

Monitoraggio strutturale per l'ottimizzazione della manutenzione di reti di trasporto extraurbane

Descrizione del progetto

La crescita economica dei paesi industrializzati è stata strettamente legata alla creazione di complesse reti di trasporto. Negli ultimi anni, le spese dovute alla gestione e manutenzione di tali reti sono risultate sensibilmente più elevate degli investimenti economici per l'espansione delle reti stesse. L'integrità di tali strutture e infrastrutture è, infatti, spesso compromessa a causa del deterioramento dovuto alla continua azione di agenti meccanici e ambientali quali, ad esempio, disastri naturali (per esempio terremoti o allagamenti), fenomeni di graduale deterioramento degli elementi resistenti (corrosione), aumento della domanda in termini di carichi statici e dinamici (traffico). Sebbene l'aumento dei costi di manutenzione sia un problema che affligge vari sistemi di infrastrutture civili, il fenomeno è particolarmente evidente in alcuni elementi delle reti di trasporto quali ponti, viadotti e gallerie. La pianificazione degli interventi di manutenzione diventa quindi un punto essenziale della gestione di tali reti, al fine di garantirne la sicurezza e la funzionalità. L'ottimizzazione di tali piani di manutenzione richiede la scelta delle tipologie di intervento più adatte, sia nelle fasi di identificazione delle condizioni strutturali che in quelle di riparazione, e la stima dei tempi ottimali per gli interventi di manutenzione in modo da evitare sia interventi prematuri, in quanto inefficaci ed antieconomici, che tardivi, così da garantire sempre adeguati livelli di sicurezza.

I piani di manutenzione delle infrastrutture civili hanno un impatto cruciale sulla vita economica di una regione a lungo termine. Ai già elevati costi diretti legati agli interventi di ispezione e riparazione delle strutture, vanno sommati i costi sociali indiretti dovuti all'interruzione (o riduzione) della funzionalità dell'infrastruttura e ai conseguenti aumenti di tempi di spostamento, consumi, eccetera. L'ottimizzazione di tali costi, in una prospettiva a lungo termine che comprenda l'intera vita utile della struttura, porterebbe di conseguenza cospicui risparmi in termini monetari in un sistema che, al momento, risente gravemente della crisi economica a livello regionale, nazionale, ed internazionale. Lo sviluppo di nuove tecnologie e algoritmi innovativi per la valutazione delle condizioni di degrado strutturale e delle tipologie di intervento necessarie, e per l'ottimizzazione dei tempi di intervento richiede quindi la massima attenzione.

Il progetto proposto nel seguito mira alla costituzione di un sistema integrato di monitoraggio e valutazione delle condizioni di una o più reti di trasporto locali, e allo sviluppo di algoritmi di ottimizzazione per l'implementazione di software dedicati alla pianificazione degli interventi di manutenzione durante la vita utile della rete monitorata. Il progetto di ricerca, articolato in più fasi non necessariamente sequenziali, si propone non solo l'identificazione della condizione strutturale al tempo di osservazione, ma anche la previsione, attraverso l'uso di modelli probabilistici, degli effetti dei fenomeni di degrado strutturale e aumento della domanda, al fine di determinare piani di manutenzione ottimali dal punto di vista economico e della sicurezza dell'infrastruttura.

La prima fase del progetto consiste nello sviluppo e realizzazione di una rete di monitoraggio per ponti, viadotti e gallerie, basata su tecnologie wireless, per la raccolta di dati sensibili riguardanti la performance di elementi strutturali critici. Lo sviluppo dell'hardware necessario per la raccolta di dati simultanei come accelerazioni e spostamenti, temperature, fessurazioni, in tempo reale, prevede la collaborazione con partner industriali già avviati nel settore per la realizzazione concreta di centrali di acquisizione ed, eventualmente, elaborazione locale dei dati. Il progetto prevede, inoltre, l'integrazione di sistemi di monitoraggio tradizionali (estensimetri, accelerometri, ecc.) con strumenti non convenzionali come droni per la ricognizione aerea per l'ispezione visiva di elementi strutturali dall'accesso non agevole.

La seconda fase mira allo sviluppo di un opportuno software per l'interpretazione dei dati di monitoraggio e la valutazione, al tempo di osservazione, della affidabilità strutturale basata sull'accoppiamento di modelli numerici delle strutture (*modelli ad elementi finiti*) e tecniche di update di tali modelli (*Bayesian updating*). Numerosi studi sono stati proposti per la stima della performance strutturale attraverso indici numerici probabilistici quali *affidabilità*, *rischio*, *resilienza*, *robustezza*, *vulnerabilità*. Ognuno di tali indici comporta vantaggi e limiti nella stima delle condizioni strutturali. Tali

indici, in genere, vengono riferiti alla performance di una singola struttura. Il progetto proposto prevede lo sviluppo di un approccio unificato attraverso l'uso di indicatori multipli, così da tenere conto simultaneamente dei diversi aspetti attenzionati dai singoli indicatori, e la definizione di indici globali della performance dell'intera rete di trasporto, definiti come funzione della performance dei suoi elementi costituenti, e che consentano un'analisi sistemica della rete.

La terza ed ultima fase prevede la determinazione dei piani di manutenzione ottimali dell'intera rete di trasporto a lungo termine (ossia durante l'intera vita utile prevista per la rete stessa). Tali piani di manutenzione riporteranno tipologie e tempi di intervento per le varie strutture comprese nella rete, tenendo conto dell'interazione delle strutture stesse in termini di traffico, costi sociali, e della loro importanza strategica in caso di disastri naturali. Si prevede quindi lo sviluppo di un software basato su algoritmi di ottimizzazione multi-obiettivo mirati alla minimizzazione dei costi di manutenzione e alla massimizzazione degli indicatori di sicurezza e funzionalità della rete.

Elementi di innovazione

- Creazione di un sistema di monitoraggio innovativo basato su tecnologie wireless, a basso costo rispetto ai sistemi esistenti, e comprendente un sistema di analisi parziale dei dati acquisiti in loco in tempo reale che permetta la trasmissione e la memorizzazione di quantità ridotte di dati.
- Utilizzo accoppiato di sistemi di monitoraggio tradizionali e non convenzionali quali droni aerei per l'ispezione di elementi strutturali difficilmente accessibili agli operatori.
- Definizione di indici di rete globali come funzione degli indici probabilistici di performance delle singole strutture componenti la rete, in modo da ridurre i tempi computazionali per l'analisi dell'intero sistema.
- Sviluppo di algoritmi di ottimizzazione multi-obiettivo e implementazione di un software per la minimizzazione dei costi di manutenzione della rete e la massimizzazione della sua sicurezza e funzionalità.

Punti di forza della proposta

La proposta comprende lo sviluppo sia di elementi hardware che software. Il monitoraggio in tempo reale delle condizioni strutturali delle reti di trasporto regionali è scarso se non assente. Gli strumenti di monitoraggio sono in genere particolarmente costosi e richiedono manodopera specializzata per l'installazione e per l'elaborazione dei dati. La trasmissione di dati via cavo, inoltre, aumenta le problematiche legate all'installazione degli strumenti stessi, e alla ricezione dei dati. La proposta attuale si basa sullo sviluppo di un sistema di monitoraggio interamente wireless e la costituzione di centraline di acquisizione dati comprensive dei diversi sensori necessari, di facile installazione e accesso nelle fasi successive del progetto. Inoltre, è previsto lo sviluppo di un sistema di elaborazione dati locale, così da limitare la mole di dati da memorizzare e trasmettere riferendosi direttamente alle statistiche significative per la definizione degli indici di performance probabilistici. I dati acquisiti tramite monitoraggio saranno poi affiancati ai risultati di ispezioni visive effettuate tramite droni, così da poter raggiungere le zone normalmente non accessibili agli operatori.

La valutazione delle condizioni strutturali potrà beneficiare, oltre che dell'utilizzo di modelli probabilistici predefiniti e processi di updating basati sui dati di monitoraggio, di risultati di prove sperimentali statiche e dinamiche da effettuare nei nuovi laboratori dell'Università degli Studi di Enna "Kore", quali il Laboratorio di Strutture e Strade e soprattutto del nuovo centro L.E.D.A. (Laboratory of Earthquake engineering and Dynamic Analysis – leda.unikorelab.it) in fase di realizzazione e il cui avvio è previsto per gli inizi dell'anno 2015. In particolare, quest'ultimo centro è munito di attrezzature all'avanguardia di livello internazionale per la realizzazione di prove dinamiche e pseudodinamiche in larga scala. Tali prove sperimentali potranno essere usate per la validazione dei modelli proposti e per integrare, ove necessario, i dati di monitoraggio acquisiti in situ.

Dal punto di vista computazionale, sebbene l'utilizzo di modelli probabilistici e indici di performance strutturale sia ben consolidato nella letteratura scientifica internazionale, il progetto di ricerca qui proposto mira alla definizione di indici globali della rete e di approcci unificati che tengano conto simultaneamente dei vari aspetti strutturali a cui sono legati i tradizionali indici di performance. In particolare, l'utilizzo di indici numerici globali consentirà l'abbattimento degli oneri computazionali necessari per l'analisi dell'intero sistema e quindi la possibilità di utilizzare algoritmi di ottimizzazione multi-obiettivo il cui limite, nel caso di analisi complesse, è necessariamente legato ai tempi di calcolo.

Ricadute sul sistema regionale

L'economia regionale, ed in particolare l'aliquota di spesa riguardante la gestione delle reti di trasporto locali, beneficerà dei risultati del progetto in termini di riduzione di costi diretti ed indiretti. L'utilizzo di sistemi di monitoraggio per le reti di trasporto consentirà la definizione e l'aggiornamento di modelli probabilistici avanzati per la predizione del deterioramento delle singole strutture e quindi dell'intera rete di trasporto monitorata. Tali modelli, accoppiati con algoritmi di ottimizzazione e con principi di teoria decisionale, permetteranno di definire con maggiore accuratezza quali tipologie di interventi dovranno essere eseguite, e quando. Ne conseguiranno un abbattimento dei costi diretti di ispezione e manutenzione ordinaria e straordinaria, e un parallelo aumento della sicurezza complessiva della rete di trasporto.

Inoltre, l'analisi della rete nella sua globalità consentirà un migliore coordinamento degli interventi di manutenzione tra i vari elementi componenti la rete stessa. Attraverso la definizione di indici di performance globale della rete da affiancare agli indici di performance locale di ogni sua componente, sarà possibile non solo identificare su quali elementi è necessario operare, ma ottimizzare la funzionalità della rete nel suo complesso mediante una distribuzione temporale e spaziale oculata degli interventi di manutenzione. Quindi, il risparmio economico in termini strettamente monetari verrà affiancato da benefici economici sociali indiretti, calcolati sul lungo termine, in termini di riduzione di traffico, consumi, tempi di percorrenza della rete.

Infine, sebbene le analisi preliminari dovranno necessariamente essere focalizzati su una specifica rete di trasporto selezionata preliminarmente come caso studio, la creazione di algoritmi e software di applicazione generale consentiranno l'applicazione dei metodi sviluppati ad altre reti di trasporto locali per le quali si possa provvedere alla installazione di sistemi di monitoraggio progettati opportunamente.

Possibili risultati attesi

Dal punto di vista tecnologico, il sistema di monitoraggio sviluppato ed eventualmente brevettato, potrà essere adottato per reti e sottoreti di trasporto regionali anche diverse da quelle inizialmente monitorate come casi studio. La possibile implementazione degli algoritmi di ottimizzazione dei piani di manutenzione in un software integrato con i programmi di acquisizione dei dati di monitoraggio, permetterà la gestione dell'intero sistema in modo semplice ed intuitivo. Tale software permetterà l'identificazione delle tipologie ottimali di interventi di manutenzione, distribuzione temporale e spaziale degli interventi lungo la rete, costi totali e parziali del piano di manutenzione. L'utilizzo di algoritmi multi-obiettivi fornirà un insieme di soluzioni ottimali e la selezione del piano da utilizzare potrà essere effettuata in base ai vincoli presenti quali, per esempio, limiti economici relativi ai fondi utilizzabili per la gestione della rete, livelli minimi di sicurezza dei diversi componenti della rete, limiti sulle tipologie di intervento utilizzabili.