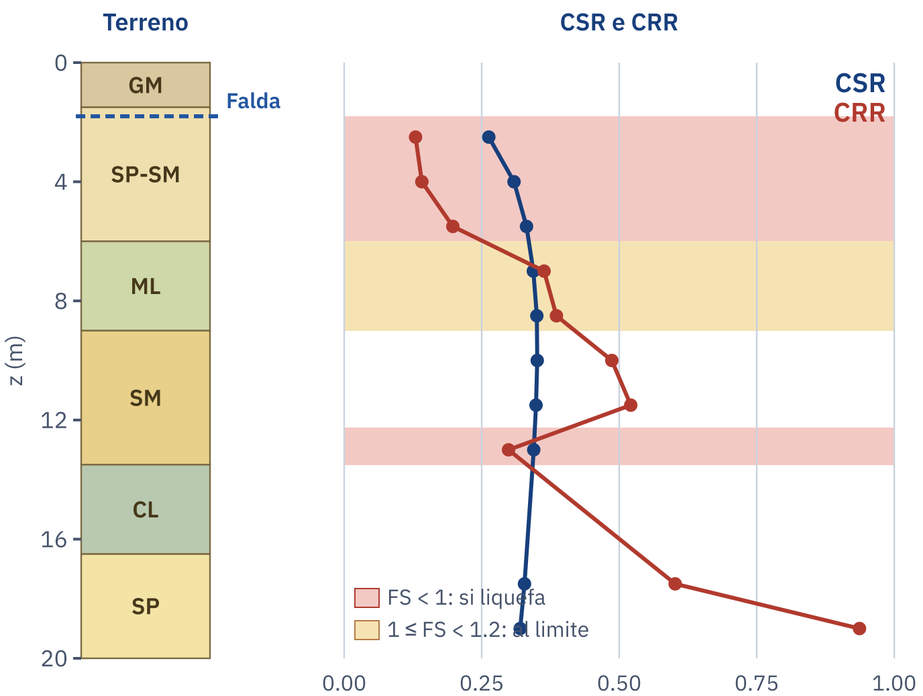
Lezione di geotecnica · Liquefazione

Innesco della liquefazione con SPT

Lezione: innesco della liquefazione con SPT (Idriss–Boulanger); un sondaggio e un punto di prova sono risolti manualmente dall'inizio alla fine, i punti restanti con tabelle.

Correzioni · CSR · CRR · MSF · Kσ · FS e zone · Risolvibile manualmente



Introduzione

Che cosa si impara in questa lezione?

La valutazione della liquefazione **basata sulle tensioni**: la sollecitazione sismica **CSR** è confrontata con la resistenza del terreno **CRR**; **FS = CRR / CSR**

Correzioni dal numero di colpi SPT grezzo N_{30} a $\mathbf{(N_1)_{60cs}}$: energia, lunghezza delle aste, sovraccarico e contenuto di fine

CSR (r_d, σ_v/σ'_v), curva CRR, **scalatura della magnitudo** MSF e **coefficiente di sovraccarico** K_σ

Quali prove sono escluse dal calcolo mediante **screening**; come si individuano le zone e lo spessore liquefacibile

In un sondaggio, il **singolo punto di prova dall'inizio alla fine a mano**, gli altri con gli stessi passaggi nella tabella

SVOLGIMENTO DELLA LEZIONE

Ogni argomento è trattato in **tre passaggi**:

1 · **Teoria**: formula e relativa motivazione

2 · **Traccia**: dati e richiesto

3 · **Soluzione**: passo per passo, con i numeri

Esempio: sondaggio BH-1 (falda freatica 1.80 m; 0–1.5 m terreno di riporto, 1.5–6 m sabbia sciolta …); a_{max} = 0.35 g, M = 7.5, rapporto di energia del maglio 60%, $FS_{richiesto}$ = 1.20.

Quale prova si valuta?

TEORIA

Una prova è valutata se si trova **al di sotto della falda freatica (YASS)**, non a profondità superiore a $\mathbf{z_{max}}$ (valore predefinito 20 m) e in un terreno che **si comporta come sabbia**

Il terreno con indice di plasticità $PI \geq PI_{lim}$ (predefinito 7) è **di tipo argilloso**; se PI non è fornito, lo indica il simbolo CL, CH, OL, OH oppure PT

Il terreno di tipo argilloso può **rammollire** sotto carico ciclico ma non si liquefà nel senso qui adottato: la verifica è demandata al controllo del rammollimento ciclico

Le prove non valutate restano in tutte le tabelle **con le relative motivazioni**. Le conseguenze della liquefazione (cedimento, espansione laterale, perdita di capacità portante) sono al di fuori del campo di applicazione di questa versione

Tensione verticale totale, interstiziale ed efficace

TEORIA

γ al di sopra della falda freatica; **γ_{sat}** al di sotto; si somma strato per strato. La pressione interstiziale è **idrostatica** a partire dalla falda freatica verso il basso (z_W è la profondità della falda freatica nel sondaggio)

La tensione efficace σ'_V si utilizza sia nel CSR sia nelle correzioni per la pressione di sovraccarico

$$\sigma_v = \sum \gamma_i \, h_i \qquad u = \gamma_w \, (z - z_w) \qquad \sigma'_v = \sigma_v - u$$

La tensione efficace si calcola solo per le prove sotto la falda freatica: sopra la falda freatica u = 0 e la prova viene scartata.

Da N_{30} a N_{60}

TEORIA

Il numero di colpi grezzo N_{30} (ultimi 30 cm) viene ricondotto all'asta standard con **energia del 60%**: C_E = ER/60 (martello), C_B (diametro del sondaggio), C_S (campionatore)

C_R dipende dalla lunghezza dell'asta: lunghezza dell'asta = z + lunghezza sopra la superficie (qui 1.5 m)

$$N_{60} = N_{30} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R$$

Lunghezza dell'asta (m)	< 3	3 – 4	4 – 6	6 – 10	≥ 10
C_R	0.75	0.80	0.85	0.95	1.00

$N_{60} \rightarrow (N_1)_{60} \rightarrow (N_1)_{60cs}$

TEORIA

C_N riporta la misura a una tensione efficace di 1 atm (P_a = 101.3 kPa); poiché l'esponente m dipende dal risultato stesso, si determina **per iterazione**; $C_N \leq 1.7$

Il contenuto di fine incrementa la resistenza di tipo sabbioso: mediante FC (in percentuale, il valore proprio della prova se misurato, altrimenti il valore dello strato) si passa alla sabbia pulita equivalente

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^m \leq 1.7 \qquad m = 0.784 - 0.0768\sqrt{(N_1)_{60cs}} \qquad (N_1)_{60} = C_N N_{60}$$

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left[1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right] \qquad (N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$$

FC (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	50
$\Delta(N_1)_{60}$	0.00	0.00	1.15	3.26	4.48	5.07	5.36	5.51	5.61

Sollecitazione sismica: CSR e r_d

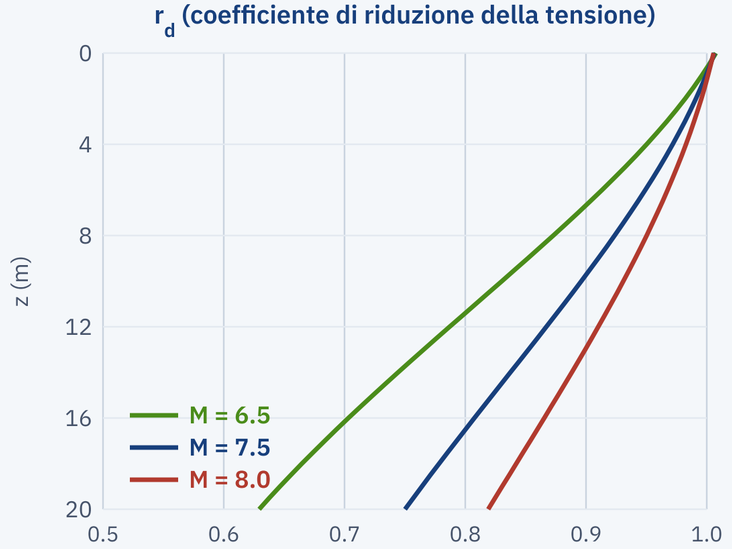
TEORIA

Il **CSR** è il rapporto tra la tensione di taglio ciclica indotta dal sisma nel terreno e la tensione efficace; 0.65 porta la tensione media, σ_V/σ'_V porta l'effetto della profondità

r_d (coefficiente di riduzione della tensione) diminuisce con la profondità e con la magnitudo; in superficie è pari a 1

$$CSR = 0.65\,\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\,a_{max}\,r_d \qquad r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z)M]$$

$$\alpha = -1.012 - 1.126\sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right) \qquad \beta = 0.106 + 0.118\sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$



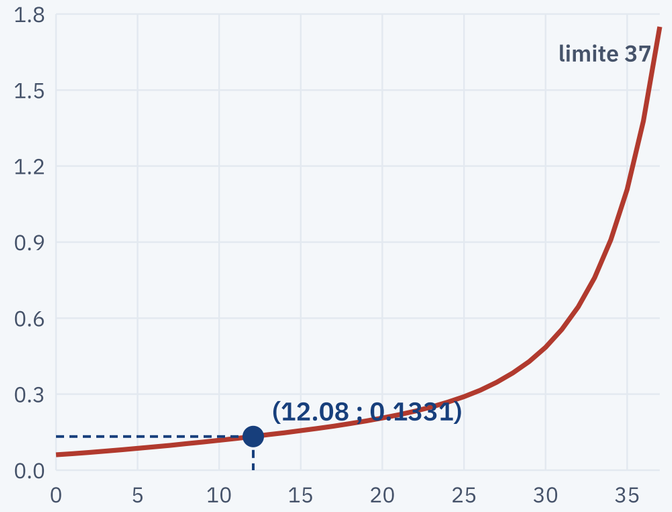
Resistenza del terreno: curva CRR

TEORIA

$CRR_{M=7.5;\,\sigma'=1}$ dipende solo da $\mathbf{(N_1)_{60cs}}$ (curva di Idriss–Boulanger); è valido per M = 7.5 e σ'_v = 1 atm

La curva è utilizzata fino a $\mathbf{(N_1)_{60cs} = 37}$; una prova più densa viene valutata a questo limite e viene emessa un'avvertenza

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{n}{14.1} + \left(\frac{n}{126}\right)^2 - \left(\frac{n}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{n}{25.4}\right)^4 - 2.8\right] \qquad n = (N_1)_{60cs}$$



MSF e K_σ

TEORIA

MSF fattore di scala della magnitudo: CRR è riferito a M = 7.5; ad altre magnitudo porta la differenza del numero di cicli. Per M < 7.5, MSF > 1

coefficiente di sovraccarico **K_σ**: il CRR è riferito a 1 atm; all'aumentare di σ'_v il rapporto di resistenza diminuisce. $K_\sigma \leq 1.1$

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1)\left(8.64\, e^{-M/4} - 1.325\right) \qquad MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{31.5}\right)^2 \leq 2.2$$

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \frac{\sigma'_v}{P_a} \leq 1.1 \qquad C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60cs}}} \leq 0.3$$

FS = CRR / CSR; zona e spessore

TEORIA

CRR = $CRR_{7.5;1}$ · MSF · K_σ; **FS = CRR / CSR**. FS < 1: **si innesca la liquefazione**; 1 ≤ FS < $FS_{richiesto}$ (1.20): **al limite**; il valore richiesto è un dato di input desunto dalla specifica di progetto

Ogni prova valutata rappresenta il proprio strato: fino al **punto medio** con la prova soprastante e quella sottostante; l'intervallo si arresta al confine dello strato e alla falda freatica

Se intervalli adiacenti danno lo stesso risultato, si fondono in un'unica **zona**; lo **spessore liquefacibile** di un sondaggio è la somma delle zone con FS < 1

$$CRR = CRR_{7.5,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma \qquad FS = \frac{CRR}{CSR}$$

Traccia

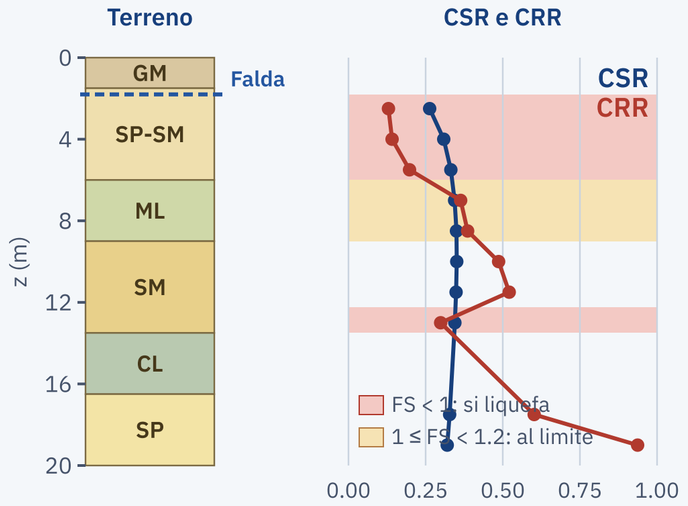
ESEMPIO

Dati

Sondaggio BH-1	**Falda freatica $z_w = 1.80$ m; 0–1.5 m terreno di riporto (GM): $\gamma = 18.5$; 1.5–6 m sabbia sciolta (SP-SM): $\gamma = 18.0$, $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³, FC = 8 %**
Prova	**$z = 4.0$ a $N_{30} = 10$ m (sotto la falda freatica)**
Sisma e armature	**$a_{max} = 0.35g$, $M = 7.5$; ER = 60% ($C_E = C_B = C_S = 1$), lunghezza dell'asta = $z + 1.5$ m; $FS_{req} = 1.20$**

RICHIESTO

Tensioni, **N_{60}**, **$(N_1)_{60cs}$** (per iterazione), **CSR**, **CRR** e **FS**.



Soluzione (1/5)

SOLUZIONE

1 Tensione verticale totale (strato per strato; falda freatica a 1.80 m)

$$\sigma_v = 18.5(1.5) + 18.0(1.80 - 1.5) + 19.5(4.0 - 1.80) = 27.75 + 5.40 + 42.90 = \mathbf{76.05}\ \mathrm{kPa}$$

2 Pressione interstiziale e tensione efficace

$$u = \gamma_w (z - z_w) = 9.81(4.0 - 1.80) = \mathbf{21.58}\ \mathrm{kPa}$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = 76.05 - 21.58 = \mathbf{54.47}\ \mathrm{kPa}$$

La prova è **2.20 m** sotto la falda freatica: σ_V = 76.05, u = 21.58, **σ'_V = 54.47 kPa**. Questo punto è quello in cui si ha il minimo FS del sondaggio (figura nella pagina della traccia).

Soluzione (2/5)

SOLUZIONE

3 Correzione della lunghezza dell'asta e N_{60}

$$L = z + 1.5 = 5.5\ \text{m} \Rightarrow C_R = 0.85 \qquad N_{60} = 10(1)(1)(1)(0.85) = \mathbf{8.50}$$

4 Aumento del contenuto di fine

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp[1.63 + 9.7/8.01 - (15.7/8.01)^2] = \exp[-1.0008] = \mathbf{0.3676}$$

5 Correzione per la pressione di sovraccarico: poiché C_N dipende da $(N_1)_{60cs}$, si procede per iterazione (σ'_v = 54.47 kPa)

Iterazione	n (input)	m	C_N	$(N_1)_{60} = C_N N_{60}$	$(N_1)_{60cs} = + \Delta$
1	8.5000	0.5601	1.4158	12.0339	12.4015
2	12.4015	0.5135	1.3754	11.6912	12.0587
3	12.0587	0.5173	1.3786	11.7185	12.0861
…	…	…	…	…	…
8	12.0840	0.5170	1.3784	11.7165	12.0840

Converge in 8 iterazioni: **C_N = 1.3784**, $(N_1)_{60}$ = 11.716, **$(N_1)_{60cs}$ = 12.08**.

Soluzione (3/5)

SOLUZIONE

6 Coefficiente di riduzione della tensione r_d (z = 4.0 m, M = 7.5)

$$\alpha = -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{4}{11.73} + 5.133\right) = -0.1971$$

$$\beta = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{4}{11.28} + 5.142\right) = 0.0225$$

$$r_d = \exp[\alpha + \beta M] = \exp[-0.1971 + 0.0225(7.5)] = \mathbf{0.9718}$$

7 Rapporto di tensione ciclica

$$CSR = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} a_{max} r_d = 0.65 \left(\frac{76.05}{54.47}\right)(0.35)(0.9718) = \mathbf{0.3087}$$

Il sisma impone a questa profondità una tensione di taglio ciclica pari al **30.9** per cento della tensione efficace (CSR = 0.3087).

Soluzione (4/5)

SOLUZIONE

8 Resistenza alla punta per M = 7.5 e σ′ = 1 atm ($(N_1)_{60cs}$ = 12.08)

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{12.08}{14.1} + \left(\frac{12.08}{126}\right)^2 - \left(\frac{12.08}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{12.08}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$

$$CRR_{7.5,1} = \exp[-2.0168] = \mathbf{0.1331}$$

9 Coefficienti di magnitudo e di sovraccarico

$$MSF_{max} = 1.09 + (12.08/31.5)^2 = 1.2372$$

$$MSF = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\, e^{-7.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0000}$$

$$C_\sigma = 1/(18.9 - 2.55\sqrt{12.08}) = 0.0996 \qquad K_\sigma = 1 - 0.0996 \ln(54.47/101.325) = \mathbf{1.0619}$$

$CRR_{7.5;1}$ = **0.1331**; MSF = **1.0000**; K_σ = **1.0619**: il prodotto di questi tre numeri fornisce CRR (pagina successiva).

Soluzione (5/5)

SOLUZIONE

10 Resistenza e fattore di sicurezza

$$CRR = CRR_{7.5,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma = 0.1331(1.0000)(1.0619) = \mathbf{0.1413}$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.1413}{0.3087} = \mathbf{0.458}$$

FS = 0.458 < 1: in questa prova la liquefazione **si innesca**. La prova rappresenta l'intervallo 3.25 – 4.75 m (punti medi della prova superiore a 2.5 m e di quella inferiore a 5.5 m). Gli stessi dieci passaggi si ripetono per ogni prova.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Traccia

ESEMPIO

Dati

Sondaggio BH-1	**13 SPT:** $z = 1.0$ **–** 19.0 **m; falda freatica** 1.80 **m;** $z_{max} = 20$ **m;** $PI_{lim} = 7$
Strati	**GM (0–1.5), SP-SM (1.5–6), ML** $PI = 5$ **(6–9), SM (9–13.5), CL** $PI = 18$ **(13.5–16.5), SP (16.5–20)**

RICHIESTO

Per ciascuna prova, la decisione **valutata / non valutata** e la relativa motivazione.

Soluzione

SOLUZIONE

z (m)	N_{30}	Terreno	PI	Falda freatica?	Simile ad argilla?	Decisione
1.0	9	GM	–	**sopra**	–	**non valutato**: sopra la falda freatica
2.5	7	SP-SM	–	sotto	no	si valuta
4.0	10	SP-SM	–	sotto	no	si valuta
5.5	16	SP-SM	–	sotto	no	si valuta
7.0	21	ML	5	sotto	no	si valuta
8.5	22	ML	5	sotto	no	si valuta
10.0	27	SM	–	sotto	no	si valuta
11.5	29	SM	–	sotto	no	si valuta
13.0	25	SM	–	sotto	no	si valuta
14.5	13	CL	18	sotto	sì	**non valutato**: argilloso (PI ≥ 7)
16.0	15	CL	18	sotto	sì	**non valutato**: argilloso (PI ≥ 7)
17.5	40	SP	–	sotto	no	si valuta
19.0	44	SP	–	sotto	no	si valuta

Delle 13 prove **3 vengono escluse**: 1.0 m (sopra la falda freatica) e 14.5 e 16.0 m (CL, PI = 18 ≥ 7). Lo strato ML (PI = 5 < 7) non è considerato assimilabile all'argilla; le prove a 7.0 e 8.5 m **sono valutate** (FC = 62 %). Le prove escluse compaiono comunque nelle tabelle.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Traccia

ESEMPIO

Dati

Sondaggio	**BH-1 e i parametri dell'Esempio 1; i dieci passaggi sono identici per ogni prova**
Regola delle zone	**ciascuna prova si estende nel proprio strato fino al punto medio delle prove adiacenti; si arresta al confine di strato e alla falda freatica**

RICHIESTO

Tabella di tutte le prove; **zone liquefatte**, **spessore liquefatto** e il minimo FS.

Soluzione (1/2)

SOLUZIONE

z (m)	N_{30}	Terreno	FC %	σ_v	σ'_v	N_{60}	C_N	$(N_1)_{60cs}$	CSR	CRR	FS	Condizione
1.0	9	GM	20	–	–	6.75	1.700	15.95	–	–	–	*Al di sopra della falda freatica*
2.5	7	SP-SM	8	46.8	39.9	5.95	1.652	10.19	0.263	0.130	0.493	Soggetto a liquefazione
4.0	**10**	**SP-SM**	**8**	**76.1**	**54.5**	**8.50**	**1.378**	**12.08**	**0.309**	**0.141**	**0.458**	**Liquefa**
5.5	16	SP-SM	8	105.3	69.0	15.20	1.191	18.46	0.332	0.198	0.596	Soggetto a liquefazione
7.0	21	ML	62	134.1	83.0	19.95	1.079	27.13	0.344	0.363	1.056	Al limite
8.5	22	ML	62	162.6	96.8	22.00	1.017	27.98	0.350	0.386	1.102	Al limite
10.0	27	SM	18	191.9	111.4	27.00	0.966	30.18	0.351	0.487	1.386	Sicuro
11.5	29	SM	18	221.6	126.4	29.00	0.924	30.89	0.349	0.521	1.494	Sicuro
13.0	25	SM	18	251.2	141.4	25.00	0.878	26.03	0.345	0.299	0.867	Soggetto a liquefazione
14.5	13	CL	88	–	–	13.00	0.816	16.12	–	–	–	*limoso-argilloso (PI ≥ 7)*
16.0	15	CL	88	–	–	15.00	0.788	17.34	–	–	–	*limoso-argilloso (PI ≥ 7)*
17.5	40	SP	4	338.7	184.6	40.00	0.812	32.50	0.328	0.602	1.835	Sicuro
19.0	44	SP	4	369.4	200.7	44.00	0.799	35.15	0.320	0.937	2.928	Sicuro

FS minimo = 0.458 (z = 4.0 m). Zone di liquefazione: **1.80 – 6.00 m** e **12.25 – 13.50 m**; al limite: 6.00 – 9.00 m. Spessore liquefatto = 5.45 m. La riga a 4.0 m è l'Esempio 1 risolto a mano.

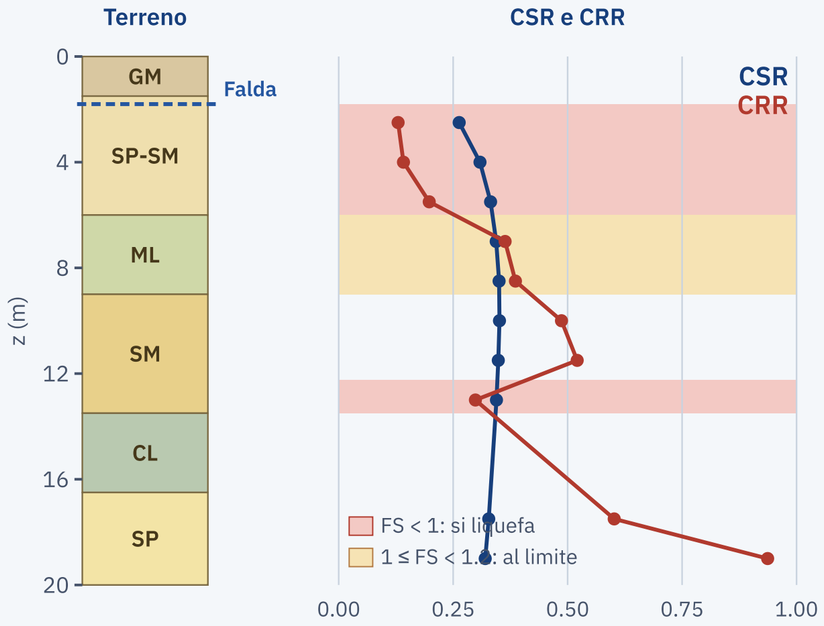
Soluzione (2/2)

SOLUZIONE

1 Ogni prova rappresenta il proprio intervallo; intervalli adiacenti con lo stesso risultato vengono uniti

Zona	Intervallo (m)	Spessore (m)	Prove	Intervallo di FS
Liquefacibile 1	1.80 – 6.00	4.20	2.5; 4.0; 5.5 m	0.458 – 0.596
Al limite	6.00 – 9.00	3.00	7.0; 8.5 m	1,056 – 1,102
Liquefacibile 2	12.25 – 13.50	1.25	13.0 m	0.867
Totale liquefatto		**5.45**		

Esempio: la prova a 4.0 m rappresenta 3.25 – 4.75 m; la prova a 2.5 m copre 1.80 – 3.25 m (si arresta alla falda freatica), la prova a 5.5 m copre 4.75 – 6.00 m (si arresta al confine di strato): totale **4.20 m**. Lo spessore liquefacibile del sondaggio è 5.45 m.



Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Traccia

ESEMPIO

Dati

Caso base	**BH-1: $a_{max} = 0.35g$, $M = 7.5$, falda freatica 1.80 m, ER = 60%**
Variabili	**uno solo alla volta: $a_{max} = 0.25g$ / $0.45g$; $M = 6.5$ / 8.0; falda freatica 3.0 m / 1.0 m; ER 45% / 80%**

RICHIESTO

Il **FS minimo** e lo **spessore liquefatto** di BH-1; verifica manuale dell'MSF nella prova a 4.0 m.

Soluzione (1/2)

SOLUZIONE

Condizione	Variazione	FS minimo	z (m)	Spessore liquefatto (m)	Al limite (m)
Base	a_{max} 0.35g; M 7.5; falda freatica 1.8; ER 60	**0.458**	4.0	5.45	3.00
a_{max} diminuisce	0.25g	**0.641**	4.0	4.20	0.00
a_{max} aumenta	0.45g	**0.356**	4.0	8.45	3.25
La magnitudo diminuisce	M 6.5	**0.510**	4.0	4.20	0.00
La magnitudo aumenta	M 8.0	**0.436**	4.0	8.45	3.25
La falda freatica si approfondisce	3.0 m	**0.517**	4.0	4.00	3.00
La falda freatica risale	1.0 m	**0.412**	2.5	5.75	3.00
L'energia diminuisce	ER %45 (C_E 0.75)	**0.388**	4.0	15.20	0.00
L'energia aumenta	ER %80 (C_E 1.33)	**0.560**	4.0	4.20	0.00

a_{max} è il dato di input più influente: a 0.25g lo spessore liquefacibile è 4.20 m, a 0.45g è 8.45 m. L'effetto dell'**energia del maglio** è insolitamente grande: con ER 45 % N_{60} diminuisce e lo spessore liquefacibile sale a 15.20 m. **Conoscere** il rapporto di energia misurato è quindi importante.

Soluzione (2/2)

SOLUZIONE

1 Fattore di scala della magnitudo per M = 6.5 e M = 8.0 ($(N_1)_{60cs}$ = 12.08)

$$MSF_{6.5} = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\,e^{-6.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0892}$$

$$MSF_{8.0} = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\,e^{-8.0/4} - 1.325) = \mathbf{0.9631}$$

2 Nella stessa prova (4.0 m) FS

M	r_d	CSR	MSF	CRR	FS
6.5	0.9502	0.3018	1.0892	0.1539	**0.510**
7.5	0.9718	0.3087	1.0000	0.1413	**0.458**
8.0	0.9828	0.3122	0.9631	0.1361	**0.436**

Una magnitudo minore significa meno cicli: MSF aumenta e FS passa da 0.458 a **0.510**; per M = 8.0, FS è 0.436. Sia r_d sia MSF dipendono dalla magnitudo; i due effetti agiscono nella stessa direzione.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Traccia

ESEMPIO

Dati

Sondaggi	**BH-1 (falda freatica 1.80 m), BH-2 (2.40 m), BH-3 (3.10 m); stessi parametri**
Sezione	**BH-1 $x = 0$, BH-2 $x = 32$, BH-3 $x = 70$ m**

RICHIESTO

Il **FS minimo** di ciascun sondaggio, gli spessori **liquefatti** e **al limite**; sintesi del progetto.

Soluzione

SOLUZIONE

Sondaggio	YASS (m)	Prova	Setacciato	FS minimo	z (m)	Zone liquefatte (m)	Spessore (m)	Al limite (m)
BH-1	1.80	13	3	**0.458**	4.0	1.80–6.00; 12.25–13.50	5.45	3.00
BH-2	2.40	13	3	**0.697**	3.0	2.40–5.25	2.85	3.50
BH-3	3.10	13	6	**0.841**	6.0	5.00–8.25	3.25	1.75

La liquefazione si innesca **in tutti e tre i tre sondaggi**. FS minimo = 0.458 (BH-1, 4.0 m); il terreno liquefatto di maggiore spessore si trova in BH-1 (5.45 m). Delle 39 prove, 27 sono state valutate e 12 scartate (al di sopra della falda freatica o di tipo argilloso).

Se è presente una linea di sezione, la banda cromatica è interpolata linearmente tra i sondaggi; l'area grigia è terreno non valutato.

Verificare la soluzione in GeoTerva ↗

Sintesi

Punti chiave

FS = CRR / CSR; CSR = 0.65 (σ_v/σ'_v) a_{max} r_d; CRR = $CRR_{7.5;1}$ · MSF · K_σ

N_{60} = N_{30} C_E C_B C_S C_R; **$(N_1)_{60cs}$** = C_N N_{60} + Δ(FC), con C_N determinato per iterazione

Esempio (BH-1, 4.0 m): σ'_v 54.47 kPa; N_{60} 8.50; C_N 1.378; $(N_1)_{60cs}$ 12.08; CSR 0.3087; CRR 0.1413 (MSF 1.000, K_σ 1.062) → **FS 0.458**

Selezione: i test sopra la falda freatica, sotto z_{max} e di tipo argilloso (PI ≥ 7) non vengono inclusi nel calcolo; **zona**: i test si estendono fino ai punti medi adiacenti

Sensibilità: a_{max} e l'energia del maglio misurata sono i dati di input che modificano maggiormente il risultato; le conseguenze della liquefazione costituiscono un calcolo separato

Bibliografia

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Report UCD/CGM-14/01, University of California, Davis.

Idriss, I.M., Boulanger, R.W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. EERI, MNO-12.

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2006). Liquefaction susceptibility criteria for silts and clays. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 132(11).

Youd, T.L. et al. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 127(10).

Seed, H.B., Idriss, I.M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. J. Soil Mech. Found. Div., 97(SM9).

NOTA

Tutti gli esempi numerici sono stati prodotti con il motore di calcolo del modulo stesso; il modulo restituisce gli stessi valori. Il progetto di apertura del modulo è costituito da questi tre sondaggi (a_{max} = 0.35g, M = 7.5).

GeoTerva

Calcoli geotecnici online

Dalla teoria alla pratica

Inserire in GeoTerva i propri sondaggi, i risultati SPT, la falda freatica e i parametri sismici; il modulo fornisce le correzioni per ciascuna prova, CSR, CRR, FS, le zone, lo spessore liquefacibile e la sezione a bande colorate, insieme alla soluzione passo per passo e alla relazione.

Aprire il modulo → **Pagina di teoria →**

Aprire dallo smartphone
I moduli di prova non richiedono registrazione.

Se si desidera utilizzarli nelle proprie lezioni: info@geoterva.com