

Sistema di caratterizzazione provini di terra mediante prove dinamiche e cicliche

G. Pizzocolo - IPSES

LA SFIDA

Implementare un sistema integrato hardware e software per la caratterizzazione fisico-meccanica di campioni di terreno mediante prove triassiali cicliche che gestisca in maniera precisa i carichi e le pressioni necessarie durante le prove, permetta la raccolta e la visualizzazione dei dati e renda disponibile una completa review storica delle prove.

LA SOLUZIONE

Un sistema di controllo a loop chiuso fino a quattro anelli (PID) basato su architettura real-time che controlli carichi e pressioni in tempi brevi e certi, così da gestire le elevate forze in gioco. L'integrazione dei controlli real-time è stata fatta su hardware CompactRIO, lo sviluppo firmware (FPGA) e software (Real-time e PC) con LabVIEW.

BREVE RIASSUNTO

Per conto della Controls S.r.l., è stato sviluppato un sistema di test automatico per la caratterizzazione di campioni di terreno gestito da un CompactRIO interamente controllabile mediante PC.

In particolare il sistema prevede:

- Gestione di attuatori e regolatori di pressione con estrema precisione, velocità ed elevata dinamica.
- Gestione autonoma di un'intera prova, mostrando più informazioni possibili e tenendo traccia di tutta la storia della misura, senza saturare la CPU o la memoria del PC e del sistema real-time.
- Elevata versatilità per l'impiego sia nel caso si debbano seguire specifiche normative nelle prove, sia per effettuare test custom.

ARTICOLO

Il sistema, sviluppato da Controls S.r.l. di Cernusco sul Naviglio (MI), leader mondiale nella produzione di macchine di prova sui materiali da costruzione, è composto da:

- telaio ad alta rigidezza per l'applicazione di carichi statici mediante motoriduttore elettro-azionato (50-100 kN);
- attuatore servo-pneumatico per carichi statici o dinamici (carico massimo da 14 kN con uno spostamento massimo di 30 mm o in alternativa carico da 5 kN e 50 mm di spostamento);
- cella triassiale per la sollecitazione assiale (meccanica) e radiale (mediante acqua in pressione o aria nel caso di calcolo di modulo resiliente) del campione;
- sistemi per la generazione e il controllo remoto della pressione in cella e della contropressione;
- sistema di misura della variazione di volume d'acqua all'interno del campione;
- CompactRIO per la gestione del sistema tramite PC.

Un upgrade al sistema sopra descritto utilizza una cella a doppia parete, "Double wall triaxial cell", e un asse di controllo in più dedicato all' "Air pressure" per eseguire test su campioni insaturi. Infatti il terreno insaturo contiene sia aria che acqua nelle sue zone di vuoto.

Il test può includere diverse fasi:

- Una preparazione iniziale del campione che consiste nel saturarlo tramite acqua in pressione in modo tale da rimuovere ogni micro-bolla che potrebbe modificare le caratteristiche fisiche del



Una tipica videata del software.

campione oltre che riprodurre la condizione originale del campione ad una data profondità: infatti nel sottosuolo il campione è sottoposto a delle elevate forze isotropiche. Questa fase del test potrebbe essere molto lunga, con durata dipendente dalla natura del materiale (ore o anche giorni).

- La fase sopra descritta può essere eseguita in maniera differente se si volesse testare la resistenza del terreno insaturo che contiene sia aria che acqua all'interno dei suoi vuoti. Questa condizione rispecchia ciò che avviene al terreno sulle falde acquifere soprattutto nelle regioni tropicali e aride ma anche nelle zone temperate. La condizione del terreno insaturo viene simulata aumentando la pressione dell'aria al suo interno e generando così un flusso di acqua dall'alto verso il basso del campione. Per permettere il flusso dell'acqua e bloccare l'aria viene utilizzata una pietra ceramica cementata in un piedistallo speciale.
- Una fase di caratterizzazione tramite l'applicazione di forze di compressione e trazione (stress, strain lineare e volumetrico, pressione e aspirazione). Questa fase include anche l'applicazione di una forza o di uno spostamento verticale con una crescita lenta e costante per caratterizzare il punto di rottura del campione e l'applicazione di cicli di carico dinamici, anche ad alte frequenze (da frazioni di Hertz a decine di Hertz), per valutare le sue proprietà elastiche e resistive.

L'applicazione, nonostante tempi di sollecitazione non eccessivamente ridotti, se comparati a quelli dell'elettronica, è tuttavia caratterizzata dalla necessità di controllare in posizione un gruppo spinta da diverse migliaia di N mediante una valvola proporzionale che porta ad avere intrinsecamente un controllo di carico (una forza di 1 N è grossomodo la forza che sulla terra genera un corpo di circa 100 g: 5.000 N corrispondono a oltre 500 kg). Ciò rende il sistema estremamente complesso, soprattutto se si considera che il contrasto a tale carico può essere estremamente variabile: i due estremi sono caratterizzati da provini di sabbia - con forza di opposizione pressoché nulla - e da provini di terra molto compatta - con resistenza alla compressione molto elevata. All'atto pratico, ciò significa che, applicando una forza di poche centinaia di Newton, si può distruggere completamente il provino, comprimendolo sino a romperlo, oppure che, anche applicando migliaia di Newton, il provino venga solo leggermente compresso. Il sistema deve perciò essere in grado di compiere movimenti molto precisi, dell'ordine di centesimi di



Un dettaglio del compactRio.

millimetro, giocando con forze che possono variare da pochi Newton a migliaia di Newton. Per poter ottenere questa precisione, il PID deve essere estremamente veloce a intervenire per evitare di rendere la prova incongruente a causa di uno spostamento troppo repentino del gruppo spinta.

Per i test ciclici è stato sviluppato un algoritmo dedicato, chiamato "Automatic Amplitude Control". Abilitando questa opzione, il sistema compensa i cambiamenti della risposta del campione alle sollecitazioni mantenendo durante tutta l'esecuzione del test i valori di picco della forma d'onda impostata senza intervento correttivo da parte dell'utente.

Oltre alla posizione, è necessario che il sistema controlli accuratamente la pressione interna ed esterna al campione. Il provino, infatti, deve essere saturo di acqua per eliminare la presenza di aria al suo interno e deve essere mantenuto ad una pressione costante per simulare le condizioni di sforzo a cui è sottoposto normalmente nel sottosuolo. Anche in questo caso il PID deve intervenire in tempi rapidissimi per compensare tutte le variazioni a cui sono sottoposti il campione e lo spazio a esso circostante quando si effettua una prova di compressione.

Il sistema gestisce quindi indipendentemente e velocemente fino a quattro PID durante tutta la prova di caratterizzazione del provino: uno per il controllo dello spostamento/carico e tre per il controllo della pressione.

La lunghezza e la composizione dello streaming dei setpoint è estremamente variabile: durante alcuni stage è costituito da rampe con pendenze molto basse (ad esempio spostamenti dell'attuatore di pochi decimi di millimetro ogni ora che, in termini di feedback in tensione, significano pochi decimi di mV) e di lunga durata (diverse ore o giorni), mentre in altri casi è molto più veloce (ad esempio spostamenti sinusoidali di pochi millimetri con frequenza di 10 Hz). Si è scelto un periodo di campionamento di 500 μ s per ognuno dei 10 trasduttori presenti nel sistema e di fissare il tempo di ciclo dei PID a 1ms. I setpoint dei PID sono generati e salvati su PC, così da non avere grossi limiti nella loro lunghezza: il PC si occupa di inviarli man mano su un buffer del compact RIO dove vengono prelevati e utilizzati dall'FPGA. In questo modo si è ottenuto un controllo molto preciso in qualsiasi condizione e una bassa occupazione della memoria del cRIO, il cui buffer è, comunque, sempre sufficiente a tamponare eventuali rallentamenti dello streaming dei setpoint, trasmessi via Ethernet in TCP/IP, causati eventualmente da una momentanea saturazione della rete o da un rallentamento del PC.

Un'altra importante caratteristica di funzionamento del sistema è che la prova di caratterizzazione di un provino ha tipicamente una durata di diversi giorni: è di fondamentale importanza assicurare che il sistema non abbia mai, neanche per tempi brevissimi (ms), alcun comportamento imprevisto che renderebbe vana l'intera prova. L'implementazione del software è stata fatta in modo che i vari log siano salvati con esattezza e che vengano mostrati in real-time all'operatore i parametri acquisiti e le varie elaborazioni di interesse,



Sistema Dynatriax Wykeham Farrance, la Divisione Meccanica delle Terre di CONTROLS.

visualizzati sia come indicatori numerici, sia come grafici temporali. Tutto il codice software è stato quindi sviluppato ottimizzando al meglio sia gli algoritmi di elaborazione dati, sia la gestione dei log e le visualizzazioni grafiche.

Poiché il sistema non è stato concepito come un prodotto custom per soddisfare una particolare esigenza di analisi, ma per essere commercializzato e venduto, sono state sviluppate diverse modalità di funzionamento possibili. In particolare si sono implementati i 3 standard ASTM (American Society for Testing Materials) che descrivono 3 tipologie di prove "standard":

- ASTM D5311 Load Controlled Cyclic Strength
- ASTM D3999 Load Controlled Modulus & Damping
- ASTM D3999 Displacement Controlled Modulus & Damping

1 normativa AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) per le prove di modulo resiliente:

- AASHTO T307

e 2 modalità "custom", con cui è possibile effettuare numerosissime variazioni rispetto agli standard. Inoltre è stata integrata la gestione di diverse lingue: la configurazione del software permette di impostare tutti i messaggi e le label in inglese, italiano, francese, spagnolo e tedesco, oltre a gestire un file INI che permette di personalizzare interamente la lingua.

Il software implementa, oltre a una semplice procedura di calibrazione guidata, anche la relativa procedura di verifica, in modo da soddisfare anche le normative ISO in fatto di ripetibilità e accuratezza delle misure. Sia la verifica della calibrazione, sia la calibrazione vera e propria possono essere facilmente esportate in un foglio Excel. Grazie all'impiego di LabVIEW, si è potuto sviluppare con un solo tool sia il firmware per l'FPGA sul cRIO, sia il software per il sistema real-time, sempre sul cRIO, sia il software applicativo per il PC.

La scelta di utilizzare il compact RIO, anziché realizzare un sistema custom è stata attentamente ponderata in fase di definizione delle specifiche iniziali. L'impiego del cRIO per cui si è optato, ha permesso di ridurre sia i tempi e i rischi di sviluppo, avendo messo subito a disposizione dell'hardware già ampiamente debuggato e facilmente configurabile grazie ai numerosi moduli disponibili, sia i costi, senza dubbio più elevati nel caso di sviluppo di hardware ad hoc.

PRODOTTI UTILIZZATI
LabVIEW, LabVIEW FPGA, LabVIEW RealTime,
compactRIO 9073, LabVIEW Report Generator for
Microsoft Office Toolkit.