

REGIONE EMILIA-ROMAGNA

PROVINCIA DI RAVENNA

COMUNE DI FAENZA

Data

PIANO PARTICOLAREGGIATO relativo alla scheda di PRG n. 167

Settembre 2023

AREA CASINO PLACCI - SUB COMPARTO A

Scala

Ubicazione: Via Pana

Dati catastali: Foglio 61

Pratiche edilizie precedenti:

mappali 56, 57, 58, 59, 106, 115, 138

Elaborato

tavola numero

Integrazione RELAZIONE GEOLOGICA

R3a

Progettisti:

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA

Arch. Alessandro Bucci
via Severoli n.18 _ 48018 Faenza (RA)
Tel +39 0546 29237 Fax +39 0546 29261
abucci@alexandrobucciarchitetti.it

Arch. Paola Pagani
Studio tecnico geom. Cavina-Montevicchi
corso Matteotti n.27 _ 48018 Faenza (RA)
Tel +39 0546 28197 Fax +39 0546 680247
info@studiotecnico94.it



PROGETTAZIONE RETE IDRICA/GAS E ILL. PUBBLICA

Per. Ind. Cristian Fabbi
Per. Ind. Giuliano Rambelli
Studio Associato Energia
viale Marconi n.30/3 _ 48018 Faenza (RA)
Tel +39 0546 668163 Fax +39 0546 686301
energia@energia.ra.it

PROGETTAZIONE RETI FOGNARIE E LAMINAZIONE

Ing. Paolo Ruggeri

PROGETTAZIONE ACUSTICA E AMBIENTALE

Ing. Franca Conti

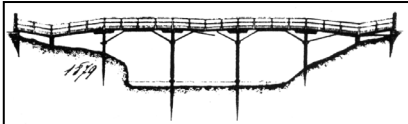
PROGETTAZIONE GEOLOGICA

Dott. Geol. Marabini Stefano

Proprietà e committente

Gea srl
via del Rio n.400
47522 Cesena (FC)

Firma dei tecnici ognuno per le proprie competenze



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

GEA s.r.l.

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

INTEGRAZIONE

alla

RELAZIONE GEOLOGICA 22 / 05 / 2020

(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.

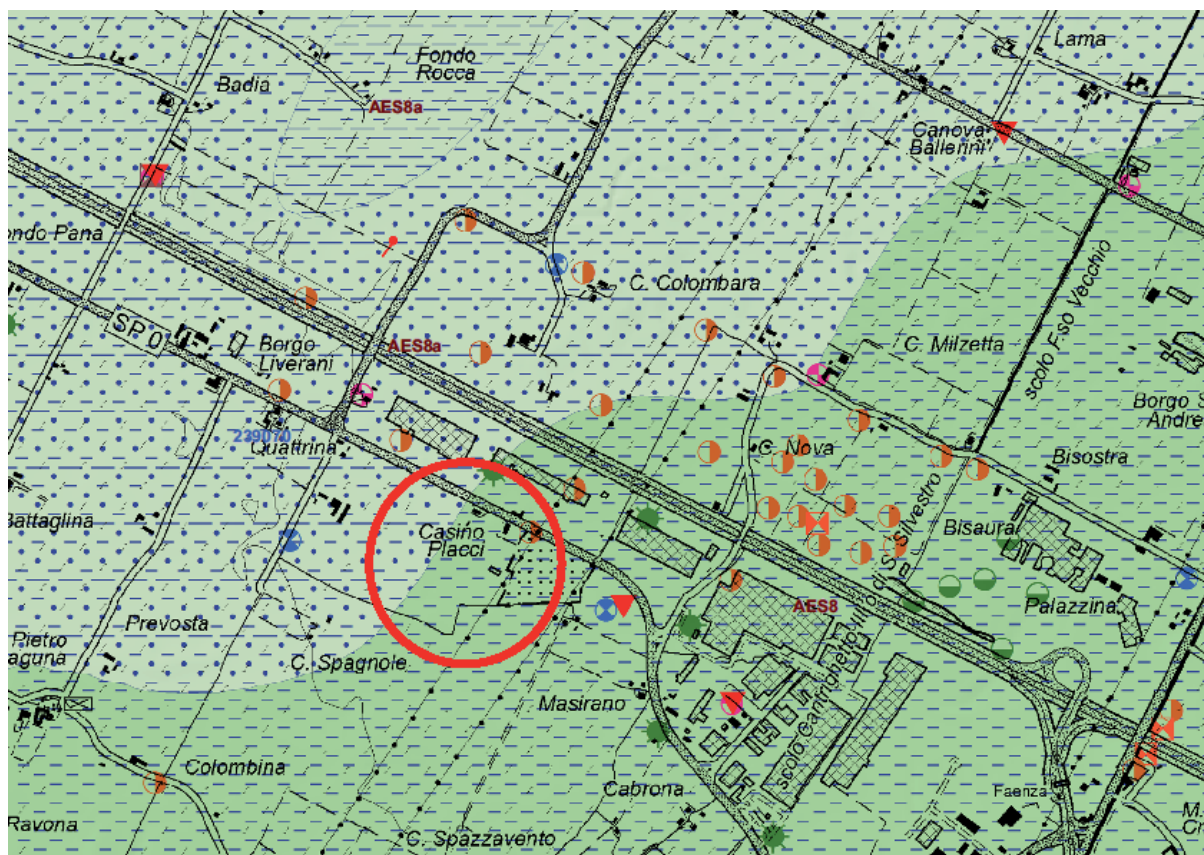
allegati:

- Richiesta Integrazioni da Provincia Ravenna (20 /07/ 2023)
- n. 3 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 22 / 05 / 2020



Ubicazione dell'“AREA CASINO PLACCI - Subcomparto A” 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 delle Proprietà è stata prodotta **nel 2020**, 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 A”** (Comune di Faenza – Ra), il quale prevede la costruzione di fabbricati di tipo produttivo su una superficie edificabile pari a circa 5,2ha (v. **PROGETTO di Studio COOPROGETTO** e Studio **CAVINA-MONTEVECCHI-PAGANI** di Faenza, e **Relazione Geologica** a firma dr. geol. Stefano Marabini, 22 maggio 2020).

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, 22 maggio 2020):

Integrazione alla Relazione Geologica 22 / 05 / 2020

- **n. 7 penetrometrie statiche (CPT)** effettuate all'interno dell'area di studio nel 2007 (in occasione di un precedente Progetto Urbanistico) e nel 2020, spinte a profondità massima di -22m all'interno di uno strato profondo di terreni compatti.
- **n. 3 penetrometrie statiche (CPT 7/19, CPT 28/94, CPTU 512 RER)** effettuate in anni precedenti per interventi edilizi e studi cartografico-urbanistici negli immediati dintorni (i cui risultati sono stati criticamente desunti dall'archivio dello scrivente e dalla ***Cartografia Geologica Regione Emilia-Romagna, internet***).
- **n. 1 carotaggio Ø40cm prof 6,5m (S1)** appositamente perforato nel 2020 sino a profondità di -6,5 metri all'interno dell'area di studio, e **n. 1 trivellata geognostica (S2)**, i quali hanno consentito un accertamento litologico diretto dei terreni superficiali.
- **n. 1 sessione di misure geofisiche mediante tromografo**, per la determinazione della Vs 30 e della **Categoria sismica dei terreni** a partire dalla frequenza di risonanza del terreno.

Nella presente **Integrazione alla Relazione Geologica 2020** 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 analisi *ex novo* delle 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 3, 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)**:

- $V_s 30 = 282 \text{ m/s}$

Integrazione alla Relazione Geologica 22 / 05 / 2020

- 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)

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:

amax = 0,31 g

M = 6,14

Falda = 1,5 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 **e0 (indice dei vuoti)**, **Cr (indice di riconsolidazione postciclica)**, **Cc (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 2,3 / 2,4 cm.**





PROVINCIA DI RAVENNA
Medaglia d'Argento al Merito Civile

SETTORE VIABILITA'
SERVIZIO Pianificazione Territoriale

Class. 07-04-04 Fasc. 2023/1 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 A “AREA CASINO PLACCI - Richiesta integrazioni**

Con riferimento al Piano Particolareggiato relativo alla Scheda 167 di PRG Area Casino Placci sub comparto A, in relazione alla nota dell'Unione della Romagna Faentina di cui al ns PG 16952/2023 del 14/06/2023, 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

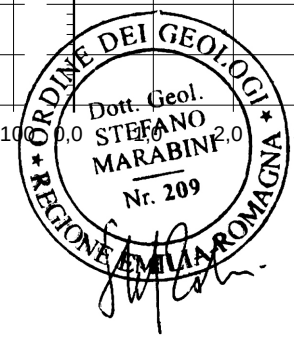
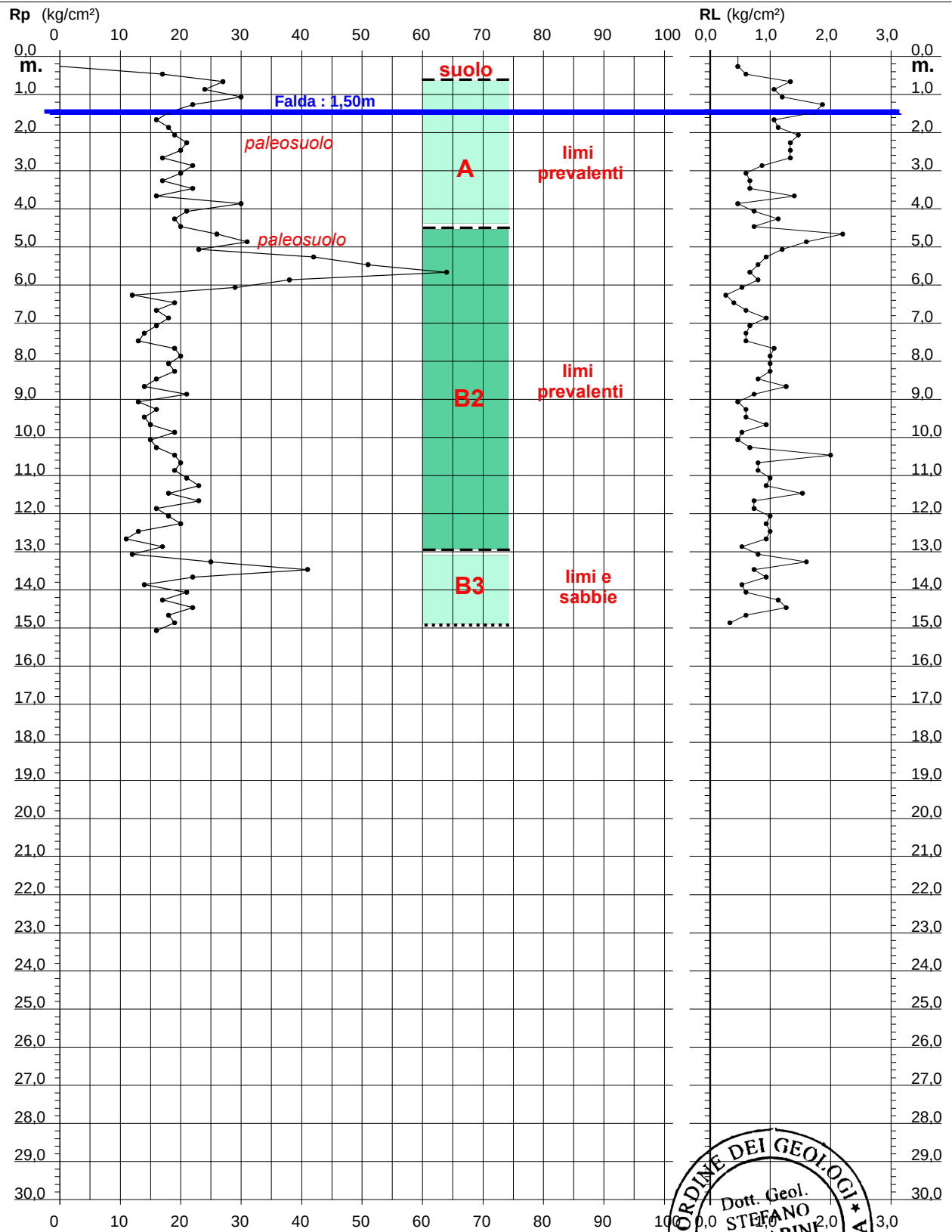
Documento firmato digitalmente

PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 3

- committente : Dott. Geol. Stefano Marabini
- lavoro : Area Casino Placci SUB -A-
- località : Via Pana, Faenza (RA)

- data : 18/07/2007
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,50 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150

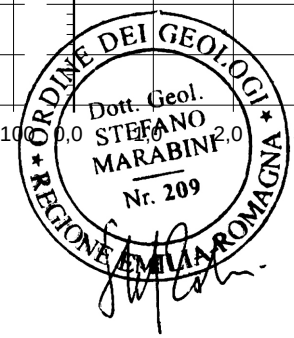
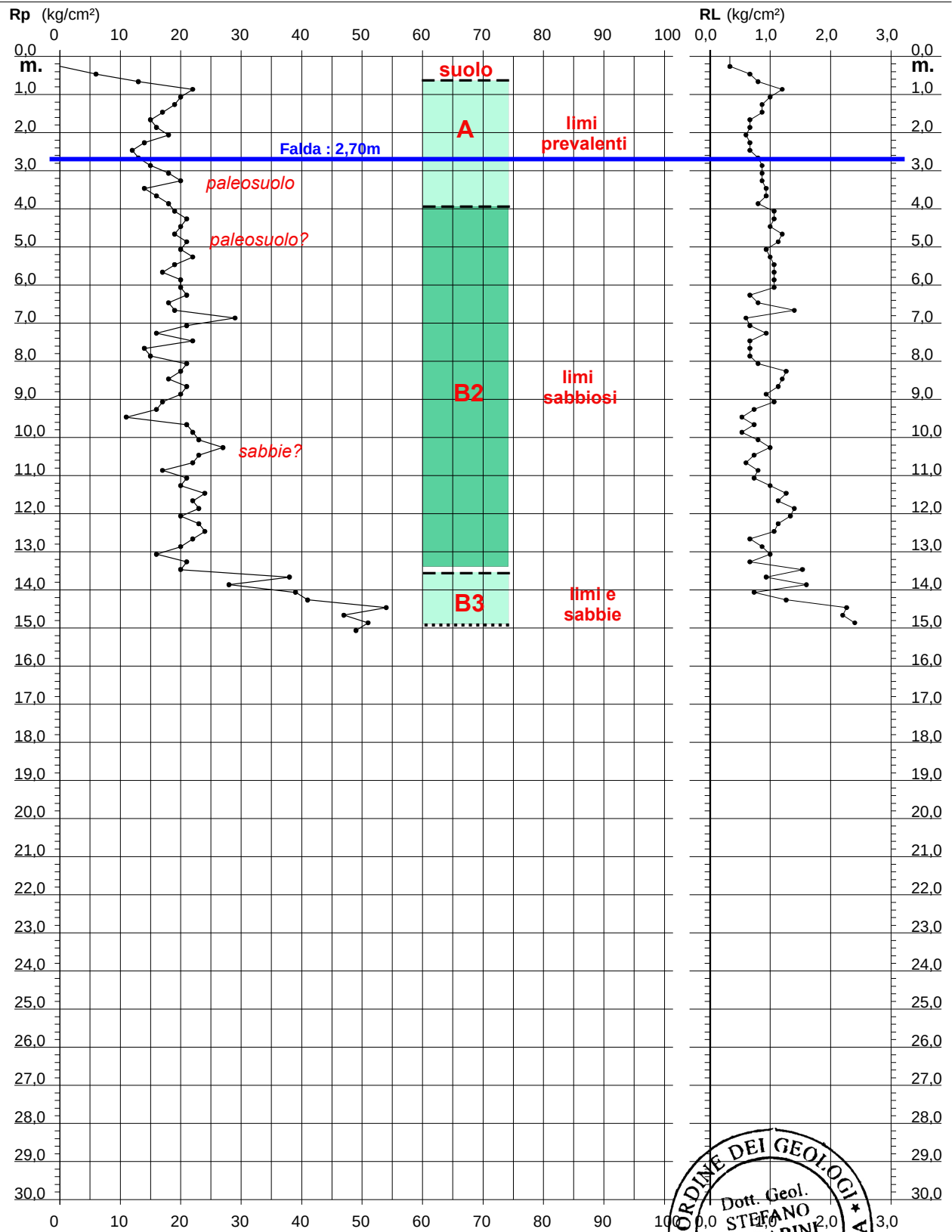


**PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

CPT 6

- committente : Dott. Geol. Stefano Marabini
- lavoro : Area Casino Placci SUB -A-
- località : Via Pana, Faenza (RA)

- data : 18/07/2007
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150

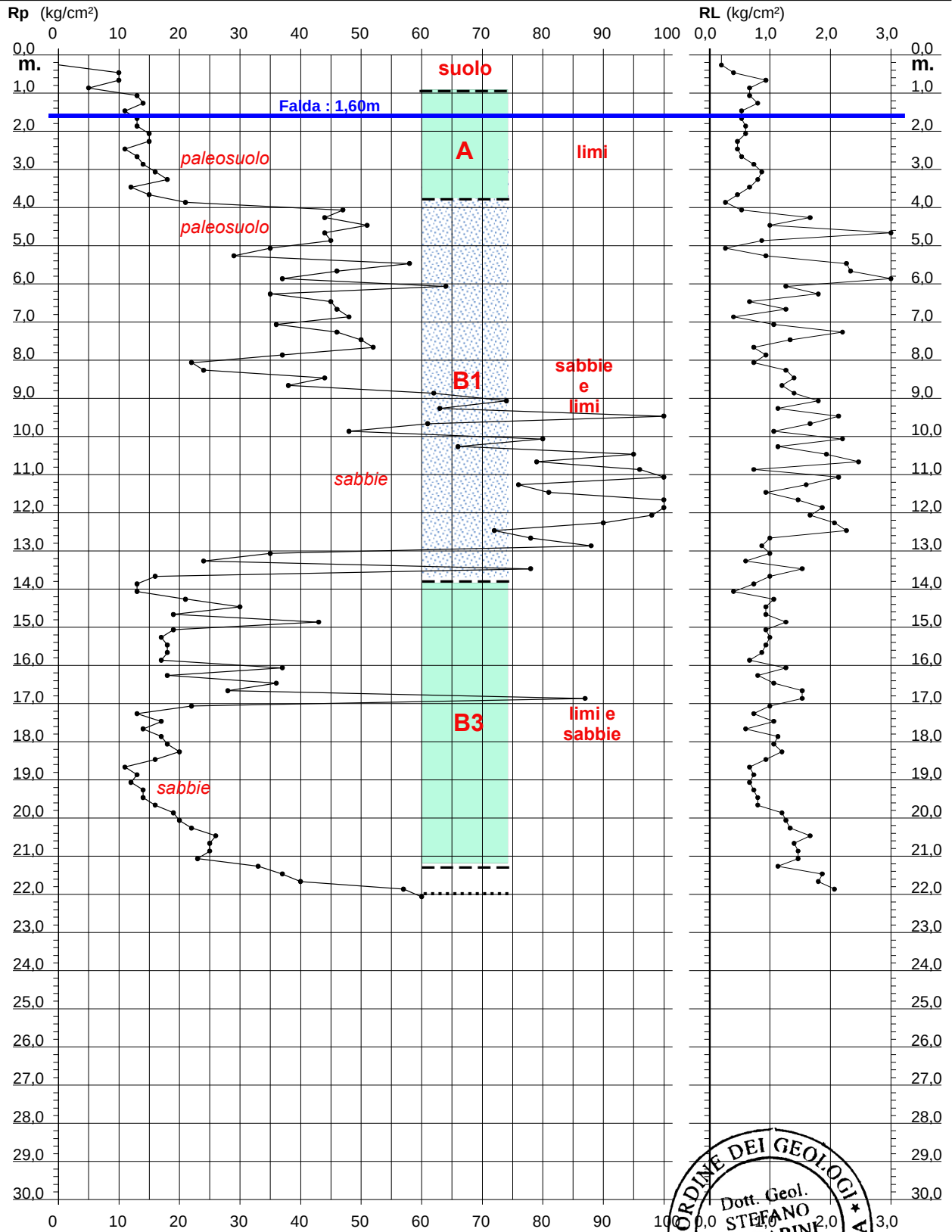


**PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

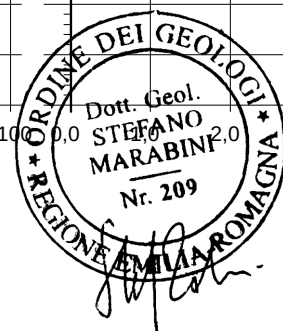
CPT 7

- committente : Dott. Geol. Stefano Marabini
- lavoro : Area Casino Placci SUB -A-
- località : Via Pana, Faenza (RA)

- data : 09/04/2020
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,60 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150



maggio 2020

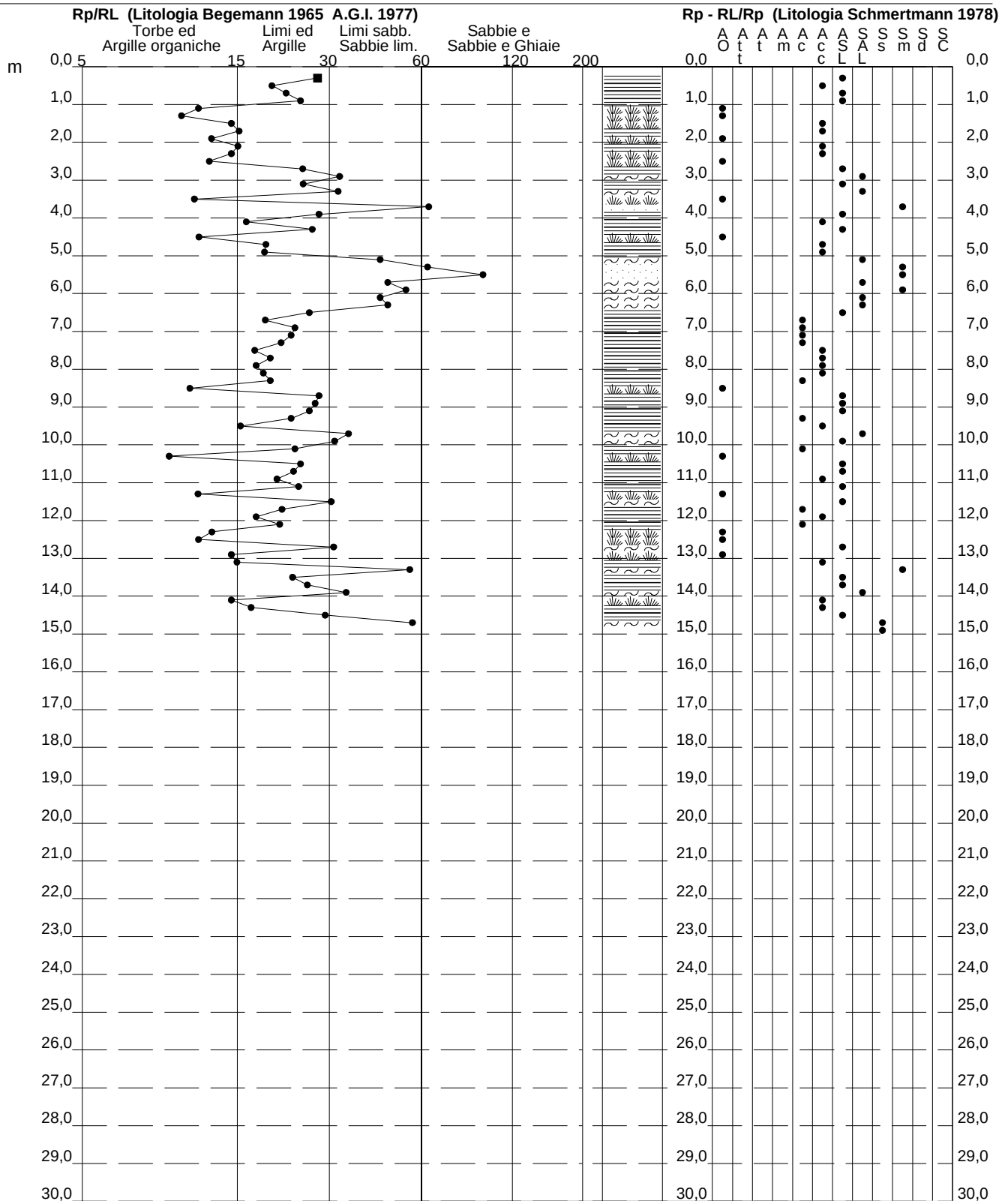


PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 3

- committente : Dott. Geol. Stefano Marabini
 - lavoro : Area Casino Placci SUB -A-
 - località : Via Pana, Faenza (RA)
 - note :

- data : 18/07/2007
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 1,50 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 150

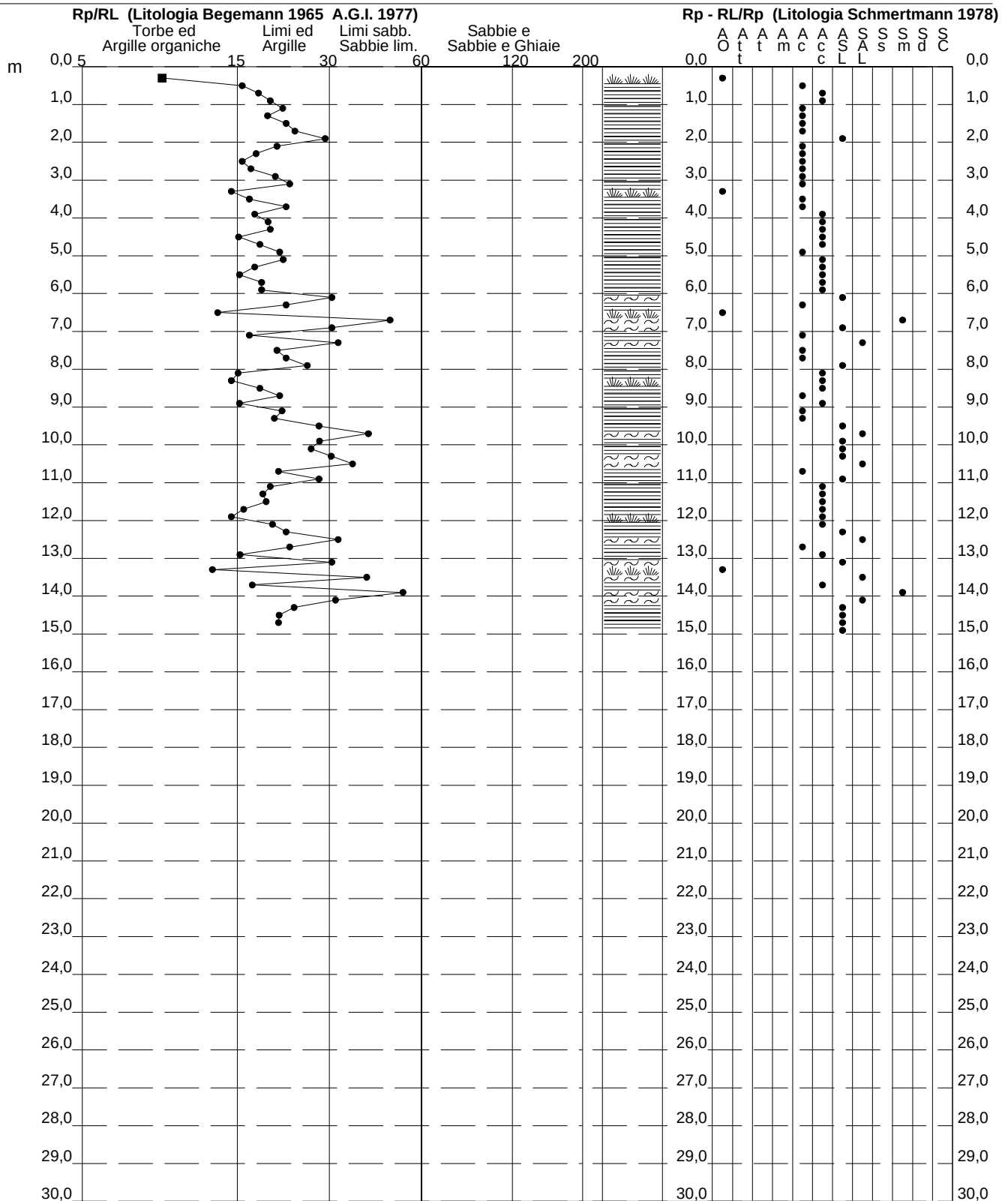


**PROVA PENETROMETRICA STATICA
VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

CPT 6

- committente : Dott. Geol. Stefano Marabini
- lavoro : Area Casino Placci SUB -A-
- località : Via Pana, Faenza (RA)
- note :

- data : 18/07/2007
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,70 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 150

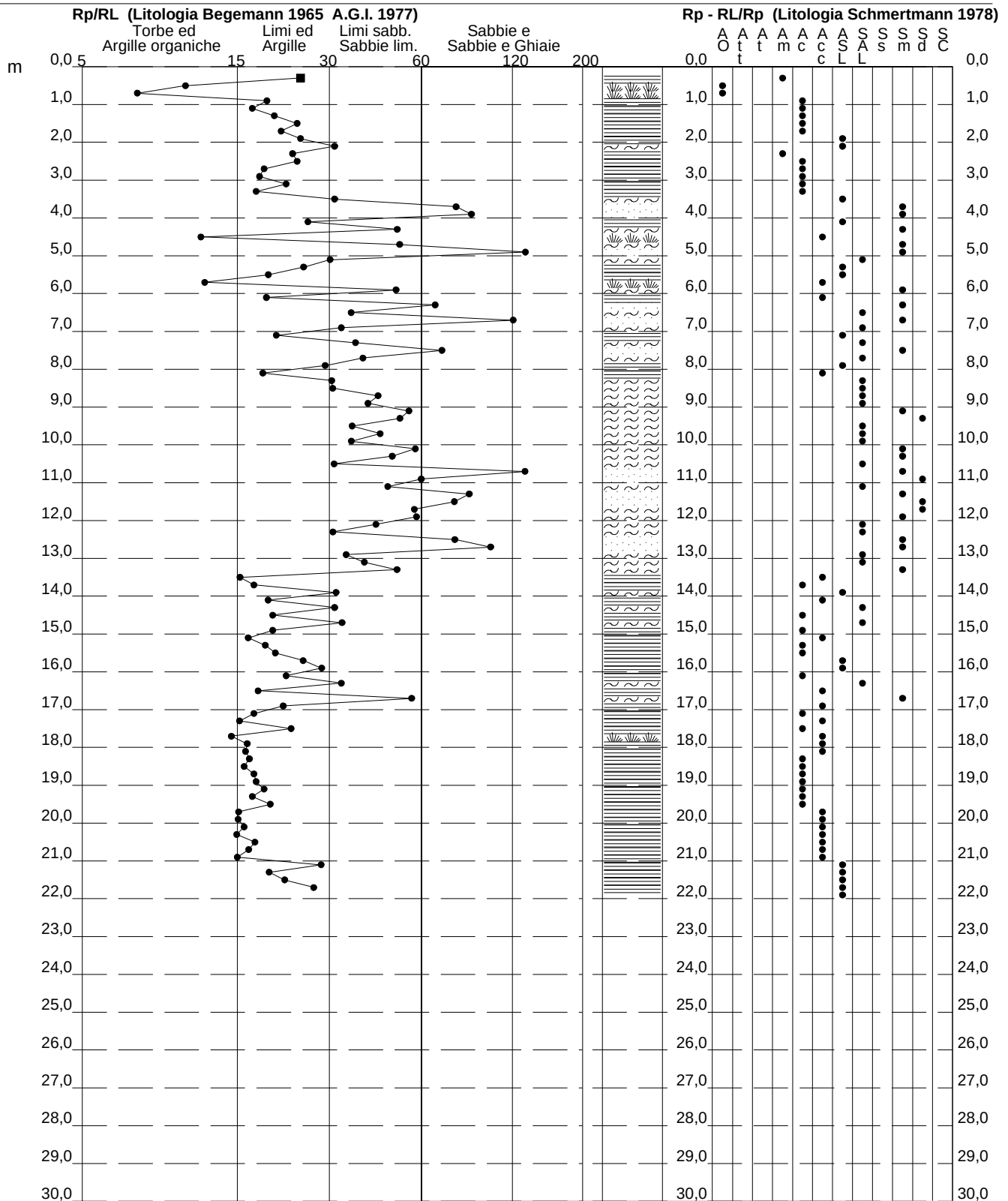


PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 7

- committente : Dott. Geol. Stefano Marabini
 - lavoro : Area Casino Placci SUB -A-
 - località : Via Pana, Faenza (RA)
 - note :

- data : 09/04/2020
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : 1,60 m da quota inizio
 - scala vert.: 1 : 150





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 A” – 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 A (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

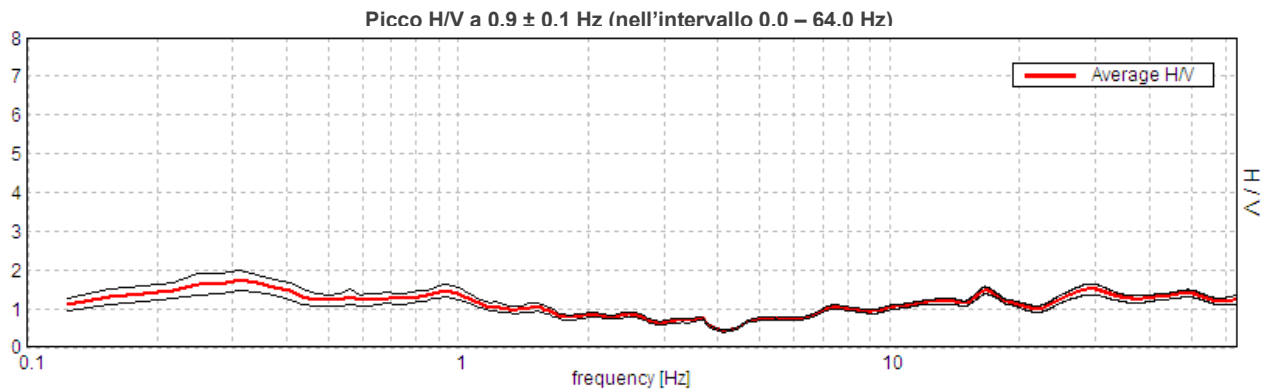
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

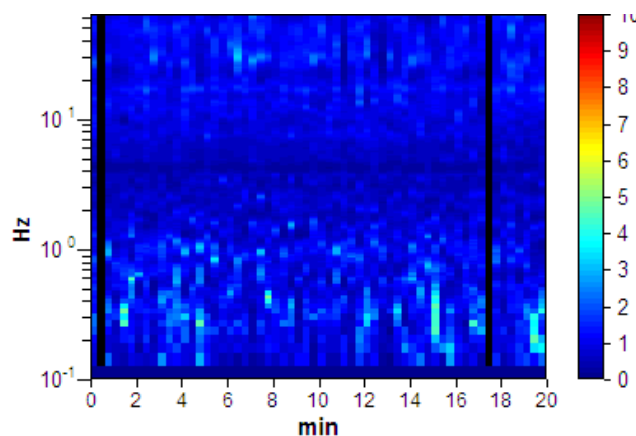
Lisciamento: 10%

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

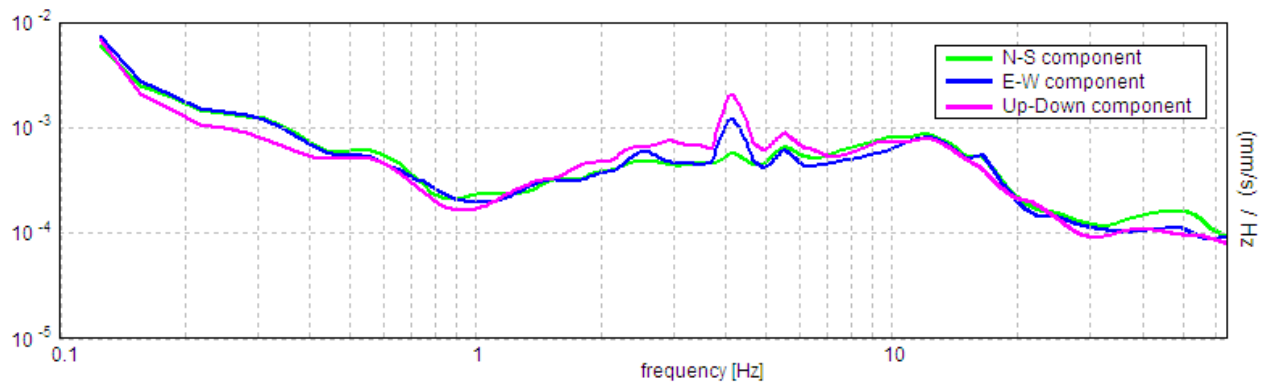


H/V TIME HISTORY

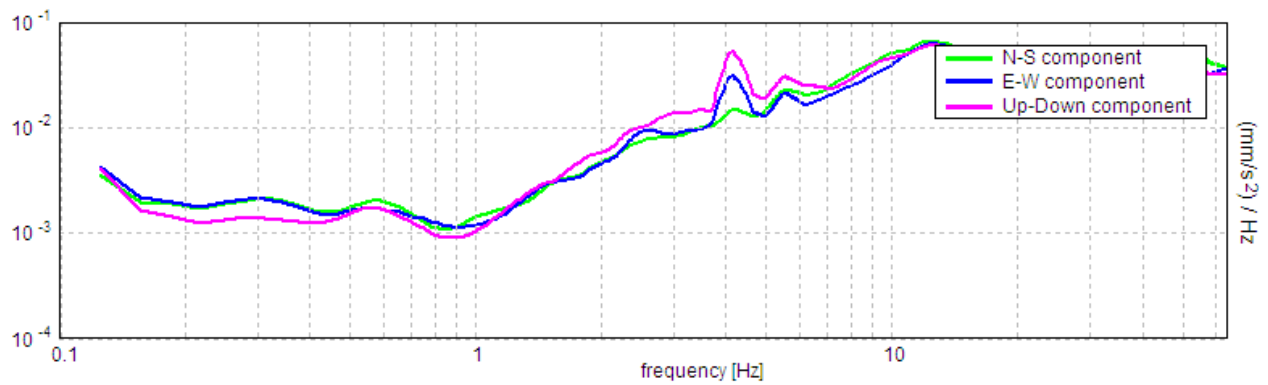


Nei grafici successivi l'andamento della traccia nelle 3 componenti N-S, E-W e verticale:

SINGLE COMPONENT SPECTRA (VELOCITA')

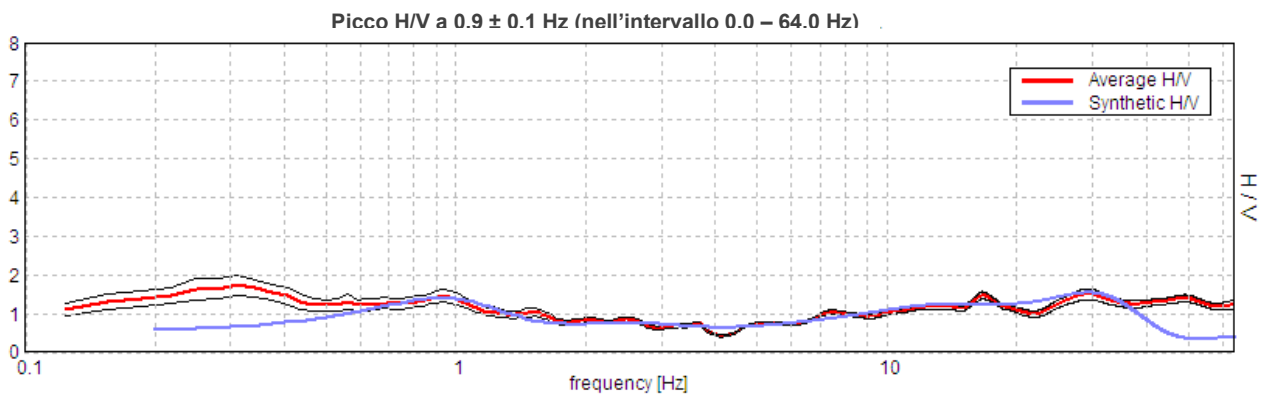


SINGLE COMPONENT SPECTRA (ACCELERAZIONE)



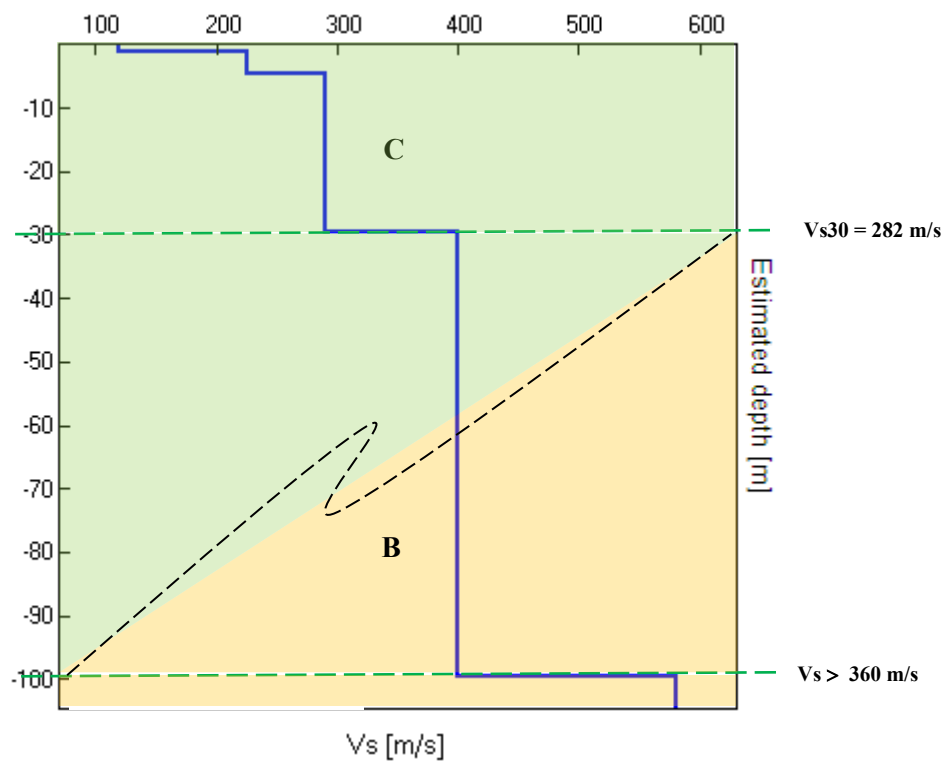
Il grafico sotto rappresenta l'elaborazione della traccia sperimentale da cui si ricava la Vs30 e relativa categoria di suolo, la curva blu è la curva teorica risultato dell'elaborazione, devono essere il più possibile coincidenti;

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

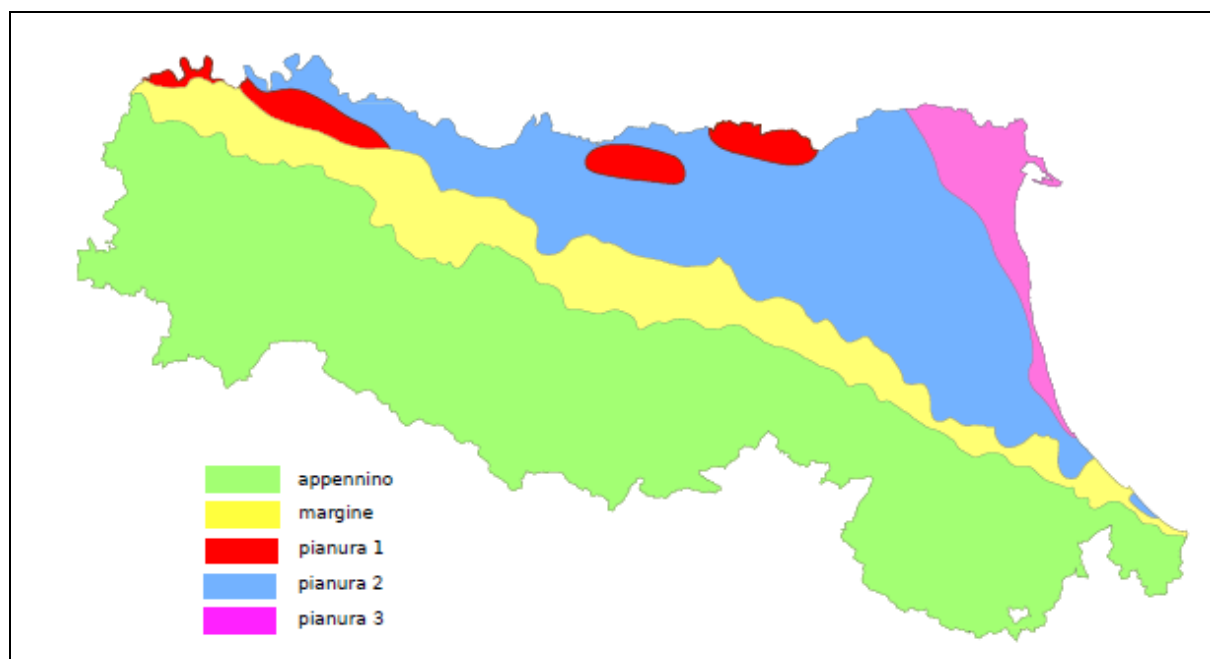
	Descrizione del profilo stratigrafico	V_{s30} (m/s)
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di 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 **Fo = 0,9 Hz**;
- La frequenza secondaria del sito è **Fo = 0,3 Hz**;
- L'accelerazione di gravità del sito è **ag = 0,200 (SLV)**;
- L'accelerazione massima è **Amax = 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)

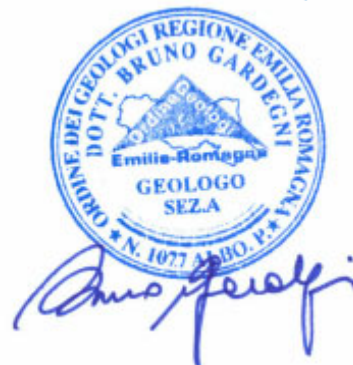
LAVORO: “Area Casino Placci sub A” – Scheda P.R.G. n. 167

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. 6 prove penetrometriche statiche CPT 20 ton**, di cui 5 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.

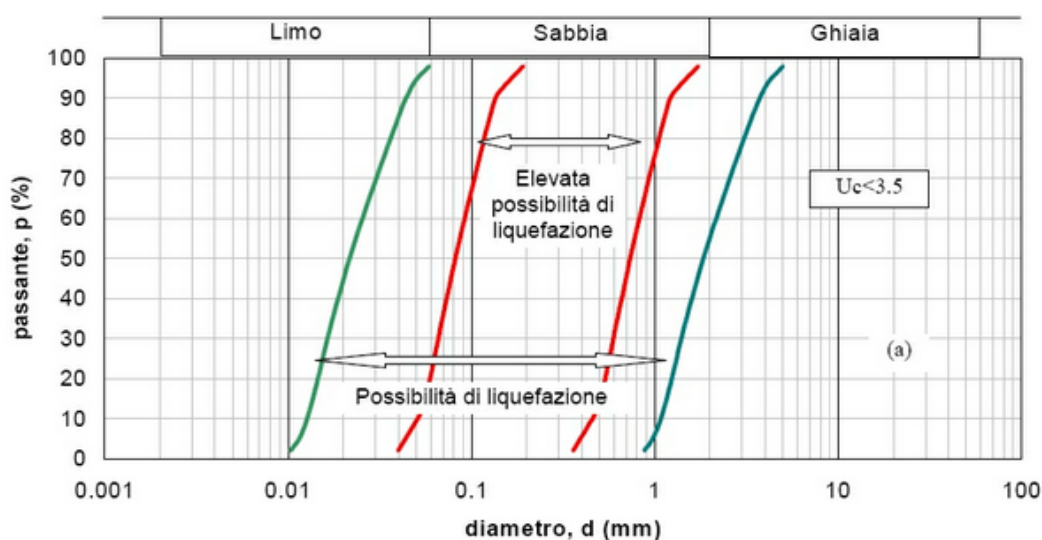


Figura 4.5.9 – Fasce granulometriche critiche $U_c < 3.5$

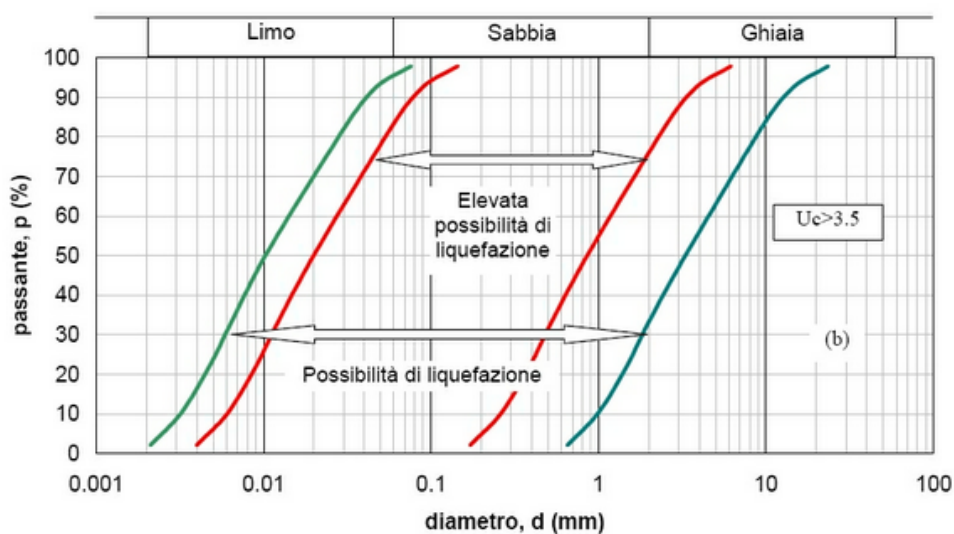


Figura 4.5.10 – Fasce granulometriche critiche $U_c > 3.5$

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.

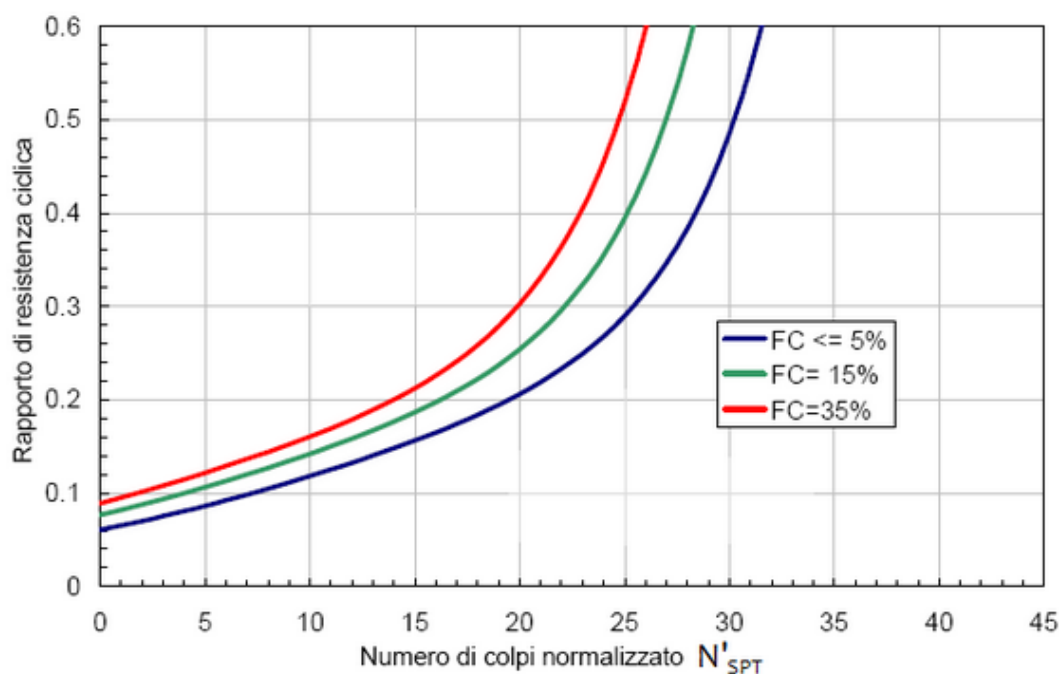


Figura 4.5.11 – Correlazione fra capacità di resistenza ciclica e numeri di colpi corretto della prova penetrometrica dinamica (N'_{SPT})

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)

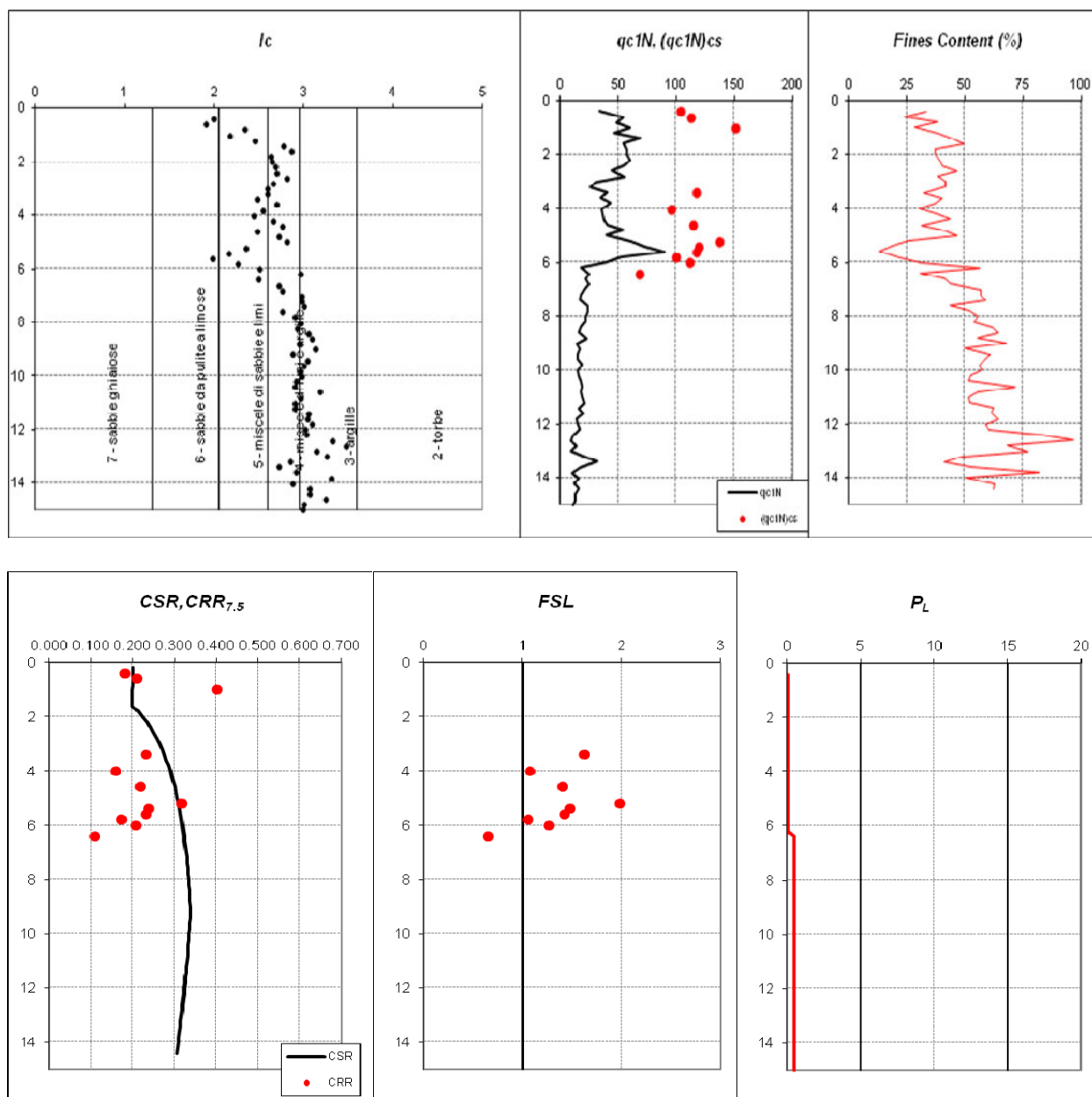
In allegato vengono riportate le tabelle riassuntive dei valori calcolati per ogni prova CPT considerata, le quali sono state prescelte in ragione della variabilità areale (v. grafici e tabelle in **Relazione Geologica Piano Particolareggiato**):

CPT 3

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	17	24	0.467	228.730	1.998	sabbie da pulite a	0.182	5.000	0.000
0.6	0.111	0	0.111	0.201	27	36	0.600	242.243	1.908	sabbie da pulite a	0.211	5.000	0.000
0.8	0.148	0	0.148	0.200	24	44	1.333	161.162	2.338	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
1	0.185	0	0.185	0.200	30	46	1.067	161.162	2.177	sabbia lim.-limo sab.	0.401	5.000	0.000
1.2	0.222	0	0.222	0.200	22	40	1.200	98.099	2.456	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
1.4	0.259	0	0.259	0.199	18	46	1.867	68.498	2.775	limo arg. - argilla lim.	-	5.000	0.000
1.6	0.296	0.001	0.295	0.200	16	42	1.733	53.234	2.857	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
1.8	0.333	0.021	0.312	0.212	18	34	1.067	56.625	2.637	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
2	0.37	0.041	0.329	0.223	19	36	1.133	56.626	2.639	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
2.2	0.407	0.061	0.346	0.233	21	43	1.467	59.517	2.678	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
2.4	0.444	0.081	0.363	0.242	20	40	1.333	53.873	2.691	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
2.6	0.481	0.101	0.38	0.250	17	37	1.333	43.471	2.807	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
2.8	0.518	0.121	0.397	0.257	22	42	1.333	54.111	2.659	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
3	0.555	0.141	0.414	0.264	20	33	0.867	46.969	2.594	sabbia lim.-limo sab.	-	-	0.000
3.2	0.592	0.161	0.431	0.270	17	26	0.600	38.070	2.598	sabbia lim.-limo sab.	-	-	0.000

3,4	0.629	0.181	0.448	0.276	22	32	0.667	47.703	2.479	sabbia lim.-limo sab.	0.232	1.626	0.000
3,6	0.666	0.201	0.465	0.281	16	26	0.667	32.976	2.695	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
3,8	0.703	0.221	0.482	0.285	30	51	1.400	60.782	2.540	sabbia lim.-limo sab.	-	-	0.000
4	0.74	0.241	0.499	0.290	21	28	0.467	40.601	2.443	sabbia lim.-limo sab.	0.161	1.075	0.000
4,2	0.777	0.261	0.516	0.294	19	30	0.733	35.316	2.650	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
4,4	0.814	0.281	0.533	0.297	20	37	1.133	35.996	2.762	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
4,6	0.851	0.301	0.55	0.301	26	37	0.733	45.725	2.473	sabbia lim.-limo sab.	0.218	1.404	0.000
4,8	0.888	0.321	0.567	0.304	31	64	2.200	53.108	2.718	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
5	0.925	0.341	0.584	0.307	23	47	1.600	37.800	2.812	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
5,2	0.962	0.361	0.601	0.310	42	60	1.200	68.283	2.349	sabbia lim.-limo sab.	0.318	1.985	0.000
5,4	0.999	0.381	0.618	0.312	51	65	0.933	80.908	2.159	sabbia lim.-limo sab.	0.239	1.483	0.000
5,6	1.036	0.401	0.635	0.315	64	76	0.800	99.156	1.981	sabbie da pulite a	0.232	1.426	0.000
5,8	1.073	0.421	0.652	0.317	38	48	0.667	56.637	2.265	sabbia lim.-limo sab.	0.173	1.054	0.000
6	1.11	0.441	0.669	0.319	29	41	0.800	41.689	2.497	sabbia lim.-limo sab.	0.209	1.265	0.000
6,2	1.147	0.461	0.686	0.321	12	20	0.533	15.821	2.968	argilla	-	-	0.000
6,4	1.184	0.481	0.703	0.323	19	23	0.267	25.343	2.493	sabbia lim.-limo sab.	0.110	0.658	0.473
6,6	1.221	0.501	0.72	0.324	16	22	0.400	20.526	2.718	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
6,8	1.258	0.521	0.737	0.326	18	27	0.600	22.716	2.760	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
7	1.295	0.541	0.754	0.328	16	30	0.933	19.503	2.974	argilla	-	-	0.000
7,2	1.332	0.561	0.771	0.329	14	24	0.667	16.431	2.975	argilla	-	-	0.000
7,4	1.369	0.581	0.788	0.330	13	22	0.600	14.760	3.005	argilla	-	-	0.000
7,6	1.406	0.601	0.805	0.331	19	28	0.600	21.856	2.759	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
7,8	1.443	0.621	0.822	0.333	20	36	1.067	22.575	2.898	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
8	1.48	0.641	0.839	0.334	18	33	1.000	19.690	2.957	argilla	-	-	0.000
8,2	1.517	0.661	0.856	0.335	19	34	1.000	20.424	2.928	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
8,4	1.554	0.681	0.873	0.336	16	31	1.000	16.548	3.052	argilla	-	-	0.000
8,6	1.591	0.701	0.89	0.337	14	26	0.800	13.943	3.087	argilla	-	-	0.000
8,8	1.628	0.721	0.907	0.337	21	40	1.267	21.358	2.954	argilla	-	-	0.000
9	1.665	0.741	0.924	0.338	13	24	0.733	12.267	3.130	argilla	-	-	0.000
9,2	1.702	0.761	0.941	0.338	16	23	0.467	15.194	2.871	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
9,4	1.739	0.781	0.958	0.338	14	23	0.600	12.799	3.038	argilla	-	-	0.000
9,6	1.776	0.801	0.975	0.337	15	24	0.600	13.563	2.998	argilla	-	-	0.000
9,8	1.813	0.821	0.992	0.336	19	33	0.933	17.326	2.967	argilla	-	-	0.000
10	1.85	0.841	1.009	0.335	15	23	0.533	13.033	2.981	argilla	-	-	0.000
10,2	1.887	0.861	1.026	0.334	16	23	0.467	13.755	2.909	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
10,4	1.924	0.881	1.043	0.333	19	29	0.667	16.372	2.893	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
10,6	1.961	0.901	1.06	0.332	20	50	2.000	17.018	3.185	argilla	-	-	0.000
10,8	1.998	0.921	1.077	0.331	19	31	0.800	15.786	2.957	argilla	-	-	0.000
11	2.035	0.941	1.094	0.330	21	33	0.800	17.335	2.895	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
11,2	2.072	0.961	1.111	0.329	23	38	1.000	18.837	2.903	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
11,4	2.109	0.981	1.128	0.328	18	32	0.933	14.088	3.057	argilla	-	-	0.000
11,6	2.146	1.001	1.145	0.326	23	46	1.533	18.213	3.039	argilla	-	-	0.000
11,8	2.183	1.021	1.162	0.325	16	27	0.733	11.891	3.085	argilla	-	-	0.000
12	2.22	1.041	1.179	0.324	18	29	0.733	13.384	3.009	argilla	-	-	0.000
12,2	2.257	1.061	1.196	0.323	20	35	1.000	14.835	3.028	argilla	-	-	0.000
12,4	2.294	1.081	1.213	0.321	13	27	0.933	8.826	3.323	argilla	-	-	0.000
12,6	2.331	1.101	1.23	0.320	11	26	1.000	7.048	3.476	argilla	-	-	0.000
12,8	2.368	1.121	1.247	0.318	17	31	0.933	11.734	3.140	argilla	-	-	0.000
13	2.405	1.141	1.264	0.317	12	20	0.533	7.591	3.251	argilla	-	-	0.000
13,2	2.442	1.161	1.281	0.316	25	37	0.800	17.610	2.842	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
13,4	2.479	1.181	1.298	0.314	41	65	1.600	29.677	2.715	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
13,6	2.516	1.201	1.315	0.313	22	33	0.733	14.817	2.917	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
13,8	2.553	1.221	1.332	0.311	14	28	0.933	8.594	3.313	argilla	-	-	0.000
14	2.59	1.241	1.349	0.310	21	29	0.533	13.647	2.878	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000

14,2	2.627	1.261	1.366	0.308	17	26	0.600	10.522	3.063	argilla	-	-	0.000
14,4	2.664	1.281	1.383	0.306	22	39	1.133	13.981	3.059	argilla	-	-	0.000
14,6	2.701	1.301	1.4	0.305	18	37	1.267	10.928	3.238	argilla	-	-	0.000
14,8	2.738	1.321	1.417	0.303	19	28	0.600	11.476	3.000	argilla	-	-	0.000
15	2.775	1.341	1.434	0.302	16	21	0.333	9.222	2.984	argilla	-	-	0.000

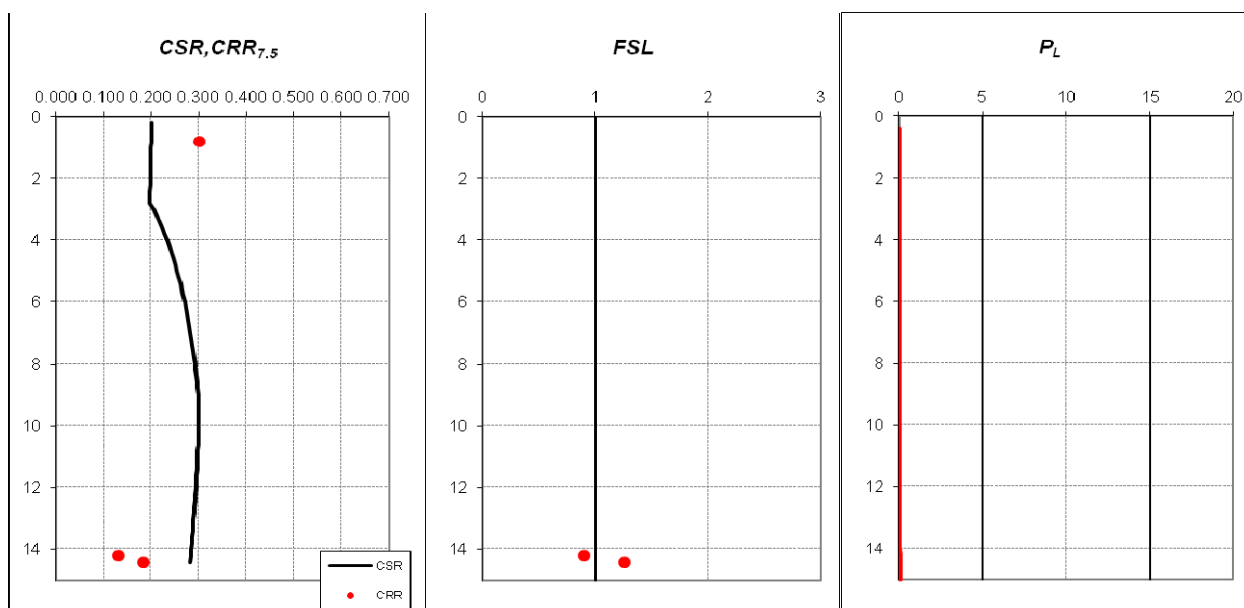
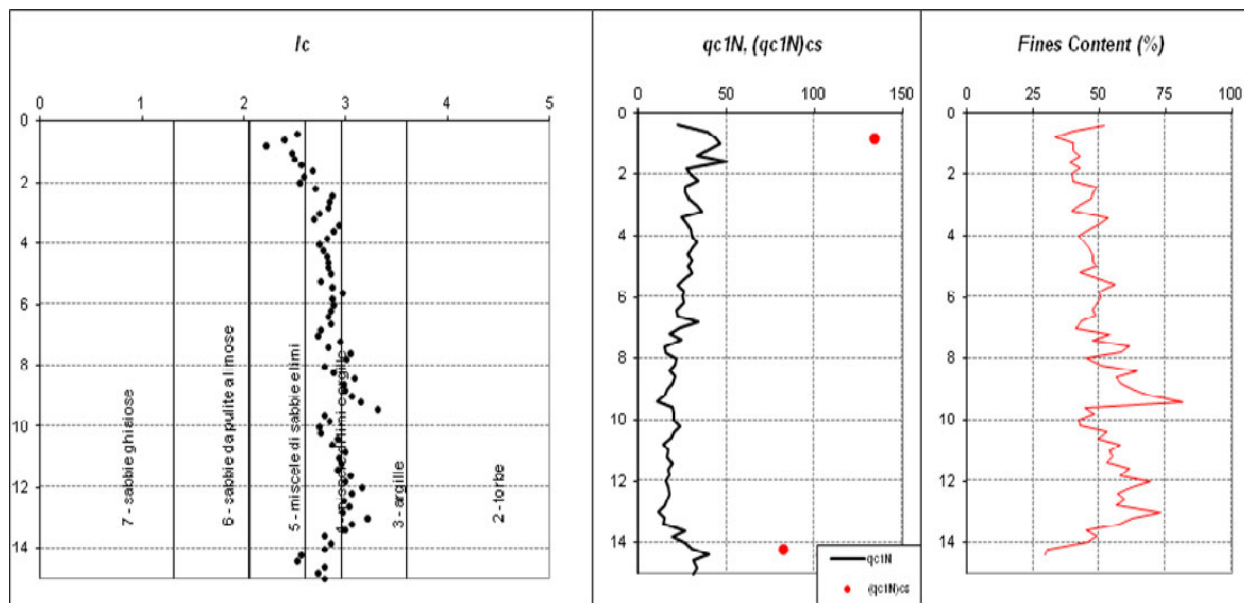


Il calcolo ha evidenziato come non sussiste il rischio di liquefazione in caso di sisma, dai grafici sopra si evidenzia che **il fattore di sicurezza $FSL \geq 1$** mentre **il potenziale di liquefazione è nullo $PL = 0$** . La verifica è stata effettuata fino a 15 m di profondità, con falda a -2,4 m 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 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	11	0.333	80.081	2.517	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
0,6	0.111	0	0.111	0.201	13	23	0.667	116.117	2.390	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
0,8	0.148	0	0.148	0.200	22	34	0.800	147.649	2.208	sabbia lim.-limo sab.	0.301	5.000	0.000
1	0.185	0	0.185	0.200	20	38	1.200	107.108	2.466	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
1,2	0.222	0	0.222	0.200	19	34	1.000	84.586	2.484	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
1,4	0.259	0	0.259	0.199	17	30	0.867	64.637	2.548	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
1,6	0.296	0	0.296	0.199	15	28	0.867	49.676	2.666	limo arg. - argilla lim.	-	5.000	0.000
1,8	0.333	0	0.333	0.199	16	26	0.667	47.048	2.579	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
2	0.37	0	0.37	0.198	18	28	0.667	47.649	2.538	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
2,2	0.407	0	0.407	0.198	14	23	0.600	33.398	2.695	limo arg. - argilla lim.	-	5.000	0.000
2,4	0.444	0	0.444	0.198	12	22	0.667	26.027	2.854	limo arg. - argilla lim.	-	5.000	0.000
2,6	0.481	0	0.481	0.197	13	23	0.667	26.027	2.830	limo arg. - argilla lim.	-	5.000	0.000
2,8	0.518	0.001	0.517	0.198	15	27	0.800	28.012	2.818	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
3	0.555	0.021	0.534	0.205	18	31	0.867	32.669	2.738	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
3,2	0.592	0.041	0.551	0.211	20	33	0.867	35.223	2.682	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
3,4	0.629	0.061	0.568	0.217	14	27	0.867	23.540	2.921	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
3,6	0.666	0.081	0.585	0.223	16	30	0.933	26.212	2.868	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
3,8	0.703	0.101	0.602	0.228	18	32	0.933	28.733	2.803	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
4	0.74	0.121	0.619	0.234	19	31	0.800	29.499	2.732	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
4,2	0.777	0.141	0.636	0.238	21	37	1.067	31.797	2.765	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
4,4	0.814	0.161	0.653	0.243	20	36	1.067	29.381	2.805	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
4,6	0.851	0.181	0.67	0.247	19	34	1.000	27.088	2.828	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
4,8	0.888	0.201	0.687	0.251	21	39	1.200	29.275	2.828	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
5	0.925	0.221	0.704	0.255	20	37	1.133	27.095	2.851	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
5,2	0.962	0.241	0.721	0.258	22	36	0.933	29.179	2.740	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
5,4	0.999	0.261	0.738	0.261	19	34	1.000	24.392	2.863	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
5,6	1.036	0.281	0.755	0.265	17	33	1.067	21.144	2.963	argilla	-	-	0.000
5,8	1.073	0.301	0.772	0.268	20	36	1.067	24.517	2.866	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
6	1.11	0.321	0.789	0.270	20	36	1.067	23.942	2.874	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
6,2	1.147	0.341	0.806	0.273	21	37	1.067	24.632	2.850	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
6,4	1.184	0.361	0.823	0.276	18	28	0.667	20.433	2.823	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
6,6	1.221	0.381	0.84	0.278	19	31	0.800	21.165	2.847	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
6,8	1.258	0.401	0.857	0.280	29	50	1.400	32.371	2.746	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
7	1.295	0.421	0.874	0.283	21	30	0.600	22.546	2.717	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
7,2	1.332	0.441	0.891	0.285	16	26	0.667	16.462	2.933	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
7,4	1.369	0.461	0.908	0.287	22	36	0.933	22.721	2.826	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
7,6	1.406	0.481	0.925	0.288	14	24	0.667	13.615	3.039	argilla	-	-	0.000
7,8	1.443	0.501	0.942	0.290	15	25	0.667	14.392	3.000	argilla	-	-	0.000
8	1.48	0.521	0.959	0.292	21	31	0.667	20.355	2.783	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
8,2	1.517	0.541	0.976	0.294	20	32	0.800	18.938	2.873	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
8,4	1.554	0.561	0.993	0.295	18	37	1.267	16.562	3.083	argilla	-	-	0.000
8,6	1.591	0.581	1.01	0.297	21	39	1.200	19.217	2.971	argilla	-	-	0.000
8,8	1.628	0.601	1.027	0.298	20	37	1.133	17.889	2.993	argilla	-	-	0.000
9	1.665	0.621	1.044	0.299	17	31	0.933	14.689	3.053	argilla	-	-	0.000
9,2	1.702	0.641	1.061	0.300	16	32	1.067	13.476	3.140	argilla	-	-	0.000
9,4	1.739	0.661	1.078	0.300	11	22	0.733	8.591	3.305	argilla	-	-	0.000
9,6	1.776	0.681	1.095	0.300	21	29	0.533	17.556	2.778	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
9,8	1.813	0.701	1.112	0.300	22	33	0.733	18.154	2.839	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
10	1.85	0.721	1.129	0.299	23	31	0.533	18.733	2.731	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
10,2	1.887	0.741	1.146	0.299	27	39	0.800	21.914	2.739	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
10,4	1.924	0.761	1.163	0.299	23	38	1.000	18.122	2.913	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
10,6	1.961	0.781	1.18	0.298	22	33	0.733	16.982	2.863	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
10,8	1.998	0.801	1.197	0.298	17	26	0.600	12.533	2.991	argilla	-	-	0.000
11	2.035	0.821	1.214	0.297	21	33	0.800	15.622	2.930	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
11,2	2.072	0.841	1.231	0.297	20	31	0.733	14.564	2.946	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
11,4	2.109	0.861	1.248	0.296	24	39	1.000	17.541	2.913	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
11,6	2.146	0.881	1.265	0.295	22	41	1.267	15.695	3.045	argilla	-	-	0.000
11,8	2.183	0.901	1.282	0.295	23	40	1.133	16.238	2.988	argilla	-	-	0.000
12	2.22	0.921	1.299	0.294	20	41	1.400	13.687	3.150	argilla	-	-	0.000
12,2	2.257	0.941	1.316	0.293	23	43	1.333	15.762	3.046	argilla	-	-	0.000
12,4	2.294	0.961	1.333	0.292	24	41	1.133	16.284	2.976	argilla	-	-	0.000
12,6	2.331	0.981	1.35	0.291	22	38	1.067	14.570	3.023	argilla	-	-	0.000
12,8	2.368	1.001	1.367	0.290	20	30	0.667	12.898	2.966	argilla	-	-	0.000
13	2.405	1.021	1.384	0.290	16	29	0.867	9.823	3.200	argilla	-	-	0.000
13,2	2.442	1.041	1.401	0.289	21	36	1.000	13.246	3.053	argilla	-	-	0.000
13,4	2.479	1.061	1.418	0.288	20	30	0.667	12.356	2.983	argilla	-	-	0.000
13,6	2.516	1.081	1.435	0.286	38	61	1.533	24.728	2.785	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
13,8	2.553	1.101	1.452	0.285	28	42	0.933	17.525	2.853	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
14	2.59	1.121	1.469	0.284	39	63	1.600	24.786	2.789	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000

14,2	2.627	1.141	1.486	0.283	41	52	0.733	25.823	2.547	sabbia lim.-limo sab.	0.132	0.901	0.059
14,4	2.664	1.161	1.503	0.282	54	73	1.267	34.156	2.520	sabbia lim.-limo sab.	0.183	1.258	0.000
14,6	2.701	1.181	1.52	0.281	47	81	2.267	29.144	2.783	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
14,8	2.738	1.201	1.537	0.280	51	84	2.200	31.400	2.725	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
15	2.775	1.221	1.554	0.278	49	85	2.400	29.746	2.781	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000

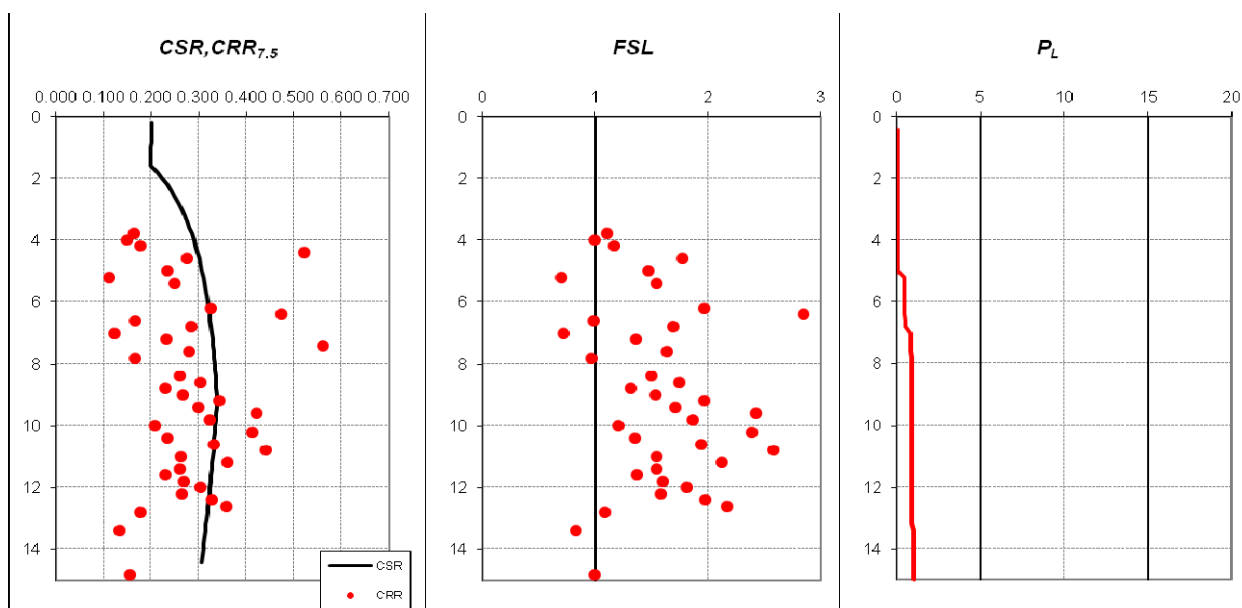
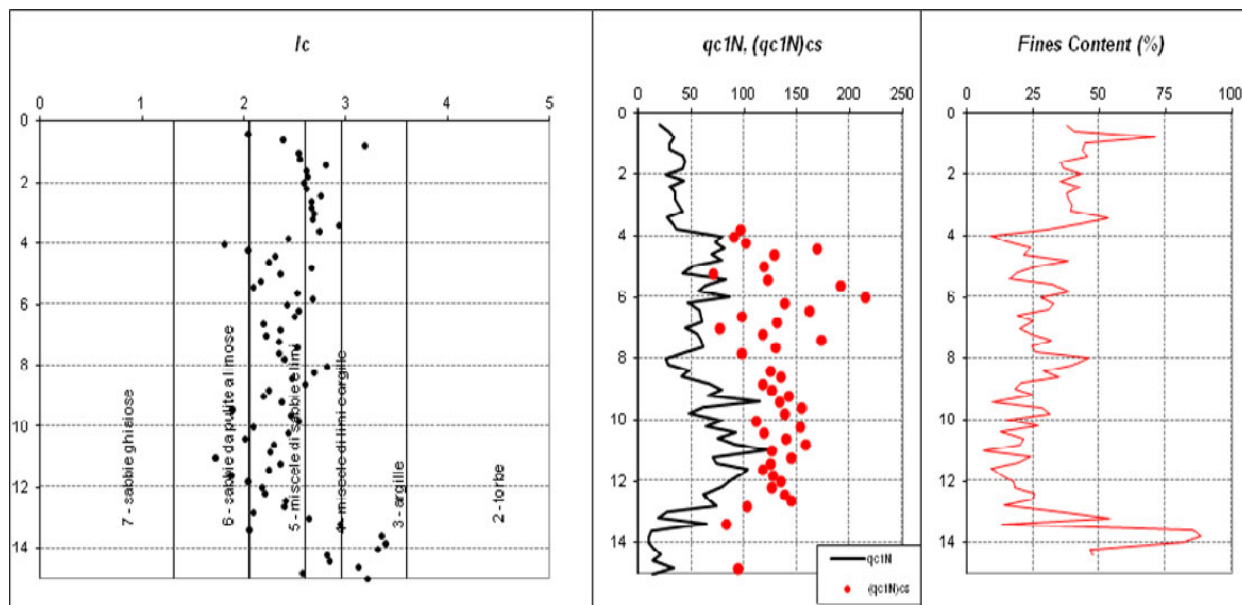


Il calcolo ha evidenziato come non sussiste il rischio di liquefazione in caso di sisma, dai grafici sopra si evidenzia che il **fattore di sicurezza FSL ≥ 1** mentre il **potenziale di liquefazione è nullo PL = 0**. La verifica è stata effettuata fino a 15 m di profondità, con falda a -2,4 m e magnitudo 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	lc	classe	CRR	FSL	PL
0,2	0.037	0	0.037	0.201	----	----							
0,4	0.074	0	0.074	0.201	10	13	0.200	134.135	2.031	sabbie da pulite a	-	5.000	0.000
0,6	0.111	0	0.111	0.201	10	16	0.400	89.090	2.377	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
0,8	0.148	0	0.148	0.200	5	19	0.933	32.784	3.176	argilla	-	5.000	0.000
1	0.185	0	0.185	0.200	13	23	0.667	69.270	2.531	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
1,2	0.222	0	0.222	0.200	14	24	0.667	62.063	2.538	sabbia lim.-limo sab.	-	5.000	0.000
1,4	0.259	0	0.259	0.199	11	23	0.800	41.471	2.794	limo arg. - argilla lim.	-	5.000	0.000
1,6	0.296	0.001	0.295	0.200	13	21	0.533	43.064	2.601	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
1,8	0.333	0.021	0.312	0.212	13	21	0.533	40.599	2.620	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
2	0.37	0.041	0.329	0.223	15	24	0.600	44.468	2.584	sabbia lim.-limo sab.	-	-	0.000
2,2	0.407	0.061	0.346	0.233	15	24	0.600	42.176	2.601	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
2,4	0.444	0.081	0.363	0.242	11	18	0.467	29.080	2.740	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
2,6	0.481	0.101	0.38	0.250	13	20	0.467	32.945	2.650	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
2,8	0.518	0.121	0.397	0.257	14	22	0.533	33.960	2.657	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
3	0.555	0.141	0.414	0.264	16	27	0.733	37.307	2.683	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
3,2	0.592	0.161	0.431	0.270	18	31	0.867	40.390	2.674	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
3,4	0.629	0.181	0.448	0.276	12	24	0.800	25.382	2.922	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
3,6	0.666	0.201	0.465	0.281	15	25	0.667	30.826	2.736	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
3,8	0.703	0.221	0.482	0.285	21	28	0.467	42.110	2.431	sabbia lim.-limo sab.	0.163	1.106	0.000
4	0.74	0.241	0.499	0.290	47	51	0.267	92.705	1.795	sabbie da pulite a	0.148	0.992	0.013
4,2	0.777	0.261	0.516	0.294	44	52	0.533	83.766	2.028	sabbie da pulite a	0.178	1.170	0.000
4,4	0.814	0.281	0.533	0.297	51	76	1.667	94.158	2.296	sabbia lim.-limo sab.	0.523	3.402	0.000
4,6	0.851	0.301	0.55	0.301	44	59	1.000	78.453	2.235	sabbia lim.-limo sab.	0.275	1.772	0.000
4,8	0.888	0.321	0.567	0.304	45	100	3.667	77.799	2.659	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
5	0.925	0.341	0.584	0.307	35	48	0.867	58.348	2.355	sabbia lim.-limo sab.	0.233	1.470	0.000
5,2	0.962	0.361	0.601	0.310	29	33	0.267	46.652	2.163	sabbia lim.-limo sab.	0.112	0.700	0.450
5,4	0.999	0.381	0.618	0.312	58	72	0.933	92.235	2.079	sabbia lim.-limo sab.	0.249	1.544	0.000
5,6	1.036	0.401	0.635	0.315	46	80	2.267	70.809	2.514	sabbia lim.-limo sab.	0.732	4.504	0.000
5,8	1.073	0.421	0.652	0.317	37	72	2.333	55.103	2.668	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
6	1.11	0.441	0.669	0.319	64	109	3.000	94.006	2.418	sabbia lim.-limo sab.	0.987	5.986	0.000
6,2	1.147	0.461	0.686	0.321	35	54	1.267	49.348	2.524	sabbia lim.-limo sab.	0.326	1.966	0.000
6,4	1.184	0.481	0.703	0.323	45	72	1.800	62.327	2.484	sabbia lim.-limo sab.	0.475	2.846	0.000
6,6	1.221	0.501	0.72	0.324	46	56	0.667	62.193	2.179	sabbia lim.-limo sab.	0.165	0.986	0.019
6,8	1.258	0.521	0.737	0.326	48	67	1.267	63.422	2.348	sabbia lim.-limo sab.	0.285	1.691	0.000
7	1.295	0.541	0.754	0.328	36	42	0.400	46.028	2.215	sabbia lim.-limo sab.	0.122	0.721	0.368
7,2	1.332	0.561	0.771	0.329	46	62	1.067	57.935	2.338	sabbia lim.-limo sab.	0.232	1.363	0.000
7,4	1.369	0.581	0.788	0.330	50	83	2.200	61.714	2.518	sabbia lim.-limo sab.	0.561	3.285	0.000
7,6	1.406	0.601	0.805	0.331	52	72	1.333	62.850	2.342	sabbia lim.-limo sab.	0.280	1.634	0.000
7,8	1.443	0.621	0.822	0.333	37	48	0.733	43.257	2.391	sabbia lim.-limo sab.	0.166	0.967	0.041
8	1.48	0.641	0.839	0.334	22	36	0.933	24.458	2.803	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
8,2	1.517	0.661	0.856	0.335	24	35	0.733	26.265	2.685	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
8,4	1.554	0.681	0.873	0.336	44	63	1.267	48.621	2.460	sabbia lim.-limo sab.	0.260	1.498	0.000
8,6	1.591	0.701	0.89	0.337	38	59	1.400	40.909	2.590	sabbia lim.-limo sab.	0.303	1.741	0.000
8,8	1.628	0.721	0.907	0.337	62	80	1.200	66.562	2.240	sabbia lim.-limo sab.	0.230	1.318	0.000
9	1.665	0.741	0.924	0.338	74	95	1.400	78.285	2.181	sabbia lim.-limo sab.	0.267	1.530	0.000
9,2	1.702	0.761	0.941	0.338	63	90	1.800	65.141	2.365	sabbia lim.-limo sab.	0.344	1.967	0.000
9,4	1.739	0.781	0.958	0.338	111	128	1.133	114.051	1.877	sabbie da pulite a	0.299	1.712	0.000
9,6	1.776	0.801	0.975	0.337	61	93	2.133	60.743	2.450	sabbia lim.-limo sab.	0.421	2.419	0.000
9,8	1.813	0.821	0.992	0.336	48	73	1.667	46.559	2.531	sabbia lim.-limo sab.	0.324	1.864	0.000
10	1.85	0.841	1.009	0.335	80	96	1.067	77.453	2.082	sabbia lim.-limo sab.	0.208	1.202	0.000
10,2	1.887	0.861	1.026	0.334	66	99	2.200	62.488	2.426	sabbia lim.-limo sab.	0.412	2.388	0.000
10,4	1.924	0.881	1.043	0.333	95	112	1.133	89.239	2.003	sabbie da pulite a	0.233	1.355	0.000
10,6	1.961	0.901	1.06	0.332	79	108	1.933	72.678	2.283	sabbia lim.-limo sab.	0.333	1.941	0.000
10,8	1.998	0.921	1.077	0.331	96	133	2.467	87.281	2.241	sabbia lim.-limo sab.	0.442	2.582	0.000
11	2.035	0.941	1.094	0.330	130	141	0.733	116.970	1.709	sabbie da pulite a	0.263	1.540	0.000
11,2	2.072	0.961	1.111	0.329	76	108	2.133	66.542	2.353	sabbia lim.-limo sab.	0.361	2.125	0.000
11,4	2.109	0.981	1.128	0.328	81	105	1.600	69.939	2.230	sabbia lim.-limo sab.	0.261	1.541	0.000
11,6	2.146	1.001	1.145	0.326	114	128	0.933	97.689	1.869	sabbie da pulite a	0.230	1.366	0.000
11,8	2.183	1.021	1.162	0.325	108	130	1.467	91.065	2.034	sabbie da pulite a	0.269	1.600	0.000
12	2.22	1.041	1.179	0.324	98	126	1.867	81.238	2.171	sabbia lim.-limo sab.	0.303	1.811	0.000
12,2	2.257	1.061	1.196	0.323	90	115	1.667	73.364	2.196	sabbia lim.-limo sab.	0.263	1.581	0.000
12,4	2.294	1.081	1.213	0.321	72	103	2.067	57.466	2.406	sabbia lim.-limo sab.	0.327	1.972	0.000
12,6	2.331	1.101	1.23	0.320	78	112	2.267	61.520	2.388	sabbia lim.-limo sab.	0.357	2.163	0.000
12,8	2.368	1.121	1.247	0.318	88	103	1.000	68.670	2.080	sabbia lim.-limo sab.	0.178	1.082	0.000
13	2.405	1.141	1.264	0.317	35	48	0.867	25.787	2.635	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
13,2	2.442	1.161	1.281	0.316	24	39	1.000	16.829	2.932	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
13,4	2.479	1.181	1.298	0.314	78	87	0.600	58.183	2.040	sabbie da pulite a	0.134	0.824	0.120
13,6	2.516	1.201	1.315	0.313	16	39	1.533	10.254	3.351	argilla	-	-	0.000
13,8	2.553	1.221	1.332	0.311	13	28	1.000	7.843	3.388	argilla	-	-	0.000
14	2.59	1.241	1.349	0.310	13	24	0.733	7.717	3.308	argilla	-	-	0.000

14,2	2.627	1.261	1.366	0.308	21	27	0.400	13.450	2.812	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
14,4	2.664	1.281	1.383	0.306	30	46	1.067	19.766	2.830	limo arg. - argilla lim.	-	-	0.000
14,6	2.701	1.301	1.4	0.305	19	33	0.933	11.642	3.113	argilla	-	-	0.000
14,8	2.738	1.321	1.417	0.303	43	57	0.933	28.414	2.565	sabbia lim.-limo sab.	0.156	0.993	0.004
15	2.775	1.341	1.434	0.302	19	38	1.267	11.315	3.210	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 ≥ 1** mentre il **potenziale di liquefazione è nullo PL = 0**. La verifica è stata effettuata fino a 15 m di profondità, con falda a -2,35 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 Amax = 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:

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

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.

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

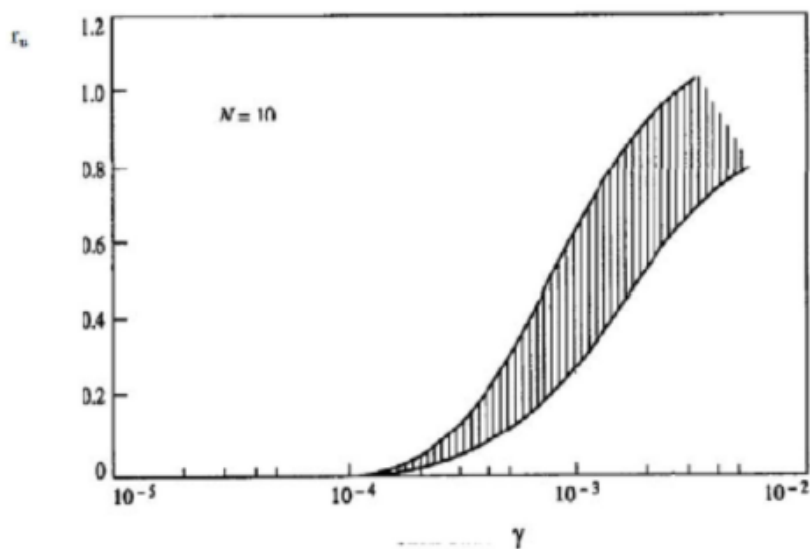


Figura 10: Valore del rapporto di pressione interstiziale r_u in funzione della deformazione di taglio indotta dal terremoto

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:

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

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

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

$$C_r = 0.225 C_c$$

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

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

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

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

CPT 3							
Strato	spessore	prof.(m)	γ (t/m ³)	C_{um} (kg/cm ²)	Vs (m/s)	Mo (kg/cm ²)	OCR
suolo	0.6	0.6	1.85	0.82	120	67.50	95.8
A	4.9	5.5	1.09	0.85	225	64.10	19.9
B	7.5	13.0	0.94	0.71	290	53.80	4.2
C	2.0	15.0	0.92	0.78	290	59.40	2.8

Strato	α	e_0	$I_p(\%)$	C_c	C_r	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	0.50
B	1.2	0.8	0.2	0.038	0.009	0.7	0.002	1.50
C	1.2	0.9	0.2	0.038	0.009	0.7	0.001	0.20

CPT 6							
Strato	spessore	prof.(m)	γ (t/m ³)	Cu_m (kg/cm ²)	Vs (m/s)	Mo (kg/cm ²)	OCR
suolo	0.6	0.6	1.85	0.45	120	28.0	44.15
A	2.4	3.0	0.35	0.71	225	53.5	20.2
B	3.2	6.2	0.68	0.78	290	58.4	7.6
C	8.8	15.0	1.24	0.88	290	69.5	4.15

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	0.30
C	1.2	0.85	0.2	0.038	0.009	0.7	0.002	1.80

CPT 7							
Strato	spessore	prof. (m)	γ (t/m ³)	$Cu_m(\text{kg/cm}^2)$	Vs (m/s)	Mo (kg/cm ²)	OCR
suolo	0.4	0.4	1.85	0.50	120	40.0	68.4
A	2.8	3.2	1.26	0.59	225	44.6	17.25
B	3.0	6.2	0.94	1.26	290	110.9	16.30
C	8.8	15.0	0.95	0.84	290	66.8	4.6

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	0.05
A	1.2	0.8	0.2	0.038	0.009	0.7	0.001	0.30
B	1.2	0.9	0.2	0.038	0.009	0.7	0.001	0.25
C	1.2	0.85	0.2	0.038	0.009	0.7	0.002	1.80

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)
CPT3	2.3
CPT6	2.5
CPT7	2.4

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 CPT3 è di circa 2.3 cm;
- Il cedimento medio post-sismico per la CPT6 è di circa 2.5 cm;
- Il cedimento medio post-sismico per la CPT7 è di circa 2.4 cm;

Faenza, Settembre 2023

Dr. geol. Bruno Gardegni

