

Vista sul duomo

Fase di installazione con cestello appeso a gru

Per poter controllare il duomo di L'Aquila durante le fasi di risanamento e ricostruzione, Essebi, azienda che opera prevalentemente nel settore dei servizi per l'ingegneria strutturale, ha realizzato, grazie a National Instruments, un sistema integrato hardware e software di diagnostica remota. E visto che nell'ambito di un piano di controllo generalizzato di tutti i manufatti a valenza architettonica del territorio aquilano, è prevista l'acquisizione dei dati in realtime su pagina Web dedicata della Protezione Civile ad accesso riservato, Essebi ha impiegato una rete WSN (Wireless Sensor Network) di National Instruments, costituita da una serie di moduli comunicanti a radiofrequenza con un concentratore centralizzato, collegati via cavo a sensori sparsi e posizionati in diverse zone del manufatto, con il compito di misurare le grandezze strutturali d'interesse. L'accesso a distanza al concentratore e collazionatore centralizzato consente una verifica continua da postazione remota, permettendo di intraprendere le dovute azioni correttive durante le fasi di ricostruzione e consolidamento statico.

Il duomo

Il duomo di L'Aquila, edificato nel Duecento e intitolato a San Massimo, ha subito nel corso dei secoli numerosi cedimenti, ai quali sono puntualmente succeduti interventi di restauro. La facciata, di gusto neoclassico, è caratterizzata da due imponenti torri campanarie e da un portale d'ingresso sormontato

Essebi ha realizzato, grazie a National Instruments, un sistema integrato hardware e software di diagnostica remota per il duomo di L'Aquila

da un frontone triangolare, sostenuto da quattro colonne. La fiancata che si affaccia sulla via laterale, conserva tratti della costruzione originaria, come le finestre a ogiva. L'interno è composto da una sola navata la cui parte terminale, in corrispondenza della cupola dell'altare maggiore, è quasi completamente crollata a causa del sisma dell'aprile 2009. A seguito di questo disastroso evento, sono rimasti in piedi monconi dei pilastri di scarico della cupola, porzioni di maschi murari perimetrali e buona parte dell'abside ogivale. Nonostante siano stati attuati interventi per la messa in sicurezza a carattere provvisorio, la loro intrinseca labilità ha reso necessario l'implementazione di un monitoraggio statico strutturale, finalizzato a valutare le variazioni delle grandezze fisiche più significative fino al totale rifacimento delle parti crollate, al restauro delle porzioni rimaste e alla completa fruibilità del monumento, con l'obiettivo di preservare e salvaguardare quanto rimasto e facilitare le future azioni ricostruttive. Considerando di dover intervenire su porzioni ben definite e, a causa dei crolli, strutturalmente isolate le une dalle altre, spesso a cielo aperto, per la completa mancanza della copertura, dal termine della navata fino alla zona absidale, è stato deciso di adottare una soluzione modulare, con gruppi di sensori deputati a misurare le grandezze fisiche d'interesse, collegati a moduli di acquisizione locali facenti tutti capo a un sistema di collazionamento centralizzato.

Una rete di sensori

Mentre i singoli trasduttori sono collegati via cavo ai moduli di afferenza, il collegamento dei moduli al sistema centralizzato è a radiofrequenza, con l'intento di evitare, o quanto meno minimizzare, l'utilizzo di cavi soggetti a continui danneggiamenti durante le lavorazioni, che possono altresì comportare impedimenti alle attività di cantiere. È stata quindi implementata una rete WSN (Wireless Sensor Network) costituita da moduli locali, con convertitore A/D a 16 bit ciascuno a 4 canali, dislocati principalmente nelle zone con maggiori dissesti e collegati, con protocollo standard WiFi ZigBee IEEE 802.15.4, a un gateway. Quest'ultimo è a sua volta collegato con cavo Ethernet a un PC industriale, al quale è possibile accedere con connessione remota da effettuare a mezzo di modem GSM. Nel PC risiede il software di gestione sviluppato in ambiente LabView. Esso consente l'impostazione dei parametri e della cadenza di acquisizione, la lettura ed elaborazione dei dati grezzi, la visualizzazione degli andamenti temporali in diverse modalità grafiche, la memorizzazione locale dei file generati, la comunicazione (con opportune logiche di autenticazione) e lo scarico periodico dei dati su altro PC remoto. Allo stato



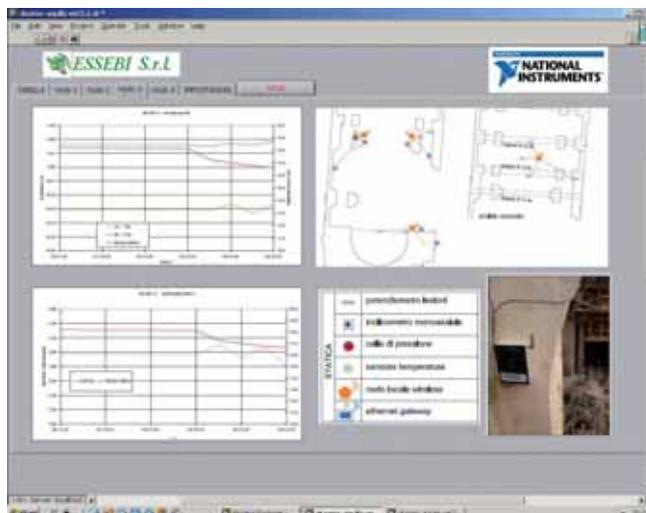
Vista d'insieme gruppo di sensori e modulo wireless su altare maggiore



Modulo NI WSN installato con scatola di protezione



Modulo NI WSN collegato a un trasduttore via cavo



Schermata LabView: presentazione grafica dati per nodo selezionato

attuale è previsto il collegamento punto-punto, con chiamata telefonica GSM ogni volta si desidera effettuare la connessione. Prossimamente si provvederà ad aggiungere una connessione Internet veloce al sistema e a permetterne la gestione a distanza in continuo, utilizzando la consolle dedicata della Direzione Lavori e della Protezione Civile (in quest'ultimo caso nell'ambito di un piano di controllo generalizzato di tutti i monumenti dissestati di L'Aquila), con accesso alla pagina Web dedicata e con la possibilità di avere soglie d'allarme attivabili su eventi a trigger. I canali dei moduli locali di acquisizione a gruppi di tre sono collegati via cavo, multipolare twistato a doppia schermatura, a trasduttori di varia tipologia: potenziometri a cursore lineare diretto sia per lesioni sia per scollamenti tra maschi murari (linearità pari al 0,2% del F.S. di ± 25 mm), inclinometri elettrolitici da apporre su maschi e su colonne di scarico delle arcate (linearità pari al 0,5% del F.S. di $\pm 0,5^\circ$) e celle di pressione alla base di colonne in muratura (linearità pari allo 0,25% del F.S. di 40 bar). Il quarto canale di ciascun modulo, lasciato volutamente libero, è collegato a un sensore di temperatura con uscita trasdotta in tensione (sensibilità pari a $0,1^\circ\text{C}$). Infatti, oltre alla misura delle grandezze primarie è fondamentale anche il controllo della temperatura, con il precipuo scopo di scorporare gli effetti di mascheramento termico stagionale (o, al limite, giornaliero). L'architettura dell'impianto di monitoraggio ha il carattere

preminente di modularità: si ha pertanto una intrinseca versatilità che consente anche significative variazioni in fieri. L'implementazione di base, operativa da novembre 2010, si basa infatti su evidenze derivanti dalle necessità di controllo allo stato attuale, in sintonia con le opere provvisorie di mantenimento. Successivamente, non appena definito il progetto di consolidamento e ricostruzione parziale e, soprattutto, le modalità di intervento, potrebbe essere necessario cambiare la dislocazione dei sensori e in alcuni casi la tipologia degli stessi. Per esempio i potenziometri con cursore a contrasto, apposti sulle lesioni presenti all'intradosso nella mezzera delle travi in cemento armato del tetto, dovranno essere rimossi non appena si deciderà di abbattere dette travi e sostituirle con altro sistema di irrigidimento.

I canali lasciati liberi dei relativi nodi potranno essere collegati ad altri sensori, la cui tipologia e dislocazione sarà valutata all'occorrenza (a seconda dell'intervento). È pertanto possibile l'effettuazione di aggiustamenti e di varianti in corso d'opera, in grado di soddisfare le esigenze operative che si renderanno necessarie nel prosieguo del risanamento strutturale e, a interventi terminati, consentire un'efficace e sicura fruibilità di un monumento geograficamente posizionato in una zona ad altissima vulnerabilità sismica.

National Instruments