

R.3a

UNIONE DELLA ROMAGNA FAENTINA
Comune di Faenza

Studio Tecnico geom.CAVINA-MONTEVECCHI

corso Matteotti 27
Faenza

arch.PAGANI

fax 0546-680247
tel.0546-28197

Piano Particolareggiato
relativo alla scheda di PRG n.167
"Area Casino - Placci" - SUB COMPARTO B

UBICAZIONE: Via Pana

COMMITTENTE
GIMO SRL in liquidazione

Integrazione
RELAZIONE GEOLOGICA

Fg.61 Mapp. 35-36-103-105

Con la consulenza specialistica di:

TOPOGRAFIA

-Studio Topografico Faenza

VALUTAZIONE AMBIENTALE ED ACUSTICA

-Ing. Conti Franca

GEOLOGIA

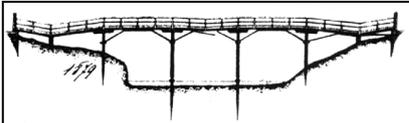
-Dott. Geol. Marabini Stefano

RETI FOGNARIE-IDRICHE

ILLUMINAZIONE PUBBLICA

-Studio Energia

PROGETTISTA



Studio Geologico
dott. Stefano Marabini
Via San Martino, 1
48018 FAENZA (RA)
tel. : 348 2680965
e-mail: stemarabini@libero.it

GIMO s.r.l.
in liquidazione

PIANO PARTICOLAREGGIATO
relativo alla
SCHEDA P.R.G. n.167
“AREA CASINO PLACCI-
SUB COMPARTO B”
(Comune di Faenza - Ra)

INTEGRAZIONE

alla

RELAZIONE GEOLOGICA 18 / 04 / 2019

(D.M. 17/01/2018, DGR 476/2021, DGR 564/2021):

- 1 - PREMESSA.
- 2 - CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO.
- 3 - RISCHIO DI LIQUEFAZIONE
E CEDIMENTI POST-SISMICI.

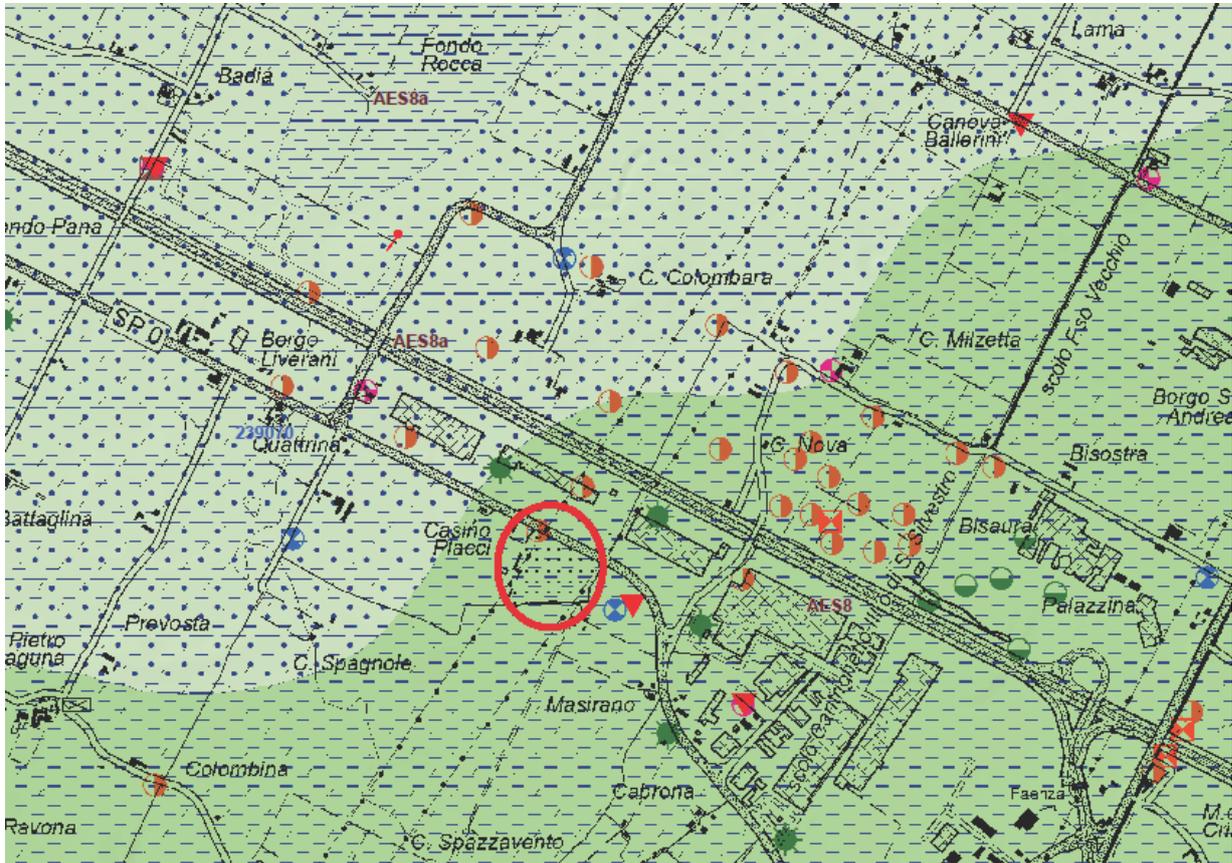
allegati:

- Richiesta Integrazioni da Provincia Ravenna (20 /07/ 2023)
- n. 2 grafici e tabelle di penetrometrie statiche (CPT)
- Rapporto *Indagine Geofisica con tromografo* (2023)
- Rapporto *Verifica liquefazione e stima cedimenti post-sismici* (2023)



Faenza, 20 settembre 2023

Integrazione alla Relazione Geologica 18 / 04 / 2019



Ubicazione dell'“AREA CASINO PLACCI - Subcomparto B” nella Carta Geologica Regione Emilia-Romagna, internet. L'area ricade centralmente in ambito di deposizione alluvionale omogeneo riferito al Subsistema di Ravenna – AES8. I simboli puntuali indicano le indagini geognostiche consultabili nell'Archivio Geognostico Regionale.

1 - PREMESSA.

Su incarico della Proprietà è stata prodotta **nel 2019**, con riferimento a **D.M. 17/01/2018** e **DGR 2193/2015**, una analisi geologico-tecnica e del rischio sismico a supporto del **PIANO PARTICOLAREGGIATO** relativo alla **SCHEDA PRG n. 167 “AREA CASINO PLACCI - Subcomparto B” (Comune di Faenza – Ra)**, il quale prevede edificazione su una superficie massima pari a circa 1,4ha (v. **PROGETTO dello Studio CAVINA-MONTEVECCHI-PAGANI di Faenza**, e **Relazione Geologica a firma dr. geol. Stefano Marabini, 18 aprile 2019**).

In considerazione dei caratteri geologici generali dell'ambito di pianura in oggetto posto alcuni km a nord di Faenza, per definire la fattibilità geologica dell'intervento urbanistico sono stati effettuati rilievi morfostratigrafici e idrogeologici e, in particolare, si sono acquisiti i risultati delle seguenti indagini geognostiche e geofisiche **in situ** (v. **Relazione Geologica a firma dr. geol. Stefano Marabini, 18 aprile 2019**):

Integrazione alla Relazione Geologica 18 / 04 / 2019

- **n. 7 penetrometrie statiche (CPT)** effettuate all'interno dell'area di studio nel 2008 (in occasione di un precedente Progetto Urbanistico) e nel 2019, spinte a profondità massima di -26m sino a rifiuto tecnico in corrispondenza di uno strato ghiaioso-sabbioso molto compatto.
- **n. 3 trincee geognostiche (T)** scavate sino a profondità di circa -2,3 metri, rispettivamente nel 2008 agli estremi dell'area di studio (**T1, T2**) e nel 2019 al centro della medesima (**T 3**), per un accertamento litologico e idrogeologico diretto dei terreni superficiali.
- **n.1 stendimento per misure geofisiche con metodo *Re.Mi.* e *MASW***

Nella presente **Integrazione alla Relazione Geologica 2019** è prodotto di seguito, a riscontro di specifica **Richiesta del Servizio Pianificazione Territoriale della Provincia di Ravenna (v. allegato)**, un aggiornamento dell'analisi del rischio sismico con riferimento a **DGR 476/2021 e DGR 564/2021**, che consiste in particolare in:

- **Aggiornamento della classificazione sismica del sito**, previa acquisizione di misure geofisiche con "tromografo" appositamente acquisite nel 2020 nell'"AREA CASINO PLACCI"(v. **Rapporto in allegato**).
- **Ulteriore verifica analitica del rischio di liquefazione** con riferimento alla **CPT 6 e 7** appositamente selezionate in funzione della variabilità areale (v. **grafici e tabelle penetrometriche in allegato**), corredata anche da **stima dei cedimenti permanenti post-sismici**.

2 - CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO.

I risultati delle citate **misure geofisiche mediante "tromografo"**, che come noto registrano la frequenza di risonanza del terreno, sono sintetizzati nei **parametri sismici principali aggiornati rispetto alla Relazione Geologica 2020 (v. allegato geofisico)**:

- $V_s 30 = 282 \text{ m/s}$
- **Cc (Fattore di amplificazione sismica) (ai sensi **DGR 476/2021, DGR 564/2021**)**

PGA = 1,6	SA1 per l'intervallo $0,1s < T_0 < 0,5s = 1,8$
SI1 per l'intervallo $0,1s < T_0 < 0,5s = 1,9$	SA2 per l'intervallo $0,4s < T_0 < 0,8s = 2,3$
SI2 per l'intervallo $0,5s < T_0 < 1,0s = 2,5$	SA3 per l'intervallo $0,7s < T_0 < 1,1s = 2,7$
SI3 per l'intervallo $0,5s < T_0 < 1,5s = 2,7$	SA4 per l'intervallo $0,5s < T_0 < 1,5s = 2,6$

- **St (Fattore di amplificazione topografica) = 1 (T = 1)**

Integrazione alla Relazione Geologica 18 / 04 / 2019

Quindi, per l'“**AREA CASINO PLACCI - Subcomparto A**” si prospetta, **con buona attendibilità**, ribadendo la buona coerenza tra sismostratigrafia e stratigrafie penetrometriche, la seguente classificazione dei terreni di fondazione ai sensi **DGR 476/2021, DGR 564/2021**:

categoria C: *Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e/o di argille di media consistenza, con spessore variabile da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_s 30 tra 180-370m/s ($15 < N_{pt} < 50$)*

3 - RISCHIO LIQUEFAZIONE E CEDIMENTI POST-SISMICI.

Per la **verifica analitica alla liquefazione**, effettuata come detto con riferimento alle **CPT 3, 6 e 7 (v. grafici e tabelle in allegato)**, è stato utilizzato un *software* sviluppato in base al **metodo di Robertson**, considerando i seguenti valori:

$a_{max} = 0,31 g$

$M = 6,14$

Falda = 2,4 m

La stima dei **cedimenti permanenti post-sismici** è stata effettuata utilizzando la **procedura di Tokimatsu e Seed** utilizzando formule correlative per la definizione di **e_0 (indice dei vuoti)**, **C_r (indice di riconsolidazione postciclica)**, **C_c (indice di compressione)**.

Le elaborazioni ed i risultati ottenuti, che sono dettagliatamente riportati nei tabulati di cui al **Rapporto in allegato**, sono così significativamente sintetizzabili:

- **PL (Indice Potenziale Liquefazione) = 0**
- **Cedimenti verticali post-sismici compresi circa tra 1,7/ 1,8 cm.**





PROVINCIA DI RAVENNA
Medaglia d'Argento al Merito Civile

SETTORE VIABILITA'
SERVIZIO Pianificazione Territoriale

Class. 07-04-04 Fasc. 2019/4 Prot. Cfr. Segnatura.xml

Ravenna, 20/07/2023

Spett.le

UNIONE DELLA ROMAGNA FAENTINA
Settore Territorio Servizio Urbanistica
Ufficio di Piano
pec@cert.romagnafaentina.it
c/a Arch Daniele Babalini
Arch Benedetta Lazzari

Oggetto: FAENZA – PIANO PARTICOLAREGGIATO RELATIVO ALLA SCHEDA DI PRG N. 167 SUB B “AREA CASINO PLACCI” - Richiesta integrazioni

Con riferimento al Piano Particolareggiato relativo alla Scheda 167 di PRG Area Casino Placci sub comparto B, in relazione alla nota dell'Unione della Romagna Faentina di cui al ns PG 17001/2023 del 15/06/2023, analizzata la documentazione trasmessa, con la presente si richiedono le seguenti integrazioni:

- Aggiornamento della relazione geologica rispetto alle ultime normative sugli studi di microzonazione sismica (DGR 476/2021 e DGR 564/2021);
- Integrazione della relazione di VALSAT con individuazione del perimetro di comparto negli stralci cartografici degli strumenti di pianificazione analizzati.

Il Servizio scrivente resta a vostra disposizione per eventuali chiarimenti in merito a quanto sopra esposto.

Distinti saluti

IL DIRIGENTE DEL SETTORE
(Ing. Paolo Nobile)

Sede del servizio: Piazza Caduti per la Libertà 2, Ravenna
Responsabile del procedimento: Ing. Paolo Nobile
Per informazioni contattare: Paesaggista Dovadoli Giulia
Tel.0544-258025 - e-mail: gdovadoli@mail.provincia.ra.it

Documento firmato digitalmente

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 6

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Stefano Marabini
 - lavoro : Area casino placci sub B
 - località : nuova urbanizzazione
 - note :

- data : 04/03/2008
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 2,30 m da quota inizio
 - pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	0,40	----	7,80	20,0	31,0	20,0	0,60	33,0
0,40	6,0	12,0	6,0	0,40	15,0	8,00	19,0	28,0	19,0	0,67	28,0
0,60	11,0	17,0	11,0	0,40	27,0	8,20	17,0	27,0	17,0	0,53	32,0
0,80	12,0	18,0	12,0	0,60	20,0	8,40	14,0	22,0	14,0	0,53	26,0
1,00	11,0	20,0	11,0	0,60	18,0	8,60	11,0	19,0	11,0	0,60	18,0
1,20	14,0	23,0	14,0	0,60	23,0	8,80	14,0	23,0	14,0	0,60	23,0
1,40	19,0	28,0	19,0	1,00	19,0	9,00	13,0	22,0	13,0	0,60	22,0
1,60	16,0	31,0	16,0	0,87	18,0	9,20	16,0	25,0	16,0	0,93	17,0
1,80	14,0	27,0	14,0	0,73	19,0	9,40	18,0	32,0	18,0	0,80	22,0
2,00	18,0	29,0	18,0	0,73	25,0	9,60	19,0	31,0	19,0	0,87	22,0
2,20	20,0	31,0	20,0	1,07	19,0	9,80	21,0	34,0	21,0	1,27	17,0
2,40	16,0	32,0	16,0	0,93	17,0	10,00	25,0	44,0	25,0	1,47	17,0
2,60	14,0	28,0	14,0	0,60	23,0	10,20	24,0	46,0	24,0	1,07	22,0
2,80	13,0	22,0	13,0	0,60	22,0	10,40	17,0	33,0	17,0	1,20	14,0
3,00	15,0	24,0	15,0	0,47	32,0	10,60	21,0	39,0	21,0	0,93	22,0
3,20	11,0	18,0	11,0	0,87	13,0	10,80	26,0	40,0	26,0	1,00	26,0
3,40	13,0	26,0	13,0	0,40	32,0	11,00	22,0	37,0	22,0	0,87	25,0
3,60	11,0	17,0	11,0	0,53	21,0	11,20	12,0	25,0	12,0	0,87	14,0
3,80	10,0	18,0	10,0	0,53	19,0	11,40	15,0	28,0	15,0	0,40	37,0
4,00	16,0	24,0	16,0	0,60	27,0	11,60	11,0	17,0	11,0	0,53	21,0
4,20	17,0	26,0	17,0	0,60	28,0	11,80	22,0	30,0	22,0	0,87	25,0
4,40	19,0	28,0	19,0	1,53	12,0	12,00	24,0	37,0	24,0	1,60	15,0
4,60	23,0	46,0	23,0	1,27	18,0	12,20	32,0	56,0	32,0	1,40	23,0
4,80	25,0	44,0	25,0	2,60	10,0	12,40	63,0	84,0	63,0	1,27	50,0
5,00	31,0	70,0	31,0	0,73	42,0	12,60	74,0	93,0	74,0	1,93	38,0
5,20	57,0	68,0	57,0	0,93	61,0	12,80	37,0	66,0	37,0	1,27	29,0
5,40	37,0	51,0	37,0	0,60	62,0	13,00	39,0	58,0	39,0	2,53	15,0
5,60	20,0	29,0	20,0	0,47	43,0	13,20	43,0	81,0	43,0	1,47	29,0
5,80	21,0	28,0	21,0	0,87	24,0	13,40	27,0	49,0	27,0	2,87	9,0
6,00	22,0	35,0	22,0	0,60	37,0	13,60	41,0	84,0	41,0	1,00	41,0
6,20	17,0	26,0	17,0	0,67	25,0	13,80	21,0	36,0	21,0	1,40	15,0
6,40	12,0	22,0	12,0	0,60	20,0	14,00	36,0	57,0	36,0	1,67	22,0
6,60	14,0	23,0	14,0	0,60	23,0	14,20	29,0	54,0	29,0	1,47	20,0
6,80	15,0	24,0	15,0	0,60	25,0	14,40	39,0	61,0	39,0	1,40	28,0
7,00	17,0	26,0	17,0	0,60	28,0	14,60	15,0	36,0	15,0	0,93	16,0
7,20	18,0	27,0	18,0	0,87	21,0	14,80	19,0	33,0	19,0	1,20	16,0
7,40	13,0	26,0	13,0	0,60	22,0	15,00	22,0	40,0	22,0	-----	----
7,60	15,0	24,0	15,0	0,73	20,0						

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

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 7

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Stefano Marabini
 - lavoro : Area casino placci sub B
 - località : nuova urbanizzazione
 - note :

- data : 13/03/2019
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 1,80 m da quota inizio
 - pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	----	----	--	1,00	----	8,60	13,0	26,0	13,0	0,67	19,0
0,40	9,0	24,0	9,0	1,07	8,0	8,80	35,0	45,0	35,0	1,07	33,0
0,60	12,0	28,0	12,0	0,27	45,0	9,00	16,0	32,0	16,0	0,73	22,0
0,80	19,0	23,0	19,0	0,93	20,0	9,20	11,0	22,0	11,0	1,27	9,0
1,00	17,0	31,0	17,0	1,00	17,0	9,40	17,0	36,0	17,0	0,80	21,0
1,20	11,0	26,0	11,0	0,67	16,0	9,60	20,0	32,0	20,0	1,13	18,0
1,40	18,0	28,0	18,0	0,80	22,0	9,80	22,0	39,0	22,0	1,20	18,0
1,60	17,0	29,0	17,0	1,27	13,0	10,00	23,0	41,0	23,0	1,00	23,0
1,80	12,0	31,0	12,0	0,67	18,0	10,20	30,0	45,0	30,0	1,60	19,0
2,00	18,0	28,0	18,0	0,80	22,0	10,40	19,0	43,0	19,0	1,33	14,0
2,20	18,0	30,0	18,0	0,93	19,0	10,60	23,0	43,0	23,0	1,27	18,0
2,40	20,0	34,0	20,0	1,47	14,0	10,80	27,0	46,0	27,0	1,33	20,0
2,60	20,0	42,0	20,0	1,13	18,0	11,00	13,0	33,0	13,0	0,53	24,0
2,80	16,0	33,0	16,0	0,60	27,0	11,20	11,0	19,0	11,0	0,40	27,0
3,00	9,0	18,0	9,0	0,27	34,0	11,40	12,0	18,0	12,0	0,80	15,0
3,20	13,0	17,0	13,0	0,53	24,0	11,60	20,0	32,0	20,0	2,00	10,0
3,40	7,0	15,0	7,0	0,53	13,0	11,80	42,0	72,0	42,0	2,27	19,0
3,60	9,0	17,0	9,0	0,33	27,0	12,00	55,0	89,0	55,0	1,80	31,0
3,80	13,0	18,0	13,0	0,47	28,0	12,20	99,0	126,0	99,0	2,47	40,0
4,00	17,0	24,0	17,0	0,80	21,0	12,40	100,0	137,0	100,0	3,20	31,0
4,20	11,0	23,0	11,0	0,67	16,0	12,60	60,0	108,0	60,0	1,80	33,0
4,40	13,0	23,0	13,0	0,40	32,0	12,80	48,0	75,0	48,0	2,33	21,0
4,60	46,0	52,0	46,0	1,40	33,0	13,00	50,0	85,0	50,0	1,47	34,0
4,80	19,0	40,0	19,0	0,40	47,0	13,20	47,0	69,0	47,0	0,80	59,0
5,00	74,0	80,0	74,0	1,80	41,0	13,40	50,0	62,0	50,0	1,40	36,0
5,20	33,0	60,0	33,0	1,67	20,0	13,60	49,0	70,0	49,0	1,93	25,0
5,40	28,0	53,0	28,0	1,27	22,0	13,80	31,0	60,0	31,0	3,00	10,0
5,60	16,0	35,0	16,0	1,47	11,0	14,00	20,0	65,0	20,0	2,07	10,0
5,80	20,0	42,0	20,0	0,87	23,0	14,20	36,0	67,0	36,0	2,13	17,0
6,00	48,0	61,0	48,0	1,07	45,0	14,40	53,0	85,0	53,0	2,13	25,0
6,20	36,0	52,0	36,0	1,00	36,0	14,60	28,0	60,0	28,0	1,93	14,0
6,40	17,0	32,0	17,0	0,73	23,0	14,80	26,0	55,0	26,0	1,60	16,0
6,60	18,0	29,0	18,0	1,07	17,0	15,00	24,0	48,0	24,0	0,73	33,0
6,80	12,0	28,0	12,0	0,73	16,0	15,20	22,0	33,0	22,0	1,00	22,0
7,00	15,0	26,0	15,0	0,87	17,0	15,40	19,0	34,0	19,0	0,87	22,0
7,20	17,0	30,0	17,0	1,27	13,0	15,60	71,0	84,0	71,0	2,33	30,0
7,40	47,0	66,0	47,0	0,47	101,0	15,80	108,0	143,0	108,0	2,53	43,0
7,60	35,0	42,0	35,0	1,53	23,0	16,00	41,0	79,0	41,0	2,47	17,0
7,80	16,0	39,0	16,0	1,07	15,0	16,20	46,0	83,0	46,0	1,53	30,0
8,00	15,0	31,0	15,0	0,93	16,0	16,40	27,0	50,0	27,0	1,07	25,0
8,20	20,0	34,0	20,0	0,93	21,0	16,60	40,0	56,0	40,0	-----	----
8,40	17,0	31,0	17,0	0,87	20,0						

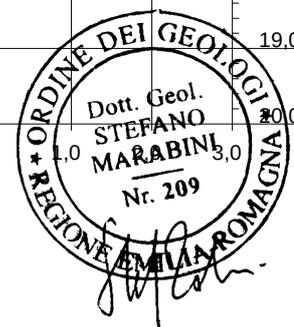
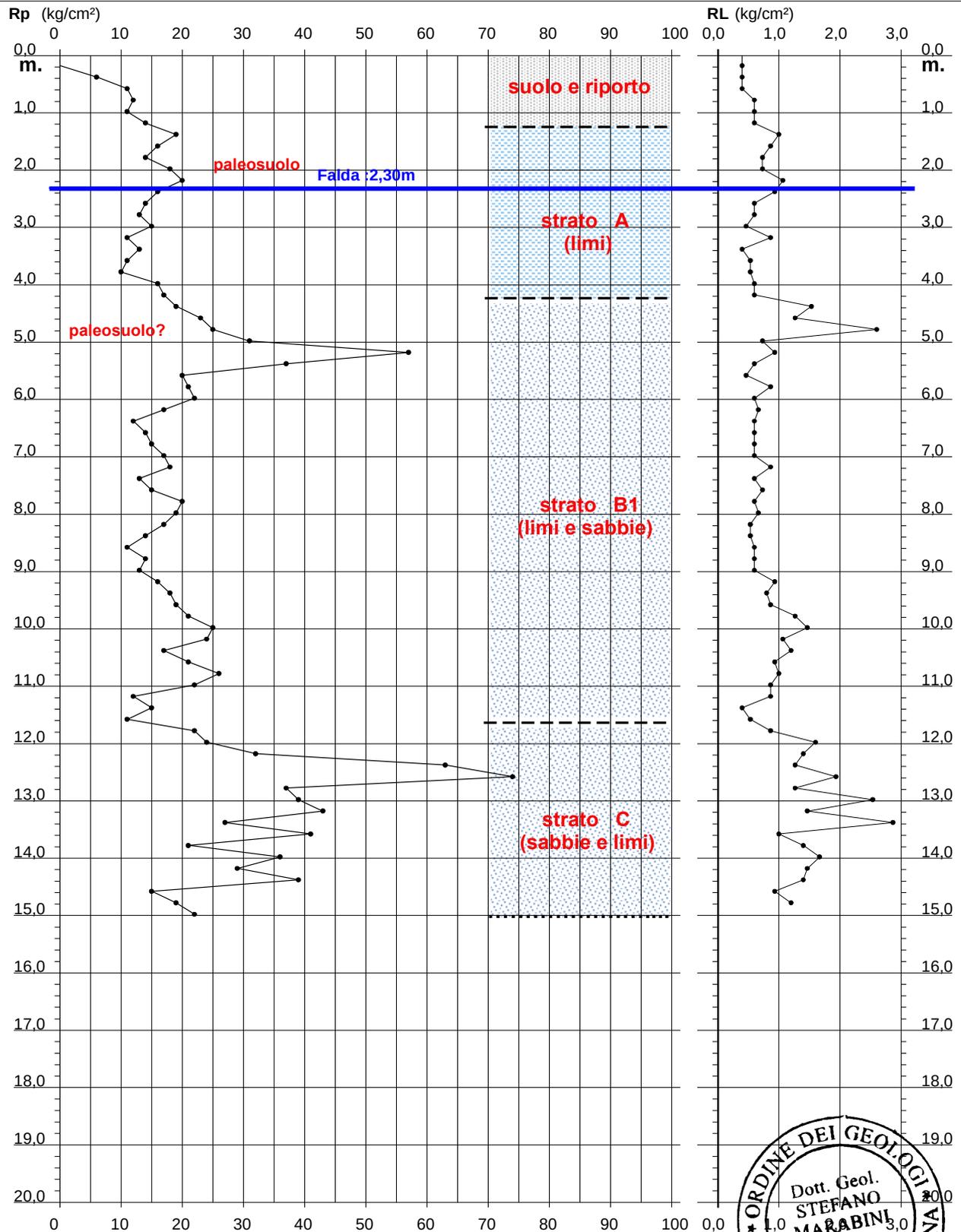
- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\varnothing = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 6

- committente : Dott. Geol. Stefano Marabini
- lavoro : Area casino placci sub B
- località : nuova urbanizzazione

- data : 04/03/2008
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,30 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100

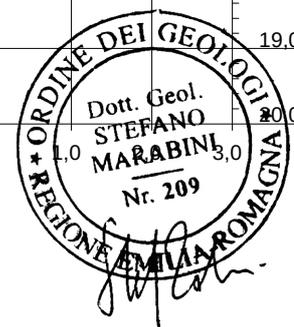
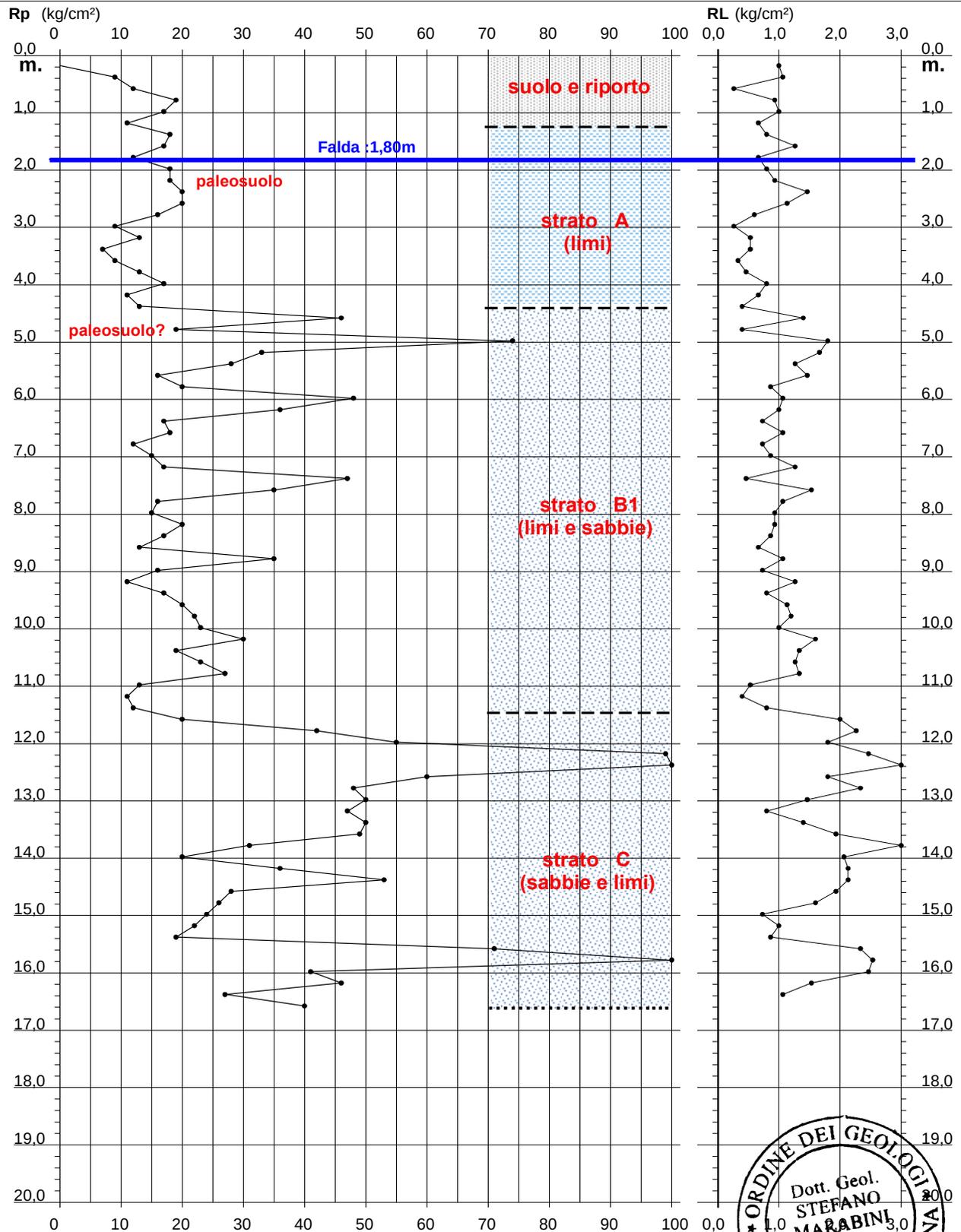


PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 7

- committente : Dott. Geol. Stefano Marabini
- lavoro : Area casino placci sub B
- località : nuova urbanizzazione

- data : 13/03/2019
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,80 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



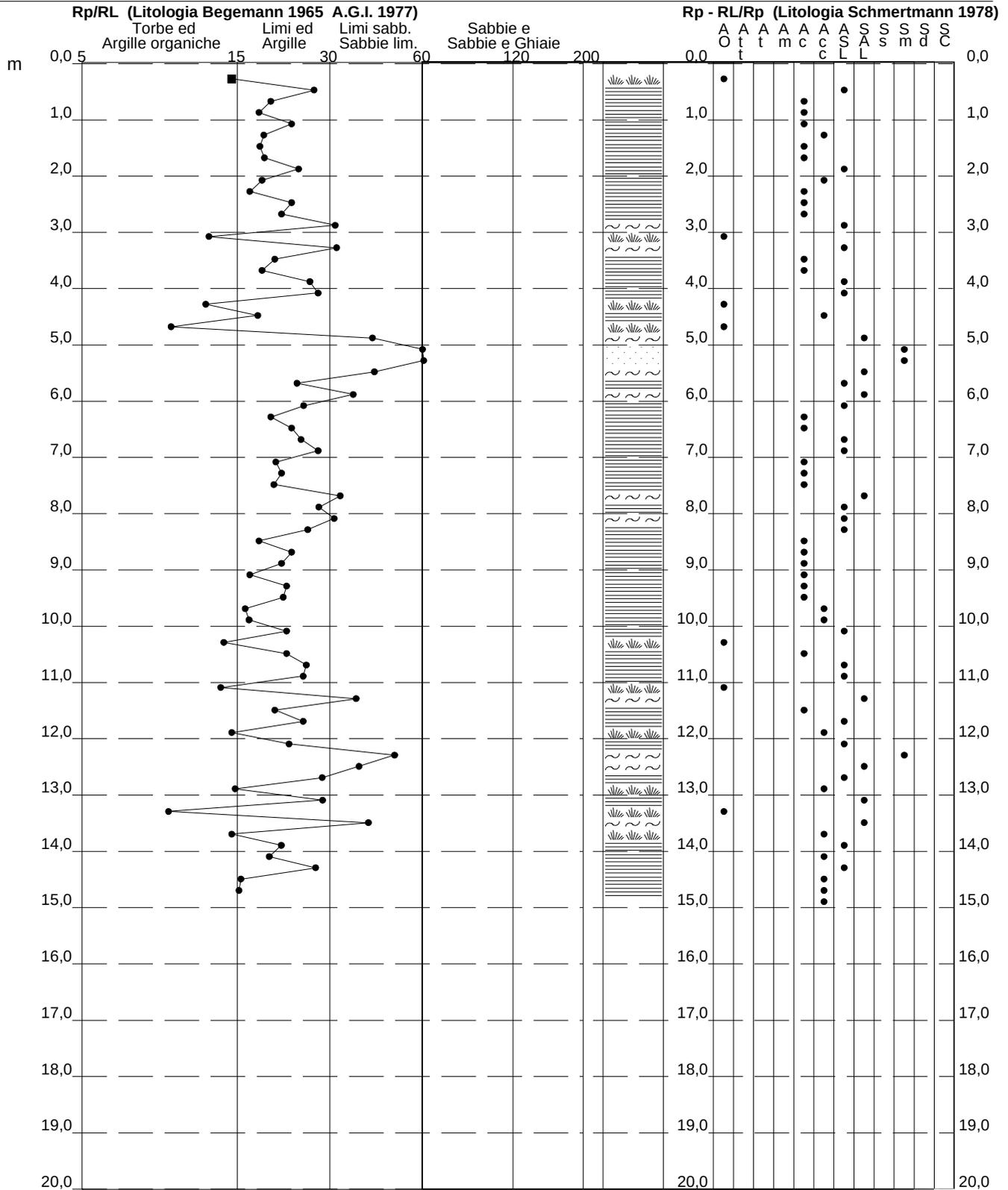
**PROVA PENETROMETRICA STATICA
VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

CPT 6

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Stefano Marabini
- lavoro : Area casino placci sub B
- località : nuova urbanizzazione
- note :

- data : 04/03/2008
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,30 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100





INDAGINE SISMICA mediante la tecnica del rapporto spettrale H/V a stazione singola eseguita con tromografo digitale TROMINO-Micromed ed elaborazione dei dati mediante software GRILLA-Micromed

CANTIERE: via Pana – Faenza (RA)

LAVORO: “Area Casino Placci sub B” – Scheda P.R.G. n. 167

COMMITTENTE: dr. geol. Stefano Marabini



Faenza, Maggio 2020/Settembre 2023

Dr. Geol. Bruno Gardegni



INDAGINE GEOFISICA e INTERPRETAZIONE

Scopo della presente relazione è la caratterizzazione sismica dell’**“AREA CASINO PLACCI – sub B (Scheda n. 167 PRG del Comune di Faenza)**, posta in ambito di piana alluvionale ed interessata da specifico **“Piano Particolareggiato”**.

Allo scopo è stata eseguita in posizione centrale una indagine sismica utilizzando un tomografo digitale Tromino-Micromed, avvalendosi del metodo di Nakamura sul rapporto spettrale H/, che fornisce una valutazione diretta della V_{s30} in base all’individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità della formazione rocciosa.

Questa tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) con apparecchio tomografico **TROMINO** permette inoltre di misurare la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro che è utilizzabile in termini di risposta sismica locale (RSL) per progettare edifici non con la stessa frequenza di risonanza del terreno, in modo da evitare l’effetto di doppia risonanza pericoloso per la stabilità degli edifici.

La V_{s30} viene calcolata o meglio stimata mediante un codice di calcolo apposito attraverso il software **GRILLA**, è necessario conoscere la profondità di un riflettore stratigrafico (prova penetrometrica o sondaggio) e riconoscibile dalla curva H/V.

La tecnica HVSR si basa in parte sulla sismica tradizionale dei microtremiti, cioè di oscillazioni molto piccole rispetto al sisma; il metodo di acquisizione dei dati è quindi detto passivo in quanto il rumore non è generato come ad esempio dalle esplosioni della sismica attiva.

I dati sono stati acquisiti con un frequenza base di 128 Hz e convertiti in file ASCII mediante il software Grilla, e il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo di 30 minuti, suddiviso in intervalli della durata di 8 sec.

Successivamente si è operato alla costruzione di un modello teorico HVSR e, tramite un algoritmo, all’adattamento della curva sperimentale e quella teorica. Le acquisizioni rispettano le indicazioni del processo SESAME.

Nel presente studio, che sfrutta la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale H/V = 1) con quello misurato in superficie, la frequenza di risonanza del terreno è regolata dalla formula:

$$f = V_s / 4H$$

dove f è la frequenza e H lo spessore dello strato sismico.

Di seguito si riportano i dati relativi all'acquisizione sismica:

Inizio registrazione: 15/05/20 10:42:14 Fine registrazione: 15/05/20 11:02:14

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 97% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

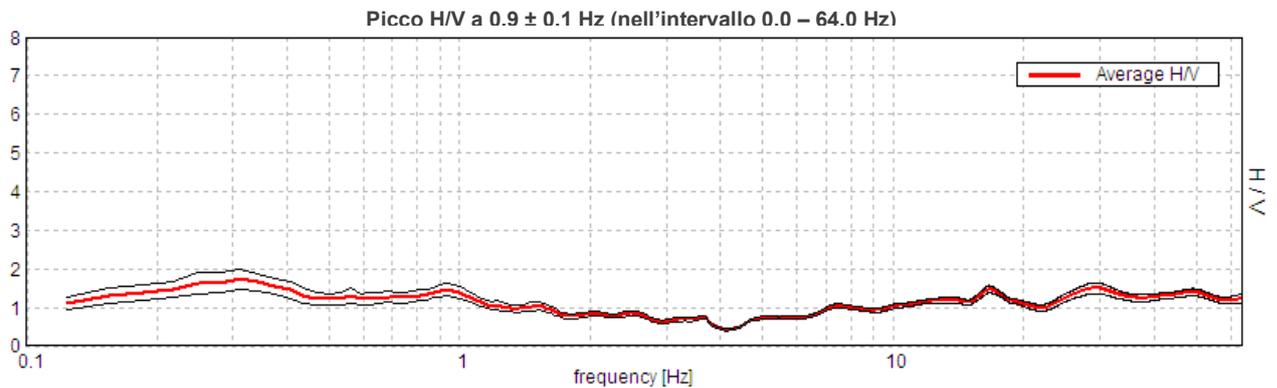
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

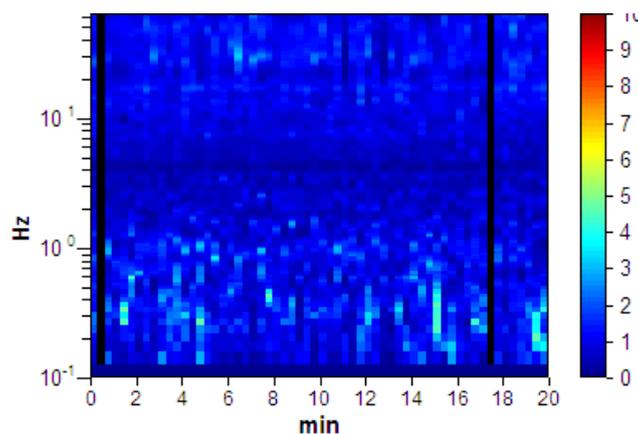
Lisciamento: 10%

Nel grafico che segue è rappresentata la curva sperimentale H/V frutto dell'elaborazione mediante algoritmo dei microtremori registrato dall'apparecchiatura, in ascissa la frequenza di risonanza del terreno, in ordinata il rapporto H/V:

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

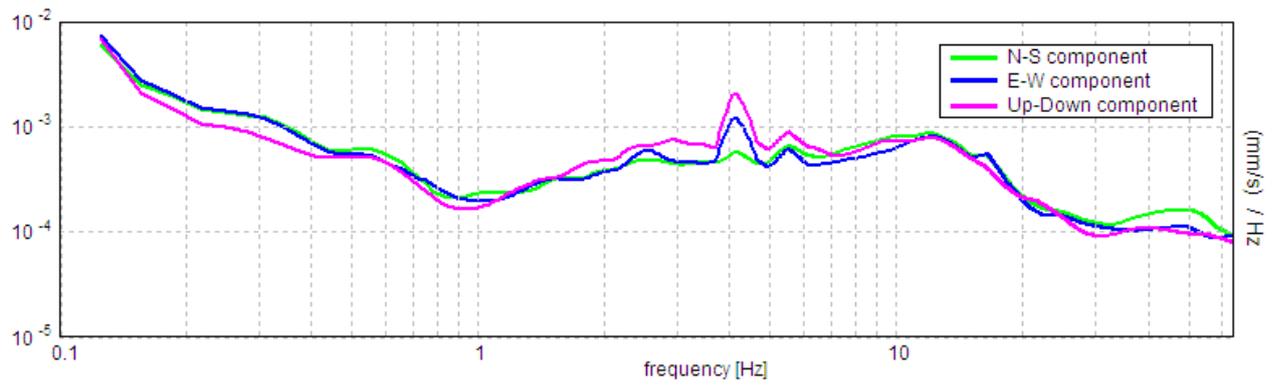


H/V TIME HISTORY

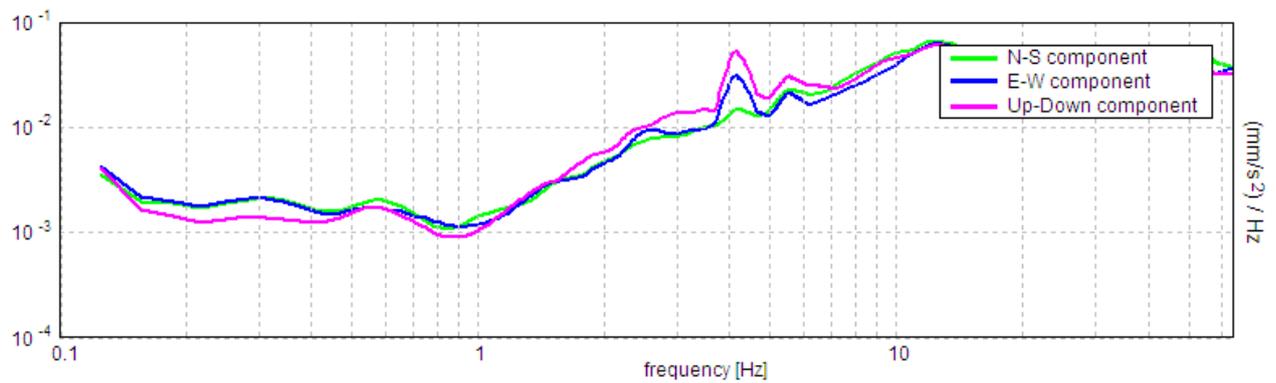


Nei grafici successivi l'andamento della traccia nelle 3 componenti N-S, E-W e verticale:

SINGLE COMPONENT SPECTRA (VELOCITA')

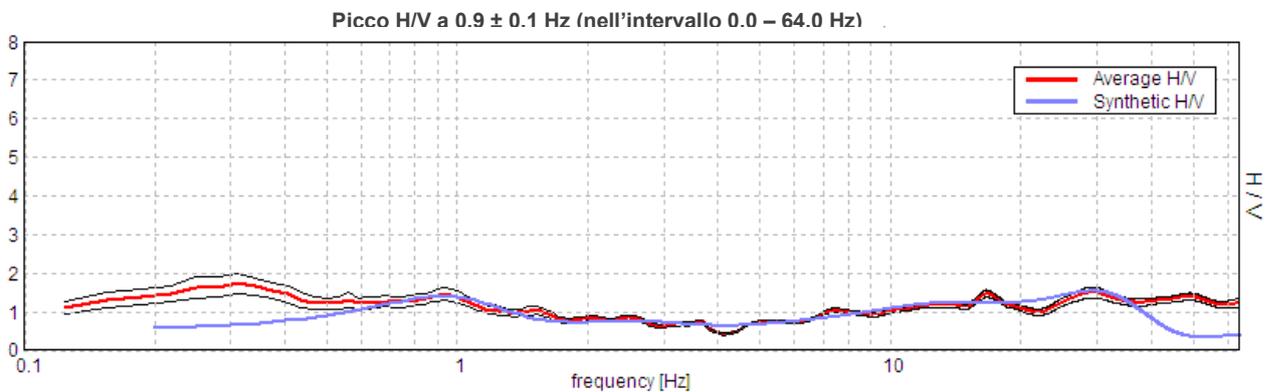


SINGLE COMPONENT SPECTRA (ACCELERAZIONE)



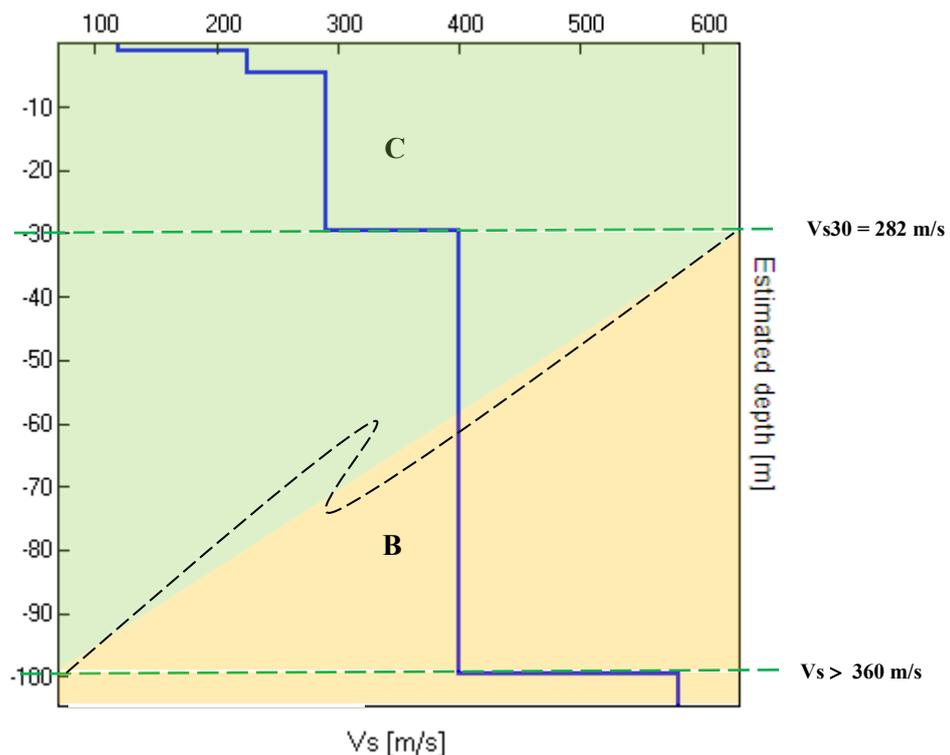
Il grafico sotto rappresenta l'elaborazione della traccia sperimentale da cui si ricava la Vs30 e relativa categoria di suolo, la curva blu è la curva teorica risultato dell'elaborazione, devono essere il più possibile coincidenti;

EXPERIMENTAL VS SYNTHETIC H/V



A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore V_s , e quindi il relativo grafico dell'andamento della V_s in profondità,.

Litologia presunta	Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	V_s [m/s]
Terreno vegetale	1.00	1.00	120
Limi e argille tenere	4.50	3.50	225
Limi e argille medie, ghiaia	29.50	25.00	290
Limi e argille compatte	99.50	70.00	400
Substrato non rigido	inf.	inf.	580



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente V_{s30} , valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

$$V_{s30} = 282 \text{ m/s} \pm 50 \text{ m/s}$$

Il valore ottenuto classifica il terreno come **sito C**.

Trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.

PARAMETRI SISMICI da GEOSTRU

Tipo di elaborazione: FONDAZIONI

Sito in esame: C

Coordinate espresse in ED50: Latitudine: 44,328714° Longitudine: 11,886022°

Coordinate espresse in WGS84: Latitudine: 44.327775° Longitudine: 11.885044°

Classe d'uso II: costruzioni con normale affollamento di persone, assenza di funzioni pubbliche e sociali importanti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti, strade e opere infrastrutturali non ricadenti in classe d'uso III e IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Siti di riferimento:

	ID	Latitudine °	Longitudine °	Distanza
Sito 1	17625	44,3240	11,8832	572,355
Sito 2	17626	44,3249	11,9531	5350,261
Sito 3	17404	44,3749	11,9518	7328,070
Sito 4	17403	44,3740	11,8819	5040,577

Categoria suolo: **C**

Categoria topografica: **T1**

Vita nominale opera: **50 anni**

Coefficiente **Cu: 1,0**

Parametri sismici:

	P_VR %	Tr (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività SLO	81	30	0,064	2,417	0,262
Danno SLD	63	50	0,081	2,406	0,270
Salvaguardia vita SLV	10	475	0,200	2,415	0,304
Prevenzione collasso SLC	5	975	0,252	2,462	0,317

P_VR = probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R = 35 anni

Tr = periodo di riferimento

ag = accelerazione di gravità

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orr.

Tc = periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro di accelerazione orr.

Coefficienti sismici:

	Ss (-)	Cc (-)	St (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (m/s²)	Beta (-)
SLO	1,500	1,630	1,000	0,019	0,010	0,935	0,200
SLD	1,500	1,620	1,000	0,024	0,012	1,193	0,200
SLV	1,410	1,560	1,000	0,079	0,040	2,768	0,280
SLC	1,330	1,530	1,000	0,094	0,047	3,293	0,280

Ss = amplificazione stratigrafica Cc = coeff. funz. categoria

St = amplificazione topografica Amax = acc. max attesa al sito

Kh = coeff, sismico verticale Kv = coeff. Sismico orizzontale Beta = coeff. riduzione acc.max

Zona 1 = 0,35g

Zona 2 = 0,25g

Zona 3 = 0,15g

Zona 4 = 0,05g

Valore di a_{refg} per il comune di Faenza = 0,2022

dove a_{refg} = accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T = 0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg})

Categorie topografiche del terreno

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolate con inclinazione media $i < 15^\circ$	St = 1
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	St = 1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$	St = 1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	St = 1.4

Categorie suolo di fondazione

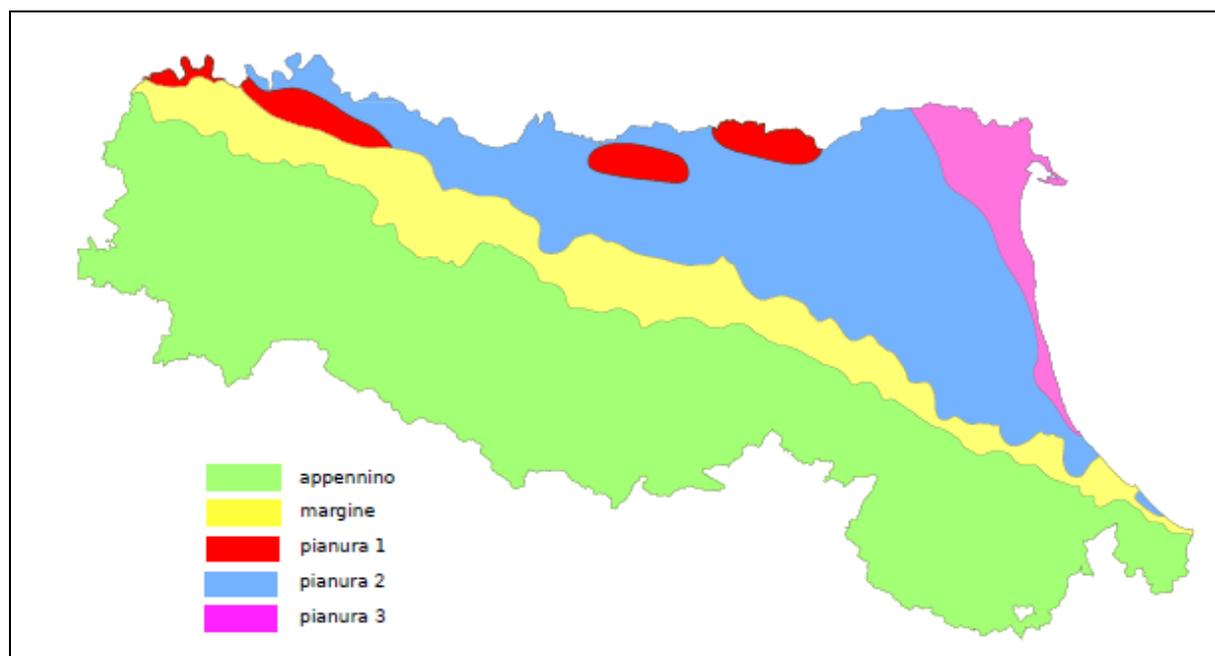
	Descrizione del profilo stratigrafico	V_{s30} (m/s)
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>	180 – 360

Parametri per il profilo stratigrafico

$S = 1,25$, sabbie e ghiaie mediamente addensate, argille media consistenza, Tipo C;

ELEMENTI di MICROZONAZIONE SISMICA

Si considerano i coefficienti di amplificazione sismica relativi alla fascia di velocità relativa a 250 m/s.



Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici

Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica

(DGR n.630 del 29/04/2019 aggiornamento DGR n.476 del 12/04/2021)

F.A. P.G.A.: accelerazione di picco orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito.

F.A. S.I.: Intensità spettrale di risposta in velocità relativo a tre intervalli.

F.A. S.A.: Intensità spettrale di risposta in accelerazione relativo a quattro intervalli.

MARGINE APPENNINICO-PADANO di tipo B: caratterizzato da spessore dei terreni fini superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini;

Vs30	150	200	250	300	350	400
F.A. P.G.A	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5

Fattore di Amplificazione **PGA**

Vs30	150	200	250	300	350	400
F.A SI1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A SI2	2.9	2.8	2.5	2.3	2.1	2.0
F.A SI3	3.3	3.1	2.7	2.4	2.2	2.0

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

Vs30	150	200	250	300	350	400
F.A. SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5
F.A SA2	2,6	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7
F.A SA3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1
F.A SA4	3,0	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9

F.A. **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$) e **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

CONCLUSIONI

- Il terreno indagato è classificabile come **sito C**;
- La velocità stimata è pari a **$Vs30 = 282$ m/s**;
- La frequenza caratteristica del sito è **$F_0 = 0,9$ Hz**;
- La frequenza secondaria del sito è **$F_0 = 0,3$ Hz**;
- L'accelerazione di gravità del sito è **$ag = 0,200$ (SLV)**;
- L'accelerazione massima è **$A_{max} = 2,768$ (SLV)**;

- L'accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T = 0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità per il comune di Faenza è $g(a_{refg}) = 0,2022$;
- La categoria topografica è **T1**;
- L'area è classificabile come **Margine di tipo B**;
- Si assumono come coefficienti di amplificazione sismica quelli relativi alla fascia di velocità pari a 250 m/s;
- Si riportano coefficienti di amplificazione sismica su base regionale, tali coefficienti non sono vincolanti ai fini della progettazione (**Margine appenninico-padano di tipo B**):

PGA = 1,6	SA1 per l'intervallo $0,1s < T_0 < 0,5s = 1,8$
SI1 per l'intervallo $0,1s < T_0 < 0,5s = 1,9$	SA2 per l'intervallo $0,4s < T_0 < 0,8s = 2,3$
SI2 per l'intervallo $0,5s < T_0 < 1,0s = 2,5$	SA3 per l'intervallo $0,7s < T_0 < 1,1s = 2,7$
SI3 per l'intervallo $0,5s < T_0 < 1,5s = 2,7$	SA4 per l'intervallo $0,5s < T_0 < 1,5s = 2,6$

Faenza, Maggio 2020/Settembre 2023

Dr. Geol. Bruno Gardegni



VERIFICA LIQUEFAZIONE E STIMA CEDIMENTI POST-SISMICI

CANTIERE: via Pana – Faenza (RA)

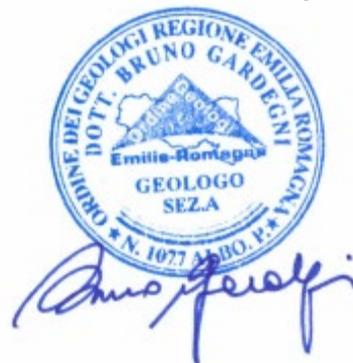
LAVORO: “Area Casino Placci sub B” – Scheda P.R.G. n. 167

COMMITTENTE: dr.geol. Stefano Marabini



Faenza, Settembre 2023

Dr. Geol. Bruno Gardegni



PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Scopo della presente relazione geologica è la caratterizzazione sismica del primo sottosuolo di un'area ubicata nel territorio del Comune di Faenza in via Pana, per la quale sono disponibili i risultati geognostici ed idrogeologici (profondità media falda di circa 2,4 m) di **n. 7 prove penetrometriche statiche CPT 20 ton**, di cui 6 fino a 15 m di profondità e 1 fino a 20 m di profondità, i quali hanno consentito la definizione dei parametri geotecnici richiesti ai sensi delle seguenti Normative **(v.**

Relazione Geologica Piano Particolareggiato):

- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988 “norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, esecuzione e collaudo delle opere di sostegno delle terre e di fondazione”;
- relativa Circolare applicativa Ministero dei Lavori Pubblici 24 settembre 1988 n.30483;
- Circolare Ministero dei Lavori Pubblici 9 gennaio 1996 n.218/24/3 “istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica”;
- Decreto Ministeriale 16/01/1996 “norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”.

Recentemente tutta la normativa vigente è stata sostanzialmente modificata da:

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3274 del 20 marzo 2003 “primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”
- Ordinanza n. 3316 del 2 ottobre 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri;
- Ordinanza n. 3379 del 5 novembre 2004 della Presidenza del Consiglio dei Ministri;
- Ordinanza n. 3431 del 3 maggio 2005 della Presidenza del Consiglio dei Ministri;
- Ordinanza n. 3452 del 1 agosto 2005 della Presidenza del Consiglio dei Ministri;
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 14 settembre 2005 “Norme tecniche per le costruzioni”;
- Ordinanza n. 3467 del 13 ottobre 2005 della Presidenza del Consiglio dei Ministri;
- D.M. 14 gennaio 2008: Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- Circolare Cons. Sup. LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione del D.M. 14 gennaio 2008 aggiornata al 7 marzo 2008;
- Circolare Cons. Sup. LL.PP. n° 617/2009: Istruzioni per l'applicazione del D.M. del 14/01/2008.
- Delibera della Giunta Regionale 21 dicembre 2015, n. 2193: Art. 16 della L.R. n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”, di cui alla delibera dell'Assemblea legislativa 2/05/2007, n. 112;

- D.P.R. 13 giugno 2017, n. 120 - Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164;
- D.M. 17 gennaio 2018: Nuove norme tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- **Aggiornamento studi di micro zonazione sismica DGR 476/2021e DGR 564/2021.**

VERIFICA alla LIQUEFAZIONE

Per quanto riguarda la **liquefazione** deve esserne verificata la suscettibilità quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati o lenti spesse di sabbie sciolte in falda, in generale si assume che vengano trascurati i livelli sabbiosi di spessore uguale o minore di 0,6 m confinati all'interno di strati coesivi e immersi in falda, in quanto non presentano uno spessore tale da consentire il fenomeno della liquefazione, nel caso specifico, dalle prove eseguite troviamo strati di limi sabbiosi di spessore inferiore a 0,6 m con valori medi di R_p immersi in falda, in teoria non suscettibili di liquefazione, per precauzione procediamo ugualmente ad una verifica.

Si può trascurare il pericolo di liquefazione quando:

- 1 - la magnitudo attesa è inferiore a 5;
- 2 - l'accelerazione massima attesa in superficie è minore di $0.1g$;
- 3 - terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - la frazione di fine, FC, è superiore al 20%, con indice di plasticità $IP > 10\%$;
 - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N1)_{60} > 20$ oppure $qc_{1N} > 95$ oppure $VS1 > 200$ m/s;
 - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N1)_{60} > 25$ oppure $qc_{1N} > 160$ oppure $VS1 > 220$ m/s

$(N1)_{60}$, qc_{1N} , $VS1$ sono i valori normalizzati dell'indice NSPT della Standard Penetration Test, della resistenza di punta qc della prova CPT e della velocità di propagazione delle onde di taglio da prove geofisiche;
- 4 - distribuzione granulometrica esterna per oltre il 50% al fuso indicato in Fig. 1a nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Fig. 1b per coefficienti di uniformità > 3.5 .
- 5 - profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna.
- 6 - copertura di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3 m, oppure con spessore maggiore di 5 m per magnitudo maggiori di $M > 7$.
- 7 - un ulteriore motivo di esclusione dalla verifica di liquefazione è dato dal valore della densità relativa D_r del deposito, Gibbs ha eseguito diversi studi su risultati di vari autori stabilendo che una densità relativa pari a 70% è valore limite tra terreni liquefacibili e non liquefacibili (Manuale di

geotecnica per l'ingegneria civile" di Nunziante Marino, Maggioli Editore, 2006), di conseguenza tutti i terreni con $D_r > 70\%$ vengono automaticamente esclusi dalla verifica alla liquefazione.

Per valutare il pericolo di liquefazione è stato adottato il metodo di Robertson e Wride (1997), che parte dai risultati delle prove CPT, per giungere a un fattore di sicurezza calcolato sulla stima dei seguenti parametri:

$$F_L(z) = (CRR_{M=7,5; \sigma'v=1atm} / CSR) \cdot MSF K\sigma \quad \text{ove:}$$

CRR = resistenza ciclica del terreno

CSR = rapporto tensionale ciclico

MSF = fattore scala della magnitudo = 1,69 (5,5)/1,48 (6,0)/1,30 (6,5)/1,14 (7,0)/1,00 (7,5)/ 0,88 (8,0)

$K\sigma$ è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata.

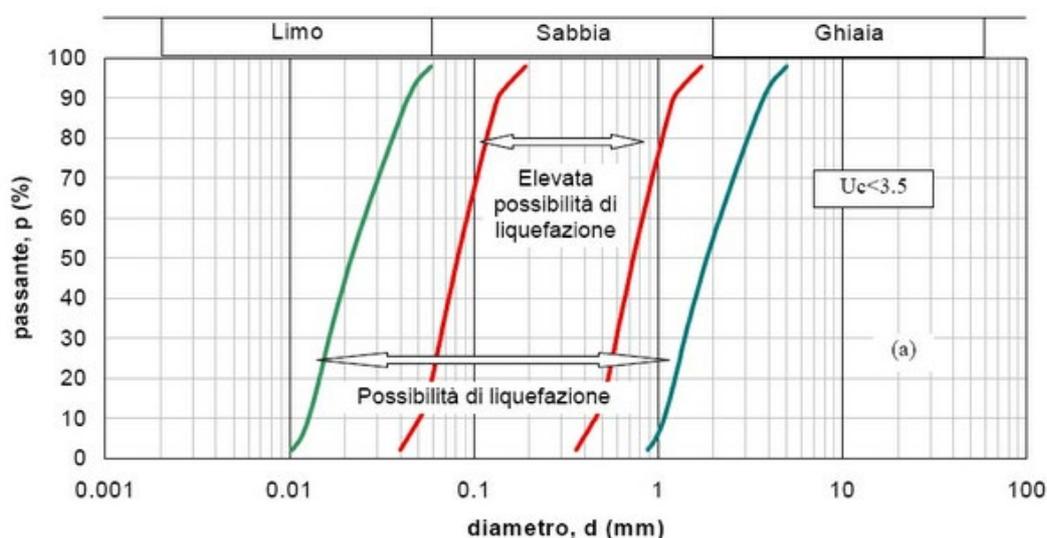


Figura 4.5.9 – Fasce granulometriche critiche $U_c < 3.5$

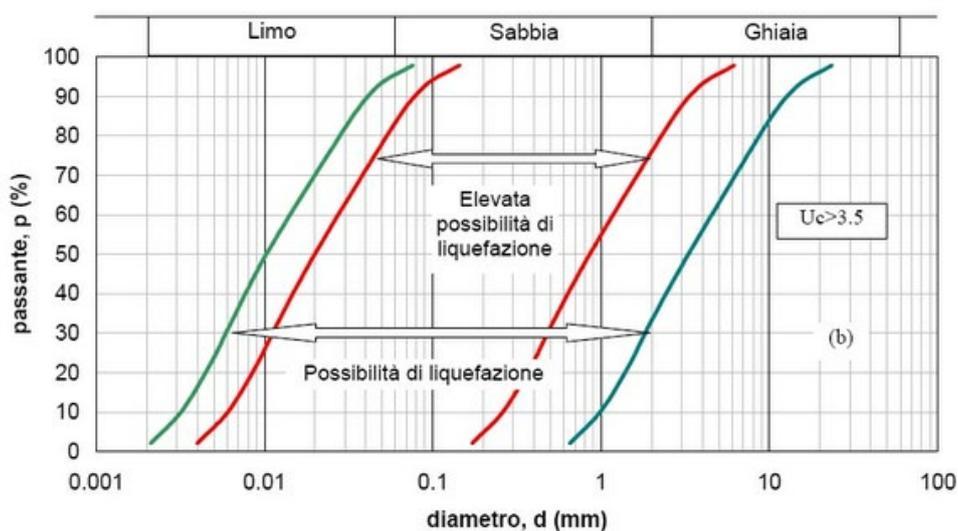


Figura 4.5.10 – Fasce granulometriche critiche $U_c > 3.5$

L' indice del potenziale di liquefazione IPL è una misura degli effetti della liquefazione basata sulla larghezza e profondità delle zone liquefacibili e su casi storici di liquefazione. Il metodo implementato in Liquiter per il calcolo del potenziale di liquefazione IPL utilizzato è quello di Sonmez (2003).

Il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione è definito da:

$$IPL = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

dove:

$$F_{(0)} = 0 \text{ se } FSL \geq 1.2$$

$$F_{(z)} = 2 \cdot 10^6 \cdot e^{(-18.427FSL)} \text{ se } 1.2 > FSL > 0.95$$

$$F_{(z)} = 1 - FSL \text{ se } FSL \leq 0.95$$

si indica con z_{crit} la profondità massima alla quale strati liquefatti producono effetti in superficie:

$$\text{se } z_{crit} = 20 \text{ m} \rightarrow w_{(z)} = 10 - 0.5 \cdot z$$

$$\text{se } z_{crit} = 10 \text{ m} \rightarrow w_{(z)} = 20 - 2 \cdot z$$

Tradizionalmente la profondità critica è assunta pari a 20 m, ma recentemente Ozocak e Sert (2010), sulla base di evidenze sperimentali successive ai terremoti di Adapazari (Turchia) del 1999 e sulla base delle curve limite per manifestazioni di liquefazioni in superficie di Ishihara (1985), hanno proposto di assumere per terremoti di magnitudo "usuale" la profondità critica di 10 m. Le classi di potenziale di liquefazione, secondo la proposta di Sonmez (2003), sono i seguenti:

Tab. I – Classi di pericolosità di liquefazione secondo Sonmez (2003)

Indice del potenziale di liquefazione,	Pericolosità di liquefazione
LPI = 0	Nulla
0 < LPI < 2	Bassa
2 < LPI < 5	Moderata
5 < LPI < 15	Alta
LPI > 15	Molto alta

Tab. II - Classi di probabilità di liquefazione secondo Chen e Juang (2000)

Classe	Probabilità di liquefazione,	Giudizio di pericolosità
5	PL ≥ 0.85	Liquefazione quasi certa
4	0.65 ≤ PL < 0.85	Liquefazione molto probabile
3	0.35 ≤ PL < 0.65	Liquefazione e non liquefazione ugualmente
2	0.15 ≤ PL < 0.35	Liquefazione improbabile
1	PL < 0.15	Non liquefazione quasi certa

SEED E IDRISSE

Il metodo utilizzato dal software Loadcap per la valutazione della liquefacibilità di un terreno sabbioso saturo durante un evento sismico è quello proposto da Seed e Idriss, il più noto e utilizzato dei metodi semplificati.

Si basa sul numero di colpi della prova Standard Penetration Test e richiede solo la conoscenza di pochi parametri geotecnici: *la granulometria, la densità relativa, il peso di volume.*

Con tale metodo il fattore di resistenza alla liquefazione FS viene valutato dal rapporto tra la capacità di resistenza normalizzata (R) e la domanda di resistenza ciclica (T), moltiplicato per un fattore di scala valutato considerando un evento sismico atteso di magnitudo M=6.5 che assume un valore costante pari a 1.19 (condizione peggiore).

La capacità di resistenza normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale viene espressa dalla seguente relazione:

$$R = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_{v0}}$$

e può essere determinata dal grafico rappresentato in Fig. 4.5.11, funzione di parametri desunti da prove SPT opportunamente corretti e normalizzati.

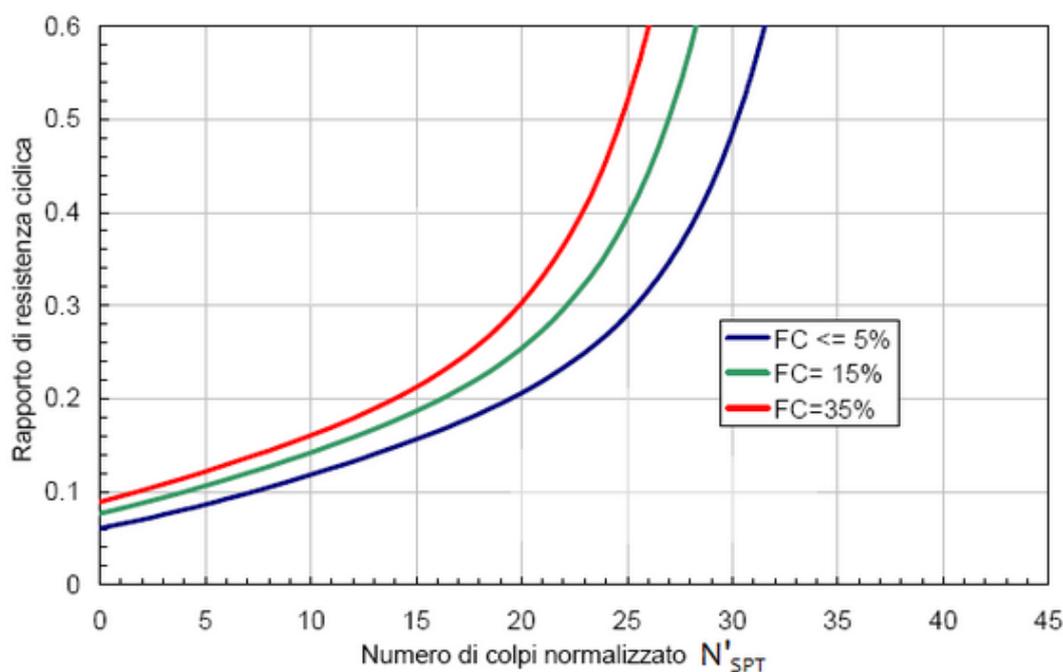


Figura 4.5.11 – Correlazione fra capacità di resistenza ciclica e numeri di colpi corretto della prova penetrometrica dinamica (N'_{SPT})

La domanda di resistenza ciclica viene espressa dalla relazione:

$$T = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

dove:

g accelerazione di gravità;

σ_v σ'_v rispettivamente la tensione verticale totale e quella efficace alla profondità considerata;

$r_d = 1 - 0.015z$ coefficiente correttivo che tiene conto della deformabilità del terreno al passaggio delle onde sismiche di taglio.

Nell'espressione della domanda di resistenza (T), per tenere conto del carattere sporadico dei picchi di accelerazione, si corregge lo sforzo massimo ciclico indotto dall'evento sismico del 35% ottenendo un valore di "sforzo equivalente uniforme".

Se $FS > 1.3$ il deposito viene considerato non liquefacibile.

Poiché l'area di studio è inserita all'interno della 2° categoria ed il terreno di studio ricade nella classe C, per il calcolo dell'azione sismica si considera un'accelerazione massima pari a :

$$A_{max} = S \cdot a_g = 1,25 \times 0,25 = 0,31g = 3.04 \text{ m/s}^2$$

A_{max} = accelerazione massima al p.c.

G = accelerazione di gravità (9,8 m/s²)

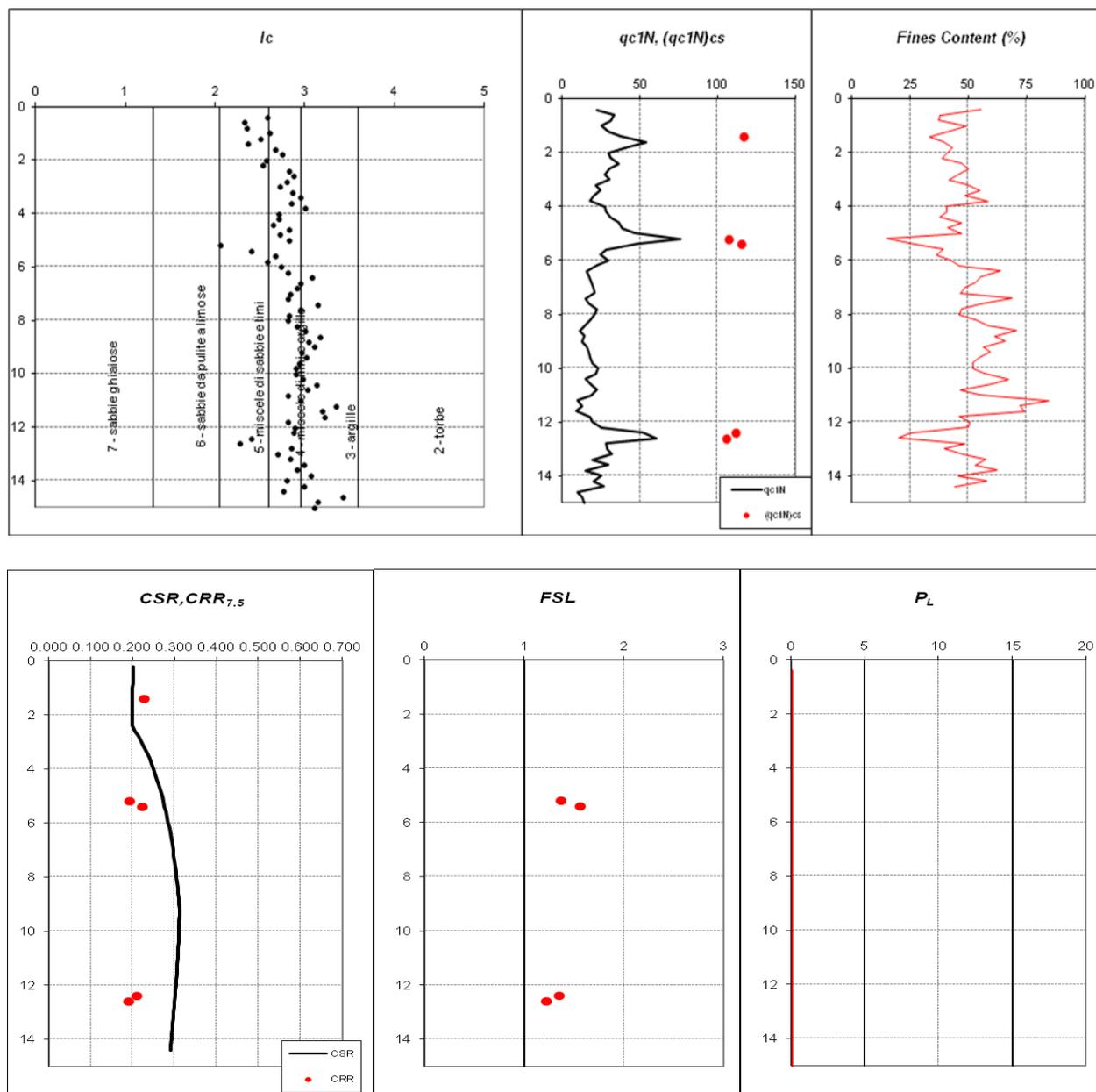
In allegato vengono riportate le tabelle riassuntive dei valori calcolati per ogni prova CPT considerata, le quali sono state prescelte in ragione della variabilità areale (v. grafici e tabelle in **Relazione Geologica Piano Particolareggiato**):

CPT 6

prof	sv0	u	s' v0	CSR	LP	LL	Fs	Q	lc	classe	CRR	FSL	PL
0.2	0.037	0	0.037	0.201	----	----							
0.4	0.074	0	0.074	0.201	6	12	0.400	80.081	2.579	sabbia lim.-limo sab.	-2.000	5.000	0.000
0.6	0.111	0	0.111	0.201	11	17	0.400	98.099	2.318	sabbia lim.-limo sab.	-2.000	5.000	0.000
0.8	0.148	0	0.148	0.200	12	18	0.400	80.081	2.347	sabbia lim.-limo sab.	-2.000	5.000	0.000
1	0.185	0	0.185	0.200	11	20	0.600	58.459	2.600	sabbia lim.-limo sab.	-2.000	5.000	0.000
1.2	0.222	0	0.222	0.200	14	23	0.600	62.063	2.504	sabbia lim.-limo sab.	-2.000	5.000	0.000
1.4	0.259	0	0.259	0.199	19	28	0.600	72.359	2.360	sabbia lim.-limo sab.	0.228	5.000	0.000
1.6	0.296	0	0.296	0.199	16	31	1.000	53.054	2.673	limo arg. - argilla lim.	-2.000	5.000	0.000
1.8	0.333	0	0.333	0.199	14	27	0.867	41.042	2.745	limo arg. - argilla lim.	-2.000	5.000	0.000
2	0.37	0	0.37	0.198	18	29	0.733	47.649	2.568	sabbia lim.-limo sab.	-2.000	5.000	0.000
2.2	0.407	0	0.407	0.198	20	31	0.733	48.140	2.532	sabbia lim.-limo sab.	-2.000	5.000	0.000
2.4	0.444	0.001	0.443	0.198	16	32	1.067	35.115	2.816	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-19.524	0.000
2.6	0.481	0.021	0.46	0.207	14	28	0.933	29.389	2.872	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-18.743	0.000
2.8	0.518	0.041	0.477	0.214	13	22	0.600	26.168	2.798	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-18.076	0.000
3	0.555	0.061	0.494	0.221	15	24	0.600	29.241	2.720	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-17.499	0.000
3.2	0.592	0.081	0.511	0.228	11	18	0.467	20.368	2.859	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-16.997	0.000

3.4	0.629	0.101	0.528	0.234	13	26	0.867	23.430	2.946	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-16.555	0.000
3.6	0.666	0.121	0.545	0.239	11	17	0.400	18.961	2.841	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-16.164	0.000
3.8	0.703	0.141	0.562	0.245	10	18	0.533	16.543	2.997	argilla	-2.000	-15.816	0.000
4	0.74	0.161	0.579	0.250	16	24	0.533	26.356	2.703	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-15.504	0.000
4.2	0.777	0.181	0.596	0.254	17	26	0.600	27.220	2.709	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-15.223	0.000
4.4	0.814	0.201	0.613	0.259	19	28	0.600	29.667	2.648	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-14.970	0.000
4.6	0.851	0.221	0.63	0.263	23	46	1.533	35.157	2.819	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-14.739	0.000
4.8	0.888	0.241	0.647	0.266	25	44	1.267	37.267	2.715	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-14.529	0.000
5	0.925	0.261	0.664	0.270	31	70	2.600	45.294	2.818	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-14.337	0.000
5.2	0.962	0.281	0.681	0.273	57	68	0.733	82.288	2.050	sabbia lim.-limo sab.	0.193	1.369	0.000
5.4	0.999	0.301	0.698	0.276	37	51	0.933	51.577	2.400	sabbia lim.-limo sab.	0.223	1.558	0.000
5.6	1.036	0.321	0.715	0.279	20	29	0.600	26.523	2.673	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-13.850	0.000
5.8	1.073	0.341	0.732	0.282	21	28	0.467	27.223	2.582	sabbia lim.-limo sab.	-2.000	-13.713	0.000
6	1.11	0.361	0.749	0.285	22	35	0.867	27.891	2.734	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-13.585	0.000
6.2	1.147	0.381	0.766	0.287	17	26	0.600	20.696	2.806	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-13.467	0.000
6.4	1.184	0.401	0.783	0.290	12	22	0.667	13.814	3.077	argilla	-2.000	-13.357	0.000
6.6	1.221	0.421	0.8	0.292	14	23	0.600	15.974	2.952	argilla	-2.000	-13.255	0.000
6.8	1.258	0.441	0.817	0.294	15	24	0.600	16.820	2.915	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-13.160	0.000
7	1.295	0.461	0.834	0.296	17	26	0.600	18.831	2.840	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-13.071	0.000
7.2	1.332	0.481	0.851	0.298	18	27	0.600	19.586	2.811	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.988	0.000
7.4	1.369	0.501	0.868	0.300	13	26	0.867	13.400	3.141	argilla	-2.000	-12.910	0.000
7.6	1.406	0.521	0.885	0.302	15	24	0.600	15.360	2.948	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.837	0.000
7.8	1.443	0.541	0.902	0.303	20	31	0.733	20.573	2.820	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.769	0.000
8	1.48	0.561	0.919	0.305	19	28	0.600	19.064	2.806	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.705	0.000
8.2	1.517	0.581	0.936	0.306	17	27	0.667	16.542	2.917	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.645	0.000
8.4	1.554	0.601	0.953	0.307	14	22	0.533	13.060	2.995	argilla	-2.000	-12.589	0.000
8.6	1.591	0.621	0.97	0.309	11	19	0.533	9.700	3.172	argilla	-2.000	-12.536	0.000
8.8	1.628	0.641	0.987	0.310	14	23	0.600	12.535	3.043	argilla	-2.000	-12.486	0.000
9	1.665	0.661	1.004	0.311	13	22	0.600	11.290	3.102	argilla	-2.000	-12.439	0.000
9.2	1.702	0.681	1.021	0.312	16	25	0.600	14.004	2.966	argilla	-2.000	-12.412	0.000
9.4	1.739	0.701	1.038	0.312	18	32	0.933	15.666	3.015	argilla	-2.000	-12.422	0.000
9.6	1.776	0.721	1.055	0.311	19	31	0.800	16.326	2.942	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.434	0.000
9.8	1.813	0.741	1.072	0.311	21	34	0.867	17.898	2.904	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.449	0.000
10	1.85	0.761	1.089	0.310	25	44	1.267	21.258	2.902	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.467	0.000
10.2	1.887	0.781	1.106	0.310	24	46	1.467	19.994	2.979	argilla	-2.000	-12.487	0.000
10.4	1.924	0.801	1.123	0.309	17	33	1.067	13.425	3.126	argilla	-2.000	-12.509	0.000
10.6	1.961	0.821	1.14	0.309	21	39	1.200	16.701	3.021	argilla	-2.000	-12.533	0.000
10.8	1.998	0.841	1.157	0.308	26	40	0.933	20.745	2.813	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.560	0.000
11	2.035	0.861	1.174	0.307	22	37	1.000	17.006	2.950	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.589	0.000
11.2	2.072	0.881	1.191	0.307	12	25	0.867	8.336	3.342	argilla	-2.000	-12.619	0.000
11.4	2.109	0.901	1.208	0.306	15	28	0.867	10.671	3.187	argilla	-2.000	-12.652	0.000
11.6	2.146	0.921	1.225	0.305	11	17	0.400	7.228	3.214	argilla	-2.000	-12.687	0.000
11.8	2.183	0.941	1.242	0.304	22	30	0.533	15.956	2.804	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.723	0.000
12	2.22	0.961	1.259	0.303	24	37	0.867	17.299	2.880	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.762	0.000
12.2	2.257	0.981	1.276	0.302	32	56	1.600	23.310	2.868	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.802	0.000
12.4	2.294	1.001	1.293	0.301	63	84	1.400	46.950	2.396	sabbia lim.-limo sab.	0.210	1.351	0.000
12.6	2.331	1.021	1.31	0.300	74	93	1.267	54.709	2.270	sabbia lim.-limo sab.	0.190	1.226	0.000
12.8	2.368	1.041	1.327	0.299	37	66	1.933	26.098	2.843	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.934	0.000
13	2.405	1.061	1.344	0.298	39	58	1.267	27.228	2.690	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-12.982	0.000
13.2	2.442	1.081	1.361	0.297	43	81	2.533	29.800	2.837	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-13.031	0.000
13.4	2.479	1.101	1.378	0.296	27	49	1.467	17.795	2.986	argilla	-2.000	-13.082	0.000
13.6	2.516	1.121	1.395	0.295	41	84	2.867	27.587	2.915	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-13.134	0.000
13.8	2.553	1.141	1.412	0.293	21	36	1.000	13.064	3.059	argilla	-2.000	-13.189	0.000
14	2.59	1.161	1.429	0.292	36	57	1.400	23.380	2.794	limo arg. - argilla lim.	-2.000	-13.244	0.000

14.2	2.627	1.181	1.446	0.291	29	54	1.667	18.239	2.994	argilla	-	-	0.000
14.4	2.664	1.201	1.463	0.290	39	61	1.467	24.837	2.764	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
14.6	2.701	1.221	1.48	0.288	15	36	1.400	8.310	3.418	argilla	-	-	0.000
14.8	2.738	1.241	1.497	0.287	19	33	0.933	10.863	3.137	argilla	-	-	0.000
15	2.775	1.261	1.514	0.286	22	40	1.200	12.698	3.108	argilla	-	-	0.000

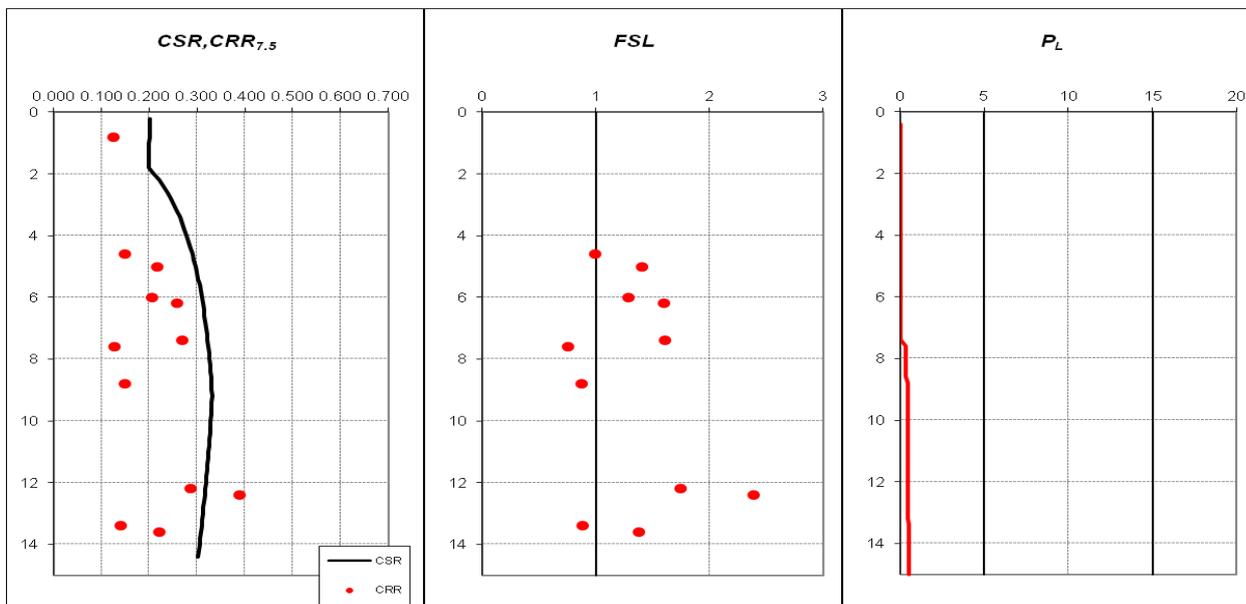
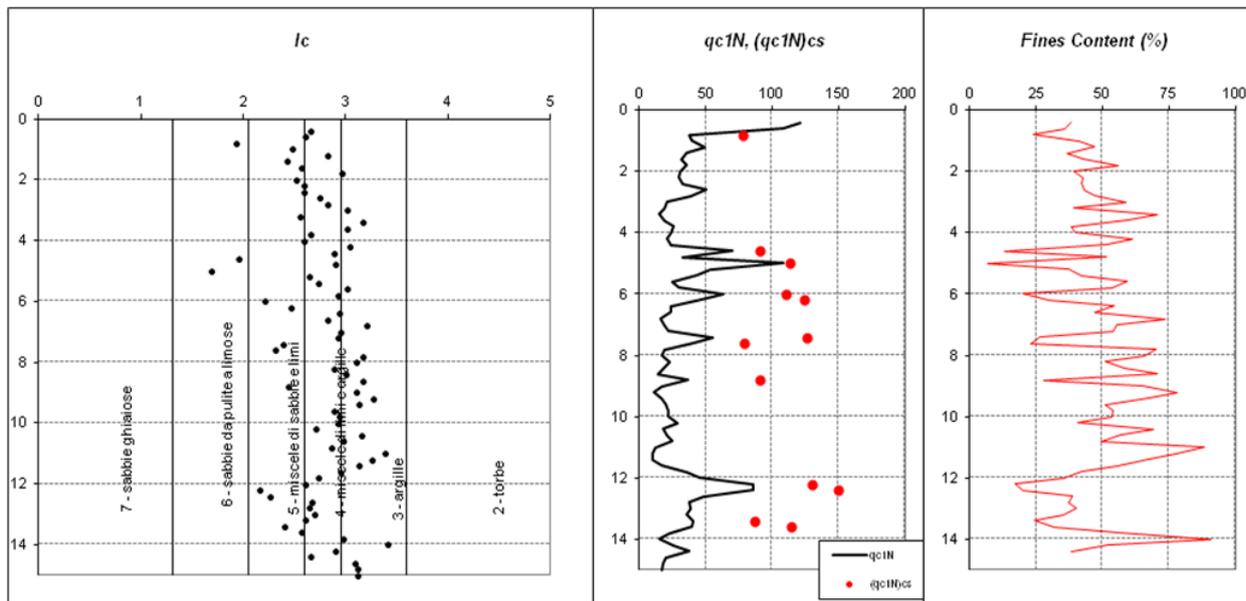


Il calcolo ha evidenziato come non sussiste il rischio di liquefazione in caso di sisma, dai grafici sopra si evidenzia che il **fattore di sicurezza $FSL \geq 1$** mentre il **potenziale di liquefazione è nullo $PL = 0$** . La verifica è stata effettuata fino a 15 m di profondità, con falda a -2,4 m e magnitudo massima attesa pari a $M = 6,1$, l'accelerazione di gravità per la zona 2 è $a_g = 0,25g$ mentre l'accelerazione massima $A_{max} = 0,31g$ per categoria suolo C e coefficiente topografico $S = 1,25$.

CPT 7

prof	sv0	u	s' v0	CSR	LP	LL	Fs	Q	Ic	classe	CRR	FSL	PL
0.2	0.037	0	0.037	0.201	----	----							
0.4	0.074	0	0.074	0.201	9	24	1.000	120.622	2.660	limo arg. - argilla lim.	-	5.000	0.000
0.6	0.111	0	0.111	0.201	12	28	1.067	107.108	2.607	limo arg. - argilla lim.	-	5.000	0.000
0.8	0.148	0	0.148	0.200	19	23	0.267	127.378	1.934	sabbie da pulite a	0.124	5.000	0.000
1	0.185	0	0.185	0.200	17	31	0.933	90.892	2.479	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
1.2	0.222	0	0.222	0.200	11	26	1.000	48.550	2.823	limo arg. - argilla lim.	-	5.000	0.000
1.4	0.259	0	0.259	0.199	18	28	0.667	68.498	2.428	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
1.6	0.296	0	0.296	0.199	17	29	0.800	56.432	2.562	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
1.8	0.333	0.001	0.332	0.199	12	31	1.267	35.142	2.965	argilla	-	-	0.000
2	0.37	0.021	0.349	0.210	18	28	0.667	50.516	2.520	sabbia lim.-limo sab.	-	-	0.000
2.2	0.407	0.041	0.366	0.220	18	30	0.800	48.068	2.593	sabbia lim.-limo sab.	-	-	0.000
2.4	0.444	0.061	0.383	0.229	20	34	0.933	51.060	2.590	sabbia lim.-limo sab.	-	-	0.000
2.6	0.481	0.081	0.4	0.237	20	42	1.467	48.798	2.751	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
2.8	0.518	0.101	0.417	0.245	16	33	1.133	37.127	2.821	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
3	0.555	0.121	0.434	0.252	9	18	0.600	19.459	3.008	argilla	-	-	0.000
3.2	0.592	0.141	0.451	0.258	13	17	0.267	27.512	2.556	sabbia lim.-limo sab.	-	-	0.000
3.4	0.629	0.161	0.468	0.264	7	15	0.533	13.613	3.170	argilla	-	-	0.000
3.6	0.666	0.181	0.485	0.269	9	17	0.533	17.184	3.017	argilla	-	-	0.000
3.8	0.703	0.201	0.502	0.274	13	18	0.333	24.496	2.658	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
4	0.74	0.221	0.519	0.279	17	24	0.467	31.329	2.591	sabbia lim.-limo sab.	-	-	0.000
4.2	0.777	0.241	0.536	0.283	11	23	0.800	19.073	3.043	argilla	-	-	0.000
4.4	0.814	0.261	0.553	0.287	13	23	0.667	22.036	2.891	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
4.6	0.851	0.281	0.57	0.290	46	52	0.400	79.209	1.957	sabbie da pulite a	0.149	0.995	0.008
4.8	0.888	0.301	0.587	0.294	19	40	1.400	30.855	2.893	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
5	0.925	0.321	0.604	0.297	74	80	0.400	120.985	1.686	sabbie da pulite a	0.216	1.408	0.000
5.2	0.962	0.341	0.621	0.300	33	60	1.800	51.591	2.640	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
5.4	0.999	0.361	0.638	0.302	28	53	1.667	42.321	2.728	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
5.6	1.036	0.381	0.655	0.305	16	35	1.267	22.846	3.012	argilla	-	-	0.000
5.8	1.073	0.401	0.672	0.307	20	42	1.467	28.165	2.921	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
6	1.11	0.421	0.689	0.310	48	61	0.867	68.055	2.211	sabbia lim.-limo sab.	0.206	1.287	0.000
6.2	1.147	0.441	0.706	0.312	36	52	1.067	49.367	2.463	sabbia lim.-limo sab.	0.258	1.599	0.000
6.4	1.184	0.461	0.723	0.314	17	32	1.000	21.876	2.936	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
6.6	1.221	0.481	0.74	0.316	18	29	0.733	22.674	2.816	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
6.8	1.258	0.501	0.757	0.317	12	28	1.067	14.190	3.207	argilla	-	-	0.000
7	1.295	0.521	0.774	0.319	15	26	0.733	17.707	2.955	argilla	-	-	0.000
7.2	1.332	0.541	0.791	0.321	17	30	0.867	19.808	2.928	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
7.4	1.369	0.561	0.808	0.322	47	66	1.267	56.474	2.391	sabbia lim.-limo sab.	0.268	1.612	0.000
7.6	1.406	0.581	0.825	0.323	35	42	0.467	40.720	2.306	sabbia lim.-limo sab.	0.127	0.757	0.306
7.8	1.443	0.601	0.842	0.325	16	39	1.533	17.289	3.164	argilla	-	-	0.000
8	1.48	0.621	0.859	0.326	15	31	1.067	15.739	3.106	argilla	-	-	0.000
8.2	1.517	0.641	0.876	0.327	20	34	0.933	21.099	2.882	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
8.4	1.554	0.661	0.893	0.328	17	31	0.933	17.297	2.998	argilla	-	-	0.000
8.6	1.591	0.681	0.91	0.329	13	26	0.867	12.537	3.168	argilla	-	-	0.000
8.8	1.628	0.701	0.927	0.330	35	45	0.667	36.000	2.444	sabbia lim.-limo sab.	0.149	0.874	0.144
9	1.665	0.721	0.944	0.331	16	32	1.067	15.185	3.100	argilla	-	-	0.000
9.2	1.702	0.741	0.961	0.331	11	22	0.733	9.675	3.264	argilla	-	-	0.000
9.4	1.739	0.761	0.978	0.331	17	36	1.267	15.604	3.124	argilla	-	-	0.000
9.6	1.776	0.781	0.995	0.330	20	32	0.800	18.316	2.888	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
9.8	1.813	0.801	1.012	0.329	22	39	1.133	19.948	2.930	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
10	1.85	0.821	1.029	0.329	23	41	1.200	20.554	2.924	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
10.2	1.887	0.841	1.046	0.328	30	45	1.000	26.877	2.702	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
10.4	1.924	0.861	1.063	0.327	19	43	1.600	16.064	3.151	argilla	-	-	0.000
10.6	1.961	0.881	1.08	0.326	23	43	1.333	19.481	2.974	argilla	-	-	0.000
10.8	1.998	0.901	1.097	0.325	27	46	1.267	22.791	2.858	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
11	2.035	0.921	1.114	0.324	13	33	1.333	9.843	3.383	argilla	-	-	0.000
11.2	2.072	0.941	1.131	0.323	11	19	0.533	7.894	3.256	argilla	-	-	0.000
11.4	2.109	0.961	1.148	0.322	12	18	0.400	8.616	3.124	argilla	-	-	0.000
11.6	2.146	0.981	1.165	0.321	20	32	0.800	15.325	2.953	argilla	-	-	0.000
11.8	2.183	1.001	1.182	0.320	42	72	2.000	33.686	2.732	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
12	2.22	1.021	1.199	0.318	55	89	2.267	44.020	2.602	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
12.2	2.257	1.041	1.216	0.317	99	126	1.800	79.558	2.164	sabbia lim.-limo sab.	0.286	1.744	0.000
12.4	2.294	1.061	1.233	0.316	100	137	2.467	79.242	2.258	sabbia lim.-limo sab.	0.390	2.386	0.000
12.6	2.331	1.081	1.25	0.315	60	108	3.200	46.135	2.668	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
12.8	2.368	1.101	1.267	0.313	48	75	1.800	36.016	2.638	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
13	2.405	1.121	1.284	0.312	50	85	2.333	37.068	2.695	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
13.2	2.442	1.141	1.301	0.311	47	69	1.467	34.249	2.601	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
13.4	2.479	1.161	1.318	0.309	50	62	0.800	36.055	2.398	sabbia lim.-limo sab.	0.140	0.879	0.082
13.6	2.516	1.181	1.335	0.308	49	70	1.400	34.819	2.570	sabbia lim.-limo sab.	0.220	1.383	0.000
13.8	2.553	1.201	1.352	0.307	31	60	1.933	21.041	2.970	argilla	-	-	0.000
14	2.59	1.221	1.369	0.305	20	65	3.000	12.717	3.410	argilla	-	-	0.000

14.2	2.627	1.241	1.386	0.304	36	67	2.067	24.079	2.900	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
14.4	2.664	1.261	1.403	0.302	53	85	2.133	35.877	2.661	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
14.6	2.701	1.281	1.42	0.301	28	60	2.133	17.816	3.087	argilla	-	-	0.000
14.8	2.738	1.301	1.437	0.299	26	55	1.933	16.188	3.113	argilla	-	-	0.000
15	2.775	1.321	1.454	0.297	24	48	1.600	14.598	3.117	argilla	-	-	0.000



Il calcolo ha evidenziato come non sussiste il rischio di liquefazione in caso di sisma, dai grafici sopra si evidenzia che il **fattore di sicurezza $FSL \geq 1$** mentre il **potenziale di liquefazione è nullo $PL = 0$** . La verifica è stata effettuata fino a 15 m di profondità, con falda a -2,4 m e magnitudo massima attesa pari a $M = 6,1$, l'accelerazione di gravità per la zona 2 è $ag = 0,25g$ mentre l'accelerazione massima $A_{max} = 0,31g$ per categoria suolo C e coefficiente topografico $S = 1,25$.

STIMA DEI CEDIMENTI POST-SISMICI

Nel presente capitolo viene fatta una stima dei cosiddetti cedimenti post-sismici, ossia dei cedimenti permanenti di riconsolidazione conseguenti ad un terremoto. Un'azione dinamica, quale quella dovuta a un evento sismico, può produrre in terreni molli (terreni coesivi) o poco addensati (terreni granulari) un riordino dello scheletro solido che si traduce in un addensamento e quindi in una consolidazione, determinando così un cedimento, denominato appunto “cedimento post-sismico”.

Il cedimento post-sismico:

- è conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali (pressioni neutre) che si possono accumulare durante un terremoto (la dissipazione di tali pressioni neutre può generare dei cedimenti permanenti anche se non si raggiunge la condizione di liquefazione);
- può verificarsi sia in terreni granulari poco addensati e in presenza di falda ad una certa profondità dal piano campagna (generalmente a quote inferiori ai 15 metri da p.c.), sia in terreni coesivi soffici.

La stima viene effettuata con riferimento a disposizioni normative e a metodi proposti da vari autori della letteratura scientifica che hanno analizzato il fenomeno.

A livello normativo la D.A.L. 112/2007 della Regione Emilia Romagna all'Allegato 3 fornisce le “Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento”; la delibera stabilisce i criteri per una caratterizzazione sismica piuttosto spinta, quali la stima del potenziale di liquefazione, i cedimenti post-sismici in terreni granulari (saturi e non) e coesivi, l'identificazione dei pendii potenzialmente instabili. Le procedure indicate dalla D.A.L. 112/2007 sono sostanzialmente identiche a quelle indicate nel documento “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica – Parte I e Parte II” della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile (Settembre 2008).

Nello studio in questione la stima dei cedimenti post-sismici è stata condotta con riferimento:

- alla procedura di cui all'Allegato 3 della D.A.L. 112/2007 della Regione Emilia Romagna per i terreni coesivi;
- al metodo di Tokimatsu e Seed (1987) per gli strati di terreno granulari saturi.

Il cedimento post-sismico viene valutato in depositi coesivi molto soffici ($C_u \leq 70$ kPa) e plastici ($I_p \geq 30\%$) in cui si prevede un incremento di pressioni interstiziali $\Delta u/\sigma'_0 \geq 0.3$ durante il terremoto di riferimento.

L'entità dei cedimenti di riconsolidazione (cedimenti post-sismici) può essere valutata con l'espressione:

$$\Delta H = \epsilon_{vr} \cdot H$$

dove H è l'altezza dello spessore dello strato e ϵ_{vr} è la deformazione volumetrica post-ciclica data dalla seguente espressione:

$$\epsilon_{vr} = (\alpha Cr) / (1 + e_0) \log [1 / (1 - \Delta u / \sigma'_0)]$$

- α = costante sperimentale compresa tra 1 e 1,5;
- e_0 = indice dei vuoti iniziale;
- Cr = indice di riconsolidazione post-ciclica ricavabile in prima approssimazione dalla relazione:

$$Cr = 0.225 Cc$$

- Cc = indice di compressione
- $\Delta u / \sigma'_0$ = incremento delle pressioni interstiziali durante il sisma

In prima approssimazione Cc può essere stimato con la relazione empirica

$$Cc = 0.0348 + 0.0162 I_p$$

Dalla bibliografia risulta che tale parametro può essere anche stimato tramite la relazione:

$$Cc = (1 + e_0) \sigma_{va} / 0.435 M_0$$

M_0 = modulo di deformazione edometrica

σ_{va} = carico verticale efficace.

Il rapporto di pressione interstiziale $\Delta u / \sigma'_0$ può essere valutato con l'abaco di figura 10 dell'Allegato A3 della D.A.L. 112/2007 in funzione dell'ampiezza della deformazione di taglio massima indotta dal terremoto.

$$\gamma_{max} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \cdot \sigma_v \cdot r_d \cdot \frac{1}{G}$$

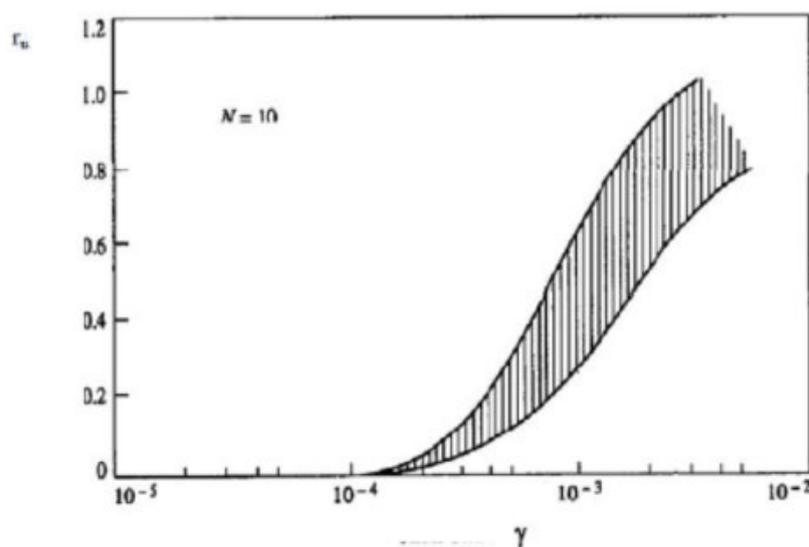


Figura 10: Valore del rapporto di pressione interstiziale r_u in funzione della deformazione di taglio indotta dal terremoto
Il calcolo dei cedimenti post – sismici in terreni granulari saturi, secondo il metodo Tokimatsu e

Seed (1987), ha origine dalla seguente formula:

$$\Delta H = \varepsilon_v \cdot H_0$$

in cui H_0 è la potenza dello strato deformabile e ε_v è la deformazione volumetrica unitaria.

I cedimenti indotti dipendono dallo stato di addensamento, dall'entità della deformazione di taglio e dell'incremento delle pressioni neutre Δu indotte dal sisma.

La deformazione volumetrica ε_v viene stimata attraverso un abaco proposto dai citati Tokimatsu e Seed, ricavato per sabbie pulite.

Per la stima della deformazione volumetrica ε_v tramite l'abaco occorre conoscere il valore dei parametri:

- $CSR_M = 7.5$ la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma, normalizzata per terremoti di magnitudo $M = 7.5$
- $(N1)_{60}$ = numero di colpi N_{spt} corretto.

La procedura suggerisce che la stima delle deformazioni venga eseguita per terreni incoerenti con densità relativa $< 75\%$.

Nota: Esistono delle relazioni empiriche che consentono di valutare, in modo approssimato, l'indice di compressione. Nel caso di terreni granulari sono funzioni della densità relativa, nel caso di terreni coesivi dell'indice di plasticità.

Nel caso di terreni coesivi, *Loadcap* calcola il rapporto di pressione interstiziale come:

$$\Delta u / \sigma'_0 = \beta [\log (\gamma_{max} / \gamma_v)]$$

dove σ'_0 è il valore iniziale della pressione media efficace alla profondità considerata;

$$\sigma'_0 = \sigma'_{v0} (1 + 2k_0) / 3$$

σ'_{v0} è la pressione verticale efficace e k_0 il coefficiente di spinta a riposo

γ_{max} è la deformazione di taglio massima raggiunta durante il sisma;

β è posto circa uguale a 0.45 (*coefficiente sperimentale*);

γ_v è la deformazione di soglia volumetrica, determinabile da prove cicliche di laboratorio.

Ma può anche essere valutata, in prima approssimazione, con la relazione che segue

$$\gamma_v = A (OCR-1) + B$$

OCR è il grado di sovraconsolidazione, A e B sono coefficienti sperimentali che possono essere calcolati per interpolazione lineare dalla Tab 4.7.5.1.

I_p [%]	A	B
20	0.4 10 ⁻³	0.6 10 ⁻³
40	1.2 10 ⁻³	1.1 10 ⁻³
55	2.5 10 ⁻³	1.2 10 ⁻³

Tab.4.7.5.1 - Valori suggeriti per i coefficienti A e B

Il rapporto di pressione interstiziale, nel caso di terreni incoerenti liquefacibili, viene determinato per interpolazione lineare dai valori riportati in Tab. 4.7.5.2 in funzione dell'ampiezza della deformazione massima indotta dal terreno.

g_{max} [%]	r_u=Δ_u/σ'₀
0.005	0.2
0.1	0.4
0.2	0.6
0.4	0.8
5	0.95

Tab. 4.7.5.2- Rapporto di pressione interstiziale r_u in funzione di γ_{max}

L'ampiezza della deformazione di taglio massima g_{max} si calcola dalla relazione seguente:

$$\gamma_{\max} = 0.65 (a_{\max,s} / g) \sigma_v r_d 1/G$$

a_{max,s} è il picco di accelerazione al piano campagna del sisma di progetto;

g è l'accelerazione di gravità;

σ_v è la tensione totale verticale;

r_d coefficiente riduttivo dell'azione sismica che mette in conto la deformabilità del sottosuolo determinato dalla relazione r_d=1-0.015z;

G modulo di taglio corrispondente al livello deformativo γ_{max}

il modulo di taglio può essere determinato da prove di laboratorio o mediante la Tab. 4.7.5.3 applicando un fattore riduttivo al modulo di taglio G₀ (modulo di taglio a piccole deformazioni).

a_{max,s} [g]	G/G₀
0.10	0.80
0.20	0.50
0.30	0.35
0.40	0.28

Fig. 4.7.5.3- Fattore di riduzione del modulo di taglio nei primi 20 m in funzione dell' accelerazione a_{max,s}

PARAMETRI DI CALCOLO DEI CEDIMENTI POST SISMICI

Dalle indagini svolte per tutte e tre le CPT risulta la presenza di livelli con $C_u \geq 0,7 \text{ kg/cm}^2$, la maggior parte, e alcuni livelli con $C_u < 0,7 \text{ kg/cm}^2$, i livelli con $C_u > 0,7$ si possono escludere dal calcolo, tuttavia per semplificare il calcolo è stato effettuato considerando gli spessori stratigrafici e geotecnici in cui sono state suddivise le prove sulla base della modellazione stratigrafica e geotecnica comprendendo anche tali livelli.

Riepilogo delle formule impiegate per i calcoli:

$$\Delta H = \epsilon_{vr} H$$

$$\epsilon_{vr} = (\alpha Cr) / (1 + e_0) \log [1 / (1 - \Delta u / \sigma'_0)] \quad \text{con } \alpha = 1.2$$

$$Cc = 0.0348 + 0.0162 I_p \quad \text{con } I_p = 20\% = 0.2$$

$$Cr = 0.225 Cc$$

$$r_u = \Delta u / \sigma'_0 = \beta [\log (\gamma_{max} / \gamma_v)] \quad \text{con } \beta = 0.45$$

$$\gamma_v = A (OCR - 1) + B$$

$$\gamma_{max} = 0.65 (a_{max,s} / g) \sigma_v r_d 1/G \quad \text{con } g = 9.8 \text{ m/s}^2 \text{ e } G = 0.35$$

Vengono riportati in tabelle i parametri utilizzati per il calcolo dei cedimenti per ciascuna CPT:

CPT 6							
Strato	spessore	prof.(m)	$\gamma \text{ (t/m}^3\text{)}$	$C_{u,m} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$V_s \text{ (m/s)}$	$M_o \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	OCR
suolo	1.2	1.2	1.85	0.52	120	37.2	32.5
A	3.0	4.2	1.23	0.64	225	49.9	11.3
B	7.4	11.6	0.94	0.73	290	56.4	6.8
C	3.4	15.0	0.96	0.98	290	87.2	4.1

Strato	α	e_0	$I_p(\%)$	Cc	Cr	r_u	ϵ_{vr}	$\Delta H(\text{cm})$
suolo	1.2	0.6	0.2	0.038	0.009	0.7	0.001	0.10
A	1.2	0.8	0.2	0.038	0.009	0.7	0.001	0.30
B	1.2	0.85	0.2	0.038	0.009	0.7	0.001	0.75
C	1.2	0.9	0.2	0.038	0.009	0.7	0.002	0.65

CPT 7							
Strato	spessore	prof. (m)	γ (t/m ³)	Cu _m (kg/cm ²)	Vs (m/s)	Mo (kg/cm ²)	OCR
suolo	1.2	1.2	1.85	0.58	120	41.1	34.2
A	3.2	4.4	1.12	0.61	225	45.6	13.5
B	7.0	11.4	0.92	0.75	290	53.2	7.9
C	3.6	15.0	0.94	0.96	290	81.6	6.3

Strato	α	e ₀	I _P (%)	Cc	Cr	r _u	ϵ_{vr}	ΔH (cm)
suolo	1.2	0.6	0.2	0.038	0.009	0.7	0.001	0.10
A	1.2	0.8	0.2	0.038	0.009	0.7	0.001	0.25
B	1.2	0.85	0.2	0.038	0.009	0.7	0.001	0.65
C	1.2	0.9	0.2	0.038	0.009	0.7	0.002	0.70

Ai fini della stima dei cedimenti post-sismici sono state assunte condizioni cautelative sia riguardo alle potenze degli strati sia riguardo ai valori dei parametri sismici e geotecnici adottati.

Così come previsto dalla D.A.L. 112/2007 il calcolo dei cedimenti post sismici è stato effettuato sui livelli coesivi che presentavano una coesione non drenata $C_u > 70$ kPa.

In base alle considerazioni e alle elaborazioni si stima un cedimento post-sismico totale per ciascuna prova pari a:

Prova	ΔH (cm)
CPT6	1.8
CPT7	1.7

CONCLUSIONI

- Dal calcolo effettuato il potenziale di liquefazione è nullo $PL = 0$;
- Il fattore di sicurezza per la liquefazione è $FSL \geq 1$;
- Si esclude, in caso di sisma, la possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione del terreno;
- Il cedimento medio post-sismico per la CPT6 è di circa 1.8 cm;
- Il cedimento medio post-sismico per la CPT7 è di circa 1.7 cm;

Faenza, Settembre 2023

Dr. geol. Bruno Gardegni

