

Monitoraggio... sperimentale

Rispetto a procedure basate su ispezioni visive, una rete di monitoraggio offre vantaggi sul medio e lungo termine, ottimizzando le risorse



Al fine di sostenere l'utilità delle reti di monitoraggio, sono stati coinvolti i progetti di tesi di dottorato e di laurea in ingegneria di Giuseppe Quaranta, supervisionato da Giorgio Monti del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica dell'Università la Sapienza di Roma, e di Daniele Leonardis, supervisionato da Giuseppe Carlo Marano, del Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente e per lo Sviluppo Sostenibile del Politecnico di Bari; è stata inoltre sfruttata la sinergia di soggetti che operano nel settore del monitoraggio di strutture, combinando le competenze accademiche di ricerca e la capacità di sviluppo e integrazione tecnologica di Davide Cascella di Waveng e di Cristiano Bertinotti di Sistemi Avanzati Elettronici.

Finalità di una rete di monitoraggio

La definizione di modelli quanto più aderenti alla realtà è un'esigenza impellente in diversi ambiti: in ambito industriale, tale esigenza spesso nasce in virtù della limitata capacità di rappresentare esattamente un certo fenomeno, a cui invece si contrappone la necessità di disporre di modelli sufficientemente accurati per consentire il ricorso a simulazioni numeriche molto meno onerose rispetto a prove di laboratorio sui sistemi analizzati. D'altra parte, è ben noto che questo tipo di informazioni risulta anche indispensabile per analizzare lo stato di salute dei sistemi meccanici in esercizio, al fine di progettare eventuali interventi di sostituzione e/o manutenzione.

L'ispezione visuale, accompagnata da un limitato numero di ispezioni generalmente non distruttive, è stata storicamente la strategia più diffusa per l'acquisizione delle informazioni necessarie. Questa metodologia è certamente robusta, ormai consolidata da una pratica decennale in molti ambiti dell'ingegneria civile e non presenta oneri economici particolarmente rilevanti nel breve termine. D'altra parte, è possibile anche individuare una serie di aspetti che, se non del tutto negativi, di sicuro non consentono un utilizzo razionale delle risorse nell'ambito delle usuali operazioni di pianificazione e gestione. In particolare, è fonte di criticità il ricorso quasi esclusivo alle ispezioni visive poiché i dati raccolti presentano un alto grado di soggettività e le rilevazioni forniscono informazioni che possono essere adottate per analisi qualitative, ovvero per indagini in cui i dati numerici sono assai ridotti o rivestono un ruolo marginale. Lo scopo fondamentale del monitoraggio è invece quello di realizzare una base di dati numerici la cui archiviazione e manipola-

zione sia oggettivamente consultabile per la caratterizzazione meccanica, anche e soprattutto al fine di definire opportune strategie diagnostiche.

Vantaggi e risultati

A differenza di altre strategie, il monitoraggio è in grado di fornire il set di informazioni utili da cui ricavare indicazioni oggettive sullo stato di salute dei sistemi meccanici monitorati. Sebbene la realizzazione di una rete di monitoraggio richieda uno sforzo economico iniziale più elevato rispetto alle normali procedure basate su ispezioni visive, i vantaggi che si ricavano a medio e lungo termine consentono una generale ottimizzazione delle risorse. Ogni attività di monitoraggio è diversa dalle altre, per questo motivo



La struttura sperimentale di analisi è stata progettata con una geometria semplice

le analisi predeutiche, anche in scala assai ridotta, consentono di estrapolare alcune utili indicazioni di carattere generale, la cui validità può essere efficacemente estesa al monitoraggio di opere e prodotti in vera grandezza. In quest'ambito, l'applicazione di laboratorio che viene qui presentata serve ad accertare la significatività e la correttezza delle usuali metodologie diagnostiche, relativamente a un modello ridotto sperimentale. L'obiettivo contingente del progetto è costituito pertanto dalla realizzazione di un sistema di monitoraggio, implementato su di una struttura meccanica sperimentale, che già dimostri tutte le potenzialità e caratteristiche necessarie per essere rapidamente e semplicemente applicato alle strutture in vera grandezza, obiettivo finale del progetto. Dal punto di vista hardware si richiede che il sistema di monitoraggio sia robusto e resistente a condizioni ambientali difficili, compatto, dotato di capacità operativa 'stand alone' e versatile dal punto di vista dell'implementazione. Dal punto di vista software le specifiche richieste sono non meno importanti. Fondamentale è un'acquisizione dei dati realtime, mentre, per quanto concerne la programmazione dell'algoritmo di controllo e di analisi, è fortemente apprezzata la possibilità di interfacciamento diretto con un ambiente di sviluppo quale Matlab Simulink: questa integrazione unisce due vantaggi, ovvero la possibilità di sviluppo modulare dell'algoritmo tramite interfaccia grafica, abbattendo così i tempi di prototipazione e sviluppo, e la possibilità di utilizzo degli strumenti di calcolo e analisi messi a disposizione da un software di calcolo potente, quale è Matlab.

presentata serve ad accertare la significatività e la correttezza delle usuali metodologie diagnostiche, relativamente a un modello ridotto sperimentale. L'obiettivo contingente del progetto è costituito pertanto dalla realizzazione di un sistema di monitoraggio, implementato su di una struttura meccanica sperimentale, che già dimostri tutte le potenzialità e caratteristiche necessarie per essere rapidamente e semplicemente applicato alle strutture in vera grandezza, obiettivo finale del progetto. Dal punto di vista hardware si richiede che il sistema di monitoraggio sia robusto e resistente a condizioni ambientali difficili, compatto, dotato di capacità operativa 'stand alone' e versatile dal punto di vista dell'implementazione. Dal punto di vista software le specifiche richieste sono non meno importanti. Fondamentale è un'acquisizione dei dati realtime, mentre, per quanto concerne la programmazione dell'algoritmo di controllo e di analisi, è fortemente apprezzata la possibilità di interfacciamento diretto con un ambiente di sviluppo quale Matlab Simulink: questa integrazione unisce due vantaggi, ovvero la possibilità di sviluppo modulare dell'algoritmo tramite interfaccia grafica, abbattendo così i tempi di prototipazione e sviluppo, e la possibilità di utilizzo degli strumenti di calcolo e analisi messi a disposizione da un software di calcolo potente, quale è Matlab.

AF 03/09



panel PC AFOLUX soluzioni pronte all'uso sviluppate per ridurre i costi

Serie AFOLUX

- Frontale IP-64
- Display da 5,6" a 42" Touchscreen
- Processori:
 - AMD Geode® LX,
 - Intel® Atom™, Intel® Celeron® M, Intel® Pentium® M,
 - Intel® Core™ 2 Duo
- RS-232/422/485, Dual LAN, Wireless LAN, USB 2.0, Bluetooth, HSDPA
- Slot Compact Flash e baia per Hard Disk
- Sistemi operativi:
 - Windows® XP Pro e XP Embedded,
 - Windows® CE 5.0 & CE 6.0



Fanless

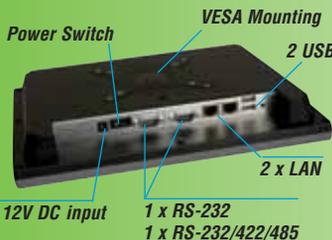
Serie AFOLUX IN-WALL

- Frontale IP-64 con cornice removibile
- Montaggio a filo parete
- Display da 8,4" a 15"
- Processori: Intel® Atom™
- RS-232/422/485, LAN, Wireless LAN, USB 2.0, Bluetooth, HSDPA, RJ-12 Digital I/O
- Sensore luce ambiente e Webcam integrata



Fanless

Elevata connettività in un Design ultrasottile



readerservice.it n.24092

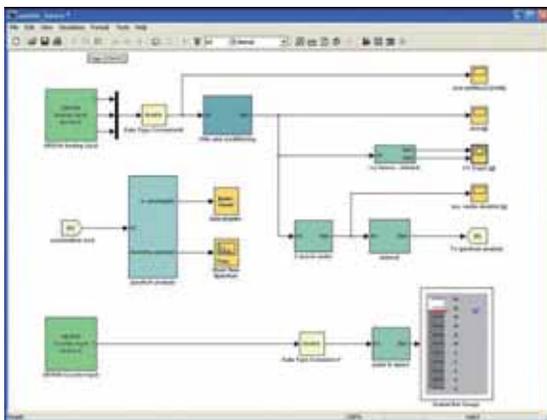


contradata®

support@contradata.com

Realizzazione del progetto

La varietà e l'importanza dei requisiti richiesti ha indirizzato la scelta sul sistema Ueipac, nella versione Ueism, che si rivela come un sistema integrato e compatto di acquisizione, elaborazione e sintesi realtime di segnali, provenienti e diretti al sistema fisico in esame; esso risponde alle specifiche precedentemente citate poiché è robusto, resistente a vibrazioni e umidità e ha un ampio range di temperatura operativa; è anche un sistema versatile, poiché supporta una nutrita gamma di moduli di I/O, facilmente integrabili all'interno della struttura stessa del calcolatore, dedicati all'acquisizione o alla sintesi di segnali dalle caratteristiche peculiari. Ueism dimostra inoltre notevole compattezza, tutto il sistema, dal processore ai moduli di I/O, è integrato in un unico box metallico di dimensioni ridotte (10x10x10 cm). Gli appositi slot consentono infine una scelta 'ad hoc' dei moduli necessari per ciascuna applicazione e trovano posto all'interno del 'case' senza necessità di accessori esterni. Le potenzialità più apprezzate di Ueism in questo progetto risiedono tuttavia nella modalità di sviluppo e gestione degli algoritmi di controllo e analisi: tale versione è infatti espressamente progettata per operare in completa sintonia con l'ambiente di sviluppo Matlab Simulink; algoritmo di controllo e analisi dei dati possono essere programmati come un ordinario modello di simulazione progettato in



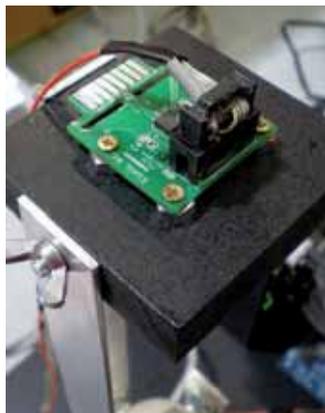
Modello di acquisizione e analisi preliminare dei dati di monitoraggio

Simulink; l'interfacciamento con Ueism è semplice, così come l'opportunità di utilizzare all'interno del modello blocchi provenienti direttamente dalle librerie di Simulink. Si può ottenere in questo modo un'analisi dei dati potente e di rapida prototipazione e modifica: il modello progettato in Simulink, infatti, viene direttamente trasferito a bordo di Ueism senza ulteriori elaborazioni da parte del progettista e viene eseguito in modalità stand alone dal processore di Ueism stesso, evitando la necessità del supporto di un calcolatore esterno. Sarà comunque possibile interfacciarsi in realtime con il modello in esecuzione su Ueism, per

monitorare visivamente, su di un calcolatore remoto, i dati che il sistema sta acquisendo.

Struttura semplice

La struttura sperimentale di analisi è stata progettata con una geometria semplice, che permettesse di valutare e verificare efficacemente il sistema di monitoraggio e le diverse tecniche di analisi dei dati. La struttura è costituita da due



Nella sensoristica è incluso un accelerometro triassiale, fissato alla sommità delle due colonne principali

colonne di alluminio (350x25x2 mm) disposte in posizione ortogonale, alla cui estremità superiore è fissato un supporto rigido, solidale a entrambe le colonne.

La sollecitazione applicata al sistema è generata dal movimento rotatorio di una massa eccentrica, calettata sull'albero di un motore elettrico c.c. La flangia del motore è fissata al centro di entrambe le colonne principali, a cui si affiancano due ulteriori colonne di supporto disposte simmetricamente alle prime. La sollecitazione fornita dal motore è quindi di natura sinusoidale, applicando al sistema meccanico una forza di modulo costante e variazione costante della direzione nel piano orizzontale. Il modulo e la frequenza di rotazione possono essere variate agevolmente regolando la tensione di ali-

mentazione del motore e l'eccentricità della massa rotante. La sensoristica impiegata è costituita da un accelerometro triassiale, fissato alla sommità delle due colonne principali, e da un encoder, utilizzato per monitorare la frequenza di oscillazione della sollecitazione. L'accelerometro è orientato in modo che l'asse Z sia diretto in posizione verticale, mentre gli assi X e Y sono disposti ortogonalmente alla sezione delle colonne. L'accelerometro, di tipo capacitivo, è in grado di valutare vibrazioni di bassa frequenza, fino a misurare le componenti di accelerazione statica.

I sensori, da parte loro, sono direttamente interfacciati con il sistema Ueism. In questo prototipo si è deciso, a vantaggio della versatilità, di impiegare apposite morsettiere a vite per interfacciarsi alle porte di comunicazione dei moduli interni a Ueism; i moduli di interfaccia I/O utilizzati sono costituiti dal modulo di acquisizione analogica DNA-201-100 e dal modulo 'counter PWM' DNA-CT-601: il primo è stato impiegato per acquisire i tre segnali di tensione analogici provenienti dall'accelerometro triassiale, proporzionali alle componenti di accelerazione rilevata su ciascuno dei tre assi X, Y e Z; il secondo è utilizzato con funzione di counter, per rilevare gli impulsi provenienti dall'encoder incrementale fissato all'albero motore e dunque calcolare in modo semplice la velocità di rotazione della massa eccentrica.

Implementazione dell'algoritmo di controllo

L'algoritmo di analisi ed elaborazione dei dati acquisiti è stato sviluppato interamente in Simulink, utilizzando sia

blocchi già presenti nelle librerie che, all'occorrenza, blocchi sviluppati 'ad hoc' tramite le Embedded Matlab function, supportate da Ueism. L'interfacciamento con il sistema di monitoraggio si rivela immediato: è sufficiente includere nel modello Simulink i blocchi dell'apposita libreria di Ueism e collegarli al resto del modello come blocchi di generazione o destinazione di segnali. All'interno del modello si esegue per prima cosa la trasformazione dei segnali di tensione provenienti dall'accelerometro in segnali relativi all'accelerazione misurata, il che presuppone l'uso dei coefficienti di taratura del sensore, che sono modificabili osservando in tempo reale la risposta del sensore. I dati acquisiti dall'accelerometro sono dapprima trasformati e condizionati, quindi filtrati opportunamente prima di essere processati per le analisi.

Dalle tre componenti di accelerazione relative a ciascun asse si è ricavato il modulo del vettore di accelerazione risultante e su tale segnale si sono effettuate le elaborazioni principali.

La modellizzazione tramite Simulink, come già accennato in precedenza, consente una facile implementazione del calcolo degli indici mostrati precedentemente e una rapida visualizzazione degli stessi tramite le modalità di rappresentazione grafica disponibili in Matlab. Nel modello in esame sono state implementate le analisi spettrali del segnale di accelerazione, mediante l'uso di una Fast Fourier Transform computazionalmente leggera, che permettesse la visualizzazione in tempo reale dello spettro.

Ricerca per l'implementazione

L'obiettivo di realizzare un sistema di monitoraggio sperimentale, avente tuttavia tutte le caratteristiche necessarie per un'effettiva installazione sul campo, è stato in definitiva conseguito con l'uso di Ueism. Il sistema realizzato non solo rispetta le stringenti specifiche di robustezza, compattezza e modalità operative stand alone indispensabili per l'installazione sul campo, ma offre preziose potenzialità dal punto di vista software, legate alla stretta interazione con l'ambiente di sviluppo Matlab Simulink. Il tempo necessario per la prototipazione e modifica di un sistema di analisi mediante l'uso di Simulink e Ueism è ridotto a quasi un ordine di grandezza inferiore rispetto alla tradizionale programmazione in codice di alto livello.

Con un rapido tempo di sviluppo e modifica si incrementa ulteriormente la qualità del sistema di analisi finale: diventa infatti possibile apportare con rapidità ed efficacia tutte le modifiche richieste al modello di analisi, derivanti dall'osservazione di una prova sperimentale; inoltre, le stesse prove sperimentali possono essere eseguite con semplicità, grazie all'immediata disponibilità e visualizzazione dei dati tramite Matlab.

Va in ultimo ricordata l'importante opportunità offerta da Ueism di usufruire, per l'elaborazione dei dati, dei potenti e consolidati tool di analisi offerti dalle librerie di Matlab e Simulink. ■

Sistemi Avanzati Elettronici readerservice.it n. 36

The best ideas on "pack" engineering.



MEC FOR PACK

Meccanica di Precisione, Materiali Innovativi, Engineering & Tecnologie, Elettronica, Componentistica per Macchine Automatiche e Sistemi di Confezionamento

 **BolognaFiere**

Segreteria organizzativa **MEC FOR PACK**

Piazza Costituzione 6 • 40128 Bologna, Italia • tel. +39 051 282 111
fax +39 051 6374014 • mecforpack@bolognafiere.it

www.mecforpack.it

readerservice.it n.23129