alcuni Autori indicano le seguenti relazioni che legano i limiti di Atterberg alla coesione non drenata (C_u):

- 1.1 $C_u = e^{11,45 \times (0,834 - W_n/WI)} = [KN/m^2]$ valida per $W_n = (0,25 \div 0,6)WI$ FEDERICO (1983)
- 1.2 $C_u = e^{5,25 \times (1,162 - W_n/WI)} = [KN/m^2]$ valida per $W_n = (0,65 \div 1,07)WI$ FEDERICO (1983)
- 1.3 $C_u/\sigma'v = 0,11 + 0,0037 \times I.P. = [ad]$ SKEMPTON (1954)
- 1.4 $C_u/\sigma'v = 0,0045 \times WI = [Kg/cm^2]$ HANSBO (1957)
- 1.5 $C_c = a \times (WI - b) = [ad]$ $a = 0,009$ e $b = 10\%$, per argille a media e bassa sensibilità
 $a = 0,007$ e $b = 5,3\%$, per terreni laguna di Venezia TERZAGHI (1968)
- 1.6 $C_c = a \times (WI - b) = [ad]$ $a = 0,007$ e $b = 7$, per argille rimaneggiate
 $a = 0,009$ e $b = 10$, per argille tenere CASADIO E ELM (1995)
- 1.7 $C_c = a \times (W_n - b) = [ad]$ $a = 0,01$ e $b = 5$, per argille inorganiche CASADIO E ELM (1995)

Ove la simbologia sopra riportata ha i seguenti significati:

W_n = [%] contenuto in acqua naturale;

WI = [%] limite di liquidità;

C_u = [Kg/cm^2] coesione non drenata;

$\sigma'v$ = [Kg/cm^2] pressione litostatica efficace;

C_c = [ad] indice di compressione.

Si rammenta altresì che la falda in corrispondenza del sondaggio 1 si situa a -9 m dal p.c., in sondaggio 2 a -9,35 m da p.c.

CAMP.	I.P. (%)	W_n/WI (ad)	WI (%)	C_u (1.1) (Kg/cm^2)	C_u (1.2) (Kg/cm^2)	C_u (1.3) (Kg/cm^2)	C_u (1.4) (Kg/cm^2)	C_c (1.5) (ad)	C_c (1.7) (ad)	P.V. (t/m^3)	prof. (m)
S1SH1	18	0,773	44	/	0,08	0,21	0,24	0,306	0,29	1,89	6,30
S1SH2	16	0,730	37	/	0,10	0,30	0,30	0,243	0,22	1,96	9,30
S1SH3	31	0,517	58	0,38	/	0,51	0,59	0,432	0,25	1,90	15,30
S2SH1	13	0,811	37	/	0,06	0,17	0,18	0,243	0,25	1,87	5,90
S2SH2	15	0,730	37	/	0,10	0,31	0,31	0,243	0,22	1,96	9,50
S2SH3	31	0,482	56	0,57	/	0,64	0,72	0,414	0,22	1,98	14,70

Tabella 29 - Tabella sintetica relativa ai valori di C_u ottenuti dai Limiti di Atterberg, tramite correlazioni empiriche.

I valori sopra stimati nella tabella successiva vengono confrontati con i dati ottenuti da pocket e torvane. Risulta evidente che i valori ottenuti sui campioni con pocket e torvane sono più elevati rispetto ai valori stimati con le correlazioni empiriche applicate sui valori indice determinate dai Limiti di Atterberg: tra queste le più attendibili paiono essere la 1.3 e 1.4, mentre la 1.1 e la 1.2 forniscono valori estremamente ridotti.

Campione	Profondità (-m da p.c.)	C_u (da pocket e torvane all'apertura campione)		C_u (da correlazioni empiriche con i Limiti di Atterberg)			
		Pocket	Torvane	(1.1)	(1.2)	(1.3)	(1.4)

		penetrometer					
		(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
S1SH1	-6,30	0,75	0,45	/	0,08	0,21	0,24
S1SH2	-9,30	0,75	0,70	/	0,10	0,30	0,30
S1SH3	-15,30	1,20	1,05	0,38	/	0,51	0,59
S2SH1	-5,90	0,60	0,20	/	0,06	0,17	0,18
S2SH2	-9,50	0,75	0,60	/	0,10	0,31	0,31
S2SH3	-14,70	1,10	1,00	0,57	/	0,64	0,72

Tabella 30 - Tabella sintetica relativa ai valori di Cu ottenuti dai Limiti di Atterberg a confronto con i valori registrati con pocket e torvane.

Riguardo le **prove edometriche** si riproduce uno stralcio sintetico dei parametri registrati con le analisi di laboratorio e riportati nei certificati, per ogni campione.

Riguardo ai campioni del sondaggio S1:

CAMPIONE: S1SH1 (prof. di campionamento: 6,00÷6,60 m da p.c.)										
Dp		DH	ε	e	av	mv	M	Cv	Cα	K
(kPa)	(kg/cm ²)	(mm)	(%)	(ad)	(cm ² /kg)	(cm ² /kg)	(kg/cm ²)	(cm ² /sec)	(ad)	(cm/sec)
24,5	0,25	0,120	0,60	0,912	0,093	0,048	20,6			
49	0,5	0,251	1,25	0,900	0,050	0,026	38,3			
98	1,0	0,454	2,27	0,880	0,039	0,021	49,1	8,62E ⁻⁰³	1,38E ⁻⁰³	1,79E ⁻⁰⁷
196	2,0	0,869	4,35	0,840	0,040	0,021	48,1	7,30E ⁻⁰³	2,68E ⁻⁰³	1,53E ⁻⁰⁷
392	4,0	1,708	8,54	0,759	0,040	0,021	47,6	4,09E ⁻⁰³	4,91E ⁻⁰³	5,50E ⁻⁰⁸
784	8,0	2,781	13,91	0,656	0,026	0,014	74,5			
Pressione di preconsolidazione (σ_p): 248,34 kPa (2,53 kg/cm ²) Massa volumica apparente: 1,89 (t/m ³) Pressione litostatica efficace (σ' _{vo}): 1,19 kg/cm ² Grado di sovraconsolidazione (OCR): 2,1 – LC (leggermente sovraconsolidata) Cv medio: 6,67E ⁻⁰³ cm ² /sec K media: 1,29E ⁻⁰⁷ cm/sec Rapporto di compressione (CR): 0,201 Indice di compressione (Cc): 0,39 Rapporto di ricomprensione (RR): 0,0217 Indice di ricomprensione (Cr): 0,0417 Rapporto di rigonfiamento (SR): 0,025 Indice di rigonfiamento (Cs): 0,049										
CAMPIONE: S1SH2 (prof. di campionamento: 9,00÷9,60 m da p.c.)										
Dp		DH	ε	e	av	mv	M	Cv	Cα	K
(kPa)	(kg/cm ²)	(mm)	(%)	(ad)	(cm ² /kg)	(cm ² /kg)	(kg/cm ²)	(cm ² /sec)	(ad)	(cm/sec)
24,5	0,25	0,088	0,44	0,746	0,031	0,018	56,3			
49	0,5	0,175	0,88	0,739	0,030	0,018	57,7			
98	1,0	0,376	1,88	0,721	0,035	0,021	49,6	7,72E ⁻⁰⁴	8,01E ⁻⁰⁴	1,08E ⁻⁰⁸
196	2,0	0,655	3,28	0,697	0,025	0,014	71,7	7,82E ⁻⁰⁴	2,44E ⁻⁰³	9,67E ⁻⁰⁹
392	4,0	1,149	5,75	0,653	0,022	0,013	80,9	3,18E ⁻⁰⁴	3,76E ⁻⁰³	3,43E ⁻⁰⁹
784	8,0	2,012	10,06	0,578	0,019	0,011	92,6			
Pressione di preconsolidazione (σ_p): 403,97 kPa (4,12 kg/cm ²) Massa volumica apparente: 1,96 (t/m ³) Pressione litostatica efficace (σ' _{vo}): 1,79 kg/cm ² Grado di sovraconsolidazione (OCR): 2,3 – LC (leggermente sovraconsolidata) Cv medio: 6,24E ⁻⁰⁴ cm ² /sec K media: 7,96E ⁻⁰⁹ cm/sec Rapporto di compressione (CR): 0,176 Indice di compressione (Cc): 0,31 Rapporto di ricomprensione (RR): 0,0144 Indice di ricomprensione (Cr): 0,0252 Rapporto di rigonfiamento (SR): 0,026 Indice di rigonfiamento (Cs): 0,046										
CAMPIONE: S1SH3 (prof. di campionamento: 15,00÷15,60 m da p.c.)										
Dp		DH	ε	e	av	mv	M	Cv	Cα	K
(kPa)	(kg/cm ²)	(mm)	(%)	(ad)	(cm ² /kg)	(cm ² /kg)	(kg/cm ²)	(cm ² /sec)	(ad)	(cm/sec)
24,5	0,25	0,071	0,36	0,890	0,054	0,028	35,0			
49	0,5	0,176	0,88	0,880	0,040	0,021	47,6			
98	1,0	0,410	2,05	0,857	0,044	0,024	42,7	3,67E ⁻⁰⁴	2,14E ⁻⁰³	6,21E ⁻⁰⁹
196	2,0	0,748	3,74	0,825	0,032	0,017	59,0	6,12E ⁻⁰⁴	3,45E ⁻⁰³	7,87E ⁻⁰⁹
392	4,0	1,262	6,31	0,777	0,025	0,013	77,8	2,98E ⁻⁰⁴	2,56E ⁻⁰³	2,52E ⁻⁰⁹
784	8,0	1,936	9,68	0,713	0,016	0,009	118,6			
Pressione di preconsolidazione (σ_p): 722,22 kPa (7,36 kg/cm ²) Massa volumica apparente: 1,9 (t/m ³) Pressione litostatica efficace (σ' _{vo}): 2,28 kg/cm ² Grado di sovraconsolidazione (OCR): 3,2 – LC (leggermente sovraconsolidata)										

Cv medio:	4,26E⁻⁰⁴ cm²/sec
K media:	5,53E⁻⁰⁹ cm/sec
Rapporto di compressione (CR):	0,144
Indice di compressione (Cc):	0,27
Rapporto di ricomprensione (RR):	0,0174
Indice di ricomprensione (Cr):	0,0331
Rapporto di rigonfiamento (SR):	0,030
Indice di rigonfiamento (Cs):	0,057

Tabella 31 – Tabella sintetica riguardante le caratteristiche di compressibilità, determinate sulla base delle prove edometriche sui campioni del sondaggio S1.

Riguardo ai campioni del sondaggio S2:

CAMPIONE: S2SH1 (prof. di campionamento: 5,60÷6,20 m da p.c.)										
Dp	DH	ε	e	av	mv	M	Cv	Cα	K	
(kPa)	(kg/cm ²)	(mm)	(%)	(ad)	(cm ² /kg)	(cm ² /kg)	(kg/cm ²)	(cm ² /sec)	(ad)	(cm/sec)
24,5	0,25	0,152	0,76	0,881	0,075	0,039	25,4			
49	0,5	0,363	1,82	0,861	0,080	0,042	23,6			
98	1,0	0,683	3,42	0,831	0,061	0,032	31,2	6,91E ⁻⁰⁴	1,98E ⁻⁰³	1,49E ⁻⁰⁸
196	2,0	1,114	5,57	0,790	0,041	0,022	46,3	7,16E ⁻⁰⁴	1,55E ⁻⁰³	1,53E ⁻⁰⁸
392	4,0	1,966	9,83	0,709	0,040	0,022	46,9	8,84E ⁻⁰⁴	2,91E ⁻⁰³	8,41E ⁻⁰⁹
784	8,0	2,726	13,63	0,637	0,018	0,010	105,2			
Pressione di preconsolidazione (σ_p): 187,23 kPa (1,91 kg/cm ²) Massa volumica apparente: 1,87 (t/m ³) Pressione litostatica efficace (σ' _{vo}): 1,10 kg/cm ² Grado di sovraconsolidazione (OCR): 1,7 – NC/LC (normal consolidata/leggermente sovraconsolidata) Cv medio: 7,64E ⁻⁰⁴ cm ² /sec K media: 1,29E ⁻⁰⁸ cm/sec Rapporto di compressione (CR): 0,139 Indice di compressione (Cc): 0,26 Rapporto di ricomprensione (RR): 0,0351 Indice di ricomprensione (Cr): 0,0665 Rapporto di rigonfiamento (SR): 0,025 Indice di rigonfiamento (Cs): 0,048										
CAMPIONE: S2SH2 (prof. di campionamento: 9,20÷9,80 m da p.c.)										
Dp	DH	ε	e	av	mv	M	Cv	Cα	K	
(kPa)	(kg/cm ²)	(mm)	(%)	(ad)	(cm ² /kg)	(cm ² /kg)	(kg/cm ²)	(cm ² /sec)	(ad)	(cm/sec)
24,5	0,25	0,281	1,40	0,741	0,106	0,060	16,7			
49	0,5	0,553	2,77	0,717	0,096	0,055	18,3			
98	1,0	0,983	4,91	0,679	0,076	0,043	23,2	4,88E ⁻⁰⁴	9,44E ⁻⁰⁴	1,46E ⁻⁰⁸
196	2,0	1,580	7,90	0,626	0,053	0,029	33,4	6,66E ⁻⁰⁴	2,57E ⁻⁰³	1,20E ⁻⁰⁸
392	4,0	2,302	11,51	0,563	0,032	0,018	55,3	6,60E ⁻⁰⁴	2,60E ⁻⁰³	7,23E ⁻⁰⁹
784	8,0	3,177	15,89	0,485	0,020	0,011	91,3			
Pressione di preconsolidazione (σ_p): 161,51 kPa (1,65 kg/cm ²) Massa volumica apparente: 1,96 (t/m ³) Pressione litostatica efficace (σ' _{vo}): 1,85 kg/cm ² Grado di sovraconsolidazione (OCR): 0,9 – NC (normal consolidata) Cv medio: 6,05E ⁻⁰⁴ cm ² /sec K media: 1,13E ⁻⁰⁸ cm/sec Rapporto di compressione (CR): 0,164 Indice di compressione (Cc): 0,29 Rapporto di ricomprensione (RR): 0,0452 Indice di ricomprensione (Cr): 0,0799 Rapporto di rigonfiamento (SR): 0,031 Indice di rigonfiamento (Cs): 0,054										
CAMPIONE: S2SH3 (prof. di campionamento: 14,40÷15,00 m da p.c.)										
Dp	DH	ε	e	av	mv	M	Cv	Cα	K	
(kPa)	(kg/cm ²)	(mm)	(%)	(ad)	(cm ² /kg)	(cm ² /kg)	(kg/cm ²)	(cm ² /sec)	(ad)	(cm/sec)
24,5	0,25	0,204	1,02	0,725	0,082	0,047	21,2			
49	0,5	0,396	1,98	0,708	0,067	0,038	26,0			
98	1,0	0,674	3,37	0,684	0,048	0,027	35,9	1,26E ⁻⁰³	2,04E ⁻⁰³	2,50E ⁻⁰⁸
196	2,0	1,070	5,35	0,649	0,034	0,020	50,4	1,29E ⁻⁰³	1,58E ⁻⁰³	1,74E ⁻⁰⁸
392	4,0	1,610	8,05	0,602	0,024	0,014	74,0	1,47E ⁻⁰³	1,46E ⁻⁰³	1,25E ⁻⁰⁸
784	8,0	2,293	11,47	0,543	0,015	0,009	117,0			
Pressione di preconsolidazione (σ_p): 728,96 kPa (7,43 kg/cm ²) Massa volumica apparente: 1,98 (t/m ³) Pressione litostatica efficace (σ' _{vo}): 2,86 kg/cm ² Grado di sovraconsolidazione (OCR): 2,6 – LC (leggermente sovraconsolidata) Cv medio: 1,34E ⁻⁰³ cm ² /sec K media: 1,83E ⁻⁰⁸ cm/sec Rapporto di compressione (CR): 0,142 Indice di compressione (Cc): 0,25 Rapporto di ricomprensione (RR): 0,0319										

Indice di ricomprensione (Cr):	0,0555
Rapporto di rigonfiamento (SR):	0,024
Indice di rigonfiamento (Cs):	0,041

Tabella 32 – Tabella sintetica riguardante le caratteristiche di compressibilità, determinate sulla base delle prove edometriche sui campioni del sondaggio S2.

Nella tabella riepilogativa sottostante sono riportati i significati delle sigle impiegate nelle tabelle precedenti relative alle risultanze delle prove edometriche.

Legenda sigle:	
Dp (kPa e kg/cm ²)	carico
DH (mm)	abbassamento altezza provino
ε (%)	deformazione verticale ($\Delta H/H_0$)
e (ad)	indice dei vuoti
av (cm ² /kg)	indice di compressibilità
mv (cm ² /kg)	coefficiente di compressibilità volumetrica
M (kg/cm ²)	modulo edometrico
Cv (cm ² /sec)	coefficiente di consolidazione volumetrica
Cα (ad)	coefficiente di consolidazione secondaria
K (cm/sec)	permeabilità

Tabella 33 – Tabella sintetica riguardante le sigle che contrassegnano i parametri registrati con le prove edometriche.

Osservando il grado di sovraconsolidazione rappresentativo dei campioni analizzati si osserva che la maggioranza degli stessi risulta leggermente sovra consolidato (LC), con un rapporto compreso nell'intervallo 2-4; nel sondaggio S2 le terre più superficiali risultano al limite tra normal consolidato e leggermente sovra consolidato (NC/LC) e normal consolidate (NC), rapporto compreso tra 1 e 2.

Per avere maggiori informazioni riguardo le caratteristiche dei campioni analizzati si rimanda all'elaborato fuori testo allegato alla documentazione del 2011, nel quale sono riportati integralmente i certificati di laboratorio.

Nelle **prove C.I.U** l'applicazione degli sforzi deviatorici e le conseguenti deformazioni indotte nel provino sino a rottura avvengono in condizioni non drenate, con una velocità elevata (circa 0,01 mm/min) ovvero senza espulsione di acqua, misurandone tuttavia le sovrappressioni indotte. Ciò consente di definire in maniera precisa gli involuppi a rottura in condizioni di tensioni totali e , considerando le sovrappressioni indotte, di derivarne anche il comportamento in tensioni efficaci. Quindi, dai diagrammi finali di stress paths "p-q" vengono definiti, attraverso procedimenti di regressione lineare fra i punti di inviluppo a rottura, i valori di resistenza in termini di Φ_u -Cu (condiz. non drenate) e Φ' -c' (condizioni drenate).

Nella tabella seguente sono sintetizzati i parametri ottenuti dalle prove CIU sui campioni:

Campione	Prof. (-m da p.c.)	c'		Φ' (°)	Natura del campione
		(kPa)	(Kg/cm ²)		
S1SH1	6,00÷6,60	32,2	0,328	21,8	Limo argilloso debolmente sabbioso marrone chiaro
S1SH2	9,00÷9,60	37,6	0,383	22	Limo argilloso e sabbioso marrone chiaro
S1SH3	15,00÷15,60	24,8	0,253	26,3	Argilla con limo grigio
S2SH1	5,60÷6,20	20,2	0,206	26,4	Limo con sabbia argillosa marrone
S2SH2	9,20÷9,80	7,3	0,074	31,7	Argilla con limo sabbiosa marrone
S2SH3	14,40÷15,00	17,8	0,181	26,3	Argilla limosa grigio scuro

Tabella 34 – Parametri desunti dalle prove triassiali CIU. c': coesione efficace; Φ' : angolo di attrito interno efficace.

4.4 Risultanze della Prospezioni MASW Onde di Rayleigh

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezioni MASW (campagna geofisica preliminare svolta nel 2007), che permettono di caratterizzare il sottosuolo basandosi sulla misura diretta dei valori della velocità media delle onde di taglio Vs.

Da tale analisi si sono ottenuti i relativi valori di velocità delle onde Vs, per i vari strati individuati, di seguito riassunti:

ZN_A				
STRATO	Prof. strato da ... m a ...m (-m da p.c.)	Spessore (m)	Vs (m/sec)	V _{S30}
1° strato	p.c. ÷ 0,36	0,36	134	312
2° strato	0,36 ÷ 1,48	1,12	156	
3° strato	1,48 ÷ 3,29	1,81	242	
4° strato	3,29 ÷ 7,00	3,71	330	
5° strato	7,00 ÷ 13,52	6,52	320	
6° strato	13,52 ÷ 30,00	16,48	349	

Tabella 35 – Tabella sintetica relativa alle risultanze della prospezione sismica MASW ZN_A (eseguita nel mese di dicembre 2007): V_s=velocità media di propagazione delle onde di taglio; V_{S30}=velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m.

ZN_B				
STRATO	Prof. strato da ... m a ...m (-m da p.c.)	Spessore (m)	Vs (m/sec)	V _{S30}
1° strato	p.c. ÷ 0,74	0,74	156	302
2° strato	0,74 ÷ 2,05	1,31	172	
3° strato	2,05 ÷ 5,07	3,02	275	
4° strato	5,07 ÷ 7,41	2,34	326	
5° strato	7,41 ÷ 12,86	5,45	301	
6° strato	12,86 ÷ 30,00	17,14	338	

Tabella 36 – Tabella sintetica relativa alle risultanze della prospezione sismica MASW ZN_B (eseguita nel mese di dicembre 2007): V_s=velocità media di propagazione delle onde di taglio; V_{S30}=velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m.

In base a quanto sopra, ai vari strati sismostratigrafici individuati è stato associato il valore della velocità V_s direttamente misurata, consentendo di ottenere la V_{S30}, cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

dove

h_i = spessore dello strato i-esimo

V_{S_i} = velocità onde S nello stato i-esimo

N = numero strati considerati

Ottenendo in base ai dati sopra esposti:

ZN_A - V_{S30} = 312 m/sec

ZN_B - V_{S30} = 302 m/sec

Da cui si evince un'elevata congruenza e convergenza dei dati, cui è quindi possibile associare una categoria del suolo di fondazione di tipo: **C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti** con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

4.5 Risultanze della Prova Down-hole

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto nel sito definitivo di ubicazione del nuovo polo scolastico, sono stati esaminati i dati ottenuti dalla prospezione DH. Utilizzando le metodologie e le formule di cui all'elaborato fuori testo relativo all'indagine Down Hole, è possibile individuare la seguente sezione di sintesi dal piano di campagna:

Profondità (m)	V _p (m/sec)	V _s (m/sec)	Y _{din} (kN)	v	E (MPa)	G (MPa)
3,00	648,65	276,10	17,11	0,39	369,68	135,66
6,00	725,39	457,91	17,48	0,17	873,77	381,17

11,00	1.206,97	192,94	19,26	0,49	217,38	74,54
23,00	1.485,55	275,10	20,03	0,48	458,31	157,65
30,00	1.874,28	333,60	20,94	0,48	705,03	242,29
34,00	1.604,87	458,02	20,33	0,46	1.266,06	443,45

Tabella 37 – Metodo diretto. Velocità e parametri calcolati con Prova Down Hole. Vp: velocità di propagazione onde P; Vs: velocità di propagazione onde S; Ydin: densità del mezzo attraversato; v: coefficiente di Poisson; E: modulo di Young; G: modulo di deformazione al taglio.

In base a quanto sopra, ai vari strati sismostratigrafici individuati è stato associato il valore della velocità Vs direttamente misurata, consentendo di ottenere la V_{S30} , cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

dove

h_i = spessore dello strato i-esimo

V_{Si} = velocità onde S nello strato i-esimo

N = numero strati considerati

Ottenendo in base ai dati sopra esposti:

$$V_{S30} = 277,94 \text{ m/sec}$$

Valore al quale è possibile associare una categoria del suolo di fondazione di tipo: **C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.**

4.6 Risultanze delle prospezioni sismiche HVSR

L'indagine HVSR, registrazione con tromografo di rumore sismico ambientale di fondo (microtremore), si pone come obiettivo preminente l'individuazione delle diverse frequenze di risonanza del terreno il tutto, nell'ottica di valutare eventuali fenomeni di amplificazione del moto sismico nel terreno d'indagine. L'elaborazione dei dati è stata effettuata tramite il software Grilla vers. 6.1 in dotazione allo strumento; esso permette di definire gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN), di effettuare le analisi H/V ed eventualmente di valutare la V_{S30} . La registrazione (n.1 acquisizione da 20 minuti) è stata effettuata su terreno soffre agrario; a tal proposito si specifica che sono stati eliminati i primi centimetri di terreno pulendo e regolarizzando il piano di posa al fine di un corretto posizionamento/funzionamento dello strumento.

Il disturbo da traffico veicolare può essere considerato basso, in virtù della distanza dalle strade principali; eventuali passaggi casuali possono essere eliminati senza problemi essendo ben visibili negli spettri (in particolare nel diagramma hz/min della serie temporale H/V) e comunque di durata minima. L'acquisizione è avvenuta in condizioni meteo buone (23°C, vento assente). Per ulteriori dettagli/approfondimenti circa l'acquisizione si rimanda all'elaborato allegato.

4.6.1 Analisi dei dati

L'elaborazione dei dati ha permesso di ottenere i diagrammi specifici ovvero gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN) e lo spettro del moto del suolo (H/V) (cfr. tra gli allegati in Appendice).

In fase di elaborazione dati, inoltre, è stata eseguita anche un'analisi H/V con una percentuale di *smoothing* inferiore ovvero pari all'1% (qui non riportata) in modo tale da individuare i vari i picchi antropici e le loro frequenze; tale analisi conferma, sostanzialmente, che i picchi H/V alle frequenze individuate sono di natura stratigrafica.

La presenza di significative impedenze sismiche viene segnalata con l'elaborazione degli spettri HVSR, e delle tre componenti spaziali. I risultati analitici sono riportati in forma grafica in Allegato. L'analisi degli esiti di questa indagine può essere associata alle conoscenze di sottosuolo (stratigrafia e geomeccanica), ed alle misure ottenute dalle altre indagini geofisiche. A seguire il grafico H/V dell'Hvsr.

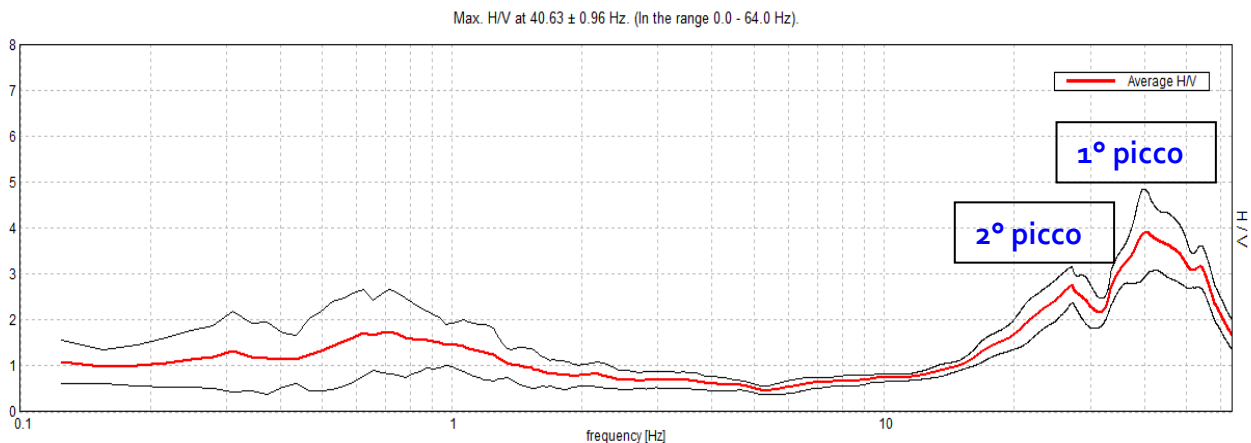


Figura 12 – Rapporto spettrale H/V orizzontale su verticale.

4.6.2 Frequenze di risonanza

Le frequenze a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla relazione: $f = V_s / 4h$ (formula semplificata) dove V_s è la velocità delle onde di taglio nello strato che risuona e h è lo spessore di detto strato. Il rapporto H/V permette di rilevare la presenza di contrasti di rigidità evidenziati dal picco della linea rossa (average H/V) che sale a valori maggiori di 2 in corrispondenza di determinate frequenze.

La curva H/V mostra un picco di risonanza principale a frequenza di 40,63 Hz (ampiezza 3-4) e un picco secondario a frequenza di ca. 28 Hz.

I picchi sono ritenuti affidabili e di origine stratigrafica: i picchi di risonanza di frequenza tra 28-40 Hz (ampiezza 3-4) sopra descritti, sono attribuibili alla presenza di un livello grossolano ghiaioso-sabbioso molto superficiale, che dalle conoscenze stratigrafiche delle prove penetrometriche, si valuta inferiore al metro.

Si ricorda che il range tipico di interesse ingegneristico/strutturale delle costruzioni è compreso tra 1-10 Hz.

La conoscenza dei picchi di risonanza è necessaria al fine di valutare l'esistenza di eventuali incrementi dell'ampiezza delle oscillazioni sismiche, legati a fenomeni di doppia risonanza tra la frequenza fondamentale dei terreni superficiali e il primo modo di vibrare della struttura in progetto. Sarà quindi cura del progettista approfondire l'analisi della frequenza propria dell'edificio e confrontarla con la risonanza sopra registrata.

4.7 Dati stratigrafici pozzo

Nell'ambito della ricerca bibliografica svolta è stata reperita la colonna stratigrafica rilevata durante l'esecuzione di un pozzo presente in prossimità dell'area in studio (cfr. Tav.2), che è stata messa a disposizione dalla Regione Emilia-Romagna, Servizio Tecnico Affluenti Po. Si tratta di un pozzo ad uso agricolo-irriguo, che nella Banca Dati della

Regione Emilia-Romagna reca il numero 2068, e nel Data Base del Servizio Geologico dei Suoli presenta la sigla 200120P719⁴. La stratigrafia è la seguente:

PROFONDITA' (- m da p.c.)	DESCRIZIONE STRATO	SPESSORE (m)
p.c. ÷ 35,00	Terreno vegetale e argille	35,00
35,00 ÷ 36,00	Ghiaie con acqua (livello non fenestrato)	1,00
36,00 ÷ 53,00	Argille gialle	17,00
53,00 ÷ 55,00	Ghiaie con acqua (livello fenestrato)	2,00
55,00 ÷ 73,50	Argille	18,50
73,50 ÷ 74,30	Ghiaie con acqua (livello non fenestrato)	0,80
74,30 ÷ 110,50	Argille	36,20
110,50 ÷ 115,20	Ghiaie con acqua (livello fenestrato)	4,70
115,20 ÷ 116,60	Argille scure	1,40
116,60 ÷ 119,60	Ghiaie con acqua (livello fenestrato)	3,00
119,60 ÷ 125,50	Argille color cenere	5,90

Tabella 38 – Tabella sintetica relativa alla stratigrafia registrata durante l'esecuzione del pozzo ad uso irriguo n.2068 (200120P719 - Banca Dati Regione Emilia-Romagna).

Come si nota osservando la tabella soprastante, la stratigrafia rilevata durante l'esecuzione del pozzo 200120P719, nei primi 35 m è piuttosto sommaria e non distingue gli strati di natura coesiva da quelli granulari, come sono stati registrati nelle campagne di indagini geognostica. La ricostruzione del sottosuolo si è arrestata a ca. 126 m dal p.c., raggiungendo la base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (letto costituito da conglomerati eterometrici, eterogenei, con matrice sabbiosa poco cementata) che come scritto in precedenza e come emerge da Figura 4, si colloca ad una profondità prossima ma superiore a 100 m da p.c. (compresa nell'intervallo 112 e 162 m): si fa quindi ricadere il sito in oggetto nell'ambito PIANURA₂ ai fini della stima dell'Amplificazione sismica, ai sensi della DAL 112/07 e come riportato al Cap.5.1.2.

4.8 Valori caratteristici dei parametri geomeccanici

Relativamente ai parametri geomeccanici caratteristici (X_k) dei terreni di fondazione si precisa che il documento "Istruzione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC" (C.6.2.2) del 2 febbraio 2009 n.617, ritiene giustificato considerare che i valori medi dei dati geotecnici rappresentino altresì i valori caratteristici quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (ciò accade ad es. in fondazioni superficiali o in un dissesto) con possibile compensazione delle eterogeneità. Ciò nonostante si è preferito effettuare una analisi statistica sui parametri geotecnici registrati in sito determinando valori caratteristici differenti dai valori medi.

Tuttavia occorre sottolineare come tali valori non rappresentino un vincolo per il progettista in quanto esso potrà sempre sceglierli secondo il criterio di "stima ragionata e cautelativa" previsto dalla suddetta normativa in relazione alle problematiche tecniche, al tipo di verifica geotecnica ed agli stati limite di riferimento. I valori caratteristici sono stati quindi scelti a seguito di una trattazione statistica dei dati ottenuti dalla campagna geognostica e di laboratorio in funzione del numero di indagini, dell'ampiezza del campione di dati, dei livelli di confidenza, della discrezionalità per conoscenza geologica e geotecnica dell'area nonché della precisione dei metodi di indagine. Le metodologie di analisi, per l'ottenimento dei parametri utili alle verifiche agli SLU, sono state suddivise secondo due diverse tipologie base in funzione dei volumi di terreno che governano l'insorgenza degli stati limite e che possono essere, quindi, interessati dalla potenziale superficie di rottura:

- Tipologia 1 - volumi relativamente grandi e/o presenza di compensazione strutturale.
- Tipologia 2 - volumi relativamente piccoli e/o assenza di compensazione strutturale (con fenomeni di rottura locale).

⁴ fonte sito web:

https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia

La trattazione statistica viene svolta previo filtraggio preliminare del campione con eliminazione/correzione dei dati caratterizzati da valori manifestamente anomali e localizzati (es. fenomeni di indurimento localizzato o per essiccazione, picchi dovuti a trovanti, parziale cementazione, rimaneggiamento da arature, lavorazioni etc.).

4.8.1 Distribuzione statistica normale

Per la definizione statistica dei parametri caratteristici angolo di attrito e peso di volume si assume una distribuzione di dati "normale" (parametri generalmente caratterizzati da basse varianze). Per quanto riguarda la Tipologia 1 il valore che viene ritenuto governare l'insorgere dello stato limite è il valore medio. Il relativo valore medio viene scelto fra i valori medi delle prove realizzate con un intervallo di confidenza della media al 90% il cui lower (o upper) bound delimita una regione con livello di confidenza del 95% secondo la seguente relazione di base tramite "t" di Student ad n-1 gradi di libertà (Equazione 1):

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

Equazione 1- Rottura 'non locale', interessante volumi grandi di terreno.

Dove:

x_k è il valore caratteristico desiderato;

\bar{x} con barra il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;

t è il valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà con probabilità $u = 95\%$ (ossia, $1-\alpha = 0,95$ o alternativamente, $\alpha = 0,05$);

s è la deviazione standard del campione;

n il numero di dati.

Per quanto riguarda invece la Tipologia 2, il valore che viene ritenuto governare l'insorgere dello stato limite entro limitati volumi di terreno (es. fenomeni di rottura locale) consiste nel 5° percentile della distribuzione del campione. La formulazione di base da applicare, pertanto, può essere la seguente (cfr. Equazione 2):

$$x_k = \bar{x} \pm z_{0.05} \cdot s \approx \bar{x} \pm 1.645 \cdot s$$

Equazione 2 - Rottura 'locale', interessante volumi relativamente piccoli di terreno.

Dove:

x_k è il valore caratteristico desiderato;

\bar{x} con barra il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;

z è la distribuzione normale standardizzata;

s è la deviazione standard del campione.

4.8.2 Campioni di scarsa numerosità

Operando con l'ipotesi di varianza nota in cui, ad esempio, per la determinazione di \emptyset' , con distribuzione gaussiana, l'Equazione 1 diventa:

$$x_k = \bar{x} \pm z_{0.05} \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \approx \bar{x} \pm 1.645 \cdot \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

Equazione 3 - Campioni di ridotta numerosità in ipotesi di varianza nota.

Dove:

x_k è il valore caratteristico desiderato:

\bar{x} con barra il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;

z è la distribuzione normale standardizzata;

s è la deviazione standard della popolazione;

n è la numerosità del campione.

In tal caso il valore s andrebbe determinato mediante l'ausilio di database locali o di letteratura; è possibile esprimere, quindi, la variabilità tramite il coeff. di variazione COV:

$$COV = \frac{\sigma}{\mu}$$

Dove:

σ deviazione standard della popolazione;

μ media della popolazione.

Vari Autori raccomandano i seguenti valori:

Angolo di attrito ϕ' : 10%.

Coesione $C_u - c'$: 4%.

Moduli di deformabilità e compressibilità: 30%.

Nel caso in esame è stato adottato il seguente valore di COV per la determinazione dell'angolo di attrito: 7%.

4.8.3 Distribuzioni diverse dalla normale

Per alcuni modelli di distribuzione statistica di dati generalmente diversi da quella "normale", quali ad es. C_u , c' , E , Ed e R_p , in campo geologico risulta più coerente una distribuzione di tipo "lognormale", utilizzabile per modellare quantità aleatorie continue che si ritengono avere distribuzione asimmetrica. Per cui, in caso di volumi relativamente grandi e/o presenza di compensazione strutturale, per la distribuzione della media con i medesimi livelli di confidenza (95%) si può utilizzare il metodo esatto di Land oppure ben si adattano i metodi approssimati di Angus e di Cox di seguito illustrati:

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} - \frac{t_{1-\alpha/2}(n-1)}{\sqrt{n}} * \sqrt{S^2 \left(1 + \frac{S^2}{2}\right)}$$

Equazione 4- Metodo di Angus, per dati 'non pochi' e distribuzione log-normale degli stessi.

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$$

Equazione 5- Metodo di Cox, per dati 'pochi' e distribuzione log-normale degli stessi.

Se i dati sono "non pochi" (orientativamente ≥ 5) si applica il metodo conservativo di Angus, mentre se i dati sono pochi o uno solo (orientativamente < 5 e media campione = media popolazione/valore singolo), si applica il metodo di Cox. In tale caso infatti la distribuzione della media non è infatti derivabile analiticamente, per cui una semplice trasformazione delle variabili risulterebbe in una distribuzione della mediana e non della media.

Diversamente per il calcolo dei parametri caratteristici in assenza di compensazione strutturale e/o per volumi di terreno ridotti (con fenomeni di rottura locale) possono essere adottate le seguenti relazioni per la determinazione del 5° percentile della distribuzione del campione.

$$X_{0.05} = \exp(\lambda - z_{0.05}\rho) \approx \exp(\lambda - 1.645\rho)$$

$$\lambda = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2}\right)}$$

$$\rho = \ln(\mu) - 0.5 \ln\left(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2}\right)$$

Equazione 6- Equazione impiegata per dati con distribuzione log-normale degli stessi, con fenomeni di rottura locale.

Se i dati sono "non pochi" (orientativamente ≥ 5 media campione = media popolazione):

$x_{0.05}$ 5° percentile della log-normale;

λ media dei dati log-trasformati;

ρ deviazione standard dei dati log-trasformati;

μ media dei dati non trasformati;

σ deviazione standard (varianza) dei dati non trasformati;

$z_{0.05}$ 5° percentile della distribuzione normale standardizzata con media = μ .

Se i dati sono pochi o uno solo (orientativamente < 5 e media campione = media popolazione/valore singolo), si applica la stessa formulazione ma con le seguenti trasformazioni dei valori di riferimento:

σ varianza nota dei dati non trasformati (da letteratura o esperienza);

μ valore del singolo dato o media dei pochi dati non trasformati.

4.8.4 Prove di laboratorio con parametri efficaci

Avendo una o più coppie di parametri \emptyset' – c' derivanti da prove di laboratorio, è possibile determinare i valori caratteristici esattamente come esposto nei precedenti paragrafi. Questo se si ipotizza l'indipendenza statistica tra i parametri. Nella realtà, è noto che \emptyset' e c' esibiscono generalmente una correlazione negativa, ossia all'incrementare di \emptyset' si nota una diminuzione di c' e viceversa. L'errore che si commette se si trascura tale correlazione non è grande ed è a favore della cautela. Tuttavia, è possibile adottare il metodo rigoroso se si è a conoscenza della correlazione tra i parametri; il valore del coefficiente ρ generalmente utilizzato in letteratura è quello proposto da Harr (1996), elaborato da varie proposte di letteratura e pari a -0.47; altrimenti è necessario basarsi su dati più specifici derivanti da studi pregressi sui terreni in esame. Viene applicata una procedura analitica che comporta l'analisi di una distribuzione normale bivariata a 5 parametri: medie e varianze delle due variabili e coefficiente di correlazione. La seguente relazione illustra come si possano ricavare il valore atteso e la varianza della distribuzione della coesione condizionale a $\emptyset = \emptyset_k$:

$$E(C | \Phi = \phi_k) = \mu_c + \rho \sigma_c \left(\frac{\phi_k - \mu_\phi}{\sigma_\phi} \right)$$

$$VAR(C | \Phi = \phi_k) = \sigma_c^2 (1 - \rho^2)$$

Equazione 7- Distribuzione condizionale di c dato da ϕ .

Dove:

$\emptyset_k = \emptyset$ caratteristico (in questo caso, 5° percentile della distribuzione del campione);

μ_i è la media di i , dove $i = \emptyset, c$;

ρ_i è la deviazione standard di i dove $i = \emptyset, c$;

ρ è il coefficiente di correlazione tra \emptyset e c .

4.8.5 Sintesi delle analisi statistiche e parametri geotecnici caratteristici

In considerazione del numero e tipologia dei dati geotecnici e geomeccanici ottenuti tramite le prove penetrometriche statiche effettuate durante la campagna di indagine a corredo della progettazione del 2° lotto, si è ritenuto di trattare il volume di terreno interessato dalle indagini quale processo aleatorio approssimato ad una funzione a gradini (vedi schema tipo in Figura 13) in cui ciascun gradino risulta rappresentativo del comportamento di ogni litotipo individuato nella stratigrafia geotecnica generale nel precedente capitolo.

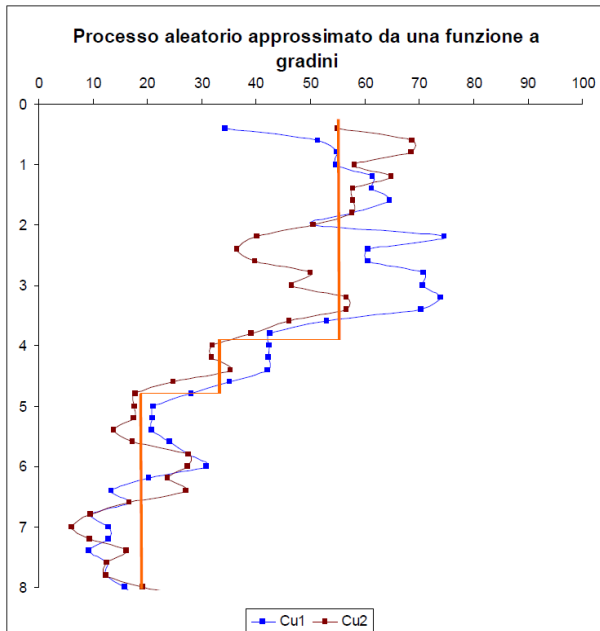


Figura 13 – Esempio di un processo aleatorio approssimato ad una funzione a gradini.

Tutto ciò premesso la buona prassi prevede di fornire una stima dei valori adottabili a seguito di filtraggio preliminare della distribuzione campionaria (con eliminazione/correzione dei dati caratterizzati da valori manifestamente anomali), a cui il progettista potrà fare eventuale riferimento per le verifiche agli stati limite. I valori caratteristici definiti potranno essere poi sottoposti ad ulteriori fattori di riduzione come previsto nel NTC2018 e relativa circolare esplicativa, a seconda delle modalità di approccio e verifica geotecnica da effettuare.

Il valore caratteristico scelto è pari al 5° percentile della media della distribuzione lognormale del parametro geotecnico (c_u) per gli strati coesivi, è pari invece al 5° percentile della media della distribuzione normale del parametro geotecnico ϕ per gli strati sciolti eventualmente presenti. I dati immessi nei calcoli sono valori di c_u e di ϕ derivati dalle correlazioni dei valori di q_c e f_s ricavati direttamente dalle prove penetrometriche mediante le correlazioni standard (Raccomandazioni AGI 1977-Ricceri et Altri 1974 – Marsal et al. 1974/1979). I valori immessi nella formula utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione relativi ai parametri geotecnici di interesse sono quelli significativi per i singoli strati indagati. Lo scopo è fornire un valore di c_u e ϕ che caratterizzi lo strato nel suo complesso. Nei calcoli vengono quindi eliminati, se presenti, i valori di picco di livelli centimetrici non rappresentativi delle caratteristiche litologiche dello strato. Se si considerano tutti i valori definiti ogni 20 cm dalle prove penetrometriche senza fare un'analisi ragionata delle proprietà litologiche dello strato si rischia di ottenere dei parametri geotecnici che falsano le reali caratteristiche dello strato.

La variabile aleatoria da prendere in considerazione **negli strati coesivi** per il tipo di indagini geognostiche svolte è il **parametro geotecnico caratteristico C_u** ; la variabile aleatoria da prendere in considerazione **negli strati sciolti** per il tipo di indagini geognostiche svolte in sito è il **parametro geotecnico caratteristico ϕ** . Nel caso in esame si prende in considerazione il parametro C_u per i litotipi presenti di natura coesiva e il parametro ϕ per i livelli granulari. In tal senso

per la determinazione dei parametri caratteristici corrispondenti a ciascun litotipo, da scegliere anche in relazione al rapporto fra caratteristiche dell'opera in progetto e della scala di fluttuazione dei dati rilevati, ci si è avvalsi rispettivamente della Equazione 4 e della Equazione 1, illustrate ai paragrafi precedenti considerando la tipologia di rottura 1 (volumi grandi) per fondazioni dirette continue superficiali (ad es. trave rovescia) o a platea o a plinti isolati adeguatamente collegati da travi, con distribuzione log-normale e normale per i parametri considerati.

Tutto ciò premesso nella tabella riassuntiva sottostante si fornisce una stima dei valori adottabili del sottosuolo interessato dall'intervento del 2 lotto (volume significativo), a cui il progettista potrà fare eventuale riferimento per le verifiche agli stati limite.

STR.	PROF. (m)	Descrizione strato	Peso di volume (t/m ³)	C _u k (kg/cm ²)	Φ' _k (°)	Modulo edometrico M _o k (kg/cm ²)	1° lotto		
							C _u k (kg/cm ²)	Φ' _k (°)	Modulo edometrico M _o k (kg/cm ²)
I	p.c.÷0,50	Terreno vegetale	-	-	-	-	-	-	-
II	0,50÷2,0	Limi e argille	1,85	1,09	/	93	/	/	/
III	2,0÷4,6	Ghiaie	1,85	/	35	561		34÷36	546
IV	4,6÷11,6	Argille consistenti con livelli di imi sabbiosi/sabbie	1,28	0,82	/	65	0,71÷0,8	/	55÷95
V	11,6÷14,0	Ghiaie con sabbie	1,1	/	38	807		34÷38	649
VI	14,0÷15,0	Argille consistenti	0,94	0,97	/	86	0,8	/	58,7

Tabella 39 – Parametri geomeccanici caratteristici del terreno di fondazione dell'area di intervento 2° lotto. Nelle colonne in grigio vengono posti a confronto con i parametri geomeccanici registrati per il 1° lotto.

Dal confronto tra i parametri geotecnici caratteristici ottenuti dalle indagini a corredo della progettazione del 2° lotto con quanto ottenuto dalle indagini del 1° lotto si osserva una buona concordanza dei valori.

Per quanto riguarda le precedenti campagne di indagine geognostica- effettuate a corredo della progettazione del 1° lotto - per la determinazione dei parametri caratteristici corrispondenti a ciascun litotipo ci si è avvalsi delle equazioni illustrate ai paragrafi precedenti considerando la tipologia di rottura 1 (volumi relativamente grandi e/o presenza di compensazione strutturale). Nella tabella seguente vengono sintetizzate le scelte applicate nella trattazione statistica dei parametri:

Equazione	Tipologia di rottura	Parametri	Indagini	Note
Eq.1	Tipologia 1	Y' e Φ	Dai valori registrati con CPT (prova penetrometrica statica)	Distribuzione normale dei dati ed elevata numerosità degli stessi
Eq.2	Tipologia 2	/	/	Non applicata tipologia di rottura 2
Eq.3	Tipologia 1	Φ'	Dalle letture allo SPT (standard penetration test entro il foro di sondaggio)	Distribuzione normale dei dati, pochi dati e con varianza nota
Eq.4	Tipologia 1	Cu e M	Entrambi i parametri desunti dalle prove CPT; Cu desunta dai valori registrati con pocket penetrometer (al prelievo della carota e sui campioni) e con vane test (all'apertura dei campioni)	Distribuzione log-normale dei dati e 'non pochi' dati
Eq.5	Tipologia 1	Cu e M	Cu determinata tramite correlazioni empiriche con i Limiti di Atterberg, M desunta dalla prova edometrica	Distribuzione log-normale dei dati e 'pochi' dati
Eq.6	Tipologia 1	c' e Φ'	Parametri ricavati con prova triassiale CIU	Coppia di parametri desunti da prove di laboratorio

Tabella 40 – Schema sintetico relativo alle equazioni statistiche applicate.

Nei casi in cui la parametrizzazione e trattazione statistica di un litotipo sia stata condotta sulla base di un unico campione, i valori desunti tendono a coincidere in quanto tale campione, se ritenuto utilizzabile, si ritiene rappresentativo di un comportamento medio dell'intero litotipo e, quindi, assimilabile alla "media". I valori riportati

nelle tabelle in Appendice sono stati determinati sulla base degli ambiti di variabilità dei valori riscontrati per ciascun litotipo nei sondaggi di riferimento e relative prove di laboratorio terre (sia in sito che di confronto). Tutto ciò premesso nella tabella riassuntiva in Appendice si fornisce una stima dei valori adottabili: in tale tabella di sintesi, a titolo indicativo ed evidenziati in grassetto, vengono riportati i valori caratteristici dei corrispondenti parametri desunti dalle prove di laboratorio e dalle indagini in sito. Altra tabella in Appendice riporta la sintesi dei parametri geotecnici desunti dalle prove di laboratorio. I valori caratteristici e nominali definiti potranno essere poi sottoposti ad ulteriori fattori di riduzione, a seconda delle modalità di approccio e verifica geotecnica da effettuare.

I valori ottenuti dalle campagne del 2011 e precedenti, possono essere assunti come orientativi anche per il 2° lotto in oggetto data anche la concordanza mostrata in Tabella 39, con le precisazioni di cui alle tabelle seguenti:

	STRATO	m.	Prof.	descrizione litologia	Kg/cm ²	t/m ³	°	°	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	°	Kg/cm ²
					qc media	γ_n	Φ'	Φ'	Cu	Cu	Cu	c'	Φ'	M
III strato	I	p.c.+0,6		terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	II	0,6+4,2		ghiaie, con livelli limo-argillosi	192	1,85	36,1	34	/	/	/	/	/	546,38
IV strato	III	4,2+8,0		limi e argille	19	1,85	6,5	31	0,708	0,739	0,185	0,251	20,4	55,55
	IV	8,0+9,0		limi sabbiosi/sabbie	35	1,58	17		0,842	0,480	0,202	0,261	17,3	95,91
V strato	V	9,0+11,6		argille consistenti	20	0,99	7,6		0,768	0,815	0,310	0,059	25,2	59,74
VI strato	VI	11,6+14,3		ghiaie con livelli sabbiosi	230	1,11	37,5	34	/	/	/	/	/	649
	VII	14,2+17,7		argille	32	0,93	13,3		0,843	0,817	0,547	0,184	22,1	58,7
	VIII	17,7+19,5		ghiaie e sabbie				33	/	/	/	/	/	
	IX	19,5+34,0		argille grigie					0,846					
					Eq.1	Eq.1	Eq.3	Eq.4	Eq.4	Eq.5	Eq.6	Eq.6	Eq.6	Eq.4

Kg/cm ²	Kg/cm ²	cm ² /sec	cm/sec	ad	ad	ad	ad	STRATO
M1	M2	Cv medio	K media	OCR	Cc	Cr	Cc	
/	/	/	/	/	/	/	/	I
/	/	/	/	/	/	/	/	II
27,79	41,48	6,94E-04	1,04E-08	2	0,285	0,0459	0,243-0,25	III
49,1	48,1	6,67E-03	1,29E-07	2,1	0,39	0,0417	0,306-0,29	IV
23,2	33,4	6,05E-04	1,13E-08	0,9	0,29	0,0799	0,243-0,22	V
/	/	/	/	/	/	/	/	VI
34,17	48,16	8,83E-04	1,19E-08	2,9	0,26	0,0443	0,414-0,25	VII
								VIII
								IX
Eq.5	Eq.5							

Tabella 41 – Tabella sintetica con i parametri caratteristici determinati per il terreni di fondazione del 1° stralcio, correlati con i livelli registrati nelle indagini effettuate a corredo della progettazione del 2° stralcio.

I valori ottenuti dalle campagne del 2011 e precedenti, possono essere assunti come orientativi anche per il 2° lotto in oggetto come precisato in tabella seguente:

SOND.	m.	Kg/m ³	%	%	%	%	%	%	ad	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	ad	Kg/cm ²
S1	Prof.	γ_n	ARG	LIMO	SABBIA	GHIA	L.P.	WI	eo	Cu	Cu	Cu	Cc	M1
S1SH1	-6,3	1.890	21,5	60,6	17,8	0,0	18	44	0,91	0,75	0,45	0,21-0,24	0,306-0,29	49,1
S1SH2	-9,3	1.960	22,7	55,7	21,7	0,0	16	37	0,75	0,75	0,70	0,30-0,30	0,243-0,22	49,6
S1SH3	-15,3	1.900	51,3	43,8	5,0	0,0	31	58	0,86	1,20	1,05	0,51-0,59	0,432-0,25	42,7
S2														
S2SH1	-5,9	1.870	12,1	51,3	26,7	0,0	13	37	0,88	0,60	0,20	0,17-0,18	0,243-0,25	31,2
S2SH2	-9,5	1.960	44,9	35,2	19,9	0,0	15	37	0,75	0,75	0,60	0,31-0,31	0,243-0,22	23,2
S2SH3	-14,7	1.980	69,9	25,3	4,8	0,0	21	56	0,75	1,20	1,00	0,54-0,72	0,414-0,22	35,9

Kg/cm ²	cm ² /sec	cm/sec	Kg/cm ²	ad	ad	ad	ad	Cs	c'	Φ'	STRATO	natura campione
M2	Cv medio	K media	P prec	OCR	Cc	Cr	Cc					
48,1	6,67E-03	1,29E-07	2,53	2,1	0,39	0,0417	0,049	0,328	21,8		IV	Limo argilloso debolmente sabbioso marrone chiaro
71,7	6,24E-04	7,96E-09	4,12	2,3	0,21	0,0252	0,046	0,281	22		III	Limo argilloso e sabbioso marrone chiaro
59,0	4,26E-04	5,53E-09	7,26	3,2	0,27	0,0331	0,057	0,253	26,3		VII	Argilla con limo grigio
46,3	7,64E-04	1,29E-08	1,91	1,7	0,26	0,0565	0,048	0,206	26,4		III	Limo con sabbia argilloso marrone
33,4	6,05E-04	1,13E-08	1,65	0,9	0,29	0,0799	0,054	0,074	31,7		V	Argilla con limo sabbioso marrone
50,4	1,34E-03	1,83E-08	7,43	2,6	0,25	0,0555	0,041	0,181	26,3		VII	Argilla limosa grigio scuro

Tabella 42 – Tabella sintetica con i parametri caratteristici determinati per il terreni di fondazione del 1° stralcio, correlati con i livelli registrati nelle indagini effettuate a corredo della progettazione del 2° stralcio.

Nelle tabelle testé riportate accanto ai valori dei parametri geomeccanici è indicata la correlazione con i livelli stratigrafici registrati nelle indagini svolte per la progettazione del 2° lotto indicando in numero romano il livello delle indagini 2018.

Per una schematizzazione del modello geotecnico del terreno si potrà fare riferimento alle sezioni litostratigrafiche interpretative riportate in Appendice (cfr. Tav.3A per il 1° lotto e Tav.3B per il 2° lotto).

5. VALUTAZIONI SISMICHE

5.1 Risposta Sismica Locale

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalla complessa interazione tra le onde sismiche e le particolari condizioni locali, cioè l'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche di depositi di terreno ed ammassi rocciosi e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali costituenti. In determinate condizioni questa interazione comporta una specifica risposta sismica locale, differente da quella che si avrebbe in un sito di riferimento ideale, rigido con superficie topografica orizzontale. Le modifiche del moto sismico prodotte dalle condizioni locali sono complessivamente definite *effetti di sito*. In letteratura specialistica si precisa che l'espressione effetti di sito è riservata ai fenomeni che interessano terreni a comportamento sismico stabile (terre che sottoposte a sollecitazioni sismiche si mantengono lontane dalla rottura e sono soggette a limitate deformazioni permanenti).

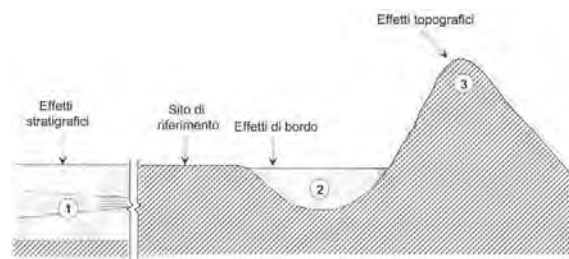


Figura 14 – Tipiche configurazioni responsabili di effetti di sito, rispetto ad un sito roccioso di riferimento con superficie libera orizzontale (Fig.6.1 in Raccomandazioni AGI, 2005).

Gli effetti di sito possono essere distinti a seconda del principale fenomeno fisico responsabile: effetti stratigrafici (1), fa riferimento ad effetti legati sostanzialmente a risonanza tra onde sismiche e terreni, in relazione alla stratigrafia del sottosuolo, alle caratteristiche fisico-meccaniche di terreni/rocce ed al contenuto in frequenza predominante del moto sismico; effetti di bordo (2), indica fenomeni ai margini di depositi di valle; effetti topografici (3), indica le modifiche del moto sismico imputabili alla particolare configurazione topografica del sito. Nella Figura 14 sono esemplificati i sopra elencati effetti di sito. Nel prosieguo si farà riferimento esclusivamente alla risposta sismica locale causata da effetti stratigrafici, poiché per essi lo stato delle conoscenze ha portato allo sviluppo di metodi di analisi attendibili. Nella figura successiva è schematizzato il problema della risposta sismica locale correlata alla presenza di un deposito di terreno deformabile sovrastante un substrato di più elevata rigidezza. Il moto sismico di ingresso si intende assegnato in corrispondenza del basamento (bedrock), nel dominio dei tempi o delle frequenze. Il moto risultante alla superficie del deposito in condizioni di campo libero (free-field), in altre parole in assenza di manufatti, in generale differisce da quello al basamento in termini di ampiezza, contenuti in frequenza e durata.

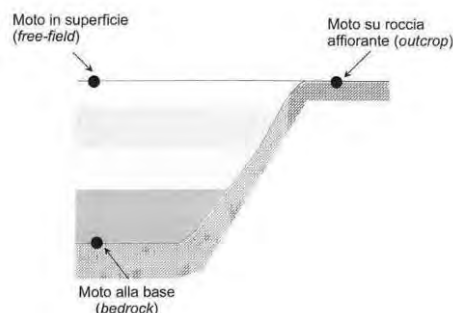


Figura 15 – Terminologia utilizzata per il moto sismico con riferimento ad un deposito di terreno poggiante su un basamento roccioso (Fig.6.2 in Raccomandazione AGI, 2005).

5.1.1 Azione sismica di progetto, spettri di risposta e amplificazione litologica

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_s > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Ad oggi risultano disponibili vari siti web e fogli di calcolo che forniscono spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per un generico sito del territorio nazionale. Utilizzando il foglio elettronico "Spettri di risposta SPETTRI-NTC" Ver.1.03, del Ministero dei Lavori Pubblici, è possibile, inserendo le coordinate e le caratteristiche progettuali del sito, visualizzare e stampare grafici e tabelle relativi al computo dell'azione sismica di progetto ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008. Di seguito sono quindi fornite tutte le informazioni necessarie per calcolare l'azione sismica ai sensi del nuovo TU. Prima di tutto è necessario conoscere le coordinate del sito in oggetto (longitudine e latitudine); inserendo le suddette coordinate è possibile ottenere il valore dei parametri spettrali (a_g , F_0 e T^*_c) propri del sito in esame tramite media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni (Tab.1 in All.B) che comprendono l'area (come indicato nell'All.A del D.M. 14/01/2008). Le coordinate (geografiche ED50, ellissoide di riferimento per la mappa di pericolosità INGV) del sito in esame sono: **lat. 44,689564°; long. 10,607287°**.

Inserendo le coordinate nel foglio di calcolo si ottengono i valori dei parametri sismici a_g , F_0 e T^*_c che sono relativi a situazioni geologiche corrispondenti ad un sito con assenza di effetti locali dei terreni, ovvero con presenza di substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) affiorante o subaffiorante ed in condizioni morfologiche pianeggianti.

Stato limite	T_r (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (sec)
SLO – Stato Limite di Operatività	45	0,058	2,495	0,260
SLD – Stato Limite di Danno	75	0,072	2,475	0,270
SLV – Stato Limite di salvaguardia della Vita	712	0,179	2,379	0,297
SLC – Stato Limite di prevenzione del Collasso	1462	0,224	2,419	0,309

Tabella 43 – Espressioni dei valori dei parametri sismici a_g , F_0 e T^*_c per i periodi di ritorno associati a ciascun SL.

Qualora il sito di progetto non presenti le suddette condizioni sarà necessario, come indicato nel Cap.3.2 del NTC2018, compiere specifiche analisi di valutazione della risposta sismica locale, o in alternativa, verificare:

- la categoria di suolo di fondazione mediante la stima del parametro V_{seq} (tabella 3.2.II nel Cap.3.2 della Norma) e di conseguenza valutare l'incremento sull'azione sismica con l'amplificazione stratigrafica stimata con i coefficienti S_s e C_c (tabella 3.2.IV nel Cap.3.2 della Norma);
- il coefficiente di amplificazione topografica S_T (tabella 3.2.V nel Cap.3.2 della Norma).

Come riportato all'art.3.2.2 del nuovo NTC2018 e in tabella 3.2.III, la condizione topografica, e relativa categoria, entro la quale si colloca l'area in oggetto è la T_1 , ovvero "superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

Riguardo alla categoria del suolo di fondazione si rammenta che essa è stata stimata essere **cat.C**, e applicando la tabella 3.2.IV nel Cap.3.2 della Norma, l'incremento sull'azione sismica espressa in termini di S_s e C_c con periodo di riferimento 75 anni, tipo di costruzione 2, vita nominale della costruzione 50 anni e classe d'uso III risulta essere:

Stato limite	S_s	C_c	S_t	K_h	K_v	A_{max} (m/sec ²)	Beta
SLO	1,50	1,640	1,0	0,017	0,009	0,846	0,200
SLD	1,50	1,620	1,0	0,022	0,011	1,059	0,200
SLV	1,44	1,570	1,0	0,062	0,031	2,525	0,240
SLC	1,37	1,550	1,0	0,086	0,043	3,015	0,280

Tabella 44 – Valori dei coefficienti sismici.

Viene inoltre riportato lo spettro di risposta della componente orizzontale e verticale allo Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita con smorzamento $\xi = 5\%$ su suolo di tipo C: il valore di $a_g(g)$ = accelerazione orizzontale massima attesa al sito di riferimento rigido = **0,157 g** che deriva dai dati imposti secondo le NTC 2018 per il comune di Reggio Emilia, scalato per un coefficiente d'uso 1,5 che corrisponde ad una classe d'uso III, vita nominale 50 anni (opere ordinarie). Di seguito vengono riportati per il sito in oggetto i diversi spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite, per un suolo di tipo C. In Appendice i parametri sismici ai vari stati limite.

Per spettro di risposta si intende la massima accelerazione di un oscillatore (edificio di progetto) a un particolare input (terremoto) in funzione del periodo proprio e dello smorzamento. Gli spettri di risposta su suolo rigido di seguito riportati vengono dati per gli stati limite di esercizio: lo stato limite di Operatività (SLO) e lo stato limite di Danno (SLD) e per gli stati limite ultimi (lo stato limite di Salvaguardia della Vita SLV e lo stato limite di prevenzione del Collasso SLC). Le forme spettrali sono definite in base a parametri il cui valore dipende dal periodo di ritorno associato a ciascun stato limite. Nelle tabelle sopra riportate vengono definiti i parametri base degli spettri per i vari periodi di ritorno.

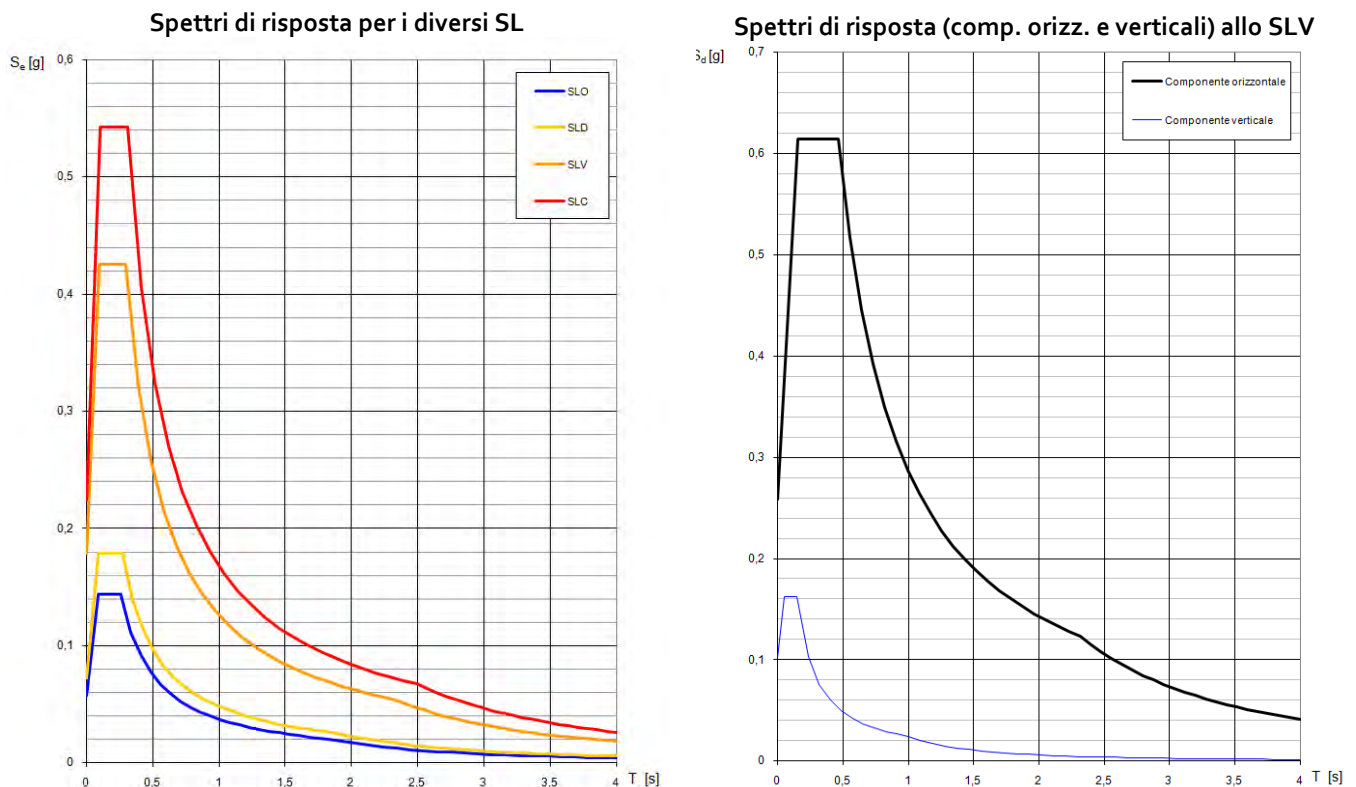


Figura 16 - Spettri di risposta per i diversi SL e spettro di risposta elastico per lo stato limite di salvaguardia della vita su suolo in studio di tipo C. "Spettri di risposta SPETTRI-NTC" Ver.1.03.

I parametri definiti sono:

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa al sito di riferimento rigido;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T^*_{C=}$ = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

5.1.2 Secondo livello di approfondimento - Analisi semplificata

In riferimento all'Atto di "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" (DAL 112 del 02/05/2007) si è eseguita una analisi di secondo livello di approfondimento (analisi semplificata) per la stima dell'effettivo grado di pericolosità sismica locale. Ciò attraverso la determinazione

dei coefficienti di amplificazione sismica ottenuti impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (A2.1 e A2.2) che permettono di determinare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento.

L'analisi sismica eseguita nell'area in esame ha fornito un valore V_{s30} pari a **277,94 m/sec** (cfr. elaborati fuori testo relativo a Prova Down Hole della campagna di indagini del 2011 e precedente Ca.p4) calcolato al p.d.c., e di **285,56 m/sec** calcolato a -2 m dal p.c., e di **289,52 m/sec** calcolato a -4 m dal p.c.

In tutti i casi sopra contemplati la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C.

In riferimento alla normativa regionale vigente in materia sismica (Del.112 del 02/05/2007), l'analisi semplificata al secondo livello di approfondimento ha lo scopo di valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale: come scritto la determinazione dei coefficienti di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento avviene utilizzando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (A2.1 e A2.2). Il sito in esame, classificabile come PIANURA⁵ con valore di $V_{s30} = 278 \text{ m/sec}$, presenta i seguenti valori dei F.A. (fattori di amplificazione):

F.A. P.G.A.

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE – $0,1 \text{ s} < T_0 < 0,5 \text{ s}$

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0	1,0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE – $0,5 \text{ s} < T_0 < 1,0 \text{ s}$

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2,5	2,3	2,3	2,0	1,8	1,7	1,7	1,5	1,2	1,0

Tabella 45 – Tabelle sintetiche tratte dall'Allegato A.2.1 della Del.Ass. Leg. Emilia-Romagna 2 maggio 2007.

I valori di (FA), da utilizzare nel rispetto della normativa regionale vigente si ricavano direttamente dalle tabelle e formule sopra riportate, considerando una velocità del V_{s30} pari a **278 m/s**, calcolata al pdc.

F.A. (P.G.A.) = 1,5

F.A. - $0,1 < T_0 < 0,5 \text{ s} = 1,7$

F.A. - $0,5 < T_0 < 1 \text{ s} = 2,3$

Si ricorda che per edifici di edilizia ordinaria (fino a 4-5 piani, piccoli e compatti) $T < 0,5 \text{ sec.}$; mentre per torri e fabbricati elevati $T > 1-1,5 \text{ sec.}$

Vari Autori hanno proposto correlazioni empiriche tra il fattore di amplificazione, di picco o spettrale, e la velocità delle onde di taglio, valutata entro una certa profondità dal piano campagna. Alcuni dei fattori di amplificazione proposti in letteratura, per l'accelerazione di picco (A_a), la velocità di picco (A_v) e l'accelerazione spettrale (A_{sa}), sono riportati in Figura 17.

Applicando le relazioni di Midoriwaka (1994), riportate in figura si ottengono i seguenti fattori di amplificazione relativi ai vari parametri del moto sismico:

Parametro del moto sismico	Fattore di amplificazione	Valori calcolati
Accelerazione di picco	$A_a = (V_{s0} / V_b)^{-0,47} = (278/1.000)^{-0,47}$	1,83
Velocità di picco	$A_v = (V_{s0} / V_b)^{-0,37} = (278/1.000)^{-0,37}$	1,61
Accelerazione spettrale (5% smorzamento strutturale)	$A_{sa} = (V_{s0} / V_b)^{-a} = (278/1.000)^{-0,24 \div -0,87}$	1,36 ÷ 3,05

Tabella 46 – Tabella riepilogativa dei fattori di amplificazione calcolati relativamente a vari parametri del moto sismico.

Quale valore da attribuire a V_{s0} è stato assunto il V_{s30} (278 m/sec), e quale valore V_b , velocità delle onde di taglio nel basamento, viene considerata la velocità delle onde di taglio nel basamento costituito dalla base del Sistema

⁵ Ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo ($\geq 100 \text{ m}$ da p.c.).

Emiliano-Romagnolo Superiore (pari almeno a ca. 1.000 m/sec). Si considera quindi quale quota del bedrock sismico lo strato a contrasto di impedenza posto a prof. superiore a -100 m sottostante il sito in esame: osservando lo stralcio della carta sismotettonica (cfr. Figura 4) esso risulta a quota pari a ca. -50 m rispetto al livello del mare (quindi a ca. -112 m di profondità sottostante il sito in esame). Ciò pare confermato anche dalla stratigrafia del pozzo riportata in un capitolo precedente.

Parametro del moto sismico	Fattore di amplificazione	Note	Riferimento
Accelerazione di picco	$A_s = (V_{s0}/V_s)^{0.47}$	$V_t = 750$ m/s	Midoriwaka <i>et al.</i> (1994)
	$A_s = (V_{s0}/V_s)^{0.37}$	$V_t = 1400$ m/s	Boore <i>et al.</i> (1994)
Velocità di picco	$A_s = (V_{s0}/V_s)^{0.43}$	$V_t = 1190$ m/s	Joyner e Fumal (1984)
	$A_s = (V_{s0}/V_s)^{0.37}$	$V_t = 600$ m/s	Midoriwaka <i>et al.</i> (1994)
Accelerazione spettrale (5% smorzamento strutturale)	$A_{sa} = (V_{s1}/V_s)^a$	$a = 0.28-0.78$ $V_t = 590-1620$ m/s*	Joyner e Fumal (1984)
	$A_{sa} = (V_{s0}/V_s)^a$	$a = 0.2-0.71$ $V_t = 1100-2300$ m/s	Boore <i>et al.</i> (1994)
	$A_{sa} = (V_{s0}/V_s)^a$	$a = 0.24-0.87$ $V_t = 430-910$ m/s	Midoriwaka <i>et al.</i> (1994)
*Funzione del periodo strutturale			
V_{s0} = velocità media delle onde di taglio entro una profondità di 30 m dal piano campagna; V_{s1} = velocità media delle onde di taglio fino alla profondità di $\frac{1}{4}$ di lunghezza d'onda per un periodo d'onda di 1 s; V_s = velocità delle onde di taglio nel basamento di riferimento			

Figura 17 – Correlazioni empiriche tra fattore di amplificazione e velocità delle onde di taglio (Tab.6.2 in Raccomandazione AGI, 2005).

5.1.3 Terzo livello di approfondimento - Analisi approfondita condotta con EERA

Un'analisi più approfondita è richiesta, ai sensi della Del.112 del 02/05/2007 Regione Emilia Romagna, per le aree nelle quali si intenda localizzare ambiti di riqualificazione e nuovo insediamento, nelle seguenti situazioni: aree soggette a liquefazione e densificazione; aree instabili e potenzialmente instabili; aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti; oppure aree in cui è prevista la realizzazione di **opere di rilevante interesse pubblico**, quale è il caso in esame a corredo della progettazione definitiva della stessa. Questo livello di analisi è, quindi, finalizzato a valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale delle suddette aree: è quindi stata condotta l'analisi approfondita con il software gratuito EERA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis, J. P. Bardet et al., 2000). Nel prosieguo se ne riportano i risultati salienti di output che potranno essere impiegati per la progettazione definitiva.

Nel software è necessario inserire la stratigrafia di sito ricostruita, nel caso in esame, dalla campagna di indagini geognostica e dal profilo del pozzo ubicato in prossimità del sito in oggetto (cfr. Tabella 38) e altresì i tre segnali di riferimento (disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/gli-indirizzi-per-gli-studi-di-microzonazione-sismica-in-emilia-romagna-per-la-pianificazione-territoriale-e-urbanistica#section-8>) che sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database". Ogni archivio .zip contiene i tre segnali già scalati per il comune a cui si riferiscono: così il nome di ogni file contenente un segnale è composto dall'ID dell'evento (secondo il formato ISESD) e dal nome del comune in cui il segnale deve essere impiegato. Ad esempio, il file [000046xa_035033ReggionellEmilia.xy](#), include la registrazione lungo la componente **xa** del segnale con ID **000046** (contenuto nella banca ISESD) opportunamente scalata in modo che il valore di accelerazione massima corrisponda a quello del comune di Reggio Emilia. Ogni file con un segnale di riferimento contiene due colonne: la prima colonna corrisponde al tempo, espresso in secondi, la seconda contiene il valore di accelerazione, espresso in frazioni dell'accelerazione di gravità g (pari a $9,81\text{m/sec}^2$) al tempo t .

I dati di output sono rappresentati dal fattore di amplificazione in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) e di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi, dove PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento, definiti per ogni comune, ricavabili dal data base regionale (disponibile nel sito internet www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica) e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie del sito esaminato con il software EERA:

Segnale di riferimento	PGA/PGA_0	SI/SI_0 $0,1 s < T_0 < 0,5 s$	SI/SI_0 $0,5 s < T_0 < 1,0 s$	SI/SI_0 $0,2 < T_0 < 2,0 s$
000046xa_035033ReggionellEmilia	0,249/0,157= 1,59	2,108	1,802	2,023
000126xa_035033ReggionellEmilia	0,237/0,157= 1,51	2,279	1,956	2,273
000354xa_035033ReggionellEmilia	0,253/0,157= 1,61	1,982	1,722	1,903

Tabella 47 – Fattori di amplificazione in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) e di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi.

I fattori di amplificazione determinati con EERA risultano differenti da quelli desunti con la procedura semplificata e da quelli stimati secondo le NTC2008, nel modo seguente.

L'accelerazione massima attesa in superficie, per $T = 0$, stimata con un approccio "sito dipendente" (NTC2008) risulta pertanto:

$$a_{\max} = a_g \times S_s \times S_t = 0,179 \text{ g} \times 1,44 \times 1 = \mathbf{0,257 \text{ g} = 2,52 \text{ m/sec}^2}$$

l'accelerazione massima attesa in superficie, per $T = 0$, stimata con riferimento alla normativa regionale vigente in materia sismica (Del. 112 del 02/05/2007 e Tabella 45), mediante l'analisi semplificata risulta:

$$a_{\max} = a_g \times S_s \times S_t = 0,157 \text{ g} \times 1,50 \times 1 = \mathbf{0,236 \text{ g} = 2,310 \text{ m/sec}^2}$$

l'accelerazione massima attesa in superficie, per $T = 0$, stimata con l'analisi approfondita (tramite software EERA) risulta:

$$a_{\max} = \mathbf{0,249 \text{ g} = 2,44 \text{ m/sec}^2} \text{ (000046xa_035033ReggionellEmilia)}$$

$$a_{\max} = \mathbf{0,237 \text{ g} = 2,32 \text{ m/sec}^2} \text{ (000126xa_035033ReggionellEmilia)}$$

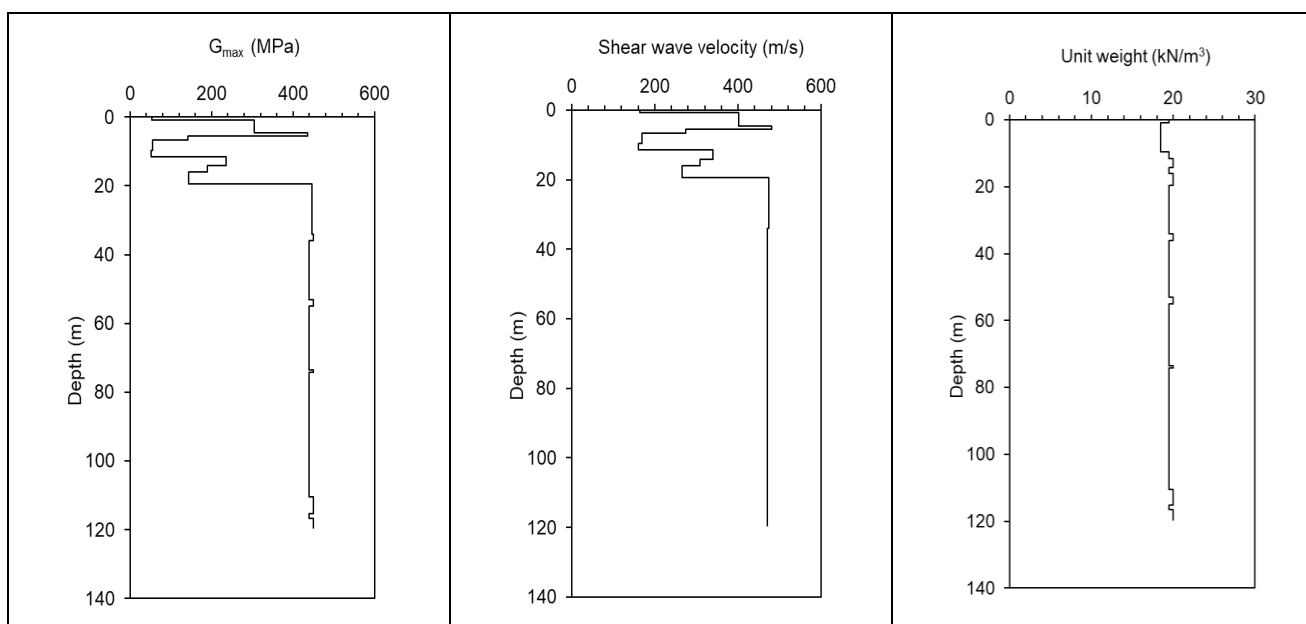
$$a_{\max} = \mathbf{0,253 \text{ g} = 2,48 \text{ m/sec}^2} \text{ (000354xa_035033ReggionellEmilia)}$$

Nel prosieguo le elaborazioni ottenute con EERA.

Tutto ciò premesso e confrontando le risultanze delle suddette stime sarà compito del progettista scegliere il valore di accelerazione massima attesa al suolo che ritiene più aderente alla realtà in esame, per tutte le verifiche del caso.

PROFILO DI RIFERIMENTO

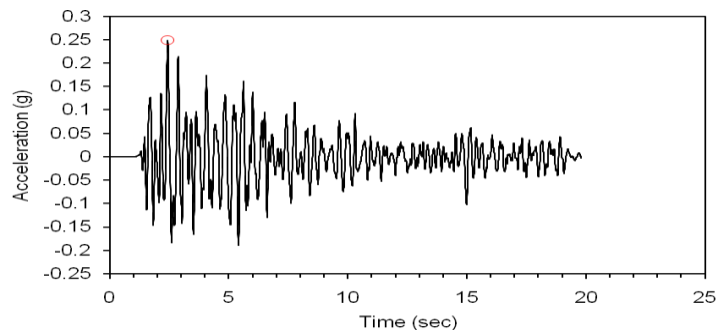
	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m ³)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table
Surface	1	1 (argilla)		0,8	53,46		19,50	164		
	2	4 (ghiaie)		3,9	304,76		18,50	402		
	3	1		0,9	436,31		18,50	481		
	4	2 (sabbia)		1,0	142,62		18,50	275		
	5	1		3,0	54,50		18,50	170		
	6	1		1,9	51,52		19,50	161		W
	7	4 (ghiaie)		2,7	235,68		20,00	340		
	8	1		1,8	189,79		19,50	309		
	9	4		3,5	143,17		20,00	265		
	10	1		14,5	446,60		19,50	474		
	11	4		2,0	450,36		20,00	470		
	12	1		17,0	439,10		19,50	470		
	13	4		2,0	450,36		20,00	470		
	14	1		18,5	439,10		19,50	470		
	15	4		0,8	450,36		20,00	470		
	16	1		36,2	439,10		19,50	470		
	17	4		4,7	450,36		20,00	470		
	18	1		1,4	439,0978394		19,50	470		
	19	4		3,0	450,3567505		20,00	470		
Bedrock	20	0			1987,767578	1	19,50	1000	Outcrop	



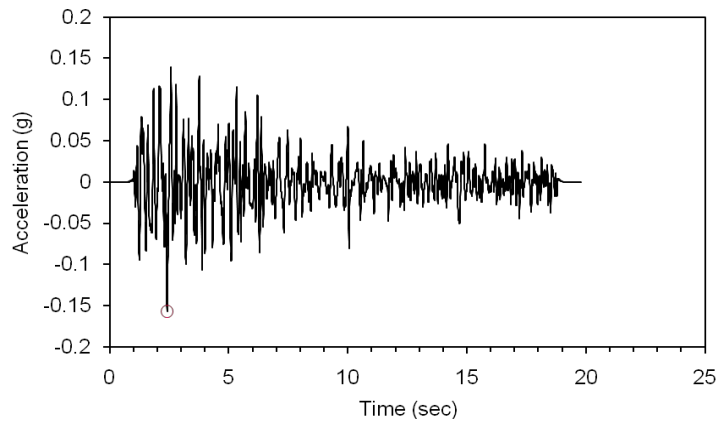
ACCELERAZIONE ATTESA

(riferita al segnale 000046xa_035033ReggionellEmilia)

Number of sublayer =	1
Type of sublayer =	Outcrop
Depth at top of sublayer (m) =	0
Maximum acceleration (g) =	0.249
Time of maximum acceleration (sec) =	2.43
Mean Square frequency (Hz) =	3.30
Maximum relative velocity (m/s) =	0.21014
Time of maximum relative velocity (sec) =	2.51
Maximum relative displacement (m) =	-0.01648
Time of maximum relative displacement (sec) =	2.41

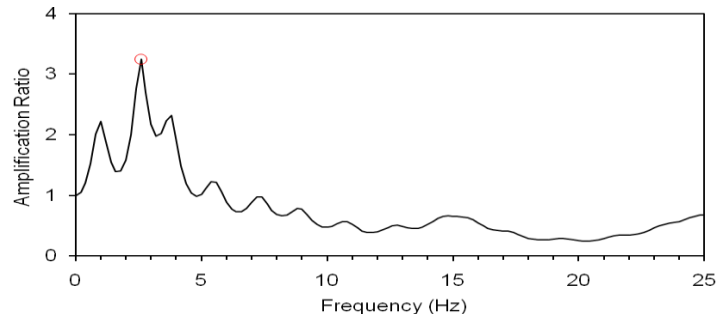


Number of sublayer =	20
Type of sublayer =	Outcrop
Depth at top of sublayer (m) =	119.5999985
Maximum acceleration (g) =	0.157
Time of maximum acceleration (sec) =	2.41
Mean Square frequency (Hz) =	5.34
Maximum relative velocity (m/s) =	0.03106
Time of maximum relative velocity (sec) =	2.77
Maximum relative displacement (m) =	-0.00331
Time of maximum relative displacement (sec) =	2.13



AMPLIFICAZIONE ATTESA
(riferita al segnale 000046xa_035033ReggionellEmilia)

Number of first sublayer =	20
Type of first sublayer =	Outcrop
Number of second sublayer =	1
Type of second sublayer =	Outcrop
Maximum amplification =	3.250
Frequency of maximum amplification (Hz) =	2.600



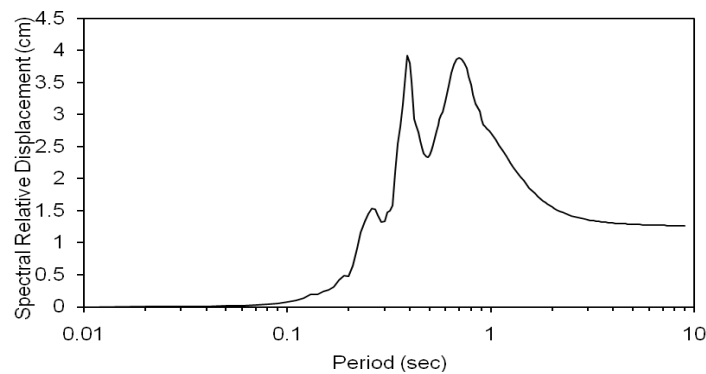
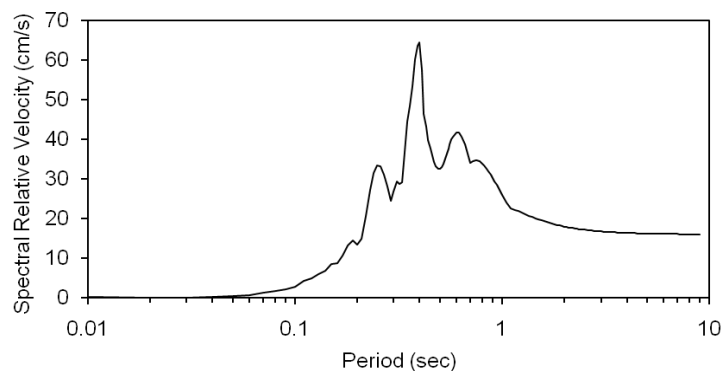
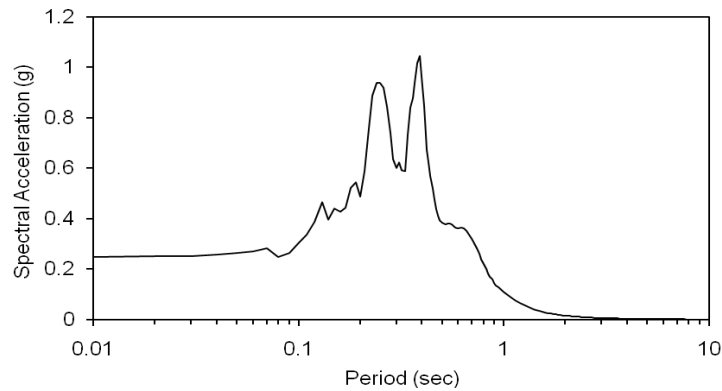
SPETTRI
(riferiti al segnale 000046xa_035033ReggionellEmilia)

Number of sublayer =	1
Type of sublayer =	Outcrop
Ratio of critical Damping (%) =	5

Depth at top of sublayer (m) =0

Maximum Spectral Acceleration (g) =1.0445

Maximum Spectral Velocity (cm/s) =64.4643



ACCELERAZIONE ATTESA
(riferita al segnale 000126xa_035033ReggionellEmilia)

Number of sublayer =1

Type of sublayer =Outcrop

Depth at top of sublayer (m) =0

Maximum acceleration (g) =0.237

Time of maximum acceleration (sec) =5.40

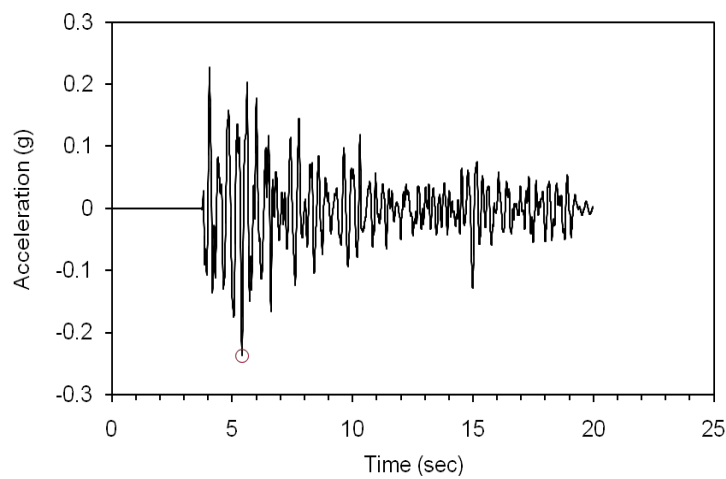
Mean Square frequency (Hz) =3.36

Maximum relative velocity (m/s) =0.12796

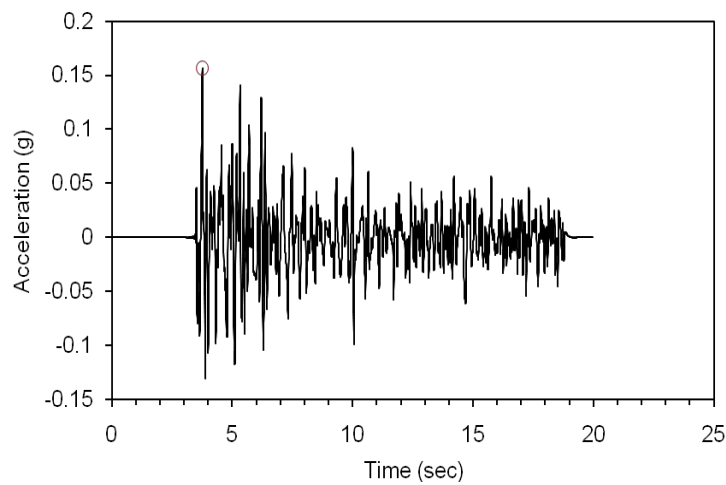
Time of maximum relative velocity (sec) =5.66

Maximum relative displacement (m) =0.00990

Time of maximum relative displacement (sec) =5.03

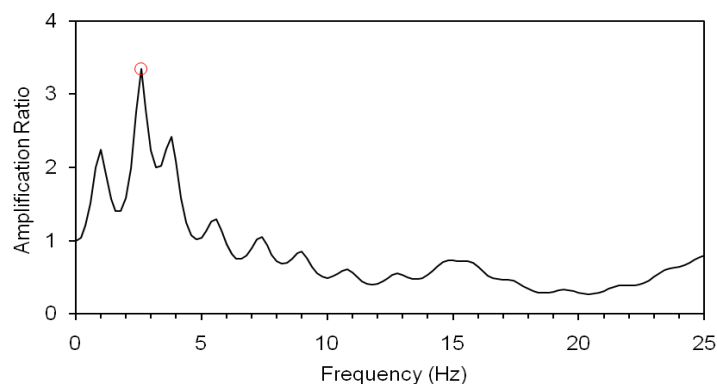


Number of sublayer =	20
Type of sublayer =	Outcrop
Depth at top of sublayer (m) =	119.5999985
Maximum acceleration (g) =	0.157
Time of maximum acceleration (sec) =	3.76
Mean Square frequency (Hz) =	5.82
Maximum relative velocity (m/s) =	0.02566
Time of maximum relative velocity (sec) =	5.16
Maximum relative displacement (m) =	-0.00349
Time of maximum relative displacement (sec) =	5.31



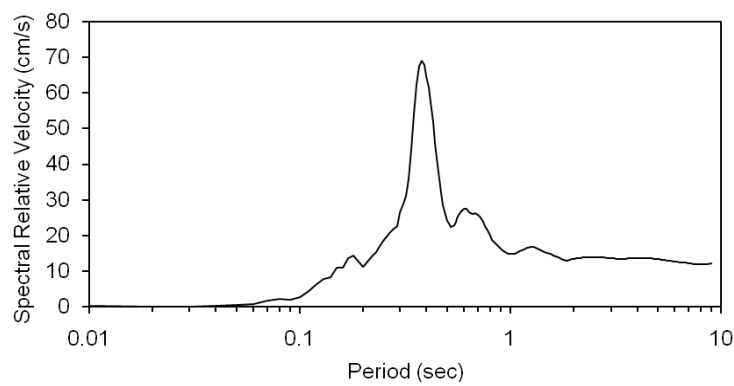
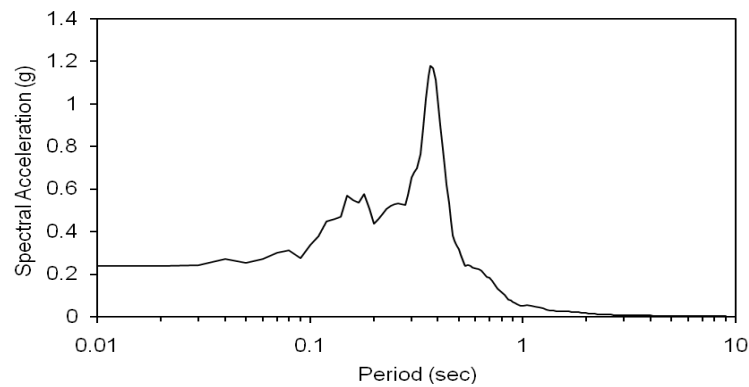
AMPLIFICAZIONE ATTESA
(riferita al segnale 000126xa_035033ReggionellEmilia)

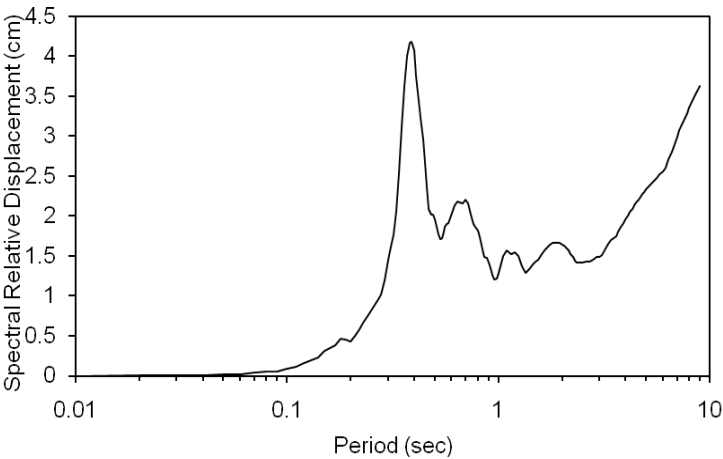
Number of first sublayer =	20
Type of first sublayer =	Outcrop
Number of second sublayer =	1
Type of second sublayer =	Outcrop
Maximum amplification =	3.346
Frequency of maximum amplification (Hz) =	2.600



SPETTRI
(riferita al segnale 000126xa_035033ReggionellEmilia)

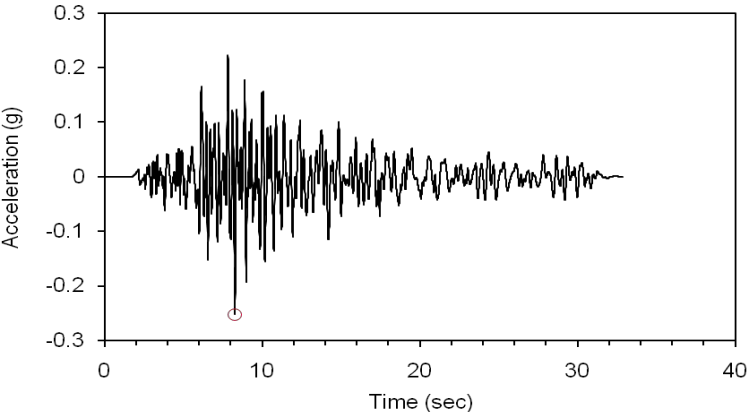
Number of sublayer =	1
Type of sublayer =	Outcrop
Ratio of critical Damping (%) =	5
Depth at top of sublayer (m) =	0
Maximum Spectral Acceleration (g) =	1.1805
Maximum Spectral Velocity (cm/s) =	68.9410



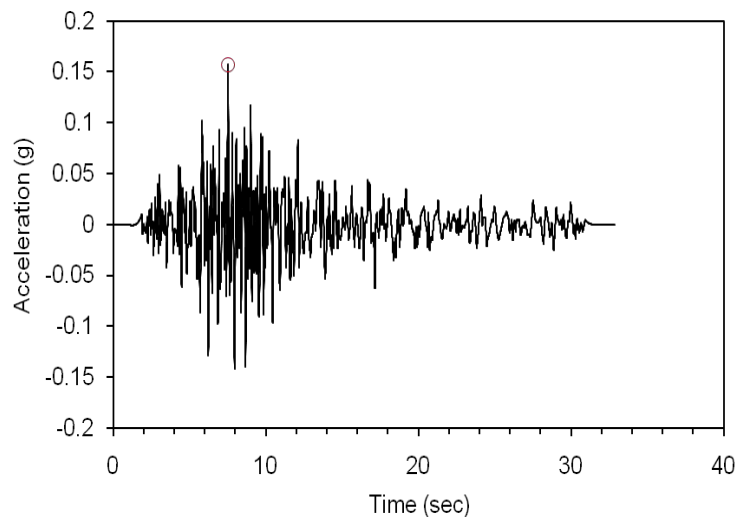


ACCELERAZIONE ATTESA
(riferita al segnale 000354xa_035033ReggionellEmilia)

Number of sublayer =	1
Type of sublayer =	Outcrop
Depth at top of sublayer (m) =	0
Maximum acceleration (g) =	0.253
Time of maximum acceleration (sec) =	8.26
Mean Square frequency (Hz) =	3.07
Maximum relative velocity (m/s) =	0.14316
Time of maximum relative velocity (sec) =	6.06
Maximum relative displacement (m) =	0.01434
Time of maximum relative displacement (sec) =	14.20

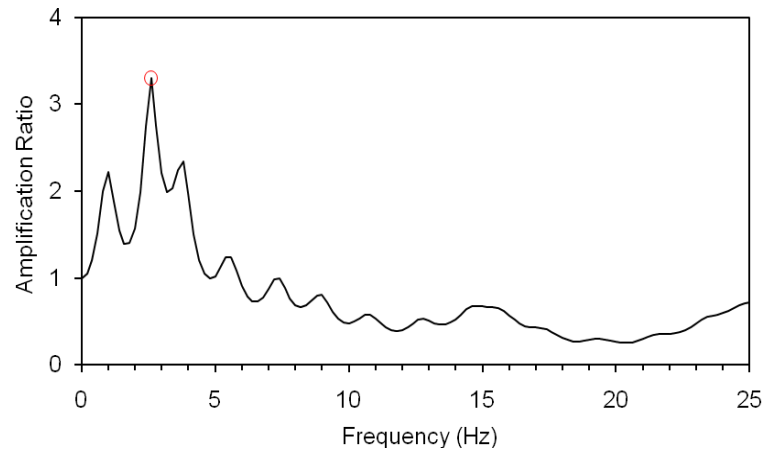


Number of sublayer =	20
Type of sublayer =	Outcrop
Depth at top of sublayer (m) =	119.5999985
Maximum acceleration (g) =	0.157
Time of maximum acceleration (sec) =	7.52
Mean Square frequency (Hz) =	4.42
Maximum relative velocity (m/s) =	0.03634
Time of maximum relative velocity (sec) =	8.64
Maximum relative displacement (m) =	0.00807
Time of maximum relative displacement (sec) =	13.95



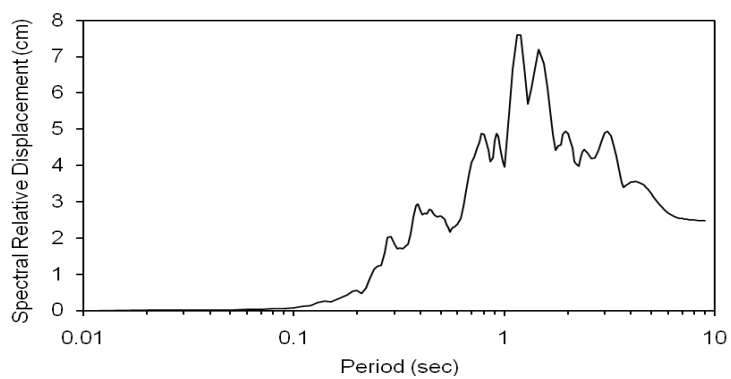
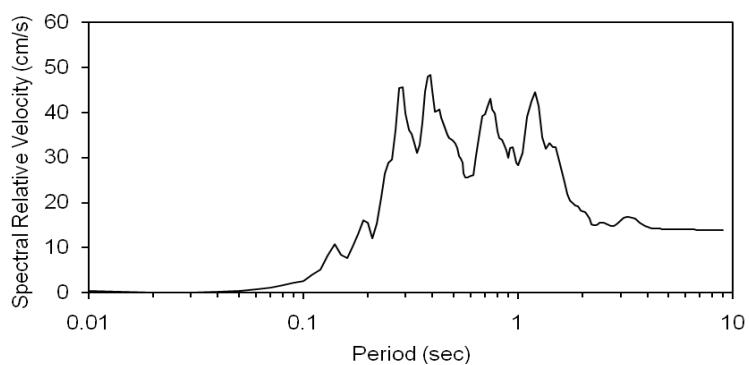
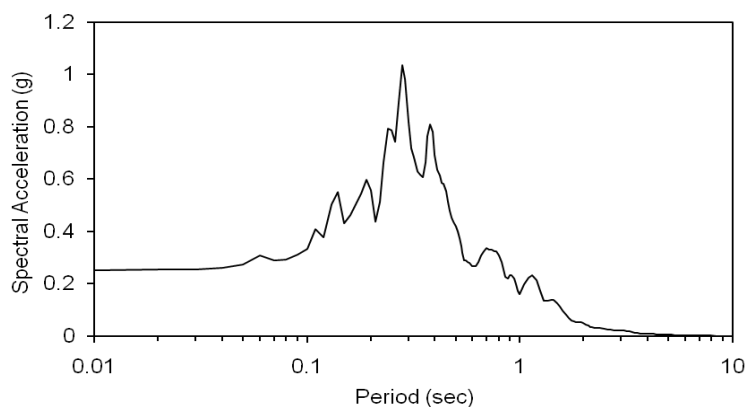
AMPLIFICAZIONE ATTESA
(riferita al segnale 000354xa_035033ReggionellEmilia)

Number of first sublayer =	20
Type of first sublayer =	Outcrop
Number of second sublayer =	1
Type of second sublayer =	Outcrop
Maximum amplification =	3.300
Frequency of maximum amplification (Hz) =	2.600



SPETTRI
(riferiti al segnale 000354xa_035033ReggionellEmilia)

Number of sublayer =	1
Type of sublayer =	Outcrop
Ratio of critical Damping (%) =	5
Depth at top of sublayer (m) =	0
Maximum Spectral Acceleration (g) =	1.0355
Maximum Spectral Velocity (cm/s) =	48.2974



5.1.3 Valutazione dei coefficienti sismici e del coefficiente di fondazione

In riferimento alle indicazioni della precedente normativa sismica nazionale (Legge 16/01/1996 e s.m.i.) sono stati determinati i valori dei coefficienti sismici in base alla classificazione del D.M. 14/09/2005 che attribuisce al Comune di Reggio Emilia, l'appartenenza alla zona 3 equivalente alle zone con $S=6$:

$$C = (S - 2) / 100 = 0,04$$

Con C coefficiente di intensità sismica, che rappresenta seppure grossolanamente l'entità delle sollecitazioni attese al bedrock in zona far-field.

Il coefficiente di fondazione ϵ rappresenta una sorta di parametro che tiene conto delle condizioni geologiche, geotecniche e geomorfologiche di sito: esso può assumere i valori compresi nel range $1,00 \div 1,30$. In considerazione dello spessore delle sequenze litostratigrafiche locali si è determinato il valore del coefficiente di fondazione mediante la seguente relazione:

$$\epsilon = 1,81 - 0,11 * \ln(R) = 1,12$$

Il coefficiente di fondazione ϵ assume quindi il valore pari a **1,12**.

5.2 Verifica alla liquefazione

5.2.1 Il fenomeno della liquefazione

Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti. Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza. Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità: da ciò si desume che maggiore è la durata di un terremoto più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione. Il terreno può essere soggetto a sforzi di taglio statici dovuti alla presenza di strutture in superficie o alla sua particolare posizione (per esempio ai piedi di un versante). In questo caso l'instaurarsi del fenomeno della liquefazione dipende, oltre che dalle caratteristiche del sisma, anche dal rapporto che si stabilisce tra le tensioni di taglio indotte da quest'ultimo e quelle statiche preesistenti al terremoto. La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso.

Per liquefazione di un terreno s'intende quindi 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:

$$\tau = c + (\sigma_{vo} - u) \cdot \tan \phi$$

con:

c = coesione del terreno;

σ_{vo} = pressione litostatica totale agente alla profondità di indagine;

u = pressione interstiziale dell'acqua;

φ = angolo di resistenza al taglio del terreno;

è evidente che la grandezza τ si può annullare solo nel caso in cui siano verificate le condizioni:

a) $c = 0$;

b) $(\sigma_{vo} - u) = 0$.

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 esercitata ad una data profondità dalla colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie ($\sigma_{vo} = u$). 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.

I metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito definendo un coefficiente di sicurezza (FL), dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilizzabile nello strato (R) e lo sforzo critico indotto dal sisma (T). La grandezza R, denominata anche CRR, è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavata direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche dinamiche, statiche o con i valori delle velocità delle onde S. La grandezza T dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto). Tale grandezza viene definita come rapporto tra la tensione indotta dal terremoto CSR ed il fattore MSF. Il coefficiente di sicurezza FL è dato dalla formula: **FL = (CRR/CSR) x MSF**

Il valore di MSF viene valutato in funzione della magnitudo dei terremoti attesi, secondo la seguente tabella:

Magnitudo	MSF
5,5	1,43
6,0	1,32
6,5	1,19
7,0	1,08
7,5	1,00

Tabella 48 - Fattore di sicurezza MSF (SEED E IDRIS, 1982).

Nell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico, approvato dall'Assemblea legislativa della Regione Emilia-Romagna con Del. n.112 del 02/05/2007, in particolare nell'Allegato 3, si raccomanda la determinazione della possibilità che si verifichi liquefazione attraverso l'utilizzo di metodi semplificati basati su prove CPT ed in particolare il metodo di Robertson e Wride (1998).

Secondo la normativa la liquefazione diventa possibile per $FL < 1,00$, mentre è da escludere per $FL > 1$.

5.2.2 Premessa

Per *liquefazione* si intende un fenomeno interessante terre sabbiose sature, in depositi naturali o in accumuli artificiali, che nel corso di un evento sismico subiscono una forte riduzione della resistenza al taglio, a seguito della quale il terreno può scorrere o fluire nel caso di un pendio o assestarsi nel caso di una giacitura orizzontale.

In riferimento alla normativa sismica (O.P.C.M. 3274/03; D.M. 14/09/05, art.7.4; NTC2018, art.7.11.3.4) viene prescritto che venga verificata la suscettibilità alla liquefazione del terreno di fondazione qualora la falda freatica si collochi in prossimità del piano fondale ed il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, ancorché contenenti una frazione fine limo-argillosa.

In questa sezione dello studio si rimarca che la normativa dichiara che nel caso di edifici con fondazioni superficiali la verifica della suscettibilità alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a), riportata nel nuovo TU (D.M.14/01/2008), nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$; ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

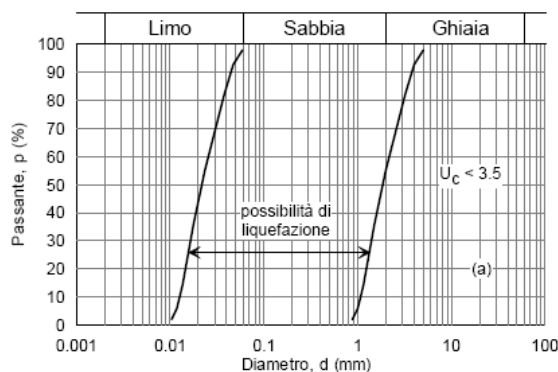


Figura 7.11.1(a)

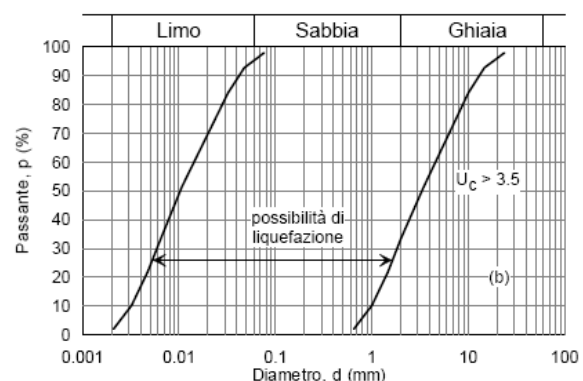


Figura 7.11.1(b)

Figura 18 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (Fig.7.11.1 del nuovo NTC2018).

La declaratoria dell'art.7.11.3.4.2 (Esclusione della verifica alla liquefazione) aggiunge che quando le condizioni 1 e 2 non risultino soddisfatte, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 3, 4 e 5. Per verificare la necessità dell'esecuzione della suscettività alla liquefazione si pongono a confronto le condizioni imposte dalla normativa con i caratteri sismici del sito unitamente ai parametri geotecnici delle terre di fondazione:

condizione 1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5: si ricorda che il valore massimo registrato per eventi sismici in prossimità del Comune di Reggio Emilia (30-40 km) è pari a **5,51** di magnitudo momento (M_w), per l'evento classificato nel territorio Reggiano nel 1832;

condizione 2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g: si rammenta che le accelerazioni massime attese in superficie, per $T = 0$, stimate con l'analisi approfondita (tramite software EERA), sono **2,44 m/sec², 2,32 m/sec² e 2,48 m/sec²**;

condizione 3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali: il livello della falda freatica principale durante la campagna di indagini del 2011 è stato registrato grossomodo a circa -9 m da p.c., nel 2018 si colloca **nell'intervallo compreso tra -6 m e -10 m da p.c.**;

condizione 4. i depositi costituenti il suolo di fondazione sono alternanze di ghiaie, limi sabbiosi, limi argillosi e non sabbie pulite come richieste dalla condizione in oggetto. Alcuni livelli sabbiosi, ancorché con matrice coesiva sono stati osservati ad una profondità superiore a 15 m da p.c.;

condizione 5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a), riportata nel nuovo TU (D.M.14/01/2008), nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$, ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (cfr. D.M.14/01/08, art.7.11.3.4.2). Si confrontano quindi le curve granulometriche dei campioni prelevati con i fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione riportati in Figura 18: da un semplice confronto grafico si osserva che la totalità dei campioni presenta curve granulometriche intersecanti i fusi di sedimenti potenzialmente liquefacibili e ricompresi all'interno delle aree segnalate con suscettività di liquefazione.

Tutto ciò premesso, e date soprattutto le condizioni stratigrafiche sopra descritte, si omette la verifica alla liquefazione non essendo ritenuta necessaria e significativa.

A riprova di ciò si richiama quanto verificato in precedente documentazione geologica-geotecnica redatta a corredo della progettazione esecutiva del 2011 nella quale si è proceduto comunque alla verifica alla liquefazione con il metodo semplificato basato su prove CPT denominato di Robertson e Wride (1998) che ha mostrato che: per tutta la profondità indagata dalle prove penetrometriche statiche, escludendo lo spessore di sottosuolo soprastante il livello della falda, i valori di FL sono maggiori di 1,00 escludendo la possibilità che si verifichi liquefazione; parimenti la probabilità di liquefazione (P_L) varia dallo 0 al 1%, risultando quindi pressoché nulla.

5.3 Stima dei cedimenti post-sismici dei terreni coesivi

Come riportato nella Del. Ass. Leg. Emilia-Romagna n.112 del 2 maggio 2007 nei depositi coesivi molto soffici ($C_u \leq 70$ kPa o $0,7$ kg/cm²) e plastici ($I_p \geq 30$), nei quali si prevede un incremento delle pressioni interstiziali durante il terremoto di riferimento, deve essere valutata l'entità dei cedimenti di riconsolidazione conseguenti alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il sisma. A tal fine dovrebbero essere condotte specifiche prove in sito ed in laboratorio per la caratterizzazione geotecnica dei vari strati (attraverso prove indice e prove edometriche).

Relativamente al sito in studio i risultati della campagna di indagini mostrano che la C_u è inferiore al valore limite sopra indicato di 70 kPa ($0,70$ kg/cm²) in alcuni livelli coesivi dello strato areato superficiale (terreno agrario da p.c. sino a ca. - 0,6 m) e a caratterizzare lo strato denominato IV, mentre non si possiedono indicazioni relativamente all'indice plastico (I_p) ed all'entità della variazione delle pressioni interstiziali durante il terremoto di riferimento. Ciò perché nel caso in esame le indagini specifiche sopra richiamate non sono state eseguite, nel prosieguo si stimeranno quindi i cedimenti post-sismici con i dati a disposizione e utilizzando correlazioni empiriche secondo le indicazioni contenute nella DAL 112/2007 della R.E.R. conformemente al metodo di Yasuhara e Andersen (1997).

Riguardo il terreno oggetto di studio si ricorda che:

- il valore di accelerazione massima attesa in superficie, per $T = 0$, stimata con riferimento alla normativa regionale vigente in materia sismica (Del. 112 del 02/05/2007), mediante l'analisi semplificata risulta pari a $a_{max} = a_g \times S_s \times S_t = 0,157 \text{ g} \times 1,50 \times 1,0 = 0,237 \text{ g}$;
- il tetto dell'acquifero, secondo dati della campagna geognostiche, si ipotizza attestarsi ad una **profondità variabile tra -6 e -10 m da pc.**

Nella tabella seguente vengono sintetizzati i parametri geomeccanici medi impiegati per la stima dei cedimenti post-sismici nei terreni coesivi, per le verticali indagate, al fine di rendere conto anche di eventuali cedimenti differenziali. Per quanto riguarda il primo strato di terreno vegetale sono stati presunti valori medi.

N.	STR.	PROF. (m)	Descrizione strato	qc		Cu		M	
				(KPa)	(kg/cm ²)	(KPa)	(kg/cm ²)	(KPa)	(kg/cm ²)
1 ₂₀₁₈	I	p.c.+0,60	Terreno vegetale	3.000	30	60	0,6	5.000	50
	III	0,60÷4,40	Ghiaie	17.290	172,9	-	-	51.880	518,8
	IV	4,40÷12,00	Argille consistenti con livelli di imi sabbiosi/sabbie	2.540	25,4	64	0,64	5.030	50,3
	V	12,00÷13,40	Ghiaie con sabbie	25.570	255,7	-	-	67.710	677,1
	VI	13,40÷15,00	Argille consistenti	3.000	30	105	1,05	9.000	90
2 ₂₀₁₈	I	p.c.+0,60	Terreno vegetale	3.000	30	60	0,6	5.000	50
	II	0,60÷1,60	Limi e argille	4.900	49,0	88	0,88	7.920	79,2
	III	1,60÷4,80	Ghiaie	26.920	269,2	-	-	80.760	807,6
	IV	4,80÷11,80	Argille consistenti con livelli di imi sabbiosi/sabbie	2.230	22,3	70	0,70	5.600	56
	V	11,80÷14,20	Ghiaie con sabbie	31.460	314,6	-	-	94.380	943,8
	VI	14,20÷15,00	Argille consistenti	3.750	37,5	97	0,97	8.700	87,0
3 ₂₀₁₈	I	p.c.+0,40	Terreno vegetale	3.000	30	60	0,6	5.000	50
	III	0,40÷5,00	Ghiaie	19.230	192,3	-	-	57.530	575,3
	IV	5,00÷11,80	Argille consistenti con livelli di imi sabbiosi/sabbie	2.340	23,4	75	0,75	6.140	61,4
	V	11,80÷14,40	Ghiaie con sabbie	32.520	325,2	-	-	97.570	975,7
	VI	14,40÷15,00	Argille consistenti	4.400	44	-	-	13.200	132
4 ₂₀₁₈	I	p.c.+0,60	Terreno vegetale	3.000	30	60	0,6	5.000	50
	III	0,60÷4,40	Ghiaie	10.860	108,6	-	-	32.570	325,7
	IV	4,40÷11,60	Argille consistenti con livelli di imi sabbiosi/sabbie	2.540	25,4	69	0,69	5.450	54,5
	V	11,60÷13,40	Ghiaie con sabbie	34.560	345,6	-	-	103.670	1.036,7
	VI	13,40÷15,00	Argille consistenti	2.930	29,3	77	0,77	6.680	66,8
5 ₂₀₁₈	I	p.c.+0,60	Terreno vegetale	3.000	30	60	0,6	5.000	50
	II	0,60÷2,40	Limi e argille	3.500	35	122	1,22	10.520	105,2
	III	2,40÷4,40	Ghiaie	36.740	367,4	-	-	110.220	1.102,2
	IV	4,40÷11,20	Argille consistenti con livelli di imi sabbiosi/sabbie	3.970	39,7	63	0,63	5.110	51,1
	V	11,20÷12,80	Ghiaie con sabbie	23.600	236	-	-	70.800	708
	VI	12,80÷15,00	Argille consistenti	3.050	30,5	95	0,95	8.150	81,5

Tabella 49 – Tabella sintetica con i valori medi dei parametri geomeccanici medi impiegati per la stima dei cedimenti post-sismici in terreni coesivi; q_c =resistenza alla punta; c_u =coesione non drenata; M_0 =modulo edometrico.

La stima dei cedimenti post-sismici nelle verticali indagate, ha permesso di verificare che i cedimenti post-sismici ipotizzabili sono pressoché nulli in ognuna delle verticali indagate. Tra gli allegati in Appendice viene riportato lo schema esemplificativo relativo alla stima dei cedimenti post-sismici in ognuna delle verticali indagate.

5.4 Microzonazione sismica

Le attività di microzonazione sismica nel territorio regionale sono regolate da specifici indirizzi approvati con Delibera di Assemblea Legislativa n.112/2007 e aggiornati con Delibera di Giunta Regionale n.2193/2015: nello stralcio riportato in Figura 9 vengono riportati i parametri e gli indici di pericolosità sismica come stimati nelle pagine precedenti per l'area oggetto del futuro ampliamento.

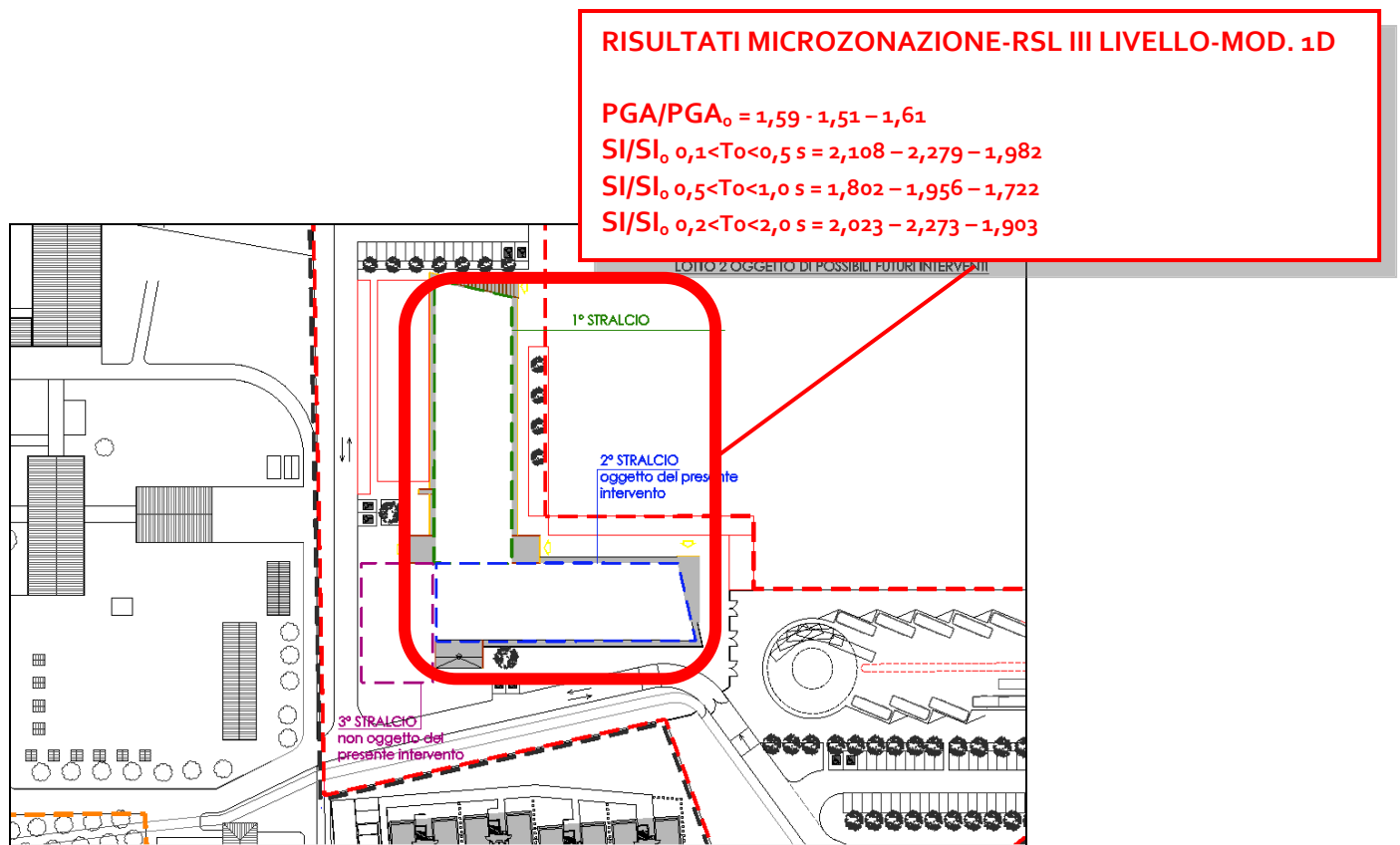


Figura 19 – Stralcio planimetrico dell'intervento da effettuare con parametri e indici di pericolosità sismica.

5.5 Indicazioni operative

Sulla scorta delle informazioni bibliografiche reperite, delle osservazioni svolte sul sito in esame relativamente ai caratteri geomorfologici e idrogeologici, delle indagini geognostiche in sito che hanno consentito di caratterizzare l'area in oggetto ed un adeguato intorno, si forniscono di seguito alcune indicazioni tecnico-operative di massima.

☞ Le caratteristiche dei terreni costituenti il sottosuolo consentono l'adozione di **fondazioni dirette continue superficiali** (ad es. **trave rovescia**) o a **plinti isolati collegati solidalmente da travi**, ad una **profondità non inferiore a ca. -1,0 m dal p.c. attuale**. Tale profondità, in caso di dislivello topografico deve essere rispettata in ogni punto di scavo per la realizzazione delle opere fondali.

☞ In ragione delle caratteristiche dei depositi costituenti il terreno di fondazione, in caso di scavi o riporti, le **scarpate** conseguenti dovranno essere modellate con inclinazioni compatibili con le caratteristiche dei materiali. Se lo scavo supera 1,50 m si dovrà prevederne idonea armatura o sostegno. L'esecuzione degli scavi per le opere fondali dovrà essere affrontata valutando preventivamente le **condizioni di stabilità delle strutture esistenti**, e prossime ai fabbricati in oggetto, evitando interferenze negative nel corso degli scavi.

☞ I **muri contro terra** dovranno essere dotati di adeguato setto drenante costituito da materiale granulare lavato di pezzatura idonea, avvolto in uno strato di tessuto-non-tessuto, con tubo drenante a fondo scavo, dotato di idonea pendenza e collegato ad un pozzetto esterno.

☞ Per quanto attiene i **lavori di scavo** per eventuali interventi sulle fondazioni, si richiama quanto enunciato dal TU (D.Lgs.81/2008) relativamente ai lavori di scavo (Titolo IV - Capo II - Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni e nei lavori in quota, Sezione III - Scavi e fondazioni):

Art.118 - Splateamento e sbancamento

1. Nei lavori di splateamento o sbancamento, se previsto l'accesso di lavoratori, le pareti delle fronti di attacco devono avere una inclinazione o un tracciato tali, in relazione alla natura del terreno, da impedire franamenti. Quando la parete del fronte di attacco supera l'altezza di m 1,50, è vietato il sistema di scavo manuale per scalzamento alla base e conseguente franamento della parete.
2. Quando per la particolare natura del terreno o per causa di piogge, di infiltrazione, di gelo o disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scossoni, deve essere provveduto all'armatura o al consolidamento del terreno.
3. Nei lavori di escavazione con mezzi meccanici deve essere vietata la presenza degli operai nel campo di azione dell'escavatore e sul ciglio del fronte di attacco.
4. Il posto di manovra dell'addetto all'escavatore, quando questo non sia munito di cabina metallica, deve essere protetto con solido riparo.
5. Ai lavoratori deve essere fatto esplicito divieto di avvicinarsi alla base della parete di attacco e, in quanto necessario in relazione all'altezza dello scavo o alle condizioni di accessibilità del ciglio della platea superiore, la zona superiore di pericolo deve essere almeno delimitata mediante opportune segnalazioni spostabili col proseguire dello scavo.

Art.120 - Deposito di materiali in prossimità degli scavi

1. E' vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature.

☞ Riguardo la **gestione delle terre e rocce da scavo** il D.P.R. 120/2017 ha modificato in modo sostanziale gli art.185 (Limiti al campo di applicazione) e 186 (Terre e rocce da scavo) del Dlgs 152/2006 (c.d. Codice ambientale). Si sintetizzano nella tabella seguente le linee generali rimandando al testo normativo per i relativi approfondimenti.

NATURA GIURIDICA DEL MATERIALE	DESTINAZIONE	LIMITE QUANTITATIVO	ADEMPIMENTI	NORMA DI RIFERIMENTO
NON rifiuto	Reinterri, riempimenti, rimodellazioni e rilevati	In base al "Piano di Utilizzo" (ai sensi art.9)	Approvazione progetto da parte autorità competente	D.P.R. 120/2017
	Reinterri, riempimenti, rimodellazioni e rilevati	In base a dichiarazione del produttore (ai sensi art.21)	Autocertificazione da presentare ad Arpa e Comune di produzione	D.P.R. 120/2017
Rifiuto recuperabile	Impianto di recupero rif. NP autorizzato ai sensi art.208 TU	In base a disponibilità impianto	Conformità test cessione, come da metodo All.3 al DM 186/2006	- Dlgs 152/06 e smi - DM 5 febbraio 1998 e DM n.186/2006
Rifiuto recuperabile	Impianto di recupero rif. NP autorizzato ai sensi art.216 TU	< 150.000 m ³ /anno	Conformità test cessione, come da metodo All.3 al DM 186/2006	- Dlgs 152/06 e smi - DM 5 febbraio 1998 e DM n.186/2006
Rifiuto NON recuperabile	Discarica autorizzata	In base a disponibilità impianto	Conformità requisiti richiesti per lo smaltimento discarica	- Dlgs 152/06 e smi - DM 3 agosto 2005

Tabella 50 – Riepilogo delle possibili opzioni di gestione delle terre e rocce da scavo, delle norme di riferimento e dei relativi adempimenti.

6. NOTE CONCLUSIVE

Su incarico e di concerto con la Committente Amm.ne Provinciale di Reggio Emilia, Servizio Infrastrutture, Mobilità Sostenibile, Patrimonio ed Edilizia, viene redatta la presente relazione finalizzata alla verifica di fattibilità geologica di un intervento da effettuarsi un lotto di terreno sito in prossimità dell'esistente Polo Scolastico di Via F.lli Rosselli, nel territorio comunale di Reggio Emilia, in Provincia di Reggio Emilia.

Nell'area in oggetto, posta ad una quota topografica pari a ca. 62 m s.l.m. e sita nel settore sud-occidentale del territorio comunale di Reggio Emilia (cfr. Tav.1 in Appendice), è prevista la realizzazione di un nuovo Polo Scolastico in ampliamento dell'esistente plesso scolastico di Via F.lli Rosselli.

Riguardo l'inquadramento **sismo-tettonico** dell'area e di un adeguato intorno:

- come riportato in Allegato B della Del. G.R. Emilia-Romagna n.1677 del 24 ottobre 2005, il territorio del Comune di Reggio Emilia rientra in **Zona 3, a bassa sismicità (S=6)**, secondo la nuova riclassificazione;
- per il Comune di Reggio Emilia il valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, per $T=0$ espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (arefg), è pari a **0,157** (Del. n.112 del 2007, tabella 2);
- considerando lo spessore di sottosuolo pari a 30 m, sottostante il piano fondale, il V_{s30} risulta pari a ca. **277,94 m/sec**, pertanto la categoria di suolo è: **C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti** con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s;
- i fattori di amplificazione del moto sismico stimati con analisi semplificata variano da **1,5** per la PGA a **2,3** per l'intensità di Housner nell'intervallo $T=0,5 \div 1,0$ sec (Allegato A.2.1.1 Del. n.112 del 2 maggio 2007);
- la stima effettuata con analisi approfondita condotta con il software EERA ha evidenziato fattori di amplificazione massimi in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) e di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi pari a **F.A. (P.G.A.) = 1,59, 1,51 e 1,61** e **F.A. $0,1 < T_0 < 0,5$ s = 2,108, 2,279, 1,982**; **F.A. $0,5 < T_0 < 1,0$ s = 1,802, 1,956, 1,722**; **F.A. $0,2 < T_0 < 2,0$ s = 2,023, 2,273, 1,903**;
- il valore massimo di coefficiente di amplificazione topografica ST da considerare è $ST = 1,0$;
- date le condizioni litostratigrafiche presenti in sito si omette la verifica alla liquefazione non essendo ritenuta necessaria e significativa.

Riguardo l'inquadramento **geografico e geologico generale** si riportano in sintesi le seguenti notizie:

- la quota altimetrica, desunta dalla Carta tecnica regionale aggiornata (Carta Geografica Unica del territorio, CTR5*-RG), in scala 1:5.000, caratterizzante il lotto interessato dall'intervento è pari a ca. **62 m s.l.m.** (cfr. Tav.1). Il lotto di terreno si colloca in Via F.lli Rosselli, nel territorio comunale di Reggio Emilia, ed in particolare nel settore sud-occidentale del comune;
- il lotto di terreno in oggetto insiste sui depositi continentali quaternari, in particolare sui sedimenti di origine alluvionale risalenti all'Olocene denominati come **subsistema di Ravenna** (AES8): si tratta, come scritto in precedenza, di alluvioni costituite prevalentemente da limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi; subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali;
- dal punto di vista geomorfologico-idrogeologico il terreno in oggetto, con le quote altitudinali che lo caratterizzano (pari a ca. 62 m s.l.m.), si colloca in una **zona di alta pianura**;
- riguardo l'idrografia superficiale si sottolinea che il lotto di terreno in oggetto si colloca nel **bacino idrografico del T. Crostolo**, che a sua volta confluisce nel corso d'acqua gerarchicamente superiore, rappresentato dal F. Po. Il bacino idrografico del T. Crostolo rientra infatti nel più ampio bacino di rilevanza nazionale del Po;

- riguardo l'idrologia profonda livello della falda freatica principale durante la campagna di indagini del 2011 è stato registrato grossomodo a circa -9 m da p.c., nel 2018 si colloca **nell'intervallo compreso tra -6 m e -10 m da p.c.**;
- la **stratigrafia**, ottenuta dalla campagna di indagini, mostra strati dalle differenti caratteristiche geomeccaniche e litologiche: si rimanda al capitolo relativo per una descrizione di dettaglio;
- le caratteristiche dei terreni costituenti il sottosuolo consentono l'adozione di **fondazioni dirette continue superficiali (ad es. trave rovescia) o a plinti isolati collegati solidalmente da travi, ad una profondità non inferiore a ca. -1,0 m dal p.c. attuale**. Tale profondità, in caso di dislivello topografico deve essere rispettata in ogni punto di scavo per la realizzazione delle opere fondali

In conclusione si può affermare che in base a quanto emerso dalla campagna di indagini in sito, dalla ricerca bibliografica eseguite e dalle verifiche effettuate, il lotto di terreno in oggetto dal punto di vista geologico generale, geomeccanico, idrogeologico e sismico risulta idoneo all'intervento in progetto.

Tutto ciò premesso e tenuto conto di quanto scritto e della natura puntuale delle prove geognostiche eseguite nell'area d'intervento, in fase esecutiva dovrà essere controllata e tempestivamente evidenziata la non rispondenza tra la caratterizzazione geologica assunta e la situazione riscontrata in loco.

La scrivente rimane a disposizione per ulteriori chiarimenti o sopralluoghi, in particolare in occasione della realizzazione degli scavi fondali.

10 Agosto 2018



Nota bibliografica

1. A.G.I. (2005): *Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee guida*. Edizione provvisoria marzo 2005. Pàtron Editore, Bologna.
2. AA.VV. (1980): *Catalogo dei terremoti della Regione Emilia-Romagna*, Collana di orientamenti geomorfologici ed agronomico-forestali, Pitagora Editrice, Bologna.
3. AA.VV. (1999): *Catalogo parametrico dei terremoti italiani*, Gruppo di Lavoro CPTI, 1999 - ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna.
4. AA.VV. (2007) *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia, dal 461 a.C. al 1990. Release 3.*. INGV - SGA tratta dal sito <http://storing.ingv.it/cft/>.
5. BARTOLINI C. e al. (1982): *Carta neotettonica dell'appennino settentrionale: note illustrative*. Boll. Soc. Geol. It. - 101; 523-549.
6. BEGEMANN, H.K.S.P. (1965): *The frictional jacket cone as an aid in determining the soil profili*, Proceedings, 6th Int. Conf. Soil Mech. Fdn. Engr S., Montreal.
7. BERNINI M., CLERICI A., PAPANI G., SGAVETTI M. E TELLINI C. (1980): *Prime considerazioni riassuntive sull'area appenninica dal F. Secchia al T. Nure*, C.N.R. – Progetto finalizzato Geodinamica – Sottoprogetto Neotettonica. Pubbl. N.251.
8. BERNINI M. E PAPANI G. (1986): *Alcune considerazioni sulle strutture del margine appenninico emiliano fra lo Stirone e il T. Enza (e sue relazioni con il sistema del F. Taro)*, L'Ateneo Parmense - Acta Naturalia. Vol. n.23 – N.4.
9. BORETTI G., CREMASCHI M., MAZZA G. (1988): *Caratteri ed evoluzione dell'ambiente della pianura reggiana*, Amministrazione Provinciale, Assessorato alla Pianificazione Territoriale, Tutela dell'Ambiente, Difesa del suolo, Reggio Emilia.
10. CASTIGLIONI G.B., PELLEGRINI G.B., a cura di (2001): *Note Illustrative della Carta Geomorfologica della Pianura Padana*, Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, Suppl. IV - 2001. Comitato Glaciologico Italiano – Torino.
11. CAMASSI R. E STRUCCHI M., a cura di (1998): *NT4.1, un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*, su sito web.
12. CASADIO M., ELMICI C. (1995): *Il manuale del geologo*, Pitagora Editrice, Bologna.
13. CESTARI F. (1996): *Prove geotecniche in sito*, GEO-GRAPH S.n.c., Segrate.
14. CESTELLI GUIDI C. (1975): *Geotecnica e Tecnica delle fondazioni*, Ulrico Hoepli Editore, Milano.
15. CRESPELLANI T., NARDI R. E SIMONCINI C. (1988): *La liquefazione del terreno in condizioni sismiche*, Nicola Zanichelli S.p.A., Bologna.
16. CRESPELLANI T. (2004): *Indagini geotecniche per la valutazione della pericolosità sismica finalizzata alla pianificazione urbanistica e territoriale*, in "Numero Speciale dedicato alla giornata di studi sulla nuova classificazione sismica nazionale (ordinanza PCM 3274/03 e PCM 3316/03). Bologna 8 marzo 2004", il Geologo dell'Emilia-Romagna, Anno IV/2004, N.17, Nuova serie.
17. COLOMBO P. (1974): *Elementi di geotecnica*, Zanichelli, Bologna.
18. EC7-PT2 (1997): *Geotechnical design assisted by testing: laboratory testing*, CEN/TC 250/SC7/PT 2 N166. European Committee of Standardisation.
19. ETC5-ISSMGE (1998): *Recommendations of the ISSMGE for geotechnical laboratory testing*, pp.110. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
20. FOUCALT A., RAOULT J. F. (1986): *Dizionario di scienze della terra*, Masson Italia Editori, Milano.
21. MARSAN P. & ROMEO R. (1992): *La relazione geologica e geotecnica*, NIS, Roma.
22. MULARGIA F., CASTELLARO S., ROSSI P. (2006): *Effetti di sito e V_{S30} : una risposta alla normativa antisismica*. In "Il Geologo dell'Emilia-Romagna", Bollettino Uff.le dei Geologi Regione Emilia-Romagna, Anno VII/2007, N°17, Nuova serie.
23. MELETTI C. E VALENSISE G. (2004): *Zonazione Sismogenetica ZS9 – App.2 al rapporto Conclusivo*. OPCM 3274/2003.
24. NORI L. (2008): *Caratterizzazione geotecnica e parametri di progetto secondo il Testo Unitario: "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14/01/08)*. Parma, settembre 2008. Dipartimento di Scienze della Terra.
25. NORI L. (2009): *Introduzione operativa al concetto dei valori caratteristici secondo l'Eurodice 7 (norma europea prEN1997-1)*, da sito web www.nuke.mccoy.it.

26. ORDINE DEI GEOLOGI DELL'EMILIA-ROMAGNA (2004): "Numero speciale dedicato alla giornata di studi sulla nuova classificazione sismica nazionale (ordinanza PCM 3274/03 e PCM 3316/03) Bologna 8 marzo 2004. In "Il Geologo dell'Emilia-Romagna", Bollettino Uff.le dei Geologi Regione Emilia-Romagna, Anno IV/2004, N.25, Nuova serie.
27. PELI G. (1995): *Geotecnica pratica delle fondazioni dirette*, Nuove Ricerche, Ancona.
28. RIGA G. (2007): *La liquefazione dei terreni*. Dario Flaccovio Editore s.r.l., Palermo.
29. SCHMERTMANN J.H. (1978): *Guidelines for Core Penetration Test Performance and Design*, Report n.78-209, U.S. Dep. of Transp., Federal Highway Adm., Washington, Dc.
30. STUCCHI ET AL. (2007): *DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04*. Tratto dal sito internet: <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>.
31. TERZAGHI K. & PECK R.B. (1974): *Geotecnica*, UTET, Torino.

APPENDICE

TAV.1 – COROGRAFIA GENERALE

TAV.2 - UBICAZIONE INDAGINI SU BASE CTR

TAVC.3 - SEZIONI LITO-STRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE

TAV.4 - STRALCIO "CARTA GEOLOGICA DELL'APPENNINO EMILIANO-ROMAGNOLO"

TAV.5 - STRALCIO "CARTA DELLA VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI"

TABULATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

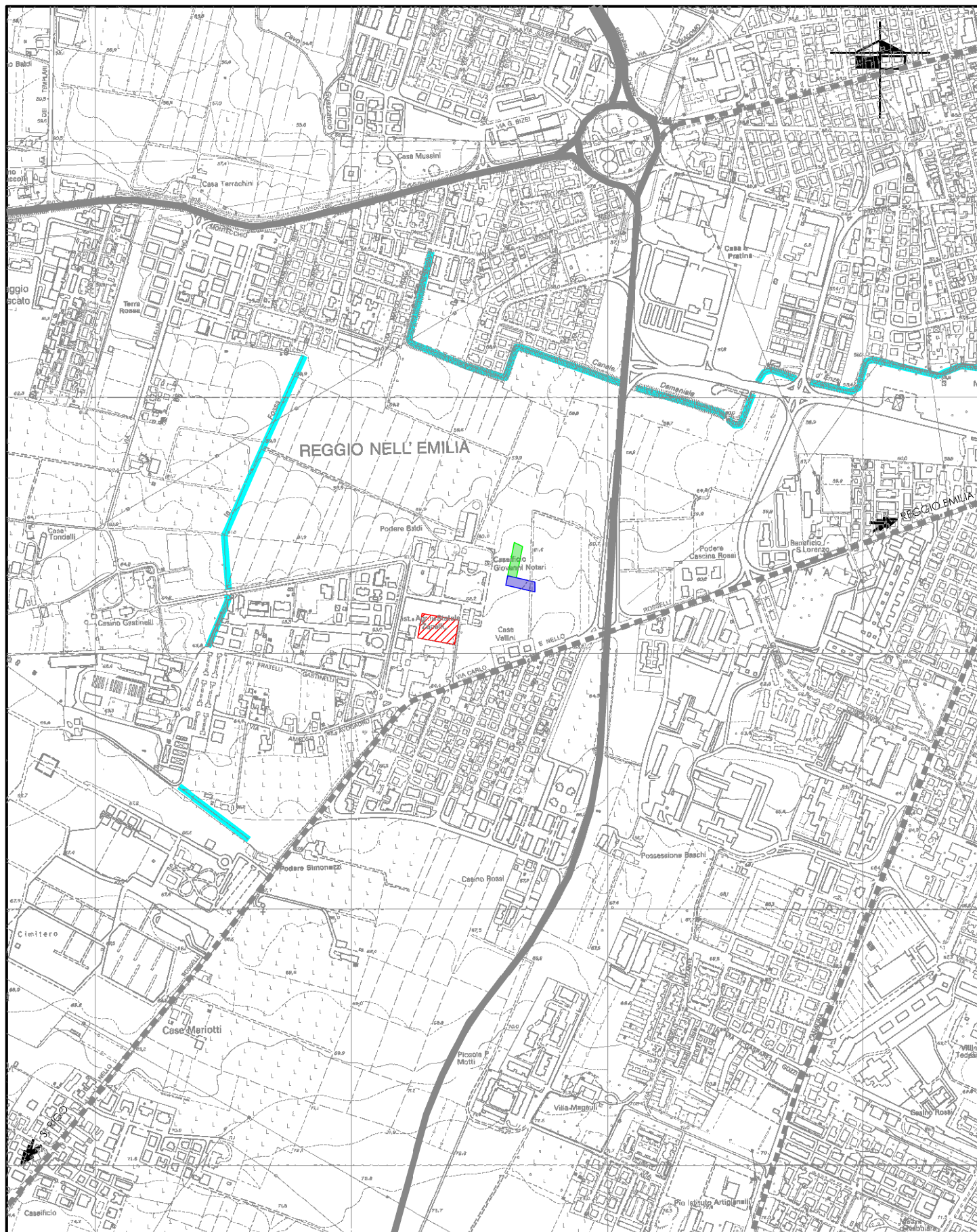
PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE HVSR

SINTESI DEI PARAMETRI GEOMECCANICI E DI LABORATORIO
(CAMPAGNA DI INDAGINI 2011)

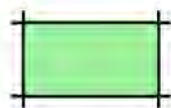
REPORT PARAMETRI SISMICI

SCHEMA SINTETICO DI STIMA DEI CEDIMENTI POST-SISMICI IN TERRENI COESIVI

Tav.1 - Corografia generale



LEGENDA



individuazione area di intervento: I° stralcio



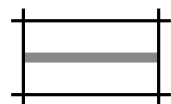
individuazione area di intervento: II° stralcio



sito di provenienza campagna di indagini 2002
(campagna svolta da Intergeo 2002)



viabilità secondaria



viabilità principale



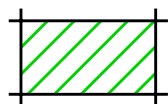
reticolo idrografico principale

Base cartografica: elementi Carta tecnica regionale aggiornata (Carta Geografica Unica del territorio, CTR5*-RG), 200121 Reggio Emilia S-E, 200122 Due Maestà, 200123 Castello Canali, 200124 Reggio Emilia S-O, in scala 1:5.000

scala 1:10.000

This architectural site plan depicts a residential development. The plan features several buildings, some with green roofs, and various outdoor spaces including a 'Campo di calcio' (soccer field) and a 'Palestra' (gym). Key infrastructure elements include roads such as 'VIA ROSSELLI' and 'STRADA COMUNALE DEL MICLO', and a bus stop labeled 'AUTOBUS'. Specific points of interest are marked with red circles and labels like '200120P719', 'ZN_A', 'ZN_B', and 'S1/DH1'. A north arrow is located in the top right corner.

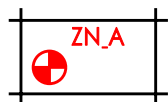
LEGENDA



sito di provenienza campagna di indagini 2002
(campagna svolta da Intergeo 2002)



ubicazione pozzo ad uso irriguo (cfr. Relazione)
SIGLA: 200120P719



ubicazione prospezioni sismiche, eseguite nel dicembre 2007
(metodologia MASW)

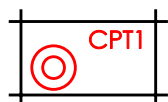
Ubicazione campagna di indagini ottobre/novembre 2011



ubicazione sondaggio a distruzione di nucleo S1 (34 m)



ubicazione sondaggio a distruzione di nucleo S2 (20 m)



prove penetrometriche statiche (CPTn)

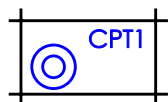


Indagine sismica con metodologia DOWN HOLE



traccia sezione stratigrafica interpretativa: I° stralcio

Ubicazione campagna di indagini luglio 2018



prove penetrometriche statiche (CPTn)

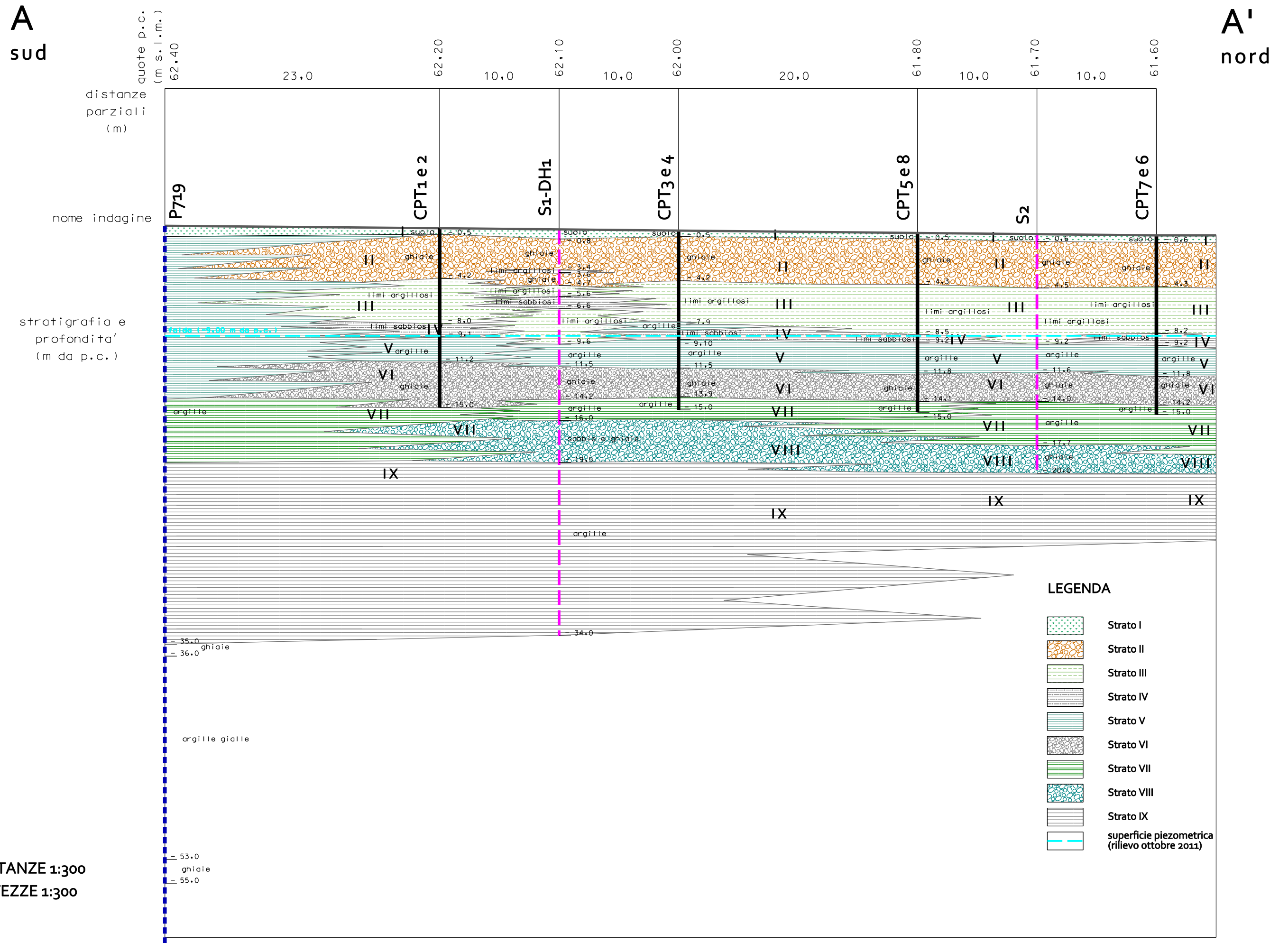


prospezione sismica passiva HVSR

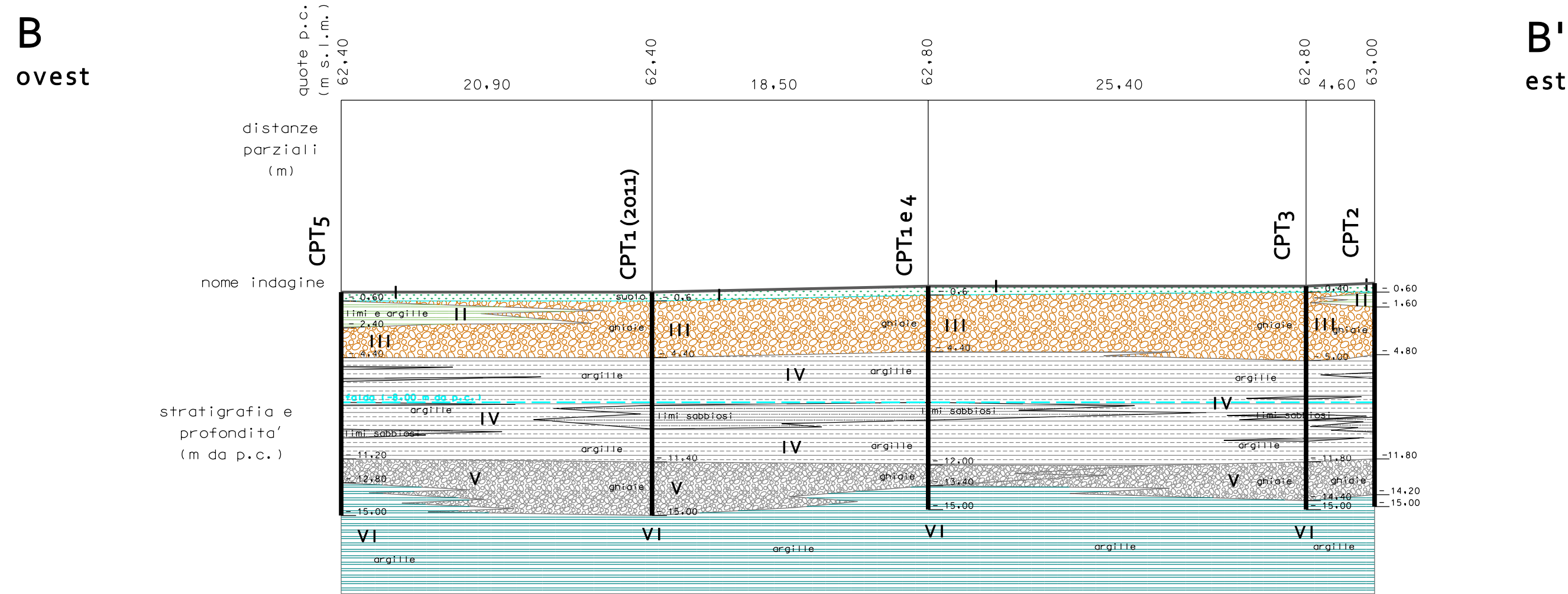


traccia sezione stratigrafica interpretativa: II° stralcio

Tav.3A - Sezione stratigrafica interpretativa: 1° stralcio



Tav.3B - Sezione stratigrafica interpretativa: II° stralcio



LEGENDA

- Strato I
- Strato II
- Strato III
- Strato IV
- Livelli limi sabbiosi in Strato IV
- Strato V
- Strato VI
- superficie piezometrica
(rilievo luglio 2018)

SCALA DISTANZE 1:300
SCALA ALTEZZE 1:300

Edizione 2009, Sez.200120 REGGIO EMILIA SUD-EST (in scala 1:10.000)



SCALA 1:10.000

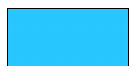
SEZIONE 200120 - REGGIO EMILIA SUD-EST

DESCRIZIONE DELLE UNITA' GEOLOGICHE PRESENTI IN CARTA (solo quelle rappresentate in forma poligonale)

Depositi quaternari continentali



a4 - Deposito eluvio-colluviale



b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

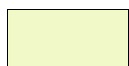
Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano



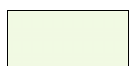
AES8 - Subsistema di Ravenna



AES8a - Unità di Modena



AES7b - Unità di Vignola



AES7a - Unità di Niviano

In Provincia di Reggio Emilia

Depositi quaternari continentali

a4 - Deposito eluvio-colluviale

Coltre di materiale detritico, generalmente fine (sabbie, limi e peliti) prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità, con a luoghi clasti a spigoli vivi o leggermente arrotondati.

b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

Ghiaie, talora embriciate, sabbie e limi argillosi di origine fluviale, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale; detrito generalmente incoerente e caotico, costituito da clasti eterometrici ed eterogenei, talora arrotondati, in matrice sabbiosa, allo sbocco di impluvi e valli secondarie. Sono talora fissati da vegetazione (b1a).

Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano

AES8 - Subsistema di Ravenna

Limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Nell'alta pianura su AES7b (affiorante solo in cave). Potenza fino a oltre 20 m.
Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni).

AES8a - Unità di Modena

Depositi ghiaiosi e fini. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo e grigio-giallastro. Corrisponde al primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).
Post-VI secolo d.C.

AES7b - Unità di Vignola

Ghiaie con matrice limo-sabbiosa in prossimità dei torrenti e fiumi principali, passanti distalmente e lateralmente a limi e limi sabbiosi. Depositi fluviali intravallivo e di conoide passante lateralmente a interconoide e distalmente a piana inondabile. Al tetto suoli decarbonatati con tracce di illuviazione di argilla e fronte di alterazione tra 1,5 e 2 m, orizzonti superficiali di colore da rosso bruno a bruno scuro. Potenza fino a oltre 20 m.

Pleistocene sup. - Olocene basale

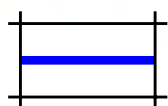
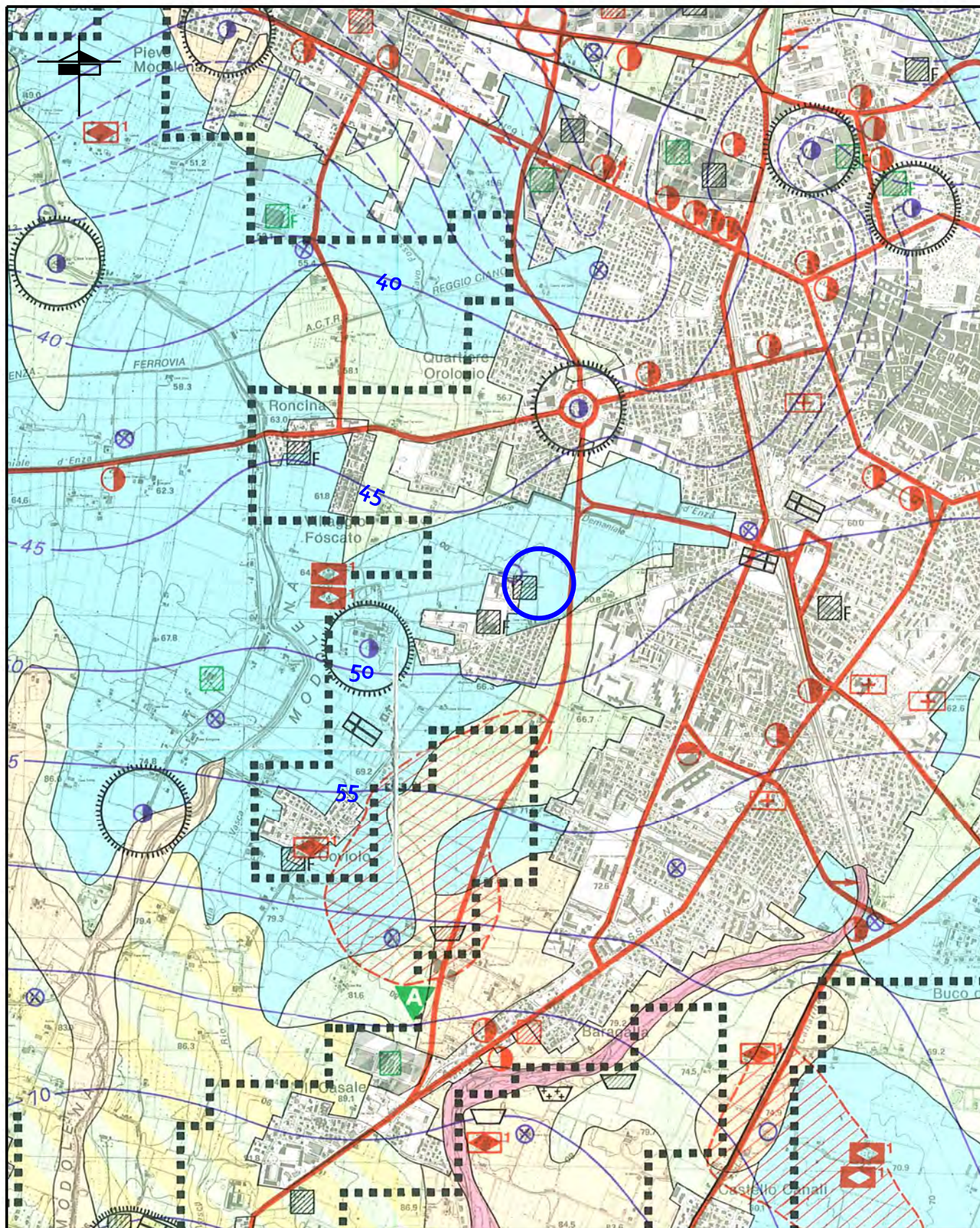
AES7a - Unità di Niviano

Depositi continentali ghiaioso sabbiosi dei terrazzi intravallivi e di conoide dei fiumi principali, e limo-sabbiosi dei torrenti minori. Al tetto suoli decarbonatati, a luoghi rubefatti, con fronte di alterazione < 5 metri, orizzonti superficiali con colore variabile a seconda della litologia da rosso bruno a giallo bruno. Contatto inferiore in discontinuità su unità più antiche. Contatto superiore coincidente con la superficie topografica nelle aree intravallive e pedecollinari, sepolto da AES7b e AES8 nell'alta pianura. Potenza affiorante < 10 m o non valutabile.

Pleistocene sup.

Tav.5 - Stralcio "Carta della vulnerabilità degli acquiferi"

Alta pianura reggiana tra T. Crostolo e F. Secchia



area in studio

SCALA 1:25.000

LEGENDA

GRADO DI VULNERABILITÀ						LITOLOGIA DI SUPERFICIE	PROFONDITÀ TETTO GHIAIE	CARATTERISTICHE ACQUIFERO
E _t	E	A	M	B	B _g			
						Argilla Limo-argilla Sabbia	< 10 m > 10 m > 10 m	Falda a pelo libero o in pressione Falda in pressione Falda in pressione con soggiacenza > 5 m
						Limo Sabbia	< 10 m > 10 m	Falda a pelo libero o in pressione Falda a pelo libero o in pressione con soggiacenza 0-5 m
						Situazioni altamente variabili fra condizioni di vulnerabilità media e alta		
						Sabbia e ghiaia	< 10 m	Falda in pressione
						Sabbia e ghiaia	< 10 m	Falda a pelo libero
						Ghiaia	0 m	Alvei fluviali disperdenti

E_t = Estremamente elevato E = Elevato A = Alto M = Medio B = Basso B_g = Bassissimo



Aree urbanizzate a vulnerabilità non definibile, comunque a rischio elevato



Aree urbanizzate con prevalenti attività industriali e/o artigianali, a vulnerabilità non definibile, comunque a rischio elevato

ELEMENTI IDROGEOLOGICI



A) Isopieze (riferite a l.m.) con equidistanza di 5 m (Rilevamento maggio 1991)



B) Isopieze (riferite a l.m.) con equidistanza di 1 m (Rilevamento maggio 1991)



Limite rilievo collinare

Pozzi della rete di controllo:



Pozzi ad uso irriguo e zootecnico



Pozzi ad uso domestico



Pozzi ad uso industriale



Pozzi ad uso idropotabile (di acquedotto)



Fasce di rispetto dei pozzi di acquedotto (D.P.R.236/88): raggio 200 m



Fasce di rispetto dei pozzi di acquedotto (D.P.R.236/88): tempo di sicurezza 60 giorni



Risorgive

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

PENETROMETRO STATICO tipo:

Caratteristiche:

- punta conica meccanica $\varnothing 35.7$ mm, angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$ - (area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$)
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ($\varnothing 35.7$ mm - h 133 mm - sup. lat. Am. = 150 cm^2)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm / sec } (\pm 0,5 \text{ cm / sec })$
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett. \Rightarrow Spinta) $C_t = \text{SPINTA (Kg) / LETTURA DI CAMPAGNA}$

fase 1 - resistenza alla punta $R_p \text{ (Kg / cm}^2 \text{)} = (\text{L. punta}) C_t / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale $R_L \text{ (Kg / cm}^2 \text{)} = [(\text{L. laterale}) - (\text{L. punta})] C_t / 150$

fase 3 - resistenza totale $R_t \text{ (Kg)} = (\text{L. totale}) C_t$

$R_p / R_L = \text{'rapporto Begemann'}$

- L. punta = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta (fase 1)
- L. laterale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- L. totale = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta $S \text{ (Kg)}$, corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione C_t .

N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale R_L viene computata 20 cm sopra la punta.

CONVERSIONI

$1 \text{ kN (kiloNewton)} = 1000 \text{ N} \approx 100 \text{ kg} = 0,1 \text{ t} - 1 \text{ MN (megaNewton)} = 1000 \text{ kN} = 1000000 \text{ N} \approx 100 \text{ t}$

$1 \text{ kPa (kiloPascal)} = 1 \text{ kN/m}^2 = 0,001 \text{ MN/m}^2 = 0,001 \text{ MPa} \approx 0,1 \text{ t/m}^2 = 0,01 \text{ kg/cm}^2$

$1 \text{ MPa (MegaPascal)} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1000 \text{ kN/m}^2 = 1000 \text{ kPa} \approx 100 \text{ t / m}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$

$\text{kg/cm}^2 = 10 \text{ t/m}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MN/m}^2 = 0,1 \text{ Mpa}$

$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg} \approx 10 \text{ kN}$

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto: **$F = (R_p / R_L)$**

(Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977)

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = R_p / R_L$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F < 15$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 < F \leq 30$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 < F \leq 60$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di R_p e di $FR = (R_L / R_p) \% :$

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
 - quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.
-

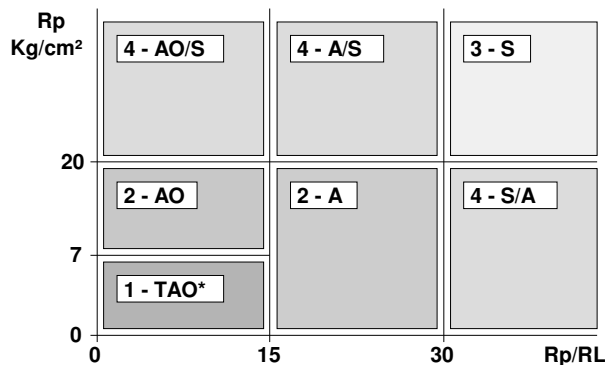
LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

SCELTE LITOLOGICHE (validità orientativa)

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto R_p / R_L
(Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$R_p \leq 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni COESIVI anche se (R_p / R_L) > 30

$R_p \geq 20 \text{ kg/cm}^2$: possibili terreni GRANULARI anche se (R_p / R_L) < 30



NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - R_p - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - R_p]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- E_u = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [correl. : E_u - C_u - OCR - I_p I_p = ind.plast.]
 E_{u50} - E_{u25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - R_p]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983)
- M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : M_o - R_p - natura]
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- D_r = densità relativa (terreni gran. N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : D_r - R_p - σ'_{vo}] (Schmertmann 1976)
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - D_r - R_p - σ'_{vo}]
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976)
 ϕ'_{1s} - (Schmertmann) sabbia fine uniforme ϕ'_{2s} - sabbia media unif./ fine ben gradata
 ϕ'_{3s} - sabbia grossa unif./ media ben gradata ϕ'_{4s} - sabbia-ghiaia poco lim./ ghiaietto unif.
 ϕ'_{dm} - (Durgunoglu & Mitchell) sabbie N.C. ϕ'_{my} - (Meyerhof) sabbie limose
- A_{max} = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (A_{max}/g) - D_r]

PROVA PENETROMETRICA STATICA

LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 1

- committente : Amm.ne Prov.le RE
 - lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
 - località : Coviolo-RE
 - assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : 8,80 da quota inizio
 - data di emissione : 29/07/2018

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	0,20	----	7,80	21,0	37,0	21,0	0,67	31,0
0,40	42,0	45,0	42,0	1,60	26,0	8,00	86,0	96,0	86,0	0,67	129,0
0,60	43,0	67,0	43,0	1,07	40,0	8,20	16,0	26,0	16,0	0,87	18,0
0,80	114,0	130,0	114,0	1,67	68,0	8,40	15,0	28,0	15,0	0,60	25,0
1,00	153,0	178,0	153,0	1,60	96,0	8,60	15,0	24,0	15,0	1,07	14,0
1,20	96,0	120,0	96,0	1,87	51,0	8,80	16,0	32,0	16,0	1,00	16,0
1,40	96,0	124,0	96,0	2,80	34,0	9,00	19,0	34,0	19,0	0,67	28,0
1,60	80,0	122,0	80,0	1,07	75,0	9,20	17,0	27,0	17,0	0,73	23,0
1,80	74,0	90,0	74,0	1,33	55,0	9,40	17,0	28,0	17,0	0,73	23,0
2,00	290,0	310,0	290,0	1,40	207,0	9,60	17,0	28,0	17,0	0,67	25,0
2,20	176,0	197,0	176,0	1,53	115,0	9,80	19,0	29,0	19,0	0,73	26,0
2,40	167,0	190,0	167,0	1,67	100,0	10,00	18,0	29,0	18,0	0,73	25,0
2,60	240,0	265,0	240,0	1,33	180,0	10,20	19,0	30,0	19,0	0,73	26,0
2,80	310,0	330,0	310,0	1,33	232,0	10,40	21,0	32,0	21,0	0,93	22,0
3,00	200,0	220,0	200,0	1,33	150,0	10,60	22,0	36,0	22,0	1,20	18,0
3,20	180,0	200,0	180,0	2,00	90,0	10,80	19,0	37,0	19,0	0,87	22,0
3,40	280,0	310,0	280,0	1,33	210,0	11,00	23,0	36,0	23,0	1,27	18,0
3,60	220,0	240,0	220,0	1,33	165,0	11,20	27,0	46,0	27,0	1,33	20,0
3,80	175,0	195,0	175,0	2,53	69,0	11,40	27,0	47,0	27,0	1,27	21,0
4,00	115,0	153,0	115,0	4,00	29,0	11,60	21,0	40,0	21,0	2,13	10,0
4,20	155,0	215,0	155,0	2,33	66,0	11,80	42,0	74,0	42,0	1,20	35,0
4,40	165,0	200,0	165,0	1,07	155,0	12,00	90,0	108,0	90,0	1,33	67,0
4,60	37,0	53,0	37,0	1,60	23,0	12,20	160,0	180,0	160,0	2,00	80,0
4,80	23,0	47,0	23,0	1,13	20,0	12,40	300,0	330,0	300,0	0,67	450,0
5,00	26,0	43,0	26,0	1,47	18,0	12,60	300,0	310,0	300,0	1,33	225,0
5,20	29,0	51,0	29,0	1,67	17,0	12,80	270,0	290,0	270,0	1,33	202,0
5,40	20,0	45,0	20,0	1,53	13,0	13,00	185,0	205,0	185,0	1,00	185,0
5,60	23,0	46,0	23,0	0,93	25,0	13,20	50,0	65,0	50,0	1,00	50,0
5,80	36,0	50,0	36,0	0,53	67,0	13,40	315,0	330,0	315,0	0,80	394,0
6,00	37,0	45,0	37,0	0,80	46,0	13,60	58,0	70,0	58,0	2,07	28,0
6,20	36,0	48,0	36,0	0,73	49,0	13,80	22,0	53,0	22,0	1,47	15,0
6,40	17,0	28,0	17,0	0,67	25,0	14,00	27,0	49,0	27,0	1,27	21,0
6,60	15,0	25,0	15,0	0,67	22,0	14,20	24,0	43,0	24,0	1,20	20,0
6,80	13,0	23,0	13,0	0,53	24,0	14,40	26,0	44,0	26,0	1,47	18,0
7,00	14,0	22,0	14,0	0,60	23,0	14,60	27,0	49,0	27,0	1,47	18,0
7,20	14,0	23,0	14,0	0,60	23,0	14,80	28,0	50,0	28,0	1,47	19,0
7,40	16,0	25,0	16,0	0,67	24,0	15,00	28,0	50,0	28,0	-----	----
7,60	21,0	31,0	21,0	1,07	20,0						

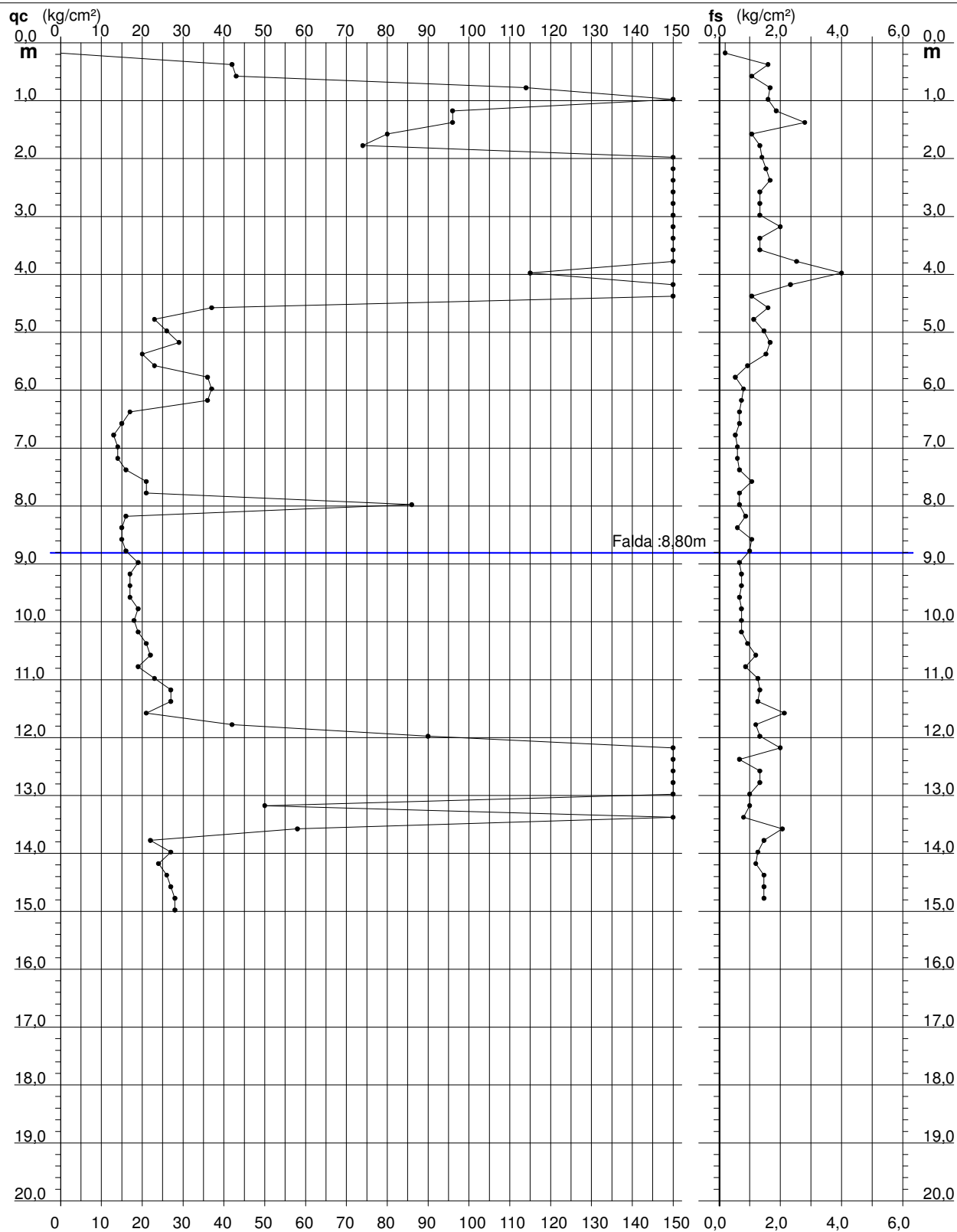
- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

- committente : Amm.ne Prov.le RE
- lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
- località : Coviolo-RE
- assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 8,80 da quota inizio
- data di emissione : 29/07/2018

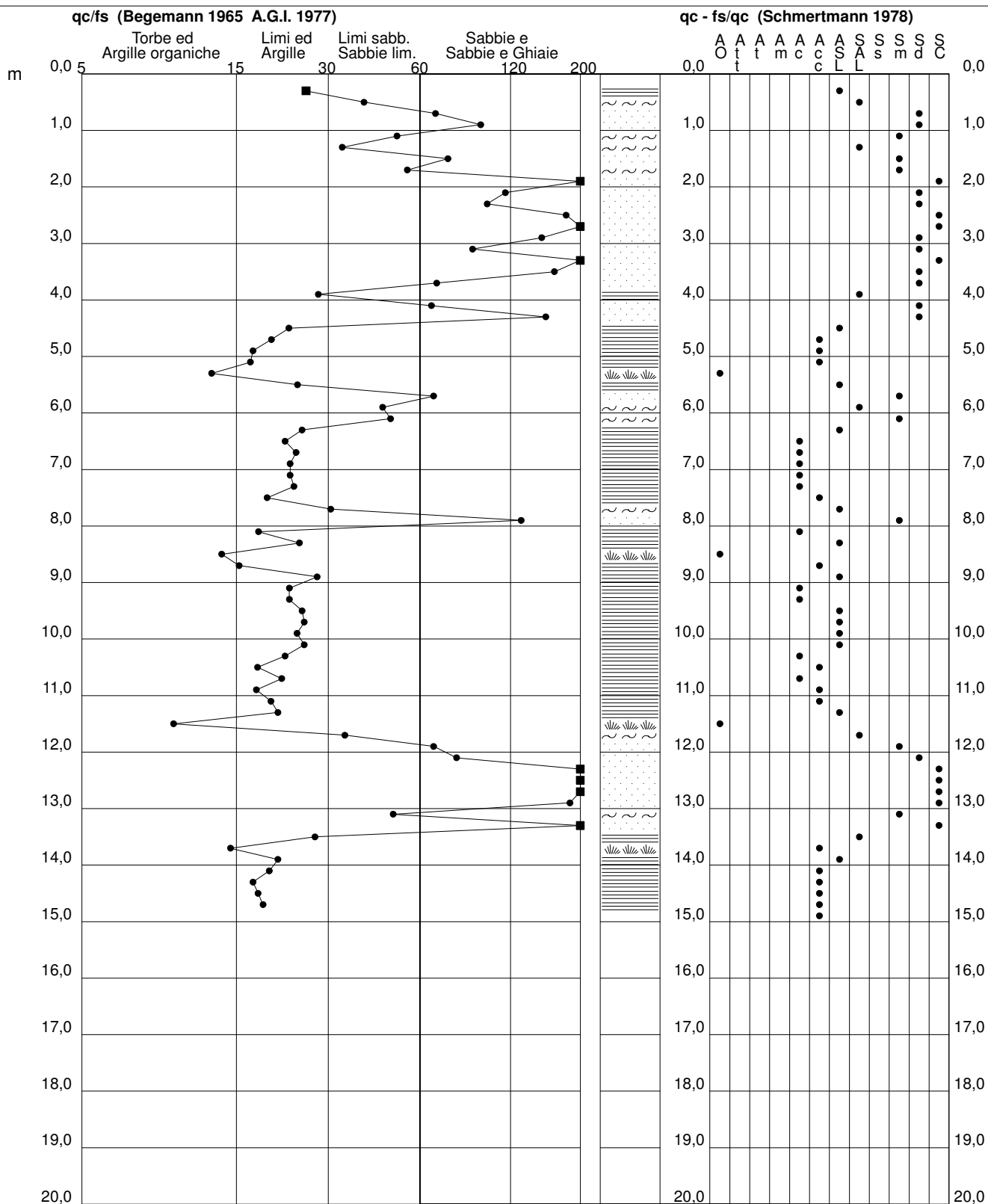


PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

- committente : Amm.ne Prov.le RE
- lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
- località : Coviolo-RE
- assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 8,80 da quota inizio
- data di emissione : 29/07/2018



PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1

- committente : Amm.ne Prov.le RE
- lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
- località : Coviolo-RE
- assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 8,80 da quota inizio
- data di emissione : 29/07/2018

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE										
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	σ1s (°)	σ2s (°)	σ3s (°)	σ4s (°)	σdm (°)	σmy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	42	26	4/:	1,85	0,07	1,40	99,9	238	357	126	100	42	43	45	46	44	30	0,258	70	105	126
0,60	43	40	3:::	1,85	0,11	--	--	--	--	--	97	42	43	44	46	43	30	0,246	72	108	129
0,80	114	68	3:::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	34	0,258	190	285	342
1,00	153	96	3:::	1,85	0,19	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	36	0,258	255	383	459
1,20	96	51	3:::	1,85	0,22	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	34	0,258	160	240	288
1,40	96	34	3:::	1,85	0,26	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	34	0,258	160	240	288
1,60	80	75	3:::	1,85	0,30	--	--	--	--	--	94	41	43	44	46	41	33	0,237	133	200	240
1,80	74	55	3:::	1,85	0,33	--	--	--	--	--	88	40	42	43	45	41	32	0,218	123	185	222
2,00	290	207	3:::	1,85	0,37	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	483	725	870
2,20	176	115	3:::	1,85	0,41	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	37	0,258	293	440	528
2,40	167	100	3:::	1,85	0,44	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	37	0,258	278	418	501
2,60	240	180	3:::	1,85	0,48	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	39	0,258	400	600	720
2,80	310	232	3:::	1,85	0,52	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	517	775	930
3,00	200	150	3:::	1,85	0,55	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	38	0,258	333	500	600
3,20	180	90	3:::	1,85	0,59	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	42	37	0,258	300	450	540
3,40	280	210	3:::	1,85	0,63	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	40	0,258	467	700	840
3,60	220	165	3:::	1,85	0,67	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	42	38	0,258	367	550	660
3,80	175	69	3:::	1,85	0,70	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	41	37	0,258	292	438	525
4,00	115	29	4/:	1,85	0,74	3,83	49,1	652	978	345	84	40	41	43	45	39	35	0,203	192	288	345
4,20	155	66	3:::	1,85	0,78	--	--	--	--	--	93	41	42	44	45	40	36	0,234	258	388	465
4,40	165	155	3:::	1,85	0,81	--	--	--	--	--	94	41	43	44	46	40	37	0,238	275	413	495
4,60	37	23	4/:	1,85	0,85	1,23	10,0	210	315	111	42	34	36	39	41	32	30	0,084	62	93	111
4,80	23	20	4/:	1,85	0,89	0,87	6,1	234	351	69	24	31	34	37	40	29	28	0,046	38	58	69
5,00	26	18	4/:	1,85	0,93	0,93	6,3	241	361	78	28	32	35	37	40	30	28	0,053	43	65	78
5,20	29	17	4/:	1,85	0,96	0,98	6,5	249	373	87	30	32	35	38	40	30	29	0,059	48	73	87
5,40	20	13	4/:	1,85	1,00	0,80	4,8	277	416	60	17	30	33	36	39	28	27	0,032	33	50	60
5,60	23	25	4/:	1,85	1,04	0,87	5,0	286	428	69	21	31	34	37	40	29	28	0,039	38	58	69
5,80	36	67	3:::	1,85	1,07	--	--	--	--	--	35	33	35	38	41	31	30	0,069	60	90	108
6,00	37	46	3:::	1,85	1,11	--	--	--	--	--	35	33	35	38	41	31	30	0,069	62	93	111
6,20	36	49	3:::	1,85	1,15	--	--	--	--	--	34	33	35	38	41	31	30	0,065	60	90	108
6,40	17	25	2///	1,85	1,18	0,72	3,4	333	499	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,60	15	22	2///	1,85	1,22	0,67	2,9	332	498	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,80	13	24	2///	1,85	1,26	0,60	2,5	320	480	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,00	14	23	2///	1,85	1,30	0,64	2,6	334	501	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,20	14	23	2///	1,85	1,33	0,64	2,5	338	506	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,40	16	24	2///	1,85	1,37	0,70	2,7	359	539	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,60	21	20	4/:	1,85	1,41	0,82	3,2	391	587	63	10	29	32	36	39	26	27	0,021	35	53	63
7,80	21	31	3:::	1,85	1,44	--	--	--	--	--	9	29	32	35	39	26	27	0,019	35	53	63
8,00	86	129	3:::	1,85	1,48	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	34	33	0,123	143	215	258
8,20	16	18	2///	1,85	1,52	0,70	2,4	375	562	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,40	15	25	2///	1,85	1,55	0,67	2,2	367	550	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,60	15	14	2///	1,85	1,59	0,67	2,1	369	554	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,80	16	16	2///	0,96	1,61	0,70	2,2	382	573	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,00	19	28	2///	0,99	1,63	0,78	2,5	412	618	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,20	17	23	2///	0,97	1,65	0,72	2,2	395	593	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,40	17	23	2///	0,97	1,67	0,72	2,2	397	595	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,60	17	25	2///	0,97	1,69	0,72	2,2	398	597	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,80	19	26	2///	0,99	1,71	0,78	2,3	419	629	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10,00	18	25	2///	0,98	1,73	0,75	2,2	411	617	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10,20	19	26	2///	0,99	1,75	0,78	2,3	422	633	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10,40	21	22	4/:	0,93	1,77	0,82	2,4	441	661	63	4	29	32	35	38	25	27	0,011	35	53	63
10,60	22	18	4/:	0,93	1,78	0,85	2,5	450	675	66	6	29	32	35	38	25	28	0,014	37	55	66
10,80	19	22	2///	0,99	1,80	0,78	2,2	426	639	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
11,00	23	18	4/:	0,94	1,82	0,87	2,5	461	692	69	7	29	32	35	39	25	28	0,015	38	58	69
11,20	27	20	4/:	0,95	1,84	0,95	2,7	487	730	81	12	30	33	36	39	26	28	0,024	45	68	81
11,40	27	21	4/:	0,95	1,86	0,95	2,7	489	734	81	12	30	33	36	39	26	28	0,023	45	68	81
11,60	21	10	4/:	0,93	1,88	0,82	2,2	450	675	63	3	28	32	35	38	25	27	0,007	35	53	63
11,80	42	35	3:::	0,90	1,90	--	--	--	--	--	27	32	34	37	40	29	30	0,051	70	105	126
12,00	90	67	3:::	0,98	1,92	--	--	--	--	--	52	35	38	40	42	33	33	0,110	150	225	270
12,20	160	80	3:::	1,09	1,94	--	--	--	--	--	72	38	40	42	44	36	36	0,165	267	400	480
12,40	300	450	3:::	1,15	1,96	--	--	--	--	--	93	41	42	44	45	39	40	0,234	500	750	900
12,60	300	225	3:::	1,15	1,99	--	--	--	--	--	93	41	42	44	45	39	40	0,233	500	750	900
12,80	270	202	3:::	1,15	2,01	--	--	--	--	--	89	40	42	43	45	38	40	0,220	450	675	810
13,00	185	185	3:::	1,13	2,03	--	--	--	--	--	76	39	40	42	44	36	37	0,177	308	463	555
13,20	50	50	3:::	0,92	2,05	--	--	--	--	--	31	32	35	38	40	29	31	0,059	83	125	150
13,40	315	394	3:::	1,15	2,07	--	--	--	--	--	94	41	42	44	45	39	40	0,236	525		

PROVA PENETROMETRICA STATICA

LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 2

- committente : Amm.ne Prov.le RE
 - lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
 - località : Coviolo-RE
 - assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : 5,80 da quota inizio
 - data di emissione : 29/07/2018

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	0,27	----	7,80	16,0	25,0	16,0	0,60	27,0
0,40	48,0	52,0	48,0	2,40	20,0	8,00	22,0	31,0	22,0	1,00	22,0
0,60	47,0	83,0	47,0	4,47	11,0	8,20	22,0	37,0	22,0	0,93	24,0
0,80	50,0	117,0	50,0	3,93	13,0	8,40	21,0	35,0	21,0	0,87	24,0
1,00	69,0	128,0	69,0	1,53	45,0	8,60	20,0	33,0	20,0	0,80	25,0
1,20	47,0	70,0	47,0	2,53	19,0	8,80	16,0	28,0	16,0	0,53	30,0
1,40	35,0	73,0	35,0	3,07	11,0	9,00	18,0	26,0	18,0	0,47	39,0
1,60	44,0	90,0	44,0	1,33	33,0	9,20	20,0	27,0	20,0	0,60	33,0
1,80	310,0	330,0	310,0	1,67	186,0	9,40	21,0	30,0	21,0	0,60	35,0
2,00	290,0	315,0	290,0	2,00	145,0	9,60	22,0	31,0	22,0	0,67	33,0
2,20	190,0	220,0	190,0	2,00	95,0	9,80	22,0	32,0	22,0	0,73	30,0
2,40	420,0	450,0	420,0	2,67	157,0	10,00	23,0	34,0	23,0	0,60	38,0
2,60	420,0	460,0	420,0	1,47	286,0	10,20	23,0	32,0	23,0	0,67	34,0
2,80	236,0	258,0	236,0	1,27	186,0	10,40	21,0	31,0	21,0	1,20	17,0
3,00	228,0	247,0	228,0	1,33	171,0	10,60	24,0	42,0	24,0	0,87	28,0
3,20	155,0	175,0	155,0	2,00	78,0	10,80	31,0	44,0	31,0	1,00	31,0
3,40	30,0	60,0	30,0	1,67	18,0	11,00	27,0	42,0	27,0	1,07	25,0
3,60	43,0	68,0	43,0	2,33	18,0	11,20	25,0	41,0	25,0	1,27	20,0
3,80	385,0	420,0	385,0	2,00	192,0	11,40	28,0	47,0	28,0	1,27	22,0
4,00	275,0	305,0	275,0	1,33	206,0	11,60	32,0	51,0	32,0	1,87	17,0
4,20	430,0	450,0	430,0	1,33	322,0	11,80	26,0	54,0	26,0	1,47	18,0
4,40	400,0	420,0	400,0	0,80	500,0	12,00	175,0	197,0	175,0	0,33	525,0
4,60	315,0	327,0	315,0	1,73	182,0	12,20	425,0	430,0	425,0	1,67	255,0
4,80	180,0	206,0	180,0	1,60	112,0	12,40	335,0	360,0	335,0	1,53	218,0
5,00	23,0	47,0	23,0	1,27	18,0	12,60	234,0	257,0	234,0	1,20	195,0
5,20	21,0	40,0	21,0	1,00	21,0	12,80	366,0	384,0	366,0	0,93	392,0
5,40	29,0	44,0	29,0	1,27	23,0	13,00	360,0	374,0	360,0	1,00	360,0
5,60	34,0	53,0	34,0	1,47	23,0	13,20	370,0	385,0	370,0	1,00	370,0
5,80	35,0	57,0	35,0	1,33	26,0	13,40	425,0	440,0	425,0	0,33	1275,0
6,00	28,0	48,0	28,0	0,93	30,0	13,60	368,0	373,0	368,0	2,00	184,0
6,20	15,0	29,0	15,0	0,40	37,0	13,80	310,0	340,0	310,0	1,20	258,0
6,40	15,0	21,0	15,0	0,67	22,0	14,00	287,0	305,0	287,0	1,33	215,0
6,60	22,0	32,0	22,0	0,60	37,0	14,20	120,0	140,0	120,0	2,47	49,0
6,80	18,0	27,0	18,0	0,87	21,0	14,40	47,0	84,0	47,0	1,60	29,0
7,00	17,0	30,0	17,0	0,60	28,0	14,60	38,0	62,0	38,0	1,53	25,0
7,20	13,0	22,0	13,0	0,67	19,0	14,80	31,0	54,0	31,0	1,60	19,0
7,40	14,0	24,0	14,0	0,53	26,0	15,00	34,0	58,0	34,0	-----	----
7,60	17,0	25,0	17,0	0,60	28,0						

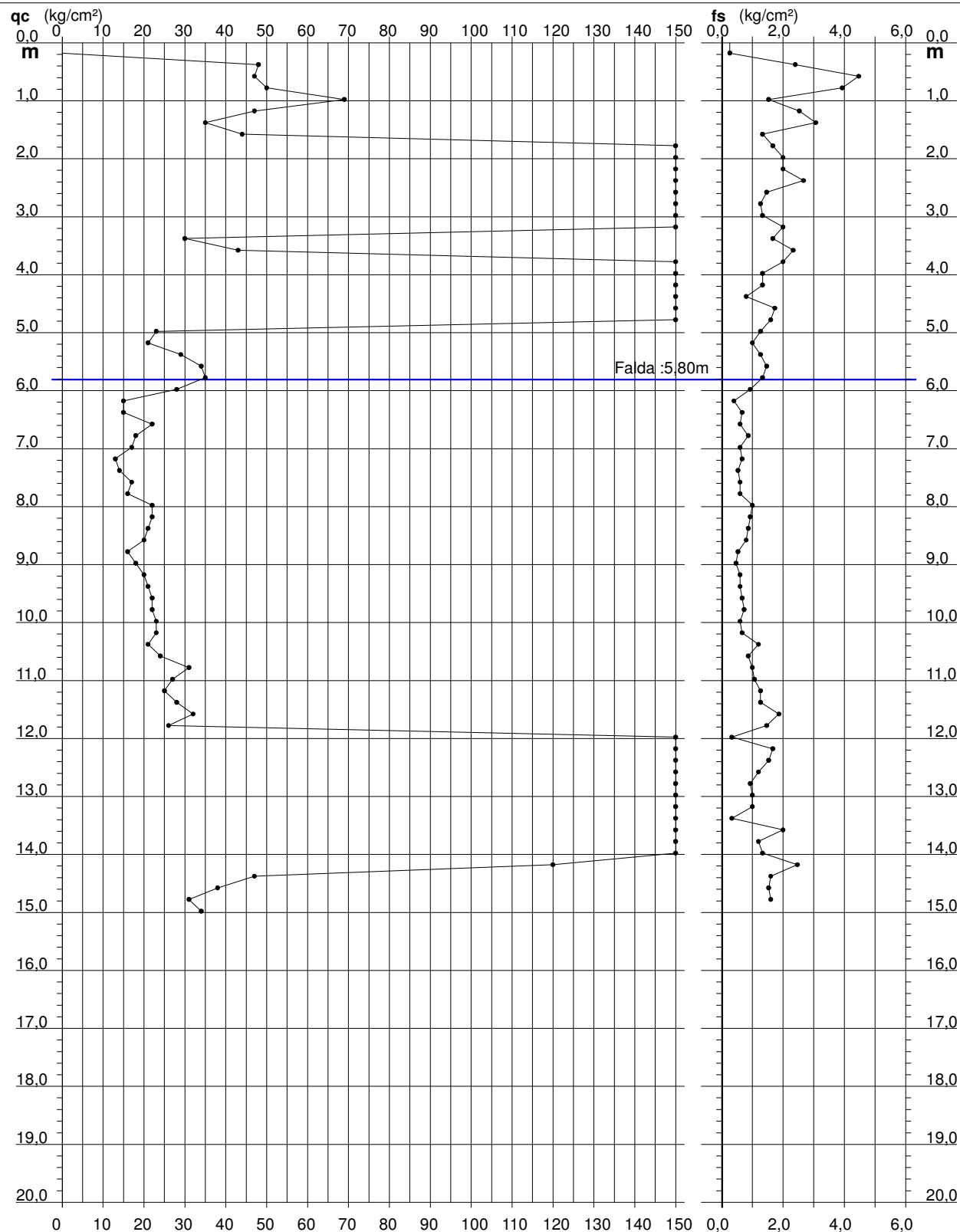
- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

- committente : Amm.ne Prov.le RE
- lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
- località : Coviolo-RE
- assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 5,80 da quota inizio
- data di emissione : 29/07/2018

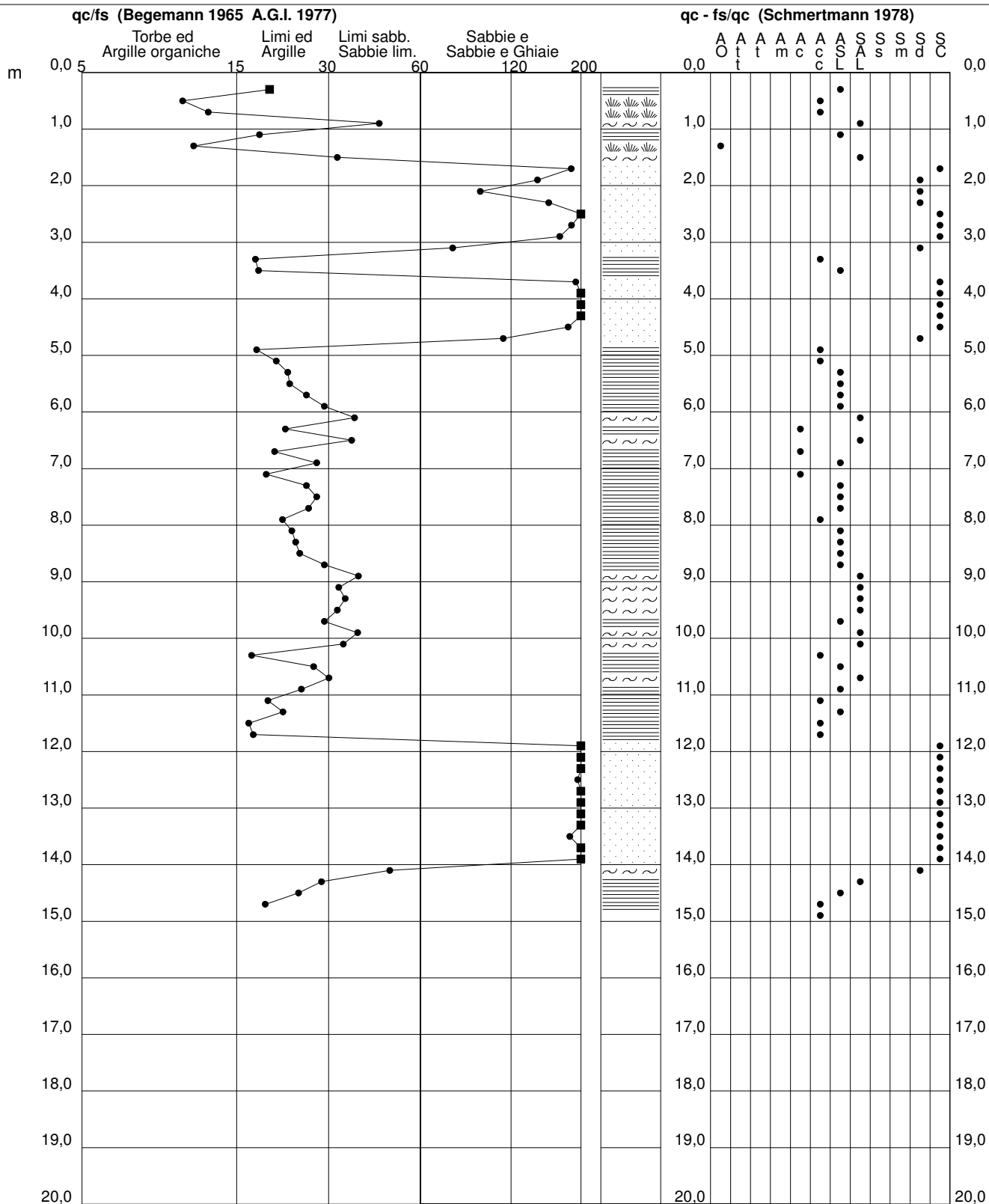


PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 2

- committente : Amm.ne Prov.le RE
- lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
- località : Coviolo-RE
- assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 5,80 da quota inizio
- data di emissione : 29/07/2018



PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 2

- committente : Amm.ne Prov.le RE
- lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
- località : Coviolo-RE
- assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 5,80 da quota inizio
- data di emissione : 29/07/2018

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE										
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	σ1s (°)	σ2s (°)	σ3s (°)	σ4s (°)	σdm (°)	σmy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	48	20	4/4:	1,85	0,07	1,60	99,9	272	408	144	100	42	43	45	46	45	31	0,258	80	120	144
0,60	47	11	4/4:	1,85	0,11	1,57	99,9	266	400	141	100	42	43	45	46	43	31	0,257	78	118	141
0,80	50	13	4/4:	1,85	0,15	1,67	99,9	283	425	150	95	41	43	44	46	42	31	0,240	83	125	150
1,00	69	45	3:::	1,85	0,19	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	32	0,258	115	173	207
1,20	47	19	4/4:	1,85	0,22	1,57	72,2	266	400	141	83	40	41	43	45	40	31	0,199	78	118	141
1,40	35	11	4/4:	1,85	0,26	1,17	41,2	198	298	105	69	38	40	41	44	38	29	0,156	58	88	105
1,60	44	33	3:::	1,85	0,30	--	--	--	--	--	73	38	40	42	44	39	31	0,170	73	110	132
1,80	310	186	3:::	1,85	0,33	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	517	775	930
2,00	290	145	3:::	1,85	0,37	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	483	725	870
2,20	190	95	3:::	1,85	0,41	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	37	0,258	317	475	570
2,40	420	157	3:::	1,85	0,44	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	700	1050	1260
2,60	420	286	3:::	1,85	0,48	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	700	1050	1260
2,80	236	186	3:::	1,85	0,52	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	39	0,258	393	590	708
3,00	228	171	3:::	1,85	0,55	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	39	0,258	380	570	684
3,20	155	78	3:::	1,85	0,59	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	41	36	0,258	258	388	465
3,40	30	18	4/4:	1,85	0,63	1,00	11,2	170	255	90	42	34	36	39	41	33	29	0,084	50	75	90
3,60	43	18	4/4:	1,85	0,67	1,43	16,4	244	366	129	53	35	38	40	42	35	30	0,111	72	108	129
3,80	385	192	3:::	1,85	0,70	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	642	963	1155
4,00	275	206	3:::	1,85	0,74	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	40	0,258	458	688	825
4,20	430	322	3:::	1,85	0,78	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	717	1075	1290
4,40	400	500	3:::	1,85	0,81	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	667	1000	1200
4,60	315	182	3:::	1,85	0,85	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	40	0,258	525	788	945
4,80	180	112	3:::	1,85	0,89	--	--	--	--	--	95	41	43	44	46	40	37	0,241	300	450	540
5,00	23	18	4/4:	1,85	0,93	0,87	5,8	247	371	69	23	31	34	37	40	29	28	0,044	38	58	69
5,20	21	21	4/4:	1,85	0,96	0,82	5,2	264	396	63	19	31	34	36	40	28	27	0,037	35	53	63
5,40	29	23	4/4:	1,85	1,00	0,98	6,2	262	393	87	29	32	35	37	40	30	29	0,057	48	73	87
5,60	34	23	4/4:	1,85	1,04	1,13	7,0	260	389	102	34	33	35	38	41	31	29	0,066	57	85	102
5,80	35	26	4/4:	0,98	1,06	1,17	7,1	263	395	105	35	33	35	38	41	31	29	0,068	58	88	105
6,00	28	30	4/4:	0,96	1,07	0,97	5,5	291	437	84	26	32	34	37	40	29	28	0,051	47	70	84
6,20	15	37	4/4:	0,89	1,09	0,67	3,4	307	460	50	5	29	32	35	38	26	27	0,012	25	38	45
6,40	15	22	2///	0,95	1,11	0,67	3,3	311	467	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,60	22	37	3:::	0,86	1,13	--	--	--	--	--	17	30	33	36	39	28	28	0,032	37	55	66
6,80	18	21	2///	0,98	1,15	0,75	3,7	324	486	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,00	17	28	2///	0,97	1,17	0,72	3,5	329	493	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,20	13	19	2///	0,93	1,19	0,60	2,7	312	468	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,40	14	26	2///	0,94	1,21	0,64	2,8	323	484	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,60	17	28	2///	0,97	1,22	0,72	3,3	342	513	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,80	16	27	2///	0,96	1,24	0,70	3,0	341	512	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,00	22	22	4/4:	0,93	1,26	0,85	3,8	355	533	66	14	30	33	36	39	27	28	0,028	37	55	66
8,20	22	24	4/4:	0,93	1,28	0,85	3,7	361	542	66	14	30	33	36	39	27	28	0,027	37	55	66
8,40	21	24	4/4:	0,93	1,30	0,82	3,5	367	550	63	12	30	33	36	39	27	27	0,024	35	53	63
8,60	20	25	4/4:	0,93	1,32	0,80	3,4	370	555	60	10	29	32	36	39	26	27	0,020	33	50	60
8,80	16	30	4/4:	0,90	1,34	0,70	2,8	355	533	52	2	28	31	35	38	25	27	0,005	27	40	48
9,00	18	39	4/4:	0,91	1,35	0,75	3,0	370	555	56	6	29	32	35	38	26	27	0,014	30	45	54
9,20	20	33	4/4:	0,93	1,37	0,80	3,2	382	573	60	9	29	32	35	39	26	27	0,019	33	50	60
9,40	21	35	3:::	0,85	1,39	--	--	--	--	--	10	29	32	36	39	26	27	0,021	35	53	63
9,60	22	33	3:::	0,86	1,41	--	--	--	--	--	12	30	33	36	39	27	28	0,023	37	55	66
9,80	22	30	4/4:	0,93	1,43	0,85	3,3	398	597	66	11	30	33	36	39	27	28	0,023	37	55	66
10,00	23	38	3:::	0,86	1,44	--	--	--	--	--	13	30	33	36	39	27	28	0,025	38	58	69
10,20	23	34	3:::	0,86	1,46	--	--	--	--	--	12	30	33	36	39	27	28	0,024	38	58	69
10,40	21	17	4/4:	0,93	1,48	0,82	3,0	405	607	63	9	29	32	35	39	26	27	0,019	35	53	63
10,60	24	28	4/4:	0,94	1,50	0,89	3,3	418	627	72	13	30	33	36	39	27	28	0,026	40	60	72
10,80	31	31	3:::	0,88	1,51	--	--	--	--	--	22	31	34	37	40	28	29	0,041	52	78	93
11,00	27	25	4/4:	0,95	1,53	0,95	3,4	432	648	81	17	30	33	36	39	27	28	0,032	45	68	81
11,20	25	20	4/4:	0,94	1,55	0,91	3,2	432	648	75	14	30	33	36	39	27	28	0,027	42	63	75
11,40	28	22	4/4:	0,96	1,57	0,97	3,4	442	663	84	17	30	33	36	39	27	28	0,033	47	70	84
11,60	32	17	4/4:	0,97	1,59	1,07	3,8	448	672	96	21	31	34	37	40	28	29	0,041	53	80	96
11,80	26	18	4/4:	0,95	1,61	0,93	3,2	446	669	78	14	30	33	36	39	27	28	0,027	43	65	78
12,00	175	525	3:::	1,11	1,63	--	--	--	--	--	79	39	41	43	44	37	37	0,188	292	438	525
12,20	425	255	3:::	1,15	1,66	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	41	40	0,258	708	1063	1275
12,40	335	218	3:::	1,15	1,68	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	40	40	0,258	558	838	1005
12,60	234	195	3:::	1,15	1,70	--	--	--	--	--	88	40	42	43	45	39	39	0,217	390	585	702
12,80	366	392	3:::	1,15	1,72	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	40	40	0,258	610	915	1098
13,00	360	360	3:::	1,15	1,75	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	40	40	0,255			

PROVA PENETROMETRICA STATICA

LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 3

- committente : Amm.ne Prov.le RE
 - lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.li Rosselli-II° Stralcio
 - località : Coviolo-RE
 - assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : 6,20 da quota inizio
 - data di emissione : 29/07/2018

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	0,27	----	7,80	16,0	22,0	16,0	0,60	27,0
0,40	30,0	34,0	30,0	3,47	9,0	8,00	17,0	26,0	17,0	0,60	28,0
0,60	76,0	128,0	76,0	0,33	228,0	8,20	18,0	27,0	18,0	0,73	25,0
0,80	107,0	112,0	107,0	2,27	47,0	8,40	18,0	29,0	18,0	1,67	11,0
1,00	48,0	82,0	48,0	2,20	22,0	8,60	21,0	46,0	21,0	0,60	35,0
1,20	33,0	66,0	33,0	2,53	13,0	8,80	35,0	44,0	35,0	1,87	19,0
1,40	31,0	69,0	31,0	1,07	29,0	9,00	22,0	50,0	22,0	0,60	37,0
1,60	184,0	200,0	184,0	2,00	92,0	9,20	19,0	28,0	19,0	0,93	20,0
1,80	268,0	298,0	268,0	1,47	183,0	9,40	24,0	38,0	24,0	0,80	30,0
2,00	256,0	278,0	256,0	0,53	480,0	9,60	23,0	35,0	23,0	0,93	25,0
2,20	430,0	438,0	430,0	1,00	430,0	9,80	17,0	31,0	17,0	0,53	32,0
2,40	325,0	340,0	325,0	1,33	244,0	10,00	17,0	25,0	17,0	0,67	25,0
2,60	370,0	390,0	370,0	2,47	150,0	10,20	18,0	28,0	18,0	0,60	30,0
2,80	247,0	284,0	247,0	0,87	285,0	10,40	21,0	30,0	21,0	0,67	31,0
3,00	90,0	103,0	90,0	1,53	59,0	10,60	57,0	67,0	57,0	2,07	28,0
3,20	347,0	370,0	347,0	1,27	274,0	10,80	22,0	53,0	22,0	1,53	14,0
3,40	337,0	356,0	337,0	2,00	168,0	11,00	27,0	50,0	27,0	0,87	31,0
3,60	290,0	320,0	290,0	3,47	84,0	11,20	26,0	39,0	26,0	1,07	24,0
3,80	164,0	216,0	164,0	1,73	95,0	11,40	27,0	43,0	27,0	1,20	22,0
4,00	137,0	163,0	137,0	1,13	121,0	11,60	30,0	48,0	30,0	1,47	20,0
4,20	90,0	107,0	90,0	1,53	59,0	11,80	28,0	50,0	28,0	2,00	14,0
4,40	13,0	36,0	13,0	1,67	8,0	12,00	250,0	280,0	250,0	1,80	139,0
4,60	23,0	48,0	23,0	1,67	14,0	12,20	167,0	194,0	167,0	1,00	167,0
4,80	285,0	310,0	285,0	0,73	389,0	12,40	425,0	440,0	425,0	2,00	212,0
5,00	273,0	284,0	273,0	3,67	74,0	12,60	380,0	410,0	380,0	1,60	237,0
5,20	30,0	85,0	30,0	1,80	17,0	12,80	406,0	430,0	406,0	2,00	203,0
5,40	26,0	53,0	26,0	1,07	24,0	13,00	420,0	450,0	420,0	1,33	315,0
5,60	28,0	44,0	28,0	1,07	26,0	13,20	325,0	345,0	325,0	0,93	348,0
5,80	26,0	42,0	26,0	1,33	19,0	13,40	370,0	384,0	370,0	1,33	277,0
6,00	27,0	47,0	27,0	1,07	25,0	13,60	430,0	450,0	430,0	0,73	586,0
6,20	32,0	48,0	32,0	1,27	25,0	13,80	237,0	248,0	237,0	0,60	395,0
6,40	24,0	43,0	24,0	0,73	33,0	14,00	28,0	37,0	28,0	1,67	17,0
6,60	23,0	34,0	23,0	1,00	23,0	14,20	390,0	415,0	390,0	2,67	146,0
6,80	17,0	32,0	17,0	0,80	21,0	14,40	400,0	440,0	400,0	2,67	150,0
7,00	17,0	29,0	17,0	0,60	28,0	14,60	60,0	100,0	60,0	1,67	36,0
7,20	16,0	25,0	16,0	0,67	24,0	14,80	42,0	67,0	42,0	1,13	37,0
7,40	14,0	24,0	14,0	0,53	26,0	15,00	30,0	47,0	30,0	-----	----
7,60	14,0	22,0	14,0	0,40	35,0						

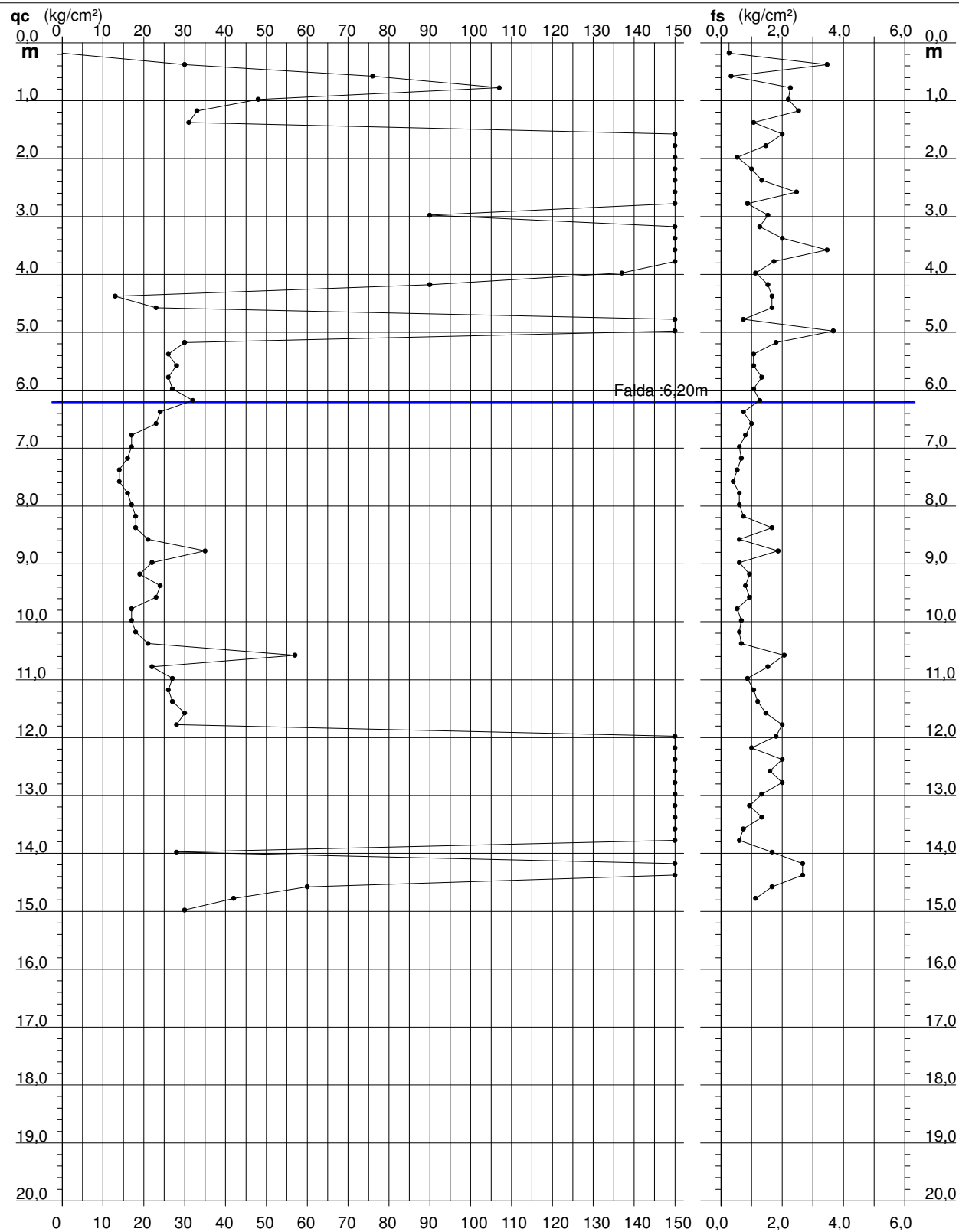
- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann ϕ = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 3

- committente : Amm.ne Prov.le RE
- lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
- località : Coviolo-RE
- assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 6,20 da quota inizio
- data di emissione : 29/07/2018

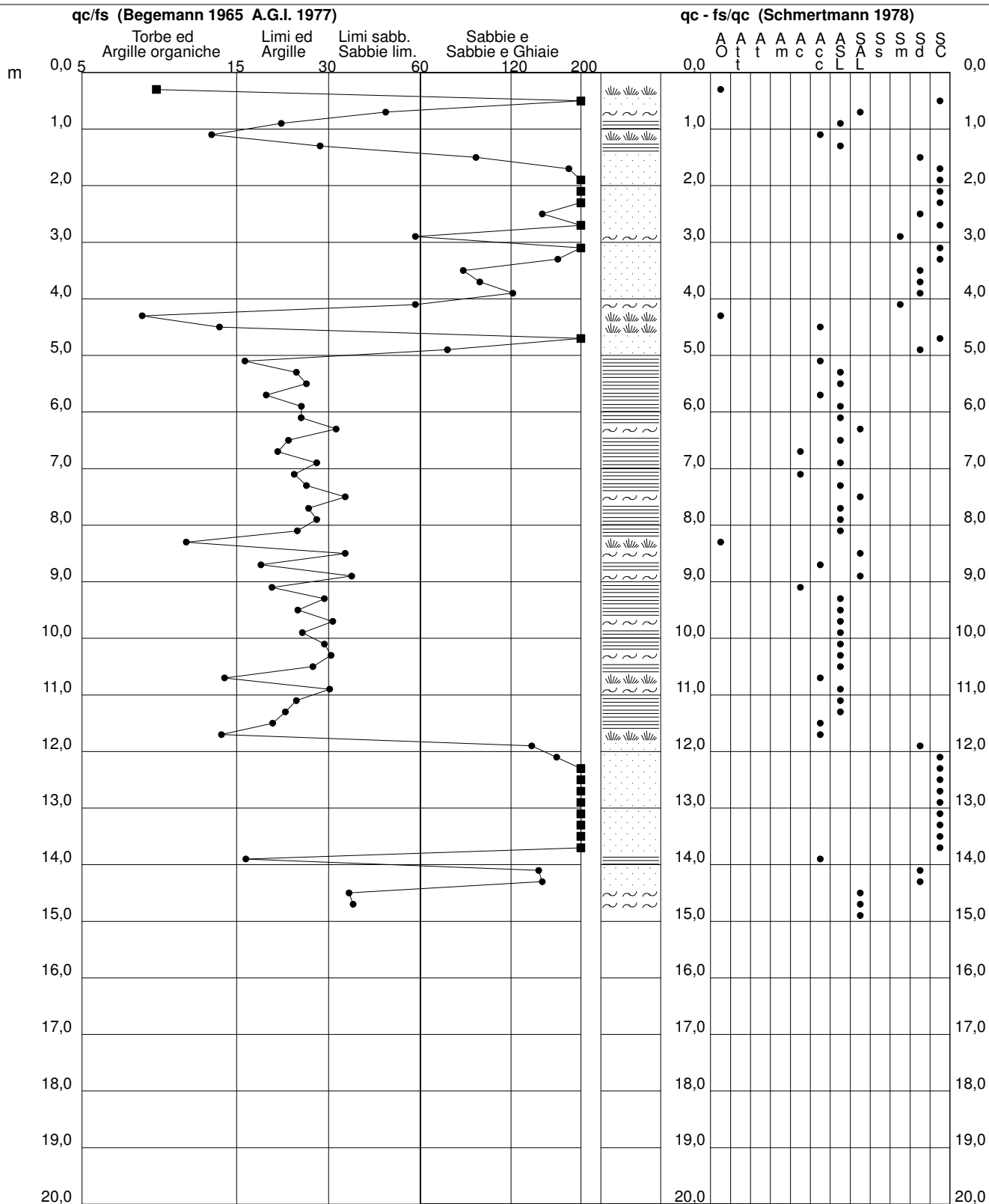


PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 3

- committente : Amm.ne Prov.le RE
- lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.li Rosselli-II° Stralcio
- località : Coviolo-RE
- assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 6,20 da quota inizio
- data di emissione : 29/07/2018



PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 3

- committente : Amm.ne Prov.le RE
- lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.li Rosselli-II° Stralcio
- località : Coviolo-RE
- assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 6,20 da quota inizio
- data di emissione : 29/07/2018

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE										
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	30	9	4/:	1,85	0,07	1,00	99,9	170	255	90	94	41	43	44	46	43	29	0,237	50	75	90
0,60	76	228	3:::	1,85	0,11	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	33	0,258	127	190	228
0,80	107	47	3:::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	34	0,258	178	268	321
1,00	48	22	4/:	1,85	0,19	1,60	93,1	272	408	144	88	40	42	43	45	41	31	0,216	80	120	144
1,20	33	13	4/:	1,85	0,22	1,10	46,4	187	281	99	71	38	40	42	44	39	29	0,161	55	83	99
1,40	31	29	4/:	1,85	0,26	1,03	35,4	176	264	93	65	37	39	41	43	38	29	0,144	52	78	93
1,60	184	92	3:::	1,85	0,30	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	37	0,258	307	460	552
1,80	268	183	3:::	1,85	0,33	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	447	670	804
2,00	256	480	3:::	1,85	0,37	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	39	0,258	427	640	768
2,20	430	430	3:::	1,85	0,41	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	717	1075	1290
2,40	325	244	3:::	1,85	0,44	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	542	813	975
2,60	370	150	3:::	1,85	0,48	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	617	925	1110
2,80	247	285	3:::	1,85	0,52	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	39	0,258	412	618	741
3,00	90	59	3:::	1,85	0,55	--	--	--	--	--	83	40	41	43	45	39	33	0,199	150	225	270
3,20	347	274	3:::	1,85	0,59	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	578	868	1041
3,40	337	168	3:::	1,85	0,63	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	562	843	1011
3,60	290	84	3:::	1,85	0,67	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	40	0,258	483	725	870
3,80	164	95	3:::	1,85	0,70	--	--	--	--	--	98	42	43	44	46	41	37	0,250	273	410	492
4,00	137	121	3:::	1,85	0,74	--	--	--	--	--	90	41	42	44	45	40	35	0,224	228	343	411
4,20	90	59	3:::	1,85	0,78	--	--	--	--	--	75	38	40	42	44	38	33	0,173	150	225	270
4,40	13	8	2:///	1,85	0,81	0,60	4,3	227	341	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,60	23	14	4/:	1,85	0,85	0,87	6,4	220	330	69	25	32	34	37	40	30	28	0,048	38	58	69
4,80	285	389	3:::	1,85	0,89	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	42	40	0,258	475	713	855
5,00	273	74	3:::	1,85	0,93	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	42	40	0,258	455	683	819
5,20	30	17	4/:	1,85	0,96	1,00	6,6	247	370	90	32	32	35	38	41	30	29	0,061	50	75	90
5,40	26	24	4/:	1,85	1,00	0,93	5,7	268	402	78	26	32	34	37	40	29	28	0,049	43	65	78
5,60	28	26	4/:	1,85	1,04	0,97	5,7	278	416	84	27	32	35	37	40	30	28	0,052	47	70	84
5,80	26	19	4/:	1,85	1,07	0,93	5,2	294	441	78	24	31	34	37	40	29	28	0,046	43	65	78
6,00	27	25	4/:	1,85	1,11	0,95	5,2	305	457	81	24	31	34	37	40	29	28	0,047	45	68	81
6,20	32	25	4/:	0,97	1,13	1,07	5,8	301	452	96	30	32	35	38	40	30	29	0,057	53	80	96
6,40	24	33	3:::	0,86	1,15	--	--	--	--	--	20	31	34	36	40	28	28	0,037	40	60	72
6,60	23	23	4/:	0,94	1,17	0,87	4,3	325	488	69	18	30	33	36	39	28	28	0,034	38	58	69
6,80	17	21	2:///	0,97	1,18	0,72	3,4	333	499	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,00	17	28	2:///	0,97	1,20	0,72	3,3	337	506	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,20	16	24	2:///	0,96	1,22	0,70	3,1	338	506	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,40	14	26	2:///	0,94	1,24	0,64	2,7	327	491	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,60	14	35	4/:	0,89	1,26	0,64	2,7	330	494	48	--	28	31	35	38	25	26	--	23	35	42
7,80	16	27	2:///	0,96	1,28	0,70	2,9	347	520	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,00	17	28	2:///	0,97	1,30	0,72	3,0	356	533	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,20	18	25	2:///	0,98	1,32	0,75	3,1	364	546	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,40	18	11	2:///	0,98	1,34	0,75	3,0	367	551	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,60	21	35	3:::	0,85	1,35	--	--	--	--	--	11	30	33	36	39	27	27	0,022	35	53	63
8,80	35	19	4/:	0,98	1,37	1,17	5,1	378	567	105	28	32	35	37	40	29	29	0,054	58	88	105
9,00	22	37	3:::	0,86	1,39	--	--	--	--	--	12	30	33	36	39	27	28	0,024	37	55	66
9,20	19	20	2:///	0,99	1,41	0,78	3,0	384	577	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,40	24	30	4/:	0,94	1,43	0,89	3,5	403	604	72	14	30	33	36	39	27	28	0,028	40	60	72
9,60	23	25	4/:	0,94	1,45	0,87	3,3	406	608	69	12	30	33	36	39	27	28	0,025	38	58	69
9,80	17	32	4/:	0,91	1,47	0,72	2,6	379	568	54	2	28	31	35	38	25	27	0,004	28	43	51
10,00	17	25	2:///	0,97	1,49	0,72	2,6	381	571	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10,20	18	30	4/:	0,91	1,50	0,75	2,6	391	586	56	3	28	32	35	38	25	27	0,008	30	45	54
10,40	21	31	3:::	0,85	1,52	--	--	--	--	--	8	29	32	35	39	26	27	0,017	35	53	63
10,60	57	28	4/:	1,01	1,54	1,90	8,2	369	553	171	42	34	36	39	41	31	31	0,085	95	143	171
10,80	22	14	4/:	0,93	1,56	0,85	2,9	423	634	66	9	29	32	35	39	26	28	0,019	37	55	66
11,00	27	31	3:::	0,87	1,58	--	--	--	--	--	16	30	33	36	39	27	28	0,030	45	68	81
11,20	26	24	4/:	0,95	1,60	0,93	3,2	444	666	78	14	30	33	36	39	27	28	0,028	43	65	78
11,40	27	22	4/:	0,95	1,62	0,95	3,2	450	675	81	15	30	33	36	39	27	28	0,029	45	68	81
11,60	30	20	4/:	0,96	1,64	1,00	3,4	460	689	90	19	31	33	36	39	28	29	0,035	50	75	90
11,80	28	14	4/:	0,96	1,65	0,97	3,2	460	690	84	16	30	33	36	39	27	28	0,031	47	70	84
12,00	250	139	3:::	1,15	1,68	--	--	--	--	--	91	41	42	44	45	39	39	0,226	417	625	750
12,20	167	167	3:::	1,10	1,70	--	--	--	--	--	77	39	40	42	44	37	37	0,179	278	418	501
12,40	425	212	3:::	1,15	1,72	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	41	40	0,258	708	1063	1275
12,60	380	237	3:::	1,15	1,75	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	40	40	0,258	633	950	1140
12,80	406	203	3:::	1,15	1,77	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	41	40	0,258	677	1015	1218
13,00	420	315	3:::	1,15	1,79	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	41	40	0,258	700	1050	1260
13,20	325	348	3:::	1,15</																	

PROVA PENETROMETRICA STATICA

LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 4

- committente : Amm.ne Prov.le RE
 - lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
 - località : Coviolo-RE
 - assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : 10,20 da quota inizio
 - data di emissione : 30/07/2018

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	0,40	----	7,80	30,0	64,0	30,0	0,80	37,0
0,40	41,0	47,0	41,0	1,40	29,0	8,00	128,0	140,0	128,0	2,67	48,0
0,60	42,0	63,0	42,0	0,87	48,0	8,20	42,0	82,0	42,0	1,13	37,0
0,80	117,0	130,0	117,0	2,00	58,0	8,40	20,0	37,0	20,0	0,73	27,0
1,00	190,0	220,0	190,0	1,40	136,0	8,60	17,0	28,0	17,0	0,40	42,0
1,20	167,0	188,0	167,0	2,27	74,0	8,80	36,0	42,0	36,0	0,67	54,0
1,40	144,0	178,0	144,0	1,33	108,0	9,00	42,0	52,0	42,0	0,87	48,0
1,60	120,0	140,0	120,0	1,40	86,0	9,20	17,0	30,0	17,0	0,67	25,0
1,80	117,0	138,0	117,0	1,53	76,0	9,40	18,0	28,0	18,0	0,67	27,0
2,00	95,0	118,0	95,0	1,47	65,0	9,60	19,0	29,0	19,0	0,80	24,0
2,20	105,0	127,0	105,0	0,87	121,0	9,80	16,0	28,0	16,0	0,60	27,0
2,40	60,0	73,0	60,0	1,47	41,0	10,00	20,0	29,0	20,0	0,60	33,0
2,60	48,0	70,0	48,0	2,67	18,0	10,20	18,0	27,0	18,0	0,73	25,0
2,80	20,0	60,0	20,0	1,67	12,0	10,40	19,0	30,0	19,0	0,73	26,0
3,00	100,0	125,0	100,0	2,00	50,0	10,60	26,0	37,0	26,0	0,93	28,0
3,20	80,0	110,0	80,0	2,00	40,0	10,80	23,0	37,0	23,0	0,93	25,0
3,40	57,0	87,0	57,0	1,40	41,0	11,00	21,0	35,0	21,0	0,93	22,0
3,60	79,0	100,0	79,0	1,13	70,0	11,20	24,0	38,0	24,0	1,20	20,0
3,80	70,0	87,0	70,0	1,07	66,0	11,40	26,0	44,0	26,0	2,53	10,0
4,00	178,0	194,0	178,0	1,93	92,0	11,60	40,0	78,0	40,0	1,60	25,0
4,20	208,0	237,0	208,0	1,33	156,0	11,80	270,0	294,0	270,0	2,40	112,0
4,40	108,0	128,0	108,0	1,33	81,0	12,00	394,0	430,0	394,0	2,00	197,0
4,60	21,0	41,0	21,0	0,80	26,0	12,20	390,0	420,0	390,0	1,07	366,0
4,80	22,0	34,0	22,0	1,13	19,0	12,40	268,0	284,0	268,0	2,00	134,0
5,00	26,0	43,0	26,0	1,20	22,0	12,60	244,0	274,0	244,0	0,80	305,0
5,20	25,0	43,0	25,0	1,40	18,0	12,80	368,0	380,0	368,0	1,33	276,0
5,40	17,0	38,0	17,0	0,60	28,0	13,00	410,0	430,0	410,0	2,00	205,0
5,60	31,0	40,0	31,0	1,07	29,0	13,20	390,0	420,0	390,0	-----	----
5,80	15,0	31,0	15,0	1,00	15,0	13,40	376,0	287,0	376,0	3,53	106,0
6,00	15,0	30,0	15,0	0,60	25,0	13,60	23,0	76,0	23,0	2,00	12,0
6,20	18,0	27,0	18,0	0,87	21,0	13,80	25,0	55,0	25,0	1,07	23,0
6,40	15,0	28,0	15,0	0,67	22,0	14,00	41,0	57,0	41,0	2,07	20,0
6,60	17,0	27,0	17,0	0,73	23,0	14,20	28,0	59,0	28,0	1,13	25,0
6,80	18,0	29,0	18,0	0,80	22,0	14,40	30,0	47,0	30,0	1,47	20,0
7,00	15,0	27,0	15,0	0,60	25,0	14,60	26,0	48,0	26,0	0,73	35,0
7,20	14,0	23,0	14,0	0,80	17,0	14,80	31,0	42,0	31,0	1,33	23,0
7,40	19,0	31,0	19,0	1,00	19,0	15,00	30,0	50,0	30,0	-----	----
7,60	24,0	39,0	24,0	2,27	11,0						

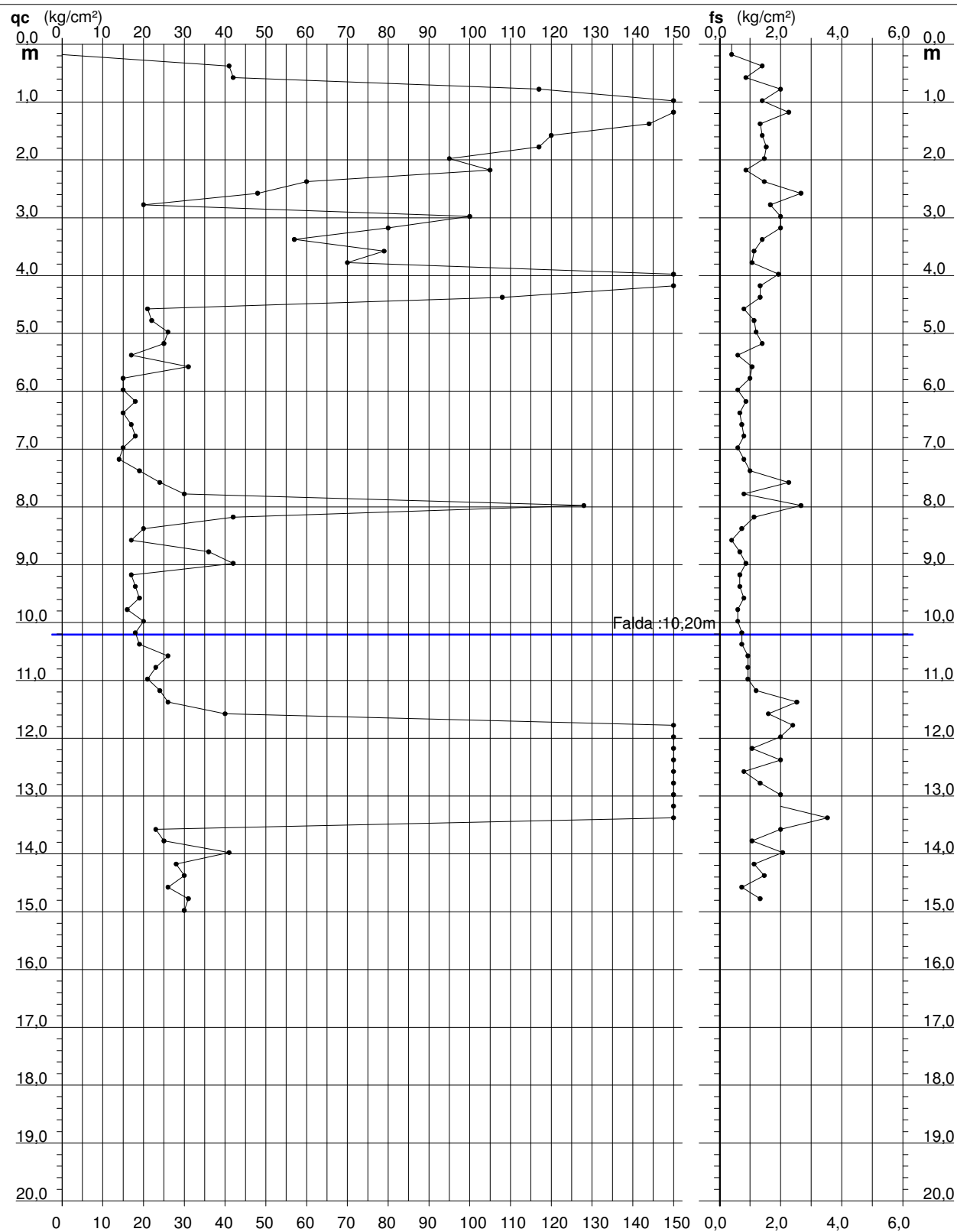
- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann ϕ = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 4

- committente : Amm.ne Prov.le RE
- lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
- località : Coviolo-RE
- assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 10,20 da quota inizio
- data di emissione : 30/07/2018

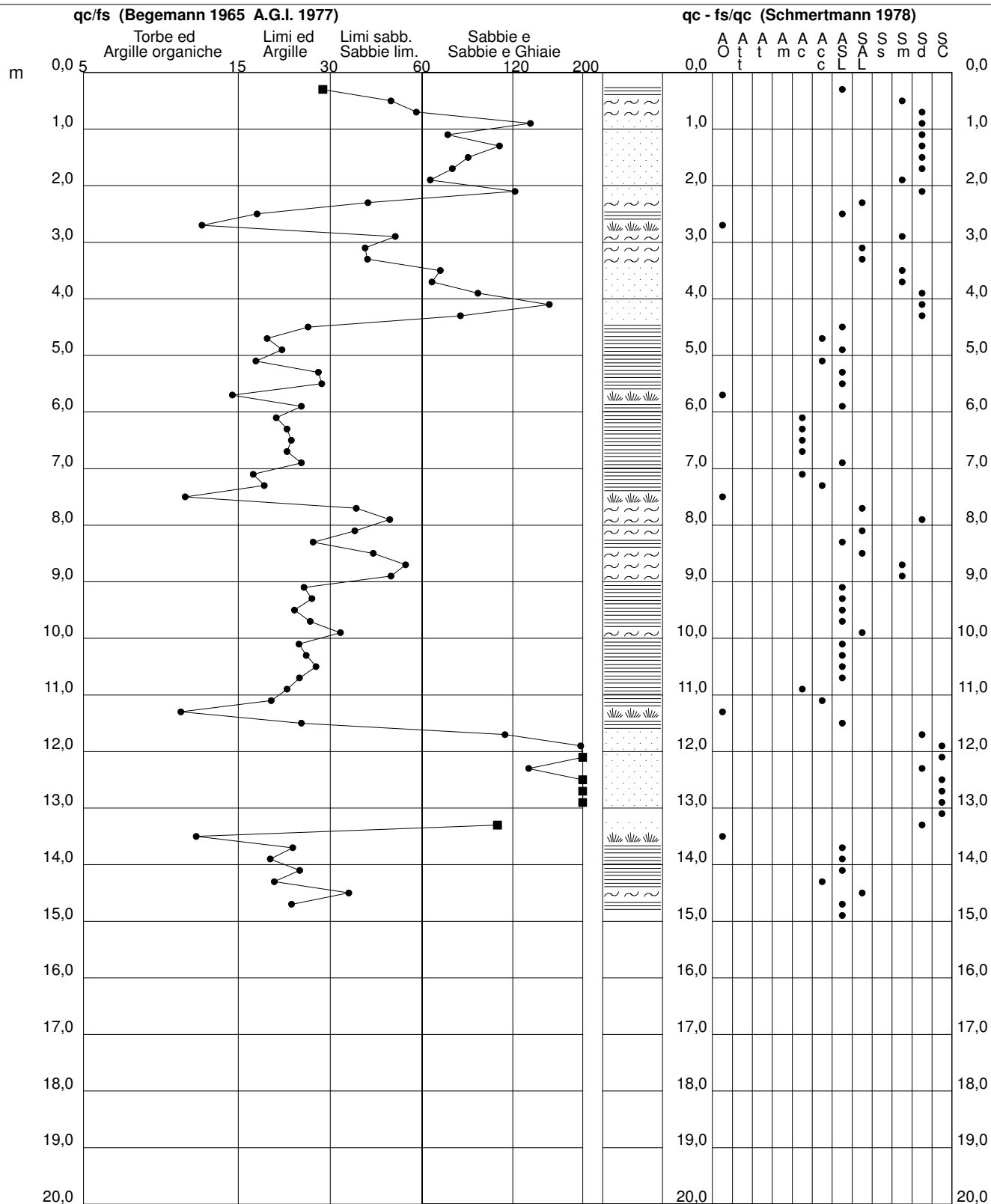


PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 4

- committente : Amm.ne Prov.le RE
- lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
- località : Coviolo-RE
- assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 10,20 da quota inizio
- data di emissione : 30/07/2018



PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 4

- committente : Amm.ne Prov.le RE
- lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
- località : Coviolo-RE
- assist. cantiere :

- data : 27/07/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 10,20 da quota inizio
- data di emissione : 30/07/2018

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	σ1s (°)	σ2s (°)	σ3s (°)	σ4s (°)	σdm (°)	σmy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²	
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	123	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	41	29	4/4:	1,85	0,07	1,37	99,9	232	349	123	100	42	43	45	46	44	30	0,258	68	103	123	
0,60	42	48	3:::	1,85	0,11	--	--	--	--	--	96	41	43	44	46	43	30	0,243	70	105	126	
0,80	117	58	3:::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	35	0,258	195	293	351	
1,00	190	136	3:::	1,85	0,19	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	37	0,258	317	475	570	
1,20	167	74	3:::	1,85	0,22	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	37	0,258	278	418	501	
1,40	144	108	3:::	1,85	0,26	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	36	0,258	240	360	432	
1,60	120	86	3:::	1,85	0,30	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	35	0,258	200	300	360	
1,80	117	76	3:::	1,85	0,33	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	42	35	0,258	195	293	351	
2,00	95	65	3:::	1,85	0,37	--	--	--	--	--	94	41	43	44	46	41	34	0,239	158	238	285	
2,20	105	121	3:::	1,85	0,41	--	--	--	--	--	96	41	43	44	46	41	34	0,243	175	263	315	
2,40	60	41	3:::	1,85	0,44	--	--	--	--	--	74	38	40	42	44	38	32	0,172	100	150	180	
2,60	48	18	4/4:	1,85	0,48	1,60	28,2	272	408	144	65	37	39	41	43	37	31	0,143	80	120	144	
2,80	20	12	4/4:	1,85	0,52	0,80	10,8	136	204	60	33	33	35	38	41	32	27	0,064	33	50	60	
3,00	100	50	3:::	1,85	0,55	--	--	--	--	--	86	40	42	43	45	40	34	0,211	167	250	300	
3,20	80	40	3:::	1,85	0,59	--	--	--	--	--	77	39	41	42	44	38	33	0,181	133	200	240	
3,40	57	41	3:::	1,85	0,63	--	--	--	--	--	64	37	39	41	43	36	31	0,142	95	143	171	
3,60	79	70	3:::	1,85	0,67	--	--	--	--	--	74	38	40	42	44	38	33	0,171	132	198	237	
3,80	70	66	3:::	1,85	0,70	--	--	--	--	--	68	38	39	41	43	37	32	0,154	117	175	210	
4,00	178	92	3:::	1,85	0,74	--	--	--	--	--	99	42	43	45	46	41	37	0,255	297	445	534	
4,20	208	156	3:::	1,85	0,78	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	41	38	0,258	347	520	624	
4,40	108	81	3:::	1,85	0,81	--	--	--	--	--	80	39	41	43	44	38	34	0,189	180	270	324	
4,60	21	26	4/4:	1,85	0,85	0,82	6,0	225	337	63	22	31	34	37	40	29	27	0,042	35	53	63	
4,80	22	19	4/4:	1,85	0,89	0,85	5,9	236	354	66	23	31	34	37	40	29	28	0,043	37	55	66	
5,00	26	22	4/4:	1,85	0,93	0,93	6,3	241	361	78	28	32	35	37	40	30	28	0,053	43	65	78	
5,20	25	18	4/4:	1,85	0,96	0,91	5,8	257	385	75	25	32	34	37	40	29	28	0,048	42	63	75	
5,40	17	28	2///	1,85	1,00	0,72	4,2	279	419	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5,60	31	29	4/4:	1,85	1,04	1,03	6,3	271	406	93	31	32	35	38	40	30	29	0,060	52	78	93	
5,80	15	15	2///	1,85	1,07	0,67	3,5	302	453	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6,00	15	25	2///	1,85	1,11	0,66	3,3	311	466	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6,20	18	21	2///	1,85	1,15	0,75	3,7	324	486	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6,40	15	22	2///	1,85	1,18	0,67	3,1	326	488	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6,60	17	23	2///	1,85	1,22	0,72	3,3	341	511	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6,80	18	22	2///	1,85	1,26	0,75	3,3	352	528	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7,00	15	25	2///	1,85	1,30	0,67	2,7	342	513	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7,20	14	17	2///	1,85	1,33	0,64	2,5	338	506	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7,40	19	19	2///	1,85	1,37	0,78	3,1	377	566	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7,60	24	11	4/4:	1,85	1,41	0,89	3,5	397	595	72	15	30	33	36	39	27	28	0,028	40	60	72	
7,80	30	37	3:::	1,85	1,44	--	--	--	--	--	22	31	34	37	40	28	29	0,041	50	75	90	
8,00	128	48	3:::	1,85	1,48	--	--	--	--	--	71	38	40	42	44	36	35	0,162	213	320	384	
8,20	42	37	3:::	1,85	1,52	--	--	--	--	--	32	32	35	38	41	30	30	0,062	70	105	126	
8,40	20	27	4/4:	1,85	1,55	0,80	2,7	411	616	60	6	29	32	35	38	26	27	0,014	33	50	60	
8,60	17	42	4/4:	1,85	1,59	0,72	2,3	391	586	54	--	28	31	35	38	25	27	--	28	43	51	
8,80	36	54	3:::	1,85	1,63	--	--	--	--	--	25	31	34	37	40	29	30	0,048	60	90	108	
9,00	42	48	3:::	1,85	1,66	--	--	--	--	--	30	32	35	38	40	29	30	0,057	70	105	126	
9,20	17	25	2///	1,85	1,70	0,72	2,2	399	598	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9,40	18	27	2///	1,85	1,74	0,75	2,2	412	618	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9,60	19	24	2///	1,85	1,78	0,78	2,2	424	636	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9,80	16	27	2///	1,85	1,81	0,70	1,9	393	590	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10,00	20	33	4/4:	1,85	1,85	0,80	2,2	439	658	60	2	28	31	35	38	25	27	0,004	33	50	60	
10,20	18	25	2///	0,98	1,87	0,75	2,0	420	630	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10,40	19	26	2///	0,99	1,89	0,78	2,1	432	647	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10,60	26	28	4/4:	0,95	1,91	0,93	2,6	489	733	78	10	29	32	36	39	26	28	0,020	43	65	78	
10,80	23	25	4/4:	0,94	1,93	0,87	2,3	470	705	69	5	29	32	35	38	25	28	0,013	38	58	69	
11,00	21	22	4/4:	0,93	1,95	0,82	2,1	455	682	63	2	28	32	35	38	25	27	0,005	35	53	63	
11,20	24	20	4/4:	0,94	1,96	0,89	2,3	481	721	72	6	29	32	35	39	25	28	0,015	40	60	72	
11,40	26	10	4/4:	0,95	1,98	0,93	2,4	496	745	78	9	29	32	35	39	26	28	0,019	43	65	78	
11,60	40	25	4/4:	1,00	2,00	1,33	3,8	565	847	120	24	31	34	37	40	28	30	0,045	67	100	120	
11,80	270	112	3:::	1,15	2,03	--	--	--	--	--	89	40	42	43	45	38	40	0,219	450	675	810	
12,00	394	197	3:::	1,15	2,05	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	40	40	0,258	657	985	1182	
12,20	390	366	3:::	1,15	2,07	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	40	40	0,258	650	975	1170	
12,40	268	134	3:::	1,15	2,10	--	--	--	--	--	88	40	42	43	45	38	40	0,216	447	670	804	
12,60	244	305	3:::	1,15	2,12	--	--	--	--	--	84	40	41	43	45	38	39	0,204	407	610	732	
12,80	368	276	3:::	1,15	2,14	--	--	--	--	--	98	42	43	44	46	39	40	0,252	613	920	1104	
13,00	410	205	3:::	1,15	2,16	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	40	40	0,258	683	1025	1230	
13,20	390	--	3:::	1,15	2,19	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	40	40	0,257	650	975	1170	
13,40	376	106																				

PROVA PENETROMETRICA STATICA

LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 5

- committente : Amm.ne Prov.le RE
 - lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
 - località : Coviolo-RE
 - assist. cantiere :

- data : 30/07/2018
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : 10,20 da quota inizio
 - data di emissione : 30/07/2018

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	-	-	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	0,20	----	7,80	80,0	120,0	80,0	2,13	37,0
0,40	36,0	39,0	36,0	1,87	19,0	8,00	60,0	92,0	60,0	2,60	23,0
0,60	30,0	58,0	30,0	2,67	11,0	8,20	34,0	73,0	34,0	1,33	25,0
0,80	52,0	92,0	52,0	3,20	16,0	8,40	20,0	40,0	20,0	0,60	33,0
1,00	61,0	109,0	61,0	2,67	23,0	8,60	27,0	36,0	27,0	2,47	11,0
1,20	48,0	88,0	48,0	3,07	16,0	8,80	20,0	57,0	20,0	0,87	23,0
1,40	34,0	80,0	34,0	1,93	18,0	9,00	22,0	35,0	22,0	1,13	19,0
1,60	32,0	61,0	32,0	1,73	18,0	9,20	19,0	36,0	19,0	0,53	36,0
1,80	24,0	50,0	24,0	1,47	16,0	9,40	21,0	29,0	21,0	0,60	35,0
2,00	22,0	44,0	22,0	1,40	16,0	9,60	21,0	30,0	21,0	0,67	31,0
2,20	18,0	39,0	18,0	1,07	17,0	9,80	18,0	28,0	18,0	0,33	54,0
2,40	24,0	40,0	24,0	1,13	21,0	10,00	21,0	26,0	21,0	1,00	21,0
2,60	218,0	235,0	218,0	1,73	126,0	10,20	22,0	37,0	22,0	0,80	27,0
2,80	334,0	360,0	334,0	1,67	200,0	10,40	23,0	35,0	23,0	0,60	38,0
3,00	425,0	450,0	425,0	1,67	255,0	10,60	24,0	33,0	24,0	0,80	30,0
3,20	430,0	455,0	430,0	1,33	322,0	10,80	26,0	38,0	26,0	0,93	28,0
3,40	430,0	450,0	430,0	1,67	258,0	11,00	26,0	40,0	26,0	0,73	35,0
3,60	375,0	400,0	375,0	3,33	113,0	11,20	19,0	30,0	19,0	0,40	47,0
3,80	390,0	440,0	390,0	0,67	585,0	11,40	168,0	174,0	168,0	1,87	90,0
4,00	384,0	394,0	384,0	2,60	148,0	11,60	92,0	120,0	92,0	0,67	138,0
4,20	313,0	352,0	313,0	2,33	134,0	11,80	117,0	127,0	117,0	2,00	58,0
4,40	375,0	410,0	375,0	2,20	170,0	12,00	130,0	160,0	130,0	1,73	75,0
4,60	39,0	72,0	39,0	3,67	11,0	12,20	191,0	217,0	191,0	1,33	143,0
4,80	22,0	77,0	22,0	1,20	18,0	12,40	420,0	440,0	420,0	1,33	315,0
5,00	32,0	50,0	32,0	1,00	32,0	12,60	430,0	450,0	430,0	2,00	215,0
5,20	38,0	53,0	38,0	0,67	57,0	12,80	340,0	370,0	340,0	0,87	392,0
5,40	39,0	49,0	39,0	1,40	28,0	13,00	49,0	62,0	49,0	2,73	18,0
5,60	28,0	49,0	28,0	1,20	23,0	13,20	24,0	65,0	24,0	0,93	26,0
5,80	25,0	43,0	25,0	0,67	37,0	13,40	20,0	34,0	20,0	1,00	20,0
6,00	60,0	70,0	60,0	1,33	45,0	13,60	23,0	38,0	23,0	1,60	14,0
6,20	18,0	38,0	18,0	0,80	22,0	13,80	33,0	57,0	33,0	1,53	22,0
6,40	18,0	30,0	18,0	0,73	25,0	14,00	31,0	54,0	31,0	1,40	22,0
6,60	16,0	27,0	16,0	0,60	27,0	14,20	25,0	46,0	25,0	1,40	18,0
6,80	16,0	25,0	16,0	0,73	22,0	14,40	28,0	49,0	28,0	1,33	21,0
7,00	21,0	32,0	21,0	1,20	17,0	14,60	32,0	52,0	32,0	1,53	21,0
7,20	25,0	43,0	25,0	1,87	13,0	14,80	34,0	57,0	34,0	1,73	20,0
7,40	130,0	158,0	130,0	3,33	39,0	15,00	36,0	62,0	36,0	-----	----
7,60	150,0	200,0	150,0	2,67	56,0						

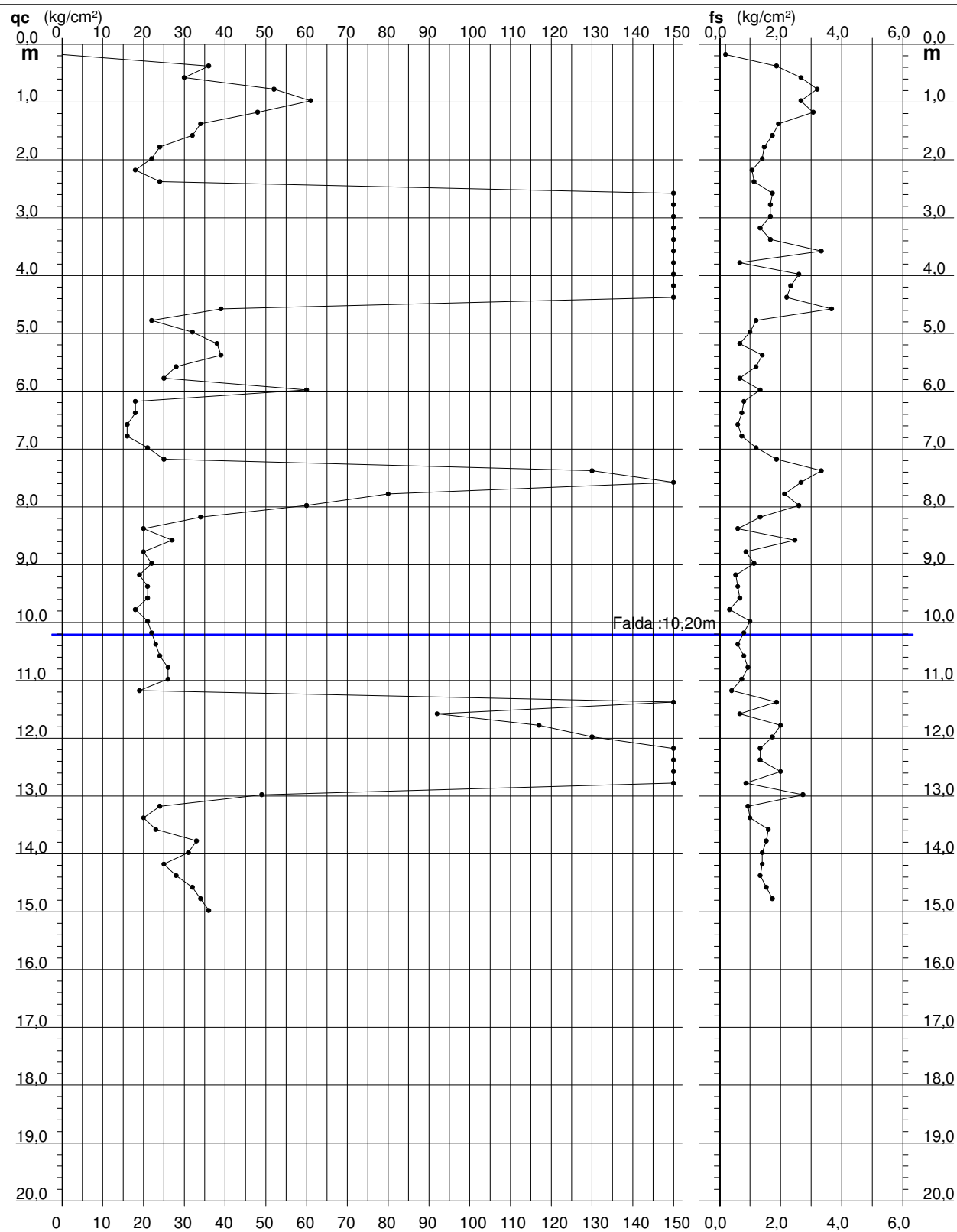
- PENETROMETRO STATICO tipo da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 5

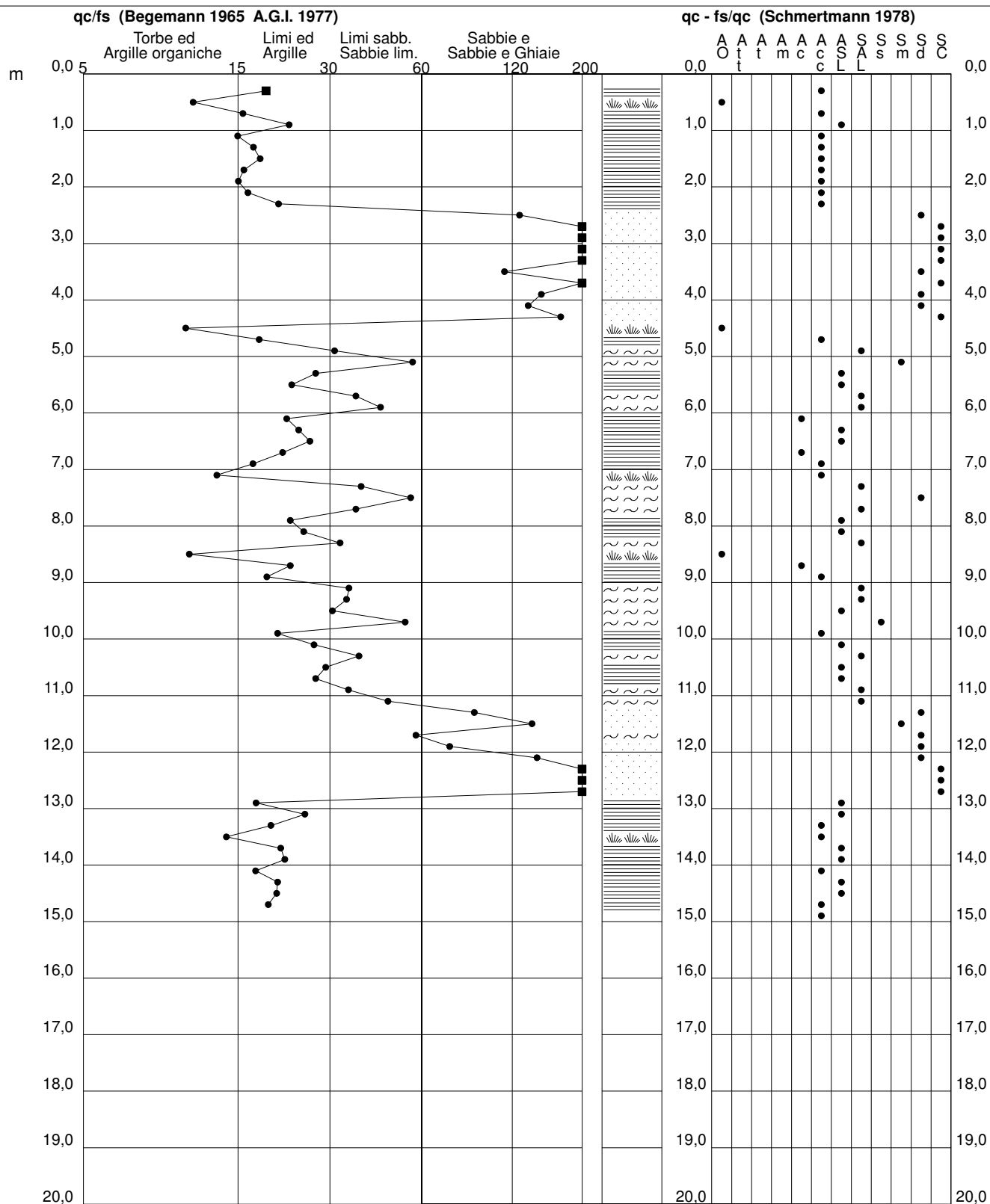
- committente : Amm.ne Prov.le RE
- lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
- località : Coviolo-RE
- assist. cantiere :

- data : 30/07/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 10,20 da quota inizio
- data di emissione : 30/07/2018



CPT 5

- data : 30/07/2018
- quota inizio : Piano Campagna
- falda : 10,20 da quota inizio
- data di emissione : 30/07/2018



PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 5

- committente : Amm.ne Prov.le RE
 - lavoro : Nuovo Polo Scol. Via F.lli Rosselli-II° Stralcio
 - località : Coviolo-RE
 - assist. cantiere :

- data : 30/07/2018
 - quota inizio : Piano Campagna
 - falda : 10,20 da quota inizio
 - data di emissione : 30/07/2018

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²	
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	36	19	4/4:	1,85	0,07	1,20	99,9	204	306	108	100	42	43	45	46	44	30	0,258	60	90	108	
0,60	30	11	4/4:	1,85	0,11	1,00	98,0	170	255	90	84	40	41	43	45	41	29	0,204	50	75	90	
0,80	52	16	4/4:	1,85	0,15	1,73	99,9	295	442	156	96	41	43	44	46	42	31	0,244	87	130	156	
1,00	61	23	4/4:	1,85	0,19	2,03	99,9	346	519	183	96	41	43	44	46	42	32	0,245	102	153	183	
1,20	48	16	4/4:	1,85	0,22	1,60	74,1	272	408	144	83	40	41	43	45	40	31	0,201	80	120	144	
1,40	34	18	4/4:	1,85	0,26	1,13	39,7	193	289	102	68	38	39	41	43	38	29	0,153	57	85	102	
1,60	32	18	4/4:	1,85	0,30	1,07	31,2	181	272	96	63	37	39	41	43	37	29	0,137	53	80	96	
1,80	24	16	4/4:	1,85	0,33	0,89	21,4	151	227	72	50	35	37	40	42	35	28	0,103	40	60	72	
2,00	22	16	4/4:	1,85	0,37	0,85	17,7	144	216	66	44	34	37	39	42	34	28	0,090	37	55	66	
2,20	18	17	2////	1,85	0,41	0,75	13,5	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2,40	24	21	4/4:	1,85	0,44	0,89	15,0	151	227	72	43	34	36	39	41	34	28	0,086	40	60	72	
2,60	218	126	3:::	1,85	0,48	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	38	0,258	363	545	654	
2,80	334	200	3:::	1,85	0,52	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	557	835	1002	
3,00	425	255	3:::	1,85	0,55	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	708	1063	1275	
3,20	430	322	3:::	1,85	0,59	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	717	1075	1290	
3,40	430	258	3:::	1,85	0,63	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	717	1075	1290	
3,60	375	113	3:::	1,85	0,67	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	625	938	1125	
3,80	390	585	3:::	1,85	0,70	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	650	975	1170	
4,00	384	148	3:::	1,85	0,74	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	640	960	1152	
4,20	313	134	3:::	1,85	0,78	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	40	0,258	522	783	939	
4,40	375	170	3:::	1,85	0,81	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	625	938	1125	
4,60	39	11	4/4:	1,85	0,85	1,30	10,7	221	332	117	44	34	36	39	41	33	30	0,088	65	98	117	
4,80	22	18	4/4:	1,85	0,89	0,85	5,9	236	354	66	23	31	34	37	40	29	28	0,043	37	55	66	
5,00	32	32	3:::	1,85	0,93	--	--	--	--	--	35	33	35	38	41	31	29	0,068	53	80	96	
5,20	38	57	3:::	1,85	0,96	--	--	--	--	--	40	34	36	39	41	32	30	0,079	63	95	114	
5,40	39	28	4/4:	1,85	1,00	1,30	8,7	237	355	117	40	34	36	39	41	32	30	0,079	65	98	117	
5,60	28	23	4/4:	1,85	1,04	0,97	5,7	278	416	84	27	32	35	37	40	30	28	0,052	47	70	84	
5,80	25	37	3:::	1,85	1,07	--	--	--	--	--	23	31	34	37	40	29	28	0,043	42	63	75	
6,00	60	45	3:::	1,85	1,11	--	--	--	--	--	52	35	37	40	42	34	32	0,109	100	150	180	
6,20	18	22	2////	1,85	1,15	0,75	3,7	324	486	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6,40	18	25	2////	1,85	1,18	0,75	3,5	334	501	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6,60	16	27	2////	1,85	1,22	0,70	3,1	337	506	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6,80	16	22	2////	1,85	1,26	0,70	3,0	344	515	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7,00	21	17	4/4:	1,85	1,30	0,82	3,6	366	548	63	12	30	33	36	39	27	27	0,024	35	53	63	
7,20	25	13	4/4:	1,85	1,33	0,91	3,9	374	561	75	17	30	33	36	39	28	28	0,033	42	63	75	
7,40	130	39	3:::	1,85	1,37	--	--	--	--	--	73	38	40	42	44	37	35	0,169	217	325	390	
7,60	150	56	3:::	1,85	1,41	--	--	--	--	--	78	39	41	42	44	37	36	0,182	250	375	450	
7,80	80	37	3:::	1,85	1,44	--	--	--	--	--	55	36	38	40	42	34	33	0,118	133	200	240	
8,00	60	23	4/4:	1,85	1,48	2,00	9,1	352	528	180	45	34	37	39	42	32	32	0,091	100	150	180	
8,20	34	25	4/4:	1,85	1,52	1,13	4,4	424	635	102	25	31	34	37	40	29	29	0,047	57	85	102	
8,40	20	33	4/4:	1,85	1,55	0,80	2,7	411	616	60	6	29	32	35	38	26	27	0,014	33	50	60	
8,60	27	11	4/4:	1,85	1,59	0,95	3,3	445	667	81	16	30	33	36	39	27	28	0,030	45	68	81	
8,80	20	23	4/4:	1,85	1,63	0,80	2,6	419	629	60	5	29	32	35	38	25	27	0,012	33	50	60	
9,00	22	19	4/4:	1,85	1,66	0,85	2,7	437	656	66	8	29	32	35	39	26	28	0,016	37	55	66	
9,20	19	36	4/4:	1,85	1,70	0,78	2,4	419	628	58	2	28	31	35	38	25	27	0,005	32	48	57	
9,40	21	35	3:::	1,85	1,74	--	--	--	--	--	5	29	32	35	38	25	27	0,012	35	53	63	
9,60	21	31	3:::	1,85	1,78	--	--	--	--	--	4	29	32	35	38	25	27	0,011	35	53	63	
9,80	18	54	4/4:	1,85	1,81	0,75	2,1	417	625	56	--	28	31	35	38	25	27	--	30	45	54	
10,00	21	21	4/4:	1,85	1,85	0,82	2,3	448	672	63	3	28	32	35	38	25	27	0,008	35	53	63	
10,20	22	27	4/4:	0,93	1,87	0,85	2,3	458	686	66	5	29	32	35	38	25	28	0,012	37	55	66	
10,40	23	38	3:::	0,86	1,89	--	--	--	--	--	6	29	32	35	38	25	28	0,014	38	58	69	
10,60	24	30	4/4:	0,94	1,90	0,89	2,4	476	714	72	7	29	32	35	39	25	28	0,016	40	60	72	
10,80	26	28	4/4:	0,95	1,92	0,93	2,5	491	736	78	10	29	32	35	39	26	28	0,020	43	65	78	
11,00	26	35	3:::	0,87	1,94	--	--	--	--	--	10	29	32	35	39	26	28	0,020	43	65	78	
11,20	19	47	4/4:	0,92	1,96	0,78	2,0	435	653	58	--	28	31	35	38	25	27	--	32	48	57	
11,40	168	90	3:::	1,10	1,98	--	--	--	--	--	73	38	40	42	44	36	37	0,169	280	420	504	
11,60	92	138	3:::	0,99	2,00	--	--	--	--	--	52	35	38	40	42	33	33	0,110	153	230	276	
11,80	117	58	3:::	1,03	2,02	--	--	--	--	--	60	36	38	41	43	34	35	0,131	195	293	351	
12,00	130	75	3:::	1,05	2,04	--	--	--	--	--	64	37	39	41	43	34	35	0,140	217	325	390	
12,20	191	143	3:::	1,14	2,07	--	--	--	--	--	77	39	40	42	44	37	37	0,179	318	478	573	
12,40	420	315	3:::	1,15	2,09	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	40	40	0,258	700	1050	1260	
12,60	430	215	3:::	1,15	2,11	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	40	40	0,258	717	1075	1290	
12,80	340	392	3:::	1,15	2,13	--	--	--	--	--	96	41	43	44	46	39	40	0,242	567	850	1020	
13,00	49	18	4/4:	1,01	2,15	1,63	4,4	601	902	147	29											

INDAGINE SISMICA - HVSR Coviolo, Reggio Emilia (RE)

Instrument: TRZ-0162/01-11

Start recording: 27/07/18 08:09:34 End recording: 27/07/18 08:29:34

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 75% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

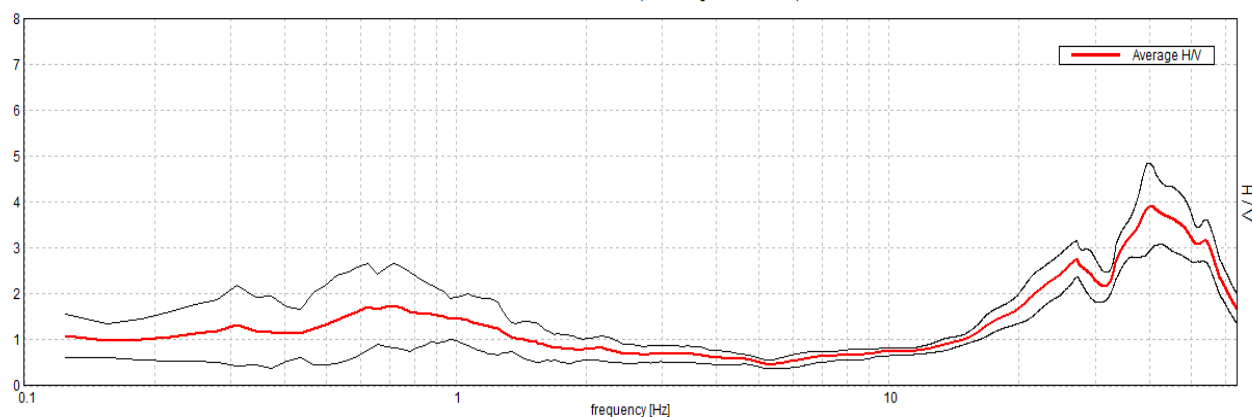
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

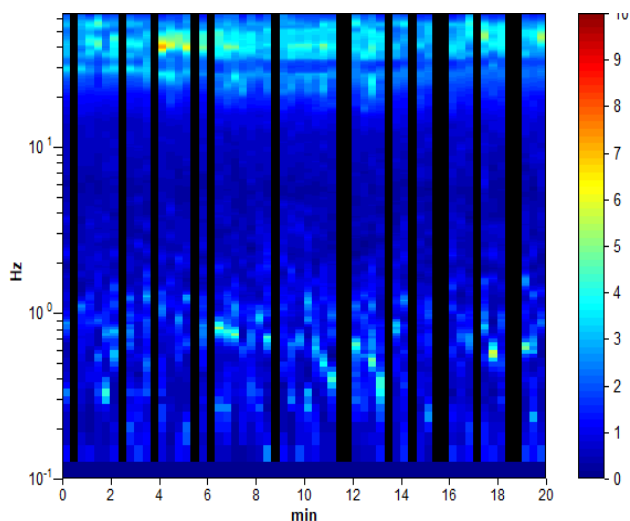
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

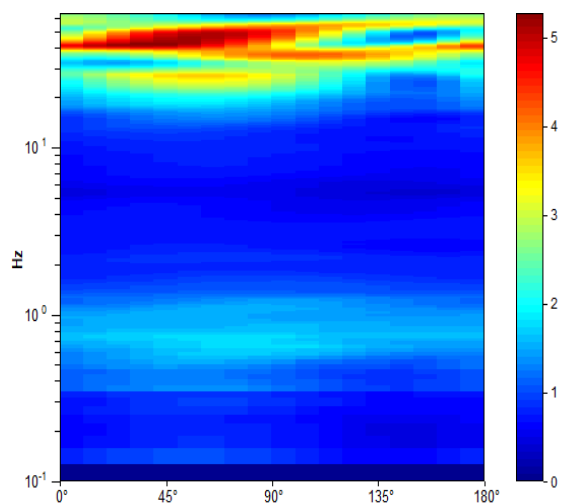
Max. H/V at 40.63 ± 0.96 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



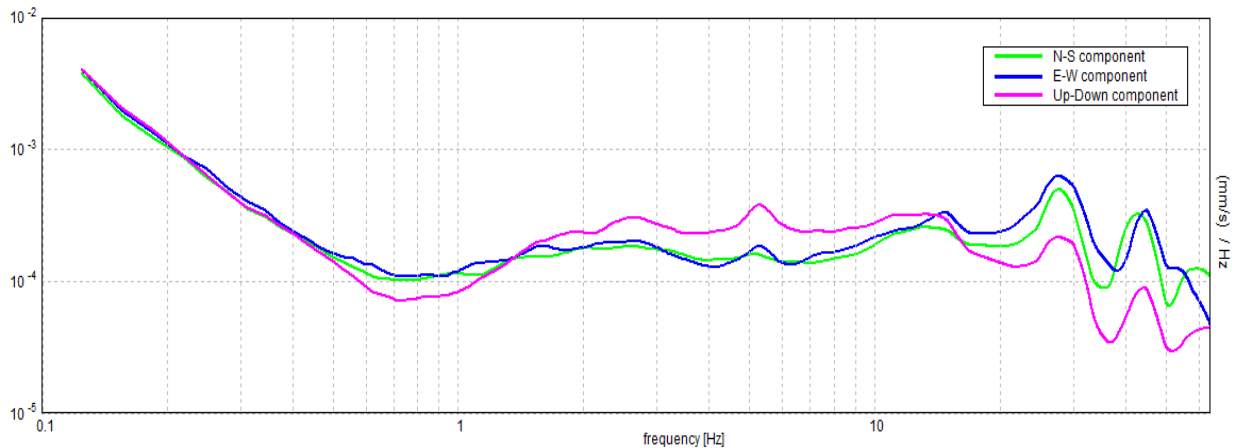
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 40.63 ± 0.96 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$40.63 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$36562.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1399 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	21.438 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	61.406 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.90 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01163 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.47235 < 2.03125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4387 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

	<i>m.</i>		<i>Kg/cm²</i>	<i>t/m³</i>	°	°	<i>Kg/cm²</i>	<i>Kg/cm²</i>	<i>Kg/cm²</i>	<i>Kg/cm²</i>	°	<i>Kg/cm²</i>
STRATO	Prof.	descrizione litologia	qc media	γ_n	Φ'	Φ'	Cu	Cu	Cu	c'	Φ'	M
I	p.c.+0,6	terreno vegetale	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
II	0,6÷4,2	ghiaie, con livelli limo-argillosi	192	1,85	36,1	34	/	/	/	/	/	546,38
III	4,2÷8,0	limi e argille	19	1,85	6,5	31	0,708	0,739	0,185	0,251	20,4	55,55
IV	8,0÷9,0	limi sabbiosi/sabbie	35	1,58	17		0,842	0,480	0,202	0,261	17,3	95,91
V	9,0÷11,6	argille consistenti	20	0,99	7,6		0,768	0,815	0,310	0,059	25,2	59,74
VI	11,6÷14,2	ghiaie con livelli sabbiosi	230	1,11	37,5	34	/	/	/	/	/	649
VII	14,2÷17,7	argille	32	0,93	13,3		0,843	0,817	0,547	0,184	22,1	58,7
VIII	17,7÷19,5	ghiaie e sabbie				33		/				
IX	19,5÷34,0	argille grigie						0,846				
			Eq.1	Eq.1	Eq.3	Eq.4	Eq.4	Eq.5	Eq.6	Eq.6	Eq.4	

qc media=resistenza media alla penetrazione della punta
 γ_n =peso specifico naturale
M=modulo edometrico da prove penetrometriche
M1=modulo edometrico a 1 kg/cm²
M2=modulo edometrico a 2 kg/cm²
Cv medio=coefficiente consolidazione volumetrica medio
K media= permeabilità media
OCR=grado di sovraconsolidazione
Cc=indice di compressione
Cr=indice di ricomprensione

Prove penetrometriche statiche e SPT

pocket penetrometer e torvane

Limiti di Atterberg

Prove edometriche

Triassale CIU

In grassetto=stima parametri caratteristici (per rif. all'equazione statistica applicata si veda Relazione)

<i>Kg/cm²</i>	<i>Kg/cm²</i>	<i>cm²/sec</i>	<i>cm/sec</i>	<i>ad</i>	<i>ad</i>	<i>ad</i>	<i>ad</i>	
M 1	M 2	Cv medio	K media	OCR	Cc	Cr	Cc	STRATO
/	/	/	/	/	/	/	/	I
/	/	/	/	/	/	/	/	II
27,79	41,48	6,94E-04	1,04E-08	2	0,285	0,0459	0,243-0,25	III
49,1	48,1	6,67E-03	1,29E-07	2,1	0,39	0,0417	0,306-0,29	IV
23,2	33,4	6,05E-04	1,13E-08	0,9	0,29	0,0799	0,243-0,22	V
/	/	/	/	/	/	/	/	VI
34,17	48,16	8,83E-04	1,19E-08	2,9	0,26	0,0443	0,414-0,25	VII
								VIII
								IX

Eq.5 Eq.5

SOND.	m.	Kg/m ³	%	%	%	%	%	%	ad	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	ad	Kg/cm ²
S1	Prof.	γ _n	ARG	LIMO	SABBIA	GHIA	I.P.	WI	eo	Cu	Cu	Cu	Cc	M1
S1SH1	-6,3	1.890	21,5	60,6	17,8	0,0	18	44	0,91	0,75	0,45	0,21-0,24	0,306-0,29	49,1
S1SH2	-9,3	1.960	22,7	55,7	21,7	0,0	16	37	0,75	0,75	0,70	0,30-0,30	0,243-0,22	49,6
S1SH3	-15,3	1.900	51,3	43,8	5,0	0,0	31	58	0,86	1,20	1,05	0,51-0,59	0,432-0,25	42,7
S2														
S2SH1	-5,9	1.870	12,1	51,3	36,7	0,0	13	37	0,88	0,60	0,20	0,17-0,18	0,243-0,25	31,2
S2SH2	-9,5	1.960	44,9	35,2	19,9	0,0	15	37	0,75	0,75	0,60	0,31-0,31	0,243-0,22	23,2
S2SH3	-14,7	1.980	69,9	25,3	4,8	0,0	31	56	0,75	1,10	1,00	0,64-0,72	0,414-0,22	35,9

γ_n=peso specifico naturale
 I.P.=indice plastico
 WI=limite liquido
 eo=indice vuoti
 Cc=indice di compressione
 M1=modulo edometrico a 1 kg/cm²
 M2=modulo edometrico a 2 kg/cm²
 Cv medio=coefficiente consolidazione volumetrica medio
 K media= permeabilità media
 P prec= pressione di preconsolidazione
 OCR=grado di sovraconsolidazione
 Cc=indice di compressione
 Cr=indice di ricomprensione
 Cs=indice di rigonfiamento

pocket penetrometer

torvane

correlazione con Limiti di Atterberg (correl. 1.3-1.4)

correlazione con Limiti di Atterberg (correl. 1.5-1.7)

Prove edometriche

Triassale CIU

Kg/cm ²	cm ² /sec	cm/sec	Kg/cm ²	ad	ad	ad	ad	Kg/cm ²	°		
M 2	Cv medio	K media	P prec	OCR	Cc	Cr	Cs	c'	Φ'	STRATO	natura campione
48,1	6,67E-03	1,29E-07	2,53	2,1	0,39	0,0417	0,049	0,328	21,8	IV	Limo argilloso debolmente sabbioso marrone chiaro
71,7	6,24E-04	7,96E-09	4,12	2,3	0,31	0,0252	0,046	0,383	22	III	Limo argilloso e sabbioso marrone chiaro
59,0	4,26E-04	5,53E-09	7,36	3,2	0,27	0,0331	0,057	0,253	26,3	VII	Argilla con limo grigio
46,3	7,64E-04	1,29E-08	1,91	1,7	0,26	0,0665	0,048	0,206	26,4	III	Limo con sabbia argilloso marrone
33,4	6,05E-04	1,13E-08	1,65	0,9	0,29	0,0799	0,054	0,074	31,7	V	Argilla con limo sabbiosa marrone
50,4	1,34E-03	1,83E-08	7,43	2,6	0,25	0,0555	0,041	0,181	26,3	VII	Argilla limosa grigio scuro

PARAMETRI SISMICI

Sito in esame.

latitudine: 44,689564
longitudine: 10,607287
Classe: 3
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 15831 Lat: 44,6983	Lon: 10,5374	Distanza: 5609,601
Sito 2	ID: 15832 Lat: 44,7000	Lon: 10,6077	Distanza: 1160,825
Sito 3	ID: 16054 Lat: 44,6500	Lon: 10,6101	Distanza: 4401,605
Sito 4	ID: 16053 Lat: 44,6483	Lon: 10,5399	Distanza: 7033,781

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75anni
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 45 [anni]
ag: 0,057 g
Fo: 2,495
Tc*: 0,260 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 75 [anni]
ag: 0,072 g
Fo: 2,475
Tc*: 0,270 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 712 [anni]
ag: 0,179 g
Fo: 2,379
Tc*: 0,297 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1462 [anni]
ag: 0,224 g
Fo: 2,419
Tc*: 0,309 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,640
St: 1,000
Kh: 0,017
Kv: 0,009
Amax: 0,846
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,620
St: 1,000
Kh: 0,022
Kv: 0,011
Amax: 1,059

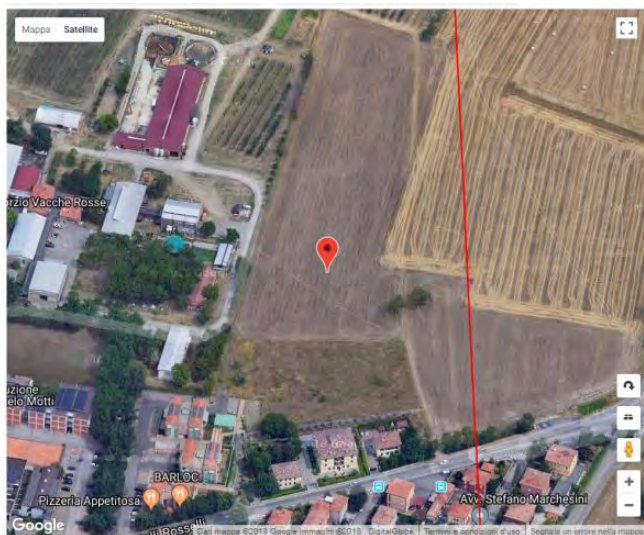
	Beta:	0,200
SLV:	Ss:	1,440
	Cc:	1,570
	St:	1,000
	Kh:	0,062
	Kv:	0,031
	Amax:	2,525
	Beta:	0,240
SLC:	Ss:	1,370
	Cc:	1,550
	St:	1,000
	Kh:	0,086
	Kv:	0,043
	Amax:	3,015
	Beta:	0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Coordinate WGS84

latitudine: 44.688623

longitudine: 10.606274



DEL. G. R. 112 / 2007 - INDIRIZZI MICROZONAZIONE SISMICA R.E.R.
ALLEGATO A3 - PROCEDURE DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
PUNTO E) STIMA DEI CEDIMENTI POSTSISMICI DEI TERRENI COESIVI

N. Acquisizione: CPT1

Committente: Comune
Reggio Emilia

Cantiere:
Albinea

Località:
luglio 2018

Data:

Prova:

Condizioni di verifica:

1) C_u (o S_u) ≤ 70 kPa (coesione non drenata);

2) $PI \geq 30\%$ (Indice plastico);

3) $r_u = \Delta u / \sigma'_0 \geq 0,3$ (incremento pressioni interstiziali).

$a_{max s}$ **0,236g**

Falda **9** m da p.c.

FASI DI CALCOLO:

1 - Stima di G_0 (modulo di taglio iniziale) sulla base di q_c (resistenza penetrometrica) - Mayne & Rix (1993);

2 - Stima di G/G_0 sulla base della Tab. 3 p. 42 Del.G.R. 112 (linea di tendenza polinomiale);

3 - Calcolo di G (modulo di taglio corrispondente al livello deformativo);

4 - Calcolo di γ_{max} (ampiezza di deformazione di taglio massima);

5 - Stima di r_u (rapporto di pressione interstiziale) mediante la fig. 3 p. 41 Del.G.R. 112 (linea di tendenza polinomiale);

6 - Stima del valore di C_c (indice di compressione) a partire dal valore di Mo ;

7 - Calcolo del valore di Cr (indice di riconsolidazione postciclica) a partire da C_c ($Cr=0,225C_c$);

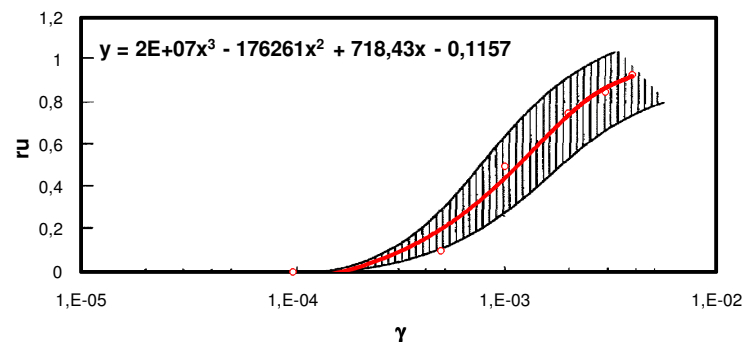
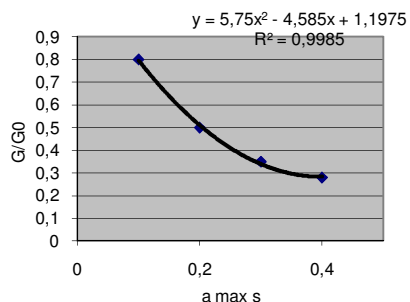
8 - Calcolo del valore di ϵ_{vr} (deformazione volumetrica postciclica);

9 - Calcolo del valore di ΔH (cedimento di riconsolidazione) - $\Delta H = \epsilon_{vr} H$ dove H è lo spessore dello strato.

$$\gamma_{max} = 0,65 \frac{a_{max s}}{g} \sigma_v r_d \frac{1}{G} \quad C_c = 2,3 \cdot \frac{(1 - e_0)}{Mo} \cdot \sigma'_{v0} \quad \epsilon_{vr} = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - r_u} \right)$$

Strato n°	tetto m	base m	prof. m	σ_v kPa	σ'_{v0} kPa	q_c kPa	C_u kPa	Mo kPa	n %	e_0	G_0 kPa	G / G_0	G kPa	r_d	γ_{max}	r_u	C_c	Cr	ϵ_{vr}	H cm	ΔH cm
1	0	0,6	0,3	5,7	5,7	3000	60	5000	40	0,67	167536	0,44	72994	1,00	1,2E-05	-0,11	0,00	0,001	0,00%	60	0,00
2	0,6	4,4	2,5	47,5	47,5	17290	0	51880	40	0,67	565948	0,44	246579	0,96	2,8E-05	-0,10	0,00	0,001	0,00%	380	0,00
3	4,4	12	8,2	155,8	155,8	2540	64	5030	40	0,67	149234	0,44	65020	0,88	3,2E-04	0,10	0,12	0,027	0,00%	760	0,00
4	12	13,4	12,7	241,3	204,3	25570	0	67710	40	0,67	742817	0,44	323640	0,81	9,3E-05	-0,05	0,01	0,003	0,00%	140	0,00
5	13,4	15	14,2	269,8	217,8	3000	105	9000	40	0,67	167536	0,44	72994	0,79	4,5E-04	0,17	0,09	0,021	0,00%	160	0,00
6			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
7			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
0,00																					

$a_{max s}$	G/G_0
0,1	0,8
0,2	0,5
0,3	0,35
0,4	0,28



DEL. G. R. 112 / 2007 - INDIRIZZI MICROZONAZIONE SISMICA R.E.R.
 ALLEGATO A3 - PROCEDURE DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
PUNTO E) STIMA DEI CEDIMENTI POSTSISMICI DEI TERRENI COESIVI

N. Acquisizione: CPT2

Committente: Comune
Reggio Emilia

Cantiere: Albinea

Località: luglio 2018

Data:

Prova:

Condizioni di verifica:

1) C_u (o S_u) ≤ 70 kPa (coesione non drenata);

2) $PI \geq 30\%$ (Indice plastico);

3) $r_u = \Delta u / \sigma'_0 \geq 0,3$ (incremento pressioni interstiziali).

$a_{max s}$ **0,236g**

Falda **9** m da p.c.

FASI DI CALCOLO:

1 - Stima di G_0 (modulo di taglio iniziale) sulla base di q_c (resistenza penetrometrica) - Mayne & Rix (1993);

2 - Stima di G/G_0 sulla base della Tab. 3 p. 42 Del.G.R. 112 (linea di tendenza polinomiale);

3 - Calcolo di G (modulo di taglio corrispondente al livello deformativo);

4 - Calcolo di γ_{max} (ampiezza di deformazione di taglio massima);

5 - Stima di r_u (rapporto di pressione interstiziale) mediante la fig. 3 p. 41 Del.G.R. 112 (linea di tendenza polinomiale);

6 - Stima del valore di C_c (indice di compressione) a partire dal valore di Mo ;

7 - Calcolo del valore di Cr (indice di riconsolidazione postciclica) a partire da C_c ($Cr=0,225C_c$);

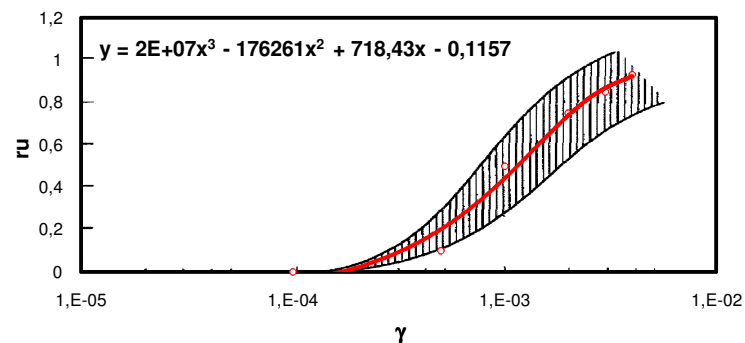
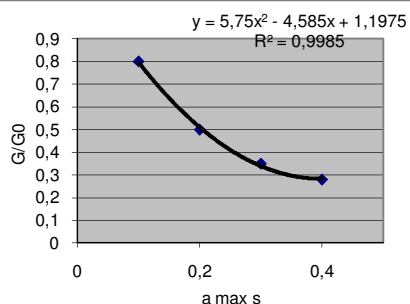
8 - Calcolo del valore di ϵ_{vr} (deformazione volumetrica postciclica);

9 - Calcolo del valore di ΔH (cedimento di riconsolidazione) - $\Delta H = \epsilon_{vr} H$ dove H è lo spessore dello strato.

$$\gamma_{max} = 0,65 \frac{a_{max s}}{g} \sigma_v r_d \frac{1}{G} \quad C_c = 2,3 \cdot \frac{(1 - e_0)}{Mo} \cdot \sigma'_{v0} \quad \epsilon_{vr} = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - r_u} \right)$$

Strato n°	tetto m	base m	prof. m	σ_v kPa	σ'_{v0} kPa	q_c kPa	C_u kPa	Mo kPa	n %	e_0	G_0 kPa	G / G_0	G kPa	r_d	γ_{max}	r_u	C_c	Cr	ϵ_{vr}	H cm	ΔH cm
1	0	0,6	0,3	5,7	5,7	3000	60	5000	40	0,67	167536	0,44	72994	1,00	1,2E-05	-0,11	0,00	0,001	0,00%	60	0,00
2	0,6	1,6	1,1	20,9	20,9	4900	88	7920	40	0,67	235611	0,44	102654	0,98	3,1E-05	-0,09	0,01	0,002	0,00%	100	0,00
3	1,6	4,8	3,2	60,8	60,8	26920	0	80760	40	0,67	769859	0,44	335422	0,95	2,6E-05	-0,10	0,00	0,001	0,00%	320	0,00
4	4,8	11,8	8,3	157,7	157,7	2230	70	5600	40	0,67	136327	0,44	59396	0,88	3,6E-04	0,12	0,11	0,024	0,00%	700	0,00
5	11,8	14,2	13	247	207	31460	0	94380	40	0,67	857929	0,44	373793	0,81	8,2E-05	-0,06	0,01	0,002	0,00%	240	0,00
6	14,2	15	14,6	277,4	221,4	3750	97	8700	40	0,67	195641	0,44	85239	0,78	3,9E-04	0,14	0,10	0,022	0,00%	80	0,00
7			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
																					0,00

$a_{max s}$	G/G_0
0,1	0,8
0,2	0,5
0,3	0,35
0,4	0,28



DEL. G. R. 112 / 2007 - INDIRIZZI MICROZONAZIONE SISMICA R.E.R.
ALLEGATO A3 - PROCEDURE DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
PUNTO E) STIMA DEI CEDIMENTI POSTSISMICI DEI TERRENI COESIVI

N. Acquisizione: CPT3

Committente: Comune
Reggio Emilia

Cantiere: Albinea

Località: luglio 2018

Data:

Prova:

Condizioni di verifica:

1) C_u (o S_u) ≤ 70 kPa (coesione non drenata);

2) $PI \geq 30\%$ (Indice plastico);

3) $r_u = \Delta u / \sigma'_0 \geq 0,3$ (incremento pressioni interstiziali).

$a_{max s}$ **0,236g**

Falda **9** m da p.c.

FASI DI CALCOLO:

1 - Stima di G_0 (modulo di taglio iniziale) sulla base di q_c (resistenza penetrometrica) - Mayne & Rix (1993);

2 - Stima di G/G_0 sulla base della Tab. 3 p. 42 Del.G.R. 112 (linea di tendenza polinomiale);

3 - Calcolo di G (modulo di taglio corrispondente al livello deformativo);

4 - Calcolo di γ_{max} (ampiezza di deformazione di taglio massima);

5 - Stima di r_u (rapporto di pressione interstiziale) mediante la fig. 3 p. 41 Del.G.R. 112 (linea di tendenza polinomiale);

6 - Stima del valore di C_c (indice di compressione) a partire dal valore di Mo ;

7 - Calcolo del valore di Cr (indice di riconsolidazione postciclica) a partire da C_c ($Cr=0,225C_c$);

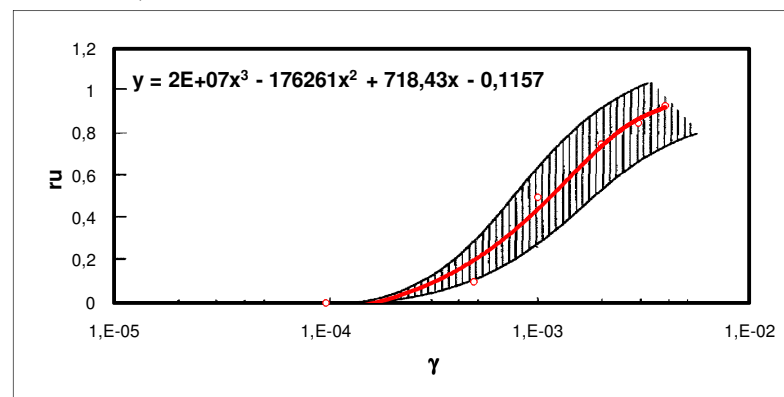
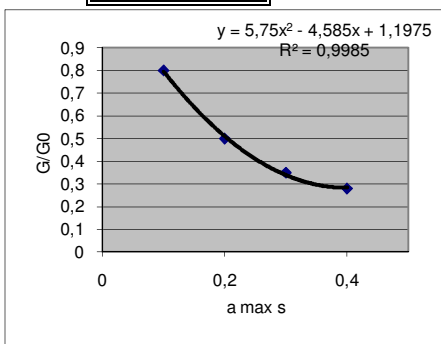
8 - Calcolo del valore di ϵ_{vr} (deformazione volumetrica postciclica);

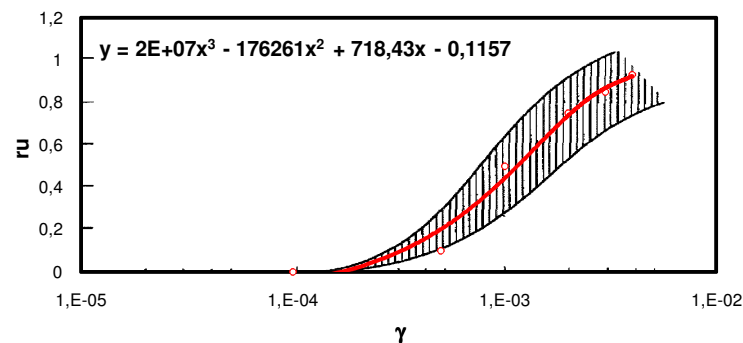
9 - Calcolo del valore di ΔH (cedimento di riconsolidazione) - $\Delta H = \epsilon_{vr} H$ dove H è lo spessore dello strato.

$$\gamma_{max} = 0,65 \frac{a_{max s}}{g} \sigma_v r_d \frac{1}{G} \quad C_c = 2,3 \cdot \frac{(1 - e_0)}{Mo} \cdot \sigma'_{v0} \quad \epsilon_{vr} = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - r_u} \right)$$

Strato n°	tetto m	base m	prof. m	σ_v kPa	σ'_{v0} kPa	q_c kPa	C_u kPa	Mo kPa	n %	e_0	G_0 kPa	G / G_0	G kPa	r_d	γ_{max}	r_u	C_c	Cr	ϵ_{vr}	H cm	ΔH cm
1	0	0,4	0,2	3,8	3,8	3000	60	5000	40	0,67	167536	0,44	72994	1,00	8,0E-06	-0,11	0,00	0,001	0,00%	40	0,00
2	0,4	5	2,7	51,3	51,3	19230	0	57530	40	0,67	609361	0,44	265494	0,96	2,8E-05	-0,10	0,00	0,001	0,00%	460	0,00
3	5	11,8	8,4	159,6	159,6	2340	75	6140	40	0,67	140966	0,44	61418	0,87	3,5E-04	0,11	0,10	0,022	0,00%	680	0,00
4	11,8	14,4	13,1	248,9	207,9	32520	0	97570	40	0,67	877918	0,44	382502	0,80	8,0E-05	-0,06	0,01	0,002	0,00%	260	0,00
5	14,4	15	14,7	279,3	222,3	4400	0	13200	40	0,67	218630	0,44	95255	0,78	3,5E-04	0,12	0,06	0,015	0,00%	60	0,00
6			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
7			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00

$a_{max s}$	G/G_0
0,1	0,8
0,2	0,5
0,3	0,35
0,4	0,28





DEL. G. R. 112 / 2007 - INDIRIZZI MICROZONAZIONE SISMICA R.E.R.
 ALLEGATO A3 - PROCEDURE DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI DI TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
PUNTO E) STIMA DEI CEDIMENTI POSTSISMICI DEI TERRENI COESIVI

N. Acquisizione: CPT5

Committente: Comune
Reggio Emilia

Cantiere: Albinea

Località: luglio 2018

Data:

Prova:

Condizioni di verifica:

1) C_u (o S_u) ≤ 70 kPa (coesione non drenata);

2) $PI \geq 30\%$ (Indice plastico);

3) $r_u = \Delta u / \sigma'_0 \geq 0,3$ (incremento pressioni interstiziali).

$a_{max s}$ **0,236g**

Falda **9** m da p.c.

FASI DI CALCOLO:

1 - Stima di G_0 (modulo di taglio iniziale) sulla base di q_c (resistenza penetrometrica) - Mayne & Rix (1993);

2 - Stima di G/G_0 sulla base della Tab. 3 p. 42 Del.G.R. 112 (linea di tendenza polinomiale);

3 - Calcolo di G (modulo di taglio corrispondente al livello deformativo);

4 - Calcolo di γ_{max} (ampiezza di deformazione di taglio massima);

5 - Stima di r_u (rapporto di pressione interstiziale) mediante la fig. 3 p. 41 Del.G.R. 112 (linea di tendenza polinomiale);

6 - Stima del valore di C_c (indice di compressione) a partire dal valore di Mo ;

7 - Calcolo del valore di Cr (indice di riconsolidazione postciclica) a partire da C_c ($Cr=0,225C_c$);

8 - Calcolo del valore di ε_{vr} (deformazione volumetrica postciclica);

9 - Calcolo del valore di ΔH (cedimento di riconsolidazione) - $\Delta H = \varepsilon_{vr} H$ dove H è lo spessore dello strato.

$$\gamma_{max} = 0,65 \frac{a_{max s}}{g} \sigma_v r_d \frac{1}{G} \quad C_c = 2,3 \cdot \frac{(1 - e_0)}{Mo} \cdot \sigma'_{v0} \quad \varepsilon_{vr} = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - r_u} \right)$$

Strato n°	tetto m	base m	prof. m	σ_v kPa	σ'_{v0} kPa	q_c kPa	C_u kPa	Mo kPa	n %	e_0	G_0 kPa	G / G_0	G kPa	r_d	γ_{max}	r_u	C_c	Cr	ε_{vr}	H cm	ΔH cm
1	0	0,6	0,3	5,7	5,7	3000	60	5000	40	0,67	167536	0,44	72994	1,00	1,2E-05	-0,11	0,00	0,001	0,00%	60	0,00
2	0,6	2,4	1,5	28,5	28,5	3500	122	10520	40	0,67	186482	0,44	81249	0,98	5,3E-05	-0,08	0,01	0,002	0,00%	180	0,00
3	2,4	4,4	3,4	64,6	64,6	36740	0	110220	40	0,67	955610	0,44	416352	0,95	2,3E-05	-0,10	0,00	0,001	0,00%	200	0,00
4	4,4	11,2	7,8	148,2	148,2	3970	63	5110	40	0,67	203549	0,44	88685	0,88	2,3E-04	0,04	0,11	0,025	0,00%	680	0,00
5	11,2	12,8	12	228	198	23600	0	70800	40	0,67	702559	0,44	306099	0,82	9,4E-05	-0,05	0,01	0,002	0,00%	160	0,00
6	12,8	15	13,9	264,1	215,1	3050	95	8150	40	0,67	169472	0,44	73838	0,79	4,3E-04	0,16	0,10	0,023	0,00%	220	0,00
7			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
-			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!				40	0,67	0	0,44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0,00
																					0,00

$a_{max s}$	G/G_0
0,1	0,8
0,2	0,5
0,3	0,35
0,4	0,28

