

Aztec Informatica®

LAN

Liquefazione Terreni

Copyright © 2005, 2022 Aztec Informatica s.r.l.

Tutti i diritti riservati.

Qualsiasi documento tecnico che venga reso disponibile da Aztec Informatica è stato realizzato da Aztec Informatica che ne possiede il Copyright ed è proprietà di Aztec Informatica. La documentazione tecnica viene fornita così com'è e Aztec Informatica non fornisce alcuna garanzia sulla precisione o l'utilizzo di tali informazioni. L'utente si assume il rischio dell'utilizzo della documentazione tecnica o delle informazioni in essa contenute. La documentazione potrebbe contenere imprecisioni tecniche o di altro tipo, oppure errori tipografici. Aztec Informatica si riserva il diritto di apportare modifiche senza preavviso.

Le informazioni contenute nel presente manuale non rappresentano un impegno da parte della Aztec Informatica. Il software descritto in questo documento viene fornito con il Contratto di Licenza d'Uso. Il software stesso può essere utilizzato solo in conformità al contratto medesimo. Per nessun motivo nessuna parte di questo manuale può essere riprodotta in qualsiasi forma e/o mezzo senza il consenso scritto della Aztec Informatica. Se non specificato diversamente, ogni riferimento a società, nomi, dati e indirizzi utilizzati nelle riproduzioni delle schermate e negli esempi è puramente casuale ed ha il solo scopo di illustrare l'uso del prodotto Aztec Informatica.

WINDOWS è un marchio registrato della Microsoft Corporation

Altri nomi di marchi e nomi di prodotti sono marchi depositati o registrati dai rispettivi proprietari

INDICE

1	Premessa	7
2	Installazione del programma	8
3	Ambiente di lavoro del programma LAN	9
4	Menu File.....	10
4.1	Nuovo.....	10
4.2	Apri.....	10
4.3	File recenti	10
4.4	Salva, Salva con nome	10
4.5	Opzioni Lettura File	11
4.6	Esci.....	11
5	Menu Dati	12
5.1	Normativa	12
5.2	Stratigrafia	12
5.2.1	Definizione strato	13
5.3	Altri dati.....	14
5.4	Situ	14
5.5	Prova S.P.T	15
5.6	Prova C.P.T.....	16
5.7	Prova SISMICA	17
5.8	Elenco criteri [$\gamma - (G/G_0)$].....	17
5.8.1	Definizione criterio $\gamma - (G/G_0)$	18
5.9	Strumento	18
5.10	Unità di misura	19
6	Menu Analisi	20
6.1	Opzioni analisi.....	20
6.1	Opzioni cedimenti	21
7	Menu Risultati.....	23
7.1	Risultati di sintesi	23
7.2	Risultati da prove SPT, CPT e Sismica.....	23
7.3	Risultati cedimenti	24
7.4	Risultati spostamenti laterali.....	25
7.5	Visualizza Errori	25
8	Menu Relazione	27
8.1	Dati generali	27
8.2	Genera relazione	27

8.3	Gestione disegni relazione	28
8.4	Formato relazione di calcolo	28
9	Menu Window	30
9.1	Ambiente grafico.....	30
9.2	Viste specifiche.....	30
9.2.1	Visualizza stratigrafia.....	30
9.2.2	Visualizzazione dati prova S.P.T.....	31
9.2.3	Visualizzazione dati prova C.P.T.....	31
9.2.4	Visualizzazione dati prova SISMICA	32
9.2.5	Visualizzazione andamento fattore di sicurezza	32
9.2.6	Visualizzazione andamento cedimenti	33
9.2.7	Visualizzazione andamento spostamenti laterali.....	33
9.2.8	Opzioni di rappresentazione.....	34
9.3	Inserimento di una didascalia	35
9.4	Elenco didascalie.....	35
9.5	Anteprima di stampa	36
9.6	Finestra Impaginatore Grafico.....	37
10	Menu Strumenti	38
11	Menu Help	38
12	Generalità sul calcolo della Liquefazione dei Terreni.....	40
12.1	Calcolo della domanda di resistenza a liquefazione CSR.....	40
12.1.1	Metodo di Seed e Idriss (1982) - SPT	41
12.1.2	Metodo di Seed et Al. (1985) - SPT.....	42
12.1.3	Metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983) - SPT.....	43
12.1.4	Metodo di Iwasaki et Al. (1978, 1984) - SPT.....	43
12.1.5	Metodo dell'Eurocodice 8 - SPT	44
12.1.6	Metodo di Monaco e Marchetti (2005) - SPT	44
12.1.7	Metodo di Idriss e Boulanger (2004) - SPT	45
12.1.8	Metodo di Idriss e Boulanger (2014) - SPT	46
12.1.9	Metodo di Robertson e Wride (1997) – CPT	46
12.1.10	Metodo dell'Eurocodice 8 - CPT	47
12.1.11	Metodo di Monaco e Marchetti (2005) - CPT.....	48
12.1.12	Metodo di Idriss e Boulanger (2004) - CPT	48
12.1.13	Metodo di Idriss e Boulanger (2014).....	49
12.1.14	Metodo di Andrus e Stokoe (1997) – Sismica	50
12.1.15	Metodo dell'Eurocodice 8 - Sismica.....	50
12.1.16	Metodo di Idriss e Boulanger (2004) - Sismica.....	51
12.1.17	Metodo di Andrus e Stokoe (2000)	51
12.2	Calcolo dell'Indice del Potenziale di Liquefazione.	52

13	Generalità sul calcolo dei Cedimenti	53
13.1	<i>Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni granulari saturi</i>	54
13.2	<i>Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni granulari sciolti e saturi</i>	54
13.3	<i>Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni granulari insaturi.....</i>	55
13.4	<i>Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni coesivi soffici</i>	57
14	Generalità sul calcolo degli Spostamenti laterali.....	58
15	Valori caratteristiche fisiche dei terreni.....	60
16	Bibliografia	65

MANUALE D'USO

1 Premessa

Il programma **LAN** (Analisi Liquefazione Terreni), è dedicato all'analisi dei terreni potenzialmente liquefacibili. Il problema della suscettibilità alla liquefazione dei terreni sabbiosi saturi durante l'evento sismico viene affrontato con i metodi semplificati.

L'approccio dei metodi semplificati si basa sulla definizione di un coefficiente di sicurezza dato come rapporto tra la resistenza a taglio mobilitata nello strato e lo sforzo tagliante indotto dall'evento sismico.

Il programma consente di definire le caratteristiche del Sito in esame, quali la Magnitudo sismica, l'accelerazione massima, la presenza di sovraccarichi, la classe di sottosuolo e naturalmente la quota della falda. Tramite tali parametri è possibile determinare lo sforzo tagliante indotto dal sisma.

Mediante apposite finestre di input, è possibile introdurre i dati derivanti da prove penetrometriche statiche e dinamiche, (**CPT**, **SPT**) nonché da prova sismica (**sismica a rifrazione**), necessari per determinare la resistenza al taglio mobilitata nello strato.

Per il calcolo della resistenza al taglio mobilitata sono disponibili i seguenti metodi:

- metodo di Seed e Idriss (1982);
- metodo di Seed e Al. (1985);
- metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983);
- metodo di Iwasaki e al. (1984);
- metodo dell'Eurocodice 8;
- metodo di Monaco e Marchetti (2005);
- metodo di Robertson e Wride (1997);
- metodo di Andrus e Stokoe (1997, 2000);
- metodo di Monaco e Marchetti (2005);
- metodo di Idriss e Boulanger (2004, 2014);

LAN calcola l'indice di liquefacibilità, con i metodi di Iwasaki (1978) e Sonmez (2000), per avere infine una stima dell'effettivo rischio di liquefazione.

LAN consente anche di calcolare i cedimenti post sismici con i metodi di:

- Yasuhara e Andersen (1991);
- Pradel (1998);
- Zhang, Robertson e Brachman (2002);
- Idriss e Boulanger (2008).

Il metodo di calcolo dei cedimenti non è univoco per tutti gli strati ma può essere scelto un metodo diverso per ogni singolo strato.

Inoltre, è possibile stimare anche gli spostamenti laterali con il metodo di Yoshimine (2006).

LAN consente di generare una completa relazione di calcolo in formato RTF direttamente nell'editore che si ha a disposizione. I moduli selezionati verranno riportati in relazione così come le impostazioni generali in modo da ottenere una relazione pressoché definitiva.

Ogni disegno visualizzato può essere stampato direttamente o esportato in formato WMF, BMP e JPG.

Il manuale è completo ed esauriente, sia riguardo al programma, sia riguardo i richiami teorici sui metodi di analisi utilizzati.

2 Installazione del programma

LAN, distribuito su **DVD-ROM**, è accompagnato da una chiave hardware che va inserita sulla porta USB del computer; tale chiave, trasparente alle normali trasmissioni da e verso la stampante, consente l'esecuzione del programma una volta installato.

Per effettuare l'installazione, occorre inserire il **DVD-ROM** nel lettore; se è attiva l'opzione di sistema *Notifica inserimento automatico*, il **DVD** parte automaticamente, altrimenti bisogna lanciare il programma tramite il file **Start.exe** presente sul **DVD-ROM**.

Nella suite d'installazione sono attivi solo i pulsanti dei programmi licenziati. Per avviare la procedura di installazione occorre cliccare sul relativo pulsante.

LAN è installato nella cartella **C:\AZTEC INFORMATICA\LAN16**, definita di default, o nella cartella specificata dall'Utente. Tutti i files che occorrono per l'esecuzione del programma vengono registrati nella cartella specificata durante l'installazione, tranne il file di protezione della chiave hardware che necessariamente deve essere installato nella cartella **C:\WINDOWS\SYSTEM**.

Al termine dell'installazione viene inserita l'icona nella voce di menu **Programmi** del pulsante e apparirà in ultimo la finestra con la relativa icona.

Impostazioni video

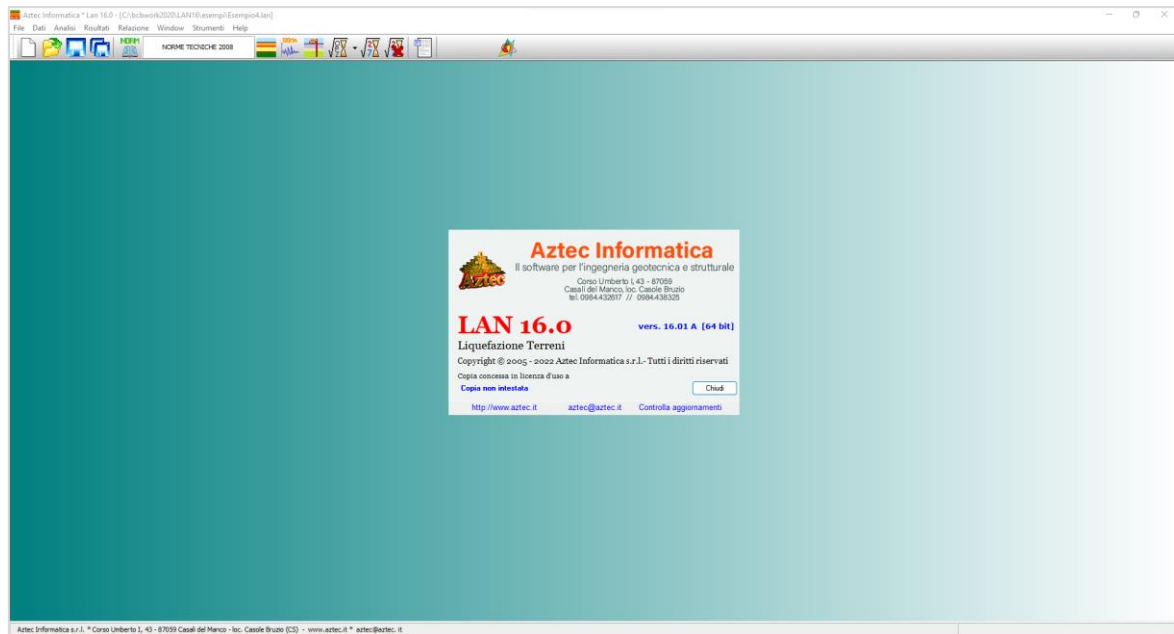
È necessario impostare la modalità video ad una risoluzione **800x600** o superiore.

Il tipo di carattere deve essere impostato secondo la specifica "**Caratteri Piccoli o normali**".

Sul **DVD-ROM** sono presenti anche le versioni dimostrative di tutti i programmi alle quali si accede dal pulsante **[VERSIONI DEMO]** presente sulla finestra principale. **È bene precisare che i dimostrativi girano direttamente da DVD-ROM senza installare nessun file sull'hard-disk.**

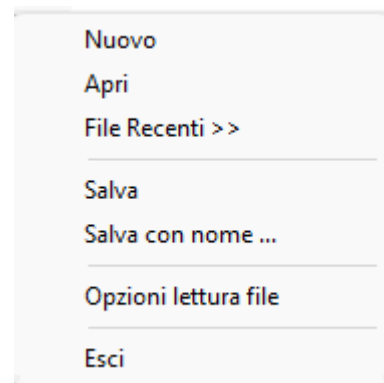
3 Ambiente di lavoro del programma *LAN*

L'ambiente di lavoro di *LAN* ha l'interfaccia e le funzionalità tipiche dell'ambiente **Windows®**.



4 Menu File

In questa voce di menu sono contenuti tutti i comandi necessari per le operazioni di scrittura e lettura dei dati su disco.



4.1 Nuovo

Tramite il comando **Nuovo**, attivato anche dal pulsante presente sulla barra dei comandi, si comunica a **LAN** di voler avviare un nuovo lavoro e quindi abbandonare quello corrente. Il programma prima di iniziare il nuovo lavoro, se i dati del lavoro corrente non sono stati salvati, chiede all'Utente se vuole effettuare il salvataggio. In funzione della risposta fornita, il programma avvia la procedura di salvataggio oppure abbandona il file attivo senza salvare.

4.2 Apri

Tramite il comando **Apri**, attivato anche dal pulsante presente sulla barra dei comandi, è possibile caricare un file salvato su disco. L'estensione dei files dati di LAN è *.lan. La procedura è quella standard dell'ambiente **Windows®**: la finestra aperta presenta l'elenco delle cartelle e l'elenco dei files contenuti nella cartella selezionata. Per caricare il file desiderato, basta selezionarlo con il mouse e premere il pulsante **[Apri]** oppure il tasto **[INVIO]**. Prima di effettuare l'operazione di apertura file, qualora i dati del lavoro corrente siano stati modificati, **LAN** chiede la conferma per il salvataggio su disco dei dati.

4.3 File recenti

La voce di menu visualizza la finestra per l'apertura degli ultimi files elaborati.

4.4 Salva, Salva con nome

Tramite il comando **Salva**, attivato anche dal pulsante presente sulla barra dei comandi, è possibile salvare su disco i dati inseriti in un file. La procedura è quella standard dell'ambiente **Windows®**: la finestra aperta

presenta l'elenco delle cartelle e l'elenco dei files contenuti nella cartella selezionata. Per salvare i dati in un file occorre digitare nella casella Nome file il nome da attribuire all'archivio e premere il pulsante [**Salva**] oppure il tasto [**INVIO**].

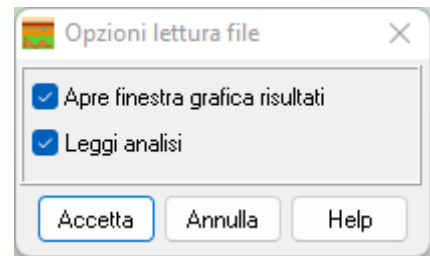
4.5 Opzioni Lettura File

Tramite le funzioni contenute nella finestra di **Opzioni lettura file** è possibile attivare/disattivare la lettura di alcune parti del file dati salvato.

Queste funzioni sono utili quando, per problemi verificatisi nel file non è più possibile leggere lo stesso. Tramite queste funzioni si escludono dalla lettura una o più parti che possono dare vita a errori con l'obiettivo di recuperare almeno in parte i dati immessi.

Apri finestra grafica risultati, consente di attivare/disattivare l'apertura della finestra grafica Risultati dove il programma disegna i risultati dell'analisi. Tale opzione può essere deselezionata se il problema si presenta in fase di rappresentazione grafica dei risultati.

Leggi analisi, consente di attivare/disattivare la lettura dell'analisi. Tale opzione consente di escludere dalla lettura i risultati dell'analisi che potrebbero generare l'errore all'apertura del file.



4.6 Esci

Tramite il comando **Esci** è possibile uscire dal programma. Se i dati non sono stati salvati, compare la richiesta di salvataggio degli stessi. A questo punto è possibile confermare la registrazione dei dati su disco o ignorare questa procedura. Il salvataggio avviene secondo le modalità sopra descritte. A questo comando non corrisponde un pulsante acceleratore sulla **barra dei comandi**.

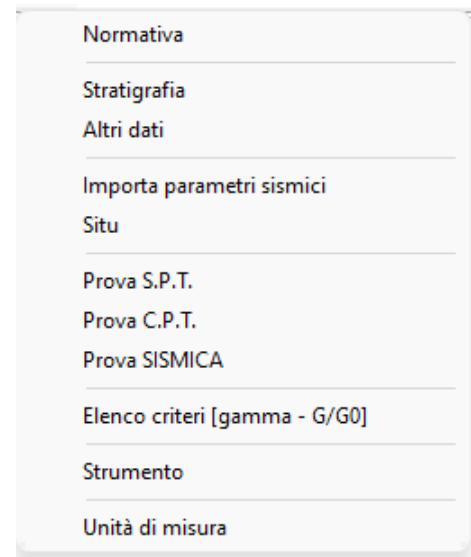
5 Menu Dati

In questa voce di menu sono contenuti tutti i comandi necessari per le operazioni di input dei dati.

Il menu, una volta attivato, si presenta come in figura.

La maggior parte dei comandi del menu, si attivano anche dai relativi pulsanti presenti sulla **barra dei comandi**.

Alcune delle voci presenti nel menu, così come i pulsanti sulla **barra dei comandi**, possono essere disattivate, in funzione dei dati immessi o del tipo di problema che si intende analizzare.



5.1 Normativa

Nella finestra Normativa è possibile definire:

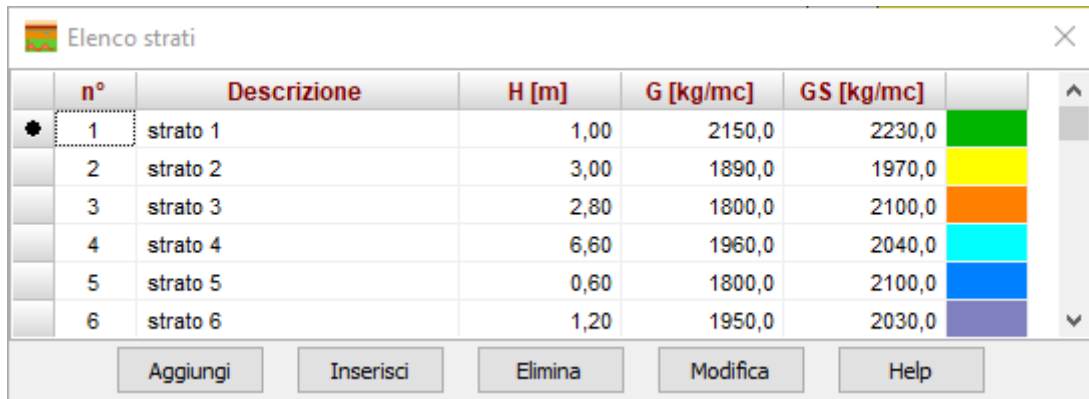
- la normativa che si intende usare;
- le condizioni che si devono verificare per eseguire la verifica a liquefazione (condizioni suggerite dalla normativa prescelta). Condizioni sulla sismicità del sito, sulla profondità della falda, sui valori della prova e sulla granulometria dei terreni che costituiscono la stratigrafia.

Al fianco di ogni dato è posizionato un check che abilita il controllo sui dati da parte del programma.

The image shows the 'Normativa' window. It has a title bar with a close button. The main content is divided into sections: NORMATIVA (with radio buttons for N.T.C. 2008 and N.T.C. 2018), Sismica (with input fields for Magnitudo Minima and amax/g), Falda (with input field for Profondità Minima), Prove (with input fields for (N1)60 minimo and (Qc1)N minimo), and Granulometria (with a checked 'Attiva Controllo' checkbox and input fields for Uc<3.5, Uc>=3.5, and <=d50<=). At the bottom are buttons for Accetta, Annulla, and Help.

5.2 Stratigrafia

È possibile accedere alla finestra **Stratigrafia del Terreno** tramite la voce **Stratigrafia** del menu **Dati** o tramite il pulsante presente sulla **barra dei comandi**.



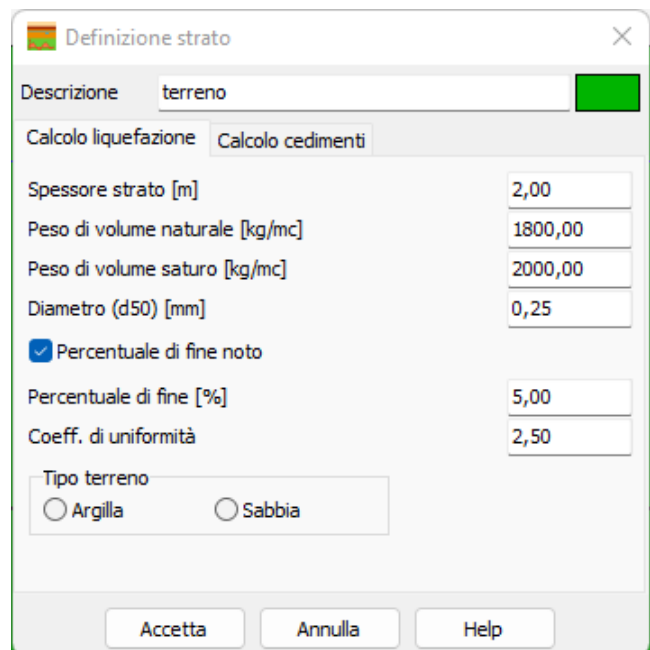
n°	Descrizione	H [m]	G [kg/mc]	GS [kg/mc]
1	strato 1	1,00	2150,0	2230,0
2	strato 2	3,00	1890,0	1970,0
3	strato 3	2,80	1800,0	2100,0
4	strato 4	6,60	1960,0	2040,0
5	strato 5	0,60	1800,0	2100,0
6	strato 6	1,20	1950,0	2030,0

Nella finestra vengono riportate alcune caratteristiche degli strati. Tramite i pulsanti presenti nella parte in basso è possibile **aggiungere**, **inserire**, **modificare** ed **eliminare** gli strati costituenti il terreno al di sotto della fondazione da verificare a liquefazione.

5.2.1 Definizione strato

La finestra è suddivisa in due sezioni: **Calcolo liquefazione** e **Calcolo cedimenti** nelle quali sono contenuti i dati usati rispettivamente per ciascuna problematica. In particolare i dati da inserire riguardano:

- Descrizione e colore della litografica del terreno.
- Spessore dello strato, espresso in [L1].
- Peso dell'unità di volume naturale del terreno espresso in $[F1/L1^3]$.
- Peso dell'unità di volume in condizioni sature del terreno espresso in $[F1/L1^3]$. Deve risultare maggiore del peso naturale ed ha significato solo se è presente la falda.
- Diametro della curva granulometrica, espresso in unità [L3], corrispondente al passante al 50%. Il dato viene utilizzato dal programma quando si effettua l'analisi con il metodo di **Seed e Idriss (1982)** prove penetrometriche dinamiche;



- Contenuto di fine, espresso in [%] presente nella sabbia (se noto). Il dato viene utilizzato dal programma quando si effettua l'analisi con uno dei seguenti metodi:
 - ✓ **Tokimatsu e Yoshimi (1983)** prove penetrometriche dinamiche;
 - ✓ **Seed modificato (1985)** prove penetrometriche dinamiche;
 - ✓ **Robertson e Wride (1997)** prove penetrometriche statiche;
 - ✓ **Andrus e Stokoe (1997)** prova sismica a rifrazione;
 - ✓ **Eurocodice 8**.

Per alcuni metodi la percentuale di fine è possibile determinarla attraverso l'interpretazione della prova stessa (metodo di Robertson e Wride (1997), Idriss e Boulanger (2004, 2014)).

- Coefficiente di uniformità del deposito
- Tipo di terreno (a scelta tra sabbia e argilla). Il dato viene usato, quando nelle opzioni di analisi della prova CPT si sceglie la prima metodologia per la stima dell'indice di comportamento I_c che a sua volta viene usato anche nell'interpretazione della frazione di fine.

Per il calcolo dei **cedimenti** è possibile definire:

- il modulo di taglio iniziale (G_0), espresso in [P1], per i metodi di Idriss e Boulanger (2008), Pradel (1998) e Yasuhara e Andersen (1991);
- l'indice di ricomprensione (Cr), usato dal metodo di Yasuhara e Andersen (1991);
- l'indice dei vuoti iniziale (e_0), usato dal metodo di Yasuhara e Andersen (1991);
- Rapporto di sovraconsolidazione (OCR), usato dal metodo di Yasuhara e Andersen (1991);
- L'indice di plasticità (I_p), usato dal metodo di Yasuhara e Andersen (1991), valore espresso in [%];
- l'angolo di attrito, espresso in [°] se si usa il metodo di Pradel (1998) e si stima γ con la formula di Iwasaki (1978);
- il livello deformativo (γ) se noto o se si sceglie di stimarlo con la formula di Iwasaki (1978) o la legge di decadimento $\gamma - G/G_0$.

5.3 Altri dati

La finestra Altri dati richiede informazioni generali sul sito:

- la pressione atmosferica misurata nel sito, espressa in [P1];
- Sovraccarico eventuale applicato al suolo, espresso in [P1];
- Presenza della falda e relativa profondità rispetto al piano campagna, espressa in [L1].

5.4 Situ

La finestra è attivata dalla voce di menu **Dati**.

Nella finestra vengono inserite tutte le grandezze necessarie a definire il *situ* in questione.

In particolare i dati da inserire riguardano:

- i dati della zona sismica. I dati si possono ricavare in modo automatico cliccando sul pulsante **Importa parametri sismici** che consente di accedere al database forniti dalla normativa.
- **Tipo di sottosuolo**, la normativa prevede un ulteriore incremento sismico in funzione del suolo di fondazione. Sono previste cinque categorie di sottosuolo individuate dalle lettere A....E.

- **Coefficiente stratigrafico S_s** , dipende dal tipo di sottosuolo impostato e incrementa l'azione sismica del valore impostato.
- **Magnitudo** del sisma. Il valore viene utilizzato per calcolare il coefficiente correttivo MSF che dipende dal metodo usato.

5.5 Prova S.P.T

Nella finestra vengono inserite tutte le grandezze necessarie a definire la prova S.P.T.

In particolare i dati da inserire riguardano:

- **z** è la quota, espressa in [L1], alla quale corrisponde il valore del numero di colpi NSPT. La quota si riferisce al piano campagna (p.c.).
- **N_{SPT}** numero di colpi della prova penetrometrica standard S.P.T. (Standard Penetration Test).

Nella finestra è presente in pulsante **Importa da File**, che permette l'importazione dei dati della prova da file di testo secondo le seguenti specifiche:

n°	z [m]	NSPT
1	1,50	18
2	2,00	17
3	2,50	9
4	3,00	16
5	3,50	14
6	4,00	18
7	4,50	7
8	5,00	20
9	5,50	15
10	6,00	4

Nella prima riga bisogna indicare l'unità di misura delle lunghezze (usata per definire la quota alla quale è stato misurato il numero di colpi).

I valori della prima colonna rappresentano le profondità di esecuzione della prova; i valori della seconda colonna rappresentano il numero di colpi della prova SPT.

```

fileSPT.txt - Blocco note di Windows
File  Modifica  Formato  Visualizza  ?
m
1.0  10
1.5  12
2.0  9
2.5  15|
  
```

5.6 Prova C.P.T

Nella finestra vengono inserite tutte le grandezze necessarie a definire la prova C.P.T.

In particolare i dati da inserire riguardano:

- Passo della prova, espresso in [L1] è un dato che serve solo per la definizione manuale della prova CPT per impostare in modo automatico la quota della prova (essendo una prova in cui l'acquisizione del dato è a passo costante).
- z è la quota, espressa in [L1], alla quale corrisponde il valore della registrazione della prova penetrometrica statica. La quota si riferisce al piano campagna (p.c.).
- **qc ed fs** è la resistenza alla punta e resistenza all'attrito laterale specifico, espressa in [P1], misurate durante la prova penetrometrica statica C.P.T.

n°	z [m]	qc [kg/cm²]	fs [kg/cm²]
1	0,40	67,00	1,93
2	0,60	77,00	3,00
3	0,80	51,00	3,00
4	1,00	30,00	4,20
5	1,20	16,00	3,13
6	1,40	13,00	1,67
7	1,60	15,00	0,60
8	1,80	10,00	0,60
9	2,00	15,00	0,53

Nella finestra è presente in pulsante **Importa da File**, che permette l'importazione dei dati della prova da file di testo secondo le seguenti specifiche:

Nella prima riga bisogna indicare l'unità di misura delle lunghezze (usata per definire la quota alla quale è stato misurato il numero di colpi).

Nella seconda riga bisogna indicare l'unità di misura delle pressioni (usata per definire la pressione alla punta o la resistenza all'attrito laterale).

I valori della prima colonna rappresentano le profondità di esecuzione della prova; i valori della seconda colonna rappresentano la resistenza alla punta qc misurata della prova CPT; I valori della terza colonna rappresentano la resistenza laterale fs misurata della prova CPT.

fileCPT.txt - Blocco note di Windows			
File	Modifica	Formato	Visualizza ?
m			
kPa			
1.0	20	0.21	
1.5	30	0.22	
2.1	40	0.23	
2.5	50	0.24	

5.7 Prova SISMICA

Nella finestra vengono inserite tutte le grandezze necessarie a definire la prova SISMICA.

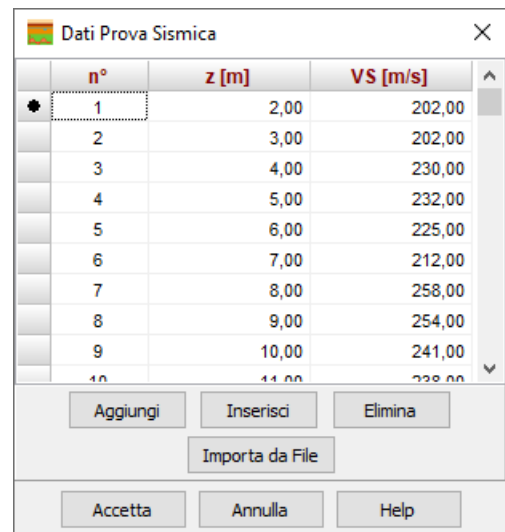
In particolare i dati da inserire riguardano:

- **z** espressa in [L1], quota alla quale corrisponde il valore della registrazione della prova sismica a rifrazione. La quota si riferisce al piano campagna (p.c.).
- **VS** velocità dell'onda di taglio, espressa in [m/s], determinata durante la prova sismica a rifrazione. Misure accurate di Vs possono essere eseguite con diverse tecniche (cross-hole, down-hole, SASW, etc).

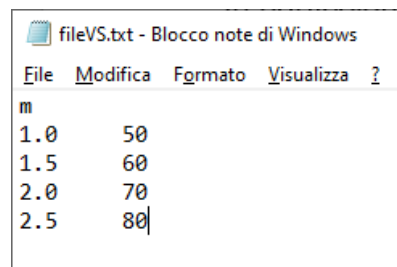
Nella finestra è presente in pulsante **Importa da File**, che permette l'importazione dei dati della prova da file di testo secondo le seguenti specifiche:

Nella prima riga bisogna indicare l'unità di misura delle lunghezze (usata per definire la quota alla quale è stato misurato il numero di colpi).

I valori della prima colonna rappresentano le profondità di esecuzione della prova; i valori della seconda colonna rappresentano la velocità dell'onda di taglio misurata dalla prova sismica a rifrazione.



n°	z [m]	VS [m/s]
1	2,00	202,00
2	3,00	202,00
3	4,00	230,00
4	5,00	232,00
5	6,00	225,00
6	7,00	212,00
7	8,00	258,00
8	9,00	254,00
9	10,00	241,00
10	11,00	228,00



```

fileVS.txt - Blocco note di Windows
File Modifica Formato Visualizza ?
m
1.0 50
1.5 60
2.0 70
2.5 80

```

5.8 Elenco criteri [$\gamma - (G/G_0)$]

I criteri di decadimento $\gamma - G/G_0$ vengono usati nel solo calcolo dei cedimenti post sismici.

Questi criteri (preimpostati o definibili dall'Utente) vengono assegnati nella descrizione del terreno/strato.



N°	Descrizione
1 [A]	Idriss & Seed 1970 (Sand)
2	Idriss & Seed 1970 (Clay)
3	EPRI Terreno Coesivo (0-15)m
4	EPRI Terreno Coesivo (15-150)m
5	EPRI Rock (0-6.4)m
6	EPRI Rock (6.4-15)m
7	EPRI Rock (15-36.5)m
8	Idriss 1990 (Sand)
9	Idriss 1990 (Clay)
10	Criterio

5.8.1 Definizione criterio γ - (G/G_0)

Il criterio di decadimento $\gamma - G/G_0$ è definito da una serie di punti di coordinate:

- γ deformazione a taglio espresso in [%];
- G/G_0 rapporto tra il modulo di taglio e il modulo di taglio iniziale (valore adimensionale).

N°	gamma [%]	G/G0
1	0,000001	1,000000
2	0,000003	0,988000
3	0,000010	0,962000
4	0,000032	0,890000
5	0,000100	0,747000
6	0,000316	0,524000
7	0,001000	0,290000
8	0,003160	0,137000
9	0,010000	0,053000

5.9 Strumento

Nella finestra vengono inserite tutte le grandezze necessarie a definire lo *strumento* utilizzato per la prova penetrometrica dinamica.

Questi valori vengono presi in considerazione quando si utilizza il metodo di **Seed modificato (1985)**.

In particolare i dati da inserire riguardano:

- **C_b** Fattore correttivo per tener conto del diametro del foro di sondaggio. Vengono riportati i valori consigliati dagli autori:

$$C_b = 1.00 \quad 65 \text{ mm} < d < 115 \text{ mm}$$

$$C_b = 1.05 \quad 115 \text{ mm} < d < 150 \text{ mm}$$

$$C_b = 1.15 \quad 150 \text{ mm} < d < 200 \text{ mm}$$

d : diametro foro di sondaggio

- **C_r** Fattore correttivo per tener conto della lunghezza delle aste. Vengono riportati i valori consigliati dagli autori:

$$C_r = 0.75 \quad 3 \text{ m} < l < 4 \text{ m}$$

$$C_r = 0.85 \quad 4 \text{ m} < l < 6 \text{ m}$$

$$C_r = 0.95 \quad 6 \text{ m} < l < 10 \text{ m}$$

$$C_r = 1.00 \quad 10 \text{ m} < l < 30 \text{ m}$$

- **C_s** Fattore correttivo per tener conto del tipo di campionatore. Vengono riportati i valori consigliati dagli autori:

$$C_s = 1.00 \quad : \text{campionatore standard};$$

$$C_s = 1.2 \quad : \text{campionatore senza astuccio}$$

- **C_E** Fattore correttivo per tener conto dell'efficienza del sistema di infissione usato.

$$C_b = \frac{ER}{60}$$

ER: efficienza del sistema di infissione utilizzato

5.10 Unità di misura

LAN, consente all'Utente le impostazioni delle unità di misura. Alla finestra in figura si accede attraverso il comando del menu dati **Unità di misura**.

In particolare sono messe a disposizione dell'Utente le seguenti unità:

- **L1**, prima unità di misura per le lunghezze; il valore di default è *metri*;
- **L2**, seconda unità di misura per le lunghezze; il valore di default è *centimetri*;
- **L3**, terza unità di misura per le lunghezze; il valore di default è *millimetri*;
- **F1**, prima unità di misura per le forze; il valore di default è *Kg*;
- **F2**, seconda unità di misura per le forze; il valore di default è *tonnellate*;
- **P1**, prima unità di misura per le pressioni; il valore di default è *Kg/cmq*;
- **P2**, seconda unità di misura per le pressioni; il valore di default è *Kg/mq*;
- **A**, unità di misura per gli angoli; il valore di default è *gradi*.



Grandezze derivate:

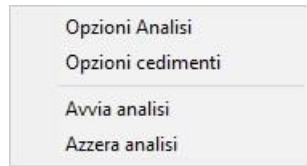
- Momento, $F1 \cdot L1$;
- Peso dell'unità di volume, $F1/L1^3$;
- Costante di Winkler, $P1/L2$;
- Area, $L2^2$.

6 Menu Analisi

In questa voce di menu sono contenuti tutti i comandi necessari per le operazioni di analisi dei dati.

La maggior parte dei comandi del menu, si attivano anche dai relativi pulsanti presenti sulla **barra dei comandi**.

Alcune delle voci presenti nel menu, così come i pulsanti sulla **barra dei comandi**, possono essere disattivate.



La voce **Avvia analisi** consente di avviare l'elaborazione. All'avvio dell'analisi **LAN** esegue un check completo dei dati inseriti ed eventuali incongruenze vengono immediatamente segnalate con opportuni messaggi di errore.

La voce **Azzerà analisi** consente di azzerare i risultati del calcolo.

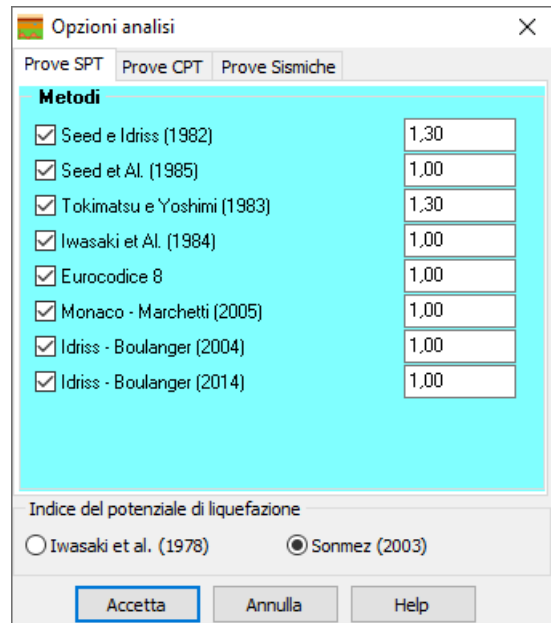
6.1 Opzioni analisi

Le impostazioni che possono essere date nella finestra riguardano la scelta del metodo da utilizzare per il calcolo del fattore di sicurezza alla liquefazione e di conseguenza del calcolo dell'indice di liquefazione che fornisce il grado di rischio del deposito sabbioso saturo analizzato.

Per ogni metodo è presente il relativo coefficiente di sicurezza minimo richiesto.

Per il calcolo della resistenza al taglio mobilitata sono disponibili i seguenti metodi:

- metodo di Seed e Idriss (1982);
- metodo di Seed e Al (1985);
- metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983);
- metodo di Iwasaki e al. (1984);
- metodo dell'Eurocodice 8;
- metodo di Robertson e Wride (1997);
- metodo di Andrus e Stokoe (1997, 2000);
- metodo di Monaco e Marchetti (2005);
- metodo di Idriss e Boulanger (2004, 2014).



Tra le opzioni per le prove CPT è possibile definire il metodo per la stima dell'indice di comportamento I_c :

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2}$$

Dove

$$Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{v0}}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma_{v0}} \right)^n \quad F = \left(\frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} \right) 100\%$$

che viene usato per determinare la frazione di fine contenuto nel terreno. I metodi usati sono tre che si differenziano per il valore che assume l'esponente n:

- metodo basato sul tipo di terreno (dove n è 0.5 per sabbie e 1.0 per argille);

- metodo suggerito da Robertson e Wride (1997), dove n varia tra 0.5 ed 1.0 e si sceglie il valore in base ai risultati intermedi ottenuti da I_c ;
- metodo iterativo (dove I_c è funzione di n).

$$n = 0.381I_c + 0.05 \frac{\sigma'_{v0}}{P_a} - 0.15 \leq 1.0$$

Per la stima del potenziale di liquefazione si può scegliere tra i metodi di:

- Iwasaki et Al. (1978)

	Potenziale di liquefazione
$I_L = 0$	Molto bassa
$0 < I_L \leq 5$	Bassa
$5 < I_L \leq 15$	Alta
$I_L > 15$	Molto alta

- Sonmez (2000)

	Potenziale di liquefazione
$I_L = 0$	Non liquefacibile
$0 < I_L \leq 2$	Bassa
$2 < I_L \leq 5$	Moderata
$5 < I_L \leq 15$	Alta
$I_L > 15$	Molto alta

6.1 Opzioni cedimenti

Il calcolo dei cedimenti post sismici è opzionale e può essere eseguito per diverse tipologie di terreni usando i risultati delle prove in situ (SPT e CPT).

Il calcolo dei cedimenti può essere eseguito usando la stessa metodologia per tutti gli strati oppure usando un metodo diverso per ogni strato, anche usando dati eterogenei (dati di prove SPT e CPT contemporaneamente). Le formule implementate fanno riferimento a terreni con caratteristiche diverse:

- terreni granulari saturi (metodo Idriss e Boulanger (2008));
- terreni granulari sciolti e saturi (metodo Zhang, Robertson e Brachman (2002);

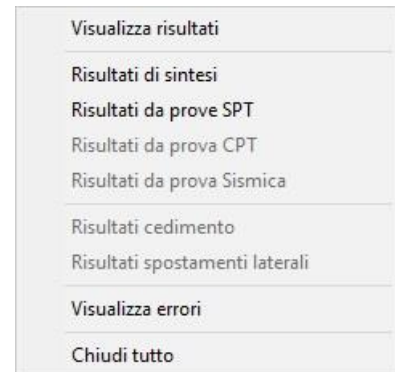
- terreni granulari insaturi (metodo di Pradel (1998));
- terreni coesivi soffici (metodo Yasuhara e Andersen (1991)).

Nella tabella è possibile scegliere anche se calcolare spostamenti laterali con il metodo di Yoshimine (2006).

7 Menu Risultati

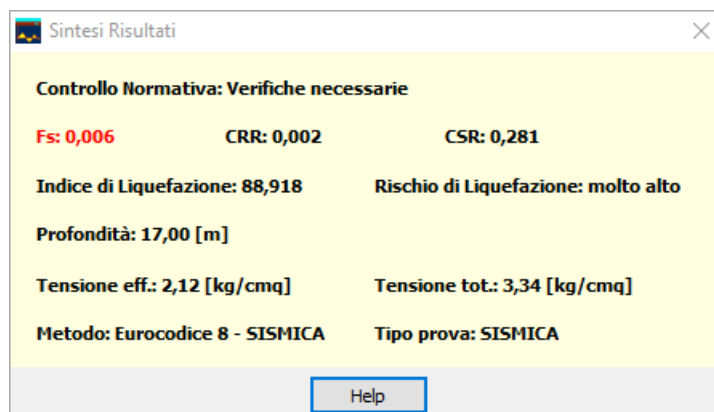
In questa voce di menu sono contenuti tutti i comandi necessari per le operazioni di visualizzazione dei risultati.

Alcune delle voci presenti nel menu possono essere disattivate in funzione dei dati immessi o del tipo di problema che si sta analizzando. Attraverso i risultati **Visualizza risultati** e **Chiudi tutto** è possibile rispettivamente aprire e chiudere contemporaneamente tutte le finestre di risultati.



7.1 Risultati di sintesi

La finestra Sintesi risultati sono riportate informazioni di sintesi sui risultati ottenuti. In particolare viene mostrato il fattore di sicurezza più basso ed i relativi risultati con il metodo e la prova che lo hanno determinato.



7.2 Risultati da prove SPT, CPT e Sismica

Eseguita l'analisi, **LAN** consente la visualizzazione dei risultati sia in forma numerica sia grafica. Di seguito verranno descritte le finestre di visualizzazione grafico-numerica dell'analisi a liquefazione effettuata.

- **z**, quota alla quale corrisponde il valore della prova in situ, espressa in unità di misura [L1]. La quota si riferisce al piano campagna (p.c.).
- **Valore prova**
 - ✓ numero di colpi della prova penetrometrica standard S.P.T. corretto (Standard Penetration Test).
 - ✓ resistenza alla punta misurata durante la prova penetrometrica statica C.P.T corretta.
 - ✓ velocità dell'onda di taglio misurata durante la prova sismica a rifrazione corretta.
- **sp**, Tensione verticale litostatica efficace, espressa in unità di misura [P1], calcolata alla profondità z dal piano campagna;

- **st**, Tensione verticale litostatica totale, espressa in unità di misura [P1], calcolata alla profondità z dal piano campagna;
- **rd**, Coefficiente di riduzione delle tensioni calcolato alla profondità z dal piano campagna;
- **MSF**, Coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma calcolato alla profondità z dal piano campagna;
- **CSR**, Domanda di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di tensione ciclica calcolato alla profondità z dal piano campagna;
- **CRR**, Rapporto di resistenza ciclica CRR (Cyclic Resistance Ratio);
- **Fs**, Fattore di sicurezza calcolato alla profondità z dal piano campagna;
- **Indice di liquefazione**, Indice rappresentativo del rischio di liquefazione, applicabile ai metodi che prevedono il calcolo del fattore di sicurezza. Esso si riferisce all'intero deposito sabbioso saturo;
- **Rischio di liquefazione**, Descrizione associata all'Indice del Potenziale di Liquefazione dell'intero deposito sabbioso saturo.

Risultati analisi da prove SPT									
Seed e Idriss Seed e al. Tokimatsu e Yoshimi Iwasaki e al. E.C. 8 Monaco e Marchetti									
	z [m]	Nspt	sp [kg/cmq]	st [kg/cmq]	rd	MSF	CSR	CRR	FS
•	3,800	5	0,684	0,684	0,971	1,000	0,227	0,152	0,667
	7,600	20	1,150	1,430	0,942	1,000	0,274	0,288	1,049
	10,500	30	1,469	2,039	0,894	1,000	0,290	0,345	1,187
	15,500	31	1,977	3,047	0,760	1,000	0,274	0,302	1,102
	17,700	35	2,193	3,483	0,701	1,000	0,261	0,312	1,196
	21,500	39	2,565	4,235	0,600	1,000	0,232	0,309	1,333
Indice di Liquefazione : 4.602									
Rischio di Liquefazione: basso									
Help									

7.3 Risultati cedimenti

La finestra contiene una tabella con riportato per ogni punto della prova o per ogni strato:

- il metodo usato per il calcolo;
- la profondità, espressa in [L1];
- il numero di colpi corretto della prova SPT;
- la pressione alla punta corretta della prova CPT, espressa in [P1];
- la deformazione (γ) espressa in [%], definita nello strato o ricavata in modo iterativo dalla curva $\gamma - G/G_0$;
- lo spessore dello strato sul quale è stato misurato il cedimento, espresso in [L1];
- la deformazione volumetrica, espressa in [%];
- il cedimento dello strato, espresso in [L2].

In fondo alla tabella, in grassetto, è riportato il cedimento complessivo stimato dalla prova, espresso in [L2], determinato come sommatoria dei cedimenti dei singoli strati.

Risultati cedimenti									
n°	Metodo	z [m]	N1	qc1 [kg/cmq]	gmax [%]	DH [m]	ev [%]	Dw [cm]	
1	Zhang, Robertson e Brachman (	0,40	0,00	121,78	0,000000	0,40	0,0000	0,0000	
2	Zhang, Robertson e Brachman (	0,60	0,00	157,77	0,000000	0,20	0,0000	0,0000	
3	Zhang, Robertson e Brachman (	0,80	0,00	147,74	0,000000	0,20	0,0000	0,0000	
4	Zhang, Robertson e Brachman (	1,00	0,00	166,70	0,000000	0,20	0,0000	0,0000	
5	Zhang, Robertson e Brachman (	1,20	0,00	88,91	0,000000	0,20	0,0000	0,0000	
6	Zhang, Robertson e Brachman (	1,40	0,00	72,24	0,000000	0,20	0,0000	0,0000	
7	Zhang, Robertson e Brachman (	1,60	0,00	80,49	0,000000	0,20	0,0000	0,0000	
8	Zhang, Robertson e Brachman (	1,80	0,00	55,57	0,000000	0,20	0,0000	0,0000	
9	Zhang, Robertson e Brachman (	2,00	0,00	83,35	0,000000	0,20	0,0000	0,0000	
10	Zhang, Robertson e Brachman (	2,20	0,00	50,01	0,000000	0,20	0,0000	0,0000	
									8,2883 [cm]
Help									

7.4 Risultati spostamenti laterali

La finestra contiene una tabella con riportato per ogni punto della prova o per ogni strato:

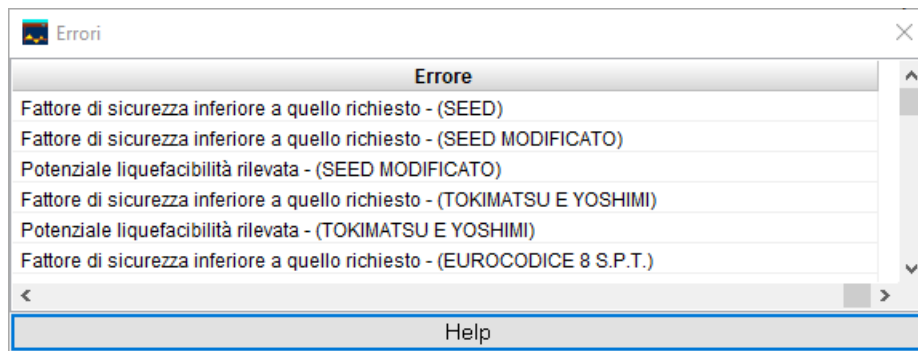
- la profondità, espressa in [L1];
- il numero di colpi corretto della prova SPT;
- la pressione alla punta corretta della prova CPT, espressa in [P1];
- la deformazione (γ) espressa in [%], stimata con la formula di Yoshimine (2006);
- lo spessore dello strato sul quale è stato misurato lo spostamento laterale, espresso in [L1];
- lo spostamento laterale stimato per lo strato, espresso in [L1].

In fondo alla tabella, in grassetto, è riportato lo spostamento laterale complessivo stimato dalla prova, espresso in [L1], determinato come sommatoria degli spostamenti laterali dei singoli strati.

Spostamenti laterali							
n°	z [m]	N1	qc1 [kg/cmq]	gmax [%]	DH [m]	LDI [m]	
1	0,40	0,00	121,78	0,000000	0,40	0,000	
2	0,60	0,00	157,77	0,000000	0,20	0,000	
3	0,80	0,00	147,74	0,000000	0,20	0,000	
4	1,00	0,00	166,70	0,000000	0,20	0,000	
5	1,20	0,00	88,91	0,000000	0,20	0,000	
6	1,40	0,00	72,24	0,000000	0,20	0,000	
7	1,60	0,00	80,49	0,000000	0,20	0,000	
8	1,80	0,00	55,57	0,000000	0,20	0,000	
							1,617 [m]
Help							

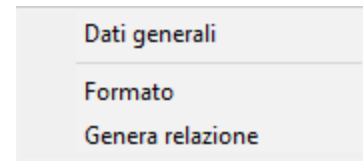
7.5 Visualizza Errori

La voce di menu **Visualizza Errori**, permette di visualizzare la finestra dei messaggi di errore riscontrati dal programma, consentendo all'Utente di consultare la guida per ogni errore rilevato.



8 Menu Relazione

Dal menu relazione è possibile richiamare la generazione della relazione ed impostarne il formato di stampa.



8.1 Dati generali

La finestra è attivata solo dalla voce di menu **Relazione**.

È possibile inserire i dati generali riguardanti la verifica a Liquefazione da analizzare.

LAN userà questi dati in relazione, nel caso in cui verrà richiesto nella finestra **Genera Relazione**.

In particolare i dati da inserire nei vari campi di input presenti, ognuno con un numero massimo di **64** caratteri, riguardano:
Progetto, descrizione della verifica a liquefazione da effettuare;

Ditta, generalità del committente della verifica a liquefazione;

Comune, località in cui ricade la verifica a liquefazione;

Progettista, generalità del tecnico che esegue la verifica a liquefazione;

Direttore dei Lavori, generalità del tecnico direttore della verifica a liquefazione;

Impresa Esecutrice, denominazione dell'impresa esecutrice dei lavori.

 A screenshot of a software window titled 'Dati Generali'. It contains six text input fields arranged vertically: 'Progetto' (containing 'Verifica a Liquefazione'), 'Committente', 'Comune', 'Progettista', 'Direttore dei Lavori', and 'Impresa esecutrice'. At the bottom right of the window is a 'Help' button.

8.2 Genera relazione

Alla finestra **Genera relazione di calcolo** si accede attraverso la voce **Genera relazione** del menu **Relazione** o dal pulsante presente sulla **barra dei comandi**.

Nella finestra è possibile fornire tutte le impostazioni per ottenere una relazione di calcolo pressoché definitiva.

La finestra è suddivisa in tre sezioni:

Moduli da generare, in cui è possibile selezionare i moduli da inserire;

Descrizione metodi di calcolo, in cui è possibile selezionare la descrizione dei metodi di calcolo utilizzati nell'analisi;

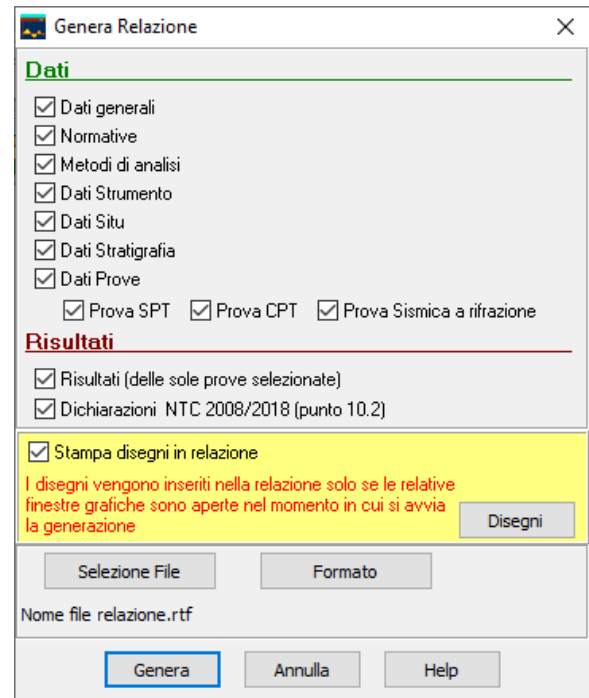
Risultati analisi, in cui è possibile selezionare i risultati dell'analisi da riportare in relazione.

Vi sono inoltre tre pulsanti:

[Selezione file] permette di accedere alla finestra di sistema nella quale è possibile impostare il nome del file in cui verrà salvata la relazione di calcolo.

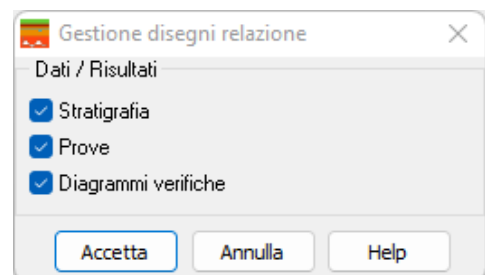
[Formato] con il quale si accede alla finestra **Formato relazione** per impostare font, altezza e stile del carattere sia del testo sia dei titoli.

Il pulsante **[Genera]** avvia la generazione della relazione di calcolo della fondazione analizzata. Al termine della generazione comparirà il messaggio **Relazione generata correttamente**.



8.3 Gestione disegni relazione

Dalla finestra è possibile scegliere i disegni da riportare in modo automatico in relazione.



8.4 Formato relazione di calcolo

Alla finestra si accede tramite il pulsante **Formato** della finestra **Genera relazione di calcolo**.

La finestra consente di impostare il formato della relazione di calcolo.

I dati da inserire sono riportati di seguito:

Font testo È possibile selezionare il font per il testo della relazione. L'Utente può selezionare tutti i font installati nel sistema.

Dimensione caratteri È possibile selezionare la dimensione dei caratteri per il testo della relazione. Dal *combo-box* è possibile selezionare l'altezza del carattere da usare tra quelle proposte.

Allineamento paragrafi	È possibile selezionare l'allineamento (<i>Giustificato, Sinistra, Centrato, Destra</i>) per il testo della relazione.
Formato titoli	È possibile selezionare il font per i titoli della relazione. L'Utente può selezionare tutti i font installati nel sistema.
Attributi titoli	È possibile selezionare gli attributi dei titoli della relazione: <i>Sottolineato</i> <i>Grassetto</i> <i>Italico</i>
Dimensione caratteri	È possibile selezionare la dimensione dei caratteri per i titoli della relazione. Dal <i>combo-box</i> è possibile selezionare l'altezza del carattere da usare tra quelle proposte.
Allineamento titoli	È possibile selezionare l'allineamento (<i>Giustificato, Sinistra, Centrato, Destra</i>) per i titoli della relazione.

9 Menu Window

Attraverso i comandi contenuti in questo menu, viene visualizzata la finestra dell'ambiente grafico integrato nel programma e vengono definite le opzioni che riguardano le varie visualizzazioni possibili.

Tutti i comandi del menu sono attivabili anche dai relativi pulsanti presenti sulla **barra dei comandi**.

9.1 Ambiente grafico

Si accede alla finestra di visualizzazione grafica di **LAN** dalla voce **Grafica** del menu **Window** o agendo sul pulsante presente sulla **barra dei comandi**.



L'ambiente grafico è uno strumento snello, veloce e potente che consente al progettista di “verificare” tutte le scelte effettuate. L'ambiente è dotato dei seguenti comandi:

Barra delle viste dei Dati/Risultati



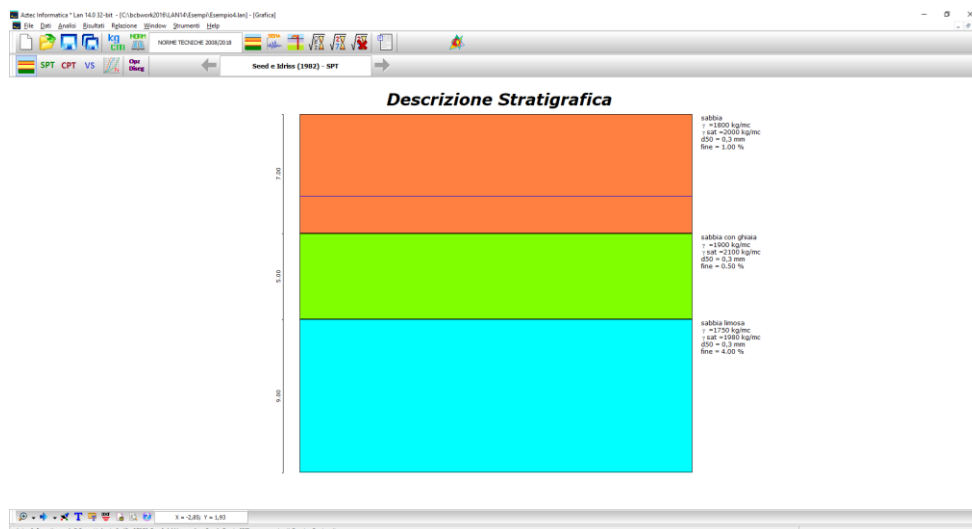
Barra di gestione del disegno



9.2 Viste specifiche

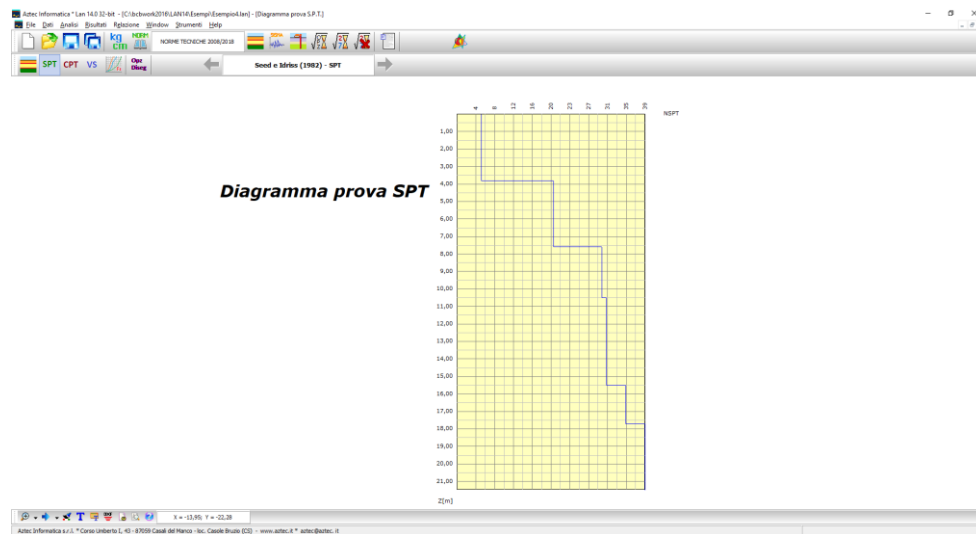
9.2.1 Visualizza stratigrafia

Il pulsante consente di visualizzare la stratigrafia del sito da analizzare.



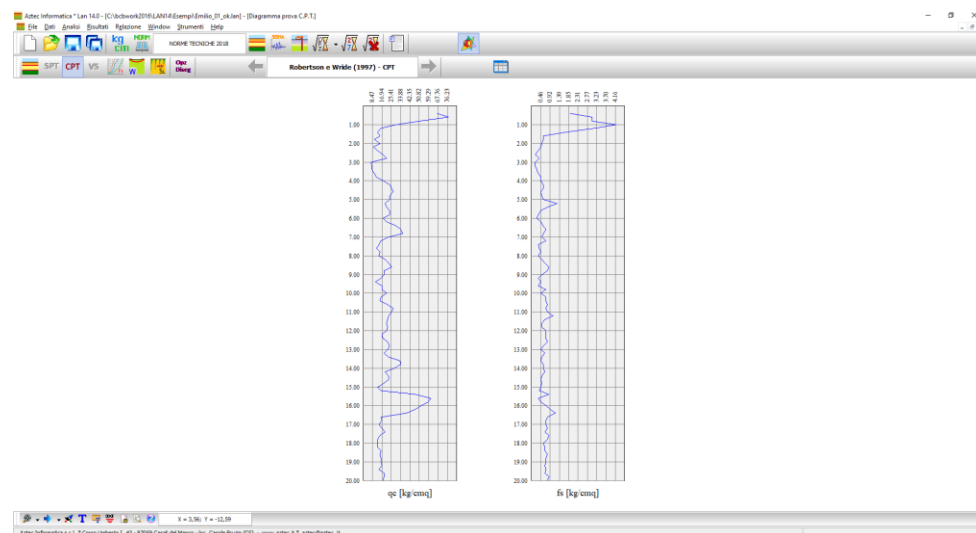
9.2.2 Visualizzazione dati prova S.P.T

Il pulsante consente di visualizzare i dati della prova SPT.



9.2.3 Visualizzazione dati prova C.P.T

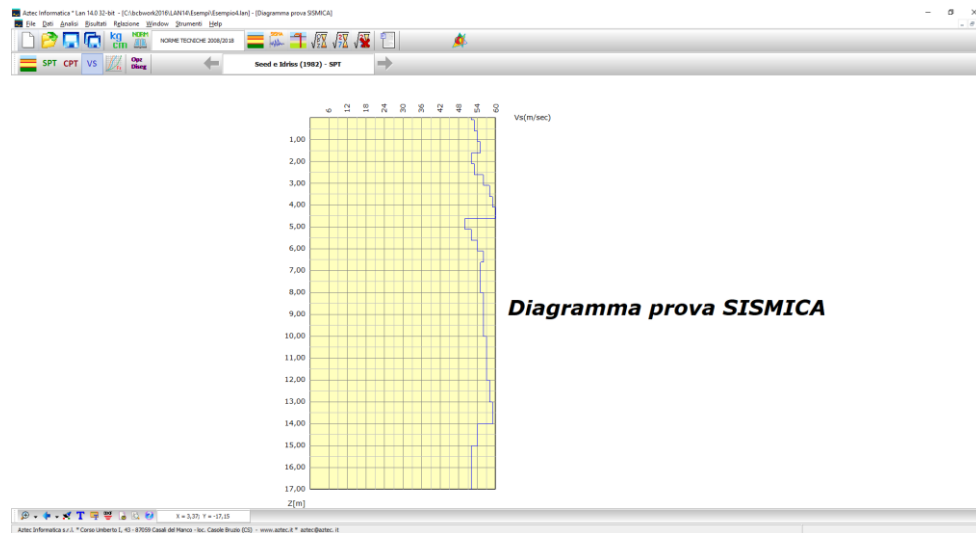
Il pulsante consente di visualizzare i dati della prova CPT.



9.2.4 Visualizzazione dati prova SISMICA

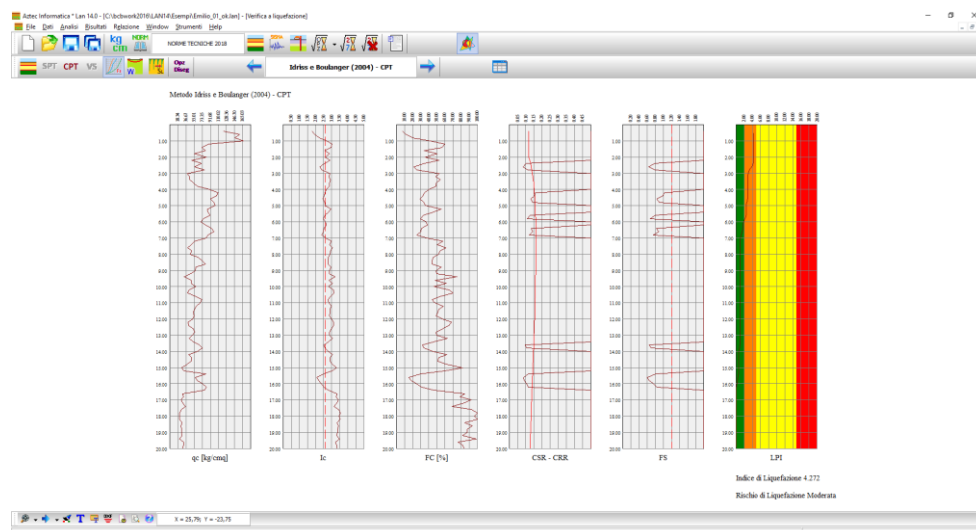
Il pulsante consente di visualizzare i dati della prova SISMICA a rifrazione.

VS



9.2.5 Visualizzazione andamento fattore di sicurezza

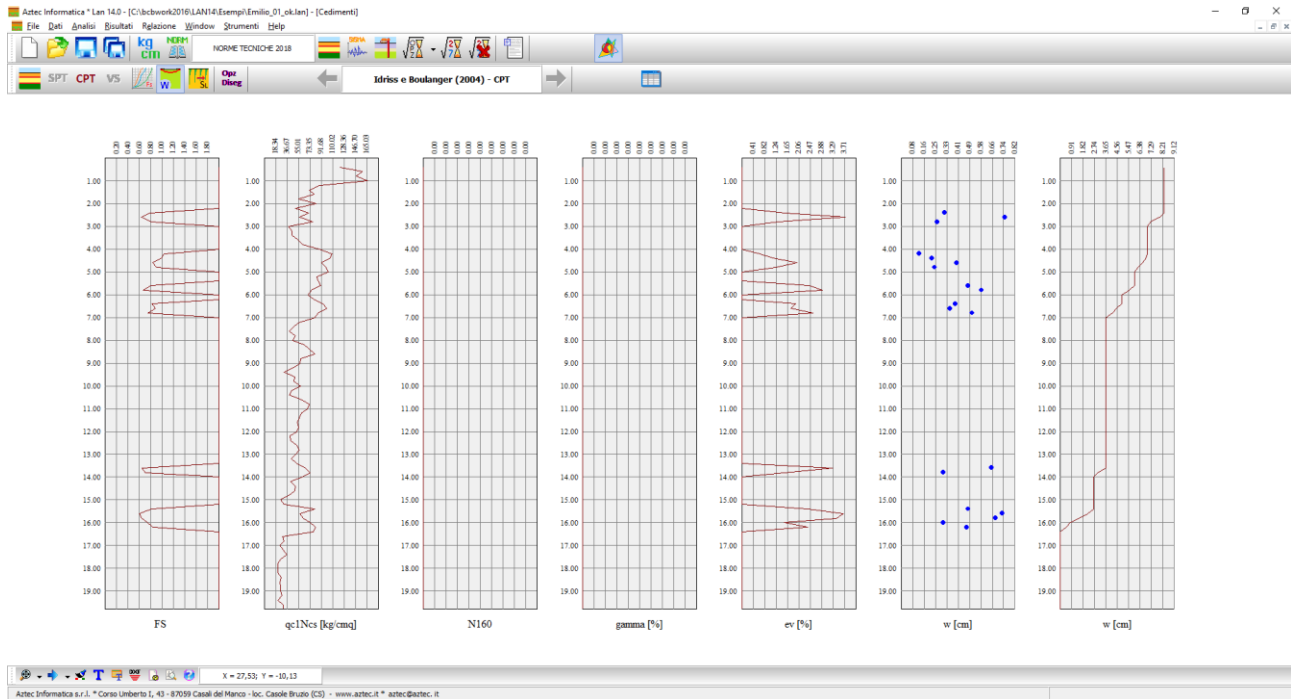
Il pulsante permette di visualizzare i risultati grafici relativi al calcolo del fattore di sicurezza calcolato con i vari metodi richiesti al programma. Quando si sceglie questa vista è possibile scorrere i risultati attraverso i pulsanti che sono a destra e a sinistra del pannello che descrive il metodo usato/visualizzato.



Il numero di diagrammi rappresentati dipende dal metodo selezionato e l'ultimo diagramma rappresenta l'indice di potenziale liquefazione (LPI) che dipende dal metodo scelto nelle opzioni di analisi.

9.2.6 Visualizzazione andamento cedimenti

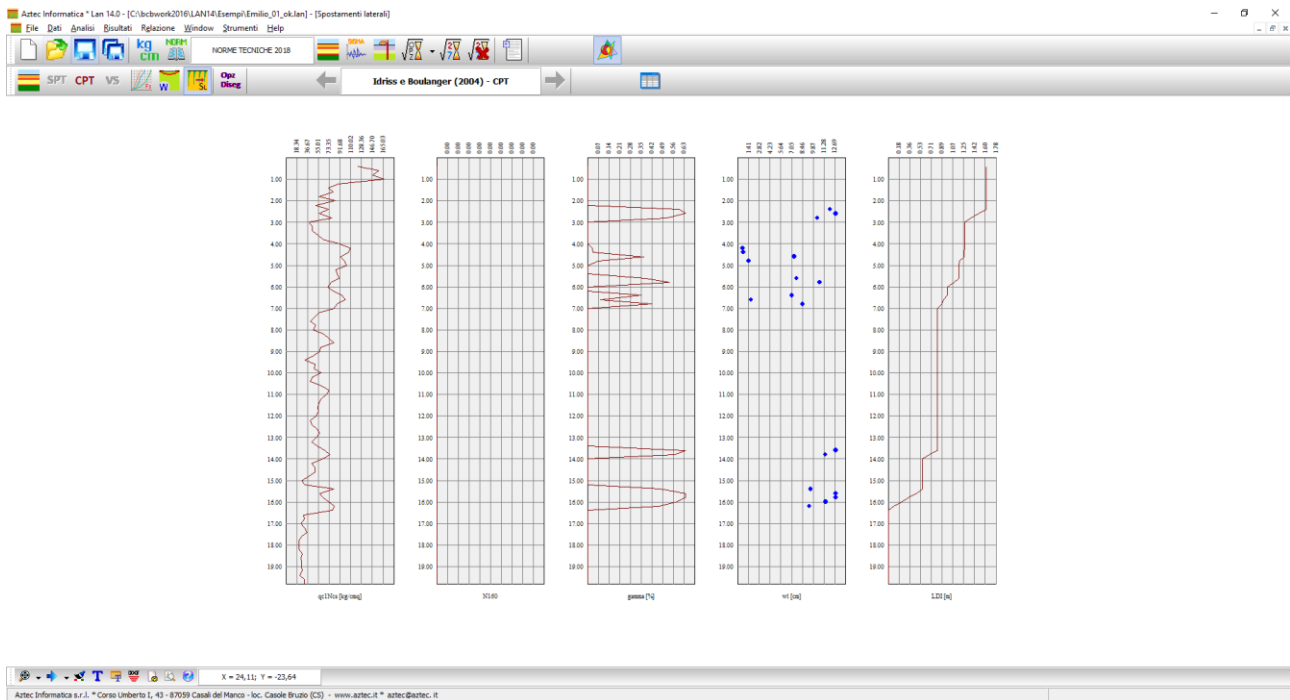
Il pulsante permette di visualizzare i risultati grafici sui cedimenti ed il loro andamento.



9.2.7 Visualizzazione andamento spostamenti laterali

Il pulsante permette di visualizzare i risultati grafici sugli spostamenti laterali.





9.2.8 Opzioni di rappresentazione

Il pulsante permette di accedere alla finestra **Opzioni grafica** e settare le opzioni di rappresentazione dei vari disegni elencati sopra.



Dalla finestra è possibile definire:

- i caratteri per legenda e quotature;
- il tipo di grafico per rappresentare le prove ed i fattori di sicurezza;
- i colori di sfondo del grafico e delle linee che descrivono le prove o il fattore di sicurezza;
- il passo della griglia in direzione z ed x, espressa in [L1];

9.3 Inserimento di una didascalia

È possibile inserire una didascalia per ogni disegno visualizzato nell'ambiente grafico. Per accedere alla finestra riportata in figura si clicca sul pulsante presente sulla barra di gestione dei disegni.

Nella finestra è possibile definire le seguenti caratteristiche:

- il testo da riportare sul disegno attivo;
- definire il *tipo*, lo *stile*, la *dimensione*, gli *effetti* e il *colore* del carattere cliccando sul pulsante **[Caratteri]**. Verrà visualizzata la finestra di sistema **Carattere** nella quale si scelgono le impostazioni necessarie.



9.4 Elenco didascalie

Per accedere alla finestra riportata in figura si clicca sul pulsante presente sulla barra di gestione dei disegni.

Nella colonna **Vista**, attraverso il combo-box presente, si seleziona il disegno cui attribuire la didascalia.

Nella colonna **Testo** si inserisce il testo che comparirà sul disegno.

Le colonne **X** ed **Y** consentono di definire la posizione della didascalia sul disegno.

La colonna **A(°)** consente di definire l'angolo di rotazione del testo inserito.

Nella colonna **Font** si sceglie il carattere con cui scrivere la didascalia.

Oltre che modificando le coordinate X ed Y, le didascalie possono essere spostate sul disegno trascinandole con il mouse.



Per disattivare tutte le didascalie inserite, si disabilita il *check-box* **Attiva didascalie**.

Per disattivare una singola didascalia, nel combo-box della corrispondente riga si seleziona la voce **Disattiva**.

E' possibile inserire nelle didascalie dei suffissi che facilitano l'input del testo:

testodidascalia_**SCALA** Nella didascalia è inserita la scala definita per il disegno

E' possibile inoltre inserire nelle didascalie la formattazione del testo:

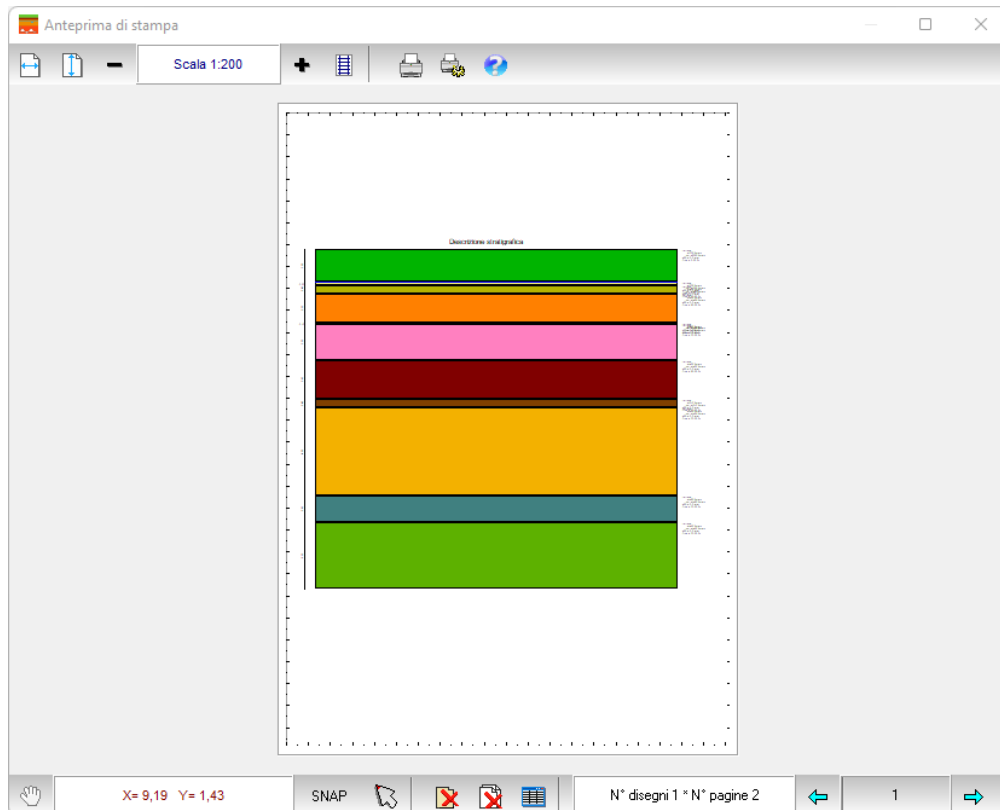
__**S** testodidascalia __**S** Il testo della didascalia è in formato Symbol

__**B** testodidascalia __**B** Il testo della didascalia è in stile grassetto

__I testodidascalia __I Il testo della didascalia è in stile corsivo
 __U testodidascalia __U Il testo della didascalia ha sottolineatura singola

9.5 Anteprima di stampa

La finestra compare con l'ingombro del foglio impostato nella stampante di sistema con al centro riportato il disegno attivo:



E' possibile posizionare il disegno sul foglio mediante trascinamento con il mouse: si clicca in corrispondenza del disegno e lo si trascina nella nuova posizione, rilasciando quindi il mouse.

Sulla barra orizzontale sono riportati i seguenti pulsanti:

Chiudi cliccando sul pulsante si abbandona la fase di anteprima di stampa e si ritorna alla finestra grafica;



cliccando sul pulsante si accede all'help in linea;



cliccando sul pulsante si ottiene la centratura del disegno sul foglio in senso orizzontale;



cliccando sul pulsante si ottiene la centratura del disegno sul foglio in senso verticale;

(X, Y) nel riquadro sono riportate le coordinate di posizione del mouse nella pagina del disegno;

Scala il riquadro riporta la scala impostata;



cliccando sul pulsante è possibile decrementare il fattore di scala;



cliccando sul pulsante è possibile incrementare il fattore di scala;



il pulsante avvia la procedura di stampa;



il pulsante consente di settare i parametri della stampante utilizzata.

Per la composizione delle tavole di disegno si può utilizzare l'**Impaginatore Grafico**.

9.6 Finestra Impaginatore Grafico

La finestra viene visualizzata cliccando sul pulsante **Impaginatore** presente sulla barra inferiore delle **Opzioni grafiche**.

La selezione dei disegni avviene attraverso la voce **Impagina disegno** del pop-up menu visualizzato cliccando con il tasto destro del mouse sulla finestra grafica.

E' possibile posizionare i disegni sul foglio mediante trascinamento con il mouse: si clicca in corrispondenza del disegno e lo si trascina nella nuova posizione, rilasciando quindi il mouse.

La barra orizzontale superiore contiene gli stessi comandi presenti nella **Finestra di Anteprima**.

Nella barra orizzontale inferiore sono presenti i seguenti pulsanti:



cliccando sul pulsante vengono cancellati tutti i disegni inseriti.

Per cancellare un singolo disegno basta selezionarlo con il clic del mouse e premere il tasto **[Canc]**.



cliccando sul pulsante è visualizzata la finestra **Elenco disegni**;



cliccando sul pulsante è visualizzata la finestra **Impostazioni disegno**;

N° disegni – N° pagine, il pannello riporta il numero totale di disegni e pagine inserite.

SNAP cliccando sul pulsante è possibile attivare/disattivare lo snap;

Cliccando con il tasto destro del mouse nella finestra, compare un menu contenente le seguenti voci:

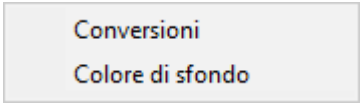
Taglia, consente di tagliare il disegno selezionato;

Incolla, consente di incollare il disegno precedentemente tagliato nella pagina corrente e nel punto di clic del mouse.

10 Menu Strumenti

Dal menu Strumenti è possibile richiamare delle funzioni di utilità:

- **Conversioni**, accede ad una finestra che consente la conversione da tra unità di misura. E' possibile convertire lunghezze, forze, pressioni, volumi, pesi, angoli, portate, velocità, permeabilità e superfici.
- **Colore di sfondo**, consente di cambiare colore allo sfondo della finestra principale.

A screenshot of a software menu with two items: 'Conversioni' and 'Colore di sfondo'. The 'Conversioni' item is highlighted with a light blue background.

Conversioni

Colore di sfondo

11 Menu Help

LAN è dotato di un potente sistema di Help che fornisce indicazioni sugli aspetti di funzionamento del programma, sugli aspetti teorici dei metodi d'analisi.

Nel menu in esame sono riportati i comandi per accedere ad alcune delle parti del sistema di aiuto.

Informazioni, tramite questo comando si accede alla finestra di dialogo dove è riportata l'intestazione dell'Utente e la versione del programma.

Una volta attivato l'Help si può "navigare", nella guida, con gli appositi collegamenti ipertestuali presenti in ogni sezione visualizzata.

A screenshot of a software menu with four items: 'Indice', 'Messaggi di errore', 'Manuale PDF', and 'Informazioni'. The 'Indice' item is highlighted with a light blue background.

Indice

Messaggi di errore

Manuale PDF

Informazioni

RICHIAMI TEORICI

12 Generalità sul calcolo della Liquefazione dei Terreni

Vengono riportati di seguito i principali metodi per il calcolo della suscettibilità a liquefazione dei terreni sabbiosi saturi.

Tali metodi fanno parte dei *metodi semplificati* che si basano su risultati di prove in *situ* quali sono le prove penetrometriche statiche, dinamiche o le prove sismiche a rifrazione. Il fattore di sicurezza, F_s nella verifica di resistenza alla liquefazione di un livello di terreno è per definizione il rapporto tra la capacità di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di resistenza ciclica **CRR** (Cyclic Resistance Ratio), e la domanda di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di tensione ciclica **CSR**. Si ha dunque:

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

La stima del fattore di sicurezza F_s passa attraverso la valutazione delle due quantità CSR e CRR.

12.1 Calcolo della domanda di resistenza a liquefazione CSR

La variabile CSR può essere stimata attraverso l'equazione semi empirica proposta da Seed e Idriss (1971):

$$CSR = \frac{\tau_{AV}}{\sigma'_v} = 0.65 \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

Dove:

a_{\max} , accelerazione orizzontale di picco prodotta dal terremoto in superficie;

g , accelerazione di gravità;

σ_v , tensione verticale litostatica totale;

σ'_v , tensione litostatica efficace;

r_d , coeff. di riduzione delle tensioni;

MSF , coeff. correttivo funzione della magnitudo del sisma.

L'equazione utilizzata per il calcolo di r_d viene di seguito riportata:

$$\begin{aligned} r_d &= 1 - 0.00765 \cdot z & z \leq 9.15 \text{ m} \\ r_d &= 1.174 - 0.0267 \cdot z & 9.15 \leq z \leq 23 \text{ m} \\ r_d &= 0.774 - 0.008 \cdot z & 23.0 \leq z \leq 30 \text{ m} \\ r_d &= 0.5 & z \geq 30 \text{ m} \end{aligned}$$

Per i metodi di Idriss Boulanger (2004), Idriss Boulanger (2014) e Andrus e Stokoe (2000)

$$r_d = e^{\alpha(z) + \beta(z)M}$$

con:

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

con z profondità dal piano campagna espressa in [m].

L'equazione utilizzata per il calcolo di MSF viene di seguito riportata per i diversi metodi:

per il metodo di Idriss e Boulanger (2004):

$$MSF = 6.9e^{\frac{-M}{4}} - 0.058 \quad \text{per } M > 5.2$$

$$MSF = 1.8 \quad \text{per } M \leq 5.2$$

per il metodo di Andrus e Stokoe (2000):

$$MSF = 6.9e^{\frac{-M}{4}} - 0.06 \leq 1.82$$

per il metodo di Idriss e Boulanger (2014):

$$MSF = 1.0 + (MSF_{max} - 1.0) \left(8.64e^{\frac{-M}{4}} - 1.325 \right)$$

Dove:

$$MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{31.5} \right)^2 \leq 2.2 \quad \text{Per prova SPT}$$

$$MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{(q_{c1Ncs})}{180} \right)^3 \leq 2.2 \quad \text{Per prova CPT}$$

Per l'Eurocodice 8 per tener conto di terremoti di magnitudo diversa da 7.5 utilizza la seguente correlazione:

M	MSF
5.5	2.86
6.0	2.20
6.5	1.69
7.0	1.30
8.0	0.67

Per gli altri metodi:

$$MSF = \left(\frac{M}{7.5} \right)^{-3.3} \quad \text{per } M \leq 7.5$$

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}} \quad \text{per } M > 7.5$$

Calcolo della capacità di resistenza a liquefazione da prove in situ CRR.

Le prove in situ utilizzate per il calcolo di CRR sono:

- prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test);
- prove penetrometriche statiche (CPT);
- misure di velocità delle onde di taglio (V_s).

Riportiamo di seguito i metodi più utilizzati per il calcolo della resistenza CRR.

12.1.1 Metodo di Seed e Idriss (1982) - SPT

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove penetrometriche dinamiche viene stimata dagli autori con la seguente espressione:

$$CRR = \frac{N_a}{90}$$

con:

$$N_a = N_1 + N_{SPT} \cdot \left(\frac{1.7}{0.7 + \sigma'_v} \right)$$

dove:

$$N_1 = \begin{cases} 0.0 & \text{se } d_{50} > 0.25 \\ 7.5 & \text{se } d_{50} \leq 0.25 \end{cases}$$

N_{SPT} è il numero di colpi della prova penetrometrica standard;

d_{50} è il diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50% espresso in [mm];

σ'_v è la pressione verticale efficace, espressa in [Kg/cm²].

Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta $F_s \leq 1.3$.

Tra le sue formulazioni quella del 1982 è di facile applicazione richiedendo pochi parametri geotecnici.

12.1.2 Metodo di Seed et Al. (1985) - SPT

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove penetrometriche dinamiche viene stimata dagli autori con la seguente espressione:

$$CRR = \frac{0.048 - 0.004721N_{60CS} + 0.0006136(N_{60CS})^2 - 0.00001673(N_{60CS})^3}{1 - 0.1248N_{60CS} + 0.009578(N_{60CS})^2 - 0.0003285 \cdot (N_{60CS})^3 + 0.000003714 \cdot (N_{60CS})^4}$$

dove

$$N_{60CS} = A + B \cdot N_{60}$$

con:

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

$$A = \begin{cases} 0.0 & \text{per } FC \leq 5\% \\ \exp \left[1.76 - \frac{190}{FC^2} \right] & \text{per } 5\% < FC \leq 35\% \\ 5.0 & \text{per } FC \geq 35\% \end{cases}$$

$$B = \begin{cases} 1.0 & \text{per } FC \leq 5\% \\ 0.99 + \frac{FC^{1.5}}{1000} & \text{per } 5\% < FC \leq 35\% \\ 1.2 & \text{per } FC \geq 35\% \end{cases}$$

dove FC è la frazione di fine contenuto nella sabbia, espressa in [%].

FATTORE	ATTREZZATURA	SIMBOLO	VALORE
Pressione litostatica efficace		C_N	$\sqrt{\frac{1}{\sigma'_v}} \leq 2$
Rapporto energetico	Maglio di Donut Maglio di Safety Maglio a rilascio automatico Donut	C_E	da 0.5 a 1.0 da 0.7 a 1.0 da 0.8 a 1.3
Diametro del foro	Da 65 mm a 115 mm 150 mm 200 mm	C_B	1.0 1.05 1.15
Lunghezza delle aste	da 3 m a 4 m da 4 m a 6 m da 6 m a 10 m Da 10 m a 30 m > 30 m	C_R	0.75 0.85 0.95 1.0 >1.0
Metodo di campionamento	campionatore standard	C_S	1.0

	campionatore senza astuccio		da 1.1 a 1.3
--	-----------------------------	--	--------------

Le correzioni apportate all'indice di prova (N_{SPT}) sono necessari per rendere omogenei e confrontabili i risultati. Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta $F_S \leq 1.0$.

12.1.3 Metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983) - SPT

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove penetrometriche dinamiche viene stimata dagli autori con la seguente espressione:

$$CRR = a \cdot C_r \cdot \left[\frac{16 \cdot \sqrt{Na}}{100} + \left(\frac{16 \cdot \sqrt{Na}}{C_s} \right)^n \right]$$

con:

$$Na = N_1 + N_{SPT} \cdot \left(\frac{1.7}{0.7 + \sigma'_v} \right)$$

dove:

$$a = 0.45$$

$$C_r = 0.57$$

$$C_s = 75$$

$$n = 14$$

$$N_1 = 0 \quad \text{per una frazione di fine FC} < 5\%$$

$$N_1 = 10FC + 4 \quad \text{per una frazione di fine FC} \geq 5\%$$

- N_{SPT} , numero di colpi della prova penetrometrica standard;
- FC, frazione di fine contenuto nella sabbia, espressa in [%];
- σ'_v , pressione verticale efficace, espressa in [Kg/cm²].

Tale metodo è stato proposto dagli Autori in condizioni di depositi con piano campagna orizzontale ed in campo libero.

Poiché il moto sismico non può essere determinato con una precisione minore del 10%, gli Autori suggeriscono di adoperare ai fini progettuali un valore del fattore di sicurezza nel seguente modo:

- $FS \geq 1.3$ per sabbie medio-dense;
- $FS \geq 1.5$ per sabbie medio-sciolte;

12.1.4 Metodo di Iwasaki et Al. (1978, 1984) - SPT

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove penetrometriche dinamiche viene stimata dagli autori con la seguente espressione:

$$CRR = \begin{cases} 0.0882 \cdot N_{SPT} \cdot \sqrt{\sigma'_v + 0.7} + 0.225 \cdot \log_{10} \left(\frac{0.35}{d_{50}} \right) & \text{per } 0.04 \leq d_{50} \leq 0.60 \\ 0.0882 \cdot N_{SPT} \cdot \sqrt{\sigma'_v + 0.7} - 0.05 & \text{per } 0.60 < d_{50} \leq 1.5 \end{cases}$$

Dove:

N_{SPT} è il numero di colpi della prova penetrometrica standard;

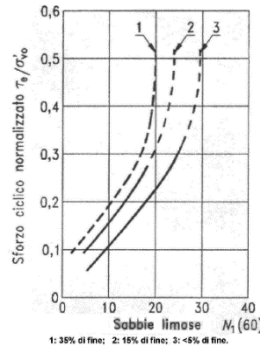
d_{50} è il diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50% espresso in [mm];

σ'_v è la pressione verticale efficace, espressa in [Kg/cm²].

Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta $F_s \leq 1.0$.

12.1.5 Metodo dell'Eurocodice 8 - SPT

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove penetrometriche dinamiche viene stimata con la seguente correlazione:



$$(N_1)_{60} = C_N \cdot C_E \cdot N_{SPT}$$

- N_{SPT} , numero di colpi della prova penetrometrica standard. N_{SPT} deve essere ridotto del 25% per profondità minori di 3 m.
- C_E , normalizzazione rispetto ad un valore del rapporto di energia $ER/60$;
- C_N , normalizzazione rispetto alla pressione di confinamento:

$$C_N = \sqrt{\frac{1}{\sigma'_v}} \leq 2.0$$

- σ'_v , è la pressione verticale efficace, espressa in [Kg/cm²].

Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta $F_s \leq 1.0$.

12.1.6 Metodo di Monaco e Marchetti (2005) - SPT

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove penetrometriche dinamiche (SPT) viene stimata dagli autori secondo la seguente relazione:

$$CRR = 0.0107 \cdot K_D^3 - 0.0741 \cdot K_D^2 + 0.2169 \cdot K_D - 0.1306$$

dove K_D è il coefficiente di spinta orizzontale ed è calcolato come segue:

$$K_D = -3E - 06 \cdot D_r^3 + 0.001 \cdot D_r^2 - 0.036 \cdot D_r + 1.585$$

correlazione di Reyna e Chameau (1991).

D_r è la densità relativa ed è calcolata con la correlazione di Gibbs e Holtz attraverso la seguente espressione:

$$D_r = \frac{(N_1)_{60}}{\sqrt{17 + 24 \frac{\sigma'_v}{P_a}}}$$

Dove:

- σ'_v è la tensione verticale efficace
- P_a è la pressione atmosferica
- $(N_1)_{60}$ assume la seguente espressione

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S$$

I vari fattori sono esplicitati di seguito:

FATTORE	ATTREZZATURA	SIMBOLO	VALORE
Pressione litostatica efficace		C_N	$\sqrt{\frac{1}{\sigma'_v}} \leq 2$
Rapporto energetico	Maglio di Donut Maglio di Safety Maglio a rilascio automatico Donut	C_E	da 0.5 a 1.0 da 0.7 a 1.0 da 0.8 a 1.3
Diametro del foro	Da 65 mm a 115 mm 150 mm 200 mm	C_B	1.0 1.05 1.15
Lunghezza delle aste	da 3 m a 4 m da 4 m a 6 m da 6 m a 10 m Da 10 m a 30 m > 30 m	C_R	0.75 0.85 0.95 1.0 >1.0
Metodo di campionamento	campionatore standard campionatore senza astuccio	C_S	1.0 da 1.1 a 1.3

Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta $F_s \leq 1.0$.

12.1.7 Metodo di Idriss e Boulanger (2004) - SPT

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove penetrometriche dinamiche (SPT) viene stimata dagli autori secondo la seguente relazione:

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

Con

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

Dove

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$$

Con

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

P_a pressione atmosferica

σ'_v , pressione verticale efficace espressa in [Kg/cm²].

C_E è il fattore correttivo per considerare il rendimento energetico ER dell'attrezzatura.

$$C_E = \frac{ER_m}{60}$$

Secondo Cestari (1996) la configurazione di prova correntemente adoperata in Italia (sollevamento/rilascio di tipo “Trip” con battitura di tipo “Pilcon”) ha un rendimento energetico del 60% ed un coeff. $C_E=1.0$.

C_B è il fattore correttivo per le dimensioni del foro di sondaggio;

C_R è il fattore correttivo per la lunghezza delle aste della macchina esecutrice;

C_S è il fattore correttivo per il tipo di attrezzo campionatore.

12.1.8 Metodo di Idriss e Boulanger (2014) - SPT

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) viene stimata attraverso la seguente espressione:

$$CRR = e^{\left[\frac{(N_1)_{60CS}}{14,1} + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23,6} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{25,4} \right)^4 - 2,8 \right]}$$

dove:

$$(N_1)_{60CS} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$$

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$$

$$\Delta(N_1)_{60} = e^{\left(\frac{1,63 + \frac{9,7}{FC+0,01} - \left(\frac{15,7}{FC+0,01} \right)^2}{1} \right)}$$

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^{0,784 - 0,0768 \sqrt{(N_1)_{60CS}}} \leq 1,7$$

12.1.9 Metodo di Robertson e Wride (1997) – CPT

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove penetrometriche statiche (CPT) viene stimata dagli autori con la seguente espressione:

$$CRR = \begin{cases} 0,883 \cdot \left[\frac{(q_{c1n})_{CS}}{1000} \right] + 0,05 & \text{per } 0 < (q_{c1n})_{CS} < 50 \\ 93 \cdot \left[\frac{(q_{c1n})_{CS}}{1000} \right]^3 + 0,08 & \text{per } 50 < (q_{c1n})_{CS} < 160 \end{cases}$$

Si determina il coeff. I_c

$$I_c = \sqrt{(3,47 - \log Q)^2 + (\log F - 1,22)^2}$$

dove

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_v} \cdot 100\%$$

attrito laterale specifico normalizzato e

$$Q = \frac{q_c - \sigma_v}{\sigma'_v}$$

resistenza alla punta normalizzata.

Dove:

q_c , resistenza alla punta misurata espressa in $[Kg/cm^2]$;

f_s , attrito laterale specifico misurato espresso in $[Kg/cm^2]$;

σ_v , pressione verticale totale espressa in $[Kg/cm^2]$;

σ'_v , pressione verticale efficace espressa in $[Kg/cm^2]$.

Se $I_c > 2.6$

$$q_{c1N} = Q$$

se $I_c \leq 1.64$	$K_c = 1.0$
se $I_c > 1.64$	$K_c = -0.403 I_c^4 + 5.58 I_c^3 - 21.63 I_c^2 - 33.75 I_c - 17.88$
se $I_c \geq 2.6$	Terreno non liquefacibile

Se $I_c < 2.6$

$$q_{c1N} = \left(\frac{q_c}{\sigma'_v} \right)^n$$

Si ricalcola I_c con la formula con $n=0.5$

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log q_{c1N})^2 + (\log F - 1.22)^2}$$

Se $I_c > 2.6$ si ricalcolano le due ultime formule con $n=0.75$;

Se $I_c < 2.6$

se $I_c \leq 1.64$

$$K_c = 1.0$$

se $I_c > 1.64$

$$K_c = -0.403 I_c^4 + 5.58 I_c^3 - 21.63 I_c^2 - 33.75 I_c - 17.88$$

Si calcola $(q_{c1N})_{CS}$ resistenza alla punta corretta e normalizzata:

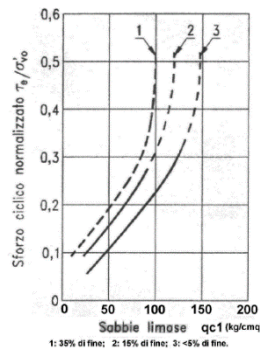
$$(q_{c1N})_{CS} = K_c q_{c1N}$$

Per $I_c \geq 2.6$ non esiste fenomeno di liquefazione.

Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta $F_s \leq 1.0$.

12.1.10 Metodo dell'Eurocodice 8 - CPT

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove penetrometriche statiche (CPT) viene stimata con la seguente correlazione:



$$q_{c1} = C_N \cdot q_c$$

con

$$C_N = \sqrt{\frac{1}{\sigma'_v}} \leq 2.0$$

coeff. di normalizzazione rispetto alla pressione di confinamento

σ'_v , pressione verticale efficace espressa in [Kg/cm²].

q_c , resistenza alla punta misurata espressa in [Kg/cm²];

Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta $F_s \leq 1.0$.

12.1.11 Metodo di Monaco e Marchetti (2005) - CPT

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove penetrometriche statiche (CPT) viene stimata dagli autori con la seguente espressione:

$$CRR = 0.0107 \cdot K_D^3 - 0.0741 \cdot K_D^2 + 0.2169 \cdot K_D - 0.1306$$

dove K_D è il coefficiente di spinta orizzontale ed è calcolato come segue:

$$K_D = -3E - 06 \cdot D_r^3 + 0.001 \cdot D_r^2 - 0.036 \cdot D_r + 1.585$$

correlazione di Reyna e Chameau (1991).

D_r è la densità relativa ed è calcolata con la correlazione di Jamiolkowski secondo la seguente espressione:

$$D_r = -98 + 66 \cdot \log_{10} \left(\frac{q_{c1N}}{\sqrt{\sigma'_v}} \right)$$

dove σ'_v è la tensione verticale efficace, $q_{c1N} = C_N \cdot q_c$, con q_c pressione alla punta e

$$C_N = \sqrt{\frac{p_a}{\sigma'_v}} \leq 2$$

Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta $F_s \leq 1.0$.

12.1.12 Metodo di Idriss e Boulanger (2004) - CPT

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove penetrometriche statiche (CPT) viene stimata dagli autori secondo la seguente relazione:

$$CRR = \exp \left[\frac{q_{c1N}}{540} + \left(\frac{q_{c1N}}{67} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1N}}{80} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1N}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

Con

$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_c}{p_a}$$

Dove

$$C_Q = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{1.338 - 0.294(q_{c1N})^{0.264}} \leq 1.7$$

con p_a è la pressione atmosferica e σ'_v è la tensione verticale efficace espresse nella stessa unità di misura.

Tale funzione di CRR è utilizzabile anche per i materiali con frazione fina non trascurabile. In tal caso la resistenza penetrometrica normalizzata, q_{c1N} , deve essere ricondotta ad un valore equivalente per sabbie pulite $(q_{c1N})_{cs}$, ad esempio mediante la seguente espressione (Robertson e Wride, 1998):

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N}$$

Il fattore correttivo K_c è dato da:

$$K_c = 1.0 \quad \text{per } I_c \leq 1.64$$

$$K_c = -17.88 + 33.75I_c - 21.63I_c^2 + 5.58I_c^3 - 0.403I_c^4 \quad \text{per } I_c > 1.64$$

Il parametro di comportamento del terreno, I_c , è una funzione della resistenza alla punta, q_c , e la resistenza laterale del manicotto, f_s misurate nelle prove CPT.

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2}$$

Con

$$Q = \frac{q_c - \sigma_v}{P_a} \left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^n$$

Resistenza penetrometrica normalizzata e

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_v} 100\%$$

Resistenza laterale normalizzata.

L'esponente n varia tra 0.5 per le sabbie pulite ed 1.0 per i materiali di tipo argilloso.

12.1.13 Metodo di Idriss e Boulanger (2014)

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) viene stimata attraverso la seguente espressione:

$$CRR = e^{\left[\frac{q_{c1Ncs}}{113} + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1Ncs}}{140} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{137} \right)^4 - 2.8 \right]}$$

dove:

$$q_{c1Ncs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

$$q_{c1N} = C_N \frac{q_c}{P_a}$$

$$\Delta q_{c1N} = \left(11.9 + \frac{q_{c1N}}{14.6} \right) e^{1.63 - \frac{9.7}{FC+2} - \left(\frac{15.7}{FC+2} \right)^2}$$

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^{1.338 - 0.249(q_{c1Ncs})^{0.264}} \leq 1.7$$

FC è la frazione di fine. Questa può essere stimata con la formula:

$$FC = 80(I_c + C_{FC}) - 1370\% \leq FC \leq 100\%$$

con I_c indice di comportamento che può essere stimato con la procedura di Robertson e Wride (1997).

Il coeff. I_c (indice di comportamento) si calcola con la relazione:

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q - 3.47)^2}$$

con:

$$Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{v0}}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \quad F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} 100\%$$

dove:

q_c è resistenza alla punta misurata durante la prova CPT

f_s è l'attrito laterale specifico misurato durante la prova CPT

σ_{v0} è la pressione verticale totale

σ'_{v0} è la pressione verticale efficace

L'esponente n assume i valori 0.5 per sabbie e 1.0 per argille. La scelta della tipologia di terreno (sabbia o argilla) si definisce nella descrizione dei terreni.

12.1.14 Metodo di Andrus e Stokoe (1997) – Sismica

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove sismiche a rifrazione (V_S) viene stimata dagli autori con la seguente espressione:

$$CRR = 0.03 \cdot \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + \frac{0.9}{V_{S1C} - V_{S1}} - \frac{0.9}{V_{S1C}}$$

dove

$$V_{S1} = V_S \cdot \left(\frac{1}{\sigma'_v} \right)^{0.25}$$

$$V_{S1C} = \begin{cases} 220 & FC < 5\% \\ 210 & FC = 20\% \\ 200 & FC > 35\% \end{cases}$$

Con

V_S , velocità misurata dell'onda di taglio S espressa in [m/s];

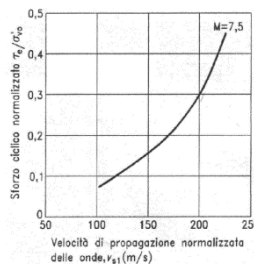
FC, frazione di fine contenuto nella sabbia, espressa in [%];

σ'_v , pressione verticale efficace espressa in [Kg/cm²].

Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta $F_s \leq 1.0$.

12.1.15 Metodo dell'Eurocodice 8 - Sismica

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove sismiche a rifrazione (V_S) viene stimata con la seguente correlazione:



$$V_{S1} = C_N \cdot V_S$$

Con

$$C_N = \left(\frac{1}{\sigma'_v} \right)^{0.25} \leq 2.0$$

coeff. di normalizzazione rispetto alla pressione di confinamento.

σ'_v , pressione verticale efficace espressa in [Kg/cm²].

V_S , velocità misurata dell'onda di taglio S espressa in [m/s].

Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta $F_s \leq 1.0$.

12.1.16 Metodo di Idriss e Boulanger (2004) - Sismica

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (**CRR**) da prove sismiche a rifrazione (V_{S1}) viene stimata con la seguente correlazione:

$$CRR = 0.022 \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + 2.8 \left(\frac{1}{V_{S1}^* - V_{S1}} - \frac{1}{V_{S1}^*} \right)$$

Dove

$$V_{S1} = C_V V_S$$

Con

$$C_V = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.25} \leq 1.4$$

con p_a è la pressione atmosferica e σ'_v è la tensione verticale efficace espresse nella stessa unità di misura.

Le curve sono state ricavate per $V_{S1} \geq 100$ m/s e per $CRR > 0.35$.

Il parametro V_{S1}^* rappresenta il valore di soglia della velocità delle onde di taglio normalizzata, V_{S1} , oltre il quale la liquefazione non avviene. Esso può essere valutato, in funzione della frazione di fine, FC, attraverso le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} V_{S1}^* &= 215 \text{ m/s} && \text{per } FC \leq 5\% \\ V_{S1}^* &= 215 - 0.5(FC - 5) \text{ m/s} && \text{per } 5\% \leq FC \leq 35\% \\ V_{S1}^* &= 200 \text{ m/s} && \text{per } FC > 35\% \end{aligned}$$

12.1.17 Metodo di Andrus e Stokoe (2000)

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) viene stimata attraverso la seguente espressione:

$$CRR = 0.022 \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + 2.8 \left(\frac{1}{V_{S1}^* - V_{S1}} - \frac{1}{V_{S1}^*} \right)$$

dove:

$$\begin{aligned} V_{S1} &= C_V V_S \\ C_V &= \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.25} \end{aligned}$$

dove p_a (pressione atmosferica $\cong 100$ kPa) e σ'_v ha la stessa unità di misura. Il coeff. $C_V \leq 1.4$

Le curve sono state ottenute per $V_{S1} < 100$ m/s e per $CRR > 0.35$

Il parametro V_{S1}^* rappresenta il valore di soglia della velocità delle onde di taglio normalizzata oltre il quale la liquefazione non avviene. Può essere valutato in funzione della frazione di fine FC:

per $FC \leq 5\%$, $V_{S1}^* = 215$ m/s

per $5\% \leq FC \leq 35\%$, $V_{S1}^* = 215 - 0.5(FC - 5)$ m/s

per $FC > 35\%$, $V_{S1}^* = 200$ m/s

12.2 Calcolo dell'Indice del Potenziale di Liquefazione.

Un indice rappresentativo del rischio di liquefazione, applicabile ai metodi che prevedono il calcolo del fattore di sicurezza, è l'indice del potenziale di liquefazione I_L .

Iwasaki et Al. (1978) suggerisce la seguente procedura:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

$$F(z) = \begin{cases} 1-F_s(z) & \text{per } F_s \leq 1.0 \\ 0.0 & \text{per } F_s > 1.0 \end{cases}$$

$$w(z) = 10 \cdot 10^{-10} \cdot \left(\frac{z}{z_{crit}} \right)$$

$z_{crit}=20$ m z_{crit} è la profondità oltre la quale e da escludersi il fenomeno della liquefazione. In base al valore di P_L è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione attraverso la seguente tabella:

Valore I_L	Rischio di Liquefazione
$I_L = 0$	Molto basso
$0 < I_L \leq 5$	Basso
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$I_L \geq 15$	Molto alto

Sonmez (2003) suggerisce la seguente procedura:

$$I_L = \int_{z=0}^{20} F(z)w(z)dz$$

dove:

$$\begin{aligned} F(z) &= 1 - F_s & F_s < 0.95 \\ F(z) &= 2 \cdot 10^{-6} e^{-18.427 F_s} & 0.95 \leq F_s < 1.2 \\ F(z) &= 0 & F_s \geq 1.2 \end{aligned}$$

$$w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \left(1.0 - \frac{z}{z_{crit}} \right)$$

$z_{crit}=20$ m z_{crit} è la profondità oltre la quale e da escludersi il fenomeno della liquefazione. In base al valore di P_L è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione attraverso la seguente tabella:

Valore I_L	Rischio di Liquefazione
$I_L = 0$	Non liquefacibile
$0 < I_L \leq 2$	Basso
$2 < I_L \leq 5$	Moderato
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$I_L \geq 15$	Molto alto

13 Generalità sul calcolo dei Cedimenti

La stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica è affetta da notevoli incertezze. I valori che si ottengono applicando le procedure nel seguito descritte devono intendersi solo orientativi.

Per cedimento si intende l'abbassamento del piano campagna, ovvero l'integrale della deformazione del terreno in direzione verticale, o anche la sommatoria dei prodotti della deformazione verticale media per lo spessore di ciascuno degli strati deformati. In condizioni edometriche, ovvero in presenza di strati di terreno orizzontali ed omogenei, e con tensione costante in direzione orizzontale, le deformazioni laterali sono nulle e pertanto la deformazione verticale coincide con la deformazione volumetrica. Per semplicità e con approssimazione accettabile, salvo casi di morfologia con forti pendenze e stratigrafie molto variabili in direzione orizzontale, per la stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica si può fare riferimento alle condizioni edometriche. Il cedimento permanente indotto dall'azione sismica in corrispondenza di una verticale di esplorazione si ottiene dalla somma dei contributi al cedimento stimati per i diversi strati del sottosuolo, fino alla profondità alla quale tali contributi non sono più significativi. Il cedimento permanente post-sismico può dunque essere stimato con l'equazione:

$$s = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{vi} \Delta z_i$$

in cui ε_{vi} è la deformazione volumetrica (e verticale) dello strato i -esimo e Δz_i il suo spessore.

I cedimenti permanenti indotti dall'azione sismica possono essere dovuti alle deformazioni volumetriche (e quindi verticali) di:

- terreni granulari saturi;
- terreni granulari insaturi;
- terreni coesivi soffici.

I cedimenti conseguenti a liquefazione di terreni granulari saturi hanno luogo immediatamente dopo il terremoto o comunque in un tempo non superiore a un giorno, i cedimenti per densificazione di terreni granulari insaturi avvengono durante lo scuotimento sismico, mentre i cedimenti per consolidazione di terreni coesivi soffici possono richiedere tempi anche molto lunghi in funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche.

I risultati devono essere riportati in una carta di microzonazione dei cedimenti indotti dall'azione sismica ove, oltre alla perimetrazione delle zone dell'area in studio, devono essere localizzate le verticali esplorate ed a ciascuna di esse deve essere associato il valore del cedimento totale stimato. Qualora il cedimento totale sia dovuto a più di uno dei meccanismi in precedenza elencati, dovrà essere specificato il valore di ciascuno dei tre contributi.

Sono nel seguito descritti alcuni metodi di stima dei cedimenti basati sui risultati di prove in sito e/o di laboratorio.

13.1 Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni granulari saturi

La deformazione volumetrica, ε_v (espressa in decimali), può essere stimata mediante le seguenti espressioni (Idriss e Boulanger, 2008):

da prove SPT

$$\varepsilon_v = 1.5e^{-0.369\sqrt{(N_1)_{60cs}}} \min(0.08, \gamma_{\max})$$

da prove CPT

$$\varepsilon_v = 1.5e^{2.551-1.147(q_{c1Ncs})^{0.264}} \min(0.08, \gamma_{\max})$$

in cui γ_{\max} (decimale) è la massima deformazione di taglio indotta dall'azione sismica, determinabile, in prima approssimazione, con la relazione empirica:

$$\gamma_{\max} = \frac{a_{\max}}{g} \sigma_{v0} r_d \frac{1}{G}$$

dove r_d può essere determinato con l'equazione riportata nel §A.2.1 e G è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo γ , che può essere determinato per via iterativa, noto il valore della rigidità iniziale G_0 , utilizzando la legge di variazione $G(\gamma)/G_0$ ottenuta con prove dinamiche in laboratorio o, in modo approssimato, desunta da curve di letteratura per terreni con proprietà simili.

13.2 Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni granulari sciolti e saturi

Per i siti con terreno pianeggiante è ragionevole supporre che dopo il terremoto si verifichi uno spostamento laterale minimo o nullo, in modo tale che lo sforzo volumetrico sia uguale o prossimo alla tensione verticale. Se la deformazione verticale in ogni strato di terreno è integrata con la profondità con l'equazione il risultato dovrebbe essere un indice appropriato del potenziale cedimento del terreno indotto dalla liquefazione a causa del terremoto di progetto.

$$S = \sum_{i=1}^N \varepsilon_{vi} \Delta z_i$$

dove:

S è il cedimento al suolo indotto dalla liquefazione

ε_{vi} è la deformazione volumetrica post-liquefazione per lo strato i -esimo

Δz_i è lo spessore dello strato i -esimo

se $FS \leq 0.5$	$\varepsilon_v = 102(q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$	per $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
se $FS = 0.6$	$\varepsilon_v = 102(q_{c1N})_{cs}^{-0.82}$	per $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 147$

se FS = 0.6	$\varepsilon_v = 2411(q_{c1N})_{cs}^{-1,45}$	per $147 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
se FS = 0.7	$\varepsilon_v = 102(q_{c1N})_{cs}^{-0,82}$	per $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 110$
se FS = 0.7	$\varepsilon_v = 1701(q_{c1N})_{cs}^{-1,42}$	per $110 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
se FS = 0.8	$\varepsilon_v = 102(q_{c1N})_{cs}^{-0,82}$	per $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 80$
se FS = 0.8	$\varepsilon_v = 1690(q_{c1N})_{cs}^{-1,46}$	per $80 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
se FS = 0.9	$\varepsilon_v = 102(q_{c1N})_{cs}^{-0,82}$	per $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 60$
se FS = 0.9	$\varepsilon_v = 1430(q_{c1N})_{cs}^{-1,48}$	per $60 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
se FS = 1.0	$\varepsilon_v = 64(q_{c1N})_{cs}^{-0,93}$	per $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
se FS = 1.1	$\varepsilon_v = 11(q_{c1N})_{cs}^{-0,65}$	per $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
se FS = 1.2	$\varepsilon_v = 9.7(q_{c1N})_{cs}^{-0,69}$	per $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
se FS = 1.3	$\varepsilon_v = 7.6(q_{c1N})_{cs}^{-0,71}$	per $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$
se FS = 2.0	$\varepsilon_v = 0.0$	per $33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$

La formulazione è quella di Zhang, Robertson e Brachman (2002) e vale per le prove CPT.

13.3 Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni granulari insaturi

Il cedimento indotto dall'azione sismica nei terreni granulari insaturi può essere stimato dai risultati di prove SPT con il metodo di Pradel (1998), nel modo seguente:

$$\Delta s = 2\Delta z \varepsilon_{Nc}$$

in cui Δs è il cedimento dello strato di spessore Δz ,

$$\varepsilon_{Nc} = \varepsilon_{15} \left(\frac{N_c}{15} \right)^{0,45}$$

ε_{Nc} è la deformazione volumetrica per un numero di cicli equivalente del terremoto N_c il cui valore è funzione della magnitudo momento secondo l'equazione:

$$N_c = (M - 4)^{2,17}$$

ε_{15} è la deformazione volumetrica dopo 15 cicli di ampiezza γ

$$\varepsilon_{15} = \gamma \left(\frac{(N_1)_{60}}{20} \right)^{-1,2}$$

$(N1)_{60}$ è il numero di colpi della prova SPT normalizzato alla pressione atmosferica, e γ è la deformazione di taglio media indotta dall'azione sismica.

Quest'ultima può essere determinata, in prima approssimazione, con la relazione empirica:

$$\gamma = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \sigma_{v0} r_d \frac{1}{G}$$

dove:

$$r_d = \frac{1}{1 + \left(\frac{z}{30,5}\right)^2}$$

G è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo γ , che può essere determinato per via iterativa, noto il valore della rigidezza iniziale G_0 , utilizzando la legge di variazione $G(\gamma)/G_0$ ottenuta con prove dinamiche in laboratorio o, in modo approssimato, desunta da curve di letteratura per terreni con proprietà simili.

In alternativa la deformazione di taglio media indotta dall'azione sismica può essere stimata con la relazione empirica (Pradel, 1998):

$$\varphi = \frac{1 + a e^{b \frac{\tau_{\text{media}}}{G_0}}}{1 + a}$$

in cui:

$$\tau_{\text{media}} = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \sigma_{v0} r_d$$

$$a = 0.0389 \left(\frac{P'_0}{P_a} \right) 0.124$$

$$b = 6400 \left(\frac{P'_0}{P_a} \right)^{-0,6}$$

dove P_a è la pressione atmosferica e P'_0 è la pressione media efficace alla profondità considerata

$$P'_0 = \left(\frac{1 + 2k_0}{3} \right) \sigma'_{v0}$$

13.4 Stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei terreni coesivi soffici

Nei depositi coesivi soffici ($c_u \leq 70 \text{ kPa}$; $VS \leq 180 \text{ m/s}$) e plastici ($IP \geq 30\%$), in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali $\Delta u/P'_0 \geq 0.3$ durante l'azione sismica di riferimento, la deformazione volumetrica (e verticale) e quindi l'entità del cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto può essere stimata con l'equazione (Yasuhara e Andersen, 1991):

$$\varepsilon_v = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{P'_0}} \right)$$

in cui:

C_r è l'indice di ricompressione, che si assume pari all'indice di rigonfiamento C_s , determinabile con prova edometrica,

$a=1.5$ è un coeff. empirico che tiene conto della particolare storia di carico ciclico,

e_0 è l'indice dei vuoti naturale in sito dell'argilla,

$\Delta u/P'_0=r_u$ è il rapporto fra l'incremento di pressione interstiziale indotta dallo scuotimento sismico e la tensione media efficace iniziale.

Per la stima del rapporto di sovrappressione interstiziale può essere utilizzata la seguente relazione empirica (Matsui et al., 1980):

$$r_u = \frac{\Delta u}{P'_0} = \beta \left(\log \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_v} \right)$$

in cui:

$b=0.45$ è un coeff. sperimentale,

γ_{\max} è la deformazione di taglio massima in semplice ampiezza indotta dal terremoto, determinabile, in prima approssimazione, con la relazione empirica,

$$\gamma_{\max} = \frac{a_{\max}}{g} \sigma_{v0} r_d \frac{1}{G}$$

dove:

$$r_d = 1 - 0.015z$$

G è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo γ_{\max} , che può essere determinato per via iterativa, noto il valore della rigidezza iniziale G_0 , utilizzando la legge di variazione $G(\gamma)/G_0$ ottenuta con prove dinamiche di laboratorio o, in modo approssimato, desunta da curve di letteratura per terreni con proprietà simili,

γ_v è la deformazione di soglia volumetrica, determinabile con prove dinamiche di laboratorio, o in prima approssimazione con la relazione empirica (Matsui et al. 1980):

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

in cui OCR è il rapporto di sovraconsolidazione e A e B sono coefficienti sperimentali che, in assenza di determinazione diretta, possono essere stimati in funzione dell'indice di plasticità, I_P ,

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

14 Generalità sul calcolo degli Spostamenti laterali

Gli spostamenti laterali indotti dalla liquefazione può produrre schemi di deformazione molto complessi. Gli spostamenti laterali verso qualsiasi canale o faccia aperta può verificarsi in un terreno leggermente inclinato ed estendersi a distanze molto grandi dalla faccia aperta. Le magnitudini di spostamento all'interno delle distribuzioni laterali possono presentare forti variazioni spaziali, sia con la distanza da una faccia libera che con la posizione parallela a una faccia libera.

L'eterogeneità del sottosuolo nei suoli ha una forte influenza sull'entità e sulla distribuzione della deformazione del terreno indotta dalla liquefazione. Ad esempio gli spostamenti laterali sono influenzati da condizioni geologiche o idrogeologiche del sottosuolo, come bruschi cambiamenti nelle facies geologiche o cambiamenti transitori nelle caratteristiche del suolo (ad es. contenuto di fine). Allo stesso modo, le variazioni delle deformazioni all'interno degli spostamenti laterali possono spesso essere correlate alle variazioni osservate nel sottosuolo e nelle condizioni delle acque sotterranee.

Concettualmente, lo spostamento laterale permanente (LD) sulla superficie del terreno può essere calcolato integrando numericamente le deformazioni di taglio previste (γ) rispetto alla profondità, come

$$LD = \int_0^{Z_{max}} \gamma dz$$

Lo spostamento di diffusione laterale che viene calcolato integrando le deformazioni di taglio massime rispetto alla profondità rappresenta una misura dello spostamento massimo potenziale, per il quale Zhang et al. (2004) hanno suggerito il termine indice di spostamento laterale (LDI). Il valore di LDI viene quindi calcolato come

$$LDI = \int_0^{Z_{max}} \gamma_{max} dz$$

dove è possibile stimare le deformazioni di taglio massime utilizzando le relazioni di cui sopra. Gli spostamenti laterali effettivi che dipenderanno da molti altri fattori, come precedentemente notato (ad es. Pendenza del terreno, eterogeneità spaziale, distanza da una faccia libera e limitazione dalle strutture incorporate).

$\gamma_{max} = 0$	se $FS_{liq} \geq 2$
$\gamma_{max} = \min\left(\gamma_{lim}, 0.035(2 - FS_{liq})\left(\frac{1-F_\alpha}{FS_{liq}-F_\alpha}\right)\right)$	se $2 > FS_{liq} > F_\alpha$
$\gamma_{max} = \gamma_{lim}$	se $FS_{liq} \leq F_\alpha$

Da prove CPT

$$\gamma_{\text{lim}} = 1.859(2.163 - 0.478(q_{c1Ncs})^{0.264})^3 \geq 0$$

$$F_{\alpha} = -11.74 + 8.34(q_{c1Ncs})^{0.264} - 1.371(q_{c1Ncs})^{0.528}$$

15 Valori caratteristiche fisiche dei terreni

Valori indicativi della costante di Winkler K (Kg/cm³)

Terreno	valore minimo	valore massimo
Sabbia sciolta	0.48	1.60
Sabbia mediamente compatta	0.96	8.00
Sabbia compatta	6.40	12.80
Sabbia argillosa mediamente compatta	2.40	4.80
Sabbia limosa mediamente compatta	2.40	4.80
Sabbia e ghiaia compatta	10.00	30.00
Terreno argilloso con $q_u < 2 \text{ Kg/cm}^2$	1.20	2.40
Terreno argilloso con $2 < q_u < 4 \text{ Kg/cm}^2$	2.20	4.80
Terreno argilloso con $q_u > 4 \text{ Kg/cm}^2$	>4.80	

Valori indicativi del peso di volume in Kg/m³

Terreno	valore minimo	valore massimo
Ghiaia asciutta	1800	2000
Ghiaia umida	1900	2100
Sabbia asciutta compatta	1700	2000
Sabbia umida compatta	1900	2100
Sabbia bagnata compatta	2000	2200
Sabbia asciutta sciolta	1500	1800
Sabbia umida sciolta	1600	1900
Sabbia bagnata sciolta	1900	2100
Argilla sabbiosa	1800	2200
Argilla dura	2000	2100
Argilla semisolida	1900	1950
Argilla molle	1800	1850
Torba	1000	1100

Valori indicativi dell'angolo di attrito φ°

Terreno	valore minimo	valore massimo
Ghiaia compatta	35	35
Ghiaia sciolta	34	35
Sabbia compatta	35	45
Sabbia sciolta	25	35
Marna sabbiosa	22	29
Marna grassa	16	22
Argilla grassa	0	30
Argilla sabbiosa	16	28
Limo	20	27

Valori indicativi della coesione per alcuni terreni (Kg/cm²)

Terreno	valore
Argilla sabbiosa	0.20
Argilla molle	0.10
Argilla plastica	0.25
Argilla semisolida	0.50
Argilla solida	1.00
Argilla tenace	da 2 a 10
Limo compatto	0.10

Valori indicativi del modulo elastico di alcuni terreni

Terreno	E (Kg/cm²)	
	valore massimo	valore minimo
Argilla molto molle	153	20.4
Argilla molle	255	51
Argilla media	510	153
Argilla dura	1020	510
Argilla sabbiosa	2550	255
Loess	612	153
Sabbia limosa	204	51
Sabbia sciolta	255	102
Sabbia compatta	816	510
Argilloscisto	51000	1530
Limo	204	20.4
Sabbia e ghiaia sciolta	1530	510
Sabbia e ghiaia compatte	2040	1020

Valori indicativi del coefficiente di Poisson di alcuni terreni

Terreno	□	
	valore massimo	valore minimo
Argilla satura	0.5	0.4
Argilla non satura	0.3	0.1
Argilla sabbiosa	0.3	0.2
Limo	0.35	0.3
Sabbia	1.00	-0.1
Sabbia ghiaiosa comunemente usata	0.4	0.3
Loess	0.3	0.1
Ghiaccio	0.36	
Calcestruzzo	0.15	

Valori indicativi del peso specifico di alcune rocce (Kg/m³)

Roccia	valore minimo	valore massimo
Pomice	500	1100
Tufo vulcanico	1100	1750
Calcare tufaceo	1120	2000
Sabbia grossa asciutta	1400	1500
Sabbia fine asciutta	1400	1600
Sabbia fine umida	1900	2000
Arenaria	1800	2700
Argilla asciutta	2000	2250
Calcare tenero	2000	2400
Travertino	2200	2500
Dolomia	2300	2850
Calcare compatto	2400	2700
Trachite	2400	2800
Porfido	2450	2700
Gneiss	2500	2700
Serpentino	2500	2750
Granito	2550	2900
Marmo saccaroide	2700	2750
Sienite	2700	3000
Diorite	2750	3000
Basalto	2750	3100

Valori indicativi dell'angolo di attrito di alcune rocce

Roccia	valore minimo	valore massimo
Granito	45	60
Dolerite	55	60
Basalto	50	55
Arenaria	35	50
Argilloscisto	15	30
Calcere	35	50
Quarzite	50	60
Marmo	35	50

Valori indicativi del modulo elastico e del coefficiente di Poisson di alcune rocce

Roccia	E (Kg/cm²)		ν	
	valore max	valore min.	valore max	valore min.
Basalto	1071000	178500	0.32	0.27
Granito	856800	142800	0.30	0.26
Scisto cristallino	856800	71400	0.22	0.18
Calcere	1071000	214200	0.45	0.24
Calcere poroso	856800	35700	0.45	0.35
Arenaria	428400	35700	0.45	0.20
Argilloscisto	214200	35700	0.45	0.25
Calcestruzzo	Variabile		0.15	

Valori indicativi del rapporto tra Modulo Elastico in condizioni non drenate e Coesione non drenata in funzione del grado di sovraconsolidazione e dell'indice di plasticità

OCR	Eu/cu		
	Ip < 0.3	0.3 < Ip < 0.5	Ip > 0.5
< 3	800	400	200
da 3 a 5	500	300	150
> 5	300	200	100

Valori indicativi del parametro delle pressioni interstiziali A del metodo di Skempton per il calcolo dei cedimenti

Tipo di argilla	A	
	valore minimo	valore massimo
Argilla di elevata sensibilità	0.75	1.50
Argilla NC	0.50	1.00
Argilla poco OC	0.00	0.50
Argilla molto OC	- 0.50	0.00

Valori indicativi del coefficiente μ del metodo di Skempton per il calcolo dei cedimenti

Tipo di argilla	□	
	minimo	massimo
Argille sensibili (argille molli di origine fluviale, lacustre e marina)	1.00	1.20
Argille normalmente consolidate	0.70	1.00
Argille sovraconsolidate	0.50	0.70
Argille fortemente sovraconsolidate (marne, depositi morenici)	0.20	0.50

Equazioni del modulo elastico di alcuni terreni dai risultati di prove in sito (SPT e CPT)

Terreno	E (Kg/cm ²)	
	SPT	CPT
Sabbia (normalmente consolidata)	$E_s = 500 (N + 15)$	$E_s = \text{da } 2 \text{ a } 4 \text{ qc}$
	$E_s = (15000 \text{ o } 22000) \ln N$	$E_s = (1 + D_r^2) \text{ qc}$
	$E_s = (35000 \text{ o } 50000) \log N$	
Sabbia (satura)	$E_s = 250 (N + 15)$	
Sabbia sovraconsolidata	$E_s = 18000 + 750 N$	$E_s = \text{da } 6 \text{ a } 30 \text{ qc}$
	$E_s(\text{OCR}) = E_s(\text{NC}) (\text{OCR})^{1/2}$	
Sabbia ghiaiosa e ghiaia	$E_s = 1200 (N + 6)$	
	$E_s = 600 (N + 6) \quad N \leq 15$	
	$E_s = 600(N + 6) + 2000 \quad N > 15$	
Sabbia argillosa	$E_s = 320(N + 15)$	$E_s = \text{da } 3 \text{ a } 6 \text{ qc}$
Sabbia limosa	$E_s = 300(N + 6)$	$E_s = \text{da } 1 \text{ a } 2 \text{ qc}$
Argilla soffice		$E_s = \text{da } 3 \text{ a } 8 \text{ qc}$

16 Bibliografia

Andrus R.D, Stokoe K.H. (1997) “Liquefaction resistance based on shear wave velocity” Final Contribution to the Proc of NCEER Workshop on Liquefaction, Salt Lake City, USA

Eurocodice 8 parte 5 (2005) Appendice B

Iwasaki T., Tatsuoka F., Tokida K, Yasuda S. (1978) “A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan” Proc. 2nd Int. Conf. on Microzonation for Safer Construction – Research And Application, San Francisco, California, vol. 2, 885-896

Monaco P., Marchetti S. (2005) “Valutazione di Liquefacibilità di Sabbie da DMT” Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica 2005 – IARG 2005 – Ancona 29 Giugno – 1 Luglio 2005

Seed H.B., Idriss I.M (1971) “Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential” JSMFD, ASCE, vol. 97, SM9, 1249-1273

Seed H.B., Idriss I.M (1982) “Ground motions and soil liquefaction during earthquakes” Earth-quake Engineering Research institute Monograph

Seed H.B., Tokimatsu K., Harder L.F, Chung R.M. (1985) “The influence of SPT procedure in soil liquefaction resistance evaluations” JGE, ASCE vol. 111 No12, 1425 – 1445

R. W. Boulanger, I. M. Idriss (2014) “CPT and SPT base liquefaction triggering procedures” Department of civil & environmental engineering, college of engineering, University of California at Davis

D. Pradel (1998), “Procedure to evaluate Earthquake-Induced Settlements in Dry Sand Soil”, Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering

M. Idriss, R. W. Boulanger (2008) “Soil liquefaction during Earthquakes” Earthquake engineering research institute

G. Zhang, P.K. Robertson and R.W.I. Brachman, “Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground”, Can. Geotech. J. 39: 1168-1180 (2002)

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI D.M. 14 gennaio 2008 – Circ. 2 febbraio 2009 n.617

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI D.M. 17 gennaio 2018 – Circ. 21 gennaio 2019 n.7

Aztec Informatica s.r.l.

Il Software per l'Ingegneria Geotecnica e Strutturale

Corso Umberto I, 43 - 87059 Casali del Manco – Loc. Casole Bruzio (CS)

Tel. (0984)432617, 438325 - Fax (0984)432617

aztec@aztec.it www.aztec.it