

ALLEGATO 3

VERIFICA A LIQUEFAZIONE

La verifica a liquefazione è stata eseguita nell'unica area in cui la cartografia prodotta (cfr. Elaborati PG-GEOT-144 "Carta Geologica tecnica - Met. San Salvo - Biccari+ DN 650 (26")+ DP 75 bar" e PG-TPMF-145 "Carta delle Mops e delle frequenze - Met. San Salvo - Biccari+ DN 650 (26")+ DP 75 bar") riporta una zona di attenzione per liquefazione.

In particolare, l'area in esame è quella relativa al fondovalle alluvionale del Fiume Treste e la verticale d'indagine di riferimento è il sondaggio S3, mentre i parametri geotecnici utili per la verifica sono stati desunti dall'elaborazione delle prove SPT eseguite in foro. (cfr. Elaborato "Carta delle indagini per caratterizzazione sismica - Met. San Salvo - Biccari+ DN 650 (26")+ DP 75 bar" e RE-GEO-030 "Relazione sulle indagini geotecniche e geofisiche" con relativi annessi).

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione

$$(1.0)F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione. Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove statiche (CPT) o prove di misurazione delle onde di taglio Vs. Questi metodi sono in genere utilizzati per la progettazione di opere di media importanza.

I metodi di calcolo del potenziale di liquefazione adottati dal programma sono:

Metodo di Seed e Idriss (1982);

Metodo di Iwasaki et al. (1978; 1984);

Metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983);

Metodo di Finn (1985);

Metodo di Cortè (1985);

Metodo di Robertson e Wride modificato (1997);

Metodo di Andrus e Stokoe (1998);

Metodi basati sull'Eurocodice 8 (ENV 1998-5);

Metodo basato sull'NTC 2008.

Seed e Idriss (1971b) per poter determinare gli sforzi di taglio indotti dal sisma propongono una semplice procedura basata sull'ipotesi di terreno omogeneo. Ipotizzando la propagazione verticale di onde sismiche di taglio, una colonna di terreno di altezza z (Fig. 1) si muove rigidamente in direzione orizzontale e pertanto lo sforzo di taglio massimo alla profondità z è dato da:

$$(1.1) \tau_{max} = \frac{a_g}{g} \times \gamma z$$

dove a_g è l'accelerazione massima in superficie, g l'accelerazione di gravità e γ il peso di volume secco del terreno.

Poiché nella realtà il terreno è deformabile, lo sforzo di taglio è minore che nell'ipotesi di corpo rigido e quindi bisogna introdurre un coefficiente riduttivo r_d . Normalizzando con la pressione verticale effettiva e riferendosi ad un valore medio τ_{av} anziché ad un valore massimo τ_{max} si ottiene:

$$(1.2) \frac{\tau_{av}}{\sigma_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}} r_d$$

espressione valida per sismi di magnitudo 7.5. Per magnitudo diverse bisogna dividere per il fattore correttivo MSF (Magnitudo Scaling Factor):

$$(1.3) CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF}$$

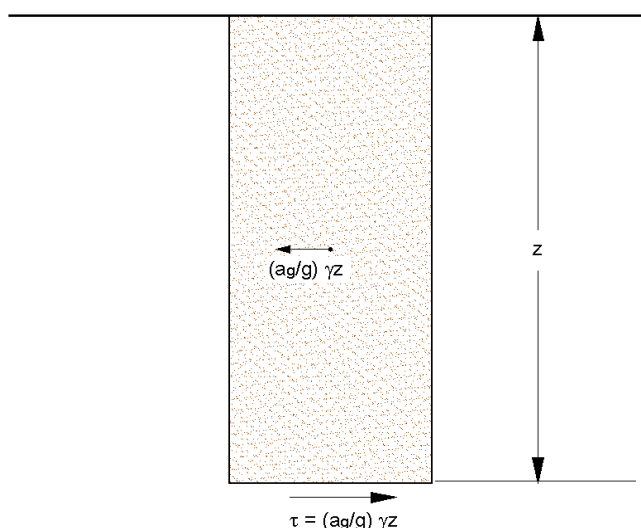


Figura 1 – Sforzo di taglio indotto dal terremoto ad una determinata quota

Il 'metodo di Seed e Idriss' (1982) è il più noto e utilizzato dei metodi semplificati e richiede solo la conoscenza di pochi parametri geotecnici: la granulometria, il numero dei colpi nella prova SPT, la densità relativa, il peso di volume. Per determinare il valore del coefficiente riduttivo r_d viene utilizzata la formula empirica proposta da Iwasaki et al. (1978):

$$(1.4) r_d = 1 - 0,015z$$

mentre per il fattore correttivo MSF si veda la Tabella 1 dove viene riportato il valore di questo fattore ottenuto da vari ricercatori, tra cui Seed H. B. e Idriss I. M (1982).

Magnitudo	Seed H. B. & Idriss I. M. (1982)	Ambraseys N. N. (1988)	NCEER (Seed R. B. et al.) (1997; 2003)
5.5	1.43	2.86	2,21
6.0	1.32	2.20	1,77
6.5	1.19	1.69	1,44
7.0	1.08	1.30	1,19
7.5	1.00	1.00	1,00
8.0	0.94	0.67	0,84
8.5	0.89	0.44	0,73

Tabella 1 - Magnitudo Scaling Factor

Il termine a numeratore della (1.0), cioè la resistenza alla liquefazione CRR, viene calcolato in funzione della magnitudo, del numero di colpi, della pressione verticale effettiva, della densità relativa.

Si ottiene un grafico (Fig. 2) ottenuto selezionando i casi di terreni in cui si è avuta liquefazione e non liquefazione durante i terremoti.

Si calcola inizialmente il numero dei colpi corretto alla quota desiderata per tenere conto della pressione litostatica mediante la seguente espressione:

$$(1.5) (N_{1,60}) = C_N N_m$$

dove N_m è il numero medio dei colpi nella prova penetrometrica standard SPT e C_N un coefficiente correttivo che si calcola mediante la seguente espressione:

$$(1.6) C_N = \left(\frac{Pa}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

dove σ'_{v0} è la pressione verticale effettiva, Pa la pressione atmosferica espressa nelle stesse unità di σ'_{v0} ed n un'esponente che dipende dalla densità relativa del terreno (Fig. 3).

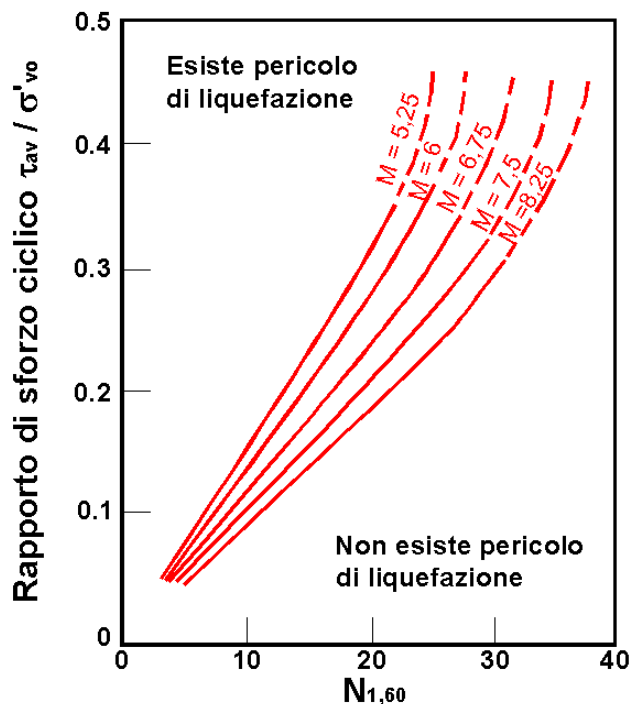


Figura 2 – Correlazione fra CSR e $N_{1,60}$

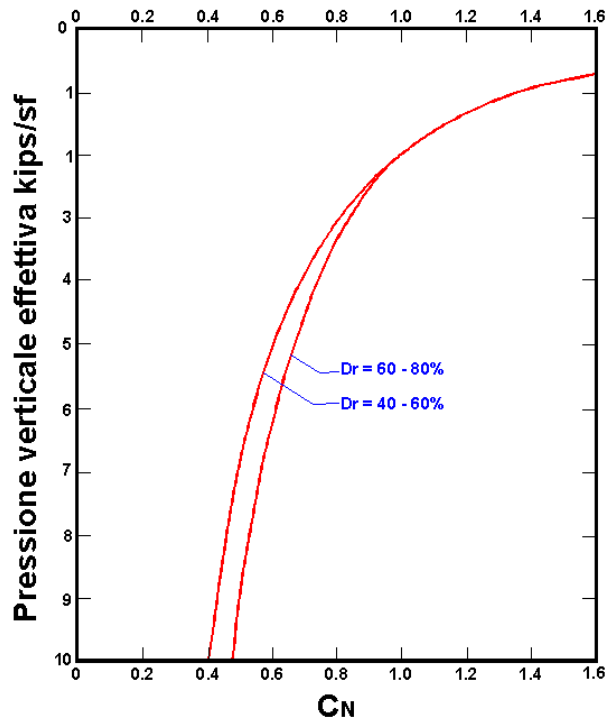


Figura 3 – Coefficiente correttivo C_N

E' stato dimostrato che per un terremoto di magnitudo pari a 7,5 CRR è:

$$(1.7) CRR \approx \frac{N_{1,60}}{90}$$

Si applica quindi la (1.0); se $F_S > 1,3$ il deposito non è liquefacibile.

Gli Autori hanno precisato che questa procedura è valida per sabbie con $D_{50} > 0,25$ mm; per sabbie limose e limi suggeriscono di correggere ulteriormente il valore di $N_{1,60}$:

$$(1.8) (N_{1,60})_{cs} = N_{1,60} + 7,5$$

CALCOLO DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE

Dati generali

I dati sono stati desunti dal Sondaggio S3 e relative SPT in foro condotte. Per ulteriori dettagli si rimanda all'Elaborato RE-GEO-030 "Relazione sulle indagini geotecniche e geofisiche" con relativi annessi.

Numero di strati = 3

Profondità della falda = 3 m

Magnitudo del sisma = 6

Accelerazione massima al suolo = 0.2

Strato Nr.	Descrizione (-)	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso di volume secco (KN/mc)	Peso di volume saturo (KN/mc)	Nr. colpi medio (Nspt)
1	Ghiaie	0	10	16.8	19.91	11
2	Limi e sabbie	10	14.5	16.5	18	4.5
3	Limi argillosi	14.5	19.2	16.7	19	5

Metodo di Seed H. B. e Idriss I. M. (1982)

Input dati

Strato Nr.	Dr (%)
1	54
2	40
3	50

Risultati

Correzione per la magnitudo (MSF) = 1.32

Verifica Nr.	Z dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale efficace (KPa)	Correzione per la press. litostatica efficace (CN)	Numero dei colpi corretto (N1,60)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza (Fs)	Suscettibilità di liquefazione
1	3.20	54.38	52.42	1.43		0.95				NL
2	3.40	58.36	54.44	1.40		0.95				NL
3	3.60	62.35	56.46	1.37		0.95				NL
4	3.80	66.33	58.48	1.34		0.94				NL
5	4.00	70.31	60.50	1.32		0.94				NL
6	4.20	74.29	62.52	1.29		0.94				NL
7	4.40	78.27	64.54	1.27		0.93				NL
8	4.60	82.26	66.57	1.25		0.93				NL
9	4.80	86.24	68.59	1.23		0.93				NL

10	5.00	90.22	70.61	1.21		0.93				NL
11	5.20	94.20	72.63	1.19		0.92				NL
12	5.40	98.18	74.65	1.17		0.92				NL
13	5.60	102.17	76.67	1.16		0.92				NL
14	5.80	106.15	78.69	1.14		0.91				NL
15	6.00	110.13	80.71	1.13		0.91				NL
16	6.20	114.11	82.73	1.11		0.91				NL
17	6.40	118.09	84.75	1.10		0.90				NL
18	6.60	122.08	86.77	1.08		0.90				NL
19	6.80	126.06	88.79	1.07		0.90				NL
20	7.00	130.04	90.81	1.05		0.90				NL
21	7.20	134.02	92.83	1.04		0.89				NL
22	7.40	138.00	94.85	1.03		0.89				NL
23	7.60	141.99	96.88	1.02		0.89				NL
24	7.80	145.97	98.90	1.01		0.88				NL
25	8.00	149.95	100.92	0.99		0.88				NL
26	8.20	153.93	102.94	0.98		0.88				NL
27	8.40	157.91	104.96	0.97		0.87				NL
28	8.60	161.90	106.98	0.96		0.87				NL
29	8.80	165.88	109.00	0.95		0.87				NL
30	9.00	169.86	111.02	0.94		0.87				NL
31	9.20	173.84	113.04	0.93		0.86				NL
32	9.40	177.82	115.06	0.93		0.86				NL
33	9.60	181.81	117.08	0.92		0.86				NL
34	9.80	185.79	119.10	0.91		0.85				NL
35	10.00	189.77	121.12	0.90		0.85				NL
36	10.20	193.77	122.76	0.89	4.02	0.85	0.04	0.13	0.34	L
37	10.40	196.97	124.40	0.89	3.99	0.84	0.04	0.13	0.34	L
38	10.60	200.57	126.04	0.88	3.96	0.84	0.04	0.13	0.33	L
39	10.80	204.17	127.68	0.87	3.93	0.84	0.04	0.13	0.33	L
40	11.00	207.77	129.32	0.87	3.91	0.84	0.04	0.13	0.33	L
41	11.20	211.37	130.96	0.86	3.88	0.83	0.04	0.13	0.33	L
42	11.40	214.97	132.59	0.86	3.85	0.83	0.04	0.13	0.32	L
43	11.60	218.57	134.23	0.85	3.83	0.83	0.04	0.13	0.32	L
44	11.80	222.17	135.87	0.84	3.80	0.82	0.04	0.13	0.32	L
45	12.00	225.77	137.51	0.84	3.78	0.82	0.04	0.13	0.32	L
46	12.20	229.37	139.15	0.83	3.75	0.82	0.04	0.13	0.31	L
47	12.40	232.97	140.79	0.83	3.73	0.81	0.04	0.13	0.31	L
48	12.60	236.57	142.43	0.82	3.70	0.81	0.04	0.13	0.31	L
49	12.80	240.17	144.06	0.82	3.68	0.81	0.04	0.13	0.31	L
50	13.00	243.77	145.70	0.81	3.66	0.81	0.04	0.13	0.31	L
51	13.20	247.37	147.34	0.81	3.64	0.80	0.04	0.13	0.30	L
52	13.40	250.97	148.98	0.80	3.61	0.80	0.04	0.13	0.30	L
53	13.60	254.57	150.62	0.80	3.59	0.80	0.04	0.13	0.30	L
54	13.80	258.17	152.26	0.79	3.57	0.79	0.04	0.13	0.30	L
55	14.00	261.77	153.90	0.79	3.55	0.79	0.04	0.13	0.30	L
56	14.20	265.37	155.54	0.78	3.53	0.79	0.04	0.13	0.30	L
57	14.40	268.97	157.17	0.78	3.51	0.78	0.04	0.13	0.30	L
58	14.60	272.67	158.91	0.78		0.78				NL
59	14.80	276.47	160.75	0.77		0.78				NL
60	15.00	280.27	162.59	0.77		0.78				NL
61	15.20	284.07	164.43	0.76		0.77				NL

62	15.40	287.87	166.27	0.76		0.77				NL
63	15.60	291.67	168.11	0.75		0.77				NL
64	15.80	295.47	169.94	0.75		0.76				NL
65	16.00	299.27	171.78	0.74		0.76				NL
66	16.20	303.07	173.62	0.74		0.76				NL
67	16.40	306.87	175.46	0.73		0.75				NL
68	16.60	310.67	177.30	0.73		0.75				NL
69	16.80	314.47	179.14	0.73		0.75				NL
70	17.00	318.27	180.98	0.72		0.75				NL
71	17.20	322.07	182.82	0.72		0.74				NL
72	17.40	325.87	184.65	0.71		0.74				NL
73	17.60	329.67	186.49	0.71		0.74				NL
74	17.80	333.47	188.33	0.71		0.73				NL
75	18.00	337.27	190.17	0.70		0.73				NL
76	18.20	341.07	192.01	0.70		0.73				NL
77	18.40	344.87	193.85	0.69		0.72				NL
78	18.60	348.67	195.69	0.69		0.72				NL
79	18.80	352.47	197.52	0.69		0.72				NL
80	19.00	356.27	199.36	0.68		0.72				NL
81	19.20	360.07	201.20	0.68		0.71				NL

Valutazione del rischio di liquefazione
Metodo di verifica: Seed Idriss
Diagrammi: Nspt - qc - Vs - Fs

Committente:
 Località:

Data:

