

Dott. Geol. Mastellari Matteo

INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOLOGIA

Sede legale: via Ugo Toglio n. 30 * 44123 Ferrara * Cell.: 3469735712
E-mail: matteo.mastellari@gmail.com * P. IVA: 01561570381

PROVINCIA DI FERRARA

COMUNE DI FERRARA

INTEGRAZIONE DI PERIZIA GEOLOGICO - TECNICA

**RELATIVA ALL' INDAGINE GEOGNOSTICA ESEGUITA PER LA RICHIESTA DI
APPROVAZIONE DI PIANO URBANISTICO ATTUATIVO PER UN'AREA LIMITROFA
TRA VIA COMACCHIO E VIA DON GIULIO ZEBINI**

COMMITTENTE: Hi - Mec di Calì Salvatore s.r.l.

LOCALITÀ: Cona - FE

DATA: 17.12.2018

RIF.: 09i/18

INDICE

1. Premessa.....	pag.	3
1.1 Riferimenti legislativi e normative attinenti.....	pag.	3
2. Stabilità alla liquefazione.....	pag.	4
2.1 Stima dei cedimenti post sismici.....	pag.	5
2.2 Parametri di calcolo dei cedimenti post sismici.....	pag.	7
3. Conclusioni.....	pag.	9
4. Allegati.....	pag.	10
4.1 area d'indagine e ubicazione prove.....	pag.	11
4.2 schermata di calcolo dei cedimenti post sismici CPT 1.....	pag.	12
4.3 schermata di calcolo dei cedimenti post sismici CPT 2.....	pag.	13
5. Clausola privacy.....	pag.	14

1. PREMESSA

Su richiesta della *Hi - Mec di Cali Salvatore s.r.l.*, con sede in Via Verginese, 24, in località Gambulaga, Ferrara, si redige lo studio per ricostruire la modellazione geologica e sismica per il progetto di opere di urbanizzazione primaria per realizzazione complesso residenziale sito in via Comacchio e via Don Giulio Zerbini in località Cona, a Ferrara; riferimenti catastali foglio 235 mappali 73, 874 e 430 del Comune di Ferrara. In particolare in questa sede vengono calcolati i valori dei cedimenti post sismici in base alla Delibera assemblea legislativa n. 112/2007 della regione Emilia – Romagna “Atto di indirizzo e coordinamento tecnico” per gli studi di micronizzazione sismica. In figura 1 si riporta l’ubicazione dell’area di intervento.



Figura 1: area di studio

1.1 Riferimenti legislativi e normative attinenti

Tale indagine è conforme:

- ✓ D.M. 11 marzo 1988 con Circ. LL. PP. 24 settembre 1988 n. 30483
- ✓ Legge n. 109 del 11 febbraio 1994, art. 16 comma 3 e 4 e ss. mm. ii.
- ✓ A.G.I. raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini giugno 1977
- ✓ UNI EN 1991 (Eurocodice 1): basi di calcolo e azioni sulle strutture
- ✓ UNI EN 1997 (Eurocodice 7): progettazione geotecnica
- ✓ UNI EN 1998 (Eurocodice 8): progettazione delle strutture per la resistenza sismica
- ✓ D.M. del 16 gennaio 2006 Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni
- ✓ D.M. del 14 gennaio 2008 Norme tecniche per le costruzioni
- ✓ Delibera assemblea legislativa n. 112/2007 della regione Emilia – Romagna “Atto di indirizzo e coordinamento tecnico” per gli studi di micronizzazione sismica.
- ✓ D.G.R. n. 2193 del 21 dicembre 2015.
- ✓ D.M. del 17 gennaio 2018 Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni NTC2018.

2. STABILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

L'obiettivo della riduzione del rischio sismico passa anche per l'analisi delle componenti territoriali che possono innescare fenomeni negativamente impattanti con le strutture antropiche e la loro sicurezza. Vale comunque la pena evidenziare che laddove sono presenti i caratteri predisponenti, non è detto che si possano realizzare le condizioni di cause scatenanti; ovvero un terreno sabbioso può avere tutti i requisiti granulometrici e di addensamento per liquefarsi, ma nell'area non si verificherà un sisma con energia sufficiente ad indurre liquefazione.

In particolare vengono ritenuti motivi di esclusione dalla verifica a liquefazione, la verifica di almeno una di queste circostanze:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo di momento M_w inferiore a 6 e durata inferiore a 15 sec. ("La Liquefazione del terreno in condizioni sismiche" – Crespellani, Nardi, Simoncini – Zanichelli 1988).
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,1g;
3. Accelerazioni massime al piano campagna in condizioni *free-field* minori di 0,15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - ✓ frazione di fine, FC, superiore al 20%, con indice di plasticità $PI > 10$;
 - ✓ $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N1)_{60} > 20$;
 - ✓ $FC \leq 35\%$ e resistenza $(N1)_{60} > 25$
 dove $(N1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 9 da distinguere i materiali in funzione del coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ o $U_c > 3,5$.
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.

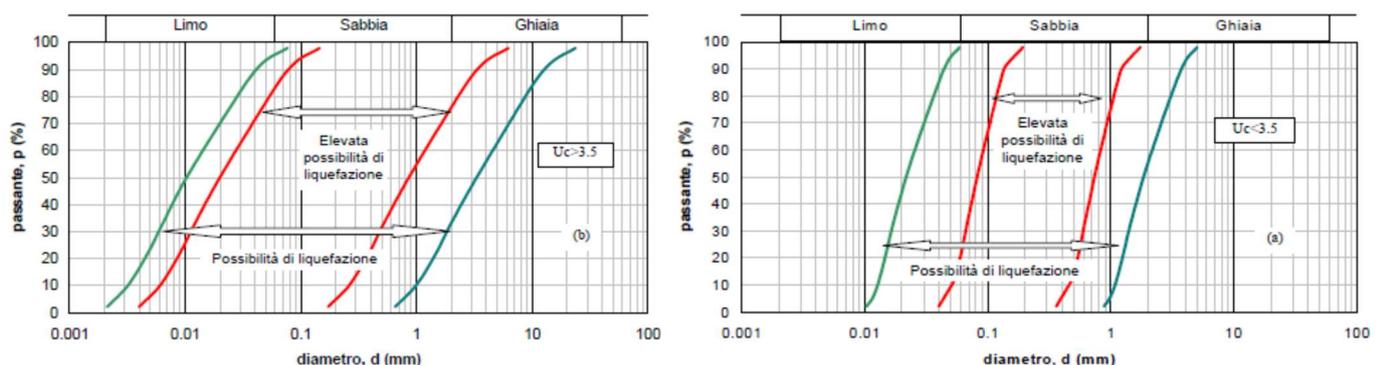


Figura 9 - Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno

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:

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

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

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

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:

LPI	Potenziale di liquefazione
0	Non liquefacibile
$0 < LPI \leq 2$	Basso
$2 < LPI \leq 5$	Moderato
$5 < LPI \leq 15$	Altro
$LPI > 15$	Molto alto

Per poter valutare la severità degli effetti viene proposta la scala della tabella 1. Per questo sito si è considerata una magnitudo di 6.14, un fattore di amplificazione F_0 di 2.596 e una PGA (Peak Ground Acceleration) di 0.27. Nel caso in esame si è ottenuto un indice di pericolosità alla liquefazione pari a 6.70 in CPT 1 e di 13.01 in CPT 2 con conseguente rischio di liquefazione alto. Nella prova n. 1 è stato eseguito comunque il calcolo del potenziale di liquefazione nonostante la verticale di prova ricada nel punto 6 ("copertura di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3 m...") dei motivi di esclusione dalla verifica.

Nella prova n. 2 è presente un livello di scarso spessore (<0.5 m) per cui è presumibile che i cedimenti post sismici siano di bassa entità. A tal proposito vengono di seguito stimati i cedimenti post sismici per entrambe le prove. In allegato vengono riportate le tabelle riassuntive dei valori calcolati.

2.1 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:

$$\varepsilon_{vr} = \frac{\alpha \cdot Cr}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

- α = costante sperimentale compresa tra 1 a 1,5;
- e_0 = indice dei vuoti iniziale;
- Cr = indice di riconsolidazione post-ciclica ricavabile in prima approssimazione dalla relazione: $Cr = 0.225 \cdot Cc$ dove Cc è il l'indice di compressione;
- $\frac{\Delta u}{\sigma'_0}$ = incremento delle pressioni interstiziali durante il sisma.

In prima approssimazione Cc può essere stimato con la relazione empirica

$$Cc = 0.0348 + 0.0162 \cdot I_p$$

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

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

Dove

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.

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

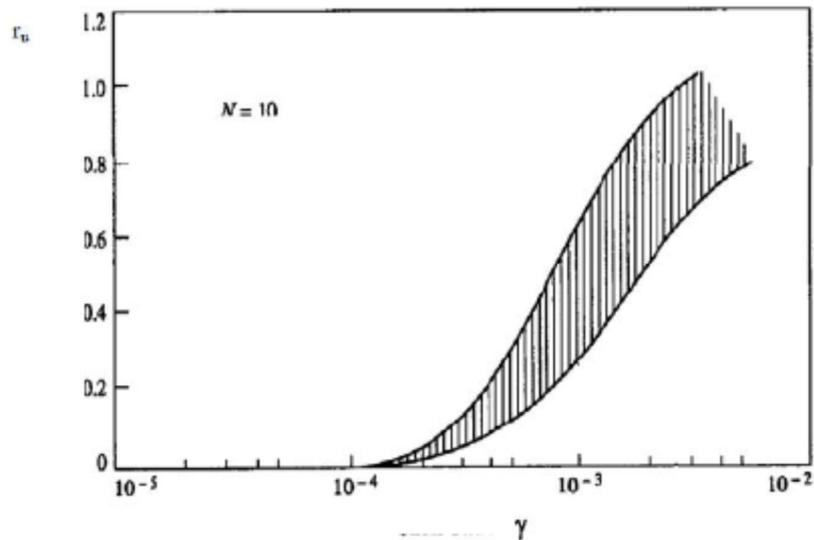


Figura 10: Valore del rapporto di pressione interstiziale r_u in funzione della deformazione di taglio indotta dal terremoto

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 dall'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 $M = 7.5$
- $(N_1)_{60}$ = numero di colpi Nspt corretto.

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

2.2 Parametri di calcolo dei cedimenti post sismici

Dalle indagini svolte risulta la presenza di livelli con $Cu \geq 70 \text{ kg/cm}^2$ nelle verticali indagate, in particolare gli strati n. 3 nella prima prova e n. 5 nella seconda prova (evidenziati in tabella), livelli che si possono escludere dal calcolo. Per semplificazione vengono riportati in tabelle i parametri utilizzati per il calcolo dei cedimenti post sismici:

CPT 1						
Strato n.	Prof. (m)	Tipo di litologia	$\gamma \text{ (t/m}^3\text{)}$	$Cu \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$Vs \text{ (m/s)}$	$Mo \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
1	11.80	C	1.9	0.6	207.40	45.6
2	14.20	I	2.2	--	337.74	75.3
3	20.00	C	2.0	0.8	263.67	47.6

CPT 2						
Strato n.	Prof. (m)	Tipo di litologia	γ (t/m ³)	Cu (kg/cm ²)	Vs (m/s)	Mo (kg/cm ²)
1	2.00	C	1.9	0.5	166.94	43.6
2	2.40	I	2.2	--	222.53	97.1
3	8.60	C	2.0	0.7	213.45	48.3
4	10.00	I	2.1	--	283.09	57.8
5	19.60	C	2.0	0.8	258.83	47.7
6	20.00	I	2.2	--	383.57	103.1

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 postsismico pari a:

Prova	ΔH (cm)
CPT 1	1.25
CPT 2	2.05

In allegato schermata del foglio di calcolo con i parametri assunti e i risultati ottenuti.

3. CONCLUSIONI

In conclusione si può riassumere:

- ✓ Il sito in oggetto ha latitudine 44°,80 e longitudine 11°,70 (ED50), la categoria sottosuolo è di tipo D, la categoria topografica è T1. L'opera rientra nel punto "2: ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale" con classe d'uso "II: costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente senza funzioni pubbliche e sociali essenziali", viene utilizzato un periodo di riferimento di 50 anni.
- ✓ Da un punto di vista stratigrafico si può ipotizzare una sezione costituita dalle due prove e suddividerla in orizzonti:
 - 1° orizzonte, materiali coesivi, argilla, argilla sabbiosa e organica, profondità circa 13.0 m da p.c.
 - 2° orizzonte, materiali incoerenti, sabbia, profondità circa 15 m da p.c.
 - 3° orizzonte, materiali coesivi, argilla e argilla organica, profondità circa 20.0 m da p.c.

Dalla prova CPT 1 è possibile osservare la presenza di sabbia fino a 21.0 m a cui seguono livelli di argilla/argilla sabbiosa fino a circa 25.0 m. Da 25.0 m a 26.0 m è presente sabbia poi argilla fino al termine della perforazione.

- ✓ Il livello dell'acqua misurato nei fori al termine delle prove è risultato essere dal p. c. attuale a profondità di -1.25 m CPT 1 mentre in CPT 2 di -1.10 m (misurazione del 24.04.2018).
- ✓ Per la verifica della liquefazione delle sabbie è stato utilizzato un software di calcolo che ha analizzato ogni strato di 20 cm individuato dalle prove eseguite e ne ha verificata potenzialità. Per questo sito, che rientra in zona 2, si è considerata una magnitudo di 6.14, un fattore di amplificazione F_0 di 2.596 e una PGA di 0.270. Nel caso in esame si è ottenuto un rischio di liquefazione alto, la liquefazione è un effetto di sito atteso. Si rimanda al paragrafo 4.3 per considerazioni riguardo al potenziale di liquefazione.
- ✓ I cedimenti post sismici sono contenuti tra 1.25 cm e 2.05 cm e considerandone l'entità non dovrebbero provocare danneggiamenti importanti nel caso di un evento sismico avente gli stessi parametri considerati.

Ferrara, 17 dicembre 2018.

Dott. Geol. Mastellari Matteo

4. ALLEGATI

Committente: Studio arch. Bosi – Himec Srl Cantiere: approvazione PUA Località: Cona - FE	Codice commessa: 09/18 Numero certificati allegati: 3
---	--

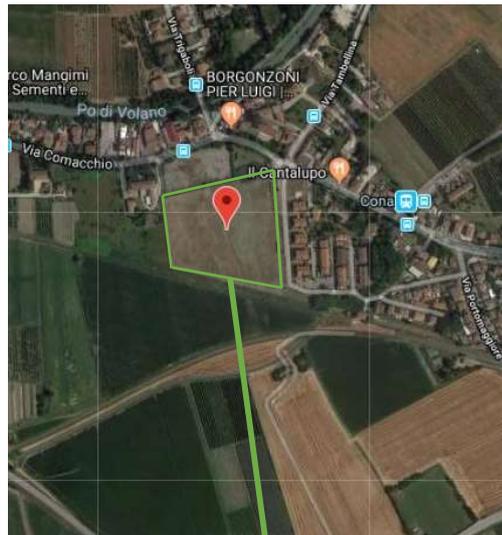
Caratteristiche Strumentali DEEP DRILL

Rif. Norme	ASTM D3441-86; AGI 1977
Punta	conica meccanica
Diametro Punta	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	20

Software utilizzati

Casa costruttrice	Geostru S.r.l.
Elaborazione prove CPT	Static Probing 2017
Elaborazione suscettibilità liquefazione	Liquiter 2018
Elaborazione stati limite	Load Cap 2018

4.1 Area d'indagine e ubicazione prove



4.2 schermata di calcolo dei cedimenti post sismici CPT 1

Unità	1	2		1	2
Spessori	11,8	2,4		11,8	2,4
Litologie	Argilla	Sabbia		Argilla	Sabbia
M modulo edometrico	4,47	7,38	G modulo di taglio	76,89	248,97

modulo M medio ponderato

4,96

modulo G0 medio

105,97

$$C_c = (1+e_0)sv_a/0,435M.$$

a	1,5
e0	1
M	4,96183099
sv Mpa	0,1
cc	0,09266138
cr	0,02084881

St	1	coef. Topografico
Ss	1	coef. Stratigrafico
Ag/g	0,201	
Ag	1,971	
Agmax	1,971	
Ag/Agmax	0,201	

$$g_{max} = 0,65 (a_{max,s/g}) sv_{rd} 1/G$$

z (m)	2
rd	0,970
g/g0	0,508
g0	105,973944
g	53,86

gmax	2,35E-04
gmax %	2,35E-02
ru =(Du/s'0)	0,12

$$evr = (aCr/1+e_0)\log(1/(1-Du/s'0))$$

0,00088434

H (spessore strato)	14,2
DH (in cm)	1,255765

4.3 schermata di calcolo dei cedimenti post sismici CPT 2

Unità	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Spessori	2	0,4	6,2	1,4	0,4		2	0,4	6,2	1,4	0,4
Litologie	Argilla	Sabbia	Argilla	Sabbia	Sabbia		Argilla	Sabbia	Argilla	Sabbia	Sabbia
M modulo edometrico	4,27	9,51	4,73	5,66	10,1	G modulo di taglio	52,26	108,04	90,67	167,4	321,5

modulo M medio ponderato

3,31

modulo G0 medio

64,69

$$C_c = (1+e_0)sv_a/0,435M).$$

a	1,5
e0	1
M	3,30519231
sv Mpa	0,1
cc	0,13910541
cr	0,03129872

St	1	coef. Topografico
Ss	1	coef. Stratigrafico
Ag/g	0,201	
Ag	1,971	
Agmax	1,971	
Ag/Agmax	0,201	

$$g_{max} = 0,65 (a_{max,s/g}) sv \quad rd \quad 1/G$$

z (m)	2
rd	0,970
g/g0	0,508
g0	64,6913462
g	32,88
gmax	3,85E-04
gmax %	3,85E-02
ru =(Du/s'0)	0,18

$$evr = (aCr/1+e_0)\log(1/(1-Du/s'0)) \quad 0,00197238$$

H (spessore strato)	10,4
DH (in cm)	2,051278

5. CLAUSOLA "PRIVACY"

Ai sensi e per gli effetti della Legge 30.06.2003 n. 196 le parti dichiarano di essersi reciprocamente informate e di acconsentire che i dati personali raccolti siano oggetto di trattamento nell'archivio clienti/fornitori per gli adempimenti di natura civilistica e fiscale e per finalità gestionali, statistiche, commerciali e di marketing. Le parti, titolari dei rispettivi dati, dichiarano espressamente di essere a conoscenza del contenuto dell'art. 23 della Legge 196/03.