

# Studi sulla suscettibilità alla liquefazione delle sabbie della costa ionica della Basilicata

Giovanna Vessia<sup>1\*</sup>, Pierfrancesco Cortese<sup>1</sup>, Claudio Cherubini<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Autore corrispondente, Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Politecnico di Bari, (Campus Universitario) - Via Orabona, 4 – 70125 Bari. FAX: 080 5963675 g.vessia@poliba.it

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Politecnico di Bari, c.cherubini@poliba.it

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Politecnico di Bari, pf.cortese@poliba.it

## *Development in assessing liquefaction susceptibility of Ionian coastal sands from Basilicata*

**ABSTRACT:** Liquefaction potential of saturated sands is a relevant issue which has been studied since a long time and refined in the last years due to availability of numerous in situ data. The integration of laboratory experimental results and in situ test data can be considered the most effective tool for studying susceptibility to liquefaction of sand soils. Accordingly, in order to characterize mechanical behaviour of sands, numerous standard and static penetrometer tests were collected together with  $V_s$  measurements performed by means of seismic equipments. In the case studied sands from Ionian seafloor area of Lucania region are investigated as regard liquefaction susceptibility through SPT and CPT data. These sands have variable silt content and the water table measured varies from 1-2m depth from the ground while, in the past, it was higher to create marshes. The liquefaction safety factor is calculated taking into account variability of seismic magnitude value for earthquakes that affect the region. Finally considerations on alternative method to quantify liquefaction hazard are drawn.

**Key terms:** Liquefaction, CPT, SPT, Ionian sands.

**Termini chiave:** Liquefazione, CPT, SPT, sabbie della fascia Ionica.

## **Riassunto**

Negli ultimi anni le metodologie di valutazione della suscettibilità alla liquefazione di ammassi di terreni sabbiosi si sono sempre più affinate. Ciò è avvenuto attraverso l'integrazione di sperimentazione in laboratorio con i dati raccolti da prove in situ, attraverso le quali si conduce la caratterizzazione meccanica dei terreni sabbiosi, quali quelle penetrometriche dinamiche (SPT) delle quali si hanno a disposizione numerosissimi dati, di prove statiche (CPT) i cui dati tendono sempre più ad aumentare e di prove geofisiche per determinare le  $V_s$ . Nel caso analizzato sono disponibili numerose prove SPT dislocate su un ampio arco della fascia Ionica Lucana, caratterizzata da ampie presenze di terreni sabbiosi con contenuti variabili di limo e da una falda che in tempi remoti affiorava dando luogo ad acquitrini, da tempo ampiamente bonificati, pur rimanendo attualmente la falda in alcuni casi ad 1-2 m dal p.c. Lo studio è svolto in maniera parametrica rispetto ai valori di magnitudo, evidenziando per quanto possibile le incertezze e le variabilità in gioco.

## **Introduzione**

Numerosi sono i siti italiani le cui caratteristiche granulometriche e idrogeologiche (livello di falda molto vicino al p.c.) li rendono suscettibili a fenomeni di liquefazione.

Altrettanto numerosi sono stati i casi di liquefazione riscontrati in Italia anche se non con effetti eclatanti come invece sono stati gli effetti riscontrati a Nijgata (1964) o in altri siti recentemente colpiti da sismi, quali S. Fernando (1971), Alaska (1964), Cile (1960). Notizie in merito si hanno riguardo al sisma del 1783 in Calabria, mentre Galadini et al. (1995) hanno registrato, in seguito ad attente analisi di documenti storici, ben 300 casi negli ultimi 500 anni, comprendendo sia semplici aperture nel terreno, sia avvallamenti del terreno, sia sprofondamenti di strutture.

La costa ionica della Basilicata presenta caratteri geologici e fisico-meccanici tali da poter essere studiata a tal fine; gli approcci proposti vanno da un'analisi semplificata prettamente deterministica, svolta sulla base delle più recenti modificazioni proposte dal NCEER (Youd et al., 2001), fino ad alcune analisi di tipo probabilistico che, per la situazione specifica, sembrano essere più adatte allo scopo in quanto si tratta di situazioni in cui la suscettibilità alla liquefazione risulta alquanto bassa. Va comunque evidenziato che la zona è stata interessata, negli ultimi decenni, da una intensa urbanizzazione specie di tipo turistico a fronte di una situazione precedente l'ultima guerra di assenza quasi totale di insediamenti umani. Questa circostanza, a parità di pericolosità, non può che far aumentare il rischio legato al verificarsi di fenomeni di liquefazione. D'altro canto la già citata mancanza di insediamenti umani nei tempi passati non consente di avere

notizie su eventuali episodi di liquefazione che possono essere avvenuti.

Le zone esaminate sono nella fattispecie quella di Nova Siri, per la quale alcuni studi preliminari sono stati precedentemente condotti sulla base di risultati di prove SPT, ed altri comuni appartenenti alla fascia ionica per i quali sono disponibili numerosi dati elaborati in maniera statistica.

Va specificato che i numerosi dati in possesso degli scriventi su tutta la fascia ionica (Cherubini e Lupo, 1996; Cherubini e Vessia, 2003; Boenzi et. al., 1988; Cherubini e Lupo, 2002) della Basilicata, oggetto di studi riguardanti non solo problemi di liquefazione, indicano inequivocabilmente che i terreni recenti ed attuali risultano alquanto variabili in granulometria, comportando ciò anche una significativa variabilità per quanto riguarda la densità degli stessi terreni.

### Stima del fattore di sicurezza alla liquefazione

Si fa qui riferimento al già citato rapporto di Youd et al. (2001), continuamente aggiornato, che propone una procedura semplificata per il calcolo del coefficiente di sicurezza alla liquefazione basato su dati di prove SPT, CPT e  $V_s$ .

Come è noto, i risultati di prove CPT e di indagini sismiche ( $V_s$ ) hanno in genere dei vantaggi rispetto alla SPT che sono: il controllo di qualità dei dati e la ripetibilità della prova, la possibilità di ricostruire gli andamenti stratigrafici (CPT) e la capacità di investigare una larga parte di tipi di terreno ( $V_s$ ). Tuttavia le prove penetrometriche dinamiche (SPT) hanno ancora il vantaggio della disponibilità di ricche banche dati utilizzate per gli studi su problematiche di liquefazione ed inoltre la possibilità di ottenere campioni di terreno sui quali effettuare le necessarie analisi di laboratorio.

D'altro canto è stato compiuto un notevole sforzo per poter normalizzare ed uniformare i risultati delle prove SPT provenienti da varie parti del mondo al fine di ottenere, a partire dal numero di colpi  $N_{SPT}$  il cosiddetto  $(N_1)_{60}$ , cui si farà riferimento d'ora in poi.

La procedura deterministica che si avvale delle indagini di campagna si basa sulla valutazione di un coefficiente di sicurezza alla liquefazione  $F$  così definito:

$$F = \frac{CRR}{CSR} \quad (1)$$

dove CSR rappresenta l'azione e si calcola secondo l'espressione:

$$CSR = 0.65 \cdot \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \cdot r_d \quad (2)$$

dove  $a_{max}$  rappresenta l'accelerazione di picco al suolo;  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $\sigma_{v0}$  è la tensione totale alla profondità a cui si vuole calcolare CSR;  $\sigma'_{v0}$  è la tensione efficace alla medesima profondità ed  $r_d$  è il coefficiente di

riduzione che tiene conto della deformabilità del deposito secondo le seguenti espressioni (Youd et al., 2001):

$$\begin{aligned} r_d &= 1.0 - 0.00765z \quad \text{per } z \leq 9.15m \\ r_d &= 1.174 - 0.0267z \quad \text{per } 9.15m \leq z \leq 23m \\ r_d &= 0.744 - 0.008z \quad \text{per } 23m \leq z \leq 30m \\ r_d &= 0.5 \quad \text{per } z > 30m \end{aligned} \quad (3)$$

CRR rappresenta la resistenza calcolabile attraverso un apposito diagramma che relaziona la stessa al valore di  $(N_1)_{60}$  che, come è noto, rappresenta il valore normalizzato di  $N_{SPT}$ . Tale andamento è stato diagrammato anche in funzione dei valori di resistenza alla punta  $q_c$  delle prove CPT e delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ .

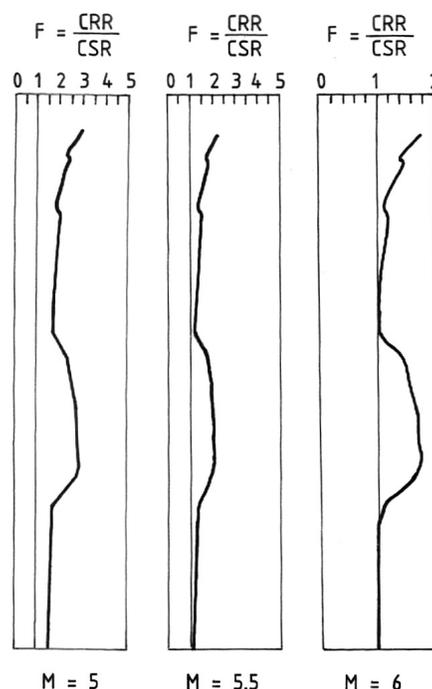


Figura 1. Valori del coefficiente di sicurezza alla liquefazione per il sondaggio N° 3 effettuato nella zona S di Nova Siri in funzione della variazione della Magnitudo.

Figure 1. Liquefaction factor of safety for three Magnitude values for sounding N° 3 belonging to S zone in Nova Siri district.

I risultati ottenibili da tale approccio, proprio perché derivato dallo studio di una casistica molto ampia, risultano abbastanza affidabili. Vanno comunque evidenziate le questioni che restano ancora aperte relative alle fonti di maggiori incertezze ed in particolare: la valutazione dell'accelerazione massima e del suo fattore correttivo (assunto pari a 0.65), nonché le problematiche connesse al valore di  $r_d$  che, all'aumentare della profondità mostra significative variabilità.

## Studio di suscettività alla liquefazione

L'area in studio comprende depositi alluvionali recenti che si rinvengono al termine di una lunga serie di terrazzi marini (Cotecchia e Magri, 1967) lungo l'intera estensione della costa ionica della Basilicata e, in parte, della Puglia.

In particolare i depositi definiti come sabbiosi, che si trovano al di sopra della formazione delle argille azzurre, sono composti da sabbia fine e sabbia limosa con intercalazioni a volte di limo e/o di argilla variabili fra i 20cm ed i 50cm. Lo spessore di tali sabbie è di alcune decine di metri.

Al di sopra di esse si trovano le alluvioni recenti che risultano anche sensibilmente differenti da zona a zona in relazione alla loro origine. Esse sono costituite da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di bassa e media densità. In alcune zone si trovano anche lenti di ghiaia e ciottoli. Lo spessore di tali terreni è in genere di 7-9m, mentre raggiunge valori maggiori in corrispondenza degli alvei attuali o dei paleoalvei dei fiumi sfocianti nel Mar Ionio.

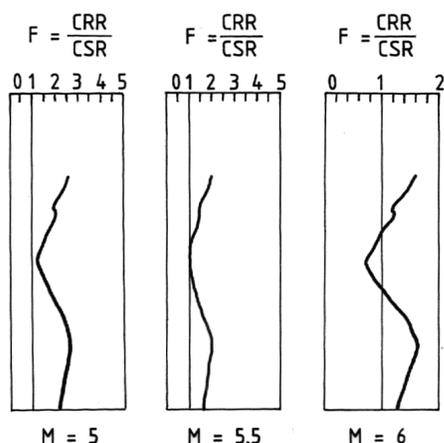


Figura 2. Valori del coefficiente di sicurezza alla liquefazione per il sondaggio N° 5 effettuato nella zona C di Nova Siri, in funzione della variazione della Magnitudo.

Figure 2. Liquefaction factor of safety for three Magnitude values for sounding N° 5 belonging to c zone in Nova Siri district.

In conseguenza della loro storia geologica, come già affermato in un precedente lavoro, (Cherubini e Vessia, 2003) le sabbie della zona di Nova Siri (MT), ed in particolare quelle delle zone più vicine alla costa, nel quadro di una sensibile variabilità possiedono i caratteri fisici (granulometria, densità etc.) tali da rendere possibile una fenomenologia di liquefazione.

Ciò che in prima istanza va valutato, invece, è l'effetto di  $a_{max}$  e della magnitudo.

Per quanto riguarda l' $a_{max}$  ci si rifà a quanto riportato nell'Ordinanza 3274 che assegna a tale sito un valore massimo di  $a_g$  pari a 0.25g, mentre la Magnitudo (calcolata sulla base delle onde di superficie) viene trattata come un parametro e si considera assumere tre valori: 5.0, 5.5 e 6.0.

Nel sito in esame dalla consultazione del catalogo parametrico dei terremoti italiani (Gruppo di lavoro CPTI, 2004), considerando eventi sismici con epicentro registrato entro un raggio di 100km da Nova Siri (Tab. 1) si può notare che le magnitudo registrate vanno a 4.3 a 6.4. Per tale ragione i valori assunti per il parametro Magnitudo nello studio effettuato si possono considerare attendibili.

Tabella 1. Eventi sismici registrati entro un raggio di 100km dal comune di Nova Siri (MT).

Table 1. Seismic events records within 100km distance from Nova Siri (MT) district.

Epicentro	Anno	Intensità epicentrale (MCS)	Magnitudo (da onde superficiali)
Rossano	951	9	6.0
Valle del Crati	1184	9	6.0
Potenza	1273	8/9	5.8
Cosenza	1556	7	4.8
Vallo di Diano	1561	9/10	6.4
Calabria	1621	7	4.8
Matera	1634	6/7	4.6
Pollino	1708	7/8	5.5
Massafra	1713	6/7	4.6
Grumento	1759	6	4.3
Cosentino	1767	8/9	5.8
Tramutola	1807	7	4.8
Rossano	1824	7/8	5.3
Basilicata	1826	8	5.6
Lagonegro	1831	8	5.2

Per l'analisi viene utilizzato il codice di calcolo LiquefyPro (2003) che implementa le relazioni proposte da Youd et al. (2001) per le verifiche di liquefacibilità condotte sulla base delle indagini di campagna. Il fattore di sicurezza alla liquefazione è stato calcolato assumendo per le sabbie valori di  $\gamma_{sat}=19\text{kN/m}^3$ ; livello di falda ad 1m dal piano campagna. I valori di  $N_{SPT}$  sono quelli relativi a due diversi sondaggi nelle zone indicate con C ed S nella pubblicazione di Cherubini e Lupo (1996). Le Fig. 1 e 2 mostrano i valori dei coefficienti di sicurezza in funzione della profondità, per i due sondaggi citati. Si osserva come con il crescere della Magnitudo si individuano limitate zone nelle quali il coefficiente di sicurezza risulta avere valori prossimi all'unità o leggermente maggiori.

Va comunque specificato che, date le numerose e notevoli incertezze insite in varia misura in quasi tutti i parametri in gioco anche valori di F maggiori dell'unità non garantiscono certo che la liquefazione non debba avvenire. Inoltre deve essere sottolineata la circostanza che l'occorrenza della liquefazione diviene pericoloso per le costruzioni solo se essa coinvolge un volume di terreno importante all'interno del volume significativo per la fondazione stessa.

E' opinione degli scriventi che la zona in questione, così

come altre zone della fascia ionica della Basilicata possedga dei requisiti tali per i quali i fenomeni di liquefazione non possono essere a priori esclusi, richiedendo quindi ulteriori approfondimenti di studio, specie in termini di approcci probabilistici.

## Conclusioni

Lo studio condotto, che rappresenta un ulteriore passo avanti rispetto a precedenti elaborazioni svolte in termini speditivi, ha consentito di valutare, pur in alcuni casi

specifici, i valori dei coefficienti di sicurezza alla liquefazione determinati secondo una procedura standard accettata dalla comunità scientifica internazionale. I risultati ottenuti non consentono di dire una parola definitiva in merito: le condizioni idrogeologiche, sismiche, granulometriche degli ammassi sabbiosi in questione sono tali da poterle classificare, in termini di liquefacibilità, in quella zona grigia nella quale solo uno studio probabilistico approfondito basato su dati numerosi e di qualità può dare una risposta affidabile per quanto riguarda la sicurezza.

## Bibliografia

- Boenzi F., Cherubini C., Giasi C.I. & De Siena A. (1988) – Engineering geology around the ancient urban area of Metapontum (Lucania, Italy). Proc. of the International Symposium of the IAEG: The Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites, 1633-1638, Athens.
- Cherubini C & Vessia G. (2003) – Un approccio alla stima del rischio liquefazione. Atti II Convegno Scientifico Nazionale “Sicurezza nei sistemi complessi”, Bari.
- Cherubini C. & Lupo M. (2002) – Geomechanical properties of sandy soils near Scanzano Jonico (Basilicata, Italy). *Geotechnical and Geological Engineering*, 20, 371-392.
- Cherubini C. & Lupo M. (1996) – Preliminary data and considerations about the susceptibility to liquefaction of coastal sands and silty sands near Nova Siri Scalo (Basilicata-Italy). Atti V Workshop Informatica e Scienze della Terra, 139-143, San Sepolcro.
- Cotecchia V. & Magri G. (1967) – Gli spostamenti delle linee di costa quaternarie del Mare Ionio fra Capo Spulico e Taranto. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 2, 1-34.
- Gruppo di lavoro CPTI (2004). Catalogo parametrico dei terremoti italiani, versione 2004. INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>
- Galadini F., Galli P. & Giraudi C. (1995) – Individuazione ed analisi di deformazioni geologiche associate a liquefazioni indotte da terremoti. Atti del Convegno “La città fragile in Italia”, 45-58, Giardini Naxos.
- LiquefyPro (2003). Liquefaction and settlement analysis, versione 4, Civiltech Software.
- Youd T.L. et al. (2001) – Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE*, 127 (10), 817-833.