

PROGETTO E SVILUPPO DI UN SISTEMA DI MONITORAGGIO DI STRUTTURE SNELLE

Noemi Emanuela CAZZANIGA⁽¹⁾, Gianfranco FORLANI⁽²⁾, Livio PINTO⁽¹⁾, Paolo ABRUZZI⁽³⁾

⁽¹⁾ DIIAR - Politecnico di Milano - P.za Leonardo da Vinci, 32 - 20133 Milano

⁽²⁾ DICATA - Università degli Studi di Parma - V.le delle Scienze - 43100 Parma

⁽³⁾ CESI spa - Via N. Bixio, 29 - 29100 Piacenza

Riassunto esteso

Il Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano (CESI), nell'ambito di una Ricerca di Sistema per il settore elettrico, ha avviato un progetto in collaborazione con il Politecnico di Milano, allo scopo di sviluppare un sistema di monitoraggio di strutture snelle (in particolare si pensa a ciminiere di impianti termoelettrici). L'obiettivo principale del sistema è identificare, nel più breve tempo possibile, cambiamenti nella risposta in frequenza della struttura ai carichi agenti (in particolare il vento) nonché variazioni di ampiezza della oscillazione in presenza di carichi dello stesso ordine. L'insorgere di tali variazioni infatti, potrebbe segnalare la presenza di danneggiamenti della struttura oppure di variazioni del tipo di vincolo (caratteristiche di resistenza del terreno), situazioni che comunque vanno investigate.

A tal fine è stato sviluppato un sistema basato sull'utilizzo di GPS e accelerometri capace di tracciare il movimento della sommità della struttura, potendo risolvere un range di frequenze da 0 fino a 100 Hz circa. Il sistema può anche essere usato, evidentemente, per identificare i modi di oscillazione della struttura (la risposta in frequenza della ciminiera) e, in una fase di monitoraggio vera e propria, di individuare situazioni critiche in "near real time".

Dopo una serie di simulazioni e di prove preliminari "a terra", effettuate per validare e controllare il funzionamento dell'intera catena di trattamento e analisi (Cazzaniga e alt., 2005), il sistema è stato recentemente installato su una ciminiera dell'impianto termoelettrico di Piacenza (altezza 120 m) per essere "testato" su una struttura a "grandezza naturale".

Il sistema acquisisce i dati accelerometrici da due coppie di sensori CFX-US4, disposti in sommità e a metà della ciminiera, ed è in grado di registrare le accelerazioni nelle due direzioni orizzontali Est e Nord. I dati, raccolti con una frequenza di 125 Hz, vengono inviati in tempo reale tramite un sistema WI-FI, ad un PC installato in un laboratorio posto nelle vicinanze. Ad esso è poi collegato anche il sistema di monitoraggio GPS composto da 3 ricevitori Leica System 1200: uno di essi, in configurazione Rover, è posto in sommità della ciminiera, i restanti due, in configurazione master, sono posizionati a terra. Anche in questo caso i dati, raccolti con frequenza di 10 Hz, vengono inviati in laboratorio tramite un sistema WI-FI.

Il trattamento e l'analisi dei dati GPS (figura 1) viene realizzato su pacchetti di 5' di dati e comprende:

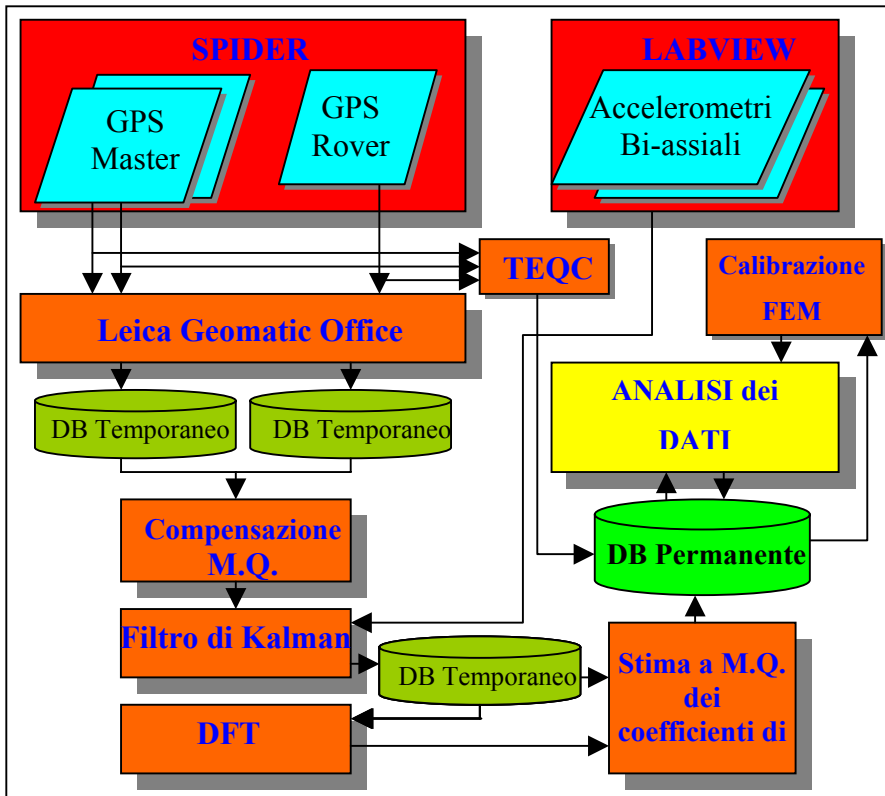
- l'analisi di qualità dei dati (TEQC dell'UNAVCO);
- il pre-trattamento con software LGO (Leica Geomatic Office) dei dati di fase GPS per la stima delle singole basi;
- la stima a minimi quadrati (M.Q.) della posizione del GPS_rovers e della relativa matrice di covarianza;
- il filtraggio dei dati acquisiti (filtro di Kalman);
- l'analisi di Fourier del dato filtrato (DFT);

- l'interpolazione a minimi quadrati per determinare i parametri di frequenza e ampiezza unitamente all'accuratezza.

Parallelamente viene svolta una analisi simile anche per i dati accelerometrici che consiste in:

- filtraggio dei dati (filtro di Kalman);
- analisi di Fourier dei dati (DFT) dei 4 accelerometri (attualmente limitata al campo di frequenza 0-5 Hz, cioè concentrando l'analisi ai principali modi di vibrare della struttura).

Una serie di Database (DB) di tipo temporaneo accolgono i dati accelerometrici e GPS durante le



varie fasi di calcolo (il pacchetto di 5' di dati GPS viene scaricato e analizzato in circa 3') mentre un DB permanente archivia i parametri caratteristici di ogni serie di dati: frequenze caratteristiche nelle 2 direzioni ortogonali; ampiezze di oscillazione per ogni frequenza evidenziata, posizione media per ogni set di dati.

Le serie temporali vengono confrontate con i dati di riferimento provenienti da una iniziale calibrazione del sistema, eseguita con una modellizzazione a elementi finiti (FEM). Una serie di test statistici permette infine di evidenziare sia spostamenti anomali al variare della forzante, sia

Figura 1 – Diagramma di flusso del sistema di monitoraggio

eventuali cambiamenti dei modi principali di vibrazione, segnalando l'insorgere di situazioni critiche.

Dai primi risultati ottenuti dopo il montaggio del sistema sulla ciminiera (e comunque ancora in assenza di una vera e propria forzante esterna) si è constatato che il sistema di monitoraggio, nelle sue differenti e complesse componenti, manifesta qualche problema a livello di pre-trattamento dei dati GPS (principalmente nella fase di scarico dei dati della stazione rover e nel funzionamento in modalità batch del software LGO). Attualmente sono stati analizzati solo una piccola serie dei dati memorizzati, pressochè tutti in situazioni di calma di vento o comunque tali da non provocare effetti dinamici (e conseguenti oscillazioni) rilevabili dal GPS; pertanto il contributo del GPS nell'individuazione delle frequenze di vibrazione della struttura (il primo modo di vibrare è stato individuato dai dati accelerometrici a cavallo di 0.4 Hz) è stato finora trascurabile. Il plottaggio dei dati GPS nel tempo mostra invece chiaramente gli spostamenti periodici con ciclo diurno legati all'irraggiamento solare, anche se in presenza di una componente a più alta frequenza, probabilmente dovuta ad effetti di multipath.

Bibliografia

Cazzaniga N.E., Pinto L., Forlani G., Abruzzi P. (2005). Monitoring oscillations of slender structures with GPS and accelerometers. In proceeding of "FIG Working Week 2005": New Measurement Technology and Its Application to Archaeological and Engineering Surveys, Cairo, Egypt, April 16-21, 2005.