

Centro Regionale di Competenza
Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale

Dipartimento di Ingegneria Geotecnica
Università degli Studi di Napoli Federico II

MaTRiX

Celle per carichi ciclici



Manuale tecnico a cura di:
Filippo Santucci de Magistris



Centro Regionale di Competenza
Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale

Dipartimento di Ingegneria Geotecnica
Università degli Studi di Napoli Federico II

MaTRiX

Celle per carichi ciclici

Manuale tecnico a cura di:
Filippo Santucci de Magistris

Centro Regionale di Competenza
Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale
Polo delle Scienze e delle Tecnologie
Dipartimento di Scienze Fisiche
C/o Facoltà di Ingegneria - Via Nuova Agnano, 11 - III Piano
80125 - Napoli - Italy
www.amra.unina.it
ambiente@na.infn.it
Telefono +39 081 76-85125/124/115
Fax. +39 081 76-85144

Autore

Filippo Santucci de Magistris
*Dipartimento di Ingegneria Geotecnica
Università degli Studi di Napoli Federico II*

Coordinamento editoriale

doppiavoce
www.doppiavoce.it

Copyright © 2004 Università degli Studi di Napoli Federico II – CRdC-AMRA

Tutti i diritti riservati
È vietata ogni riproduzione

Indice

Introduzione	5
Determinazione della deformabilità dei terreni	5
Caratteristiche peculiari delle celle UoT-MaTRiX	7
Campi di applicazione	14
Bibliografia	15

Introduzione

Le celle triassiali MaTRiX (University of Tokyo Made-up TRiAXial) permettono di analizzare il comportamento meccanico dei terreni sia nel campo delle piccole e medie deformazioni che in condizioni di rottura, applicando storie di carico monotone e cicliche. Le celle sono state concepite alla fine degli anni '80 e sono state sviluppate negli anni '90 presso l'*Institute of Industrial Science* dell'Università di Tokyo.

Il Centro Regionale di Competenza dispone di tre celle: due (MaTRiX 1000) con la possibilità di applicare un carico assiale fino ad 1 tonnellata, una (MaTRiX 5000) per un carico assiale massimo di 5 tonnellate.

Determinazione della deformabilità dei terreni

Nell'ingegneria geotecnica va assumendo sempre maggiore importanza il problema del controllo dei requisiti di sicurezza nei confronti dello stato limite di esercizio. Nella prassi progettuale è generalmente necessario imporre un limite alle deformazioni per garantire la statica ma anche la fruibilità delle strutture. Le più recenti indicazioni normative di tipo "prestazionale" fanno proprio questo principio, definendo per le opere di ingegneria civile i livelli di prestazione che devono essere soddisfatti, sia sotto l'azione dei carichi statici che sotto le azioni sismiche.

Nella valutazione degli spostamenti delle opere di o interagenti con il terreno, diventa necessario misurare con accuratezza la *deformabilità* dei terreni.

Le misure devono essere effettuate in un campo di deformazioni relativamente ridotto, non solo quando si affrontano problemi di ingegneria geotecnica sismica ma anche in campo statico. Nel primo caso, da misure ottenute tramite array verticali, si sono osservate deformazioni tangenziali non superiori allo 0,1% anche nei terremoti più violenti, con l'eccezione dei

casi di rottura del terreno. In campo statico, il monitoraggio degli spostamenti indotti nel terreno da manufatti indica che le deformazioni che si sviluppano nel volume significativo di sottosuolo in condizioni di esercizio sono contenute in un campo che varia dallo 0,001% all'1%.

Questi campi di deformazione sono difficilmente indagabili con le attrezzature di laboratorio tradizionali. Ciò comporta grossi errori nella previsione degli spostamenti del sistema struttura-terreno, con conseguente aggravio dei costi di costruzione a causa di un sovradimensionamento dei manufatti.

Pertanto, per un corretto inquadramento del comportamento meccanico dei terreni e per una conseguente progettazione geotecnica più realistica, è particolarmente importante misurare in laboratorio tensioni e deformazioni in modo accurato e continuo.

A questo scopo occorre disporre di sistemi di misura estremamente accurati, ma allo stesso tempo occorre eliminare una serie di errori nella misura delle tensioni e delle deformazioni legati sia alla deformabilità dei sistemi di applicazione dei carichi sia alle modalità di confezionamento e montaggio dei provini.

Per una buona riuscita delle misure di deformabilità dei terreni occorre prestare particolare cura ai seguenti sottostemi dell'apparecchiatura di misura:

- sistemi per la misura dei carichi;
- sistemi per la misura delle deformazioni;
- attuatori di carico.

SISTEMI PER LA MISURA DEI CARICHI

Le celle di carico più frequentemente adottate sono del tipo a "strain gauge"; esse devono essere caratterizzate da elevata linearità e risoluzione, isteresi e deriva di zero trascurabili, elevata rigidità, trascurabile influenza delle componenti di carico diverse da quelle da misurare, insensibilità alle variazioni di temperatura e pressione, resistenza all'immersione in fluidi in pressione, durezza, stabilità della misura nel tempo, maneggevolezza e semplicità di taratura.

MISURA DEGLI SPOSTAMENTI ASSIALI

Per una misura accurata è necessario disporre di trasduttori locali che misurano spostamenti di punti direttamente appartenenti al provino. Le misure di deformazione vengono effettuate di norma lungo due verticali diametralmente opposte, con la deformazione assiale complessiva derivante dalla media delle due misure. Una qualsiasi strumentazione per la misura locale degli spostamenti, oltre ad avere risoluzione e accuratezza adeguate deve rispondere anche a una serie di requisiti ben precisi: immergibilità, isteresi trascurabile, insensibilità alle variazioni di temperatura e alle pressioni idrostatiche, stabilità della misura nel tempo, maneggevolezza, semplicità di taratura.

ATTUATORI DI CARICO

È necessario utilizzare attuatori dei carichi che abbiano un'adeguata risoluzione. Gli attuatori dovrebbero consentire l'esecuzione di prove lungo percorsi che in fase di riconsolidazione riproducano lo stato tensionale in sito e in fase di taglio consentano di analizzare il comportamento meccanico lungo diversi percorsi di sollecitazione. I sistemi attuatori devono essere anche in grado in maniera semplice e continua di invertire la direzione di applicazione del carico, al fine di eseguire prove di tipo ciclico sui terreni.

Gli attuatori devono essere controllati via personal computer, per eseguire i più svariati percorsi tensionali sia in fase di compressione sia in fase di taglio.

Caratteristiche peculiari delle celle MaTRIX

Le celle MaTRIX rispondono a pieno alle specifiche prima riportate. Sono apparecchiature che permettono di valutare con accuratezza la deformabilità dei terreni, consentendone di analizzare la risposta meccanica:

- dalle piccole deformazioni fino alla rottura (fasi di picco e post-picco);
- utilizzando storie di carico di tipo monotono o di tipo ciclico;
- applicando un ampio campo di velocità di deformazioni.

La Figura 1 mostra uno schema complessivo dell'apparecchiatura. Essa è costituita dai seguenti sottosistemi:

- la camera triassiale che alloggia il provino di terreno;
- il sistema di attuazione dei carichi;
- una serie di trasduttori, per il controllo in tempo reale dello stato del provino di terreno;
- un personal computer che dialoga con l'apparecchiatura attraverso apposite schede di acquisizione e controllo, e che è dotato di un particolare software per la gestione della prova.

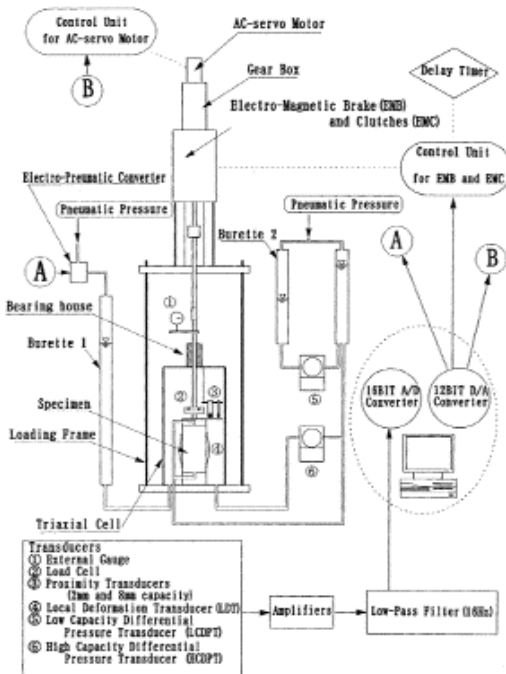


Fig. 1. Schema della cella MaTRiX (da Santucci de Magistris et al., 1999).

LA CAMERA TRIASSIALE

La camera triassiale è alloggiata all'interno di un telaio di acciaio che sorregge il dispositivo di applicazione del carico assiale e fornisce l'elemento di contrasto all'avanzamento del pistone.

La cella triassiale vera e propria è realizzata in plexiglas ed è rinforzata alle estremità con delle fasce di alluminio sagomate all'interno per garantire la tenuta idraulica (Figura 2A). La struttura interna della camera triassiale è realizzata in acciaio con i due piatti alle basi collegati da montanti in modo da formare un telaio (Figura 2B). Sul piatto inferiore è disposto un elemento cilindrico su cui viene posizionato il provino di terreno. Al di sopra del provino è predisposta la testa di carico. Il disegno della camera triassiale riduce al minimo il disturbo al terreno in fase di montaggio che spesso compromette i risultati delle prove nelle apparecchiature convenzionali: l'operatore può infatti agevolmente, a cella aperta, predisporre il provino tra le basi dell'apparecchiatura curandone l'allineamento e il collegamento (Figura 2C).

Il drenaggio è assicurato sia sulla base inferiore sia in quella superiore. La cella è predisposta per ospitare provini cilindrici di 50 mm di diametro e tipicamente di altezza pari a 100 mm.

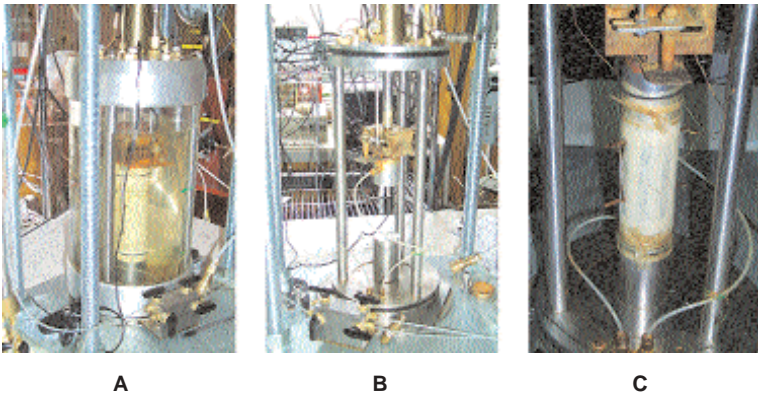


Fig. 2. La camera triassiale.

IL SISTEMA DI APPLICAZIONE DEI CARICHI

Il sistema di applicazione dei carichi è costituito da due parti principali:

- applicazione dei carichi assiali;
- applicazione della pressione di cella e della contropressione.

Sistema attuatore dei carichi assiali

Il sistema di applicazione dei carichi assiali (Figura 3) rappresenta uno dei punti di forza di MaTRiX. Esso è costituito da un particolare sistema elettromeccanico guidato da motore a corrente continua servo-controllato grazie a un encoder ottico. L'attuatore è in grado di applicare e controllare spostamenti assiali dell'ordine di $0,1 \mu\text{m}$, di applicare velocità di deformazione estremamente variabili e di non avere problemi di gioco meccanico all'inversione dei carichi nel corso di prove cicliche. La Figura 4 mostra alcuni dettagli e uno schema di funzionamento del sistema elettromeccanico. Si noti come le ruote dentate del sistema girino sempre nella stessa direzione mentre l'inversione del carico avviene attivando opportunamente delle frizioni elettromagnetiche.



Fig. 3. Sistema di applicazione dei carichi assiali.

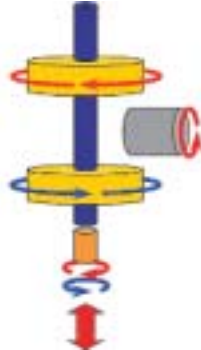


Fig. 4. Schema di funzionamento del sistema elettromeccanico di applicazione dei carichi assiali.

Sistemi di regolazione della pressione di cella e dei pori

L'applicazione delle pressioni di cella e dei pori avviene tramite un compressore esterno. La pressione di cella è controllata da un regolatore elettro-pneumatico gestibile mediante personal computer. In alternativa, la pressione è controllata mediante un regolatore pneumatico manuale, ed è possibile il passaggio da controllo remoto a controllo manuale nel corso della prova. La pressione dei pori è controllata mediante un regolatore manuale.

I TRASDUTTORI

Lo stato del provino nel corso delle prove è letto attraverso una serie di trasduttori elettronici. Se ne possono individuare due classi:

- trasduttori per la misura dei carichi o delle pressioni;
- trasduttori per la misura delle deformazioni.

Trasduttori per la misura dei carichi

La misura del carico assiale nelle celle MaTRiX avviene attraverso una cella a strain gauge (Figura 5) posta all'interno della camera triassiale, direttamente al di sopra della testa di carico.



Fig. 5. Cella di carico.

La disposizione degli strain gauge sul corpo metallico è tale da rendere la cella pressoché insensibile a qualsiasi eccentricità di carico, e quindi a componenti di carico diverse da quelle da misurare.

La misura della pressione di confinamento avviene attraverso un trasduttore di pressione differenziale ad alta capacità (HC-DPT). Tale trasduttore, collegato sia al circuito del fluido interstiziale che a quello della pressione di cella, consente una misura diretta della pressione radiale efficace.

Trasduttori per la misura delle deformazioni

Per misurare le deformazioni volumetriche si utilizza un trasduttore differenziale di bassa capacità (LC-DPT), collegato a un sistema a doppia buretta. In una delle burette vi è un livello di fluido fisso, mentre la buretta a livello variabile è collegata al fluido di porosità del provino. Le variazioni di livello del fluido corrispondono alle variazioni di volume del terreno.

Il sistema per la misura delle deformazioni assiali rappresenta un ulteriore punto di forza delle celle MaTRiX. Esso è costituito da tre parti, in ragione del livello di deformazione da analizzare.

1. Per la misura di deformazioni elevate si utilizza un trasduttore LVDT (Linear Variable Displacement Transducer) con un'escursione massima di 40 mm, che è posto all'esterno della cella e legge gli spostamenti del pistone di carico.

2. Per la misura delle deformazioni intermedie si utilizza un trasduttore di prossimità o di non contatto, con un fondo scala di 4 mm, posto all'interno della cella (Figura 6). Il target per la misura è solidale alla testa di carico del provino.
3. Per la misura delle piccole deformazioni si utilizza una coppia di trasduttori di tipo LDT (Local Displacement Transducer), montati direttamente sul provino (Figura 7). I trasduttori sono costituiti da una sottile lamina di bronzo fosforoso, ai due lati della quale sono incollate quattro resistenze (strain gauge) a formare un ponte di Wheatstone completo. Ciascun LDT viene fissato tra due cerniere incollate sulla membrana che ricopre il provino. Gli strain gauge rilevano l'inflessione della striscia di metallo cui sono solidali, proporzionale alla deformazione assiale del provino.



Fig. 6. Trasduttore di non contatto per la misura delle deformazioni assiali.



Fig. 7. Trasduttore LDT per la misura delle deformazioni assiali.

IL SISTEMA DI CONTROLLO E GESTIONE DELLE PROVE

Il sistema è dotato di una scheda di acquisizione A/D a 16 bit predisposta per leggere i segnali provenienti dai trasduttori in un campo di tensioni di ± 5 Volt. Per alcuni trasduttori sono presenti degli opportuni amplificatori esterni. Il controllo degli attuatori avviene attraverso una scheda D/A a 12 bit. La cella è controllata da un software di gestione scritto in Visual Basic.

Campi di applicazione

Le celle MaTRiX trovano il loro naturale impiego in tutti quei problemi che richiedono un'adeguata caratterizzazione meccanica dei terreni in laboratorio, sia nel campo dell'ingegneria geotecnica statica sia nel campo dell'ingegneria geotecnica sismica.

Il loro uso si integra con quello di apparecchiature torsionali (ad esempio le macchine THOR), al fine di definire in maniera completa la matrice di rigidità dei terreni. Le apparecchiature MaTRiX forniscono inoltre i parametri di resistenza dei terreni, sia in condizioni di picco che in condizioni di stato critico.

In sintesi, le apparecchiature possono essere utilizzate per caratterizzare i terreni:

- nei problemi di ingegneria geotecnica per la cui risoluzione vengono impiegati codici di calcolo complessi o una modellazione costitutiva avanzata: fondazioni superficiali, fondazioni profonde, opere di sostegno rigide o flessibili, scavi, problemi di stabilità dei pendii, realizzazione di opere di terra
- nei problemi di ingegneria geotecnica sismica: sia in quelli legati alla risposta sismica locale sia in tutti quelli legati al comportamento delle opere geotecniche sotto carichi sismici.

Le apparecchiature MaTRiX sono state appena introdotte in Italia. Esse hanno già trovato impiego nella caratterizzazione dei materiali per la realizzazione della nuova stazione TAV di Firenze.

In Giappone sono invece in uso da alcuni anni e sono state utilizzate, oltre che in numerosissimi lavori di ricerca, anche nella caratterizzazione dei terreni nell'ambito di alcuni progetti assai rilevanti, in cui il controllo degli spostamenti rappresenta uno dei parametri progettuali chiave.

Si segnalano tra gli altri:

- realizzazione delle fondazioni del Japan National Large Telescope alle isole Hawaii;
- realizzazione delle fondazioni del ponte sospeso Rainbow Bridge in Tokyo;
- realizzazione della Trans-Tokyo Bay Highway;

- realizzazione delle fondazioni di Akashi Strait Bridge (che è il ponte sospeso più lungo del mondo);
- opere di sostegno utilizzando terreni rinforzati con geosintetici.

Si ricorda che, ad oggi, il numero di laboratori geotecnici commerciali o universitari in Italia capaci di misurare in maniera adeguata il comportamento meccanico dei terreni a piccole deformazioni e in condizioni di carico ciclico è estremamente esiguo. Ne consegue direttamente che la determinazione della risposta tensiodeformativa dei terreni mediante le celle MaTRiX può non solo essere utile per enti e gruppi di ricerca ma anche per società di ingegneria e imprese che operano nel mondo delle costruzioni, oltre che a strutture pubbliche di protezione civile e a enti gestori di opere e infrastrutture civili.

La cella MaTRiX costituisce lo stato dell'arte in termini di apparecchiature per un laboratorio geotecnico, come testimoniano gli Hogentogler Award per gli anni 1996 e 2000 assegnati dall'ASTM ad articoli che ne presentavano le caratteristiche.

Bibliografia

- Goto S, Tatsuoka F, Shibuya S, Kim YS, Sato T. A simple gauge for local small strain measurement in the laboratory. *Soils and Foundation* 1991;31(1):169-180.
- Santucci de Magistris F, Koseki J, Amaya M, Hamaya S, Sato T, Tatsuoka F. A triaxial testing system to evaluate stress-strain behaviour of soils for wide range of strain and strain rate. *ASTM Geotechnical Testing Journal* 1999;22(1): 44-60.
- Tatsuoka F. A simple method for automatic measurement of volume change in laboratory tests. *Soils and Foundation* 1981;21(3):104-6.
- Tatsuoka F. Some recent developments in triaxial testing system for cohesionless soils. *ASTM STP* 1988;977:7-67.

Finito di stampare nel mese di novembre 2004
presso la LEGMA/Napoli

