



Nuove frontiere della sperimentazione in Europa: il laboratorio CERISI dell'Università di Messina

Il Centro di Eccellenza in Ricerca e Innovazione per Strutture ed Infrastrutture di grandi dimensioni (CERISI) dell'Università di Messina ha recentemente potenziato i laboratori di strutture, geotecnica e meccanica con attrezzature di prova ad alto contenuto tecnologico rivolte alla sperimentazione su materiali e componenti strutturali. Con particolare riferimento all'ingegneria sismica è stato realizzato il nuovo laboratorio EUROLAB, che accoglie alcune attrezzature di prova per la caratterizzazione di dispositivi e componenti strutturali impiegati nelle grandi opere

DOI 10.12910/EAI2015-083

■ G. Ricciardi

Introduzione

Il nuovo laboratorio EUROLAB del Centro di Eccellenza in Ricerca e Innovazione per Strutture ed Infrastrutture di grandi dimensioni (CERISI) dell'Università di Messina (Figura 1) è dotato di alcune attrezzature di prova per la caratterizzazione di dispositivi e componenti strutturali impiegati nelle grandi opere dell'ingegneria civile. In particolare, il laboratorio EUROLAB accoglie un banco di prova per la qualificazione e l'accettazione di dispositivi antisismici (ASD test facility), come i sistemi di isolamento alla base (isolatori elastomerici e a pendolo) e i sistemi di dissipazione (damper, shock absorber ecc.), nonché una tavola vibrante dotata di una "laminar box" utile per la sperimentazione in scala nell'ambito della geotecnica sismica, per lo studio dei fenomeni di amplificazione locale e di interazione suolo-struttura.



FIGURA 1 Il laboratorio EUROLAB del CERISI presso l'Università di Messina

Contact person: Giuseppe Ricciardi
gricciardi@unime.it



Un banco di prova per la caratterizzazione di cavi e stralli da ponte di grande luce completa la dotazione del laboratorio EUROLAB del CERISI, il quale consente di effettuare prove a rottura e prove a fatica su componenti di grandi dimensioni (cavi fino a 109 trefoli, 30 MN di carico assiale e trincea da circa 31 m di lunghezza). In quanto segue si fisserà l'attenzione alle prime due attrezzature rivolte alla sperimentazione nel settore dell'Ingegneria Sismica, evidenziandone le caratteristiche e le capacità prestazionali.

Il banco di prova per dispositivi antisismici

Generalità sull'ASD (Anti-Seismic Device) Test Facility

Il banco di prova (Figure 2 e 3) è stato progettato e realizzato dalla Bosch Rexroth sulla base delle indicazioni dei parametri minimi di performance che consentono di effettuare prove su quasi l'85% della produzione di dispositivi antisismici in Europa. Esso è stato progettato per valutarne la conformità ai requisiti richiesti dalla norma armonizzata UNI EN 15129. Le dimensioni geometriche del sistema ed il layout costruttivo sono stati sviluppati in armonia con il progetto edile del laboratorio che lo accoglie, impegnando un'area di 8,50 x 18,30 m. La struttura della macchina è stata realizzata in parte in acciaio (traverso, tavola), in parte in calcestruzzo armato precompresso (pilastri, parete di contrasto ad "L", fondazione). In Tabella 1 i parametri di performance più significativi del banco di prova.



FIGURA 2 Il banco di prova per dispositivi antisismici (ASD Test Facility) di EUROLAB

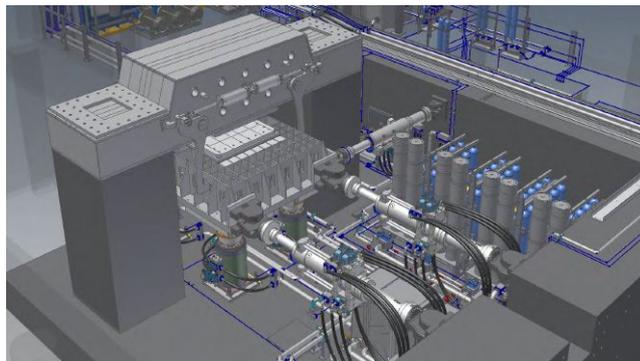


FIGURA 3 Render 3D del banco di prova per dispositivi antisismici (ASD Test Facility) di EUROLAB

	Verticale	Longitudinale	Trasversale
Forza	16000 kN	±3100 kN	±1400 kN
Spostamento	±35 mm	±550 mm	±375 mm
Velocità	±55 mm/s	±1100 mm/s	±1100 mm/s
Rotazione	±2°	±2°	±2°
Acquisizione kS/s	4 kS/s	4 kS/s	4 kS/s

TABELLA 1 Parametri di performance più significativi del banco di prova

La macchina si compone di 5 parti principali:

- una tavola scorrevole, che presenta un'area di prova per isolatori di 2000 x 2000 mm;
- 4 attuatori verticali (asse Z), che applicano alla tavola scorrevole un carico mediante 4 attuatori con pad idrostatici; ogni attuatore verticale è fornito di una cella di carico e di un trasduttore digitale di spostamento ad alta risoluzione;
- 4 attuatori orizzontali (assi X e Y), a coppie disposti in parallelo, che applicano il movimento sul piano orizzontale alla tavola scorrevole;
- una trave metallica superiore progettata per sopportare le sollecitazioni di flessione taglio e torsione indotte dai dispositivi in prova;
- 2 pilastri in cemento armato che collegano la trave superiore con la fondazione, anch'essa in cemento armato precompresso;
- un sistema di accumulo di energia idraulica, costituito da accumulatori idraulici a pistone, con bombole

di gas inerte separate; l'energia idraulica viene rilasciata per il tempo necessario alla prova (alcune decine di secondi), permettendo portate di olio e picchi di potenza elevati.

La tavola scorrevole è inoltre provvista di punti di aggancio per collegare, mediante opportuna attrezzatura, anche smorzatori, consentendo così alla macchina di effettuare prova anche su questi dispositivi antisismici. A questo proposito il muro di reazione è provvisto di uno slot e di una piastra metallica di reazione per incrementare la lunghezza massima dei dispositivi in prova.

La tavola scorrevole

La tavola scorrevole trasferisce all'isolatore in prova il movimento di traslazione secondo gli assi X e Y e di rotazione attorno all'asse Z e trasferisce ad esso il carico verticale. Le sue dimensioni sono di 4920 x 3750 mm ed ospita l'area di prova degli isolatori. Sotto la tavola, agli angoli, sono applicate le "piastre" di scorrimento. Queste sono costituite da quattro lamiere lavorate con macchine ad altissima precisione per ottenere delle superfici a bassissima rugosità.

La progettazione strutturale della tavola scorrevole è stata eseguita con un solutore agli elementi finiti (FEM - vedi Figura 4) che hanno permesso di mantenere sotto controllo le deformazioni anche alle massime prestazioni. Il frame della tavola è stato realizzato mediante una struttura portante costituita dall'assemblaggio di lamiere di basso spessore saldate tra di loro. Questo ha per-

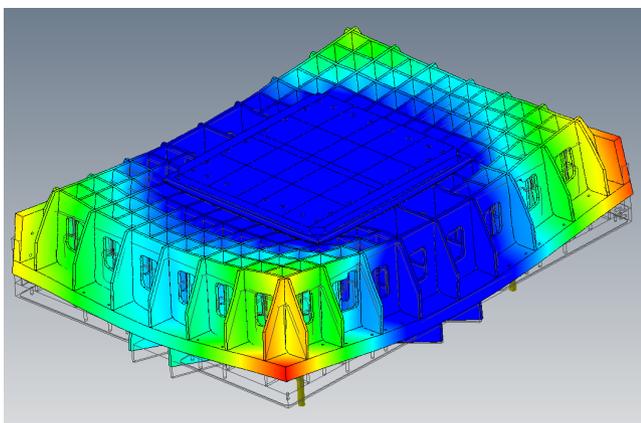


FIGURA 4 Stato di sollecitazione da analisi FEM della tavola scorrevole (esempio)

messo di ottenere una struttura al contempo leggera e resistente, con deformazioni molto contenute. Mediante gli opportuni attacchi, la tavola è collegata agli attuatori orizzontali che le impongono i movimenti di traslazione e rotazione calcolati dal sistema di controllo.

Gli attuatori verticali e i "pad" idrostatici

I 4 attuatori verticali, localizzati simmetricamente agli angoli di un rettangolo ideale di 3020 x 2200 mm, sostengono la forza verticale necessaria alla prova degli isolatori sismici (Figura 5). Essi sono costruiti con una tecnologia ibrida a basso attrito, che permette di ridurre in modo drastico l'attrito di primo distacco delle guarnizioni (stick-slip), ottenendo dei movimenti con un'isteresi pressoché nulla. La corsa di ogni attuatore è molto ampia, 400 mm, e questo consente di montare i dispositivi in prova con molta comodità.

Ogni attuatore è costruito con un rapporto di aree (estensione/retrazione) molto elevato. La piccola area di retrazione ha permesso di ottimizzare il consumo di olio durante i movimenti verticali dando la possibilità di effettuare test sufficientemente estesi nel tempo. Questa caratteristica ha però imposto di usare un sistema idraulico di comando che impiega due servovalvole a tre vie, una piccola per la camera di retrazione ed una grande per quella di estensione, al posto di una normale servovalvola a quattro vie. Le due servovalvole vengono "collegate tra di loro" dal controllore elettronico. L'uso di servovalvole BoschRexroth ad alta portata ed alta dinamica, comandate dal software del controllore in modo indipendente, ha permesso di ottenere una precisione di regolazione ed una velocità superiori. A bordo di ogni attuatore vi è anche una servovalvola di taglia piccola per effettuare le manovre a bassa velocità. Questo consente di effettuare il set-up della macchina in maniera molto precisa e soprattutto sicura per gli operatori.

All'interno dello stelo di ogni attuatore è posta una cella di carico, a doppio ponte estensimetrico, che misura la forza trasferita dall'attuatore alla tavola. Il doppio ponte, unito alla misura della pressione nelle camere del cilindro, fornisce la necessaria ridondanza per rendere molto preciso e sicuro un sistema critico. In ogni attuatore è inserito un trasduttore di posizione digitale micrometrico. L'uso dell'interfaccia digitale mantiene costante la precisione senza il degrado del segnale,

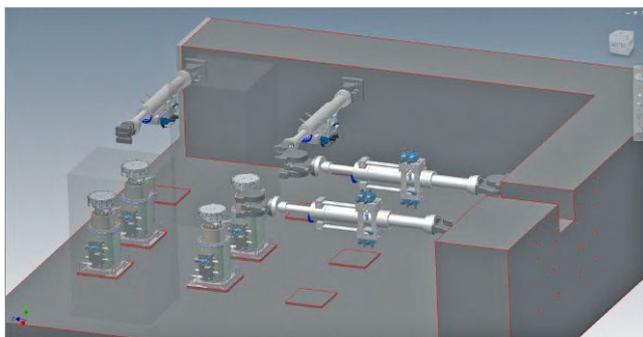


FIGURA 5 Render 3D dei 4 attuatori verticali con pad idrostatici e dei 4 attuatori orizzontali

comune ai trasferimenti di segnale analogici, dovuto ai lunghi collegamenti elettrici.

Gli attuatori verticali applicano il carico dal basso verso l'alto. Tale carico sarà trasferito all'isolatore in prova attraverso la forza di reazione generata dalla piastra di ancoraggio su cui è fissato. Dato che la forza di carico deve essere mantenuta sotto controllo durante tutta la durata del test, il grado di libertà verticale è controllato simultaneamente in forza e posizione. Un *loop* elettronico di controllo ad alta velocità è stato usato per controllare la geometria totale della tavola su tutti i gradi di libertà. La strategia di controllo è sia in posizione sia in forza. Tale sistema ha il compito di mantenere un carico costante sulla tavola assecondando il movimento verticale trasmesso dall'isolatore. La variabile controllata sarà la forza complessiva generata dai quattro attuatori verticali. Per raggiungere tale obiettivo è necessario utilizzare uno schema di controllo in cascata con un anello interno di posizione ed uno esterno di forza. Tale strategia, interamente sviluppata da BoschRexroth, è stata già utilizzata con successo nelle macchine per il test di dispositivi antisismici.

Collegato alla cella di carico di ogni attuatore è disposto un "pad" a sostentamento idrostatico che fa "galleggiare" la tavola scorrevole su un velo d'olio. Questo dispositivo è costituito da un disco di materiale anti-frizione, all'interno del quale viene pompato dell'olio speciale ad alta pressione. Il "pad" idrostatico è montato su di una ralla sferica autolivellante atta a compensare le deformazioni e le rotazioni della tavola scorrevole. L'olio di lubrificazione usato per il sostentamento idrostatico è del tipo ad alta viscosità con un pacchetto

di additivi per altissime pressioni specifiche (EP). Esso viene messo in pressione da una centrale di lubrificazione indipendente da quella di potenza idraulica. Questo sistema di lubrificazione permette alla tavola di scorrere su un velo d'olio senza alcuna frizione (<0,3%) e di eliminare totalmente i fenomeni di attrito di primo distacco. Un così basso livello di forza dissipato dagli attriti conferisce alla macchina una dinamica eccezionale permettendo di provare sia i dispositivi antisismici piccoli sia quelli grandi con un livello di accuratezza superiore.

Gli attuatori orizzontali

Il banco è dotato di due attuatori per ogni asse orizzontale "X" e "Y". I due attuatori di ogni asse sono paralleli tra di loro (Figura 5). Gli attuatori sono collegati alla tavola mediante dei giunti meccanici oscillanti privi di gioco. Questo permette di muovere la tavola scorrevole con il moto di traslazione richiesto dal dispositivo in prova. Gli attuatori sono di tipo a doppio stello con aree bilanciate e costruiti anch'essi con una tecnologia ibrida a basso attrito.

Gli attuatori dell'asse "X", quelli a più alta velocità, hanno a bordo 4 servovalvole BoschRexroth ad alta dinamica in parallelo, mentre quelli dell'asse "Y" sono equipaggiati con 2 servovalvole. Tale architettura idraulica, unita ad una strategia di controllo indipendente delle valvole da parte del software, dà la possibilità di raggiungere prestazioni elevatissime in quanto a dinamica, precisione e stabilità del moto.

A bordo di ogni attuatore vi è ancora una servovalvola di taglia piccola per effettuare le manovre a bassa velocità per effettuare il set-up della macchina. Sullo stelo di ogni attuatore è posta ancora una cella di carico, a doppio ponte estensimetrico. Il doppio ponte, unito alla misura della pressione nelle camere del cilindro, fornisce la necessaria ridondanza di misura. In ogni attuatore è inserito ancora un trasduttore di posizione digitale micrometrico.

La trave metallica superiore

La trave superiore fa da elemento di reazione al dispositivo in prova e sostiene sia i carichi verticali sia quelli orizzontali e di torsione indotti dai dispositivi in prova. Le sue dimensioni sono di 8670 x 2120 mm ed ospita l'area di prova e collegamento superiore degli isolato-

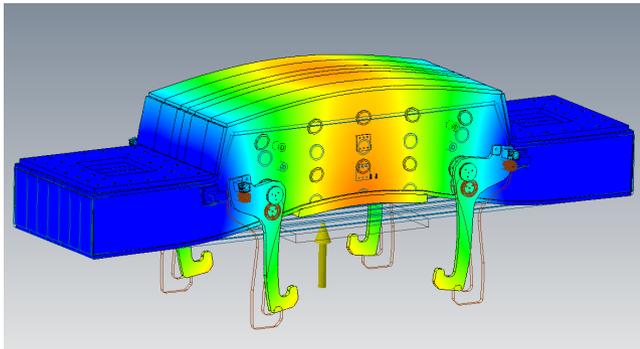


FIGURA 6 Stato di sollecitazione da analisi FEM della trave metallica superiore (esempio)

ri (2000 x 2000 mm). Essa si connette ai due pilastri di cemento armato mediante una serie di tiranti in acciaio 12.9. Questi tiranti sono stati tensionati per permettere al cemento armato di lavorare sempre in regime di compressione, anche ai carichi più elevati necessari alle prove su isolatori sismici di grandi dimensioni.

La progettazione strutturale della trave superiore è stata eseguita con un solutore agli elementi finiti (FEM – Figura 6) che hanno permesso di mantenere sotto controllo le deformazioni anche alle massime prestazioni. Il frame della trave è stato realizzato mediante una struttura costituita per assemblaggio di lamiere di basso spessore saldate tra di loro. Questo ha permesso di ottenere una struttura resistente mantenendo contenute le deformazioni.

La struttura in cemento armato

La struttura in cemento armato della macchina è costituita dai due pilastri che si collegano alla trave superiore, dal muro di reazione delle forze orizzontali e dalla fondazione rinforzata (Figura 7). Tutti gli elementi sopra descritti sono parte integrante di una struttura che concorre a resistere alle forze verticali, orizzontali ed ai momenti indotti dalla prova dei dispositivi antisismici. Annegata sotto i pilastri c'è la trave resistente in cemento armato, che rappresenta la “gemella” della trave superiore metallica. Questo insieme strutturale rappresenta “l’anello resistente” alle forze verticali applicate al dispositivo antisismico in prova.

Il muro di reazione delle forze orizzontali è collegato sia ai pilastri verticali sia alla trave inferiore in calcestruzzo

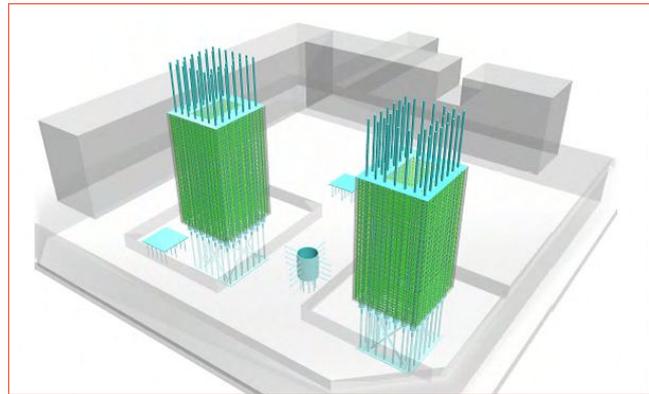


FIGURA 7 Render 3D delle strutture in cemento armato (pilastri, muro di reazione, fondazione)

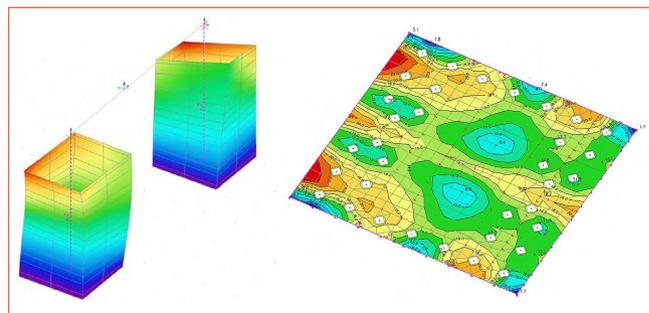


FIGURA 8 Stato di sollecitazione da analisi FEM dei pilastri e della fondazione (esempi)

mediante una piattaforma reticolata con armatura lenta e cavi di post-tensione. La scelta di questa soluzione ha permesso di realizzare una struttura molto resistente e poco profonda, totalmente separata dalla struttura dell’edificio del laboratorio. Anche per il muro di reazione sono stati usati i più moderni mezzi di simulazione agli elementi finiti (Figura 8).

Sistema di accumulo dell’energia idraulica

Data l’elevata velocità impulsiva della macchina è stato necessario prevedere un sistema di accumulo di energia idraulica. Alla massima performance la portata di olio idraulico è nell’ordine dei 20.000 Lpm alla pressione che varia da 22 a 31,5 MPa. Questo livello di potenza idraulica viene però richiesto per poco tempo, per cui il funzionamento della macchina viene assicurato dall’energia cari-

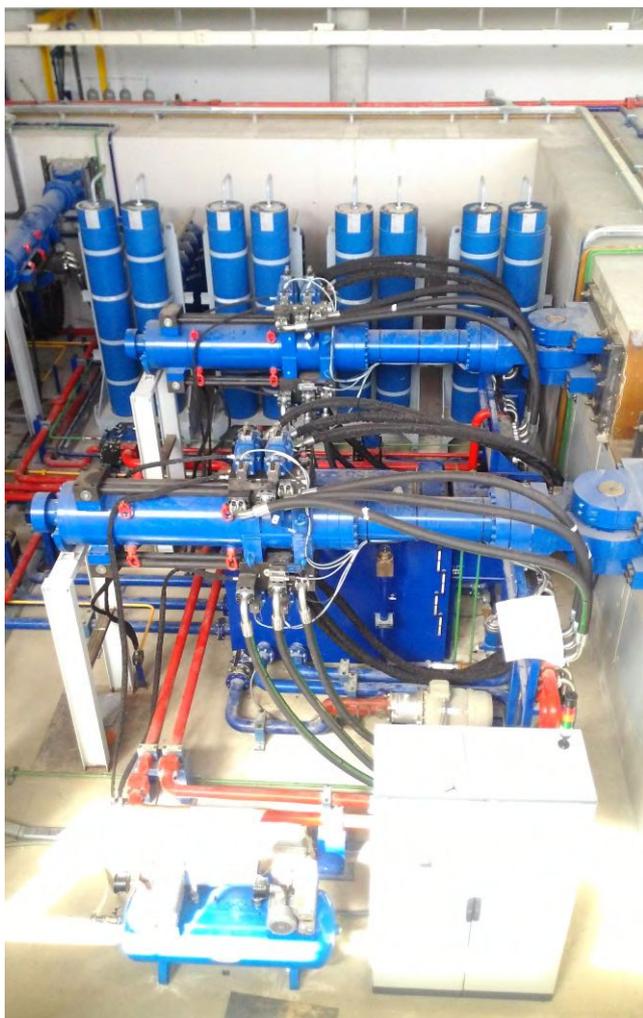


FIGURA 9 Il sistema di accumulo dell'energia idraulica

cata in una batteria di accumulatori idraulici della capacità di 1600 litri di olio e 4480 litri di gas. La centrale oleodinamica, della potenza massima di 600 kW, carica gli accumulatori prima della prova e prepara il sistema idraulico per la prova. Tutta la sequenza di carico e scarico degli accumulatori viene gestita dal sistema elettronico di controllo per mezzo di *manifold* di regolazione e distribuzione della potenza idraulica. Questi *manifold* hanno anche il compito di mettere in sicurezza le apparecchiature interrompendo il flusso d'olio in caso di superamento dei limiti massimi impostati oppure in caso di emergenza.

Sistema elettronico di controllo

Il sistema elettronico di controllo è basato su hardware "Real Time" della National Instruments. L'architettura del controllore elettronico è visibile in Figura 10. Essa comprende un controllore RT che ospita il "motore cinematico", il cui compito è quello di generare i *set point* di ogni singolo attuatore e di calcolare i parametri necessari alla trasformazione delle letture dei vari sensori nel sistema di riferimento X,Y,Z del dispositivo in prova. I *set point* sono calcolati partendo dai parametri di input necessari per effettuare la prova di ogni dispositivo (traiettoria X/Y/Z, frequenza, carico ecc.). Il calcolo della traiettoria viene effettuato con una frequenza che varia da 1 a 4 kHz in funzione delle esigenze della prova.

I parametri calcolati dal motore cinematico vengono trasferiti, mediante fibra ottica, alle schede Real Time che controllano i singoli assi. Questo permette di sincronizzare, mediante un clock comune, tutti i dispositivi presenti nel controllore. I controllori elettronici di ogni singolo asse sono a loro volta dei sistemi in *real time* che hanno il compito di comandare gli attuatori per raggiungere il *set point* richiesto dal motore cinematico. La frequenza di calcolo dei singoli assi varia da 1 a 10 kHz in funzione delle esigenze della prova. I controllori degli assi hanno anche il compito di acquisire e mantenere entro i limiti previsti tutte le grandezze fisiche importanti.

Il controllo delle forze verticali si basa su di un algoritmo sviluppato da BoschRexroth che utilizza un *cascade-loop* in forza e posizione. Il parametro di controllo è dato dalla somma delle quattro forze generate dai singoli attuatori verticali e rappresenta il carico verticale a cui è soggetto il dispositivo in prova. L'uso di questa strategia di controllo della forza totale permette di ottenere una perfetta geometria di movimento della tavola ed una elevata stabilità del sistema. Date le elevate forze in gioco e la necessità di precisione, tutti i carichi vengono misurati con ridondanza tripla: due misure vengono ricavate dalle celle di carico a doppio ponte estensimetrico mentre la terza misura, di congruenza, viene calcolata dalle pressioni presenti all'interno delle camere degli attuatori. In caso di superamento dei limiti massimi la prova viene interrotta e la macchina messa in sicurezza.

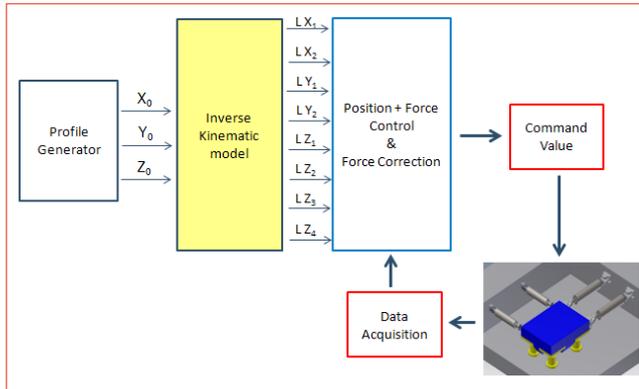


FIGURA 10 Schema semplificato dell'architettura del controllore elettronico

La "laminar box" per la sperimentazione in geotecnica sismica

A completamento delle attrezzature dedicate all'ingegneria sismica, il laboratorio EUROLAB dispone di una "laminar box" che consente di effettuare prove in scala nell'ambito della geotecnica sismica, per lo studio dei fenomeni di amplificazione locale e di interazione suolo-struttura (Figura 11). Essa è costituita da una serie di anelli rettangolari chiusi in alluminio, sovrapposti e collegati tra loro da dispositivi elastici, a formare un contenitore parallelepipedo impermeabile che accoglie il materiale granulare, nonché acqua che simula la presenza di falda. Il terreno viene disposto all'interno mediante una particolare procedura che impiega una tramoggia posta in movimento con velocità e portata controllate elettroni-

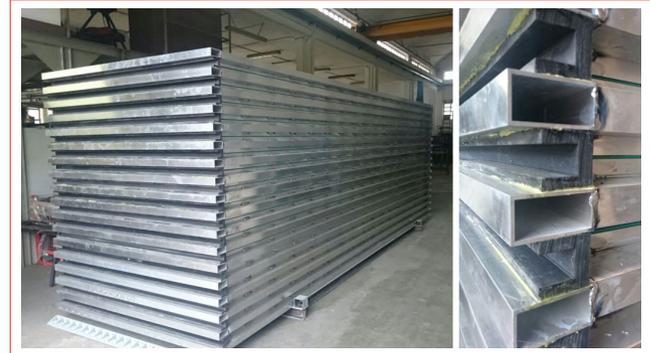


FIGURA 11 La "laminar box" e un particolare dei dispositivi elastici di collegamento degli anelli in alluminio

camente. Il moto sismico viene simulato mediante una tavola vibrante che accoglie la "laminar box", posta in movimento da un attuatore idraulico capace di produrre segnali sismici fino ad una frequenza di 40 Hz.

Conclusioni

Il laboratorio EUROLAB del CERISI, con la sua particolare dotazione di apparecchiature di prova, si pone all'avanguardia nel settore della sperimentazione in ambito non solo europeo ma anche internazionale. Esso potrà fornire servizi ai produttori per la qualificazione di dispositivi antisismici e di sistemi di sospensione (cavi, stralli), nonché alle imprese di costruzione per l'accettazione di questi componenti impiegati nella realizzazione di grandi opere dell'ingegneria civile. ●

Giuseppe Ricciardi
Università di Messina

New frontiers of the experimentation in Europe: the CERISI laboratory of the University of Messina

Funded by the EU with 22.1 million euro, the Centre of Excellence for Research and Innovation on large dimensions Structures and Infrastructures (CERISI) of the University of Messina is devoted to experimental investigation and testing in the framework of structural, geotechnical and mechanical engineering. The interest has been focused on applications concerning Earthquake Engineering with the realization of the EUROLAB laboratory, which includes some high-performance test facilities for the qualification of devices and structural components used in the construction of large structures and infrastructures.