

CARATTERIZZAZIONE PROVINI DI TERRA MEDIANTE **PROVE DINAMICHE E CICLICHE**

Gian Luca Pizzocolo

L'articolo descrive un sistema di test automatico per la caratterizzazione di campioni di terreno gestito da un CompactRIO interamente controllabile mediante PC





Figura 1: Pannello di controllo dell'applicazione durante un test dinamico ciclico; sullo sfondo altri pannelli (floating) di visualizzazione dati real-time

Ètato 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.

Il sistema, sviluppato da Controls, leader mondiale nella produzione di macchine di prova sui materiali da costruzione, è composto da un telaio ad alta rigidità per l'applicazione contemporanea di carichi statici mediante motoriduttore elettro-azionato e di carichi dinamici mediante attuatore servopneumatico, camera di prova per la sollecitazione assiale (meccanica) e radiale (mediante acqua in pressione) del campione, sistemi di varia capacità per la generazione e il controllo remoto delle

pressioni dell'acqua nella camera ed entro il campione, CompactRIO per la gestione del sistema tramite PC.

SPECIFICHE DEL SISTEMA

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 spinto da 5kN mediante una valvola proporzionale che porta ad avere intrinsecamente un controllo di carico (una forza di 1N è grossomodo la forza che sulla terra genera un corpo di circa 100g: 5.000N corrispondono a oltre 500kg). 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 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 spinto.

Oltre alla posizione, è necessario che il sistema controlli accuratamente la pressione interna ed esterna al campione. Il pro-

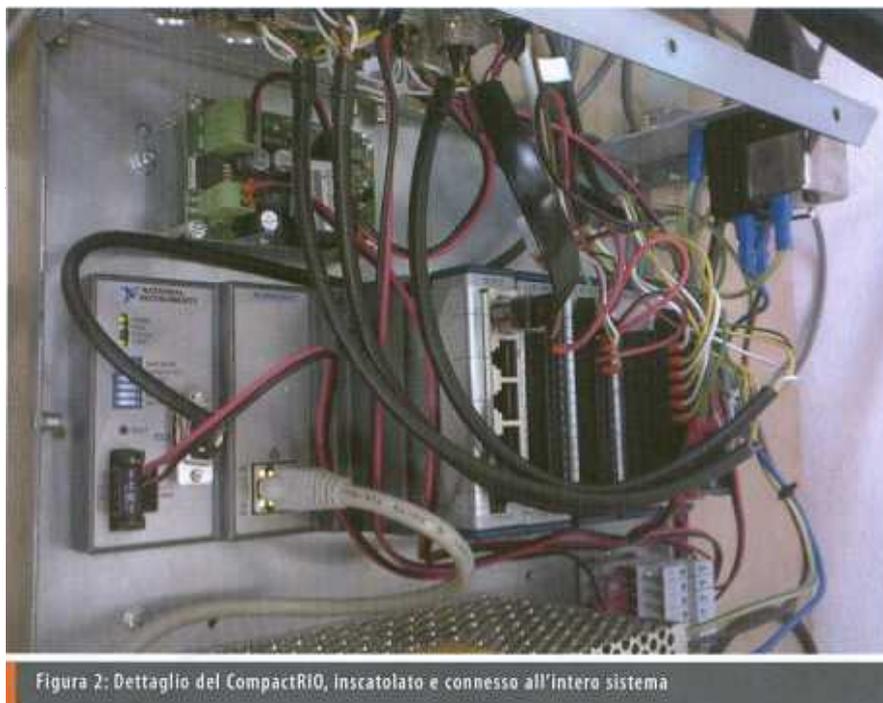


Figura 2: Dettaglio del CompactRIO, inscatolato e connesso all'intero sistema

vino, 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.

TRE PID

Il sistema gestisce indipendentemente e velocemente tre PID durante tutta la prova di caratterizzazione del provino: uno per il controllo dello spostamento e due per il controllo della pressione interna ed esterna. 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 alcuni millimetri con frequenza di 10Hz). 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 di CompactRIO, 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 di CompactRIO, 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 imprevedibile 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 all'operatore in real-time i parametri acquisiti e le varie elaborazioni di interesse, 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.

MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO

Poiché il sistema non è stato concepito come un prodotto custom per soddisfare una particolare esigenza di analisi, ma

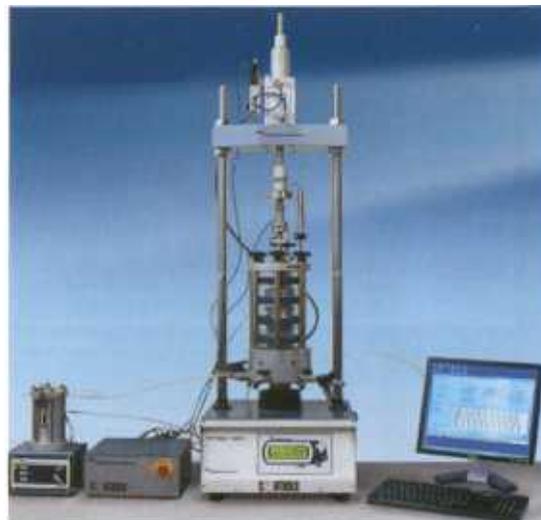


Figura 3: Sistema completo (da sinistra a destra: misuratore variazioni volumetriche, CompactRIO incasato, sistema di test e, infine, personal computer)

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" 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 permetta 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 su CompactRIO, sia il software per il sistema real-time, sempre su CompactRIO, sia il software applicativo per il PC.

La scelta di utilizzare CompactRIO, anziché realizzare un sistema custom è stata attentamente ponderata in fase di definizione delle specifiche iniziali.

L'impiego di CompactRIO 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.

Note sull'autore

Gian Luca Pizzocolo è General Manager di IPSES