

LABORATORIO MODERNO DI MECCANICA DELLE TERRE ALL'UNIVERSITÀ DI RIJEKA

L'INCONTRO CON IL PROF. ING. VEDRAN JAGODNIK, DELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVERSITÀ DI RIJEKA, HA OFFERTO L'OPPORTUNITÀ DI AVVICINARCI E DI APPROFONDIRE LA CONOSCENZA SULLE ATTIVITÀ DEL MODERNO LABORATORIO DI MECCANICA DELLE TERRE DEDICATO ALLA RICERCA IN CAMPO GEOTECNICO

IL LABORATORIO DI MECCANICA DELLE TERRE

Presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Rijeka in Croazia sono recentemente stati completati e inaugurati i Laboratori Prove Materiali dedicati prevalentemente alla formazione e ai Dottorati in scienze tecniche. Le varie attrezzature permettono di determinare le proprietà fisiche e meccaniche dei materiali da costruzione (calcestruzzi, asfalti, materiali lapidei, terreni e rocce). Tra di essi, di particolare interesse è il laboratorio di meccanica delle terre, che vanta locali particolarmente organizzati e un elevato livello tecnologico delle attrezzature di prova acquisite: abbiamo avuto modo di visitarli accompagnati dal Dott. Vedran Jagodnik con il quale abbiamo potuto approfondire alcuni aspetti nell'intervista che ci ha concesso.

"S&A": "Come si è sviluppata in Lei la passione per la sperimentazione nel campo della meccanica delle terre e quanto questa esperienza ha contribuito ad arricchire il suo background scientifico?"

"Vedran Jagodnik": "Credo di aver scoperto una vera passione per la sperimentazione in campo geotecnico nelle mie prime

esperienze di studi post laurea, durante il semestre in visita presso l'Università della California a Los Angeles. Ho avuto l'opportunità di imparare e lavorare sotto la supervisione del Prof. Mladen Vucetic e del suo Studente, ora Ph. D. Ahmadreza Mortezaie. Già in precedenza, nel corso degli studi, avevo avuto occasioni simili, ma durante quella visita alla UCLA (University of California, Los Angeles) ho scoperto in che cosa consiste realmente l'attività sperimentale nel settore della meccanica delle terre. È interessante leggere sui libri o sulle pubblicazioni scientifiche come si svolgono le prove di laboratorio, ma non così tanto come quando si eseguono i test da soli. Osservando nel dettaglio le varie fasi di una prova fisica o meccanica, si può vedere come si comporta il terreno e affinare quindi la propria capacità di valutazione."

"S&A": "Prima di incontrarla, abbiamo avuto modo di vedere quante pubblicazioni scientifiche ha già al suo attivo, sia in campo sperimentale che in modellazione numerica e formulazione di leggi costitutive dei terreni. Di qui la sua esigenza di espandere l'attività sperimentale della Facoltà di Ingegneria?"

"VJ": "In questo momento la prospettiva di nuove pubblicazioni è in un certo modo limitata, ma spero che, in virtù dell'espansione del nostro laboratorio, grazie soprattutto al Ministero della Scienza dell'Istruzione e dello Sport della Repubblica Croata e allo sviluppo del progetto "Research Infrastructure for Campus-based Laboratories" dell'Università di Rijeka, co-finanziato dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (ERDF), la programmazione di nuovi progetti di ricerca e la produzione di nuove pubblicazioni possa ripartire. Da parte mia intendo operare in modo che l'attività del laboratorio non sia limitata alla sola determinazione dei parametri base della meccanica dei terreni, ma che permetta la definizione di comportamenti e di modelli più complessi del terreno, sia in campo statico che dinamico; dal momento che siamo un piccolo dipartimento, abbiamo ancora molto da imparare".



1. Vista del laboratorio

"S&A": "Le attrezzature con le quali operate correntemente permettono indagini sia in campo statico che dinamico e per livelli deformativi anche molto piccoli. Immagino che questa scelta di sviluppo sia correlata alle situazioni locali e regionali".

"VJ": "Questa è una giusta osservazione. In effetti esiste una faglia attiva molto vicina a Rijeka e per noi non risulta affatto strano il fatto di avvertire di tanto in tanto deboli oscillazioni sismiche. Le proprietà dinamiche dei terreni che ci circondano sono ancora in un certo modo sconosciute, ma con le attrezzature di cui ci siamo dotati possiamo effettuare un grande numero di prove, come appunto ho accennato. Sebbene siano state effettuate molteplici ricerche nel campo sia delle piccole che delle grandi deformazioni, vi sono aree dove la ricerca è ancora possibile e materiali il cui comportamento è molto complesso. Inoltre, la nostra Università si trova in una zona caratterizzata da frequenti frane e smottamenti, in particolare nella Penisola Istriana. Quindi le nostre attrezzature saranno anche impiegate per definire la resistenza residua dei materiali per effetto di grandi deformazioni".



2. Vista del laboratorio

"S&A": "Avete anche in programma di realizzare ricerche a lungo termine in cooperazione con altre Università?".

"VJ": "Credo che questo sia possibile, anzi che sia una strada obbligata. Come dicevo, noi siamo una piccola Università e un piccolo Dipartimento e a mio parere per questo motivo in futuro dobbiamo necessariamente essere in collegamento con altre Università più sviluppate. Molte delle Università straniere e dei dipartimenti di geotecnica hanno già avuto in dotazione da decenni attrezzature simili alle nostre. Non si tratta di un'espressione fuori luogo, quando affermo che nel settore del Soil Mechanics noi siamo un po' indietro rispetto ad altri; ma nel prossimo futuro contiamo di essere anche noi degni di nota".

"S&A": "Quanto è importante lavorare in un team? Intendo dire, in aggiunta ai neo-laureati che sviluppano specifici temi di ricerca, che si esauriscono nel triennio di dottorato, esiste un gruppo di Professori, di Ingegneri, di Tecnici, che assicura la continuità delle attività di laboratorio?".

"VJ": "Il nostro Dipartimento di Geotecnica comprende due Professori Ordinari a tempo pieno, un professore associato e un professore assistente. Vi sono inoltre quattro assistenti all'inse-

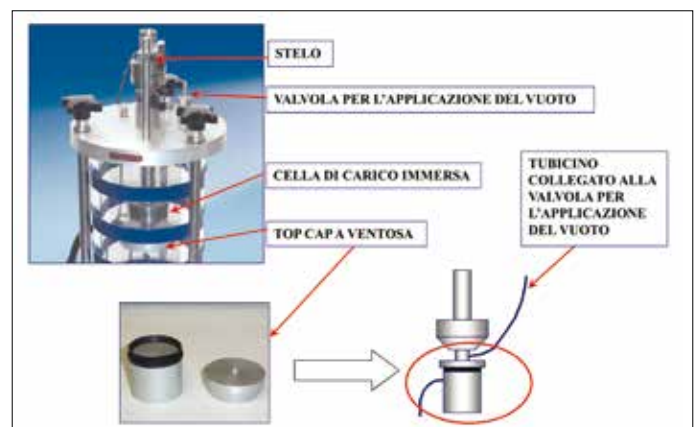
gnamento. Ciascuno di noi è responsabile di un certo numero di attrezzature, in modo da garantire che ciascuna attrezzatura venga utilizzata in condizioni ottimali. Devo inoltre ricordare che all'interno del laboratorio disponiamo di un Tecnico molto bravo, Juraj Stella, il quale ha dovuto apprendere in brevissimo tempo l'utilizzo di tutte queste sofisticate attrezzature. In questo modo penso che saremo in grado di assicurare la necessaria continuità delle attività del laboratorio".

Il Dott. Jagodnik ci invita a proseguire la visita e passa ad illustrarci in dettaglio le diverse attrezzature, quasi tutte automatiche, destinate ai diversi tipi di prova, e ce ne indica le applicazioni.

LE PROVE TRIASSIALI

Il sistema automatico Autotriax in dotazione al laboratorio, al di là delle prove triassiali tradizionali, è stato progettato per effettuare prove a stress path controllato, dove le tensioni principali applicate al provino sono gestite in maniera automatica e indipendente. In questo modo è possibile replicare in laboratorio qualsiasi condizione di stato tensionale che si incontra in sito.

Attualmente, è in corso una ricerca su campioni sabbiosi di media densità: si tratta di tre provini, contenuti nelle rispettive celle triassiali, ciascuna sotto una pressa, gestiti automaticamente e in maniera indipendente da un solo software, nelle fasi di saturazione, consolidazione e taglio monotonic. Per uno dei provini la consolidazione viene effettuata in condizioni K_0 : vale a dire le tensioni principali (verticale e orizzontale) vengono incrementate lentamente in maniera tale da mantenere costante la sezione del provino. Il software opera incrementando a velocità costante la tensione verticale applicata al provino, fino a un valore di target prestabilito, mentre la tensione orizzontale viene automaticamente regolata, utilizzando come segnale di feedback la misura del diametro, che deve essere mantenuto costante (a questo scopo viene montato un apposito trasduttore diametrico immerso, applicato direttamente sul provino all'interno della cella triassiale). Allo scopo di mantenere il contatto tra lo stelo della cella triassiale e la testina superiore applicata al provino, e garantire una corretta misura della compressione e della forza assiale che agisce sul provino (senza attriti), è stata utilizzata una cella di carico immersa e realizzato un apposito collegamento a ventosa tra stelo e testina superiore, sufficientemente rigido.



3. La piastra a ventosa per prove triassiali in estensione



4. La preparazione di un provino di sabbia compattata

I TERRENI PARZIALMENTE SATURI

Un altro tema di interesse riguarda i programmi di ricerca sui terreni parzialmente saturi e la determinazione della curva caratteristica (SWCC = Soil-Water Characteristic Curve).

Per questa applicazione il laboratorio dispone delle seguenti attrezzature:

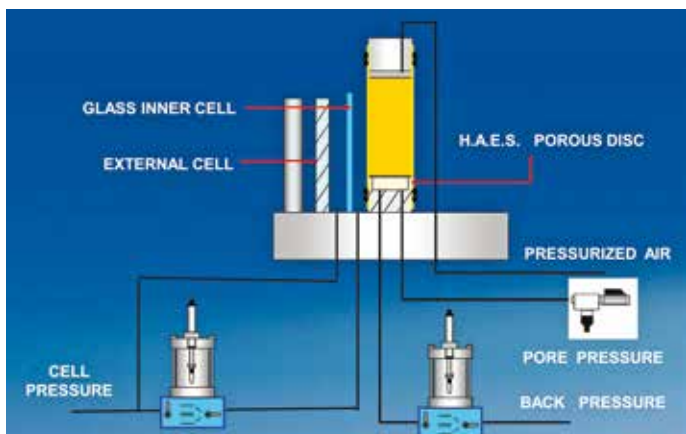
- cella triassiale a doppia camera, utilizzata in abbinamento al sistema triassiale automatico descritto in precedenza;
- cella Hydrocon SWCC, che permette di effettuare prove di consolidazione in condizioni edometriche.

Entrambe le attrezzature consentono di effettuare le prove sui terreni parzialmente saturi, adottando il metodo di traslazione degli assi, che prevede l'utilizzo di dischi porosi ad alta pressione di ingresso: si tratta di dischi ceramici cementati nel plinto di base della cella triassiale che permettono il passaggio dell'acqua ma impediscono l'ingresso dell'aria a diversi livelli di pressione.

Il metodo di traslazione degli assi consiste nell'applicazione di aria in pressione dalla testa del provino, in modo da portare la pressione all'interno del provino da negativa a positiva. Questa a sua volta determina una pressione positiva al disco ceramico e al sottostante trasduttore di pressione dei pori. La differenza tra la pressione d'aria alla testa del provino e la pressione dei pori alla base rappresenta la pressione di suzione del provino.

La cella triassiale a doppia camera è necessaria per ottenere una corretta misura della variazione di volume del provino.

Nei sistemi triassiali tradizionali, dove le prove vengono effettuate



5. Lo schema inerente la tecnica di traslazione degli assi e la misura della variazione di volume di un terreno parzialmente saturo

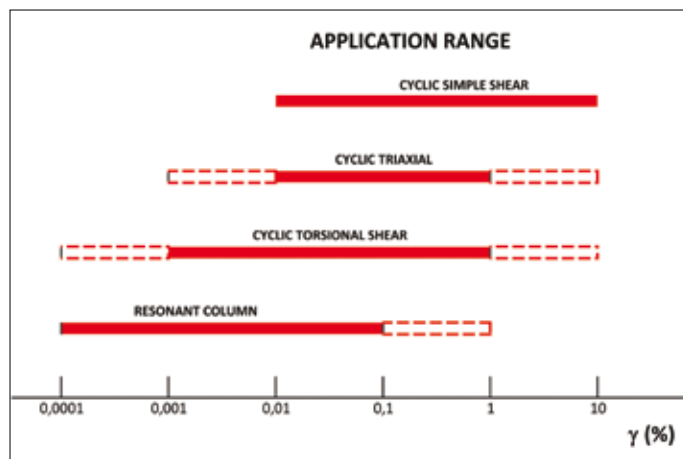
su terreni saturi, le misure di variazione di volume sono semplicemente misure di quantità d'acqua che entra o esce dal provino e vengono effettuate per mezzo di un trasduttore di variazione di volume. Viceversa, nei sistemi parzialmente saturi le misure sono complicate dalla compressibilità dell'aria. Una corretta misura richiede sia la misura dell'acqua che entra o esce dal provino, sia la variazione di volume totale del provino stesso. Con queste due misure, entrambe effettuate con trasduttori di variazione di volume, è possibile misurare sia l'acqua che viene espulsa o assorbita dal provino e sia, per differenza, la variazione di volume dovuta alla compressibilità dell'aria.

Nel caso dell'attrezzatura Hydrocon SWCC, poiché il provino è contenuto in un anello rigido, è sufficiente la misura della sola quantità d'acqua che entra o esce dal provino, in quanto la variazione di volume totale è ottenuta semplicemente dalla misura della deformazione assiale.

LE PROVE DINAMICHE

Il laboratorio è altresì attrezzato per indagare il comportamento del terreno per effetto di azioni sismiche. In queste situazioni, che non necessariamente portano al collasso del campione di prova, risulta importante investigare il comportamento in termini di curve sforzi-deformazioni e definire i parametri di deformabilità dei diversi strati di sottosuolo, informazioni richieste per simulare ad esempio le condizioni di propagazione di un evento sismico. Il comportamento del terreno all'interno del range delle piccole deformazioni è altresì importante nella previsione dell'interazione terreno-struttura. I moduli di rigidità misurati nel campo delle deformazioni molto piccole sono ormai riconosciuti tra le proprietà meccaniche fondamentali del terreno. Pertanto, le informazioni desunte dalle prove dinamiche sono anche comunemente utilizzate in campo statico nelle soluzioni dei problemi convenzionali di interazione tra la struttura di un edificio, le sue fondazioni e il sottosuolo.

Sebbene i livelli di deformazione oggetto di indagine siano relativamente piccoli, come ci spiega il Dott. Jagodnik, da tutto il mondo geotecnico è riconosciuta la necessità di ricorrere a procedure di prova differenti che si adattano appunto ai differenti livelli di deformazione, come riassunto schematicamente dal grafico sottostante:



6. I livelli di deformazione in relazione alle attrezzature di prova

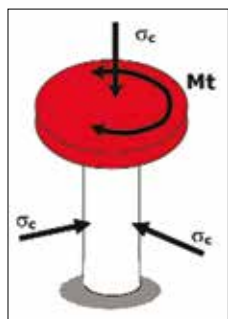
Per questa ragione, il laboratorio di Meccanica delle Terre della Facoltà di Ingegneria è dotato di attrezzature dinamiche differenti, progettate in maniera specifica per differenti tipi di prova e per differenti livelli di deformazione oggetto di indagine.

LA COLONNA RISONANTE E IL TAGLIO TORSIONALE CICLICO

Questa apparecchiatura, in cui i metodi di misura e applicazione dello stato tensionale sono particolarmente sofisticati, è stata sviluppata in maniera specifica per studiare le caratteristiche di deformabilità dei terreni, partendo da livelli di deformazione al taglio estremamente bassi.

La strumentazione di Colonna Risonante (RC) utilizzata dal laboratorio è stata progettata per lavorare in combinazione con la prova di Taglio Torsionale Ciclica (CTS) e può effettuare sperimentazioni per definire il comportamento deformativo di un campione di terreno, indisturbato o ricostituito, precedente alla rottura, per effetto di una torsione applicata ciclicamente.

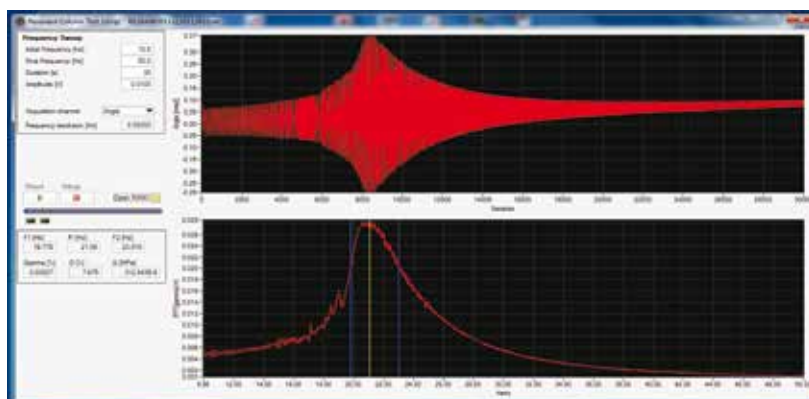
I parametri desunti dalle curve sforzi deformazioni, quali il modulo di taglio e il fattore di smorzamento, sono ottenuti in termini di diagrammi in funzione della deformazione al taglio γ per un intervallo compreso tra 0,0001% e 0,1%. I risultati di queste prove sono largamente utilizzati nelle analisi di risposta sismica a livello locale (microzonazione sismica). Nel caso delle prove CTS, mentre la base del provino è fissa, alla testa viene applicata una coppia torcente sinusoidale a bassa frequenza ($\sim 0.1 \div 5$ Hz) per un determinato numero di cicli. La coppia torcente e le corrispondenti deformazioni angolari vengono registrate continuamente e permettono di diagrammare i cicli di isteresi in termini di tensioni di taglio medie.



7. Lo stato tensionale applicato al provino nel corso di una prova torsionale ciclica

Nel caso delle prove RC il provino, sempre fisso alla base e libero in testa, viene sollecitato a torsione ad una frequenza massima di 250 Hz. L'ampiezza massima di risposta permette di determinare la frequenza di risonanza e da quest'ultima, in base alla teoria dell'elasticità, il modulo di taglio e la velocità delle onde di taglio.

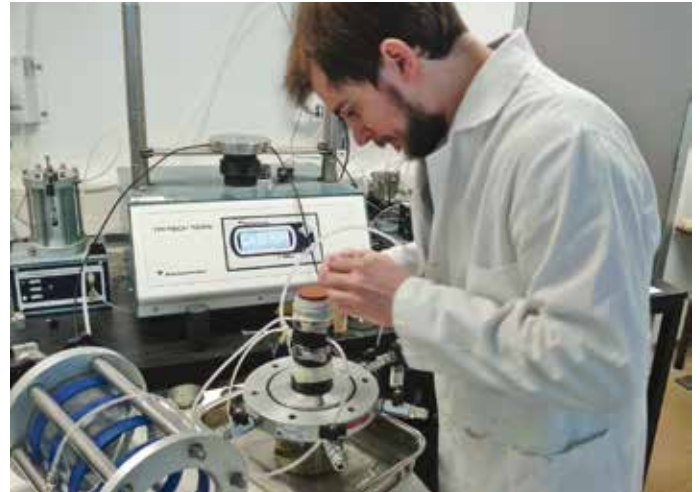
La coppia torcente e le corrispondenti deformazioni angolari vengono registrate continuamente e permettono di diagrammare i cicli di isteresi in termini di tensioni di taglio medie.



8. La videata del software della Colonna Risonante per la determinazione della frequenza di risonanza

LA TRIASSIALE CICLICA

Nel campo di livelli di deformazione medio-alti i parametri dinamici vengono determinati attraverso il sistema Dynatriax, un'attrezzatura dinamica, derivata dalla triassiale statica, dove la tensione principale verticale viene fatta variare in maniera ciclica,



9. La preparazione del provino per una prova triassiale ciclica



10. Il settaggio del sistema per prove triassiali cicliche

solitamente sinusoidale, a frequenza costante in un range che generalmente varia tra 0,1 e 2 Hz.

Nel corso della prova, dove la fase dinamica può essere effettuata sia in controllo di carico che in controllo di deformazione, si acquisiscono i cicli di isteresi sforzi-deformazioni e si determinano i relativi parametri di deformabilità.

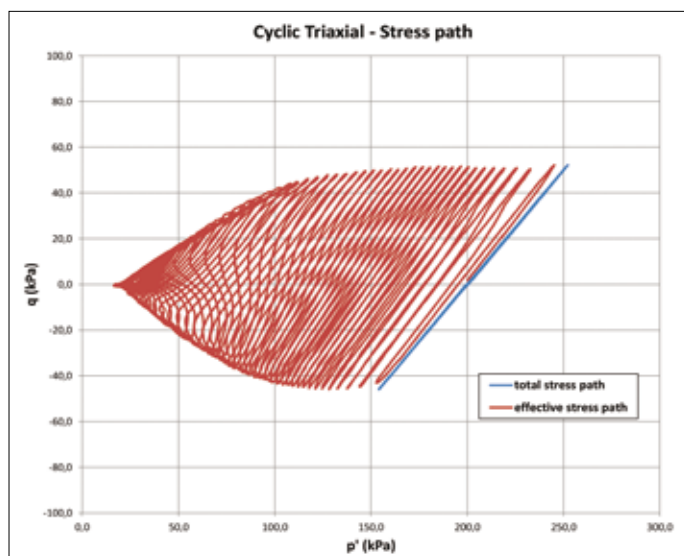
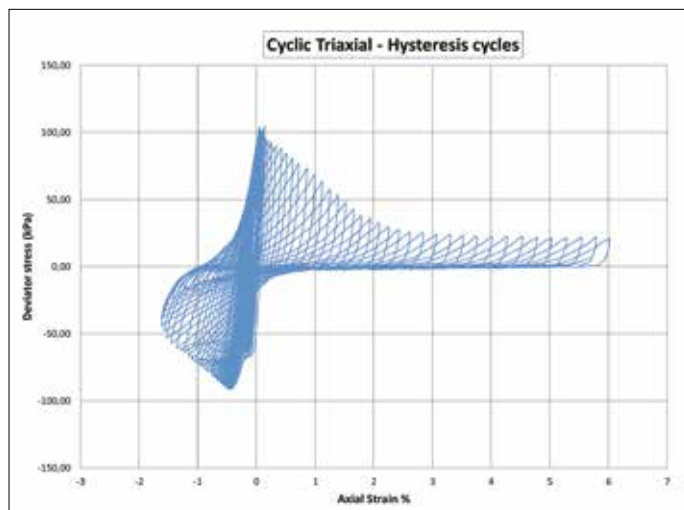
I risultati vengono presentati in termini di curve dei parametri di deformabilità (modulo di taglio e fattore di smorzamento) in funzione della deformazione di taglio, in modo analogo alle prove in Colonna Risonante (RC) e Taglio Torsionale Ciclico (CTS), ma in un intervallo di deformazioni più elevate (da 0,1 a 1÷10%).

La combinazione di queste tre prove (RC, CTS e TXC) permette quindi di indagare e definire i parametri di deformabilità di un determinato terreno in maniera esaustiva all'interno di un ampio spettro di deformazioni.

Oltre a queste attrezzature particolarmente sofisticate, il laboratorio comprende anche le attrezzature tradizionali di compressibilità e resistenza al taglio solitamente adottate nei laboratori geotecnici, quali ad esempio:

- ACE: sistema automatico a gradini di carico per prove di compressibilità in cella edometrica;
- Shearmatic: attrezzatura automatica per l'esecuzione di prove di taglio diretto su campioni di grandi dimensioni, costituiti ad esempio da terreni granulari addensati.

Tutte le attrezzature che ci sono state illustrate, sia di ricerca avanzata che tradizionali, sono progettate e prodotte da Wykeham Farrance - la Divisione di Controls Group nel settore della Meccanica delle Terre - e operano con sistemi di monitoraggio particolarmente avanzati, a gestione e controllo automatico, acquisizione ed elaborazione dati; il tutto in conformità alle principali Normative internazionali.



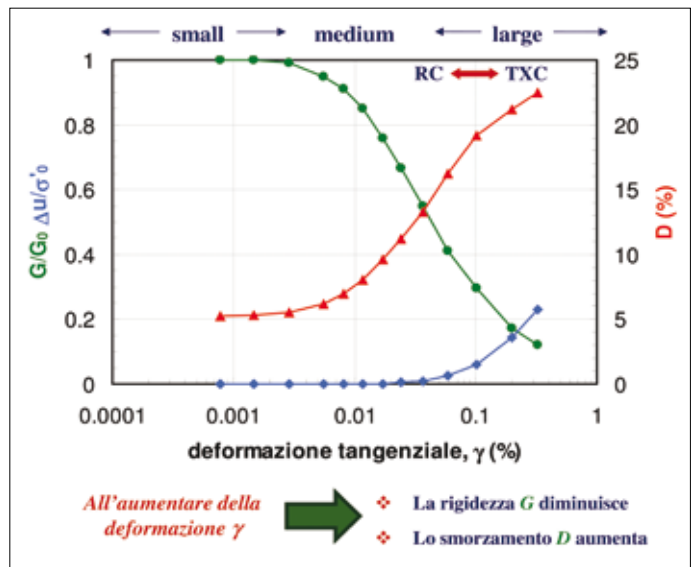
11A e 11B. La prova triassiale ciclica in controllo di carico: il collasso di una sabbia quarzosa fine mediamente addensata



13. Il momento dell'impostazione dei parametri di prova con l'attrezzatura per la prove di taglio diretto

CONCLUSIONI

La visita si è dimostrata particolarmente interessante, grazie soprattutto alle dettagliate spiegazioni, alla competenza e preparazione del Dott. Jagodnik e dei suoi Collaboratori, che ci hanno illustrato le attività del laboratorio e gli obiettivi per i quali il centro di ricerca è stato realizzato. Gli sviluppi si dimostreranno sicuramente in linea con le aspettative, sia in termini di programmi scientifici e di cooperazione in ricerche già in corso con altre Università, sia in termini di attività di servizi e di consulenza, nell'ambito della progettazione geotecnica.



12. Il modulo di taglio normalizzato G/G_0 e fattore di smorzamento D in funzione della deformazione di taglio γ

Il Laboratorio è stato in parte sostenuto dal Ministero della Scienza, dell'Istruzione e dello Sport della Repubblica di Croazia sotto il progetto Research Infrastructure for Campus-based Laboratories (n° RC.2.2.06-0001) presso l'Università di Rijeka. Il progetto è stato cofinanziato dal Fondo europeo di Sviluppo Regionale (FESR).

L'Università di Rijeka

L'Università di Rijeka è stata fondata nel 1973 nell'ambito del naturale processo di espansione degli Istituti universitari della Croazia occidentale che risalgono al XVII secolo, quando dai Gesuiti fu fondato il Ginnasio che, a quei tempi, poteva vantare un livello di studi pari a quello delle accademie delle grandi città dell'Impero Austriaco.



L'Università ospita attualmente dieci Facoltà, oltre a tre scuole per Insegnanti per Istituti di formazione professionale superiore, e punta ad essere annoverata tra le prime 500 Università europee. La Facoltà di Ingegneria - con i suoi dieci Dipartimenti, le 34 Cattedre, i 46 Laboratori, un Centro EDP e una Biblioteca - è considerata a tutt'oggi una moderna istituzione scientifica di alto livello accademico altamente competitiva sul mercato sia a livello europeo che mondiale. La Facoltà iniziò la sua attività a partire dal 1969 come Collegio di Ingegneria Civile. Nel 1971 presentò un proprio programma di insegnamento in Ingegneria Civile nell'ambito della Facoltà di Ingegneria in Rijeka e nel 1976 proseguì l'attività come Facoltà indipendente di Ingegneria Civile. A partire dal 2005 ha avviato i Corsi di Laurea e di specializzazione post-Laurea di studio in Ingegneria Civile (Bachelor e Master), così come i programmi di studio professionale di Laurea e Laurea specialistici (costruzione di strutture costiere e sistemi infrastrutturali). Attualmente offre un'istruzione di alta qualità per la formazione di Professionisti nel settore dell'Ingegneria Civile e delle discipline ad essa correlate.

In dettaglio, il programma si compone di tre livelli:

- Corso di Laurea (tre anni);
- Master (due anni) in Geotecnica, Idraulica, Modellazione, Ingegneria Strutturale, Trasporti, Urbanistica;
- Dottorato in Scienze Tecniche (tre anni).

La Facoltà promuove anche la cooperazione con partner commerciali e istituzioni straniere nel campo della scienza, della ricerca e dell'istruzione superiore. Tra questi possiamo citare le Università di Evanston, Glasgow, Lubiana, Maribor, Padova, Venezia, Niigata, Wiesbaden Stoccarda, ecc..