

QUADERNI PER LA PROGETTAZIONE

LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE

Metodi di calcolo del rischio liquefazione e
comparazione con le norme O.P.C.M.
del 20/03/2003 e D.M. 14/01/08 (NTC).

Nel Cd-Rom il programma in Excel
per il calcolo del coefficiente di Sicurezza
da prove penetrometriche dinamiche SPT,
da prove penetrometriche statiche CPT
e dalla velocità delle onde di taglio VS.

di
SEBASTIANO G. MONACO



EPC LIBRI

INDICE GENERALE



Prefazione	7
<hr/>	
CAPITOLO 1	
PERICOLOSITA' SISMICA PER L'INSORGERE DELLA LIQUEFAZIONE	9
<hr/>	
CAPITOLO 2	
VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	11
<hr/>	
CAPITOLO 3	
METODI	13
3.1 Metodi tabellari	13
3.2 Metodi semplificati	14
<hr/>	
CAPITOLO 4	
TERRENI SUSCETTIBILI ALLA LIQUEFAZIONE SECONDO IL D.M. 14 GENNAIO 2008 "NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI"	17

CAPITOLO 5

RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE	21
5.1 Determinazione del CSR (Cyclic Stress Ratio)	21
5.2 Determinazione di CRR (Cyclic Resistance Ratio)	23

CAPITOLO 6

FATTORI CORRETTIVI PER LA STANDARDIZZAZIONE DELLA PROVA SPT	27
6.1 Correzioni di N_{spt} dovute all'influenza della procedura di esecuzione	27
6.2 Correzioni di C_N adoperate da vari autori	28
6.3 Ulteriori correzioni di $(N_1)_{60}$ dovute al contenuto della frazione fine	30
6.4 Correzioni da eseguire su prove penetrometriche statiche (CPT).....	31
6.5 Correzioni da eseguire su prove sismiche con determinazione di V_S	32

CAPITOLO 7

INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	35
7.1 Rischio liquefazione	35
7.2 Probabilità di liquefazione	36
7.3 Suscettibilità di liquefazione	36



CAPITOLO 8

VALUTAZIONE DELLA LIQUEFAZIONE	37
8.1 Metodi tabellari	37
8.1.1 Sherif e Ishibashi (1978)	37
8.1.2 Youd e Perkins (1978)	40
8.1.3 Youd et al. (1978)	41
8.1.4 Iwasaki et al. (1982)	41
8.2 Metodi semplificati	42
8.2.1 Metodi semplificati che utilizzano prove SPT	42
8.2.1.1 Seed e Idriss (1982)	43
8.2.1.2 Tokimatsu e Yoshimi (1983)	45
8.2.1.3 Iwasaki et al. (1978, 1984)	46
8.2.1.4 Youd e Idriss (2001)	46
8.2.1.5 Metodo di Seed et al. (1985)	47
8.2.1.6 Metodo di Rauch (1998)	48
8.2.1.7 Metodo dell'Eurocodice 8 (SPT)	49
8.2.1.8 Yegian e Whitman (1978)	51
8.2.2 Metodi semplificati che utilizzano prove CPT	52
8.2.2.1 Metodo di Robertson e Wride (1998)	52
8.2.3 Metodi semplificati che utilizzano prove sismiche (V_s)	57
8.2.3.1 Andrus e Stokoe (1997)	57

CAPITOLO 9

PROGRAMMAZIONE DELLE INDAGINI	59
-------------------------------------	----

CAPITOLO 10

ESEMPI APPLICATIVI	61
10.1 Esempi di verifica con metodi tabellari	61
10.2 Esempi di verifica tabellare tramite l'utilizzo delle fasce granulometriche critiche.....	63
10.3 Esempio di verifica con metodi semplificati (Vs).....	65
10.4 Esempio di verifica con metodi semplificati (SPT)	72
10.5 Esempi di verifica con metodi semplificati (CPT).....	80

CAPITOLO 11

INTERVENTI PER RIDURRE IL RISCHIO LIQUEFAZIONE	89
--	----

CAPITOLO 12

PROGRAMMA DI CALCOLO	97
Bibliografia	105

PREFAZIONE

Il presente volume si rivolge a tecnici professionisti quali geologi, ingegneri, architetti ecc. che, non essendo specialisti del settore, nel corso della propria attività professionale hanno l'esigenza di affrontare il problema richiamando le metodologie e le informazioni tecniche a loro non consuete, proponendosi come una guida pratica per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione che certi terreni granulari saturi possono presentare in condizioni sismiche.

Il testo raccoglie ed evidenzia i più comuni metodi di calcolo che regolano la liquefazione dei terreni sabbiosi saturi.

L'argomento è suddiviso in due parti; nella prima, in maniera molto schematica, si introduce il concetto di liquefazione, si definiscono le equazioni CRR e CSR che con il loro rapporto determinano il coefficiente di sicurezza F_s , dando ragguagli circa le correzioni che occorre eseguire ai vari indici (SPT, CPT e V_S), ricavati da prove in sito, per la successiva determinazione della suscettibilità o meno alla liquefazione.

Nella seconda parte si definiscono i metodi tabellari (Sherif e Ishibashi, 1978, Youd e Perkins, 1978, Youd et Al., 1978, Iwasaki et. Al., 1982), e le metodologie di calcolo dei metodi semplificati (Seed e Idriss, 1982, Iwasaki et al., 1978-1984, Tokimatsu e Yoshimi, 1983, Youd e Idriss, 2001, Seed et al., 1985, Rauch, 1998, Eurocodice 8 (SPT), Robertson e Wride, 1997, Andrus e Stokoe, 1998, Yegian e Whitman, 1978).

Infine, un programma realizzato con schede Excel permette di calcolare il coefficiente di sicurezza da prove in situ SPT, CPT e VS con i metodi proposti dagli autori sopra descritti, consentendo di eseguire delle comparazioni tra loro ed individuando il rischio di liquefazione (Iwasaki et al., 1984), nonché, la probabilità e la suscettibilità alla liquefazione (Juang et al., 2001), sia per singolo strato a profondità prefissate, sia complessivamente (più strati interessati), fino ad una profondità di 20 m.



PERICOLOSITA' SISMICA PER L'INSORGERE DELLA LIQUEFAZIONE

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, *"Primi elementi in materia di criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*, si è messo ordine in materia in termini di riclassificazione delle zone a rischio sismico e dei criteri costruttivi, fino a giungere alla Classificazione Sismica del 2004 (Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, aprile 2004) e successivo recepimento da parte delle Regioni.

E' quindi indispensabile, per analizzare e tenere conto di tutte quelle situazioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, che riconducono a studi sulle strutture tettoniche, instabilità dei pendii, fenomeni di liquefazione ecc..., una programmazione territoriale attraverso uno studio di microzonazione sismica, che possa aiutare i progettisti, durante la programmazione dei Piani Regolatori Generali ad escludere o meno aree di territorio a destinazioni urbane di tipo residenziale, industriale ecc., facendo sì che la definizione di Pericolosità Sismica dell'area sia congrua con quanto previsto nel D.M. del 14 gennaio 2008 *"Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"* (G.U. n. 29 del 4/2/2008 - Suppl-Ord. n. 30).

Il fenomeno della liquefazione dei suoli è stato in passato, durante i terremoti, la causa di molti danni alle strutture, pertanto rappresenta una possibile minaccia durante il manifestarsi di terremoti futuri. E' importante quindi, conoscere la distanza esistente tra l'epicentro di un terremoto ed il sito più lontano ove possono avvenire fenomeni di liquefazione. Tale distanza, può essere stimata direttamente dalla magnitudo del terremoto atteso, valutata dalla conoscenza dell'attività sismica dell'area in cui si sono verificati fenomeni di liquefazione durante i terremoti passati (vedi Int. Geot. Ass., TC 4, 1999).

Poiché è risaputo che il fenomeno della liquefazione può avvenire più volte nello stesso sito, è possibile stabilire una relazione tra la tipologia dei sedimenti



(in condizioni sature) ed il fenomeno della liquefazione (Iwasaki et al., 1982), cosicché, le aree interessate in passato da tali meccanismi possono essere considerate potenzialmente a rischio (terreni a granulometria piuttosto uniforme, costituiti da sabbie fini e/o limi con densità da media a bassa).

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione dei terreni durante i terremoti, interessa in genere i depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi.

Durante una sollecitazione sismica, infatti, le sollecitazioni indotte nel terreno, possono determinare un aumento delle pressioni interstiziali fino ad eguagliare la pressione litostatica e la tensione di sconfinamento, annullando la resistenza al taglio e inducendo fenomeni di fluidificazione.

La probabilità che un deposito raggiunga tali condizioni dipende:

- dal grado di addensamento;
- dalla granulometria e forma dei granuli;
- dalle condizioni di drenaggio;
- dall'andamento ciclico delle sollecitazioni sismiche e loro durata;
- dall'età del deposito;
- dalla profondità della linea di falda (prossima alla superficie).

Dall'osservazione di zone colpite da liquefazione, si è notato che questa avviene nelle seguenti circostanze:

- terremoti di magnitudo uguale o superiore a 5.5, con accelerazioni superiori o uguali a 0,2 g;
- al di sopra dei 15 metri di profondità; oltre questa profondità non sono state osservate liquefazioni;
- la profondità della falda era posizionata in prossimità della superficie (inferiore ai 3 m);



In letteratura sono stati suggeriti da vari autori, diversi metodi (tabellari, semplificati ecc...), per la valutazione del potenziale di liquefazione di depositi sabbiosi saturi. Affinché in un sito possano avvenire fenomeni di liquefazione, è necessario che la scossa sismica raggiunga una certa intensità.

Da osservazioni effettuate su un certo numero di terremoti avvenuti, Kuribayashi e Tatsuoka (1975), hanno potuto verificare che esiste una relazione fra la magnitudo e il logaritmo della distanza all'interno della quale si possono innescare fenomeni significativi di liquefazione, da cui:

$$\log_{10} R = 0,8 M - 4,5$$

dove:

R = distanza dall'epicentro del terremoto espressa in km;

M = Magnitudo

Poiché la precedente relazione risulta valida per terremoti con $M \geq 6$. Alcuni autori (Berardi et al., 1988), analizzando alcuni terremoti italiani in cui si erano verificati fenomeni di liquefazione, hanno introdotto un'ulteriore equazione, che sostanzialmente porta agli stessi risultati.

$$\log_{10} R = 0,77 M - 3,6$$

Da qui l'importanza di definire la distanza epicentrale dal sito investigato.

►
Figura 2.1
Distanza epicentrale massima fino a dove sono state osservate strutture di liquefazione in terremoti superficiali in funzione della magnitudo del sisma (Obermeier, 1996)

