

## **ANALISI E VALUTAZIONE DEL MOTO SISMICO DI UN DEPOSITO SABBIOSO ATTRAVERSO PROVE SU TAVOLA VIBRANTE**

F. Attaguile

*DICA, Università di Catania, Italia  
e-mail:francesco-attaguile@hotmail.it*

P. Capilleri

*DICA, Università di Catania, Italia  
e-mail:pcapilleri@dica.unict.it*

D. Longo

*DIEEI, Università di Catania, Italia  
e-mail:dlongo@diees.unict.it*

M. Maugeri

*DICA, Università di Catania, Italia  
e-mail:mmaugeri@dica.unict.it*

### **Sommario**

Nella presente nota, si riporta uno studio riguardante le riproduzioni in scala ridotta di sperimentazione su tavola vibrante. L'attività sperimentale ha riguardato l'ammodernamento dell'apparecchiatura già in dotazione al laboratorio di geotecnica dell'Università di Catania e successivamente un programma di prove, atte a valutare la coerenza tra il moto imposto alla tavola e l'effettivo moto della stessa, nonché la coerenza tra il moto sperimentale del deposito con quello teorico per il caso di terreno omogeneo elastico su substrato rigido e substrato deformabile.

### **Introduzione**

L'analisi sperimentale su opere di vera grandezza rappresenta un obiettivo alquanto arduo da conseguire allorché si voglia analizzare il loro comportamento in presenza di azioni sismiche, difficilmente riproducibili su grande scala. Una valida alternativa al problema è apparsa l'esecuzione di prove su tavole vibranti (Maugeri et al., 1999) o prove in centrifuga eseguiti su prototipi opportunamente realizzati.

La modellazione in scala costituisce un problema classico dell'ingegneria geotecnica, per il quale sono state formulate diverse teorie ed effettuati diversi studi sperimentali, alcuni dei quali hanno permesso di ottenere risultati interessanti sul comportamento dei terreni e delle opere geotecniche, finalizzate anche alla mitigazione dei rischi.

In una prima fase di questo lavoro si procede ad una attenta descrizione delle problematiche e della strumentazione utilizzata già per modellazioni fisiche, soprattutto con riferimento a muri in c.a. ed a muri in terre rinforzata (Cascone et al., 2000, 2001, Lo Grasso et al. 2002, 2004, 2005, 2006, 2007), successivamente si riferisce sulle prove effettuate impiegando la nuova strumentazione e ad un nuovo software per la gestione e l'elaborazione dei dati.

### Attrezzatura di laboratorio

La tavola è lunga 2m e larga 1m, pesa circa 1,5 KN ed è dotata di guide orizzontali che gli permettono il movimento lungo solo una direzione (Figura 1). Inoltre è costituita da un telaio in acciaio sul quale è fissata una lamiera rigida, di spessore pari ad 80 mm. Sulla tavola è fissato un cassone di dimensioni 1 m di lunghezza, 0,70 m di larghezza e 0,40 m di altezza avente due lati in vetro trasparente.

Il moto è fornito alla tavola mediante un'unità di carico composta da:

1. Gruppo oleodinamico costituito da serbatoio per l'olio, da un motore che fornisce una pressione massima di 210 Bar, da una pompa avente una portata massima di 25 litri/min e da un quadro elettronico di marcia e arresto.
2. Servo cilindro (mod. L085-TBD MOOG), costituito da una servo valvola serie D761, da un attuatore idraulico, con corsa massima di  $\pm 25$  mm, da un trasduttore di posizione interno tipo LVDT, avente pressione operativa di 210 Bar.
3. Un modulo di controllo, composto da uno chassis compact (NI Daq 9172) e da un sistema elettronico analogico, che controlla il servo cilindro, e che, attraverso la servo valvola, trasferisce e converte i segnali elettrici (espressi in V) in spostamenti. La servo valvola ha un range di lavoro compreso tra  $\pm 10$  V. Per cui ogni millimetro di spostamento del servo cilindro corrisponde ad una tensione imposta di 0,4 V (ottenuta dividendo 10V per 25 mm).

All'interno dello chassis sono stati inseriti, un modulo di uscita analogico (NI 9263) ad aggiornamento si-multaneo a 4 canali da 100 kS/s e due moduli di input analogico a 4 canali della Serie C a 24 bit (NI 9239) (Figura 2).

Il primo modulo (NI 9263) dispone di una protezione da  $\pm 30$  V da sovratensioni e da corto circuiti, comunicazione incrociata ridotta, frequenza rapida di risposta, precisione relativa elevata e calibrazione reperibile in NIST. Infine include una barriera a doppio isolamento a terra (da canale a terra) per la sicurezza e per l'isolamento delle vibrazioni di rumore ambientale.

Il modulo NI 9239 utilizza quattro connettori con terminale a vite a due posizioni, nella board 1 (sono stati collegati quattro accelerometri dytran (Model 7521A1); mentre nella board 2 due trasduttori di spostamento (LVDT) (Figura 2).

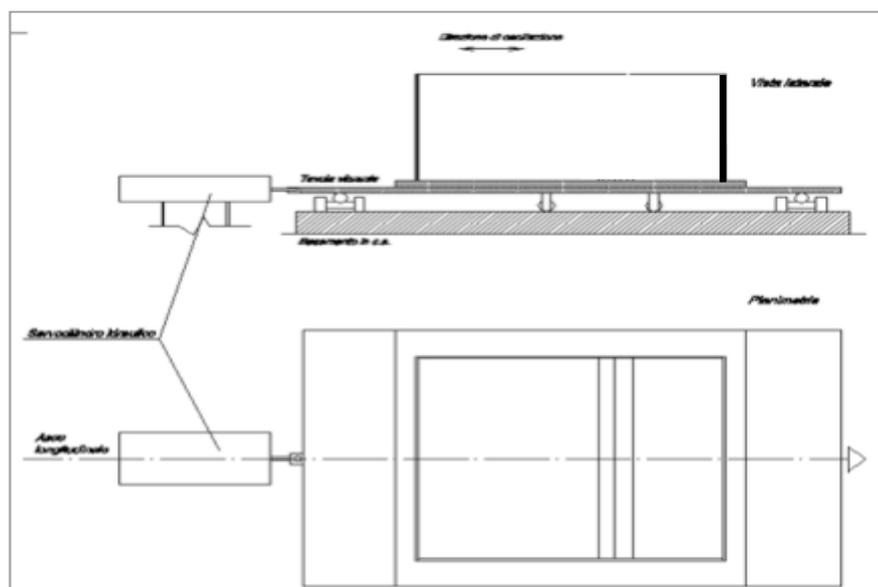


Figura 1. Sezione e planimetria della tavola vibrante (Lo Grasso et al.2002)

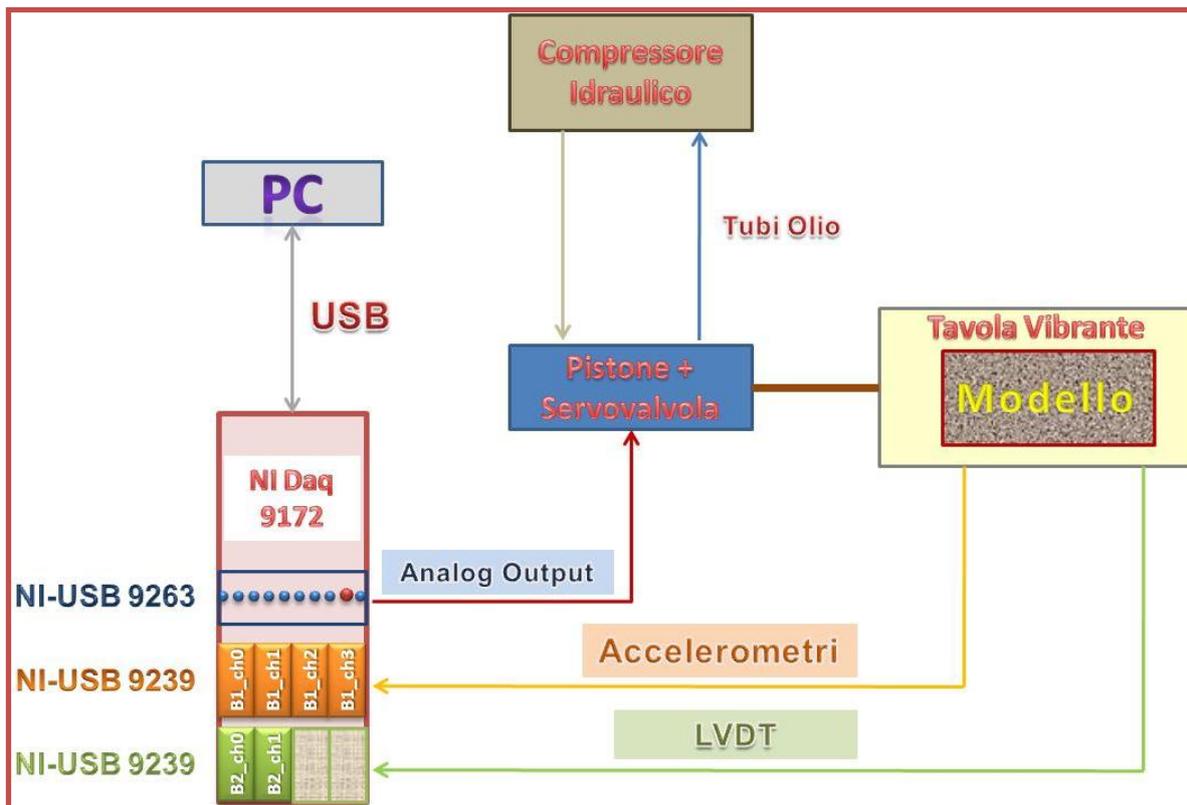


Figura 2. Schema a blocchi tavola vibrante

In questi moduli, grazie all'isolamento canale-canale, l'intero sistema, incluso il dispositivo per il test è protetto dai picchi di tensione dannosi entro le specifiche di isolamento. Oltre a garantire sicurezza, l'isolamento elimina gli errori di misura causati dai loop di terra, dato che il terminale di interfaccia del modulo è flottante.

L'intero sistema è gestito dal software "VBA Suite" che rappresenta un ottimo strumento capace di interfacciare la fase di input del segnale, l'acquisizione dei dati mediante accelerometri e trasduttori di spostamento, permettendo una fase di elaborazione dei dati ottenuti mediante degli algoritmi che consentono di realizzare varie analisi (Time History, FFT ecc..).

Il software applicativo VBA R.10 D per sistemi operativi Windows 2000 Pro ed XP, è realizzato in LabVIEW 7.1 ed è organizzato in due macro-funzioni principali. La prima dedicata all'uso dello strumento come analizzatore di spettro in real-time dotato della capacità di registrazione dei segnali su hard-disk così da assolvere contemporaneamente alle funzioni di analizzatore FFT e registratore digitale; la seconda dedicata alla post elaborazione dei segnali registrati sia nel dominio del tempo che nel dominio della frequenza, con la possibilità di esportazione dei risultati ottenuti in formati standard.

### Preparazione della prova e analisi dei risultati

Scopo del presente lavoro è quello di garantire una valutazione sperimentale della variazione di accelerazione riscontrata tra la tavola e la superficie del pacchetto di sabbia ed inoltre di confrontare l'input teorico impresso alla strumentazione con quello effettivamente misurato modificando di volta in volta la frequenza dell'input e valutando le differenze riscontrate, per

il caso di “strato omogeneo elastico su substrato rigido” e di “strato omogeneo elastico su substrato deformabile”.

Per la realizzazione della prova, il contenitore è stato riempito con una sabbia silicea uniforme presente lungo la fascia costiera a Sud della città di Catania in una zona denominata Plaja. Tale sabbia caratterizzata geotecnicamente sia dal punto di vista statico che dinamico da Cascone (1996), presenta un angolo di resistenza a taglio compreso tra  $36^\circ$  (per condizioni con densità relativa del 40%) e  $42^\circ$  (per condizioni con densità relativa del 80%).

Il controllo locale della densità relativa del deposito sabbioso, di altezza complessiva pari ad 0.40 m, è stato realizzato mediante la deposizione pluviale, in modo da ottenere un'altezza di caduta costante per ogni strato di sabbia atta a garantirne una densità uniforme. Mantenendo un'altezza di caduta della sabbia pari a 0.80 m, è stata raggiunta una densità relativa di circa 80%.

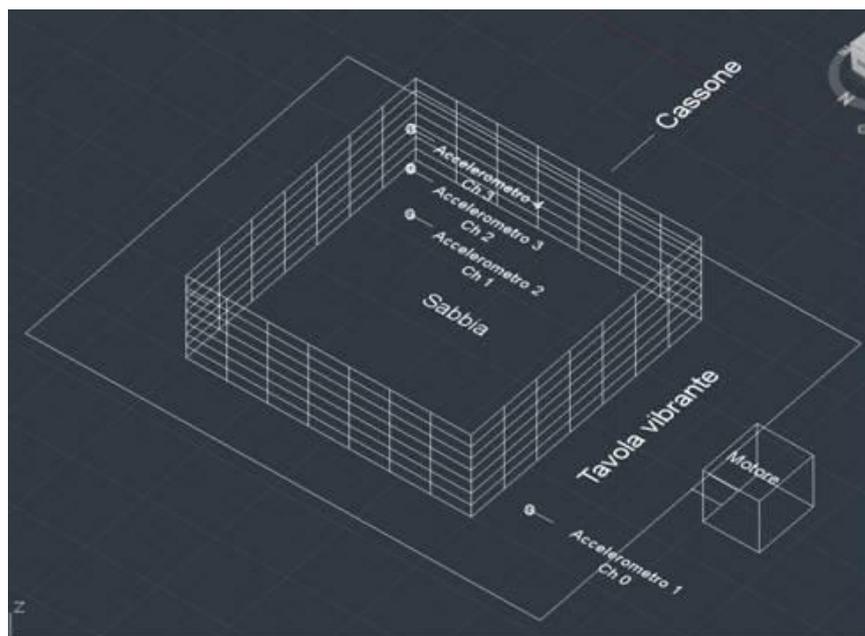
Per garantire il giusto attrito alla base, al fondo della scatola di prova è stato fissato un foglio, ottenuto spalmando, una miscela composta da colla vinilica e dallo stesso tipo di sabbia che è utilizzata nelle prove. Per lo stesso motivo e con la stessa metodologia sono state preparate delle scatole di dimensioni 2,5 x 3 x 2,5 cm, all'interno delle quali sono stati posti gli accelerometri da inserire all'interno del deposito di sabbia.

Gli accelerometri posti all'interno del terreno sono stati posizionati ad altezze diverse, in modo da poter cogliere al meglio le variazioni di accelerazione all'interno del banco di sabbia (Figura 3), rispettivamente denominati a partire dal fondo del cassone verso la superficie come Ch1, Ch2, Ch3.

All'esterno della tavola è stato posizionato un altro accelerometro (Ch0), in modo da potere registrare l'accelerazione alla base della tavola (Figura 3).

Il software applicativo VBA R.10 D permette di applicare alla tavola diversi tipi di input di spostamento. Nel presente lavoro si è fatto uso di un input sinusoidale, nel quale si è fatta variare solo la frequenza (3, 4,5 e 6 Hz), mantenendo costante l'ampiezza.

La prima prova effettuata è stata svolta utilizzando un input sinusoidale di ampiezza 10 V e frequenza 3 Hz con il terreno che presentava un grado di addensamento di circa l'82%.



*Figura 3. Schematizzazione del posizionamento delle apparecchiature*

L'input sinusoidale dato tramite il software è stato registrato in termini di accelerazione attraverso l'accelerometro del canale 0 (Ch0).

Le time-history dell'accelerazione registrate dagli accelerometri, alla tavola (Ch0) e in superficie dello strato di sabbia (Ch3), sono stati valutati anche analiticamente per un terreno elastico lineare e confrontati, per tutti i test effettuati facendo variare la frequenza.

La figure 4 riporta il confronto tra la risposta in termini di accelerazione in registrata da Ch0 e l'input teorico impresso alla tavola, per frequenza di 3Hz.

Mentre le figure 5 e la figura 6 mostrano rispettivamente l'analisi della variazione di accelerazione nel pacchetto di sabbia registrata in superficie attraverso Ch3 e la risposta di un pacchetto di terreno con le stesse caratteristiche della sabbia utilizzata per la prova, simulando prima le condizioni di "strato omogeneo elastico su substrato rigido" e poi le condizioni di "strato omogeneo elastico su substrato deformabile". Le differenze non si notano tanto in termini di ampiezza ma in termini di frequenza, tant'è che i due segnali non sempre si sovrappongono.

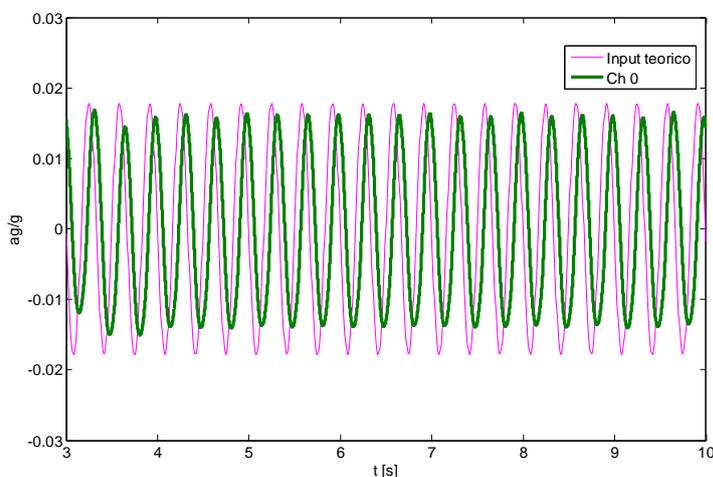


Figura 4. Prova  $f=3\text{Hz}$ : confronto tra registrazione alla tavola (Ch 0) e input teorico.

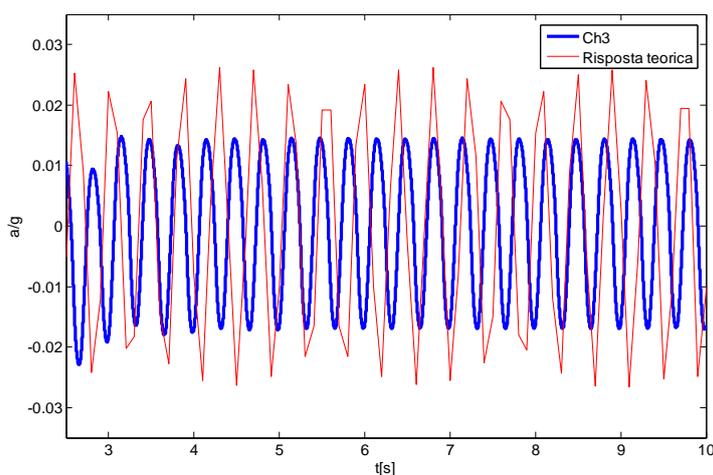


Figura 5. Prova  $f=3\text{Hz}$ : confronto tra accelerazione registrata in Ch3 e la risposta teorica di uno strato omogeneo elastico su substrato rigido

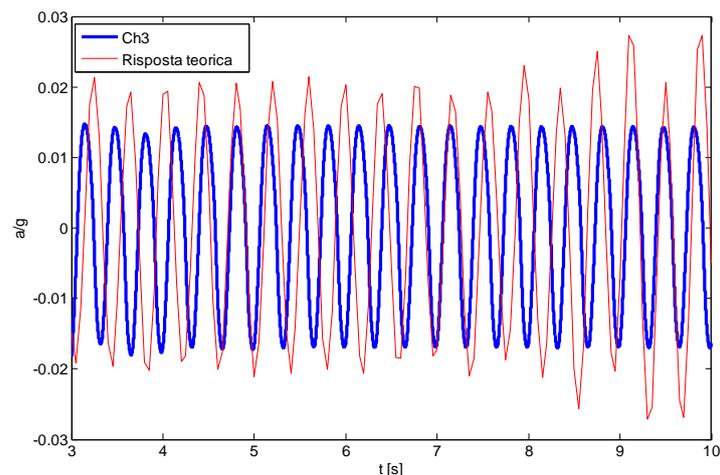


Figura 6. Prova  $f=3\text{Hz}$ : confronto tra accelerazione registrata in Ch3 e la risposta teorica di uno strato omogeneo elastico su substrato deformabile

### Bibliografia

- Cascone E. (1996): "Analisi sperimentale e modellazione del comportamento dinamico dei muri di sostegno". Tesi di dottorato. Catania, Febbraio 1996.
- Cascone E., Lo Grasso S., Maugeri M. (2000): "Dynamic Model Tests On L-Shaped Gravity Retaining Walls". 12th World Conference On Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 30 January - 4 February 2000, Paper No.2445, 8 P.
- Cascone E., Lo Grasso A.S., Maugeri M. (2001): "Dynamic Model Tests On Gravity Retaining Walls With Particular Surcharge Conditions". Fourth International Conference On Recent Advances In Geotechnical Earthquake Engineering And Soil Dynamics, San Diego, California, 26-31 March, 2001. Paper No. 7.12, 6 P.
- Lo Grasso A., Massimino M.R., Maugeri, M., (2002): "Dynamic Analysis Of Geosynthetic Interfaces By Shaking Table Tests". Seventh International Conference On Geosynthetics, Nice, France, 22-27 September 2002, Pp. 1335-1338.
- Lo Grasso A.S., Maugeri M., Recalcati P. (2004): "Shaking Table Tests And Analysis Of Reinforced Slopes". Proc. Of The Geoasia 2004 Conference, Seoul, 21-23 June, 2004.
- Lo Grasso A.S., Maugeri M., Tresso G. (2004): "I Geocompositi Per La Messa In Sicurezza Di Discariche Industriali". Simposio Internazionale Di Ingegneria Sanitaria Ambientale Sidisa 2004, Taormina, 23-26 Giugno, 2004.
- Lo Grasso A.S., Maugeri M., Costanzo S., Scotto M. (2006): "Sistemi Di Impermeabilizzazione In Zona Sismica Per La Vecchia E La Nuova Discarica Di Catania. Xix Convegno Nazionale Sul Tema: Geosintetici Nelle Costruzioni Di Terra - Controllo Dell'erosione Sul Territorio E Sistemi Barriera Nelle Discariche, Bologna, 25 Ottobre 2006
- Lo Grasso A.S., Maugeri M. (2007). The Road Map For The Design Of A Landfill In A Seismic Area. Proc. Eleventh International Waste Management And Landfill Symposium. Santa Margherita Di Pula, Cagliari, 01-05 Ottobre 2007.- 2007 by CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Italy.
- Maugeri M., Musumeci G., Novita' D., Taylor C.A. (1999): "Valutazione di cedimenti di fondazione superficiale in condizioni dinamiche mediante prove su tavola vibrante". 9° Convegno Nazionale su "L'Ingegneria Sismica in Italia", Torino, 22-23 Settembre 1999, CD-room.