



# NIDays

**FORUM TECNOLOGICO**  
SULLA PROGETTAZIONE GRAFICA DI SISTEMI

SOLUZIONI E APPLICAZIONI 2010

**Il Mondo ha bisogno di nuove  
tecnologie: tu sei pronto?**

nidays.it

Media Partner:



FIERA MILANO  
EDITORE



# 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 a tre anelli chiusi (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 NI CompactRIO, lo sviluppo firmware (FPGA) e software (Real-time e PC) con NI LabVIEW.

## Breve riassunto

Per conto di Controls, 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, leader mondiale nella produzione di macchine di prova sui materiali da costruzione, è composto da: 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.

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 5kN mediante una



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

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 spinta.

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 indipendentemente e



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

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 500µs 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 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 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.

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



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

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.

**Prodotti utilizzati**  
LabVIEW, CompactRIO