

## **CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI DEPOSITI DI TERRENO PER ANALISI DI RISPOSTA SISMICA**

Oronzo Pallara<sup>(1)</sup>, Nunziante Squeglia<sup>(2)</sup> e Elena Mensi<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>*Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Politecnico di Torino*

<sup>(2)</sup>*Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Pisa*

*E-mail: oronzo.pallara@polito.it*

### **Sommario**

La nota descrive i risultati di indagini di laboratorio finalizzate alla caratterizzazione dinamica di depositi di terreno in Garfagnana e Lunigiana. Le indagini sono state svolte nel Laboratorio di Geotecnica del Politecnico di Torino – Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, per conto del Servizio Sismico della Regione Toscana (RT) e sono finalizzate all'esecuzione di analisi di risposta sismica. Dato il numero limitato di indagini disponibili, i risultati pertinenti ad una data Formazione Geologica sono stati utilizzati per valutarne il campo di variazione dei parametri di interesse (modulo di taglio G e rapporto di smorzamento D). Le indagini hanno riguardato sia i terreni di copertura sia spezzoni di roccia prelevati dal substrato.

### **Introduzione**

La risposta sismica locale è l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base, subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

La conoscenza delle caratteristiche meccaniche di un deposito di terreno è indispensabile per la determinazione della risposta sismica locale. Nel caso più semplice di un'analisi lineare equivalente di tipo 1D i parametri di interesse sono, oltre al profilo di velocità, il modulo di taglio (G) e lo smorzamento (D). Questi sono stati ottenuti da prove di laboratorio in particolare: prove di colonna risonante – RCT; prove di taglio torsionale ciclico – CLTST; prove triassiali cicliche – CLTX.

In questo lavoro sono stati utilizzati i risultati di prove di laboratorio eseguite su campioni di terreno prelevati in diversi comuni della Toscana nell'ambito di un programma, finanziato dalla Regione Toscana, avente lo scopo di valutare gli effetti locali di sito e la riduzione del rischio sismico.

### **Caratteristiche delle attrezzature e modalità di prova**

#### *Apparecchiatura di colonna risonante e taglio torsionale ciclico*

L'apparecchiatura di colonna risonante (RCT) è del tipo *fixed-free* ed utilizza un motore elettrico a 4 magneti e 8 avvolgimenti di capacità massima pari a 1.1 Nm (SBEL Arizona), innestato direttamente sulla testa del provino. Il motore è sostenuto da una molla che ne annulla il peso.

Le prove sono state eseguita in condizioni non drenate su provini di terreno di 50 mm di diametro e 100 mm di altezza consolidati isotropicamente alla pressione verticale geostatica. La saturazione del provino è avvenuta mediante un processo di back-pressurizzazione sino al raggiungimento di valori del parametro B di Skempton superiori a 0.95.

La condizione di risonanza è stata ottenuta come valore massimo dell'accelerazione all'interno di una spazzolata di frequenze. Lo smorzamento è stato determinato con il metodo

delle oscillazioni forzate.

Le prove di taglio torsionale ciclico (CLTST) sono state eseguite con la stessa apparecchiatura con frequenza di eccitazione costante e pari a 0.1 Hz e forma d'onda di tipo triangolare. Ad ogni livello di sollecitazione sono stati applicati al provino 28 cicli di carico. Per ogni ciclo è stato determinato lo smorzamento isteretico. Le prove sono state eseguite a controllo di carico.

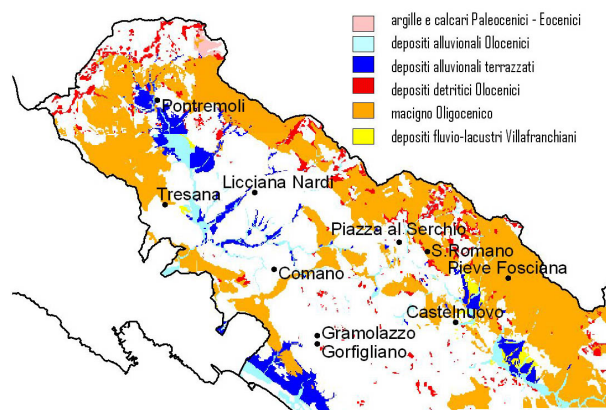
#### *Apparecchiatura triassiale per ghiaie*

Le principali caratteristiche della cella triassiale per ghiaie sono: dimensioni del provino: diametro 300 mm, altezza 600 mm; sistema di controllo e acquisizione dati mediante computer (scheda A/D 16 bit); possibilità di operare a controllo di deformazione o di carico (velocità di deformazione  $10^{-9}$  – 200 m/s, massimo carico verticale  $\pm$  200 kN); possibilità di applicare carichi ciclici (0.001 – 40 Hz) in condizioni drenate/non drenate; l'asta di carico è rigidamente connessa alla testa del provino; misure locali della deformazione con base di misura 400 mm e precisione  $\pm$ 0.02 mm; misura della variazione di volume con precisione  $\pm$ 10 mm<sup>3</sup>.

Le prove cicliche di compressione per carico (One-way CLTX) sono state eseguite in condizioni non-drenate a controllo di deformazione e forma d'onda di tipo triangolare con velocità 0.2 %/min (piccole deformazioni) e 0.5 %/min. Ad ogni livello di sollecitazione sono stati applicati al provino 19 cicli di carico. Per ogni ciclo è stato determinato lo smorzamento isteretico. Le prove sono state eseguite a controllo di carico.

#### *Prove cicliche su rocce*

Le prove cicliche su rocce sono state eseguite in condizioni monoassiali utilizzando una pressa che ha la possibilità di operare a controllo di deformazione o di carico (velocità di deformazione  $10^{-9}$  – 200 m/s, massimo carico verticale  $\pm$  200 kN). Le prove cicliche di compressione per carico (One-way) sono state eseguite a controllo di deformazione sulla misura locale con frequenza di eccitazione costante e pari a 0.1 Hz e forma d'onda di tipo triangolare. Ad ogni livello di sollecitazione sono stati applicati al provino 30 cicli di carico. Per ogni ciclo è stato determinato lo smorzamento isteretico.



#### **Depositi di terreno**

I campioni di terreno, utilizzati nella presente ricerca, sono stati prelevati nelle aree della Lunigiana e Garfagnana (Regione Toscana) nell'ambito delle attività relative al Programma valutazione degli effetti sismici locali dei centri urbani (Programma VEL - L.R. 30.7.97 n. 56) per la riduzione del rischio sismico. Nella figura è riportato un estratto della Carta Geologica Regionale con indicati i comuni in cui

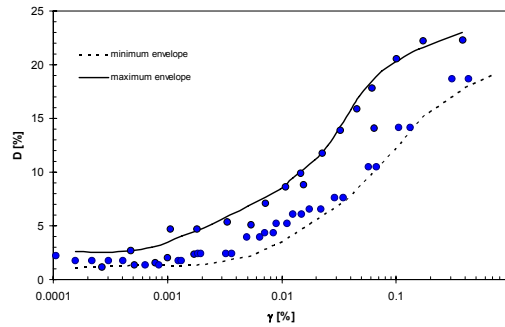
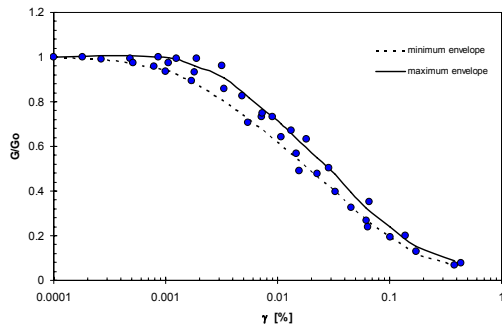
sono stati eseguiti i sondaggi e le prove di laboratorio. Nella figura sono riportate solo le formazioni analizzate.

Le prove di laboratorio sono state raggruppate in base alla formazione geologica di appartenenza, desunta dalla stratigrafia del sondaggio a cui apparteneva il campione indisturbato. Le legende utilizzate per la definizione dei depositi sono state tratte dalle Istruzioni Tecniche per le Indagini Geologiche, Geofisiche, Geognostiche e Geotecniche per la Valutazione degli Effetti Locali nei Comuni Classificati Sismici della Toscana (Volume 2). È utile ricordare che in caso di depositi alluvionali (ALL) i dati tracciati si riferiscono sia a campioni di ghiaia indisturbati prelevati con il metodo del congelamento in sito (Lo Presti et al., 2005) sia a campioni sabbiosi limosi recuperati con metodi tradizionali.

**DEPOSITI DETRITICI OLOCENICI - DT**

a=dt Detrito di versante

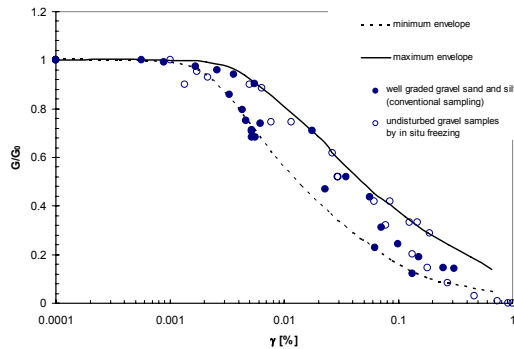
Detrito di versante costituito da elementi eterometrici prevalentemente grossolani, dispersi in matrice sabbiosa, accumulato lungo i versanti principalmente per gravità. Pleistocene Medio finale - Olocene



**DEPOSITI ALLUVIONALI OLOCENICI - ALL**

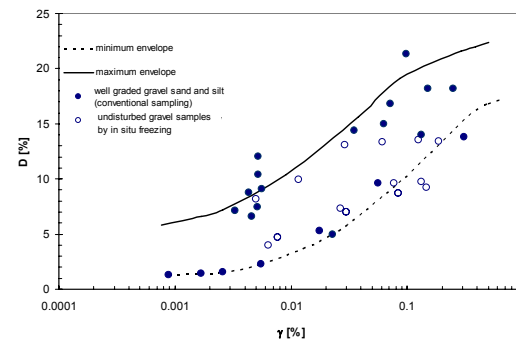
b=all depositi alluvionali attuali

Depositi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione, attraverso processi fluviali ordinari. Olocene



b<sub>r-n</sub>=at depositi alluvionali antichi terrazzati e recenti

Depositi di piana alluvionale: ciottolami in matrice limoso-sabbiosa, ghiaie, sabbie e limi talora variamente pedogenizzati. Pleistocene Medio - Olocene



**DEPOSITI FLUVIO-LACUSTRI VILAFRANCHIANI - ARG-CG**

OLP=cg Conglomerati di Olivola

Ghiaie polimitiche in matrice sabbiosa, localmente cementate, con livelli di sabbie e limi. Villafranchiano Inf. - Villafranchiano Sup.

PLB=cg Conglomerati di Barga

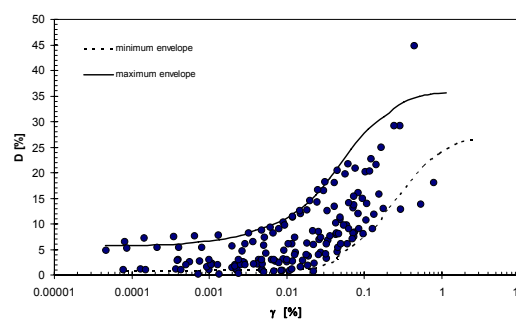
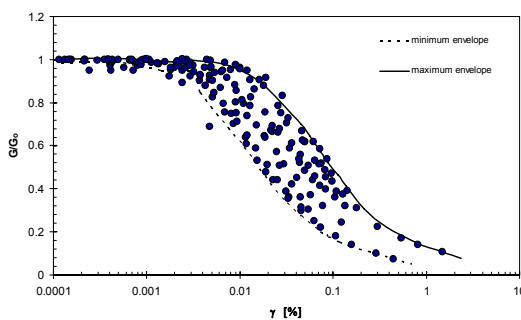
Conglomerati polimitici localmente cementati e conglomerati sabbiosi con livelli sabbioso-argillosi. Villafranchiano Sup.

AUA=arg argille, sabbie e conglomerati di Aulla

Argille e argille sabbiose o sabbioso-limose grigie, con sporadici livelli di sabbie e di ghiaie in matrice sabbiosa o limoso-sabbiosa, localmente cementate; le argille contengono frequenti resti vegetali e livelli di lignite. Rusciano Sup. - Villafranchiano Inf.

AFB=arg argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga

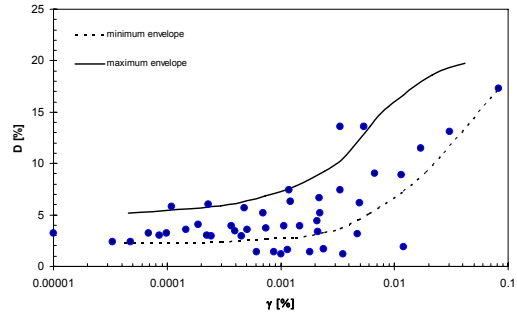
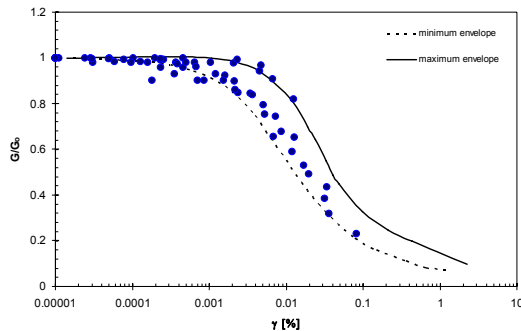
Argille e argille sabbiose o sabbioso-limose grigie, con intercalazioni di sabbie e di ghiaie e conglomerati in matrice argilloso-sabbiosa; le argille contengono frequenti resti vegetali e livelli di lignite. Rusciano Sup. - Villafranchiano Inf.



## ARGILLE E CALCARI PALEOCENICI-EOCENICI - AC

ACC=Ac Argille e calcari di Canetolo

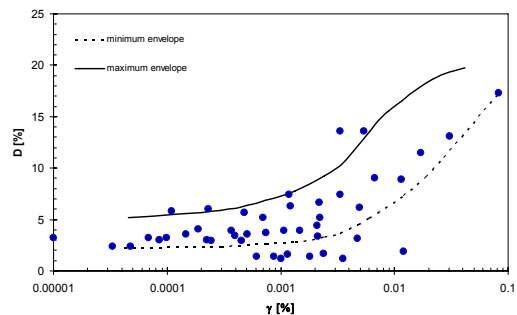
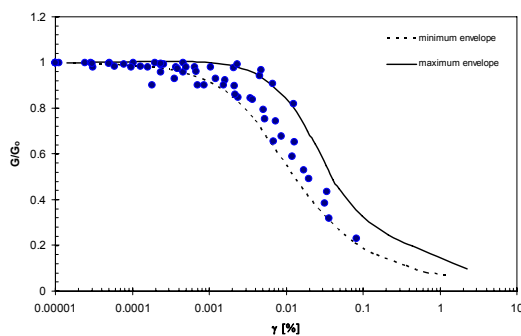
Argilliti grigio scure o nere da fogliettate a scagliose a cui s'intercalano strati medi e sottili di calcilutiti marnose o silicee grigio chiare, calcareniti grigio scure talora in strati spessi, areniti fini e siltiti; sono compresi inoltre strati medi e spessi di torbiditi calcarei o calcareo-marnose talvolta gradate con base calcarenitica o ruditica ricca di bioclasti. La formazione, sovente scompaginata, è spesso caratterizzata dalla presenza, prevalentemente nella parte alta, di lenti di torbiditi calcareo-marnose (CGV=cGV, ove distinte). Paleocene Sup.-Eocene Inf./Medio



## MAGIGNO OLIGOCENICO - MG

MAC=Mg Macigno

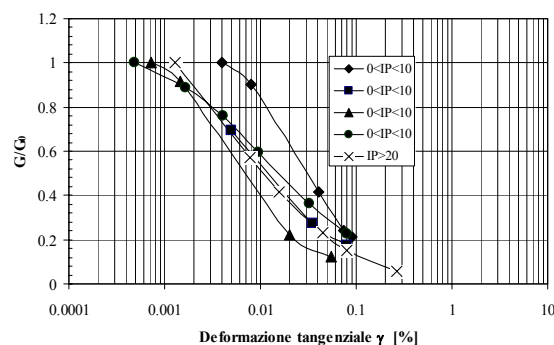
Arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatiche grigie o grigio-verdi, da medio fini a grossolane, in strati da spessi a molto spessi, talvolta amalgamati, a cui si intercalano strati sottili di arenarie fini, siltiti, argilliti e argilliti siltose; nella parte superiore localmente prevale una litofacies pelitico-arenacea con strati da sottili a spessi; a vari livelli, la formazione è caratterizzata inoltre dalla presenza di rare torbiditi calcaree a base calcarenitica, talvolta ricca di bioclasti. Nella porzione superiore, sono presenti rari olistostromi costituiti da breccie matrici sostenute con clasti calcarei e breccie calcaree. Oligocene Sup. - Miocene Inf.



## Conclusioni

Dai confronti illustrati emerge che:

- Le prove eseguite su spezzoni di roccia (MG) esibiscono una chiara non-linearità paragonabile a quella osservata per i terreni;
- Si può affermare che la variabilità spaziale del dato ottenuto da campioni provenienti da diversi sondaggi appartenenti alla stessa formazione, è superiore a quella imputabile ai differenti tipi di prova. Tale aspetto non è chiaramente evidenziato nei grafici presentati, è stato accertato per la formazione delle ARG-CG;
- La dipendenza della non-linearità dall'indice plastico (Dobry e Vucetic, 1991) non sempre è verificata e spesso può risultare fuorviante.



## Bibliografia

Lo Presti D., Pallara O., Froio F., Rinolfi A., Jamiolkowski M. (2005) "Stress-Strain-Strength Behaviour of Undisturbed and Reconstituted Gravely Soil Samples" Submitted to RIG for possible publication, September 2005

Lo Presti D., Pallara O. & Mensi E. (2006), “Characterization of Soil Deposits for Seismic Response Analysis”, A Symposium to Celebrate Prof. Tatsuoka’s 60th Birthday, March 16th and 17th, 2006, University of Rome La Sapienza.

Mensi E., Lai C., Spallarossa D. Pallara O. & Lo Presti D. (2004) “Risposta sismica in alcune aree della Toscana: un confronto con le indicazioni dell’Ordinanza dell’OPCM 3274”. Politecnico di Torino, Department of Structural and Geotechnical Engineering Report.