

Comune di San Prospero s.S.

Provincia di Modena

RELAZIONE GEOLOGICA inerente le indagini eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (G.2.1. DM 14/01/08)

RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini geognostiche effettuate, al fine della caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno del sito (G.2.2. DM 14/01/08)

Relazione concernente la "RISPOSTA SISMICA DEL SITO" (D.M. 14/01/08 - NNTC) la verifica a possibili fenomeni di liquefazione (D.M. 14 /01/2008) e a potenziali cedimenti post-sismici nell'ambito di una MICROZONAZIONE SISMICA (Delibera n. 112 dell'Assemblea Legislativa Regionale del 2 Maggio 2007)



OGGETTO:
Studio geologico, geotecnico e sismico
inerente la realizzazione di strutture
scolastiche provvisorie,
Via San Geminiano, S. Prospero s.S (MO)



Dott. Geol. Pierluigi Dallari

Luglio 2012
Rif. 281/12

ASSOCIATO



GEO GROUP s.r.l.

Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA

Tel. 059/3967169 Fax. 059/5332019

E-mail: geo.group@libero.it

P.IVA e C.F. 02981500362

www.geogroupmodena.it



AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE
PER LA QUALITÀ CERTIFICATO DA DNV
= **UNI EN ISO 9001:2008** =

Relazione Tecnica comprendente:

RELAZIONE GEOLOGICA inerente le indagini geognostiche eseguite, la definizione delle unità litotecniche, gli eventuali processi geomorfici al fine della modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 14/01/08)

RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini eseguite, fornisce tutti i dati geotecnici necessari per il progetto e la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (6.2.2. DM 14/01/08)

Relazione concernente la “**RISPOSTA SISMICA DEL SITO**” (ai sensi del D. M. 14/01/2008 NNTC), la Verifica agli Stati Limite Ultimi (SLU) (par. 6.4 del D.M. 14/01/08) e la verifica a possibili fenomeni di liquefazione.

MICROZONAZIONE SISMICA dell’area, ai sensi della Delibera di Assemblea Legislativa n.112/2007, art. 16 – c.1 “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica”.

Oggetto: Studio geologico, geotecnico e sismico inerente la realizzazione di strutture scolastiche provvisorie, Via San Geminiano, Comune di S. Prospero s. S. (MO).

Indice del contenuto

1	PREMESSE	3
1.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
2	RELAZIONE GEOLOGICA	5
2.1	MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO - GEOLOGIA	5
2.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	6
2.2.1	Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT.....	6
2.3	CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE.....	9
3	RELAZIONE GEOTECNICA.....	10
3.1	INDAGINI GEOTECNICHE.....	10
3.2	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	10
3.3	TIPOLOGIA DI FONDAZIONI CONSIGLIATE E CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE	11
3.4	VERIFICA DEI CEDIMENTI.....	12
3.5	MODULO DI SOTTOFONDO	12
4	CLASSIFICAZIONE e CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO – PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE (CALCOLO DEGLI SLU).....	13
4.1	SISMICITÀ DELL'AREA	13
4.2	INDAGINI GEOFISICHE	17
4.2.1	SISMICA A RIFRAZIONE CON METODO DEI MICROTREMORI (Re.Mi.)	18
4.2.2	Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura ...	19
4.3	MICROZONAZIONE SISMICA: Rischio Sismico.....	21
4.4	PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: Carta delle aree suscettibili di effetti locali	23
4.5	SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: Carta di microzonazione sismica.....	23
4.6	Terzo livello di approfondimento ai sensi dell'art. 16, c. 1, della LR 20/2000.....	24
4.7	STIMA DEI CEDIMENTI PERMANENTI POST-SISMICI	27
4.8	PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE - VERIFICA DELLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU) – PAR.6.4 DM 14/01/08.....	29
4.9	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	33
5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	36

Tavole

Tav. n. 1: “Carta Corografica”	scala 1: 25.000;
Tav. n. 2: “Carta Topografica”	scala 1: 10.000;
Tav. n. 3: “Ripresa fotografica generale dell’area di interesse”	scala grafica;
Tav. n. 4: “Carta della litologia di superficie”	scala 1: 5.000;
Tav. n. 5: “Planimetria catastale”	scala grafica;
Tav. n. 6: “Indagini geognostiche”	scala grafica;
Tav. n. 7: “Depositi che influenzano il moto sismico”	scala grafica;
Tav. n. 8: “Carta delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali”	scala grafica;
Tav. n. 9: “Carta delle aree suscettibili di effetti locali”	scala grafica;
Tav. n. 10: “Carta di microzonazione sismica”	scala grafica.

Allegati

- ALL. n. 1** Prove penetrometriche statiche CPT corredate di interpretazione geotecnica;
ALL. n. 2 Verifiche Geotecniche;
ALL. n. 3 Indagine sismica Re.Mi;
ALL. n. 4 Indagine sismica HVSr;
ALL. n. 5 Verifica alla liquefazione.

1 PREMESSE

Nel mese di luglio 2012 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico inerente la realizzazione di strutture scolastiche provvisorie, in un lotto sito presso il campo sportivo, in Via San Geminiano, nel Comune di San Prospero S.S.(MO).



Fig. 1.1 – Ripresa fotografica dell'area interessata dalla realizzazione delle nuove strutture

Per ottemperare alle richieste del **D.M. 14/01/2008** il presente studio verrà suddiviso nelle seguenti sezioni:

- 1) **RELAZIONE GEOLOGICA** riguardante le indagini geognostiche eseguite, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1. DM 14/01/08);
- 2) **RELAZIONE GEOTECNICA** basata sulle indagini eseguite, fornisce la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato (6.2.2. DM 14/01/08);
- 3) Relazione concernente la **"RISPOSTA SISMICA DEL SITO"** (ai sensi del D. M. 14/01/2008 NNTC) , la verifica dello Stato Limite Ultimo (SLU) (par. 6.4 del D.M. 14/01/08) e la verifica a possibili fenomeni di liquefazione (D.M. 14 /01/2008).
- 4) **MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA** ai sensi della Delibera Assemblea Legislativa (DAL) n. 112/2007 Art. 16 c.1 "indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".

1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è sita nel settore est del centro abitato di San Prospero, in provincia di Modena, in fregio a Via San Geminiano, in corrispondenza dell'attuale ubicazione del campo sportivo, come illustrato nella "Carta corografica", alla scala 1: 25.000 (**tav. n. 1**), tavole CTR 184_SO, 202_NO, nella "Carta topografica" alla scala 1: 10.000, sezione CTR n°202010 – S. Prospero S.S. (**tav. n. 2**), e nella "Ripresa fotografica generale" (**tav. n. 3 e fig. 1.1**), riportate in allegato.



Fig. 1.2 – Panoramica aerea dell'area in esame tratta da Bing maps

Le coordinate geografiche relative al sito in oggetto, calcolate mediante apposito software ed utilizzando la maglia di punti riportata in figura 1.2 sono le seguenti:

Coordinate WGS84	
Latitudine	44.786842
Longitudine	11.027086
Coordinate ED50	
Latitudine	44.787777
Longitudine	11.028091



Figura n. 1.3 – Maglia di punti che identificano l'area di interesse

2 RELAZIONE GEOLOGICA

2.1 MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO - GEOLOGIA

L'area oggetto di studio è posta nel settore est del centro abitato di San Prospero, in fregio a Via San Geminiano, in corrispondenza dell'attuale campo sportivo.

L'area è sita nella bassa pianura modenese, in una zona posta alla quota topografica media di circa 22.0 m s.l.m. e caratterizzata da una lieve inclinazione verso nord-est, in concordanza con l'andamento generale della pianura emiliana.

Da quanto si osserva nella "Carta della litologia di superficie", in scala 1 : 5.000, (**tav. n. 4**) tratta da "Carta geologica - Progetto CARG" a cura della Regione Emilia Romagna, nell'area studiata affiora la seguente litologia:

AES8a - Unità ' di Modena: Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m). (Età: *Post-VI secolo d.C.*). Tali depositi affiorano, in litofacies limoso – sabbiosa, nell'area di interesse ed in un'ampia area circostante e, in litofacies argilloso – limosa, ad est della zona studiata.

Dal punto di vista geomorfologico, gli agenti morfogenetici principali per l'area di studio sono costituiti dall'azione fluviale e dall'azione antropica. L'area si trova infatti in destra idrografica del Fiume Secchia, posto circa 2 chilometri ad ovest del lotto in oggetto, dove scorre con andamento meandriforme e direzione sud-nord; tale corso d'acqua ha deposto e successivamente modellato i terreni che costituiscono l'area in esame. Secondariamente, l'azione antropica ha modificato il territorio tramite la realizzazione dei centri abitati e delle forme legate all'attività agricola nell'area (parcellizzazione campi coltivati, realizzazione ed antropizzazione fossi atti all'irrigazione).

2.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia degli interventi in progetto, la campagna geognostica è stata espletata mediante le seguenti indagini geognostiche:

- ***n. 1 prova penetrometrica statica CPT, eseguita in data 03/07/2012;***
- ***n. 1 indagine sismica passiva HVSR, eseguita in data 03/07/2012***
- ***n.1 indagine sismica a rifrazione con metodo Re.Mi, eseguita in data 03/07/2012***

L'ubicazione delle indagini geotecniche è illustrata nella **tav. n. 6**, riportata in allegato, mentre i diagrammi relativi alla CPT eseguita, dotati d'interpretazione geotecnica, sono presenti nell'**allegato n. 1**; in **allegato n.3** sono invece visibili i grafici e i risultati dell'indagine sismica Re.Mi. e in **allegato n.4** quelli dell'indagine sismica HVSR.

2.2.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT

Nell'area di interesse è stata eseguita, in data **03/07/2012**, **n. 1 prova penetrometrica statica CPT**, spinta fino alla profondità di -23.00 m da p.c.

Nell'**Allegato n. 1** sono riportati i grafici e le tabelle riguardanti la prova eseguita, corredata dell'elaborazione geotecnica e litostratigrafica.

Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

Punta meccanica	Begemann
Spinta	200 kN
Intervalli di misura	20 cm
Parametri registrati	R_p (resistenza alla punta)
	R_I (resistenza attrito laterale)
Area punta	10 cm²
Angolo alla punta	60°

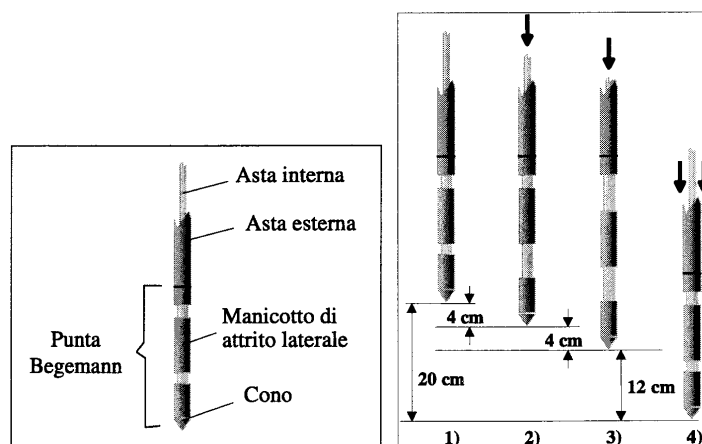


Fig. 2.1 – Punta Begemann (a) e schema di avanzamento (b).

La prova penetrometrica statica CPT (*Cone Penetration Test*) viene realizzata infiggendo nel terreno, alla velocità di 2 cm/sec, la punta meccanica Begemann (**fig. 2.1a**). La punta presenta alla sua estremità inferiore un cono avente un angolo al vertice di 60° , un diametro alla base di 36 mm e quindi un'area di base di 10 cm^2 . Esso supporta lungo il suo stelo un manicotto d'attrito, la cui superficie laterale è di 150 cm^2 . I valori degli sforzi di reazione che il suolo oppone alla penetrazione della punta, allo scorrimento del manicotto laterale e l'avanzamento dell'insieme punta più aste, verranno registrati ogni 20 cm di avanzamento in profondità.

L'esecuzione della prova avviene tramite il seguente schema di avanzamento (**fig. 2.1b**):

- 1) posizione di riposo con punta completamente chiusa;
- 2) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm del solo cono; visualizzazione dello sforzo di punta (R_p);
- 3) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm di cono + manicotto; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito laterale (R_l);
- 4) spinta esercitata sulle aste esterne con avanzamento di 12 cm e ritorno alla posizione di riposo con punta completamente chiusa; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito + attrito della batteria di aste (R_t).

Nella fase d'avanzamento in cui viene letta la resistenza alla punta, il display restituisce automaticamente il carico unitario di resistenza (R_p) tenuto conto della superficie di infissione di circa 10 cm^2 . Nella fase di avanzamento in cui viene letta la somma delle resistenze alla punta ed al manicotto di frizione il display visualizza il carico assoluto espresso in kg diviso per 10 (R_l).

Ad ogni profondità di misura (x), i valori reali della resistenza alla penetrazione della punta " q_c " e dell'attrito laterale locale " f_s " possono essere calcolati tramite le seguenti formule:

$$q_c(x) = R_p(x) \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

dove:

$$AP \text{ (Area Punta)} = 10 \text{ cm}^2$$

$$AM \text{ (Area Manicotto Laterale)} = 150 \text{ cm}^2$$

$$f_s(X) = (R_l(x+1) - R_p(x+1)) \cdot (AP/AM) = (R_l(x+1) - R_p(x+1)) / 15$$

La particolare punta utilizzata per la perforazione *Friction Jacket Cone* è servita a determinare, oltre al carico di rottura, anche la litologia dei terreni investigati: dal rapporto tra la resistenza penetrometrica alla punta e la resistenza laterale locale è infatti possibile risalire, attraverso l'esperienza di **Begemann**, modificata da **Schmertmann** (di seguito descritti), alla granulometria, e di conseguenza alla litologia, dei terreni attraversati dall'indagine.

Metodo di Begemann:

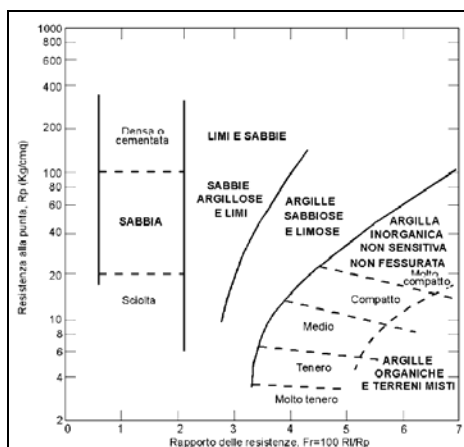
Il metodo di BEGEMANN considera il **rapporto tra R_p e R_l** come parametro indicativo delle variazioni litologiche. In particolare l'Autore suggerisce le seguenti correlazioni:

Rapporto R_p/R_l	Litologia
$R_p/R_l < 15$	Argilla organica e torba
$15 < R_p/R_l < 20$	Limo e/o argilla inorganica
$30 < R_p/R_l < 60$	Limo sabbioso e sabbia limosa
$R_p/R_l > 60$	Sabbie o sabbia più ghiaia

Va ricordato che tali correlazioni sono valide solo per terreni immersi in falda.

Metodo di Schmertmann:

Il metodo di SCHMERTMANN considera come indicativo della litologia della verticale indagata il rapporto delle resistenze **Fr** (con **Fr%=100 R_l/R_p**), secondo il grafico seguente:



2.3 CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE E GEOTECNICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica della prova penetrometrica eseguita, illustrata nell'**allegato n. 1**, si può riassumere quanto segue:

- la prova CPT eseguita ha rilevato, a seguito del sottofondo dell'area cortiliva dello spessore di circa 1.40 m, la presenza di depositi **argilloso-limosi a media consistenza**, caratterizzati da valori di **R_p** compresi tra **0.89 e 1.68 MPa**, che si approfondiscono sino alla quota media di circa – 8.20 m da p.c., seguiti da **depositi argilloso – limosi a consistenza medio - elevata**, con valori di **R_p** compresi tra **1.09 e 3.56 MPa**, presenti fino alla quota di – 17.80 m da p.c.. Da tale quota si rileva la presenza di uno strato **limoso – sabbioso poco addensato**, caratterizzato da valori di **R_p** compresi tra **2.18 e 8.22 MPa**, che si approfondisce sino a – 19.00 m da p.c., seguito da un livello coesivo **argilloso – limoso consistente**, con valori di **R_p** compresi tra **1.58 e 8.22 MPa**, rilevato fino a fondo foro, pari a - 23.00 m da p.c., quota a cui si è avuto il disancoramento delle aste, dovuto al raggiungimento del rifiuto strumentale delle attrezzature di prova.
- Per quanto riguarda il **grado di consolidazione dei materiali coesivi** è stata rinvenuta la presenza di **terreni sovraconsolidati SC** (con **OCR > 4**) fino alla quota variabile di – 4.60 m, seguiti da un'alternanza di terreni **leggermente sovraconsolidati LC** (**2 < OCR < 4**) e livelli **normalconsolidati NC** (**2 < OCR < 4**) fino a – 17.80 m da p.c.. Da tale quota fino a fondo foro (-23.00 m da p.c.) si rileva la presenza di depositi **sottoconsolidati (OCR<1)**. Per quanto riguarda l'**addensamento dello strato incoerente sabbioso**, si rilevano valori di **Dr%** compresi tra **19 e 34**, indicativi di **depositi sciolti**.
- Al termine delle prove penetrometriche non stata rilevata la soggiacenza della falda freatica all'interno del foro di sondaggio; le misure sono state eseguite mediante un freatimetro elettroacustico.

3 RELAZIONE GEOTECNICA

3.1 INDAGINI GEOTECNICHE

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia dell'intervento in progetto, sono state eseguite le seguenti indagini geotecniche:

- **n. 1 prova penetrometrica statica CPT, eseguita in data 03/07/2012.**

L'ubicazione delle indagini geotecniche è illustrata nella **tav. n. 6**, riportata in allegato, mentre i diagrammi delle prove penetrometriche CPT, dotati d'interpretazione geotecnica, sono presenti nell'**allegato n. 1**.

3.2 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per l'intervento in progetto. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica dell'indagine geotecnica eseguita, illustrata nell'**allegato n. 1** e precedentemente descritta, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato:

MODELLO GEOTECNICO SCHEMATICO

Strato	Profondità	falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.0 – 2.20 m da p.c.	Non rilevata	Argilla o argilla limosa mediamente consistente	γ	1800 kg/m ³ \approx 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/m ³ \approx 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.50 kg/cm ² \approx 50.0 kN/m ²
				C'_k	0.05 kg/cm ² \approx 5.0 kN/m ²
				M_{ok}	40.0 kg/cm ² \approx 4000 kN/m ²
				ϕ_k	23°
				v	0.40
2	2.20 – 17.80 m da p.c.		Argilla o argilla limosa a consistenza medio - elevata	γ	1850 kg/m ³ \approx 18.50 kN/m ³
				γ'	2150 kg/c ³ \approx 21.50 kN/m ³
				C_{uk}	0.60 kg/cm ² \approx 60.0 kN/m ²
				C'_k	0.06 kg/cm ² \approx 6.0 kN/m ²
				M_{ok}	50.0 kg/cm ² \approx 5000 kN/m ²
				ϕ_k	25°
				v	0.40
3	17.80 – 19.00 m da p.c.		Sabbia o sabbia limosa poco addensata	γ	1850 kg/m ³ \approx 18.50 kN/m ³
				γ'	2150 kg/m ³ \approx 21.50 kN/m ³
				Dr %	20
				ϕ_k	30°
				M_{ok}	150.0 kg/cm ² \approx 15000 kN/m ²
				v	0.35
4	19.00 – 23.00 m da p.c.		Argilla o argilla limosa consistente	γ	1900 kg/m ³ \approx 19.00 kN/m ³
				γ'	2200 kg/m ³ \approx 22.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.60 kg/cm ² \approx 60.0 kN/m ²
				C'_k	0.06 kg/cm ² \approx 6.0 kN/m ²
				M_{ok}	60.0 kg/cm ² \approx 6000 kN/m ²
				ϕ_k	26°

				v	0.30
<u>Legenda</u>	γ	=	peso specifico terreno naturale		
	γ'	=	peso specifico terreno saturo		
	C_{uk}	=	coesione non drenata caratteristica		
	C'_k	=	coesione efficace caratteristica		
	M_{ok}	=	modulo di deformazione edometrico caratteristico		
	ϕ_k	=	angolo d'attrito caratteristico		
	$Dr\%$	=	Densità relativa		
	v	=	coefficiente di Poisson		

Si precisa che, benché nella prova penetrometrica eseguita non sia stata rilevata la soggiacenza della falda freatica, essa è stata ipotizzata alla profondità di – 2.00 m da p.c., dato ricavato da indagini eseguite in aree limitrofe a quella in oggetto.

3.3 TIPOLOGIA DI FONDAZIONI CONSIGLIATE E CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione delle indagini geotecniche eseguite nell'area e dello scopo del lavoro, al solo fine di calcolare la capacità portante del terreno si sono ipotizzate **fondazioni superficiali nastriformi in c.a.**, utilizzando i parametri geotecnici emersi dall'elaborazione della prova penetrometrica statica CPT eseguita in sito.

I parametri geotecnici del terreno e le caratteristiche delle fondazioni ipotizzate sono riassunti nella seguente tabella:

NUOVA STRUTTURA SCOLASTICA PROVVISORIA – Fondazioni nastriformi in c.a. (IPOTESI)

- larghezza della base	B	=	1.20 m
- lunghezza della fondazione	B	=	5.00 m
- profondità della quota di imposta	D	=	1.00 m da p.c.
- peso specifico terreno naturale sopra falda	γ	=	1800 kg/m ³ \approx 18.00 kN/m ³
- peso specifico terreno saturo	γ'	=	2100 kg/m ³ \approx 21.00 kN/m ³
- angolo d'attrito caratteristico	ϕ_k	=	23°
- coesione non drenata caratteristica	C_{uk}	=	0.50 kg/cm ² \approx 50 kN/m ²
- coesione efficace caratteristica	C'_k	=	0.5 kg/cm ² \approx 5.0 kN/m ²
- modulo di deformazione edometrico	M_o	=	40.0 kg/cm ² \approx 4000 kN/m ²
- profondità falda freatica	D	=	Non rilevata
- pendenza del terreno	β	=	\sim 0°
- classe di sismicità	Cs	=	3

I calcoli delle pressioni ammissibili sono stati eseguiti utilizzando l'equazione di **Terzaghi** per **fondazioni superficiali dirette nastriformi in c.a.** con la condizione a breve termine dove **$C_u \neq 0$** e **$\phi = 0$** (condizione più gravosa).

Considerando, inoltre, un fattore di sicurezza **$F_s = 3$** si ottengono i seguenti risultati:

Pressione ammissibile Q_{amm} (Verifica a breve termine $C_u \neq 0$ e $\phi = 0$)		
Quota di imposta	Pressione limite	Pressione ammissibile
- 1.00 m da p.c.	3.00 kg/cm ² \approx 300 kN/m ²	1.00 Kg/cm ² \approx 100 kN/m ²

3.4 VERIFICA DEI CEDIMENTI

È stato eseguito il calcolo della distribuzione delle tensioni indotte al terreno di fondazione dagli interventi in progetto secondo il metodo di Newmark (**Allegato n. 2**). Il metodo di Newmark si basa sul presupposto che il terreno di fondazione possa essere assimilato ad uno spazio semi-infinito a comportamento perfettamente elastico, omogeneo e isotropo. Tutto ciò premesso, considerando i parametri geotecnici emersi dall'elaborazione della prova penetrometrica eseguita in sito, ipotizzando un carico applicato sul terreno pari a **$Q = 1.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2$** ed utilizzando il *Metodo di calcolo di Steinbrenner per terreni coesivi*, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

NUOVA STRUTTURA SCOLASTICA PROVVISORIA – Fondazioni nastriformi in c.a. (IPOTESI)

Calcolo dei cedimenti immediati secondari e di consolidazione	
Metodo di calcolo dei cedimenti degli strati coesivi: Steinbrenner	
Quota di imposta D = - 1.00 m da p.c.	
Carico applicato sul terreno $Q = 1.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2$	
Cedimento della fondazione	S = 2.63 cm
Cedimento totale degli strati coesivi	S = 2.63 cm
Cedimento totale del terreno di fondazione	S = 2.63 cm

3.5 MODULO DI SOTTOFONDO

Il modello di Winkler considera il terreno come formato da una distribuzione di vincoli semplici bilaterali elastici. La relazione che ne regola il comportamento è di tipo lineare tra il cedimento (w) e la pressione di contatto (p): **$p = kw$** .

Il parametro k è detto costante di sottofondo. Come è noto, k non dipende solo dal terreno ma anche dai carichi applicati, dalle proprietà del terreno, dalla forma e le dimensioni della fondazione. Utilizzando la Formula di Bowles (1974):

$$k \text{ (kN/mc)} = 40 \cdot Q_{\text{lim}} \text{ effettivo applicato} \cdot F_c,$$

dove $F_c = 2.54/\text{cedimento della fondazione (in cm)}$ e considerando un cedimento di riferimento pari a $S = 2.63 \text{ cm}$ e un carico applicato al terreno di fondazione $Q = 1.00 \text{ kg/cm}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2$, si ottiene un modulo di sottofondo o costante di Winkler pari a $K = 1.16 \text{ kg/cm}^3 \approx 11600 \text{ kN/m}^3$.

4 CLASSIFICAZIONE e CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO – PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE (CALCOLO DEGLI SLU)

4.1 SISMICITÀ DELL'AREA

In base alla normativa riguardante la situazione sismica del territorio, con riferimento al GdL del 1998 e all'OPCM 3274/2003 il Comune di S. Prospero s.S. ricadeva in **categoria III**. Con l'entrata in vigore del **D.M. 14/01/2008** recante "Nuove Norme tecniche per le costruzioni", il Comune di S.Prospiero s.S. è stato classificato ex-novo in **classe di sismicità 3** (zona a **bassa sismicità**) (Fig 4.1).

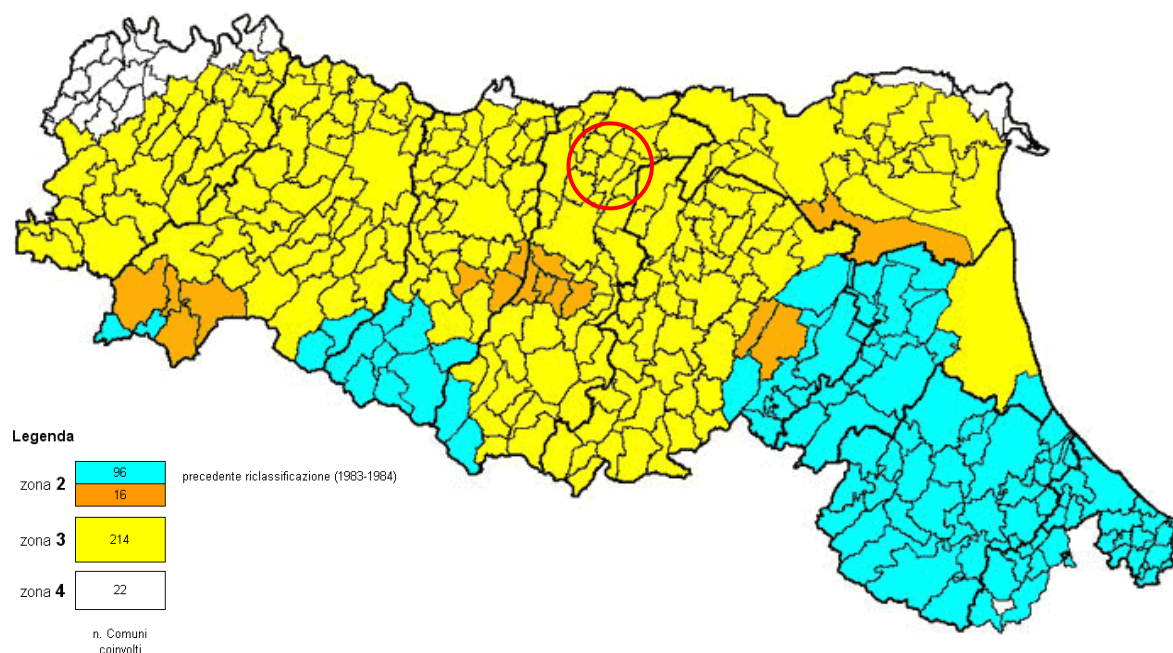


Fig. 4.1 – Classificazione sismica vigente dei comuni della regione Emilia-Romagna ed ubicazione del territorio comunale di S. Prospero s. S.

In riferimento, inoltre, alla Mappa di Pericolosità sismica 2004 (MPS04), riportata in figura 4.2., che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro di accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante, divenuta ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale,

con l’emanazione dell’**Ordinanza PCM 3519/2006**, l’area di interesse risulta ubicata in una zona in cui l’accelerazione massima attesa è compresa tra 0.150 g e 0.175 g.

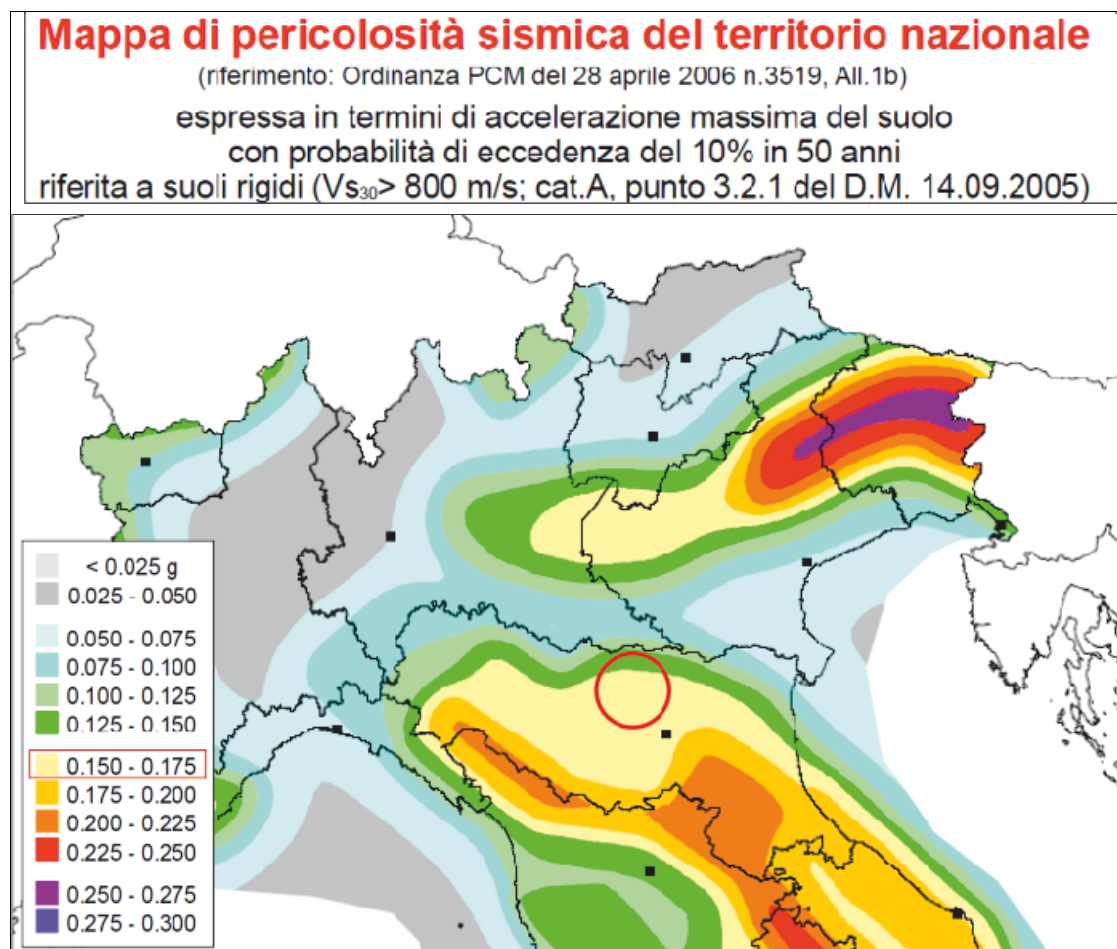


Fig. 4.1 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale ed ubicazione del territorio comunale di S. Prospero s. S.

Sulla base degli approfondimenti eseguiti in seguito all’emanazione dell’Ordinanza PCM 3519/2006, sono state definite le nuove **Norme tecniche delle Costruzioni**, con il **D.M. 14 gennaio 2008**, in cui l’azione sismica di riferimento per la progettazione è valutata punto per punto e non più solo per 4 zone sismiche.

Sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici sopracitata, secondo le indagini geofisiche eseguite in sito si classifica il terreno di fondazione come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine di media consistenza con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ KPa nei terreni a grana fine).*

Inoltre, sulla base della classificazione nazionale che fa ricadere l’area in esame in

classe 3, il valore di a_g , espresso come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in tale classe era pari ad $a_g = 0.15g$.

Ora, sulla base dei contenuti del **D.M. 14/01/2008** “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g , in relazione ad un tempo di riferimento T_R stimato di 712 anni (SLV) e considerando la classe d'uso dell'edificio pari a III, caratteristica di affollamento significativo. Per l'area in oggetto, identificata dalle seguenti coordinate geografiche (Sistema di riferimento **ED50**): Latitudine: 44.787777°, Longitudine 11.028091°, tale parametro è risultato pari ad

a_g attesa= 0.182 g

Determinazione dei parametri sismici

(1)* Coordinate WGS84
 Lat. 44.786842 ° Long. 11.027086 °

(1)* Coordinate ED50
 Lat. 44.787777 ° Long. 11.028091 °

Classe dell'edificio
 III. Affollamento significativo... Cu = 1.5

Vita nominale
 (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100) 50

Interpolazione Media ponderata

Calcola

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T_c' [s]
Operatività (SLO)	45	0,051	2,505	0,264
Danno (SLD)	75	0,065	2,483	0,275
Salvaguardia vita (SLV)	712	0,182	2,558	0,274
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0,242	2,490	0,284
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

Poiché tale valore di accelerazione sismica orizzontale a_g si riferisce al *bedrock*, per definire il valore di a_g in superficie si calcola inizialmente il fattore stratigrafico S_s caratteristico dell'area secondo il NTC 2008 D.M. 14/01/2008 da cui, essendo in classe C si avrà :

$$1,00 \leq S_s = 1,70 - (0,60 \cdot F_o \cdot a_g/g) \leq 1,50 \quad (4.1)$$

dove:

F_o = Fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2; per il sito oggetto di studio tale valore, calcolato mediante l'utilizzo di apposito software, risulta pari a **2.558**;

a_g/g = accelerazione orizzontale del sito, con tempo di ritorno pari a **712 anni**/accelerazione di gravità;

S_s = Coefficiente di amplificazione stratigrafica o fattore stratigrafico, calcolato tramite la relazione (4.1); per il sito oggetto di studio risulta pari a **1.42**.

Successivamente, sulla base delle condizioni topografiche del sito studiato, si ricava il fattore topografico ST dalla seguente tabella:

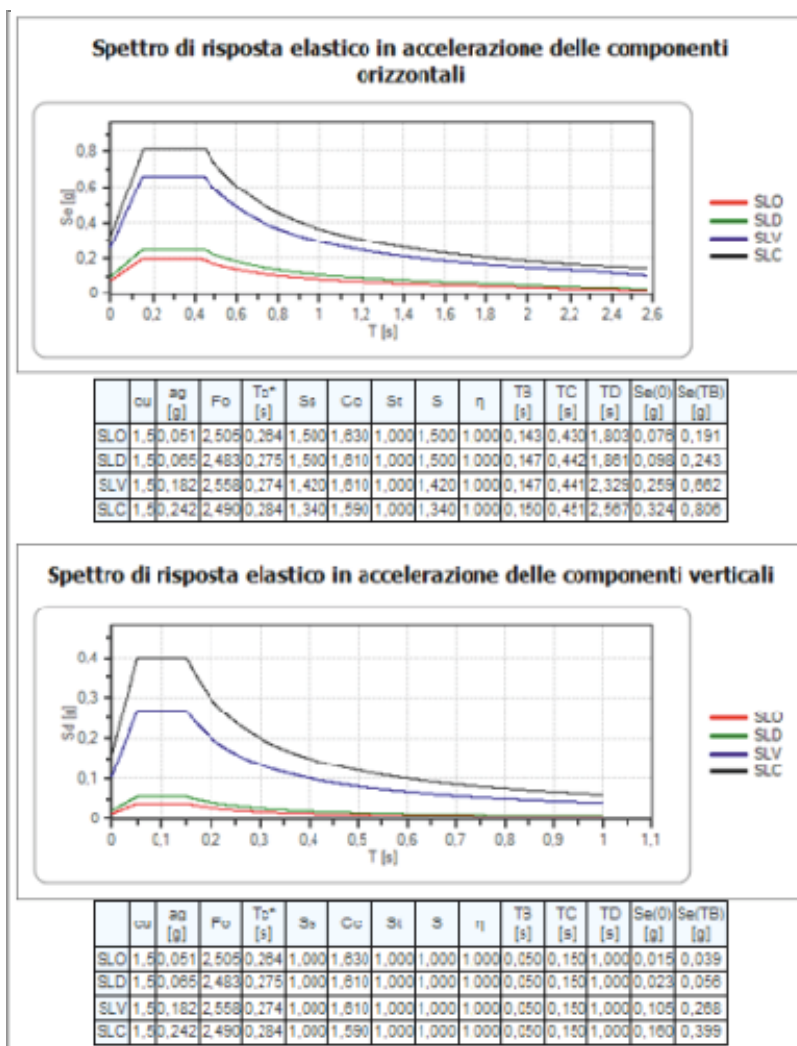
Categoria topografica	Ubicazione opera/intervento	ST
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	1.0
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$	1.4

Per l'area studiata, appartenente alla categoria topografica T1, si ottiene un fattore topografico **ST pari a 1.0**.

In base a tali valori del fattore stratigrafico S_s e del fattore topografico ST si procede al calcolo dell' accelerazione massima orizzontale **A_{max}**:

$$A_{max} = S_s \cdot a_g = 1.42 \cdot 0.182 \text{ g} = 0.258 \text{ g}$$

Spettri di risposta del sito oggetto di studi



4.2 INDAGINI GEOFISICHE

Per la classificazione sismica dell'area di studio, in data **03/07/2012** sono state eseguite in sito le seguenti indagini geofisiche:

- **n.1 indagine sismica a rifrazione con metodo Re.Mi.**
- **n. 1 indagine sismica passiva Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura.**

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nella **Tav. n. 6**, mentre in **Allegato n. 3** sono presenti i grafici relativi ai risultati ottenuti dall'elaborazione dell'indagine sismica Re.Mi e in **Allegato n. 4** i grafici relativi ai risultati ottenuti dall'elaborazione dell'indagine sismica passiva HVSr.

4.2.1 SISMICA A RIFRAZIONE CON METODO DEI MICROTREMORI (Re.Mi.)

Come suddetto, il D.M. 14 Gennaio 2008 e s.m.i., ha introdotto in Italia la nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni dal punto di vista sismico, richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo delle velocità delle onde di taglio **Vs** degli strati del terreno presenti nel sito di studio, fino alla profondità di almeno **30 metri** dal piano di posa delle fondazioni. La normativa, sulla base del suddetto profilo, fornisce una classificazione dei suoli suddivisa nelle tipologie A, B, C, D, E ed S1, S2.

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire rilievi in foro di sondaggio meccanico con tecnica down-hole, se si dispone di un foro singolo o cross-hole fra due fori, oppure prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali utilizzando geofoni orizzontali con opportune energizzazioni del terreno o tramite geofoni verticali acquisendo i segnali dei microtremori rifratti ambientali.

Questa tecnica, nota con la sigla Re.Mi. (Refraction Microtremors), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde relative ai rumori sismici locali, rifratte alla superficie.

Nell'approccio teorico si utilizzano le onde superficiali di Rayleigh per la determinazione dei parametri di comportamento meccanico dei terreni a bassi livelli di deformazione, modulo di taglio e coefficiente di smorzamento, e si basa sulle proprietà dispersive che queste onde subiscono durante l'attraversamento di tali terreni.

Le onde di Rayleigh costituiscono un particolare tipo di onde superficiali che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo, e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione "P" e di taglio "S".

In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo dispersivo e vengono definite di pseudo-Rayleigh o di superficie.

La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza; le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde Rayleigh, *Velocità/frequenza* può essere convertito mediante opportuno software in profilo *Velocità/profondità*.

La metodologia permette di raggiungere livelli di profondità generalmente pari a 1/3 della lunghezza dello stendimento dei geofoni (Esempio: Profondità = Lunghezza stendimento = metri 288 = metri 96).

Lo studio analitico del metodo Re.Mi. consente di operare favorevolmente in ambienti fortemente inquinati da rumori urbani e/o industriali.

Una volta determinate le velocità delle onde di taglio fino alla massima profondità raggiunta, si calcola una media pesata dei valori delle Vs di ogni strato e con tale parametro è possibile catalogare il sito nella classe di riferimento dell'ordinanza in oggetto.

Modalità operative

L'indagine sismica Re.Mi. è stata eseguita tramite la realizzazione di uno stendimento da 287,5 m, costituito da 24 geofoni da 14 Hz, distanziati 12,5 m, utilizzando un tempo di registrazione pari a 30 secondi, per un totale di 10 campionamenti. Si sono registrate onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 35 Hz fino a 2 Hz.

I dati sono stati registrati mediante un sismografo Geode, marca Geometrics, a 24 canali con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 2 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 30 secondi.

I dati tecnici del sismografo utilizzato sono riportati in **Allegato n. 3**.

Si osserva di seguito una foto della strumentazione di acquisizione utilizzata:



Figura 4.2.1.1: Ripresa fotografica della strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati sismici: da sinistra sismografo GEODE, PC data logger, geofoni collegati al cavo geofonico (foto di archivio).

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(fase)/freq.$, può essere convertito nel profilo $Vs/profondità$. Le indagini eseguite hanno permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs30. In allegato (**All. n. 3**) si riportano le immagini relative alle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e del modello che ne deriva previa inversione dei dati.

4.2.2 Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di **indagine sismica passiva HVSr** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura*) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai

cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del sismo-strato individuato. Tramite l'elaborazione di moti superiori e l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli generati dai moti superiori o da artefatti, al fine di garantire una corretta interpretazione dello spettro sismico registrato. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSr) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici. Negli ultimi anni si è affermata anche per la sua versatilità poiché si è dimostrato come lo spettro sismico può rappresentare un modello sismo – stratigrafico del sottosuolo.

La tecnica **HVSr** è totalmente **non invasiva, molto rapida**, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un "velocimetro triassiale" conforme alle norme SESAME.

I risultati che si possono ottenere da indagini sismiche HVSr sono:

- La **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto **dimensionamento degli edifici antisismici**. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "**doppia risonanza**", fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni.
- La **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se, in caso di sisma, la costruzione potrà essere o meno a rischio.
- La **velocità media delle onde di taglio Vs** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'**affidabilità del risultato**, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, etc.) e riconoscibile nella **curva H/V**. E' possibile calcolare la **Vs30** e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.
- La **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la tecnica **HVSr**, in termini di **stratigrafia del sottosuolo**, è rappresentato dalla definizione

di strato, inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un **contrasto d'impedenza**, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Dall'elaborazione dell'indagine sismica HVSR eseguita in sito non si sono evidenziati picchi stratigrafici significativi; ed è stata evidenziata una frequenza caratteristica di sito pari a 3.05 Hz (± 0.32).

Determinazione del parametro V_{s30} ai sensi del D.M. 14/01/2008

Dalle indagini sismiche HVSR e Re.Mi eseguite in sito ed illustrate in dettaglio negli **Allegati n. 3 e n. 4**, è stato possibile risalire alla V_{s30} e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle **NTC del 14/01/2008**. Secondo tali risultati, riassunti nella tabella riportata di seguito, il terreno di fondazione risulta appartenente alla **categoria C**, corrispondente a *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine di media consistenza con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ KPa nei terreni a grana fine).*

HVSR	$V_{s30} = 206$ m/s	categoria C
Re.Mi	$V_{s30} = 222$ m/s	

4.3 MICROZONAZIONE SISMICA: Rischio Sismico

L'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna con deliberazione n.112-oggetto n°2131 del 02/05/2007 ha approvato l'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c.1, della LR 20/2000: "*Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*" e dei suoi allegati.

In tale documento sono forniti i criteri per l'individuazione delle aree soggette ad effetti locali e per la microzonazione sismica del territorio con particolare riguardo alla tipologia ed al livello di approfondimento degli studi da effettuare per una migliore definizione della risposta sismica locale.

E' ormai accertato da numerosi studi a livello internazionale che, a parità di magnitudo e localizzazione della sorgente sismica (ipocentro), terreni a caratteristiche fisico meccaniche diverse subiscono deformazioni di intensità differente. Strumentalmente, ciò

è rilevabile attraverso la modifica del moto sismico (*accelerogramma* o *spettro di risposta elastico*) impressa in termini di accelerazione in un dato periodo di tempo. Il moto sismico, impresso alle particelle, si propaga in modo contiguo nel terreno ampliandosi o smorzandosi in funzione del grado di addensamento e viscosità del materiale attraversato, caratterizzandosi per velocità delle onde di taglio (V_{sh}), più veloci tanto più il mezzo attraversato è addensato.

Tutto ciò risulta di primaria importanza per un'attenta analisi della risposta sismica locale, al fine di individuare delle aree soggette ad effetti locali e per orientare un'accurata indagine di campagna finalizzata alla definizione delle proprietà di seguito elencate:

Indagine geologica e geomorfologia classica:

- a) stratigrafia delle formazioni superficiali con definizione del contatto tra copertura superficiale e bedrock;
- b) morfologia di dettaglio dell'area con rilievo delle forme lineari o strutturali che possono generare amplificazione del moto sismico.

Studi geofisici specifici:

- c) profili di velocità delle onde sismiche trasversali V_s e longitudinali dentro le formazioni superficiali.

Recentemente, per la valutazione della **pericolosità sismica di base** si può fare riferimento all'Allegato A4 della Dal. Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2.5.2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" in cui sono riportati i valori di accelerazione massima orizzontale al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) per ogni Comune della Regione.

Secondo tale classificazione il comune di San Prospero s.S. presenta un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo (cioè per periodo $T=0$) $a_{refg} = 0,154$ (espressa sempre in frazione dell'accelerazione di gravità).

E' altresì stato da Noi calcolato, sulla base dei contenuti del **D.M. 14/01/2008** "Nuove norme tecniche per le costruzioni" il parametro di accelerazione massima attesa a_g in relazione ad un tempo di riferimento T_R stimato di 712 anni (SLV per classe d'uso 3, corrispondente ad affollamento significativo); identificato (**sistema ED 50**) dalle seguenti coordinate geografiche: Latitudine: 44.787777°, Longitudine 11.028091°, tale parametro è risultato pari ad $a_{g\text{ attesa}} = 0.182g$.

4.4 - PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: Carta delle aree suscettibili di effetti locali

Il primo livello di approfondimento raggruppa gli studi e la cartografia di base propedeutica alla redazione della “*Carta degli Effetti Attesi*” in cui sono evidenziate le zone caratterizzate da differenti scenari di pericolosità locale con indicazione degli effetti locali attesi.

Dalla consultazione della tavola 2.2, del PTCP vigente per la Provincia di Modena “Rischio sismico – effetti locali”, riportata nella **Tavola n.9**, è emerso che l’area studiata ricade in una zona classificata come “Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti”

Gli studi richiesti per tali aree sono la valutazione del coefficiente di amplificazione litologica e dei cedimenti attesi e, in particolare, sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologica, mentre sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti attesi.

4.5 SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO: Carta di microzonazione sismica

Una volta identificati gli scenari che individuano il livello di approfondimento dell’area in oggetto, dovrà essere valutato il coefficiente di amplificazione litologico, quindi sarà necessario effettuare studi di microzonazione sismica di dettaglio del territorio indagato.

A tale scopo è stata redatta la “**Carta di Microzonazione Sismica**” (tav. n. 10) quale sintesi dei risultati delle indagini per la definizione del modello sismostratigrafico e dei profili di velocità di propagazione delle onde di Taglio Vs.

Sulla base di dati bibliografici raccolti per l’area in oggetto e dei risultati ottenuti dalle indagini geognostiche eseguite in sito (indagine sismica Re.Mi: $V_{s30} = 237 \text{ m/sec}$; indagine sismica HVSR: $V_{s30} = 206 \text{ m/sec}$), premesso che tale area ricade, secondo l’allegato A2 del D.A.L. 112 della L.R. 20/2000, all’interno dell’ambito definito come: “**PIANURA 2**”, caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche deca metrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche di decine di metri), con substrato profondo ($\geq 100 \text{ m}$ da p.c.), si riportano, per la microarea sismica zonizzata e indagata, i coefficienti di amplificazione sismica così come illustrato nella **tavola n. 10**:

Da indagine Re.Mi:

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

F.A. SI ($0,1 < T_0 < 0,5$) = 1,8

F.A. SI ($0,5 < T_0 < 1,0$) = 2,3

dove:

- PGA= accelerazione massima orizzontale alla superficie
- SI = indice di Housner
- F.A. P.G.A.= Fattore di amplificazione P.G.A.
- F.A. 0.1-0.5 (intensità spettrale $0.1\text{sec} < T_0 < 0.5\text{sec}$);
- F.A. 0.5-1.0 (intensità spettrale $0.5\text{sec} < T_0 < 0.1\text{sec}$)

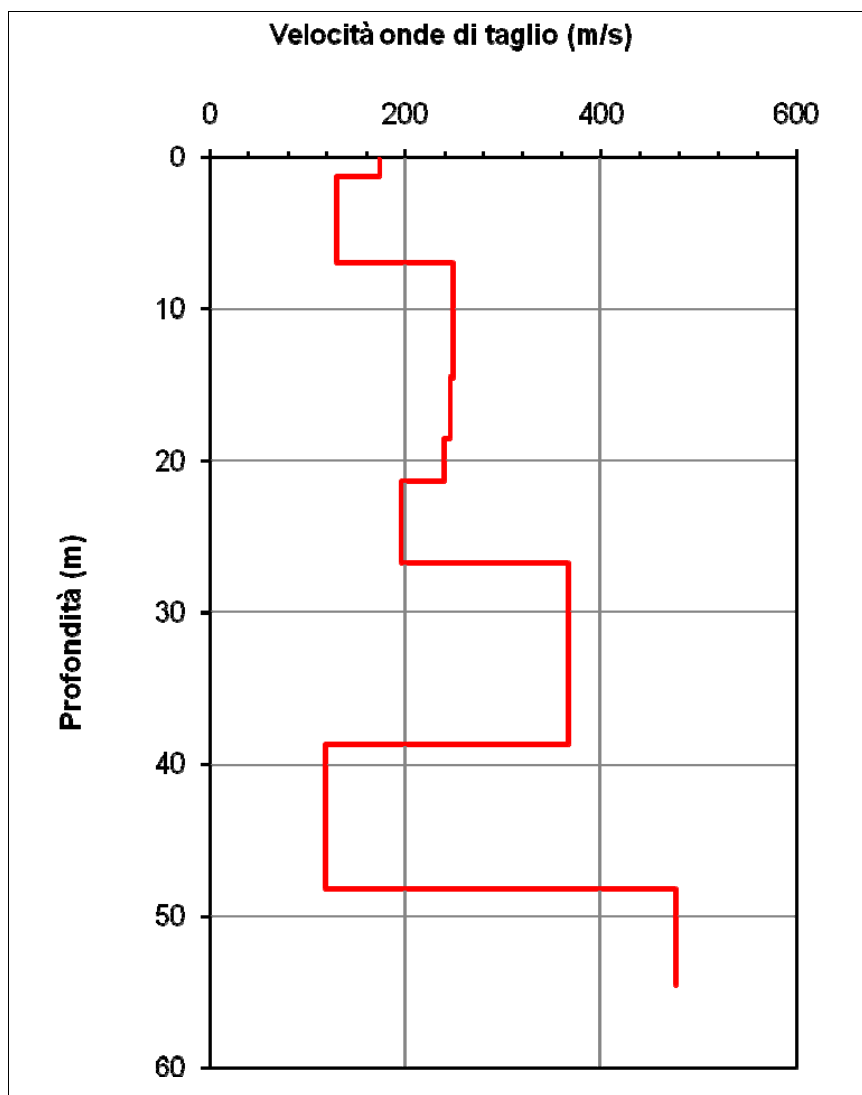
4.6 Terzo livello di approfondimento ai sensi dell'art. 16, c. 1, della LR 20/2000

L'elaborazione della modellazione numerica di risposta sismica, tramite l'utilizzo del foglio di calcolo EERA, viene utilizzato per verifiche monodimensionali, in grado di raggiungere, tramite sequenze di analisi lineari complete, valori di rigidezza G e di smorzamento D, compatibili con le caratteristiche della litologia, costituente il sottosuolo dell'area di studio. La verifica dell'amplificazione locale, tramite l'utilizzo del citato foglio di calcolo, si compone delle seguenti fasi: elaborazione del modello e simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto. Il presente modello geologico deriva dall'elaborazione della prova geofisica tipo HVSR eseguita in sito.

ELABORAZIONE

La prima fase consiste di ricreare all'interno del foglio di calcolo un profilo del sottosuolo caratteristico, costituito da livelli di natura litologica differente, e quindi i relativi parametri geotecnici/sismici differenti. Il profilo inserito è il seguente:

	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
Surface	1	1	3	1,2	55,55		18,00	174	
	2	1	3	5,7	31,01		18,00	130	
	3	1	3	7,6	117,86		18,50	250	
	4	1	3	4,0	117,21		19,00	246	
	5	1	3	2,8	114,50		19,50	240	
	6	1	3	5,4	79,12		20,00	197	
	7	1	3	12,0	274,60		20,00	367	
	8	1	3	9,5	30,31		21,00	119	
Bedrock	9	0	3		487,07	1	21,00	477	Outcrop



Per determinare il modello delle onde di taglio descrittivo dell'area in oggetto, è stata considerata la prova sismica tipo HVSR.. Da tale prova è quindi possibile ricavare la velocità delle onde di taglio, fino alla profondità di circa 60 m. Sempre immettendo nel profilo, i dati ottenuti dall'indagine, è possibile ricostruire il seguente modello V_s , riportato nel Grafico n. 3, insieme all'andamento in funzione della profondità del modulo di taglio (funzione delle stesse velocità delle onde di taglio) e del peso di volume caratteristico per ogni livello modellizzato.

Il passo successivo consiste nell'inserire i dati di accelerazione in funzione di intervalli di tempo, relativi ai segnali di riferimento selezionati dalla banca accelerometrica "European Strong Motion database" e forniti dal Servizio Geologico Sismico regionale. Si tratta di tre segnali, "scalati" rispetto al comune a cui si riferiscono, rappresentabili da tre accelerogrammi di progetto di cui il primo rappresenta un **sisma impulsivo** (input 000046), il secondo un **sisma con ampio contenuto in frequenze** (000126), mentre il

terzo è costituito da un **sisma con componente predominante alle alte frequenze** (000354).

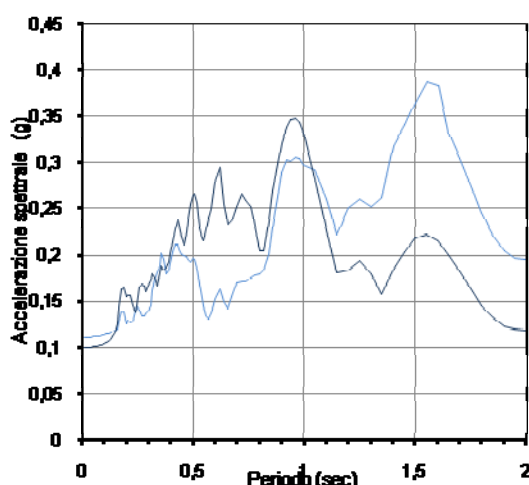
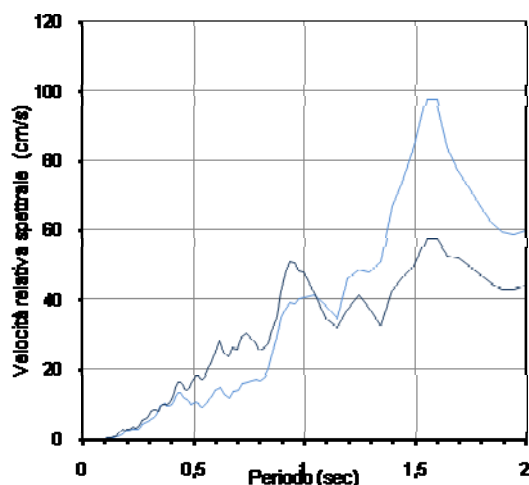
SEGNALI DI RIFERIMENTO CONSIDERATI

Segnali di riferimento selezionati dalla banca accelerometrica “EUROPEAN STRONG MOTION DATABASE”:

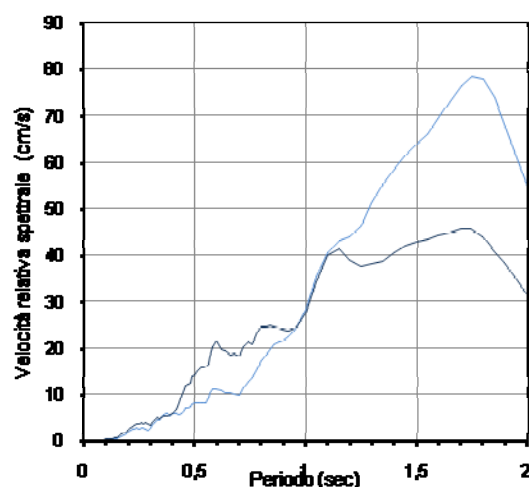
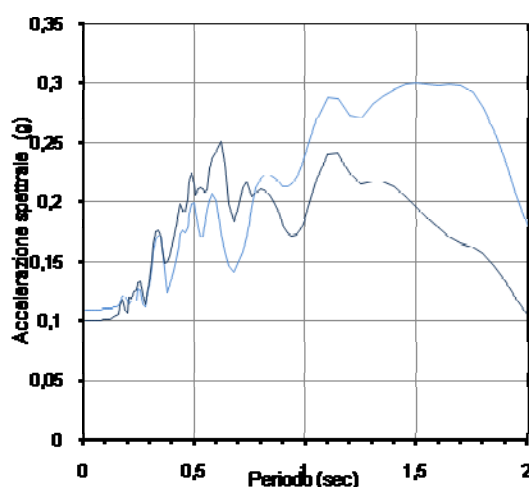
- INPUT 000046 SISMA IMPULSIVO
- INPUT 000126 SISMA CON AMPIO CONTENUTO IN FREQUENZE
- INPUT 000354 SISMA CON COMPONENTE PREDOMINANTE ALTE FREQUENZE

CALCOLO DELL'AMPLIFICAZIONE

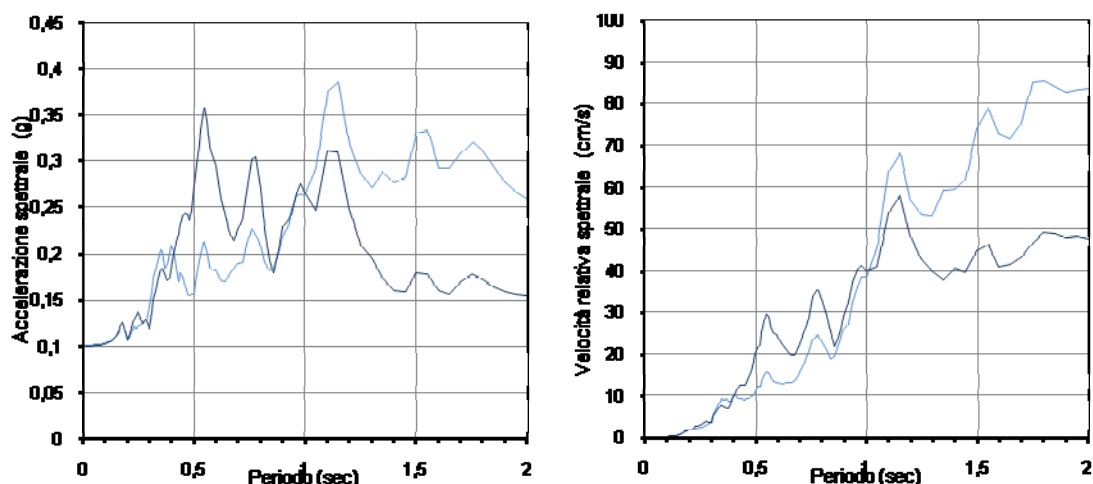
INPUT 000046



INPUT 000126



INPUT 000354



RISULTATI OTTENUTI

Considerando, secondo la normativa NNTC 2008, un valore di PGA_0 attesa per il territorio comunale di S. Prospero s.S., si deducono tali valori:

	Input 0046	Input 0126	Input 0354	MEDIA
PGA_0 da NTC 2008	0.154 g	0.154 g	0.154 g	0.154 g
PGA	0.274 g	0.285 g	0.242 g	0.267 g
F.A. di PGA	1.77	1.85	1.57	1.73
F.A. S.I. [$0.1 < T(s) < 0.5$]	2.34	3.15	2.45	2.64
F.A. S.I. [$0.1 < T(s) < 0.5$]	2.20	2.95	2.20	2.45

4.7 STIMA DEI CEDIMENTI PERMANENTI POST-SISMICI

In accordo con l'art.16, comma 1 della LR 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "*Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*" (Proposta dalla Giunta regionale in data 10 gennaio 2007, n.1), è stata eseguita una **stima dei cedimenti permanenti post-sismici** del terreno di fondazione (Allegato A3 della sopracitata normativa).

Il calcolo dei cedimenti sismici è stato effettuato per l'area in studio, tenendo conto dei valori di portanza media calcolata per i primi 10.0 metri di profondità da p.c., dal momento che la nuova struttura in progetto avrà una quota di imposta piuttosto superficiale.

Per la zona da indagare è stata considerata la verticale di prova CPT eseguita in sito, per la quale sono stati considerati solo i depositi coesivi poiché la verticale considerata è composta in prevalenza da tali depositi, che si ritengono quindi più significativi per la stima dei cedimenti.

Per ogni strato così individuato è stato eseguito il calcolo dei cedimenti post-sismici.

1 – Cedimenti post sismici nei Terreni coesivi

Per quanto riguarda infine i **depositi coesivi**, la stima dei cedimenti è stata eseguita in accordo con quanto prescritto al **punto (E)** dell' Allegato A3.

L'espressione utilizzata per il calcolo dei cedimenti post-sismici è dunque la seguente:

$$\Delta H = H \frac{\alpha C_r}{1+e_0} \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

dove: H = spessore dello strato considerato;

α = costante sperimentale, assunta, in prima approssimazione, uguale a 1;

e_0 = indice dei vuoti iniziale (da prove edometriche eseguite su analoghi litotipi, prelevati nelle immediate vicinanze del lotto è stato ottenuto il valore di: $e_0 = 0.78$);

C_r = indice di riconsolidazione postciclica: $C_r = 0.225 C_c$;

C_c = indice di compressione (da prove edometriche eseguite su analoghi litotipi, prelevati nelle immediate vicinanze del lotto è stato ottenuto il valore di: $C_c = 0.16$);

$\Delta u/\sigma'_0$ = rapporto di pressione interstiziale (r_u), è stato valutato con la Tabella 2 riportata di seguito, in funzione della deformazione massima T_{max} indotta dal terremoto, dove:

$$T_{max} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d \frac{1}{MSF};$$

con:

a_{max} = accelerazione sismica massima;

g = accelerazione di gravità = 980.7 cm/s²;

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

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

r_d = coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutabile secondo il seguente schema:

$r_d = 1 - 0.00765z$ per $z \leq 9.15$ m

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \text{ per } 9.15 < z \leq 23 \text{ m}$$

$$r_d = 0.774 - 0.008z \text{ per } 23 < z \leq 30 \text{ m}$$

$$r_d = 0.5 \text{ per } z > 30 \text{ m}$$

MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma.

Verticale prova CPT n. 1

1° STRATO: da -1,00 m a -5,00 m (H = 4,00 m)

Terreni coesivi

Si ottiene un valore di $T_{\max} \% = 2 \cdot 10^{-1}$, da cui $r_u = 0,6$

Ne consegue: $\Delta H = 3.2 \text{ cm}$

In corrispondenza della verticale di prova CPT eseguita in sito si ottiene un **cedimento totale post-sismico, calcolato da -1,00 a -5,00 m da p.c. e ipotizzando la presenza della falda freatica, pari a 3.30 cm.**

4.8 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE - VERIFICA DELLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU) – PAR.6.4 DM 14/01/08

In relazione a quanto esposto nel D.M. 14 Gennaio 2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, si procede alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (SLU).

Nelle verifiche agli stati limite si distinguono:

- EQU: stato limite di equilibrio come corpo rigido;
- STR: stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione;
- GEO: stato limite di resistenza del terreno.

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

Dove: Ed = valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni;

Rd = valore di progetto della resistenza del terreno.

Per quanto riguarda le azioni, i relativi coefficienti parziali γ_F sono indicati nella seguente tabella:

CARICHI	EFFETTO	Coeff. Parziale γ_F (o γ_F)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Variabili	Favorevole	Y _{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
⁽¹⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti					

Tab. n. 4.3.1: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

Nella **Tab. n. 4.3.1** il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} = coefficiente parziale del peso proprio della struttura;

γ_{G2} = coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili.

Si precisa che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

La **resistenza** R_d del terreno può essere determinata:

- 1) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella seguente tabella e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R relativi al particolare tipo di opera:

Parametro cui applicare il coefficiente parziale		Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Descrizione	Simbolo			
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,00	1,00

Tabella 4.3.2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

- 2) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati delle prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R relativi al particolare tipo di opera;
- 3) sulla base di misure dirette effettuate su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R relativi al particolare tipo di opera.

Si precisa che per le rocce ed i materiali lapidei, al valore caratteristico della resistenza a compressione uniassiale q_u , deve essere applicato un coefficiente parziale $\gamma_{qu} = 1,6$.

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali.

La verifica nei confronti degli stati limite ultimi viene effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

- a) SLU di tipo geotecnico (GEO):
 - Collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
 - Collasso per scorrimento sul piano di posa;
 - Stabilità globale.
- b) SLU di tipo strutturale (STR):
 - Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali, accertando che la condizione $E_d \leq R_d$ sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.
 - Stabilità globale, utilizzando la combinazione "2" (A2+M2+R2) e tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze globali
- c) Le rimanenti verifiche devono essere effettuate seguendo almeno uno dei seguenti approcci (ed utilizzando i valori dei coefficienti parziali):
 - **Approccio 1:** Combinazione 1 (A1+M1+R1)
Combinazione 2 (A2+M2+R2)
 - **Approccio 2:** Combinazione (A1+M1+R3)

VERIFICA	COEFF.PARZIALE (R1)	COEFF.PARZIALE (R2)	COEFF.PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Tabella 4.3.3 : Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

Nel nostro caso specifico, per quanto riguarda le **opere di fondazione**, nelle verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi è stato calcolato l' **SLU sia a breve che a lungo termine** per l'intervento in progetto, utilizzando i seguenti approcci di calcolo:

1) Approccio 1 - combinazione 2 (A2 + M2 + R2);

2) Approccio 2 - combinazione (A1 + M1 + R3).

Utilizzando quindi **l'Approccio 1, combinazione 2 (A2+M2+R2)** lo stato limite ultimo nel caso in esame, ottenuto in condizioni "non drenate" dove $C_u \neq 0$ e $\phi = 0$, applicando il coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata, secondo la seguente

relazione $C_{ud} = C_{uk} / 1.4$, dove C_{ud} = coesione non drenata di progetto e C_{uk} = coesione non drenata caratteristica, sarà pari a:

Carico limite ultimo SLU - Breve Termine – Condizioni non drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
- 1.00 m da p.c.	1.20 m x 5.00 m	1.27 kg/cm ² \approx 127 kN/m ²

Utilizzando sempre **l'Approccio 1, combinazione 2 (A2 + M2 + R2)** si è calcolato lo stato limite ultimo, in condizioni “drenate”, dove $C' = 0$ e $\phi' \neq 0$, considerando un **angolo di attrito caratteristico** del valore $\phi'k = 23^\circ$. Applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la relazione: $\tan \phi'd = \tan \phi'k / 1.25$, dove $\phi'd$ è l'angolo d'attrito di progetto, ne deriva il seguente valore ridotto: $\phi'd \approx 19^\circ$. Quindi secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto uno stato limite ultimo pari a:

Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
- 1.00 m da p.c.	1.20 m x 5.00 m	0.95 kg/cm ² \approx 95 kN/m ²

Utilizzando invece **l'Approccio 2, combinazione (A1+M1+R3)** il carico limite ultimo nel caso in esame, ottenuto in condizioni “non drenate” dove $C_u \neq 0$ e $\phi = 0$, applicando il coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata secondo la seguente relazione $C_{ud} = C_{uk} / 1.0$, per cui si avrà $C_{ud} = C_{uk}$, dove C_{ud} = coesione non drenata di progetto e C_{uk} = coesione non drenata caratteristica, Sarà pari a:

Carico limite ultimo SLU - Breve Termine – Condizioni non drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
- 1.00 m da p.c.	1.20 m x 5.00 m	1.34 kg/cm ² \approx 134 kN/m ²

Per quanto riguarda il carico limite ultimo in condizioni “drenate”, dove $C' = 0$ e $\phi' \neq 0$, è stato considerato, sempre seguendo **l'Approccio 2, combinazione (A1 + M1 + R3)** un **angolo di attrito caratteristico** del valore $\phi'k = 23^\circ$. Applicando il coefficiente di riduzione parziale per la tangente dell'angolo di attrito secondo la relazione: $\tan \phi'd = \tan \phi'k / 1.0$, dove $\phi'd$ è l'angolo d'attrito di progetto, ne deriva, essendo $\phi'k = \phi'd$ il

seguinte valore: $\varphi'd = 23^\circ$. Quindi secondo la formula di Terzaghi si ottiene, per l'intervento in progetto uno stato limite ultimo pari a:

Carico limite ultimo SLU - Lungo Termine – Condizioni drenate

Profondità di imposta	Dimensioni della fondazione	Carico limite ultimo SLU
- 1.00 m da p.c.	1.20 m x 5.00 m	1.18 kg/cm ² \approx 1.18 kN/m ²

4.9 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio, con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano i **depositi sabbiosi saturi** e dipendono da:

- proprietà geotecniche dei terreni;
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata;
- genesi e storia geologica dei terreni;
- fattori ambientali.

Un **terreno incoerente saturo**, in assenza di sollecitazioni sismiche, è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti (in campo libero e con superficie piana).

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. Di conseguenza, maggiore è la **durata di un terremoto** (maggiore numero di cicli), più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'**ampiezza della vibrazione** e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione.

Il terreno può essere però soggetto a sforzi di taglio statici dovuti alla presenza di strutture in superficie o alla sua particolare posizione (per es. al di sotto 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.

Tanto minore è il **grado di addensamento** del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Anche la **distribuzione**, la **forma delle particelle** e il **grado di uniformità** influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso.

Per quanto riguarda la **storia delle sollecitazioni sismiche**, si può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di riliquefazione.

I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti. A parità di composizione e di altre condizioni lo stesso deposito, se più antico, avrà sviluppato legami intergranulari e cementazioni sempre più forti con il tempo.

Inoltre, la struttura di un deposito antico sarà resa più stabile e omogenea per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità.

Dopo aver caratterizzato il terreno attraverso l'interpretazione di dati da prove penetrometriche statiche CPT, è stata eseguita una stima del rischio di liquefazione di terreni sotto falda in condizioni sismiche, mediante il metodo semplificato di “**Robertson e Wride**”.

I metodi semplificati richiedono che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'*accelerazione sismica orizzontale massima* in superficie e della *magnitudo di riferimento*.

I dati del sisma di progetto sono stati ricavati attraverso l'analisi probabilistica dei dati del Catalogo Sismico Nazionale.

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

$$F_s = \frac{R}{T}.$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione se il coefficiente di sicurezza F_s sarà minore di 1.

La grandezza T dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto). R è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche statiche.

La grandezza T viene ricavata attraverso la relazione:

$$T = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d \frac{1}{MSF};$$

dove:

a_{\max} = accelerazione sismica massima;
 g = accelerazione di gravità = 980.7 cm/s²;
 σ_{v0} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;
 σ'_{v0} = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;
 r_d = coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutabile secondo il seguente schema:
 $r_d = 1 - 0.00765z$ per $z \leq 9.15$ m
 $r_d = 1.174 - 0.0267z$ per $9.15 < z \leq 23$ m
 $r_d = 0.774 - 0.008z$ per $23 < z \leq 30$ m
 $r_d = 0.5$ per $z > 30$ m

MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma.

Il metodo di **Robertson e Wride** permette di correlare la resistenza al taglio R mobilitata nel terreno con i risultati delle prove penetrometriche statiche (CPT). La procedura di calcolo si basa sulle due seguenti equazioni:

$$R = 0.883 \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right] + 0.05 \quad \text{per } (q_{c1n})_{cs} < 50 \text{ e}$$

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

La grandezza $(q_{c1n})_{cs}$ rappresenta la resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente.

Viene considerato **non** liquefacibile un deposito in cui sia $F_s > 1$.

Calcolo dell'indice di liquefacibilità

Una stima del rischio di liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione IL . Tale indice viene definito dalla seguente relazione:

$$IL = \sum_{i=1}^n FW(z)\Delta z$$

dove:

n = numero degli intervalli di calcolo di Fs lungo la verticale;

F = 1-Fs per Fs≤1 e F = 0 per Fs>1;

Δz = spessore dell'intervallo di calcolo;

W(z) = 10 – 0,5z, con z = profondità di calcolo (massimo 20 m).

In base al valore di IL ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione attraverso la seguente tabella:

IL	Rischio di liquefazione
IL=0	Molto basso
0<IL≤5	Basso
5<IL≤15	Alto
15<IL	Molto alto

Nel nostro caso la verifica a liquefazione è stata eseguita, in via cautelativa, considerando una **magnitudo di riferimento M = 6** che corrispondono ai valori massimi registrati durante gli eventi sismici che hanno colpito il territorio emiliano a partire dal 20 maggio 2012. e un'accelerazione sismica di progetto **a_g = 0.267g** (secondo le NTC 2008);

Considerando, poi, la soggiacenza della falda freatica, pari a **Dw = - 2.00 m** da p.c., è stato ottenuto un valore di **IL = 0.0**, indice di un **rischio di liquefazione “molto basso”** (Allegato n.5).

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione, redatta ai sensi del D.M. 14 Gennaio 2008 “Nuove Norme Tecniche per le costruzioni”, è uno studio preliminare inerente la realizzazione di strutture scolastiche provvisorie, in un lotto sito presso il campo sportivo, in Via San Geminiano, nel Comune di San Prospero S.S.(MO).

Tenendo conto dei dati ottenuti dalla prova penetrometrica CPT eseguita in sito, ed in relazione a quanto esposto nel Testo Unico Nuove Norme Tecniche per le costruzioni in zona sismica, redatto dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti edito nel Gennaio 2008, si è proceduto alla verifica nei confronti degli stati limite ultimi (SLU). Nel nostro caso specifico, per quanto riguarda le **opere di fondazione**, nelle verifiche di sicurezza

agli stati limite ultimi è stato calcolato l'SLU sia a breve che a lungo termine per l'intervento in progetto, utilizzando i seguenti approcci di calcolo:

1) Approccio 1 – combinazione 2 (A2 + M2 + R2);

2) Approccio 2 – combinazione (A1 + M1 + R3).

Si riassumono nella seguente tabella i valori di portanza del terreno di fondazione sia calcolati alle tensioni ammissibili **TA (con F.S. = 3)** che agli stati limite ultimi **SLU ipotizzando fondazioni superficiali nastriformi in c.a., approfondite alla quota D = - 1.00 m da p.c..**

FONDAZIONI SUPERFICIALI NASTRIFORMI IN C.A. (IPOTESI)

T.A. F.S. = 3	SLU – APPROCCIO 1 (A2 + M2 + R2) – F.S.= 1.8		SLU – APPROCCIO 2 (A1 + M1 + R3) – F.S.= 2.3	
	Condizioni non drenate	Condizioni drenate	Condizioni non drenate	Condizioni drenate
Kg/cm ² 100 kN/m ²	1.27 kg/cm ² ≈ 127 kN/m ²	0.95 kg/cm ² ≈ 95 kN/m ²	1.34 kg/cm ² ≈ 134 kN/m ²	1.18 kg/cm ² ≈ 118 kN/m ²

Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica del terreno di fondazione, l'indagine sismica a rifrazione con metodo Re.Mi e l'indagine sismica passiva HVSR eseguite in sito hanno permesso di determinare la velocità delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m restituendo i seguenti valori:

Indagine Re.Mi	Vs30 = 222 m/s
Indagine HVSR	Vs30 = 206 m/s

In base a tali risultati, e sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (**D.M. 14 Gennaio 2008**), si classifica il terreno di fondazione in esame come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero con valori di $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < Cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

Inoltre, sulla base della classificazione nazionale che fa ricadere l'area in esame in classe 3, il valore di a_g , espresso come **frazione dell'accelerazione di gravità g**, da adottare in tale classe era pari ad **$a_g = 0.15g$** .

Sempre sulla base dei contenuti del **D.M. 14/01/2008** "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g in relazione ad un tempo di riferimento T_R stimato di 712 anni (SLV per classe d'uso 3,

corrispondente ad affollamento significativo); identificato (**sistema ED 50**) dalle seguenti coordinate geografiche: Latitudine: 44.787777°, Longitudine 11.028091°, tale parametro è risultato pari ad **a_g attesa= 0.182g**.

Tale valore di accelerazione sismica orizzontale **a_g** si riferisce al *bedrock*; dopo gli opportuni calcoli il valore di **a_g** in superficie è risultato: **$A_{max} = 0.258g$** .

Si sono, inoltre, eseguiti gli studi di microzonazione sismica, ai sensi della D.A.L. della Regione Emilia Romagna n.112/2007, i cui risultati sono riportati nei paragrafi 4.3, 4.4, 4.5.

La verifica alla liquefazione, eseguita secondo il metodo di **Robertson e Wride**, ha fornito un valore di “**indice di liquefacibilità**” **$IL = 0.0$** , segno di un **rischio di liquefazione “molto basso”**, considerando una magnitudo di riferimento **$M = 6$** (si veda § 4.7).

A disposizione per ulteriori chiarimenti cogliamo l'occasione per porgere distinti saluti.

Modena, 06 luglio 2012

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



GEO GROUP s.r.l.

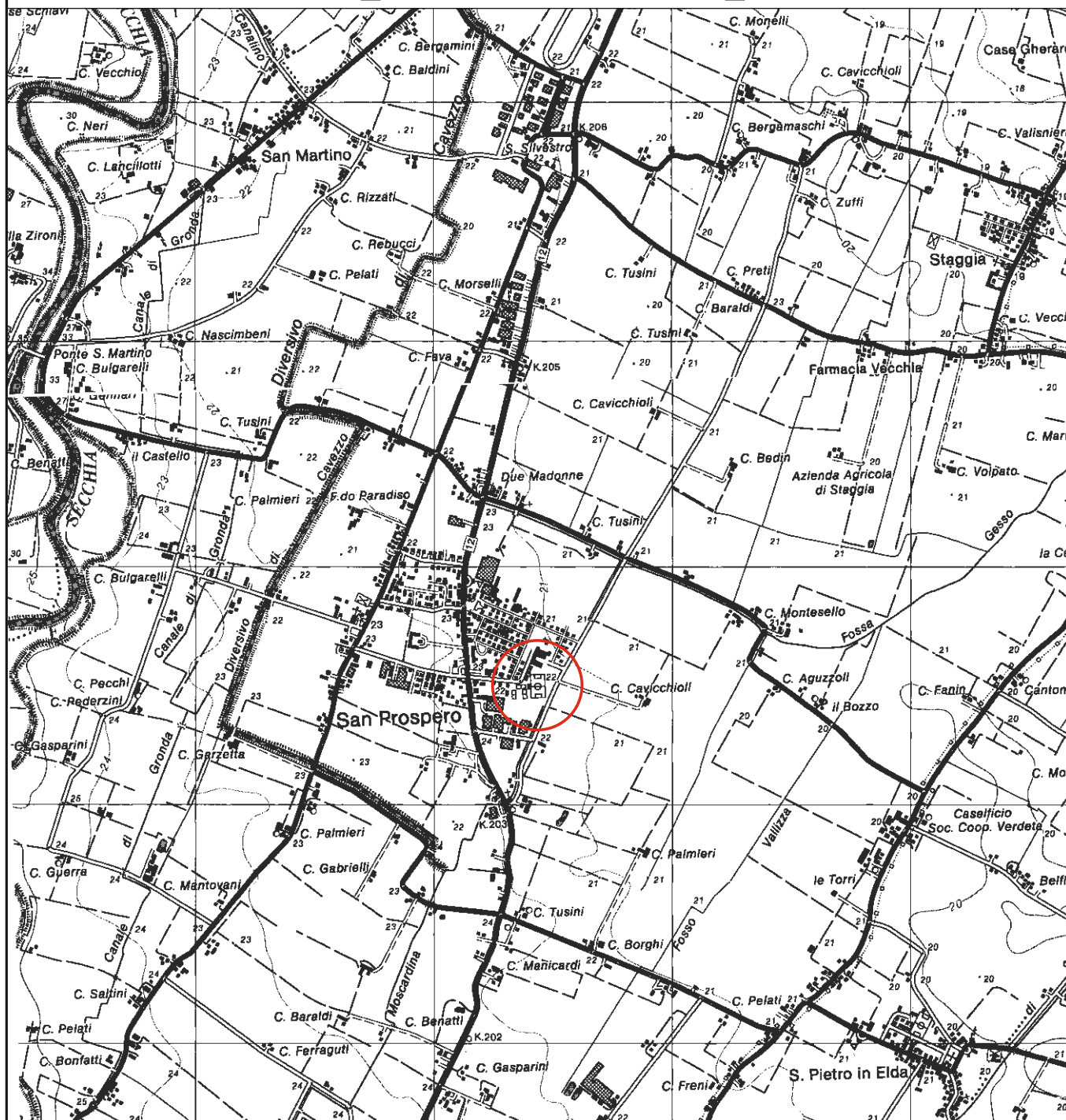
Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

Tavole

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019 - E-mail: geo.group@libero.it

Tavole ctr. n. 184_SO, Mirandola e n. 202_NO, Crevalcore



Tav. n. 1 "Carta Corografica"

Scala 1: 25000



Legenda

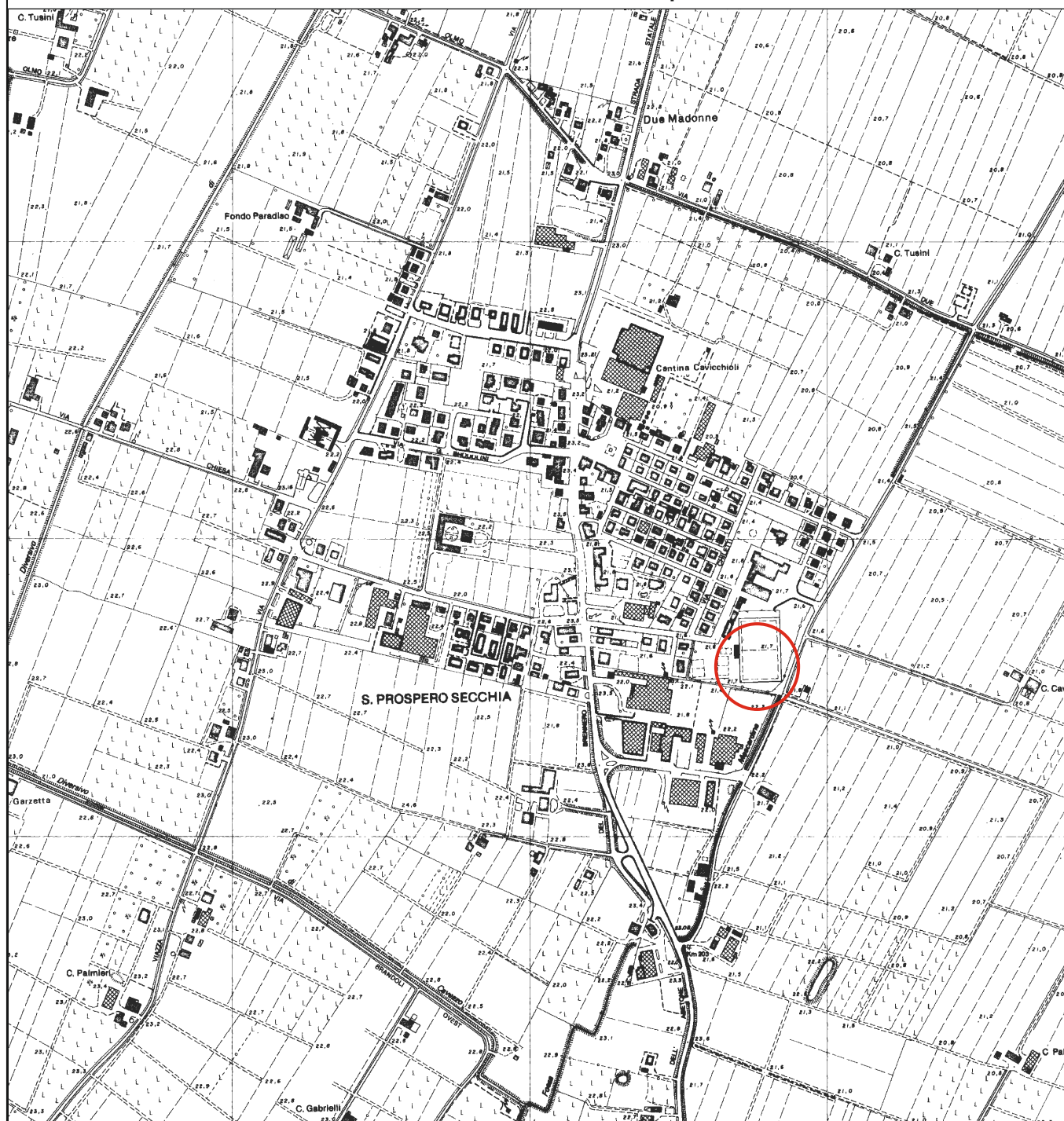


Area di interesse

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it

Sezione CTR n° 202010- S. Prospero Secchia



Tav. n. 2 "Carta topografica"

Scala 1: 10000



Legenda



Area di interesse

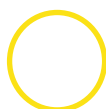
GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



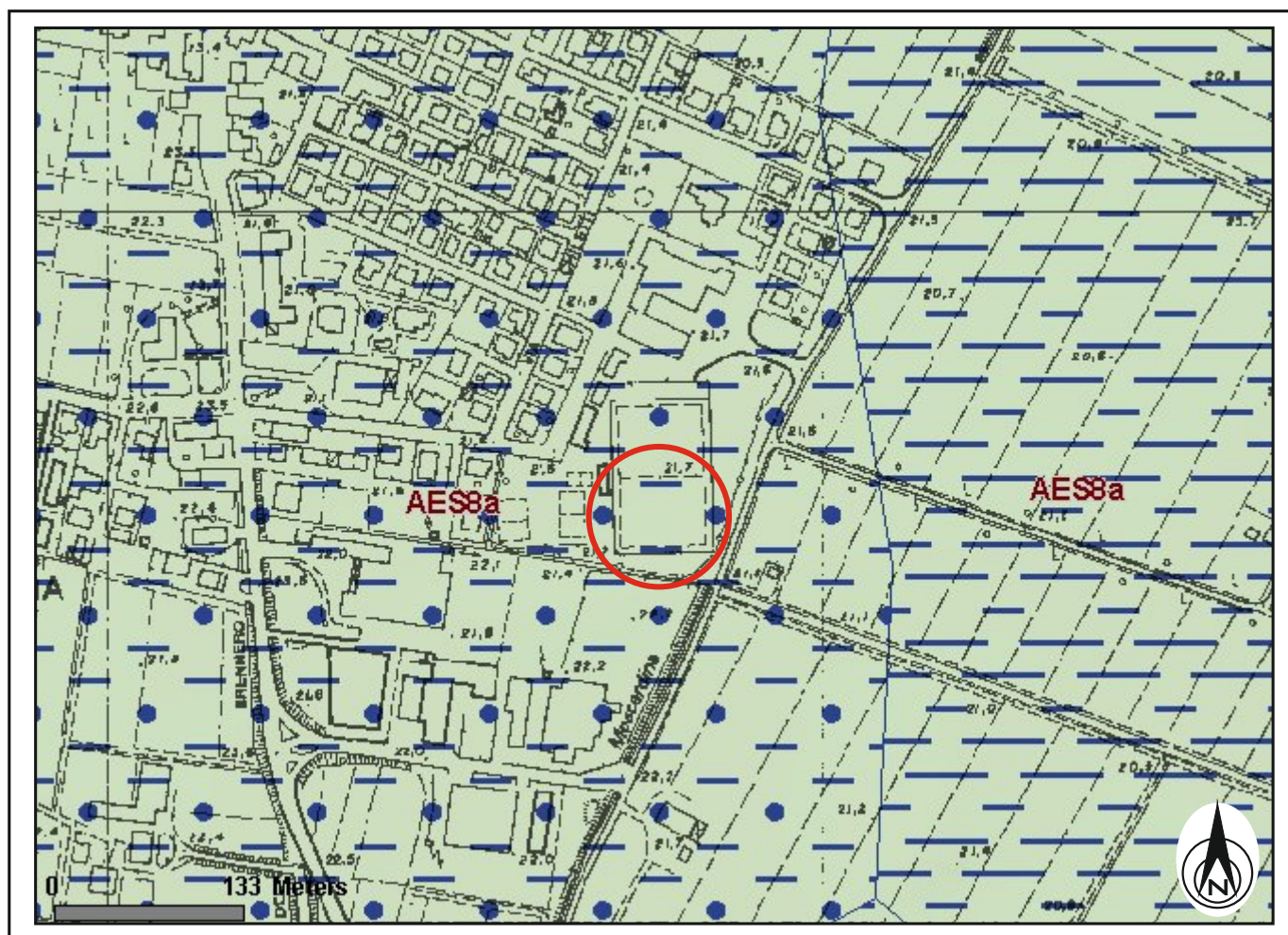
Tav. n. 3 “Ripresa fotografica generale dell’area di interesse”

(tratta da “Bing Maps”)
Scala grafica



Area oggetto di studio





Tav. n. 4 “Carta della litologia di superficie”

Scala 1: 5000

Legenda



Area di interesse

AES8a - Unità di Modena



Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione. (Età: *Post-VI secolo d.C.*) *Litofacies: limoso-sabbiosa*

AES8a - Unità di Modena

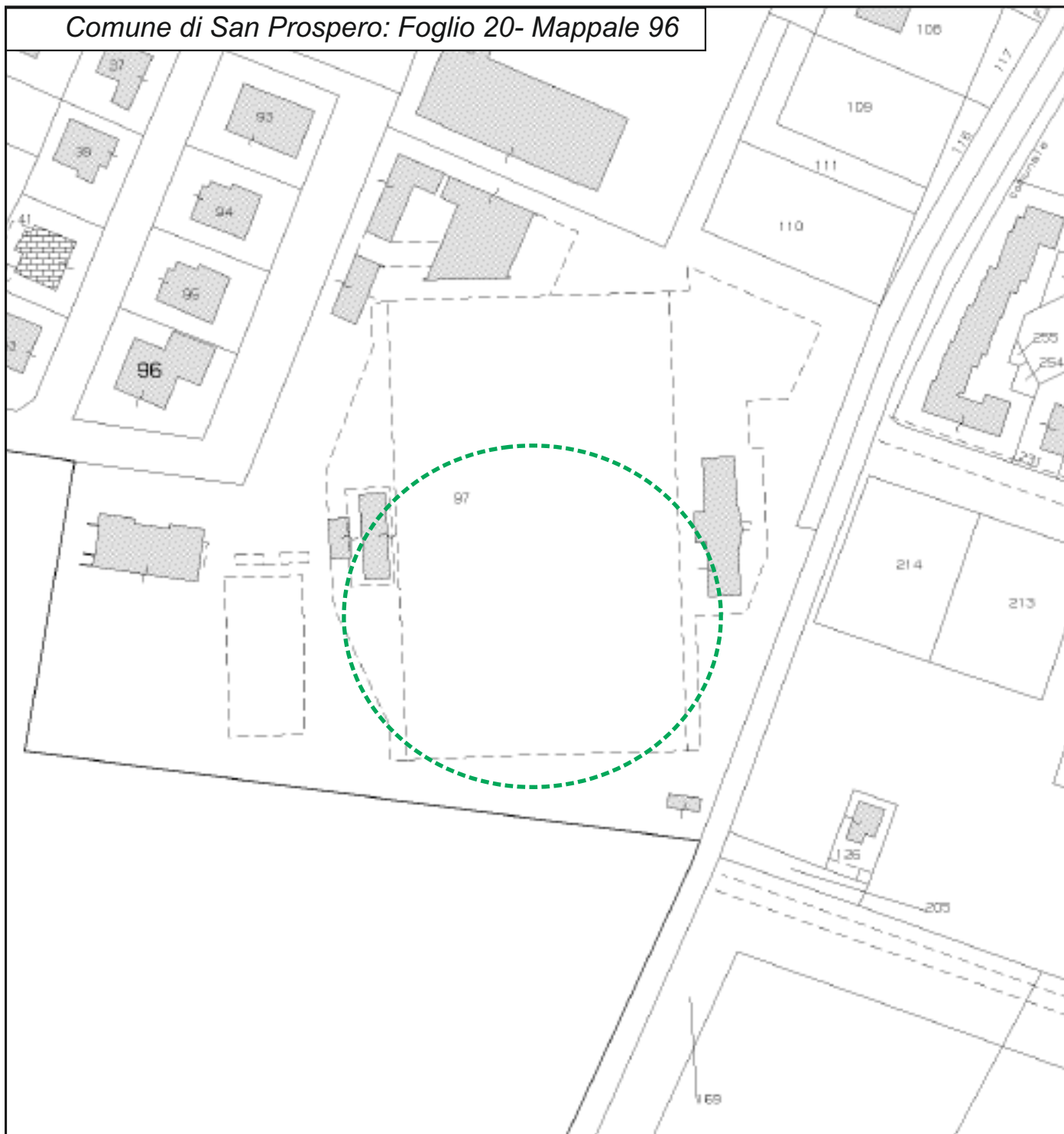


Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione. (Età: *Post-VI secolo d.C.*) *Litofacies: limoso-argillosa*

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it

Comune di San Prospero: Foglio 20- Mappale 96



Tav. n. 5 “Planimetria catastale”

Scala 1: 2000



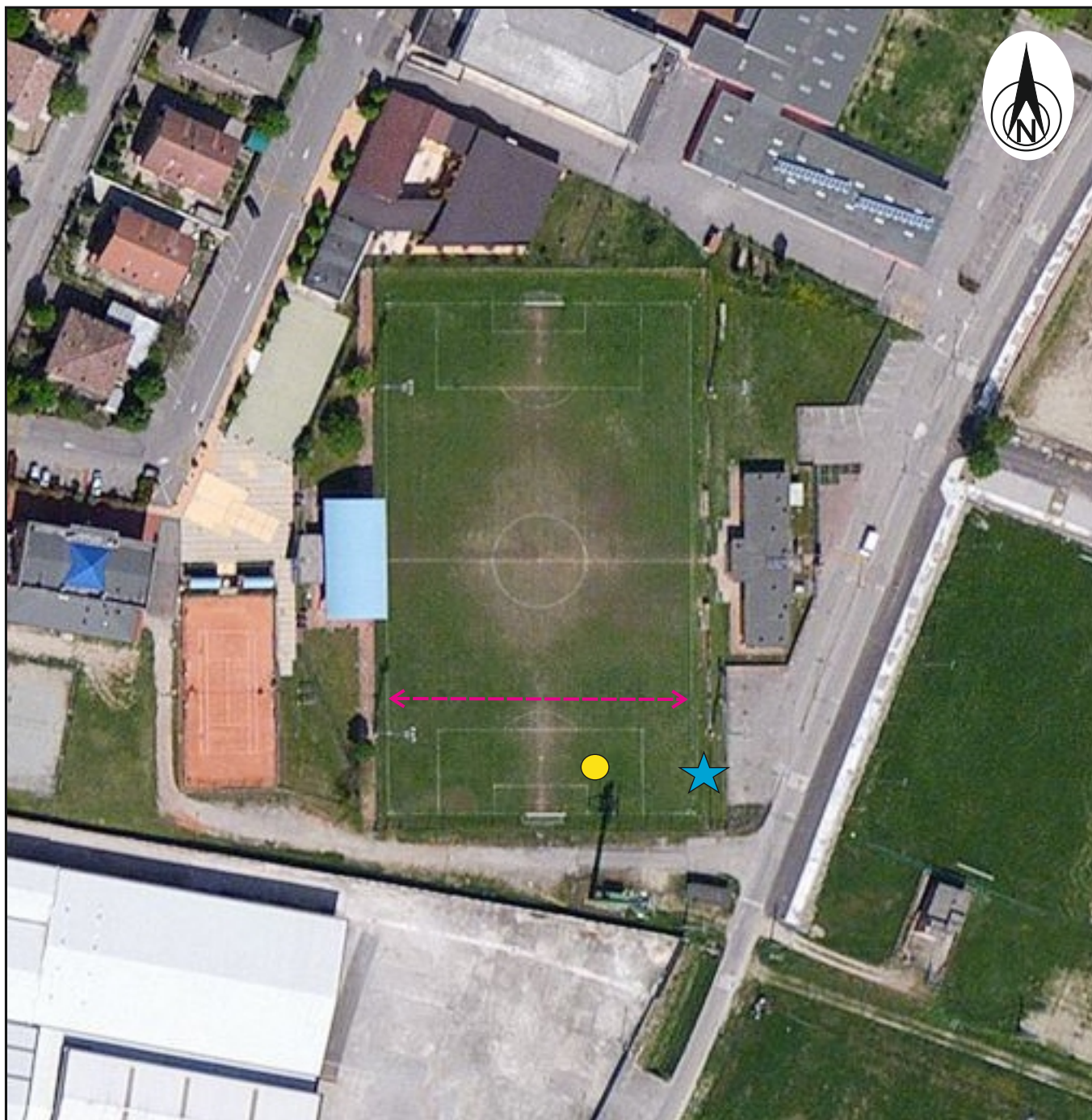
Legenda



Area di interesse




GEO GROUP S.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



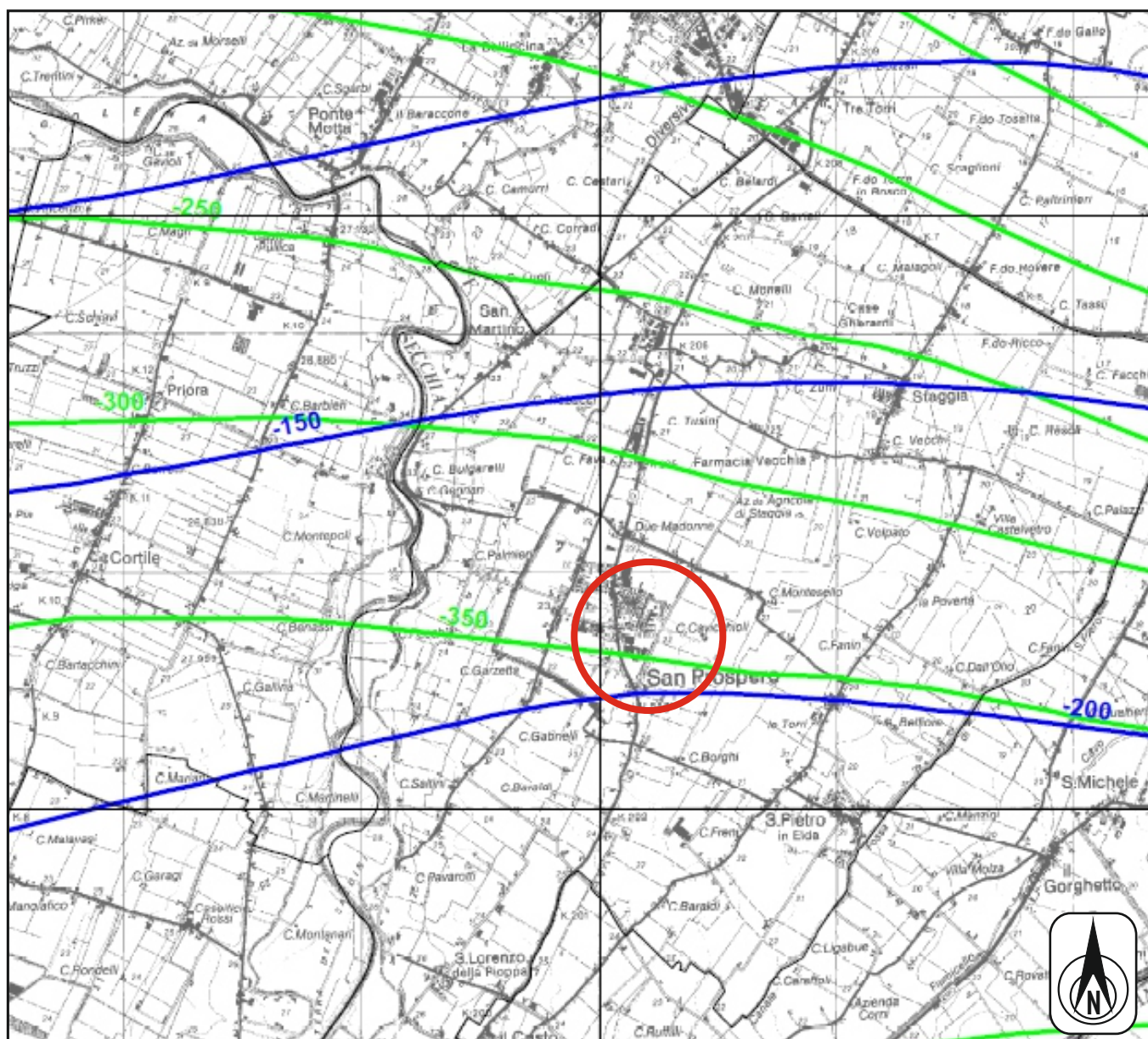
Tav. n. 6 “Indagini geognostiche” Scala grafica

Legenda

-  prove penetrometriche statiche CPT
-  indagine sismica HVSR
-  indagine sismica Re.Mi

GEO GROUP s.r.l.


Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it





Tav. n. 7 “Depositi del sottosuolo che influenzano il moto sismico in superficie

Scala grafica

Legenda

 Area di interesse

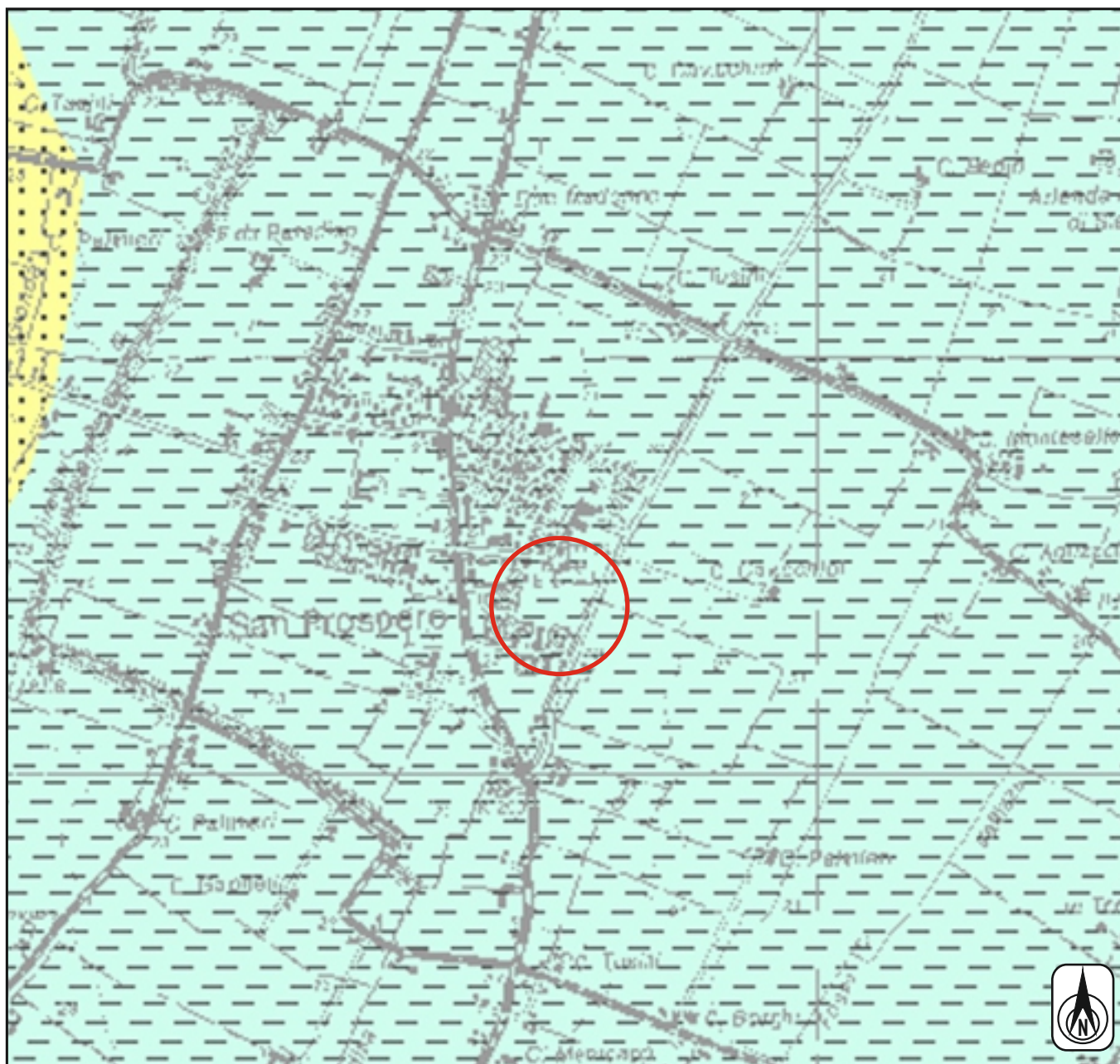
	successioni alluvionali prevalentemente fini (argille e limi)
 150	isobate della base del ciclo alluvionale superiore / tetto del ciclo alluvionale inferiore (con indicazione della quota riferita al livello medio del mare)
 150	isobate della base dei depositi alluvionali / tetto substrato marino (con indicazione della quota riferita al livello medio del mare)

(Tratta dalla Tavola 3 del Quadro Conoscitivo del PTCP)

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



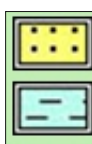
Tav. n. 8 «Carta delle aree potenzialmente soggette
ad effetti locali»

Scala grafica

Legenda



Area di interesse



Sabbie di canale

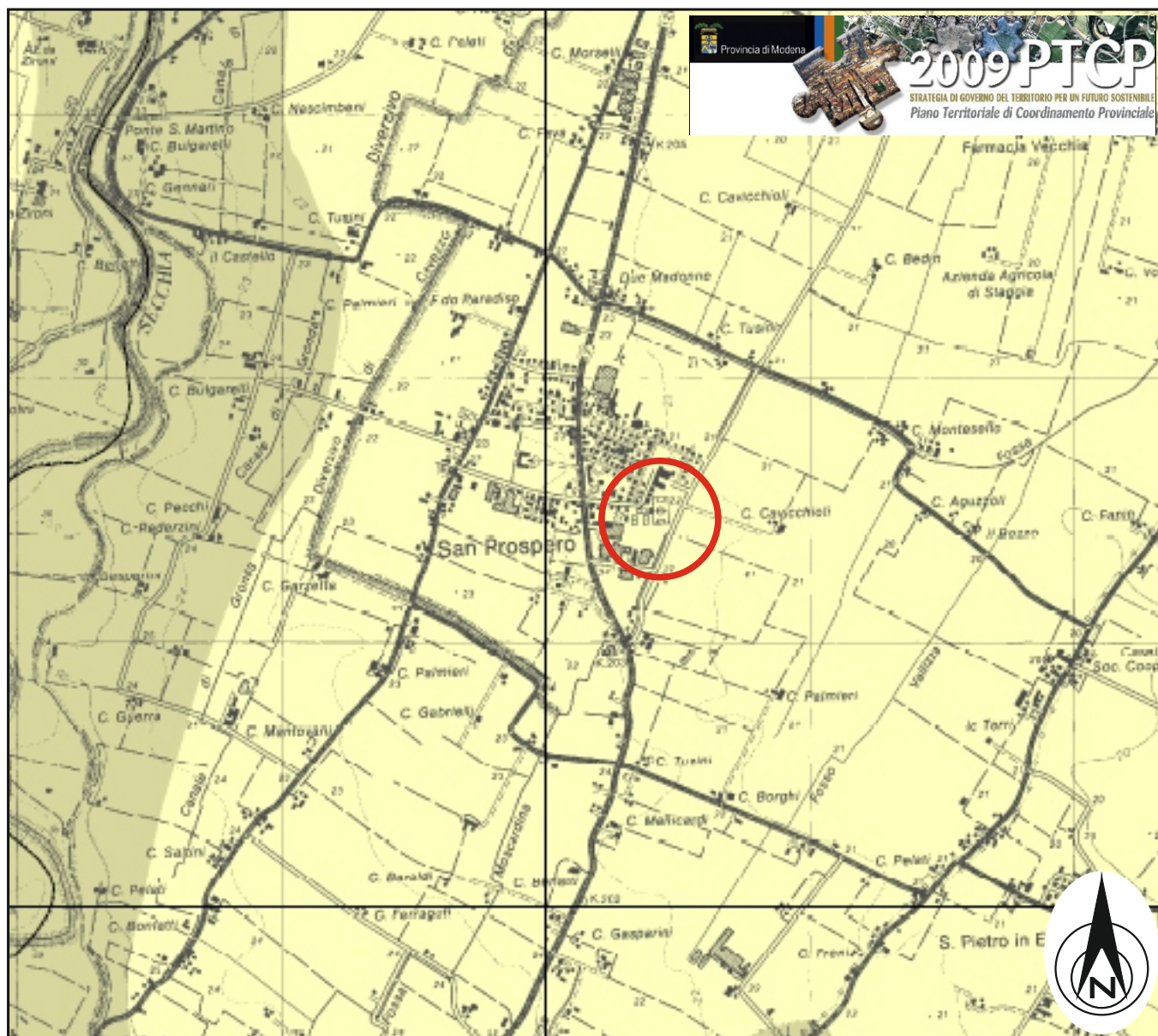
Limi e argille (peliti) di piana alluvionale

(Tratta dalla tavola 2a del Quadro conoscitivo del PTCP)

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche


182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: geo.group@libero.it



Tav. n. 9 "Rischio Sismico - Carta delle aree suscettibili di effetti locali"

Scala grafica

Legenda

 Area d'interesse

7	Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione <u>studi</u> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi; <u>microzonazione sismica</u> : approfondimenti di III livello.
8	Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti <u>studi</u> : valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi; <u>microzonazione sismica</u> : sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti.

(Tratta dalla Carta 2.2 del PTCP)

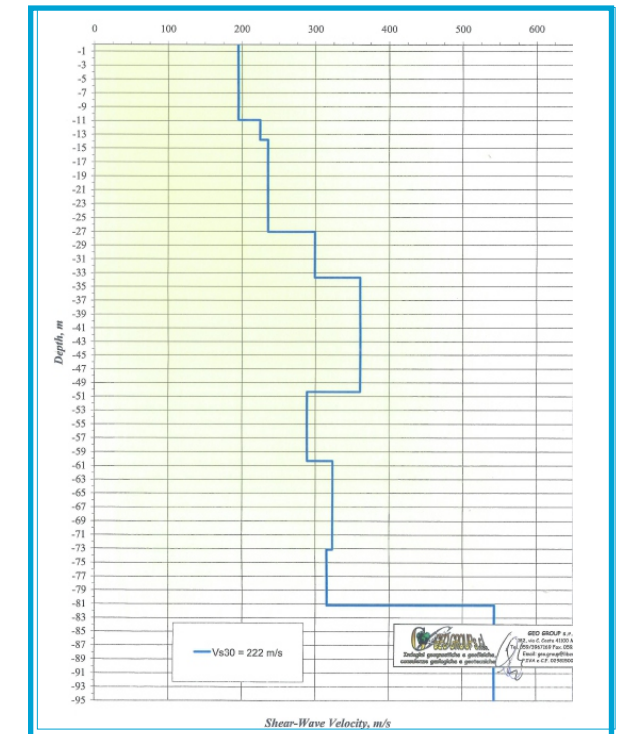
Tav. n. 10 “Carta di Microzonazione Sismica”

L.R. 20/2000 D.A.L. 112/07

scala grafica



Indagine Sismica Re.Mi



All. A2 Art.16 c.1 della L.R. 20/2000

PIANURA 2: caratterizzata da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decacimetrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche di decine di metri), con substrato profondo

Il livello di approfondimento

FATTORE DI AMPLIFICAZIONE F.A. MEDIO

F.A. PGA = 1.5

(PGA accelerazione massima orizz. alla superficie)

F.A. (intensità spettrale 0.1s<To< 0.5s) = 1.8

F.A. (intensità spettrale 0.5s<To< 1.0s) = 2.3

III livello di approfondimento

FATTORE DI AMPLIFICAZIONE F.A. MEDIO

Foglio di calcolo EERA

F.A. PGA = 1.73

(PGA accelerazione massima orizz. alla superficie)

F.A. (intensità spettrale 0.1s<To< 0.5s) = 2.64

F.A. (intensità spettrale 0.5s<To< 1.0s) = 2.45

CALCOLO DEI CEDIMENTI POST SISMICI

ΔH=3,2 cm

MICROAREA INDAGATA:
Valutazione del coefficiente di amplificazione
litologico e dei cedimenti post-sismici

Indagine sismica Re.Mi:

$$V_{s30} = \frac{30}{S h_i / v_{si}} = 222 \text{ m/s}$$



area indagata



Indagine sismica Re.Mi



Prove penetrometriche statiche CPT



Indagine sismica passiva HVSR

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 1

Prove penetrometriche statiche CPT corredate di interpretazione geotecnica

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:
GOUDA 200 kN -

Caratteristiche:

- punta conica meccanica \varnothing 35.7 mm, area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura: $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ($\varnothing = 35.7 \text{ mm}$ - $h = 133 \text{ mm}$ - $A_m = 150 \text{ cm}^2$)
- 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 $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta: $q_c \text{ (MPa)} = (L_1) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale: $f_s \text{ (kPa)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale : $R_t \text{ (kPa)} = (L_t) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta (fase 1)
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- Terza lettura = 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 CT .

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

CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N \approx 100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N \approx 100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m² = 1.000 kN/m² = 1000 kPa \approx 100 t/m² = 10 kg/cm²

1 kg/cm² = 10 t/m² \approx 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 MPa

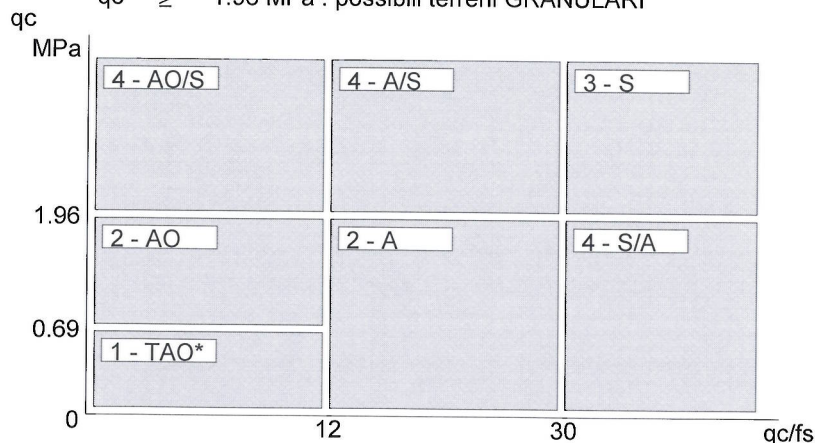
1 t = 1000 kg \approx 10 kN

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

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

$q_c \leq 1.96 \text{ MPa}$: possibili terreni COESIVI
 $q_c \geq 1.96 \text{ MPa}$: possibili terreni GRANULARI

anche se $(q_c / f_s) > 30$
anche se $(q_c / f_s) < 30$



NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIM.
- 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' - q_c - 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 - q_c]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. : Eu - C_u - OCR - I_p I_p = ind.plast.]
Eu50 - Eu25 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' - q_c]
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 ed altri 1983)
- Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : Mo - q_c - natura]
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- Dr = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : Dr - Rp - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - Dr - q_c - σ'_{vo})
 - ϕ'_{Ca} - Caquot (1948) ϕ'_{Ko} - Koppejan (1948)
 - ϕ'_{DB} - De Beer (1965) ϕ'_{Sc} - Schmertmann (1978)
 - ϕ'_{DM} - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) ϕ'_{Me} - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (A_{max}/g) - Dr]
- Vs = velocità di propagazione delle onde sismiche (Iyisan 1996)

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT	1
riferimento	190-2012
certificato n°	5217

Committente: Studio tecnico	U.M.: MPa	Data exec.: 03/07/2012
Cantiere: Studio terreno di fondazione	Pagina: 1/4	Data certificato: 04/07/2012
Località: S.Prospiero s.S., Via s.Geminiano	Elaborato:	Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.00	0.00		0.00	0.00			15.20	24.00	37.00		2.35	47.00	51	2.0
0.40	0.00	0.00		0.00	80.00	0		15.40	27.00	34.00		2.65	127.00	21	4.7
0.60	20.00	32.00		1.96	220.00	9	11.0	15.60	16.00	35.00		1.57	80.00	20	5.0
0.80	120.00	153.00		11.76	133.00	90	1.1	15.80	19.00	31.00		1.86	107.00	18	5.6
1.00	130.00	150.00		12.74	113.00	115	0.9	16.00	16.00	32.00		1.57	93.00	17	5.8
1.20	26.00	43.00		2.55	187.00	14	7.2	16.20	32.00	46.00		3.14	140.00	23	4.4
1.40	25.00	53.00		2.45	60.00	42	2.4	16.40	36.00	57.00		3.53	200.00	18	5.6
1.60	10.00	19.00		0.98	87.00	11	8.7	16.60	23.00	53.00		2.25	140.00	16	6.1
1.80	10.00	23.00		0.98	53.00	19	5.3	16.80	23.00	44.00		2.25	127.00	18	5.5
2.00	9.00	17.00		0.88	13.00	69	1.4	17.00	22.00	41.00		2.16	113.00	19	5.1
2.20	15.00	17.00		1.47	67.00	22	4.5	17.20	22.00	39.00		2.16	120.00	18	5.5
2.40	17.00	27.00		1.67	67.00	25	3.9	17.40	23.00	41.00		2.25	107.00	21	4.7
2.60	12.00	22.00		1.18	73.00	16	6.1	17.60	18.00	34.00		1.76	93.00	19	5.2
2.80	14.00	25.00		1.37	73.00	19	5.2	17.80	14.00	28.00		1.37	180.00	8	12.9
3.00	16.00	27.00		1.57	93.00	17	5.8	18.00	33.00	60.00		3.23	247.00	13	7.5
3.20	16.00	30.00		1.57	80.00	20	5.0	18.20	53.00	90.00		5.19	67.00	79	1.3
3.40	14.00	26.00		1.37	80.00	18	5.7	18.40	58.00	68.00		5.68	127.00	46	2.2
3.60	12.00	24.00		1.18	60.00	20	5.0	18.60	66.00	85.00		6.47	167.00	40	2.5
3.80	12.00	21.00		1.18	47.00	26	3.9	18.80	83.00	108.00		8.13	160.00	52	1.9
4.00	11.00	18.00		1.08	40.00	28	3.6	19.00	22.00	46.00		2.16	160.00	14	7.3
4.20	13.00	19.00		1.27	60.00	22	4.6	19.20	18.00	42.00		1.76	113.00	16	6.3
4.40	17.00	26.00		1.67	73.00	23	4.3	19.40	20.00	37.00		1.96	113.00	18	5.7
4.60	15.00	26.00		1.47	93.00	16	6.2	19.60	19.00	36.00		1.86	120.00	16	6.3
4.80	14.00	28.00		1.37	73.00	19	5.2	19.80	16.00	34.00		1.57	107.00	15	6.7
5.00	12.00	23.00		1.18	60.00	20	5.0	20.00	19.00	35.00		1.86	87.00	22	4.6
5.20	14.00	23.00		1.37	67.00	21	4.8	20.20	27.00	40.00		2.65	187.00	14	6.9
5.40	11.00	21.00		1.08	60.00	18	5.5	20.40	32.00	60.00		3.14	200.00	16	6.3
5.60	12.00	21.00		1.18	67.00	18	5.6	20.60	27.00	57.00		2.65	60.00	45	2.2
5.80	12.00	22.00		1.18	60.00	20	5.0	20.80	31.00	40.00		3.04	120.00	26	3.9
6.00	13.00	22.00		1.27	67.00	19	5.2	21.00	27.00	45.00		2.65	120.00	23	4.4
6.20	12.00	22.00		1.18	47.00	26	3.9	21.20	22.00	40.00		2.16	93.00	24	4.2
6.40	12.00	19.00		1.18	60.00	20	5.0	21.40	19.00	33.00		1.86	87.00	22	4.6
6.60	10.00	19.00		0.98	60.00	17	6.0	21.60	19.00	32.00		1.86	120.00	16	6.3
6.80	12.00	21.00		1.18	60.00	20	5.0	21.80	18.00	36.00		1.76	120.00	15	6.7
7.00	11.00	20.00		1.08	73.00	15	6.6	22.00	21.00	39.00		2.06	100.00	21	4.8
7.20	11.00	22.00		1.08	47.00	23	4.3	22.20	25.00	40.00		2.45	87.00	29	3.5
7.40	9.00	16.00		0.88	60.00	15	6.7	22.40	22.00	35.00		2.16	73.00	30	3.3
7.60	9.00	18.00		0.88	53.00	17	5.9	22.60	20.00	31.00		1.96	80.00	25	4.0
7.80	13.00	21.00		1.27	47.00	28	3.6	22.80	27.00	39.00		2.65	153.00	18	5.7
8.00	14.00	21.00		1.37	80.00	18	5.7	23.00	36.00	59.00		3.53			
8.20	12.00	24.00		1.18	67.00	18	5.6								
8.40	16.00	26.00		1.57	80.00	20	5.0								
8.60	20.00	32.00		1.96	107.00	19	5.4								
8.80	15.00	31.00		1.47	73.00	21	4.9								
9.00	13.00	24.00		1.27	67.00	19	5.2								
9.20	17.00	27.00		1.67	80.00	21	4.7								
9.40	12.00	24.00		1.18	47.00	26	3.9								
9.60	13.00	20.00		1.27	67.00	19	5.2								
9.80	12.00	22.00		1.18	67.00	18	5.6								
10.00	15.00	25.00		1.47	47.00	32	3.1								
10.20	11.00	18.00		1.08	67.00	16	6.1								
10.40	12.00	22.00		1.18	60.00	20	5.0								
10.60	12.00	21.00		1.18	80.00	15	6.7								
10.80	13.00	25.00		1.27	73.00	18	5.6								
11.00	20.00	31.00		1.96	73.00	27	3.7								
11.20	19.00	30.00		1.86	53.00	36	2.8								
11.40	14.00	22.00		1.37	73.00	19	5.2								
11.60	17.00	28.00		1.67	87.00	20	5.1								
11.80	15.00	28.00		1.47	80.00	19	5.3								
12.00	12.00	24.00		1.18	67.00	18	5.6								
12.20	13.00	23.00		1.27	67.00	19	5.2								
12.40	18.00	28.00		1.76	93.00	19	5.2								
12.60	22.00	36.00		2.16	67.00	33	3.0								
12.80	14.00	24.00		1.37	53.00	26	3.8								
13.00	11.00	19.00		1.08	73.00	15	6.6								
13.20	16.00	27.00		1.57	60.00	27	3.8								
13.40	19.00	28.00		1.86	93.00	20	4.9								
13.60	19.00	33.00		1.86	120.00	16	6.3								
13.80	21.00	39.00		2.06	113.00	19	5.4								
14.00	18.00	35.00		1.76	113.00	16	6.3								
14.20	19.00	36.00		1.86	100.00	19	5.3								
14.40	19.00	34.00		1.86	113.00	17	5.9								
14.60	20.00	37.00		1.96	113.00	18	5.7								
14.80	18.00	35.00		1.76	113.00	16	6.3								
15.00	13.00	30.00		1.27	87.00	15	6.7								

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata
0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT

riferimento

certificato n°

1

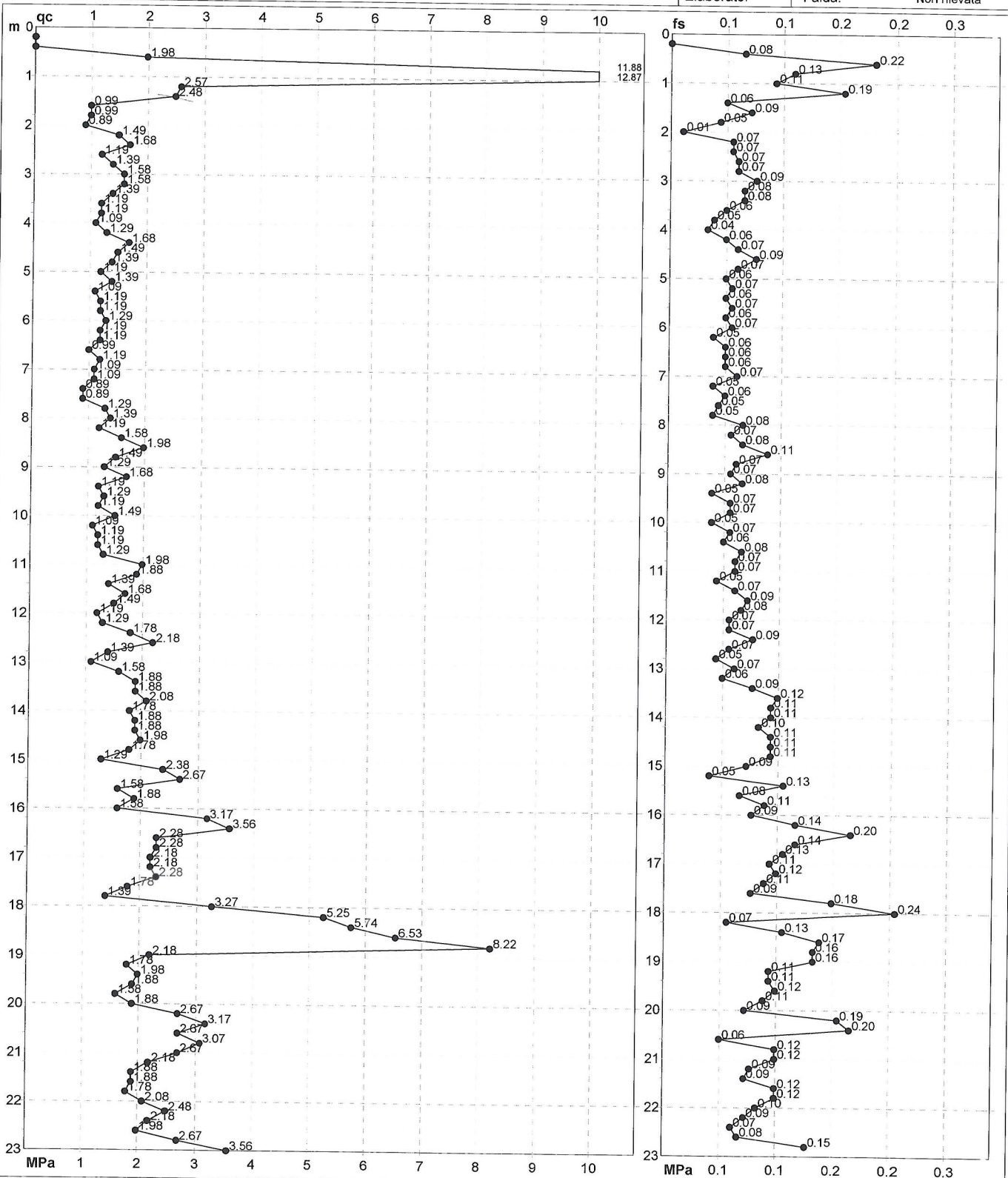
190-2012

5217

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **S.Prospiero s.S., Via s.Geminiano**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:115**
Pagina: **2/4**
Elaborato:

Data esec.: **03/07/2012**
Data certificato: **04/07/2012**
Falda: **Non rilevata**



Penetrometro: **GOUDA 200 kN**
Responsabile:
Assistente:

Preforo: **m**
Corr.astine: **kN/ml**
Corr.astine: **kN/ml**

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

1

referimento

190-2012

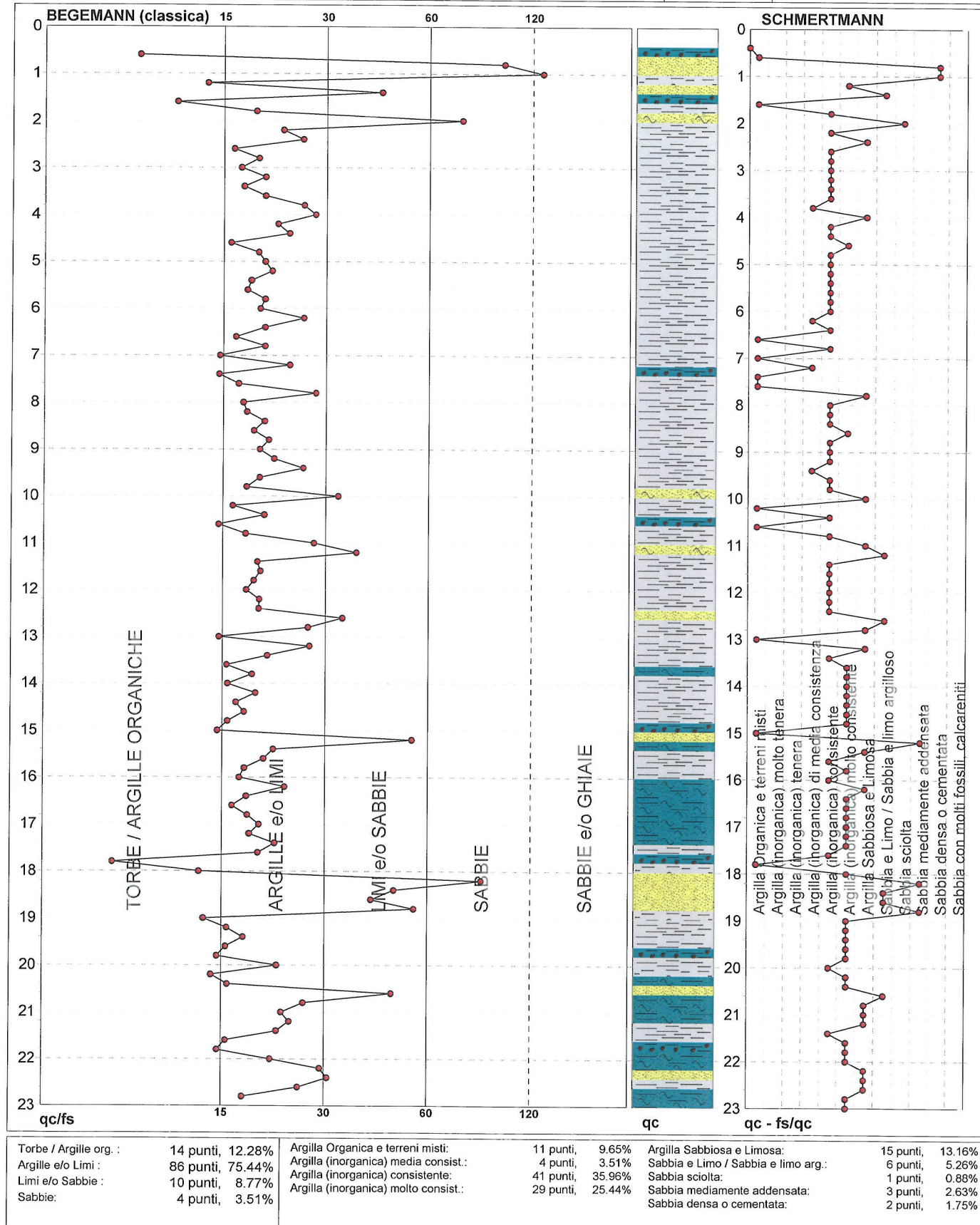
certificato n°

5217

Committente: **Studio tecnico**
Cantiere: **Studio terreno di fondazione**
Località: **S.Prospiero s.S., Via s.Geminiano**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:115**
Pagina: **3/4**
Elaborato:

Data eseg.: **03/07/2012**
Data certificato: **04/07/2012**
Falda: **Non rilevata**



PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT	1
riferimento	190-2012
certificato n°	5217

Committente: Studio tecnico
Cantiere: Studio terreno di fondazione
Località: S.Prospiero s.S., Via s.Geminiano

U.M.: MPa Data eseg.: 03/07/2012
Pagina: 4/4 Data certificato: 04/07/2012
Elaborato: Falda: Non rilevata

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.		
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	ϕ Sc (°)	ϕ Ca (°)	ϕ Ko (°)	ϕ DB (°)	ϕ DM (°)	ϕ Me (°)									
0.20	--	--	--	1.85	3.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	--	--	--	1.85	7.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	1.96	9.09	--	1.93	11.0	171	78.4	72.9	13.3	20.0	5.9	70	44	35	33	31	40	27	--	--	--	3.3	4.9	5.9	--	--	
0.80	11.76	90.23	--	2.03	15.0	336	--	--	--	--	--	100	46	43	40	38	45	35	--	--	--	19.6	29.4	35.3	--	--	
1.00	12.74	115.04	--	2.05	19.0	346	--	--	--	--	--	100	46	42	40	37	45	35	--	--	--	21.2	31.9	38.2	--	--	
1.20	2.55	13.90	--	1.95	22.8	189	91.0	35.4	15.5	23.2	7.6	61	43	33	30	28	38	28	--	--	--	4.2	6.4	7.6	--	--	
1.40	2.45	41.67	--	1.86	26.5	186	--	--	--	--	--	56	43	32	29	27	37	28	--	--	--	4.1	6.1	7.4	--	--	
1.60	0.98	11.49	--	1.90	30.2	132	49.0	11.5	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
1.80	0.98	18.87	--	1.90	33.9	132	49.0	9.9	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.00	0.88	69.23	--	1.85	37.5	127	44.1	7.7	9.1	13.7	3.7	13	39	25	22	21	29	26	--	--	--	1.5	2.2	2.6	--	--	
2.20	1.47	22.39	--	1.95	41.4	154	65.3	11.1	11.1	16.7	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.40	1.67	25.37	--	1.97	45.2	161	70.9	11.0	12.1	18.1	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.60	1.18	16.44	--	1.92	49.0	141	56.0	7.4	12.0	18.1	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.80	1.37	19.18	--	1.94	52.8	150	62.4	7.7	12.8	19.2	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.00	1.57	17.20	--	1.96	56.6	157	68.2	7.9	13.6	20.5	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.20	1.57	20.00	--	1.96	60.5	157	68.2	7.3	15.0	22.4	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.40	1.37	17.50	--	1.94	64.3	150	62.4	6.0	17.0	25.5	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.60	1.18	20.00	--	1.92	68.0	141	56.0	4.9	18.8	28.2	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.80	1.18	25.53	--	1.92	71.8	141	56.0	4.6	20.0	30.0	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.00	1.08	27.50	--	1.91	75.5	137	52.6	4.0	21.1	31.6	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.20	1.27	21.67	--	1.93	79.3	145	59.3	4.4	22.2	33.2	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.40	1.67	23.29	--	1.97	83.2	161	70.9	5.1	22.9	34.3	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.60	1.47	16.13	--	1.95	87.0	154	65.3	4.4	24.3	36.4	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.80	1.37	19.18	--	1.94	90.8	150	62.4	3.9	25.4	38.2	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.00	1.18	20.00	--	1.92	94.6	141	56.0	3.3	26.4	39.6	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.20	1.37	20.90	--	1.94	98.4	150	62.4	3.6	27.8	41.6	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.40	1.08	18.33	--	1.91	102.1	137	52.6	2.7	27.0	40.5	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.60	1.18	17.91	--	1.92	105.9	141	56.0	2.8	28.4	42.5	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.80	1.18	20.00	--	1.92	109.7	141	56.0	2.7	28.9	43.3	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.00	1.27	19.40	--	1.93	113.4	145	59.3	2.8	30.2	45.3	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.20	1.18	25.53	--	1.92	117.2	141	56.0	2.5	29.7	44.6	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.40	1.18	20.00	--	1.92	121.0	141	56.0	2.4	30.1	45.1	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.60	0.98	16.67	--	1.90	124.7	132	49.0	2.0	27.6	41.3	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.80	1.18	20.00	--	1.92	128.4	141	56.0	2.2	30.7	46.0	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.00	1.08	15.07	--	1.91	132.2	137	52.6	2.0	29.5	44.2	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.20	1.08	23.40	--	1.91	135.9	137	52.6	1.9	29.7	44.5	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.40	0.88	15.00	--	1.88	139.6	127	44.1	1.5	25.7	38.6	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.60	0.88	16.98	--	1.88	143.3	127	44.1	1.4	25.8	38.7	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.80	1.27	27.66	--	1.93	147.1	145	59.3	2.0	33.1	49.7	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.00	1.37	17.50	--	1.94	150.9	150	62.4	2.1	34.7	52.0	4.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.20	1.18	17.91	--	1.92	154.7	141	56.0	1.8	32.0	48.0	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.40	1.57	20.00	--	1.96	158.5	157	68.2	2.2	37.5	56.2	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8.60	1.96	18.69	--	1.93	162.3	171	78.4	2.5	41.4	62.1	5.9	4	38	22	19	18	25	27	--	--	--	3.3	4.9	5.9	--	--	
8.80	1.47	20.55	--	1.95	166.1	154	65.3	2.0	36.7	55.1	4.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.00	1.27	19.40	--	1.93	169.9	145	59.3	1.7	34.1	51.2	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.20	1.67	21.25	--	1.97	173.7	161	70.9	2.0	39.5	59.3	5.3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.40	1.18	25.53	--	1.92	177.5	141	56.0	1.5	32.7	49.1	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.60	1.27	19.40	--	1.93	181.3	145	59.3	1.6	34.4	51.7	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9.80	1.18	17.91	--	1.92	185.0	141	56.0	1.4	32.9	49.3	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10.00	1.47	31.91	--	1.89	188.8	154	65.3	1.7	37.7	56.5	4.9	--	38	20	16	16	25	27	--	--	--	2.5	3.7	4.4	--	--	
10.20	1.08	16.42	--	1.91	192.5	137	52.6	1.2	31.2	46.8	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10.40	1.18	20.00	--	1.92	196.3	141	56.0	1.3	33.1	49.6	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10.60	1.18	15.00	--	1.92	200.0	141	56.0	1.3	33.1	49.7	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
10.80	1.27	17.81	--	1.93	203.8	145	59.3	1.3	34.9	52.4	4.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
11.00	1.96	27.40	--	1.93	207.6	171	78.4	1.9	44.5	66.7	5.9	--	38	21	17	17	25	27	--	--	--	3.3	4.9	5.9	--	--	
11.20	1.8																										

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI

CPT	1
riferimento	190-2012
certificato n°	5217

Committente: Studio tecnico	U.M.: MPa	Data esec.: 03/07/2012
Cantiere: Studio terreno di fondazione	Pagina: 4/4	Data certificato: 04/07/2012
Località: S.Prospiero s.S., Via s.Geminiano	Elaborato:	Falda: Non rilevata

NATURA COESIVA																				NATURA GRANULARE									
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ' vo kPa	Vs m/s	Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	ϕ Sc (°)	ϕ Ca (°)	ϕ Ko (°)	ϕ DB (°)	ϕ DM (°)	ϕ Me (°)	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.							
20.00	1.86	21.84		1.99	383.5	168	76.0	0.8	45.6	68.4	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--							
20.20	2.65	14.44		1.95	387.3	192	92.8	1.1	55.6	83.4	7.9	--	38	19	16	15	25	28	--	4.4	6.6	7.9							
20.40	3.14	16.00		1.97	391.2	204	104.5	1.2	62.1	93.1	9.4	--	38	20	17	16	25	29	--	5.2	7.8	9.4							
20.60	2.65	45.00		1.87	394.9	192	--	--	--	--	--	--	38	19	16	15	25	28	--	4.4	6.6	7.9							
20.80	3.04	25.83		1.97	398.7	202	101.3	1.1	60.4	90.6	9.1	--	38	20	16	16	25	29	--	5.1	7.6	9.1							
21.00	2.65	22.50		1.95	402.5	192	92.8	1.0	55.7	83.5	7.9	--	38	19	16	15	25	28	--	4.4	6.6	7.9							
21.20	2.16	23.66		1.93	406.3	177	82.9	0.9	49.8	74.6	6.5	--	38	18	14	14	25	28	--	3.6	5.4	6.5							
21.40	1.86	21.84		1.99	410.2	168	76.0	0.8	45.6	68.4	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--							
21.60	1.86	15.83		1.99	414.1	168	76.0	0.8	45.6	68.4	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--							
21.80	1.76	15.00		1.98	418.0	164	73.5	0.7	44.1	66.2	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--							
22.00	2.06	21.00		1.93	421.8	174	80.7	0.8	48.4	72.6	6.2	--	38	18	14	13	25	27	--	3.4	5.1	6.2							
22.20	2.45	28.74		1.94	425.6	186	89.1	0.9	53.5	80.2	7.4	--	38	18	15	14	25	28	--	4.1	6.1	7.4							
22.40	2.16	30.14		1.86	429.2	177	--	--	--	--	--	--	38	18	14	14	25	28	--	3.6	5.4	6.5							
22.60	1.96	25.00		1.93	433.0	171	78.4	0.7	47.0	70.6	5.9	--	38	17	14	13	25	27	--	3.3	4.9	5.9							
22.80	2.65	17.65		1.95	436.8	192	92.8	0.9	55.7	83.6	7.9	--	38	19	15	14	25	28	--	4.4	6.6	7.9							
23.00	3.53	--		1.89	440.5	214	--	--	--	--	--	0	38	20	17	16	25	30	--	5.9	8.8	10.6							

GEO GROUP s.r.l.

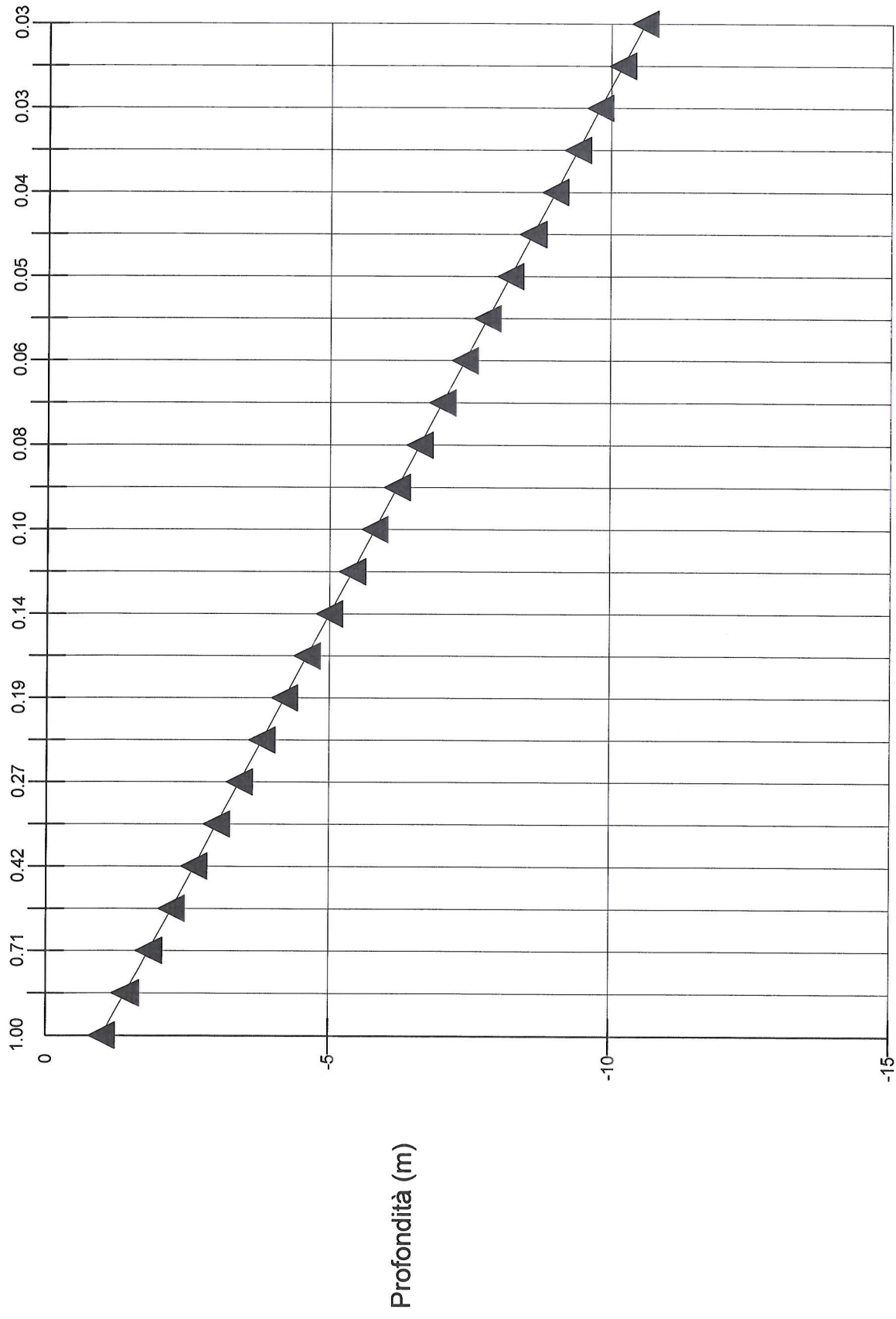
Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 2

Verifiche geotecniche

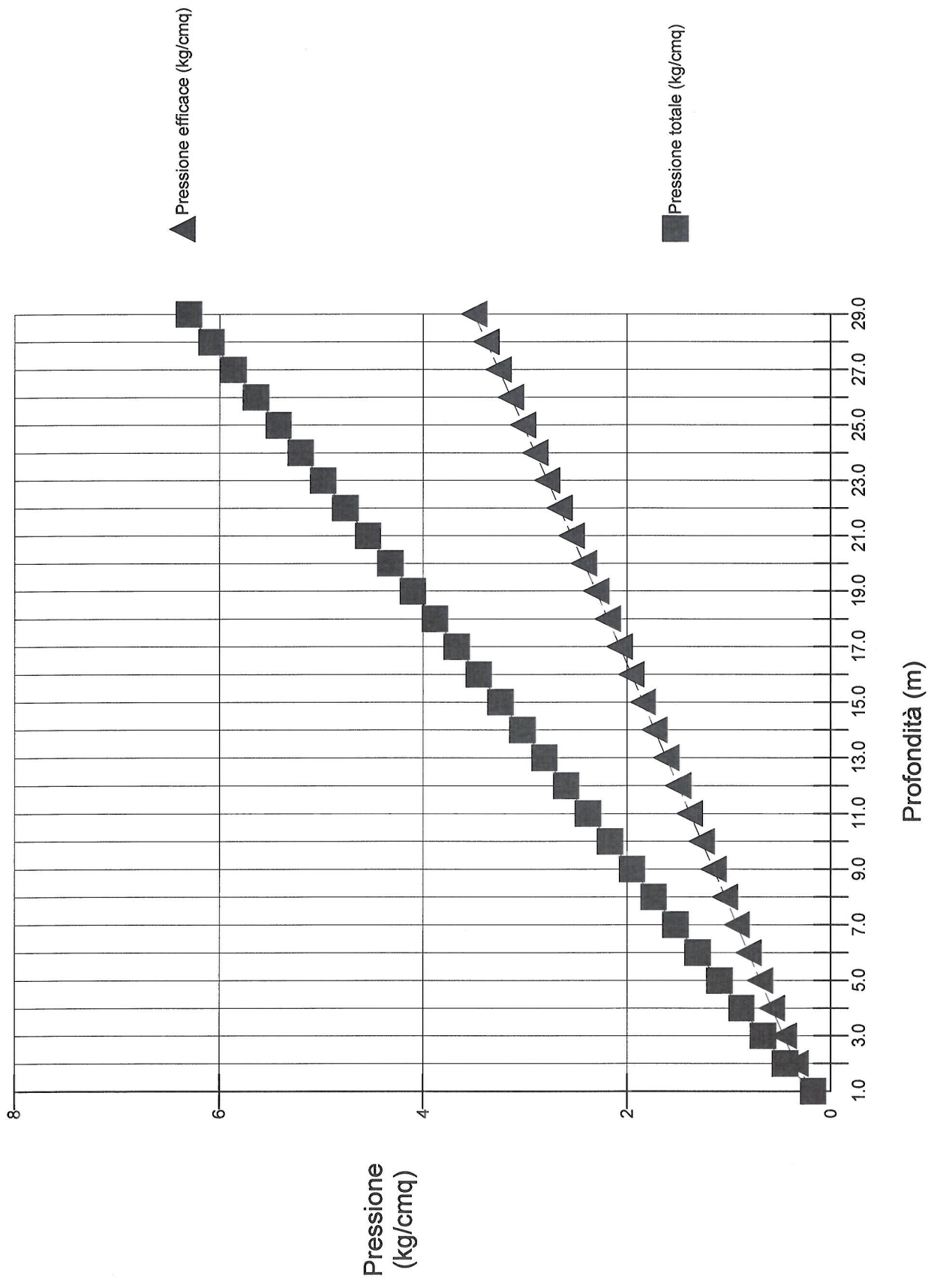
N.1		Comittente:		Località:		Data:	
Falda (m):2.0		Note:					
Tipologia fondazione:nastriforme							
Legenda: Phi(°)=angolo d'attrito - C(kg/cm ^q)=coesione - E(kg/cm ^q)=modulo di deformazione Pv(kg/mc)=peso di volume naturale							
H(m)		H ₂ O	Descrizione	Phi (°)	C (kg/cm ^q)	E (kg/cm ^q)	Pv (kg/mc)
0.0	0.0		Argilla o argilla limosa mediamente consistente.	0	0.5	40.0	1736.4
1.0							
2.0	2.2						
3.0							
4.0							
5.0			Argilla o argilla limosa a medio elevata consistenza.	0	0.6	50.0	1150.0
6.0							
7.0							
8.0							
9.0							
10.0							
11.0							
12.0							
13.0							
14.0							
15.0			Sabbia o sabbia limosa poco addensata.	30	0.0	150.0	1150.0
16.0							
17.0							
18.0	17.8						
19.0	19.0						
20.0			Argilla o argilla limosa consistente.	0	0.8	60.0	1200.0
21.0							
22.0							
23.0							
24.0							
25.0							

Andamento delle sollecitazioni: criterio di Newmark



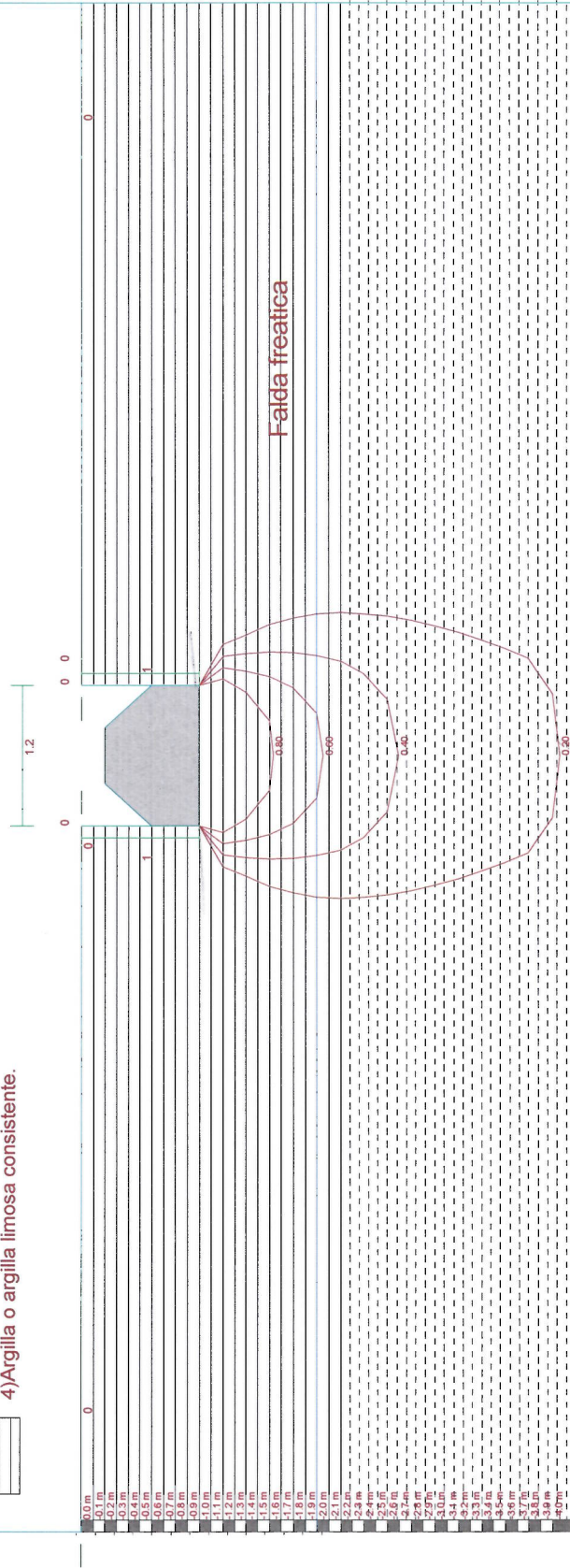
Sovraccarico (kg/cm²)

Andamento della pressione totale ed efficace del terreno



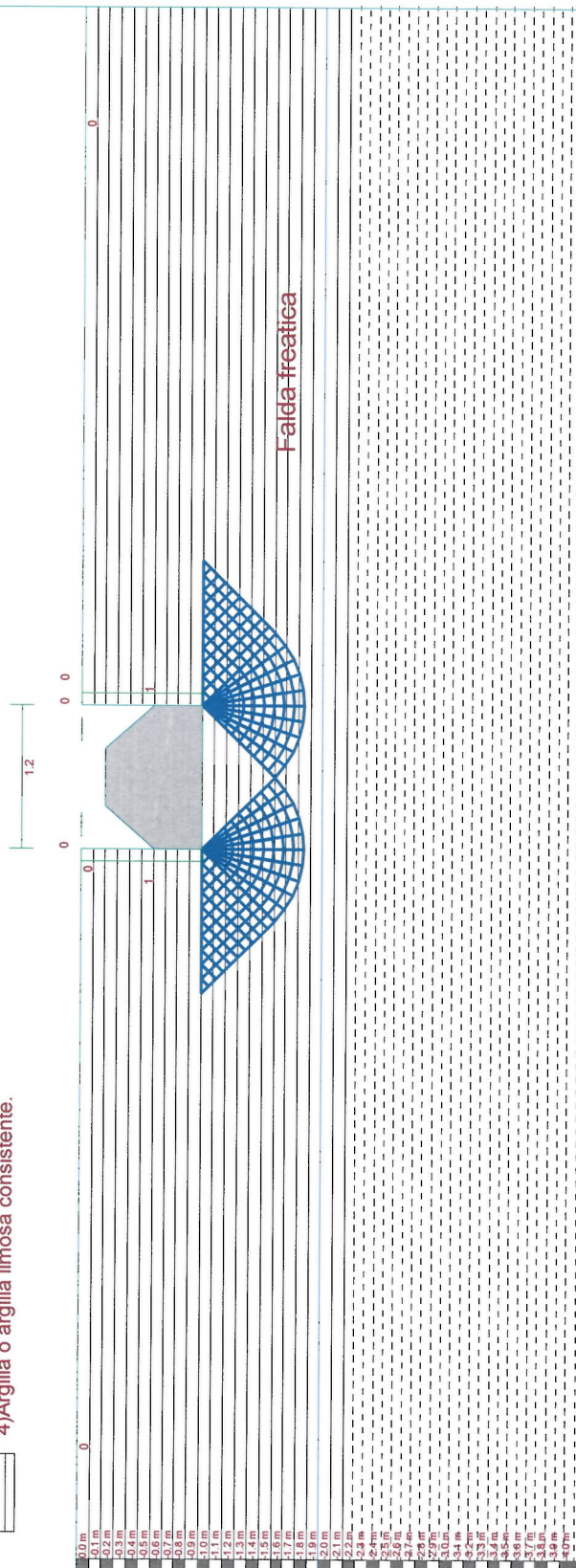
- 1) Argilla o argilla limosa mediamente consistente.
- 2) Argilla o argilla limosa a medio elevata consistenza.
- 3) Sabbia o sabbia limosa poco addensata.
- 4) Argilla o argilla limosa consistente.

Tensioni indotte met. Newmark



-

Formazione cunei di spinta



DATI GEOMETRICI DELLA FONDAZIONE

Tipologia della fondazione:nastriforme
Geometria della fondazione:
Larghezza della base (m):1.20
Lunghezza della fondazione (m):5.00
Eccentricità della base - lato corto (m):0.00
Eccentricità della base - lato lungo (m):0.00
Profondità di posa - lato destro (m):1.00
Profondità di posa - lato sinistro (m):1.00
Profondità dello scavo - lato destro (m):0.00
Profondità dello scavo - lato sinistro (m):0.00
Larghezza dello scavo - lato destro (m):0.00
Larghezza dello scavo - lato sinistro (m):0.00
Inclinazione del pendio - lato a valle (°):0
Inclinazione del pendio - lato a monte (°):0
Inclinazione della base - lato corto (°):0
Inclinazione della base - lato lungo (°):0
Inclinazione del carico - lato corto (°):0
Inclinazione del carico - lato lungo (°):0
Fondazione di tipo:elastica
Densità del calcestruzzo (kg/mc):2500.00

FALDA

Profilo della falda

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-2.00
2	7.00	-2.00

STRATIGRAFIA

Profilo strato n. 1

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	0.00
2	0.00	0.00
3	0.00	0.00
4	0.00	0.00
5	0.00	-1.00
6	1.20	-1.00

7	1.20	0.00
8	1.20	0.00
9	1.20	0.00
10	7.00	0.00

Strato n. 1 - Descrizione: Argilla o argilla limosa mediamente consistente.

Densità relativa Dr(%): 0
Angolo d'attrito Phi(°):0.00
Gamma sopra falda (kg/mc):1800.00
Gamma saturo (kg/mc):2100.00
Coesione (kg/cm²):0.50
Mod.deformazione (kg/cm²):40.00
Indice vuoti:0.00
O.C.R.:2.00
Indice compr.princ.:0.00
Indice compr.sec.:0.00
Indice ricompr.:0.00
Coef.consolidazione(cm²/s):0.00
Coef.di Poisson:0.40
R.Q.D.(%):0.00
Nspt medio:0
Rp(kg/cm²):0.00

Profilo strato n. 2

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-2.20
2	7.00	-2.20

Strato n. 2 - Descrizione: Argilla o argilla limosa a medio elevata consistenza.

Densità relativa Dr(%): 0
Angolo d'attrito Phi(°):0.00
Gamma sopra falda (kg/mc):1850.00
Gamma saturo (kg/mc):2150.00
Coesione (kg/cm²):0.60
Mod.deformazione (kg/cm²):50.00
Indice vuoti:0.00
O.C.R.:2.00
Indice compr.princ.:0.00
Indice compr.sec.:0.00
Indice ricompr.:0.00
Coef.consolidazione(cm²/s):0.00
Coef.di Poisson:0.40
R.Q.D.(%):0.00
Nspt medio:0

Rp(kg/cmq):0.00

Profilo strato n. 3

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-17.80
2	7.00	-17.80

Strato n. 3 - Descrizione: Sabbia o sabbia limosa poco addensata.

Densità relativa Dr(%): 20
Angolo d'attrito Phi(°):30.00
Gamma sopra falda (kg/mc):1850.00
Gamma saturo (kg/mc):2150.00
Coesione (kg/cmq):0.00
Mod.deformazione (kg/cmq):150.00
Indice vuoti:0.00
O.C.R.:1.00

Indice compr.princ.:0.00
Indice compr.sec.:0.00
Indice ricompr.:0.00
Coef.consolidazione(cm^2/s):0.00
Coef.di Poisson:0.35
R.Q.D.(%):0.00
Nspt medio:0
Rp(kg/cmq):0.00

Profilo strato n. 4

N	X (m)	Y(m)
1	-6.00	-19.00
2	7.00	-19.00

Strato n. 4 - Descrizione: Argilla o argilla limosa consistente.

Densità relativa Dr(%): 0
Angolo d'attrito Phi(°):0.00
Gamma sopra falda (kg/mc):1900.00
Gamma saturo (kg/mc):2200.00
Coesione (kg/cmq):0.80
Mod.deformazione (kg/cmq):60.00
Indice vuoti:0.00
O.C.R.:3.00

Indice compr.princ.:0.00
Indice compr.sec.:0.00
Indice ricompr.:0.00
Coef.consolidazione(cm^2/s):0.00

Coef.di Poisson:0.30
R.Q.D.(%):0.00
Nspt medio:0
Rp(kg/cmq):0.00

PORTANZA DELLA FONDAZIONE

Profondità di calcolo:0.60
Criterio di calcolo:Terzaghi
Portanza limite della fondazione (kg/cmq):3.00
Coefficiente di sicurezza:3.00
Portanza ammissibile della fondazione (kg/cmq):1.00
Fattore di portanza Nq:1.00
Fattore di portanza Ng:0.00
Fattore di portanza Nc:5.71
Fattore di forma Sq:1.00
Fattore di forma Sg:1.00
Fattore di forma Sc:1.00
Fattore di approfondimento Dq:1.00
Fattore di approfondimento Dg:1.00
Fattore di approfondimento Dc:1.00
Fattore di inclinazione dei carichi Iq:1.00
Fattore di inclinazione dei carichi Ig:1.00
Fattore di inclinazione dei carichi Ic:1.00
Fattore di inclinazione della base Bq:1.00
Fattore di inclinazione della base Bg:1.00
Fattore di inclinazione della base Bc:1.00
Fattore di pendio Gq:1.00
Fattore di pendio Gg:1.00
Fattore di pendio Gc:1.00
Peso di volume medio sopra il piano di posa (kg/mc):1736.36

CEDIMENTI DELLA FONDAZIONE

Carico applicato sulla fondazione (kg/cmq) :1.00
Metodo di calcolo strati incoerenti:
Cedimento immediato (cm):0.00
Cedimento secondario (cm):0.00
Cedimento massimo della fondazione (cm):0.00
Cedimento minimo della fondazione (cm):0.00
Cedimento totale degli strati incoerenti (cm):0.00
Metodo di calcolo strati coesivi:Steinbrenner
Cedimento di consolidazione (cm):0.00
Cedimento secondario (cm):0.00

Cedimento della fondazione (cm):2.63
Cedimento totale degli strati coesivi (cm):2.63
Cedimento totale del terreno di fondazione (cm):2.63

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE

Calcolo del coefficiente di sottofondazione - K di Winkler.

Criterio di calcolo :Bowles
Carico applicato sulla fondazione(kg/cm²):1.00
Cedimento di riferimento(cm):2.63
Coefficiente di sottofondazione (kg/cm³):1.16

GEO GROUP s.r.l.

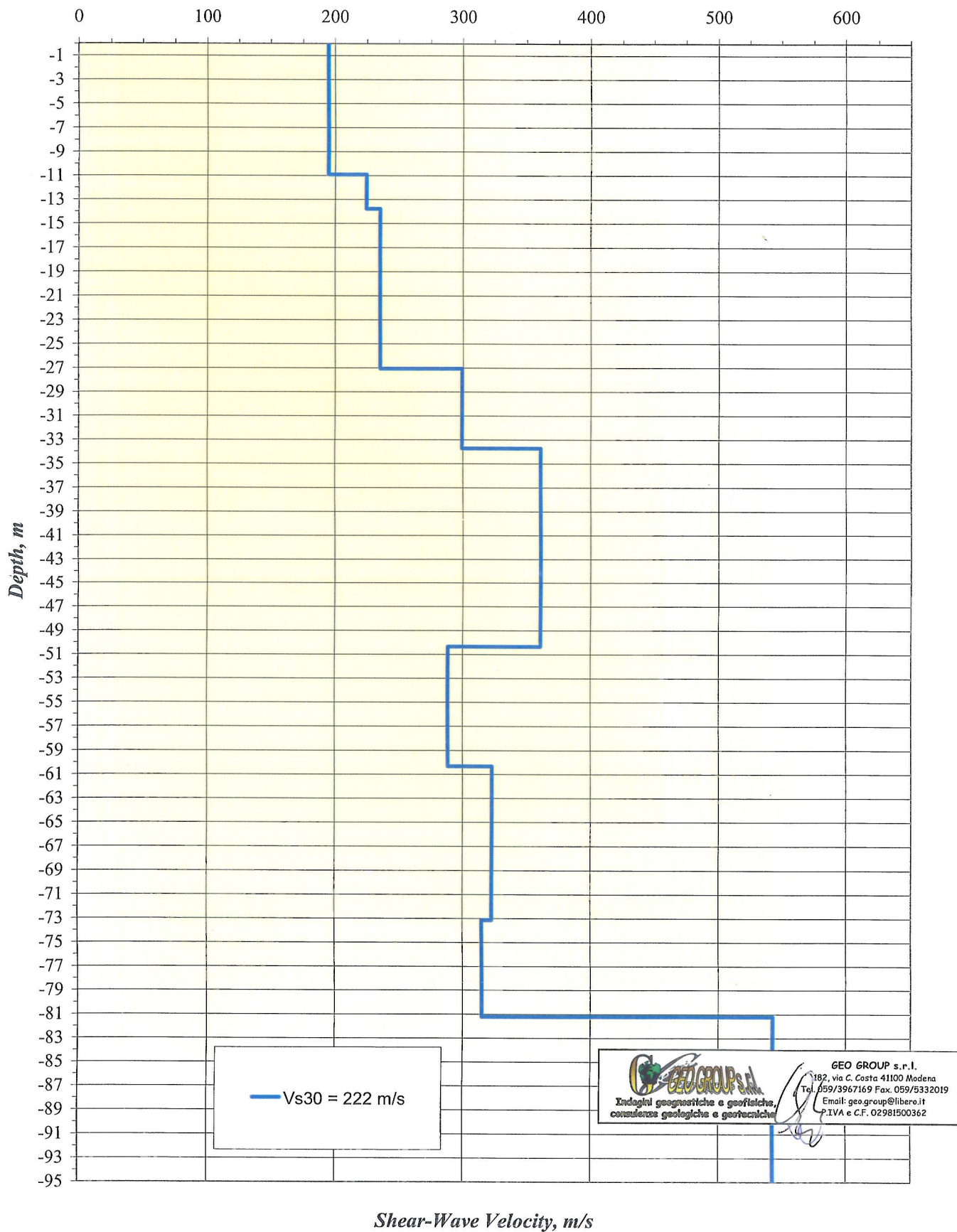
Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 3

Indagine sismica a rifrazione – tecnica Re.Mi

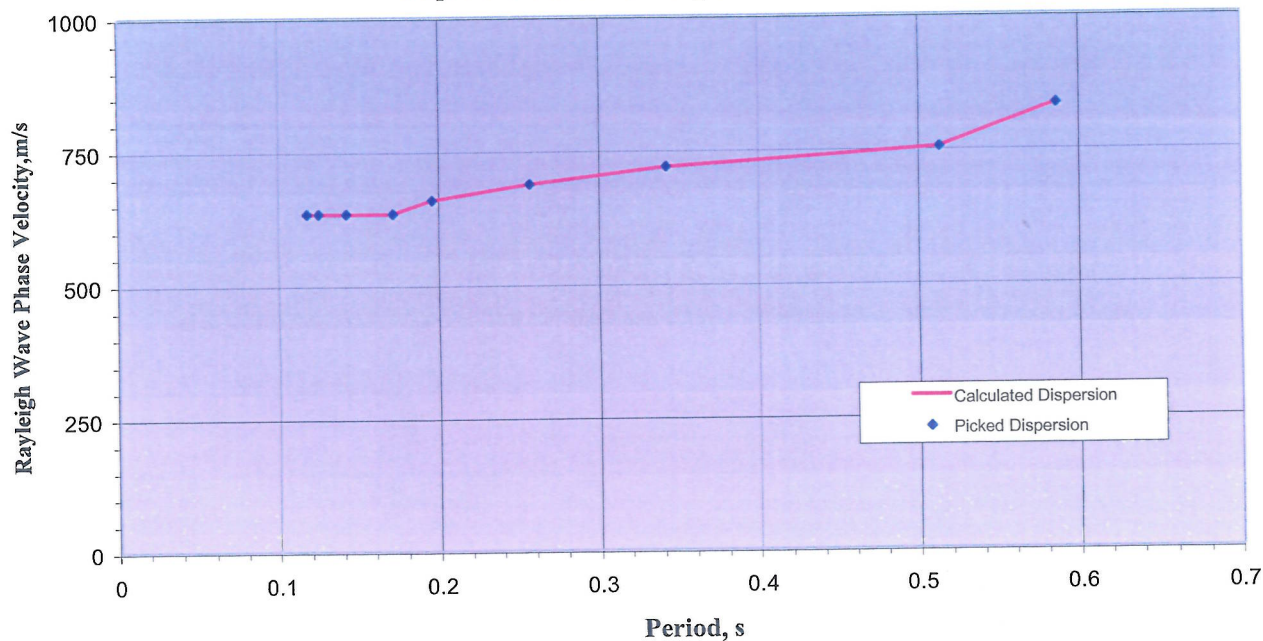
San Prospero s.S. (MO)

Vs Model

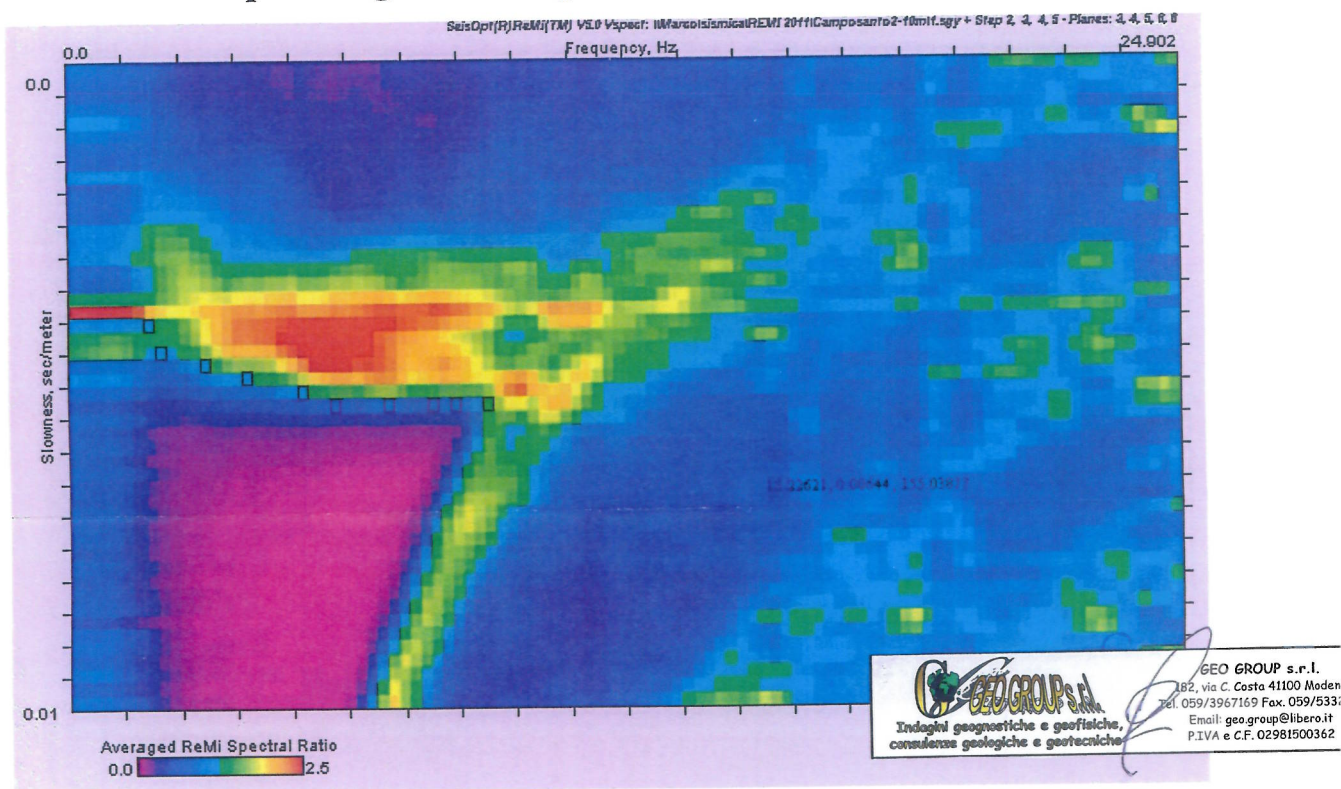


San Prospero s.S. (MO)

Dispersion Curve Showing Picks and Fit



p-f Image with Dispersion Modeling Picks



GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 4

Indagine sismica a rifrazione – tecnica MASW

--

GEO GROUP SRL C.FISC: nd P.IVA: 02981500362	Via: VIA C. COSTA, 182 41100 Modena (MO) - - Tel: - Fax: Email: geo.group@libero.it Web:
--	---

HVSR 00101_12

	Data: luglio 2012
	Il committente Studio tecnico
	IL Tecnico
	Il Progettista
Indagine geofisica tramite tecnica HVSR	

Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{s30} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

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

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

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

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

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

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

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{s30} .

Dati generali

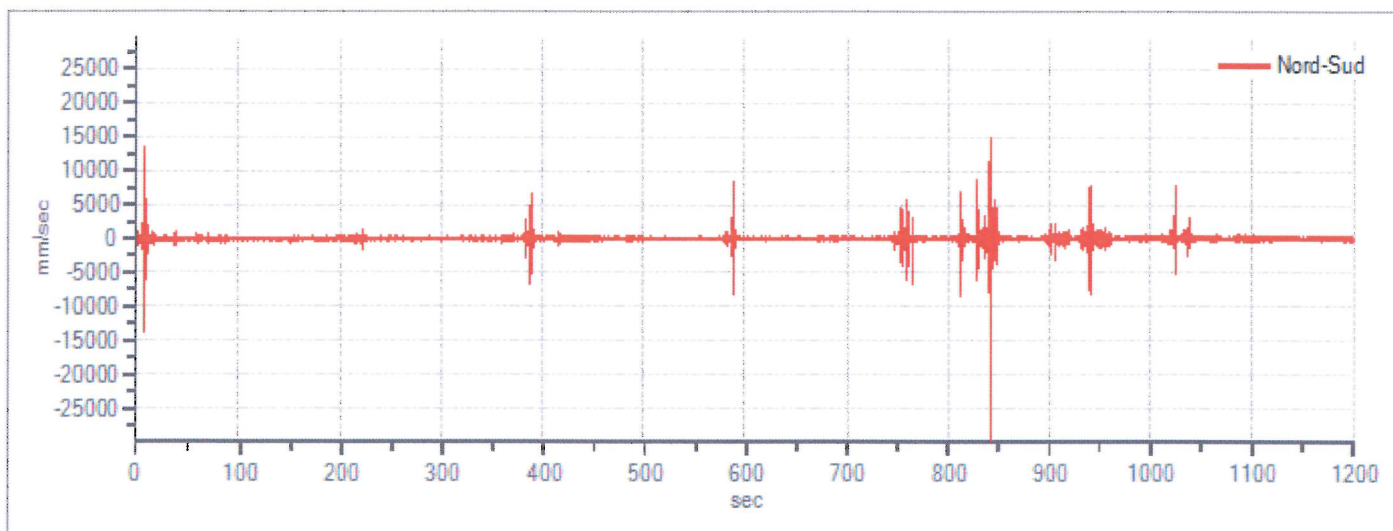
Nome progetto: HVSR 00101_12
Committente: Studio tecnico
Cantiere: Nuova Scuola
Località: San Prospero Via San Geminiano
Operatore: Dott. ssa Linda Veratti Dott. Ghirardini Gabriele
Responsabile: Dott. Geol. Pier Luigi Dallari
Data: 05.07.2012 00:00:00
Zona:
Latitudine:
Longitude:

Tracce in input

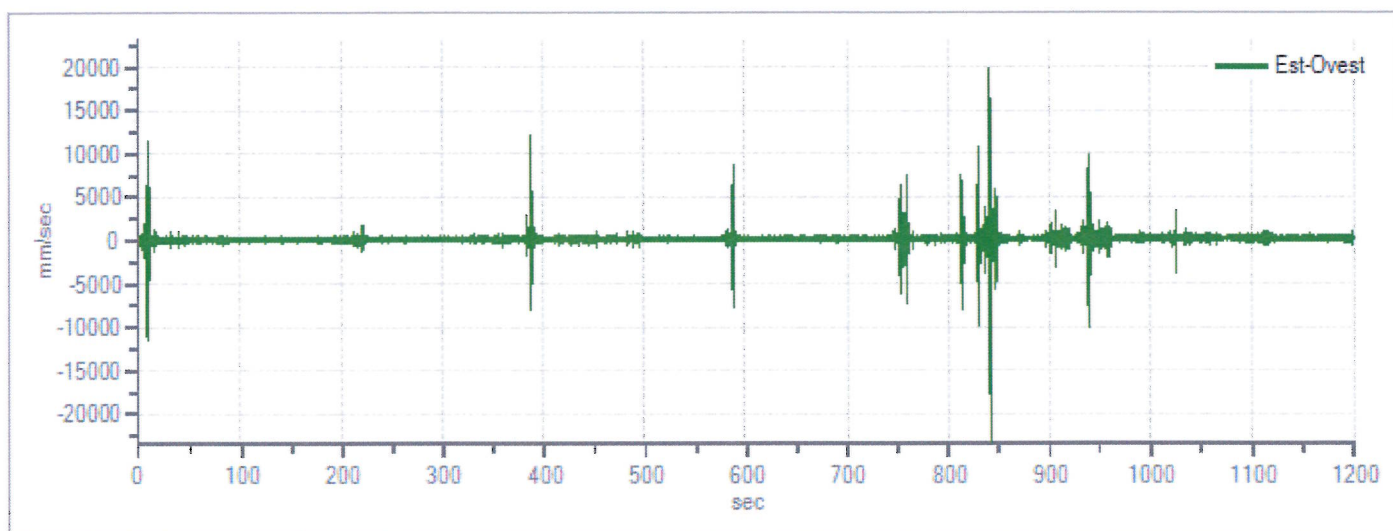
Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 200.00 Hz
Numero campioni: 240000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

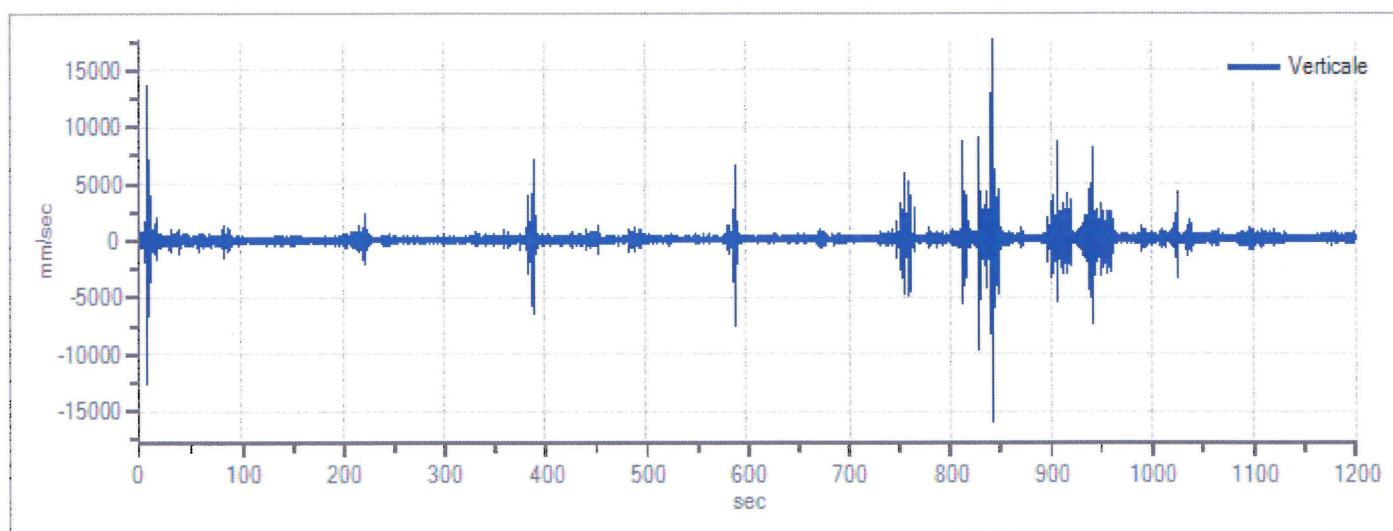
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 58
 Numero finestre incluse nel calcolo: 58
 Dimensione temporale finestre: 20.480 s
 Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 %
 Coefficiente di banda: 40.00

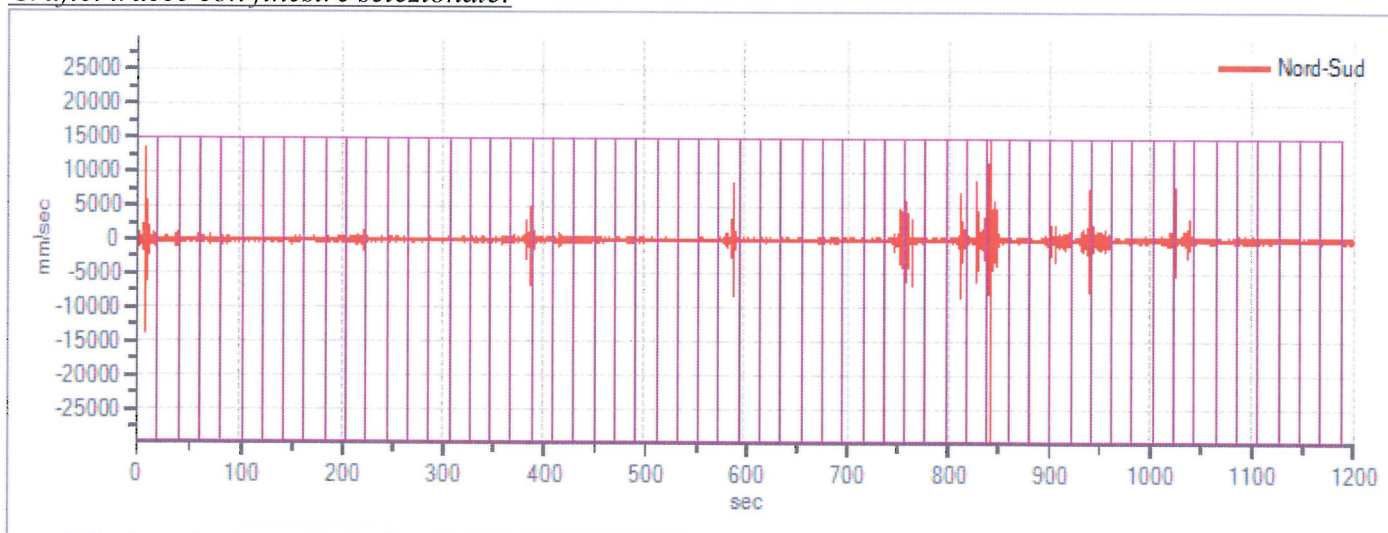
Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20.48	Inclusa
2	20.48	40.96	Inclusa

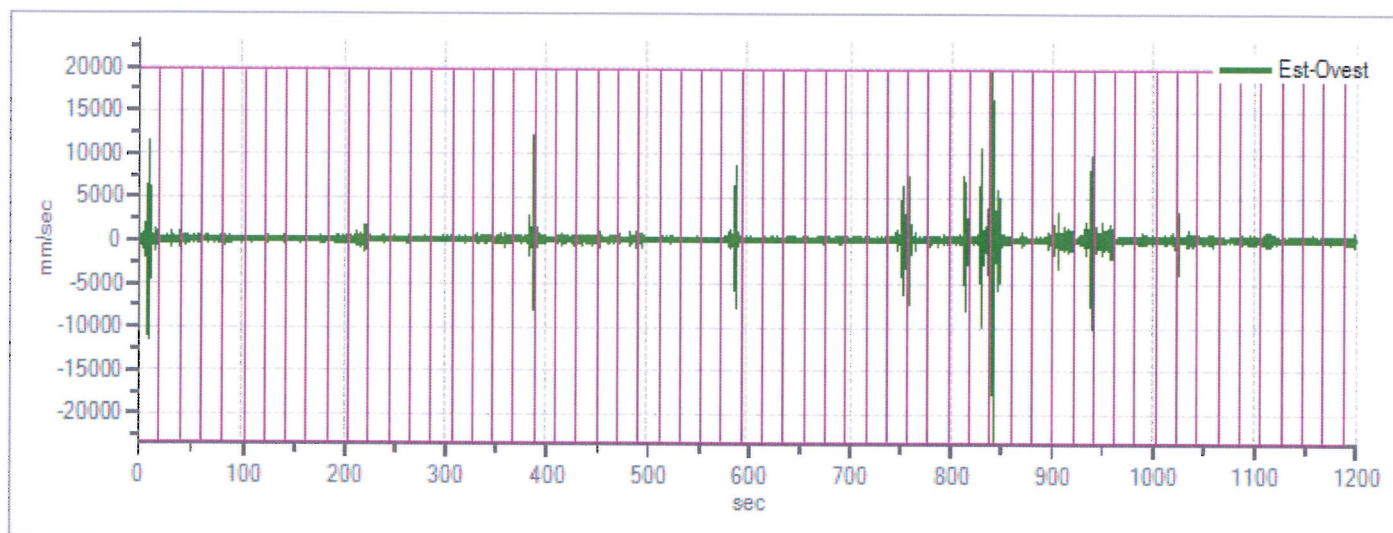
3	40.96	61.44	Inclusa
4	61.44	81.92	Inclusa
5	81.92	102.4	Inclusa
6	102.4	122.88	Inclusa
7	122.88	143.36	Inclusa
8	143.36	163.84	Inclusa
9	163.84	184.32	Inclusa
10	184.32	204.8	Inclusa
11	204.8	225.28	Inclusa
12	225.28	245.76	Inclusa
13	245.76	266.24	Inclusa
14	266.24	286.72	Inclusa
15	286.72	307.2	Inclusa
16	307.2	327.68	Inclusa
17	327.68	348.16	Inclusa
18	348.16	368.64	Inclusa
19	368.64	389.12	Inclusa
20	389.12	409.6	Inclusa
21	409.6	430.08	Inclusa
22	430.08	450.56	Inclusa
23	450.56	471.04	Inclusa
24	471.04	491.52	Inclusa
25	491.52	512	Inclusa
26	512	532.48	Inclusa
27	532.48	552.96	Inclusa
28	552.96	573.44	Inclusa
29	573.44	593.92	Inclusa
30	593.92	614.4	Inclusa
31	614.4	634.88	Inclusa
32	634.88	655.36	Inclusa
33	655.36	675.84	Inclusa
34	675.84	696.32	Inclusa
35	696.32	716.8	Inclusa
36	716.8	737.28	Inclusa
37	737.28	757.76	Inclusa
38	757.76	778.24	Inclusa
39	778.24	798.72	Inclusa
40	798.72	819.2	Inclusa
41	819.2	839.68	Inclusa
42	839.68	860.16	Inclusa
43	860.16	880.64	Inclusa
44	880.64	901.12	Inclusa
45	901.12	921.6	Inclusa
46	921.6	942.08	Inclusa
47	942.08	962.56	Inclusa
48	962.56	983.04	Inclusa
49	983.04	1003.52	Inclusa
50	1003.52	1024	Inclusa
51	1024	1044.48	Inclusa
52	1044.48	1064.96	Inclusa

53	1064.96	1085.44	Inclusa
54	1085.44	1105.92	Inclusa
55	1105.92	1126.4	Inclusa
56	1126.4	1146.88	Inclusa
57	1146.88	1167.36	Inclusa
58	1167.36	1187.84	Inclusa

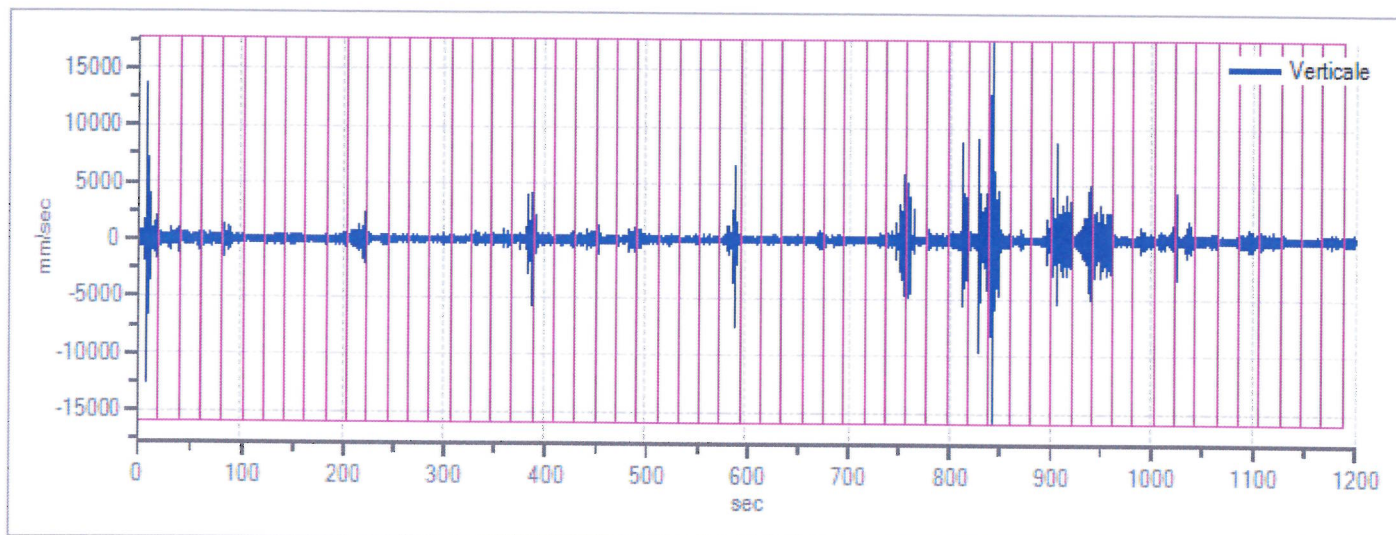
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

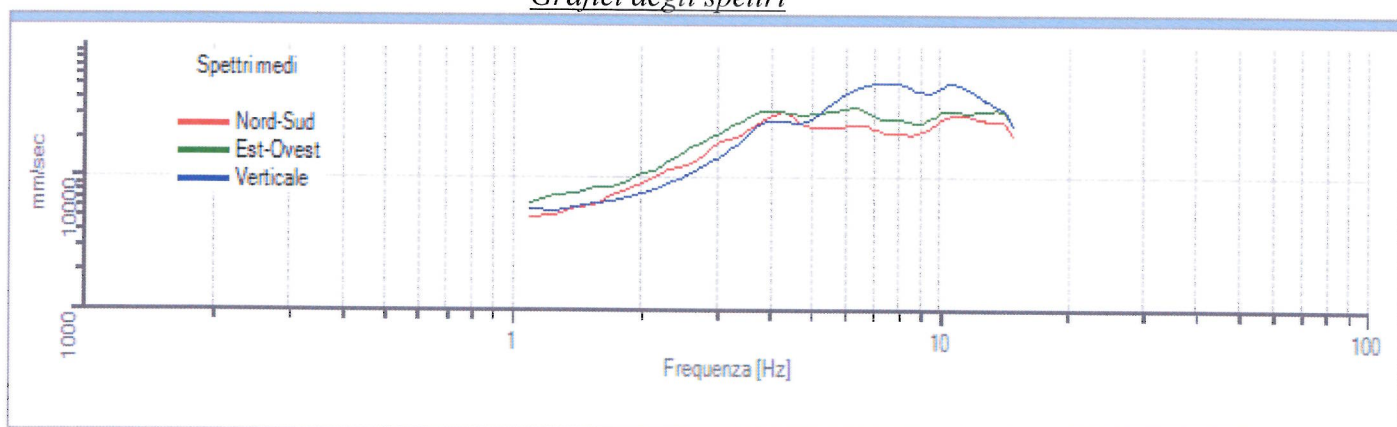


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

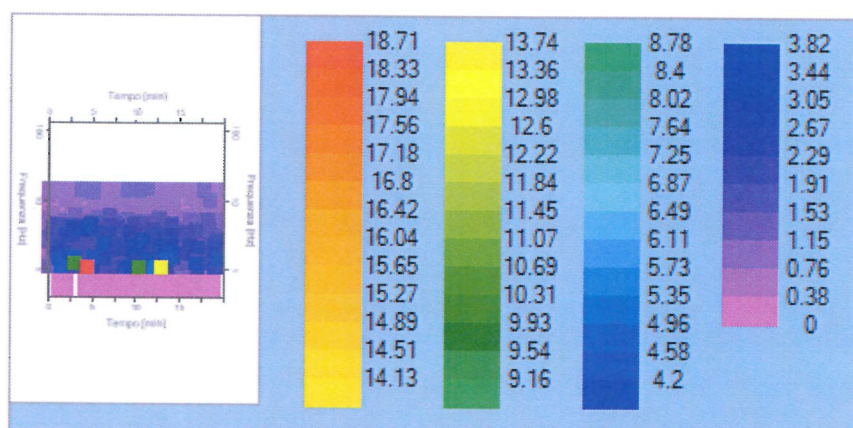


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

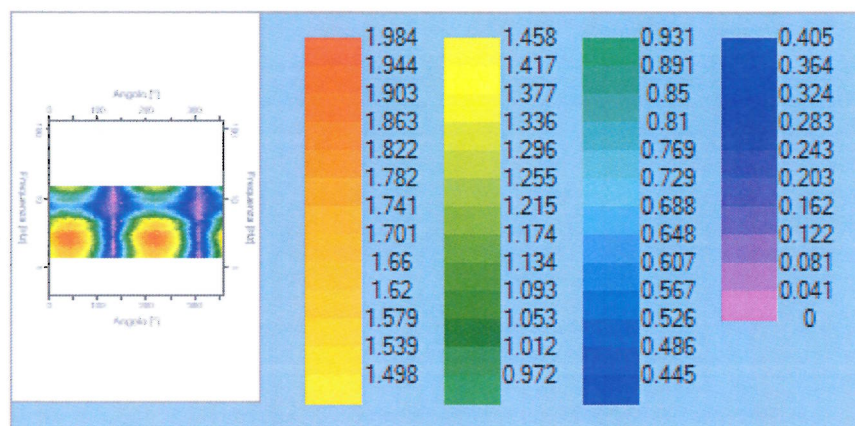
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

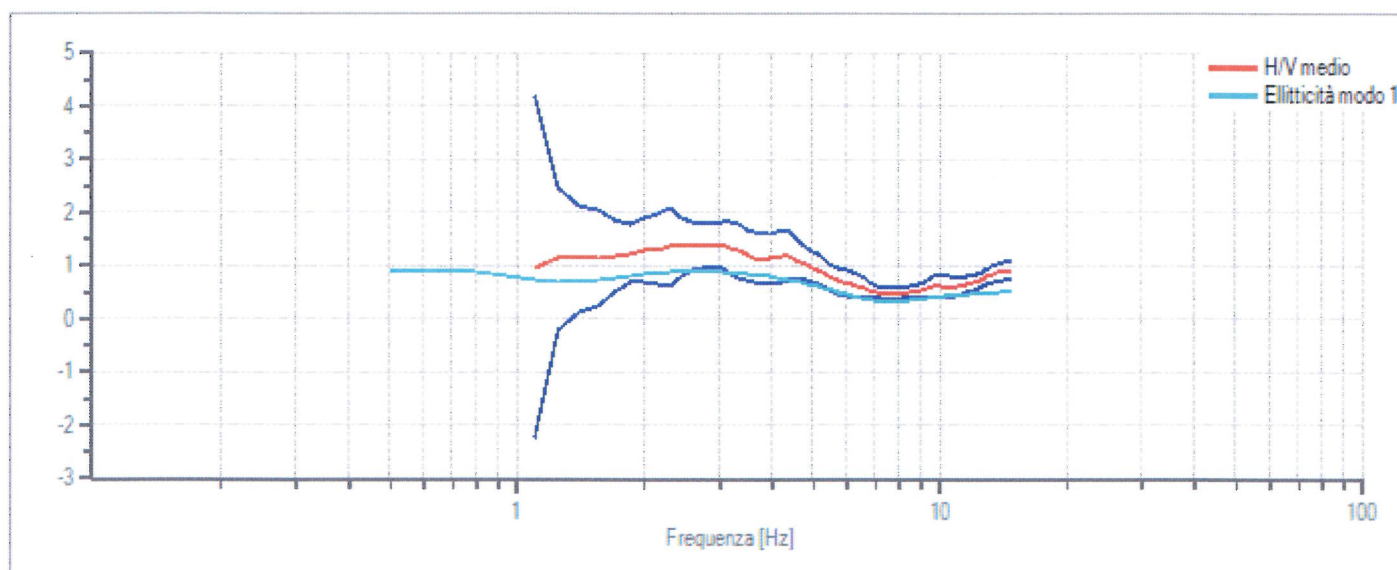
Dati riepilogativi:

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

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 3.05 Hz \pm 0.32 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

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

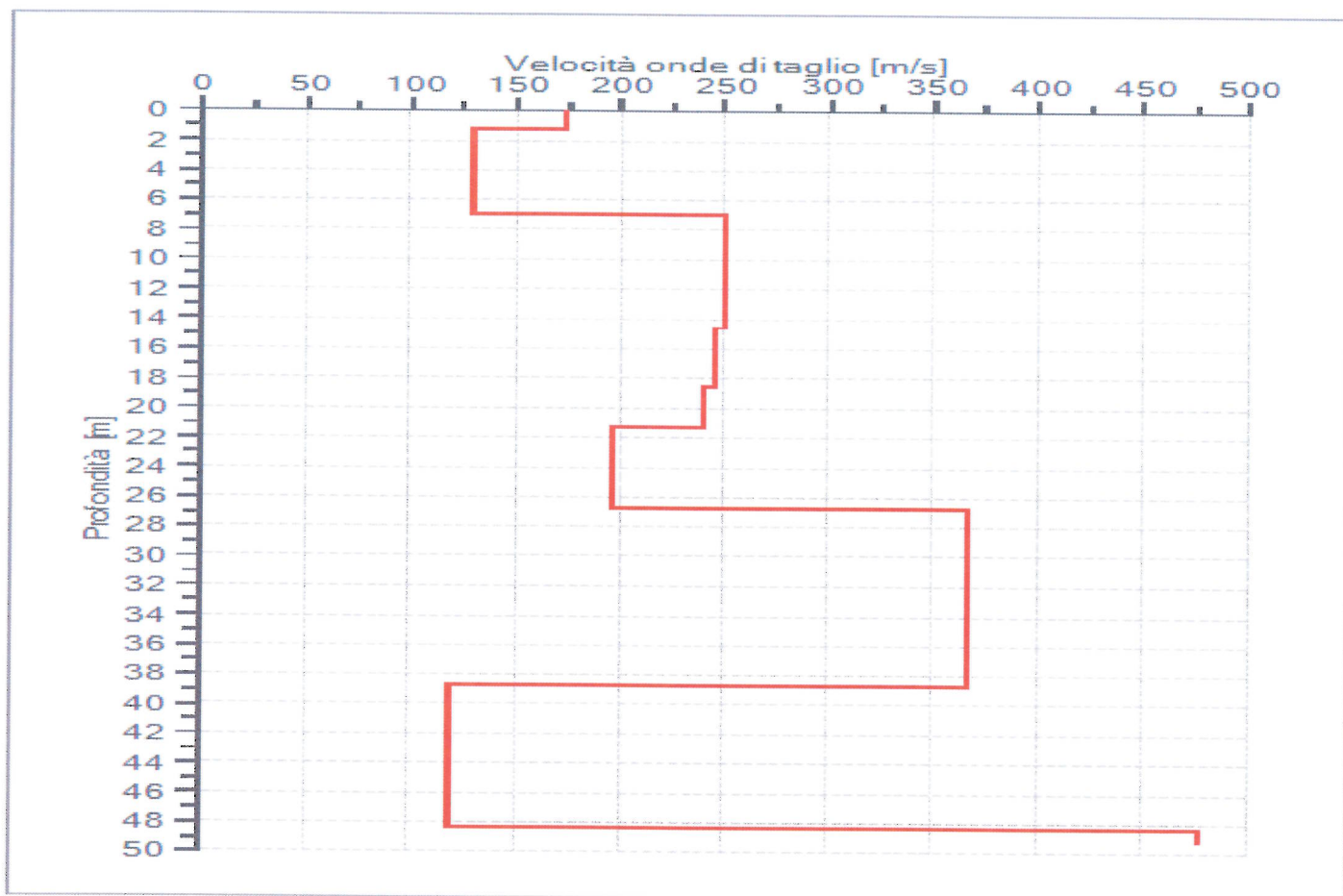
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati:	9
Frequenza del picco dell'ellitticità:	0.65 Hz
Valore di disadattamento:	0.07
Valore Vs30:	206.04 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.2	18	0.4	174
2	1.2	5.74	18	0.4	130
3	6.94	7.59	19	0.4	250
4	14.53	4	19	0.4	246
5	18.53	2.81	20	0.3	240
6	21.34	5.37	21	0.3	197
7	26.71	12	21	0.3	367
8	38.71	9.53	21	0.3	119
9	48.24	1	21	0.3	477



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

Indice

Cenni tecnica HVSR	2
Dati generali	3
Tracce in input	3
Grafici tracce	3
Finestre selezionate	4
Tabella finestre	4
Grafici tracce con finestre selezionate	6
Grafici degli spettri	7
Mappa stazionarietà	7
Mappa direzionalità	7
Rapporto spettrale H/V	8
Grafico H/V	8
Verifiche SESAME	9
Modello stratigrafico	9
Grafico Profilo velocità	10
Indice	13

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 5

Verifica alla liquefazione



Geo Group s.r.l.

Via Cesare Costa, 182-41100 Modena-059 3967169

Committente: Studio tecnico

Località: S.Prospiero Via S.Geminiano

Descrizione: Studio terreno di fondazione

Note: Falda rilevata a -2.00 m da p.c.

Sigla: 01

Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Robertson e Wride (1997)

Profondità (m)	qc(kg/cmq)	fs(kg/cmq)	Gamma(t/mc)	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cmq)	Resistenza alla liquefazione R(kg/cmq)	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
1	130	1,13	1,8	0,173	7,647	92,38
2	9	0,13	1,8	0,172	0,085	1,03
3	16	0,93	0,8	0,192	0,083	
4	11	0,4	0,8	0,222	0,069	
5	12	0,6	0,8	0,242	0,068	
6	13	0,67	0,8	0,257	0,067	
7	11	0,73	0,8	0,268	0,063	
8	14	0,8	0,8	0,276	0,065	
9	13	0,67	0,8	0,282	0,062	
10	15	0,47	0,8	0,285	0,063	
11	20	0,73	0,9	0,281	0,066	
12	12	0,67	1	0,276	0,059	
13	11	0,73	1	0,269	0,057	
14	18	1,13	1	0,262	0,061	
15	13	0,87	1	0,255	0,058	

Profondità tetto falda(m): 2

Profondità base falda(m): 15

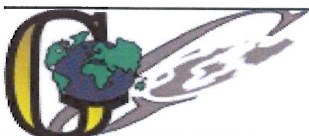
Accelerazione sismica di progetto(g)= 0,267

Magnitudo di riferimento= 6

Indice di liquefazione=0,0 rischio molto basso

Fattore di correzione della magnitudo MSF: 2,09

$F_s = MSF \times R / T$



Geo Group s.r.l.

Via Cesare Costa, 182-41100 Modena-059 3967169

Committente: Studio tecnico

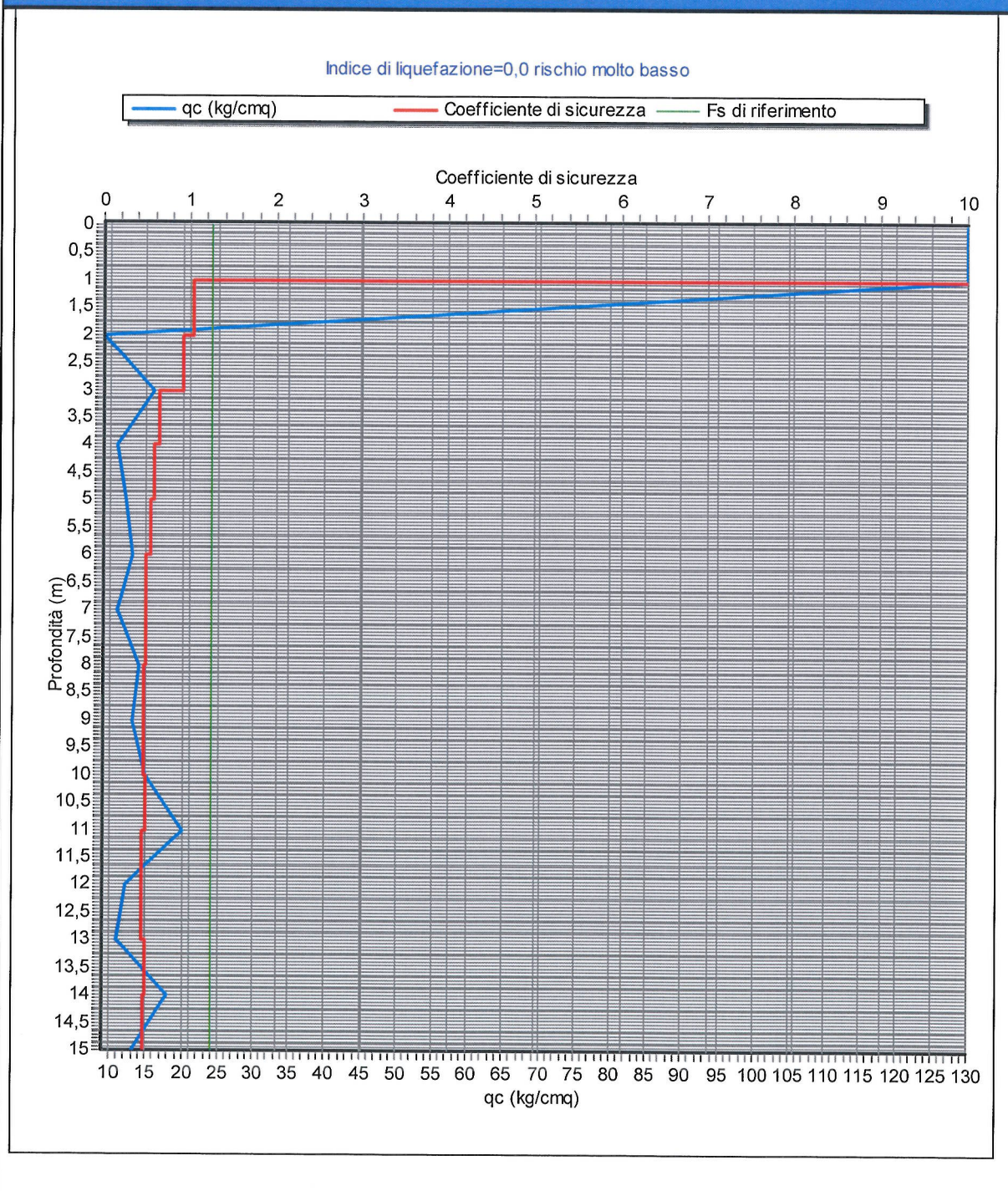
Località: S. Prospero Via S. Geminiano

Descrizione: Studio terreno di fondazione

Note: Falda rilevata a -2.00 m da p.c.

Sigla: 01

Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Robertson e Wride (1997)



Certificato n.01 del 05/07/2012

Firma: