

**INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO DELLA MOBILITÀ
REALIZZAZIONE DI PISTA CICLO-PEDONALE TRATTO CENAIA - LE LAME
COMUNE DI CRESPINA LORENZANA (PI)**

Geol. Francesca Franchi



CONTENUTI: VERIFICA DELLA SICUREZZA DEL SITO NEI
CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE
D.M. 17/1/2018

COMMITTENTE: Comune di Crespina Lorenzana

<input checked="" type="checkbox"/>	REDAZIONE		del	gennaio 2019
<input type="checkbox"/>	REDAZIONE	n. <input type="checkbox"/>	del	
<input type="checkbox"/>	INTEGRAZIONE	n. <input type="checkbox"/>	del	

GEOPROGETTI
studio associato

Via Venezia, 77
56038 Ponsacco (PI)
tel./fax 0587 54001
e-mail geoprogetti.franchi@iol.it

**INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO DELLA MOBILITÀ
REALIZZAZIONE DI PISTA CICLO-PEDONALE TRATTO CENAIA - LE LAME
COMUNE DI CRESPINA LORENZANA (PI)**

VERIFICA DELLA SICUREZZA DEL SITO NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

PREMESSA

A partire dal modello di sottosuolo definito nella relazione geologica, nella presente relazione di verifica si riportano le procedure e gli esiti del calcolo della suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione in campo sismico, richiesta dalle N.T.C. preliminarmente alle verifiche della relazione geotecnica, che sarà redatta dal progettista strutturale.

La valutazione della risposta sismica locale con i parametri ed i coefficienti sismici del sito, richiesta anch'essa preliminarmente alla progettazione delle fondazioni (paragrafi 7.11.5.1 e 7.11.3 delle NTC), è già stata riportata nella Relazione Geologica redatta da questo stesso Studio. Data la morfologia pianeggiante, il caso riguardante le verifiche di stabilità globale dei pendii è ovviamente da escludere.

Normativa di riferimento:

- Ministero Infrastrutture e Trasporti Decreto 17 gennaio 2018: "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni";

1 - PARAMETRI GEOMECCANICI DEL SOTTOSUOLO

dalla relazione geologica si è ricavato il seguente modello stratigrafico:

Strato	Prof. dal p.c. (m)	valori	Cu (kg/cm ²)	C' (kg/cm ²)	φ' (°)	Mv (cm ² /t)	γ (t/m ³)
1	0 – 1 ca.	<i>medio caratt.</i>	- -	- -	- -	- -	- -
2	1 – 3	<i>medio caratt.</i>	1,3 1	0,15 0,15	30 30	14,6 16,5	1,95 1,95
3	3 – 7	<i>medio caratt.</i>	0,58 0,3	- 0,05	- 28	22,5 25	1,92 1,92
4	7 – 12	<i>medio caratt.</i>	0,94 0,75	- 0,05	- 28	17,4 18,5	1,95 1,95

2 - SICUREZZA DEL SITO NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Dalle indagini effettuate emerge la presenza di un sottosuolo costituito da terreni a grana fine, da sabbioso limosi a limo-argillosi, di consistenza variabile da media a medio-bassa, localmente saturi fino ad una profondità di -3,3 m dal p.c. Ai sensi del D.M. 17/01/2018 cap. 7.11.3.4, sulla base di tale assetto litostratigrafico, si è proceduto alla verifica della suscettibilità alla liquefazione dei terreni in campo sismico.

Avendo a disposizione i risultati di due prove penetrometriche statiche in sito e di un'analisi granulometrica, la quale alla luce delle penetrometrie è correlabile con la porzione di terreni maggiormente sabbiosa, per la valutazione della sicurezza alla liquefazione si è utilizzato il metodo di Robertson e Wride (1997), ampiamente conosciuto in letteratura geotecnica, basato sui risultati delle suddette prove, effettuate direttamente sui terreni del substrato.

Per il calcolo si è utilizzato il software *Liquiter* della ditta GeoStru Software. Le procedure di calcolo, l'assunzione dei parametri di input, i risultati dell'elaborazione e delle verifiche sono stati riportati nell'appendice 1 alla presente relazione di verifica.

Al termine delle verifiche, i risultati ottenuti hanno indicato che lungo la verticale di sottosuolo di interesse il fattore di sicurezza F_s rispetto alla potenziale liquefazione è superiore al minimo di legge, con un ampio margine, visualizzabile nel suo insieme nella rappresentazione grafica standard del software riportata in appendice 1.

L'indice di potenziale liquefazione equivale quindi a "0" ovvero a terreni con rischio di liquefazione da molto basso a nullo.

Gli esiti del calcolo indicano in conclusione che il rischio del fenomeno della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche è trascurabile e che la verifica delle strutture e delle fondazioni può essere condotta senza tener conto di tale rischio.

3 - INFORMAZIONI SUI CODICI DI CALCOLO

Il presente paragrafo contiene le informazioni sui codici di calcolo utilizzati per le verifiche ai sensi del capitolo 10.2 delle del D.M. 17 gennaio 2018.

3.1 – Affidabilità dei codici di calcolo ed informazioni generali sull'elaborazione

L'affidabilità dei codici di calcolo è basata sulla validazione fornita dal produttore, che è corredata da un'esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, oltre a casi prova risolti, commentati e riproducibili, di cui si riporta un estratto in appendice 1a alla presente relazione.

I controlli svolti nel corso dell'elaborazione ed al termine di essa, ai sensi del cap. 10.2 del D.M. 2018, hanno evidenziato un comportamento corretto del modello, senza anomalie di calcolo né risultati incongruenti con la geometria e l'assetto geostратigrafico del sito.

3.2 – Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Il software utilizzato per le verifiche di stabilità del pendio è prodotto dalla ditta GeoStru software, che opera da molti anni nel campo dell'ingegneria geotecnica e della geologia applicata. L'applicazione è "Liquiter", la versione è la numero "2010.2 rev. 162" con numero di controllo "3EFDBEAE0C84C3975FF".

3.3 – Giudizio di accettabilità dei risultati

Il controllo dei risultati dell'elaborazione condotta da "Liquiter" è stato eseguito tramite calcoli di larga massima con i metodi statistico-tabellari e con altri semplici software freeware disponibili nel web, confermando la stabilità generale del sito nei confronti della liquefazione con idoneo margine di sicurezza.

Dette valutazioni contribuiscono a confermare l'accettabilità dei risultati ottenuti tramite il codice di calcolo sopra indicato.

Ponsacco, Gennaio 2019



Geol. Francesca Franchi

VERIFICA DI SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE: *GEOSTRU LIQUITER*

1 - INTRODUZIONE

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.

Metodo di Robertson e Wride (1997)

Il 'metodo di Robertson e Wride' è basato sui risultati di prove CPT (*Cone Penetration Test*) ed utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo I_C che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = \left[(3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (5.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (5.0c)$$

dove:

q_c è la resistenza alla punta misurata

Pa è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{vo}

f_s è l'attrito del manicotto

n è un'esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume $n = 1$, come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di I_C con la (5.0a).

Se $I_C > 2,6$ il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma. Il terreno non si considera a rischio di liquefazione.

Se $I_C \leq 2,6$, vuol dire che l'ipotesi assunta è errata, il suolo è di natura granulare, Q verrà ricalcolato utilizzando la (5.0a) usando come esponente $n = 0,5$.

Se è ancora $I_C \leq 2,6$, significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece $I_C > 2,6$, vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso. Q deve essere nuovamente ricalcolato dalla (2.8b) ponendo $n = 0,75$.

Calcolato I_C , si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata q_c mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.1)$$

Dove l'esponente di sforzo n è lo stesso utilizzato nel calcolo di I_C .

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene determinata dalla seguente procedura:

Robertson e Wride classico

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N} \quad (5.2a)$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad (5.2b)$$

Robertson e Wride modificato

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (5.3a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N} \quad (5.3b)$$

dove K_c dipende dal contenuto di fine, FC (%):

$$\begin{aligned} K_c &= 0 && \text{per } FC \leq 5 \\ K_c &= 0,0267(FC - 5) && \text{per } 5 < FC \leq 35 \\ K_c &= 0,8 && \text{per } FC > 35 \end{aligned}$$

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1,75 (I_c)^{3,25} - 3,7 \quad (5.4)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR_{7,5}**) si calcola con le espressioni seguenti:

se $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0,833 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 \quad (5.5)$$

se $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \quad (5.6)$$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 (**CSR_{7,5}**) si determina dalla seguente espressione:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d \quad (5.7)$$

Per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** (*Magnitudo Scaling Factor*) come raccomandato dal **NCEER** (vedi Tabella 1)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF} \quad (5.8)$$

Tabella 1- *Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori*

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. (1982)	Ambraseys N.N (1988).	NCEER (Seed R. B. et alii) (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

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo r_d vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del NCEER (*National Center for Earthquake Engineering Research*):

per $z < 9,15$ m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z \quad (5.9)$$

per $9,15 \leq z < 23$ m

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z \quad (5.10)$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione **FS** viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (5.11)$$

mentre l'indice e il rischio di liquefazione vengono calcolati con il metodo di **Iwasaki et alii** (1978; 1984).

2 - CALCOLO DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE magnitudo:

3.1.3 PERICOLO DI LIQUEFAZIONE

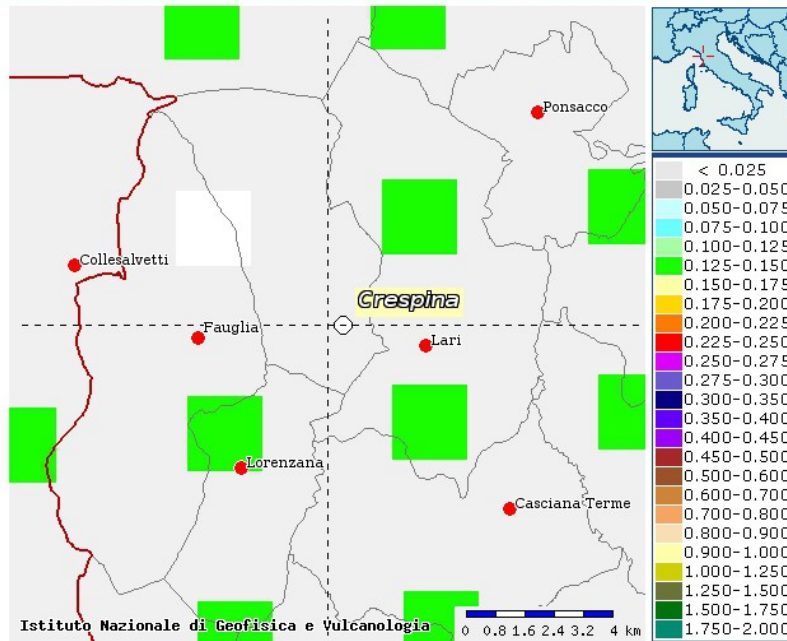
3.1.3.1 OBIETTIVO

Descrizione del fenomeno e dei suoi effetti sul territorio, sulle costruzioni e sulle infrastrutture. Metodi di analisi e indagini necessarie. Contromisure.

3.1.3.4 METODI DI ANALISI E INDAGINI

delle onde di superficie sia diversa da 7.5. La magnitudo andrebbe definita attraverso una de-aggregazione della pericolosità sismica, ovvero sia individuando la coppia magnitudo – distanza che maggiormente contribuisce alla pericolosità sismica. La definizione della magnitudo attesa equivale alla definizione

Mappe interattive di pericolosità sismica



- Strumenti**
- Ritorna alla mappa iniziale
 - Ridisegna mappa
 - Zoom In
 - Zoom Out
 - Ricentra sul punto
 - Grafico sul punto griglia
 - Grafico di disaggregazione

Navigazione

Scala:
(Valori consentiti: 50.000 - 7.909.000)
Scala:

Coordinate del centro della mappa
 Latitudine:
 Longitudine:

Ricerca Comune

Il nome

contiene:

Selezione mappa

Visualizza punti della griglia riferiti a:

Ridisegna mappa

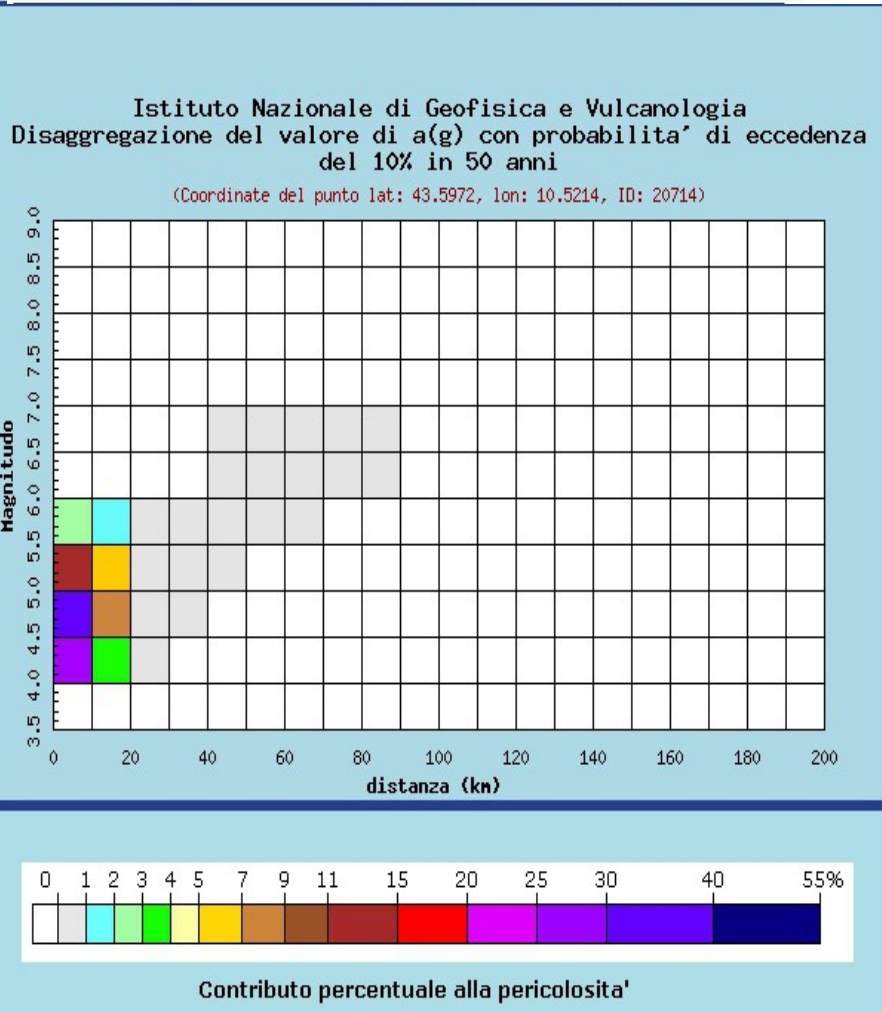
Parametro dello scuotimento:

Probabilità in 50 anni:

Percentile:

Periodo spettrale (sec):

Comune evidenziato
Crespina



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.5972, lon: 10.5214, ID: 20714)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	26.900	36.100	12.500	2.910	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.990	8.490	5.180	1.660	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.037	0.576	0.850	0.364	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.002	0.098	0.085	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

2 - CALCOLO DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE DATI GENERALI

Data 10/01/2019
 Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1,25

FALDA
 Profondità falda idrica 3,3 m

DATI SIMICI
 Accelerazione Bedrock 0,139
 Fattore amplificazione 2,455

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360
 Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1,49378
 Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1
 Magnitudo momento sismico (Mw) 5
 Distanza epicentro 10 Km
 Peak ground acceleration (PGA) 0,2076354

PARAMETRI GEOTECNICI

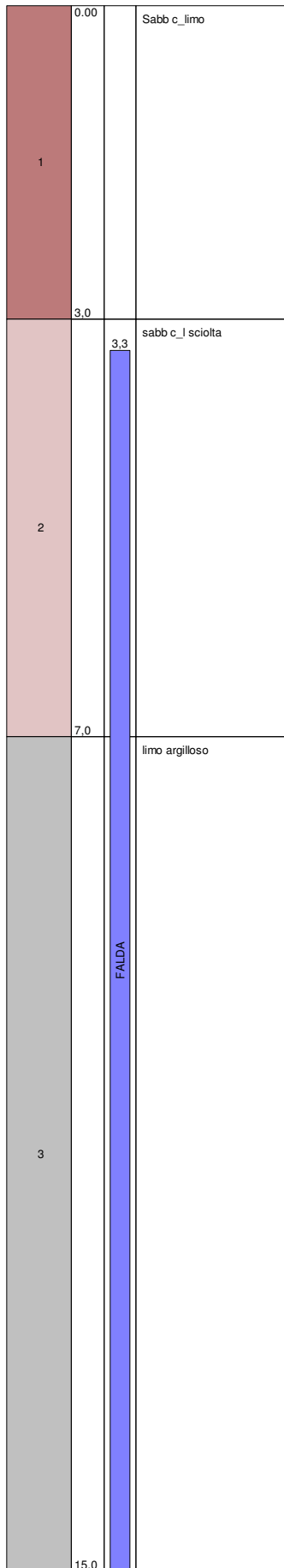
Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Sabb c limo	0	3	19,1	19,9	0	0,108673	3677	98	0
2	sabb c_l sciolta	3	7	18,8	19,5	0	0,108673	1304	45,1	0
3	limo argilloso	7	15	19,1	19,9	0	0,108673	2304	95,1	0

Correzione per la magnitudo (MSF) 2,82

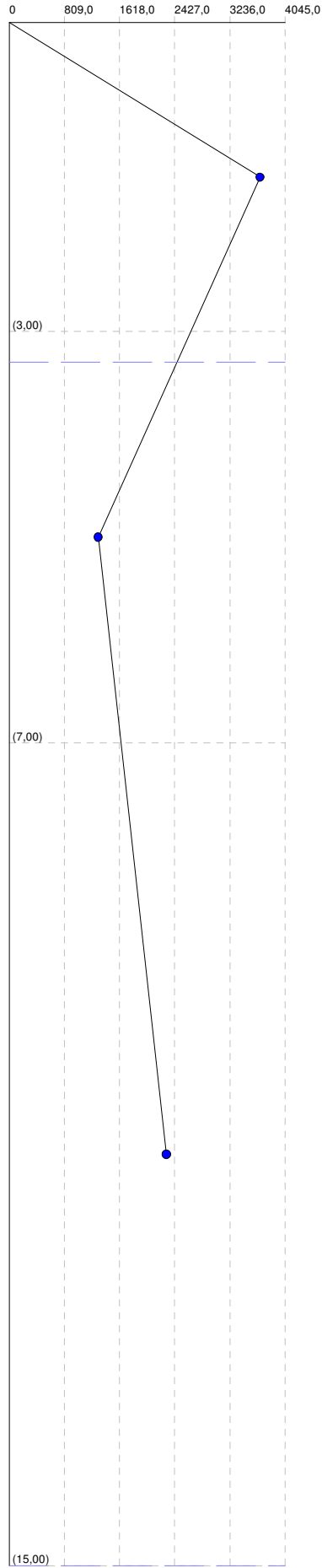
IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente e riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
1	3,50	66,840	64,879	19,069	3,645	2,823	1,541338	100,156	0,973	0,173	0,048	3,618	Terreno	0	Molto
2	3,70	70,740	66,817	18,457	3,657	2,835	1,496617	99,302	0,972	0,171	0,049	3,478	Terreno	0	Molto
3	3,90	74,640	68,756	17,880	3,669	2,846	1,454418	98,486	0,970	0,169	0,050	3,353	Terreno	0	Molto
4	4,10	78,540	70,695	17,335	3,680	2,858	1,414534	97,705	0,969	0,167	0,051	3,240	Terreno	0	Molto
5	4,30	82,440	72,633	16,818	3,692	2,869	1,376778	96,958	0,967	0,165	0,052	3,139	Terreno	0	Molto
6	4,50	86,340	74,572	16,329	3,704	2,880	1,340986	96,240	0,966	0,163	0,053	3,047	Terreno	0	Molto
7	4,70	90,240	76,511	15,864	3,716	2,891	1,307007	95,552	0,964	0,161	0,054	2,964	Terreno	0	Molto
8	4,90	94,140	78,449	15,422	3,728	2,901	1,274708	94,890	0,963	0,159	0,055	2,887	Terreno	0	Molto
9	5,10	98,040	80,388	15,002	3,740	2,911	1,243966	94,253	0,961	0,158	0,056	2,817	Terreno	0	Molto
10	5,30	101,940	82,327	14,601	3,752	2,922	1,214673	93,640	0,959	0,156	0,057	2,752	Terreno	0	Molto
11	5,50	105,840	84,265	14,219	3,764	2,931	1,186727	93,049	0,958	0,155	0,058	2,693	Terreno	0	Molto
12	5,70	109,740	86,204	13,854	3,776	2,941	1,160038	92,480	0,956	0,154	0,058	2,638	Terreno	0	Molto
13	5,90	113,640	88,143	13,505	3,789	2,951	1,134524	91,930	0,955	0,152	0,059	2,586	Terreno	0	Molto
14	6,10	117,540	90,081	13,171	3,801	2,960	1,110107	91,399	0,953	0,151	0,059	2,539	Terreno	0	Molto
15	6,30	121,440	92,020	12,851	3,814	2,970	1,08672	90,886	0,952	0,150	0,060	2,494	Terreno	0	Molto
16	6,50	125,340	93,959	12,544	3,826	2,979	1,064297	90,389	0,950	0,149	0,061	2,453	Terreno	0	Molto
17	6,70	129,240	95,897	12,250	3,839	2,988	1,042781	89,909	0,949	0,148	0,061	2,414	Terreno	0	Molto
18	6,90	133,140	97,836	11,968	3,852	2,997	1,022118	89,444	0,947	0,147	0,062	2,378	Terreno	0	Molto
19	7,10	137,080	99,815	21,709	4,389	2,832	1,001856	116,836	0,946	0,228	0,062	3,677	Terreno	0	Molto
20	7,30	141,060	101,833	21,240	4,397	2,840	0,981996	116,077	0,944	0,225	0,063	3,605	Terreno	0	Molto
21	7,50	145,040	103,852	20,789	4,405	2,847	0,962908	115,340	0,943	0,223	0,063	3,538	Terreno	0	Molto
22	7,70	149,020	105,871	20,355	4,413	2,855	0,944548	114,625	0,941	0,220	0,063	3,474	Terreno	0	Molto
23	7,90	153,000	107,889	19,937	4,421	2,862	0,926875	113,931	0,940	0,218	0,064	3,414	Terreno	0	Molto
24	8,10	156,980	109,908	19,535	4,429	2,869	0,909851	113,257	0,938	0,215	0,064	3,358	Terreno	0	Molto
25	8,30	160,960	111,927	19,147	4,438	2,876	0,893441	112,601	0,937	0,213	0,064	3,304	Terreno	0	Molto
26	8,50	164,940	113,945	18,773	4,446	2,883	0,877613	111,963	0,935	0,211	0,065	3,253	Terreno	0	Molto
27	8,70	168,920	115,964	18,412	4,454	2,890	0,862335	111,343	0,933	0,208	0,065	3,205	Terreno	0	Molto
28	8,90	172,900	117,983	18,063	4,462	2,897	0,847581	110,739	0,932	0,206	0,065	3,159	Terreno	0	Molto
29	9,10	176,880	120,001	17,726	4,471	2,904	0,833323	110,151	0,930	0,204	0,066	3,115	Terreno	0	Molto
30	9,30	180,860	122,020	17,400	4,479	2,911	0,819537	109,578	0,926	0,202	0,066	3,084	Terreno	0	Molto
31	9,50	184,840	124,039	17,085	4,488	2,917	0,806199	109,019	0,920	0,201	0,066	3,057	Terreno	0	Molto
32	9,70	188,820	126,057	16,780	4,496	2,924	0,793289	108,474	0,915	0,199	0,066	3,032	Terreno	0	Molto
33	9,90	192,800	128,076	16,484	4,505	2,930	0,780785	107,942	0,910	0,197	0,065	3,008	Terreno	0	Molto
34	10,10	196,780	130,095	16,198	4,513	2,937	0,768670	107,424	0,904	0,195	0,065	2,986	Terreno	0	Molto
35	10,30	200,760	132,113	15,920	4,522	2,943	0,756925	106,917	0,899	0,194	0,065	2,965	Terreno	0	Molto
36	10,50	204,740	134,132	15,651	4,530	2,949	0,745533	106,422	0,894	0,192	0,065	2,945	Terreno	0	Molto
37	10,70	208,720	136,151	15,389	4,539	2,955	0,734479	105,939	0,888	0,191	0,065	2,927	Terreno	0	Molto
38	10,90	212,700	138,169	15,136	4,547	2,961	0,723749	105,466	0,883	0,189	0,065	2,909	Terreno	0	Molto
39	11,10	216,680	140,188	14,889	4,556	2,967	0,713327	105,004	0,878	0,188	0,065	2,893	Terreno	0	Molto
40	11,30	220,660	142,207	14,650	4,565	2,973	0,703201	104,553	0,872	0,186	0,065	2,878	Terreno	0	Molto

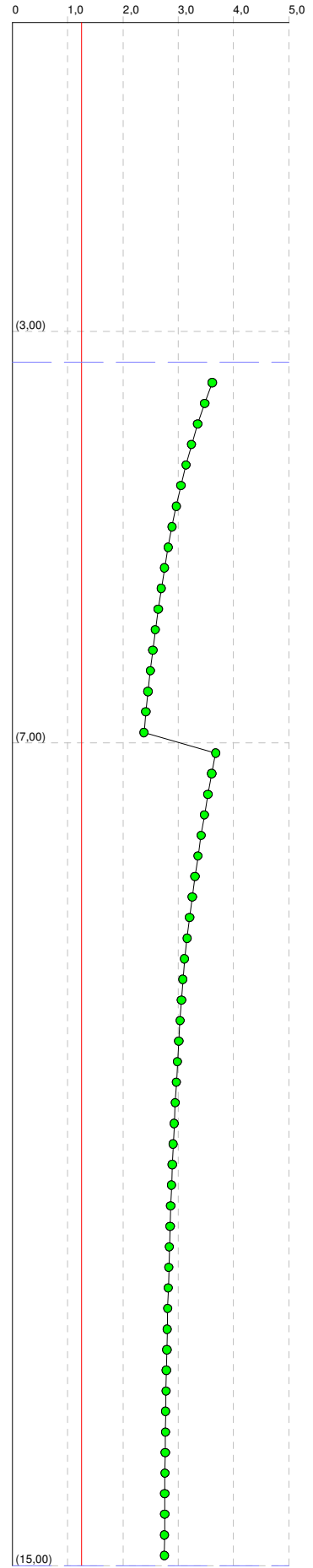
Colonna stratigrafica



Qc (kPa)



Fattore di sicurezza Fs



Validazione del codice di calcolo

Informativa sull'affidabilità dei codici di calcolo D.M. 14-01-2008 paragrafo 10.2.

Sono stati forniti degli esempi di calcolo, in allegato a questo documento, al fine di verificare la validità delle procedure di calcolo ed effettuare le procedure di controllo con altri strumenti di calcolo.

I software **GeoStru** sono dotati di sistemi di controllo dei dati di input e di output molto sofisticati i quali sono in grado di rilevare errori gravi tali da non consentire le corrette elaborazioni.

LIQUITER

1 – Individuazione dei campi di impiego del programma.....	3
2 – Descrizioni delle basi teoriche e sperimentazione del programma.....	4
2.1 – Esempio-Test di validazione (metodo <i>Tokimatsu e Yoshimi (1983)</i>	5

1 – Individuazione dei campi di impiego del programma.

Liquiter è un software per l'analisi della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche attraverso metodi semplificati proposti da diversi autori: *Seed e Idriss (1982); Iwasaki et al. (1978; 1984); Tokimatsu e Yoshimi (1983); Finn (1985); Cortè (1985); Robertson e Wride modificato (1997); Andrus e Stokoe (1998); Metodi basati sull'Eurocodice 8 (ENV 1998-5); Metodo basato sull'OPCM N. 3472 (2003)*. I dati di input richiesti possono essere ricavati da diverse prove di campagna.

2 – Descrizioni delle basi teoriche e sperimentazione del programma.

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

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

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.

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:

$$\tau_{\max} = \frac{a_g}{g} \gamma z$$

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:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma'}{\sigma'_{vo}} r_d$$

espressione valida per sismi di magnitudo 7,5, per magnitudo diverse bisogna moltiplicare per fattore correttivo la cui espressione funzionale varia da metodo a metodo.

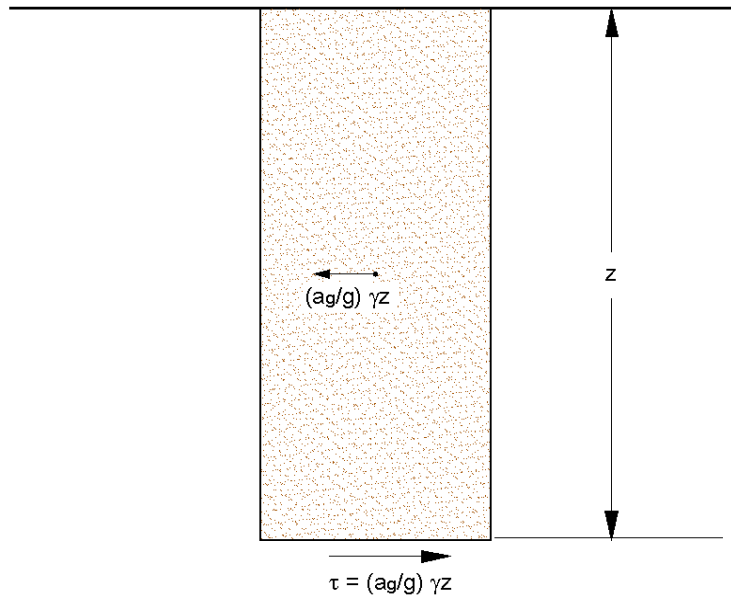


Figura 1 – Sforzo di taglio indotto dal terremoto ad una determinata quota

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo r_d viene utilizzata la formula empirica proposta da Iwasaki et al. (1978):

$$r_d = 1 - 0,015z$$

2.1 – Metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983)

Il 'metodo di Tokimatsu e Yoshimi' (1983) per poter tener conto della magnitudo del terremoto, calcola il rapporto di sforzo ciclico con la seguente espressione:

$$CSR = 0,65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_r}{\sigma_{vo}} r_d r_n$$

dove viene introdotto un coefficiente correttivo r_n funzione della magnitudo M .

$$r_n = 0,1(M - 1)$$

Invece la resistenza alla liquefazione viene calcolata, confrontando risultati di prove triassiali cicliche con dati di prove SPT, con la seguente espressione:

$$CRR = a C_r \left[\frac{16 \sqrt{N_{1,60} + \Delta N_f}}{100} + \left(\frac{16 \sqrt{N_{1,60} + \Delta N_f}}{C_s} \right) \right]$$

dove

$$a = 0,45$$

$$C_r = 0,57$$

$$n = 14$$

$\Delta N_f = 0$ per sabbie pulite e $\Delta N_f = 5$ per sabbie limose

$$N_{1,60} = [1,7 / (\sigma'_{vo} + 0,7)] N_m$$

Cs è una costante empirica che dipende dall'ampiezza della deformazione di taglio.

Gli Autori, ai fini progettuali, suggeriscono di adottare un valore di FS > 1,5 per le sabbie medio-sciolte e FS > 1,3 per le sabbie medio-dense.

Questo metodo è raccomandato nella proposta di Norme Sismiche Italiane avanzata dal CNR nel 1984.

2.2- Esempio-Test di validazione (metodo di Tokimatsu e Yoshimi)

Nel seguente test di validazione si esegue la verifica a liquefazione in un punto posto a 3 m di profondità rispetto al piano campagna.

DATI SUL SITO

- Accelerazione massima in superficie, $a_{max}=0.267$ g
- Magnitudo del sito $M=7.24$

DATI SULLA STRATIGRAFIA

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)
1	Sabbia Limosa	0	6	20	22	20

- **Profondità della falda= falda a piano campagna**

CALCOLO DELLA DOMANDA DI RESISTENZA CICLICA (CSR)

Calcolo della pressione totale

$$\sigma = \gamma_{sat} \cdot z = 22 \cdot 3 = 66 \text{ kN/m}^2$$

Calcolo della pressione effettiva

$$\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot z = (22 - 10) \cdot 3 = 36 \text{ kN/m}^2$$

Calcolo del coefficiente riduttivo funzione della profondità

$$r_d = 1 - 0.015 \cdot z = 1 - 0.015 \cdot 3 = 0.955$$

Calcolo del coefficiente riduttivo funzione della magnitudo

$$r_n = 0.1 \cdot (M - 1) = 0.1 \cdot (7.24 - 1) = 0.624$$

$$\text{CSR} = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma}{\sigma_{v0}} r_d r_n = 0,65 \cdot 0,267 \cdot \frac{66}{36} \cdot 0,624 \cdot 0,955 = \mathbf{0,186}$$

Calcolo della resistenza penetrometrica corretta $N_{1,60}$

$$N_{1,60} = \frac{1,7}{(\sigma'_{v0} + 0,7)} \cdot N_m = 7.63$$

CALCOLO DELLA CAPACITA' DI RESISTENZA CICLICA (CRR)

Per sabbie limose si assume: $\Delta N_f = 5$

Le altre costanti sono: $a = 0,45$; $C_r = 0,57$; $n = 14$; $C_s = 75,12$

$$\mathbf{CRR} = a C_r \left[\frac{16 \sqrt{N_{1,60} + \Delta N_f}}{100} + \left(\frac{16 \sqrt{N_{1,60} + \Delta N_f}}{C_s} \right) \right] = 0,2565 \cdot \left[0,16 \cdot \sqrt{7,63 + 5} + \left(0,213 \cdot \sqrt{7,63 + 5} \right)^4 \right] = \mathbf{0,151}$$

CALCOLO DEL FATTORE DI SICUREZZA (FS)

$$\mathbf{FS} = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0,151}{0,186} = \mathbf{0,81} \text{ (Fattore di sicurezza determinato dal calcolo manuale)}$$

I risultati in termini di fattore di sicurezza (FS) sono i seguenti:

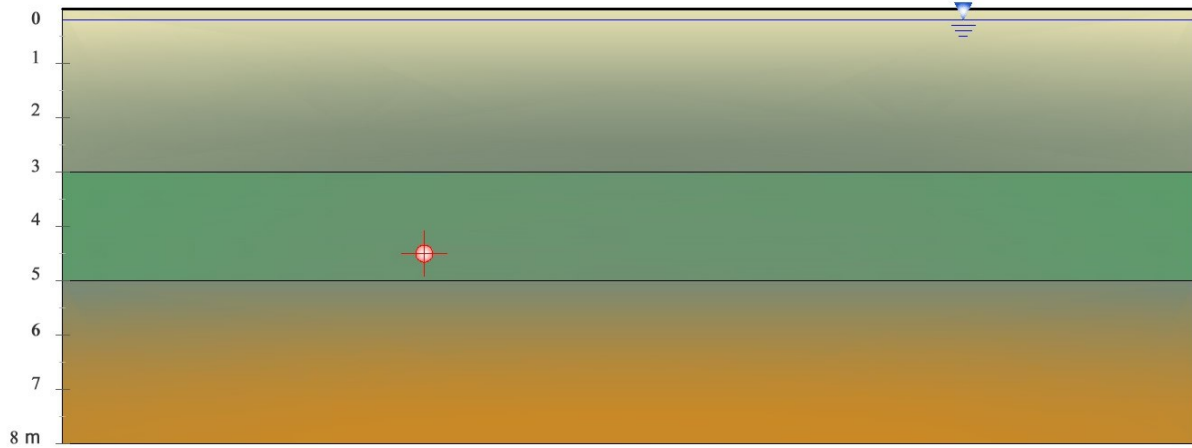
Il fattore di sicurezza calcolato da **LIQUITER** alla profondità $z=3.01\text{m}$ è:

FS=0,81

Al presente documento di Validazione si allega il file dell'esempio di LIQUITER.

2.3- Esempio-Test di validazione (metodo di Robertson e Wride modificato)

Nel seguente test di validazione si esegue la verifica a liquefazione in un punto posto a 4.5 m dal piano campagna come evidenziato nell'immagine seguente:



DATI SUL SITO

- Accelerazione massima in superficie, $a_{max}=0.325$ g
- Magnitudo del sito $M=7.5$

DATI SULLA STRATIGRAFIA

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)
1	Terreno AA	0	3	18	21	1093	18.4
2	Terreno BB	3	5	19	20	1600	18.1
3	Terreno CC	5	8	20	22	2961	3.7

- **Profondità della falda= 20 cm dal piano campagna**

CALCOLO DELLA DOMANDA DI RESISTENZA CICLICA (CSR)

Calcolo della pressione totale

$$\sigma = \gamma \cdot z_1 + \gamma_{sat} \cdot z_2 + \gamma_{sat} \cdot z_3 = 18 \cdot 0,2 + 21 \cdot (3 - 0,2) + 20 \cdot 1,50 = 92,40 \text{ kN/m}^2$$

Calcolo della pressione effettiva

$$\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u = \sigma_{v0} - \gamma_w \cdot z = 92,40 - 10 \cdot (4,5 - 0,20) = 43 \text{ kN/m}^2$$

Calcolo del coefficiente riduttivo funzione della profondità

$$r_d = 1 - 0.015 \cdot z = 1 - 0.015 \cdot 4,5 = 0.966$$

$$\text{CSR} = 0,65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma}{\sigma_{v0}} r_d = 0,65 \cdot 0,325 \cdot \frac{92,40}{49,40} \cdot 0,966 = \mathbf{0,381}$$

CALCOLO DELL'INDICE I_c

$$Q = \frac{(q_c - \sigma_{v0})}{Pa} \cdot \left(\frac{Pa}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5} = \frac{(1600 - 92,40)}{100} \cdot \left(\frac{100}{49,40} \right)^{0.5} = 22,15$$

$$R_f = \left[\frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} \right] \cdot 100 = \left[\frac{18,1}{1600 - 92,10} \right] \cdot 100 = 1,20$$

$$I_c = \left[(3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0.5} = \left[(3,47 - \log_{10} 22,15)^2 + (\log_{10} 1,20 + 1,22)^2 \right]^{0.5} = 2.49$$

CALCOLO DELLA RESISTENZA ALLA PUNTA MODIFICATA PER LA PRESENZA DEL CONTENUTO DI

FINE $(q_{c1N})_{cs}$

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N}$$

dove K_c dipende dal contenuto di fine, FC (%):

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1,75 (I_c)^{3,25} - 3,7 = 1,75 \cdot (2,49)^{3,25} - 3,7 = 30,24$$

Poiché per $5 < FC \leq 35$

$$K_c = 0,0267(FC - 5) = 0,0267(30,24 - 5) = 0,674$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N} = \frac{0,674}{1 - 0,674} \cdot 22,15 = 47,07 \text{ KPa}$$

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} = 22,15 + 47,07 = 69,81 \text{ KPa}$$

CALCOLO DELLA CAPACITA' DI RESISTENZA CICLICA (CRR)

Poiché $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$ la resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 ($CRR_{7,5}$) si calcola da:

$$\text{CRR} = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 = 93 \cdot \left[\frac{69,81}{1000} \right]^3 + 0,08 = \mathbf{0,11}$$

CALCOLO DEL FATTORE DI SICUREZZA (FS)

$$\text{FS} = \frac{\text{CRR}}{\text{CSR}} = \frac{0,11}{0,381} = \mathbf{0,29} \text{ (Fattore di sicurezza determinato dal calcolo manuale nel punto } z=4,5 \text{ m)}$$

I risultati in termini di fattore di sicurezza (FS) sono i seguenti:

Il fattore di sicurezza calcolato da **LIQUITER** alla profondità $z=4,40\text{m}$ è:

FS=0,269

Mentre alla profondità $z= 4,60\text{ m}$ è:

FS=0,268

Al presente esempio di Validazione si allega il file di LIQUITER.