

# Monitoraggio dei ponti in muratura

Diagnostica e monitoraggio dell'evoluzione degli stati fessurativi

L'identificazione e il monitoraggio dell'evoluzione dello stato fessurativo su ponti ferroviari in muratura è un tema rilevante rispetto al fattore sicurezza, specie per strutture di pubblico utilizzo, e richiede una soluzione dal costo contenuto, dato anche l'alto numero di strutture potenzialmente interessate.

Dai dati emersi da una ricerca svolta nel VI Programma Quadro, risulta che, su circa 200.000 ponti ferroviari ad arco in muratura presenti sul territorio dei paesi europei, oltre il 25% sono in Italia (56.888) dove costituiscono il 95% del totale dei ponti ferroviari. Tali ponti, poi, per il 70% circa ha un'età compresa tra i 100 e i 150 anni. L'insieme di questi numeri indica chiaramente come in Europa, in generale, e nel nostro paese, in particolare, esiste un enorme potenziale interesse verso il monitoraggio di strutture di tal tipo.

Il nostro gruppo ha recentemente ideato un metodo e sviluppato un sistema di monitoraggio dello stato fessurativo innovativi. Il metodo consiste nello strumentare il ponte ferroviario con una rete adeguatamente fitta di sensori accelerometrici; nell'eseguire acquisizioni di segnali accelerometrici in corrispondenza della sollecitazione vibrazionale costituita dal transito del treno; nell'elaborare i dati confrontando la funzione di correlazione temporale dei segnali accelerometrici relativi a coppie di sensori contigui a cavallo della fessura con quelli di coppie sensori posizionati al di qua o al di là della fessura, partendo dall'assunto che l'onda meccanica generata nella struttura dal transito del treno, nell'attraversare una discontinuità quale una fessura, subisce uno sfasamento temporale.

Il sistema di monitoraggio è costituito da una rete di sensori accelerometrici a tecnologia MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), i cui dati possono essere preelaborati in loco e inviati via wireless a un'unità di elaborazione dati centrale. Il sistema opera in continuo, è di facile installazione e di basso costo. Il metodo risulta efficace ai fini di diagnostica anche precoce, ovvero dell'individuazione di quadri fessurativi non chiaramente riconoscibili visivamente, e per il monitoraggio a medio-lungo termine dell'evoluzione temporale degli stati fessurativi individuati.

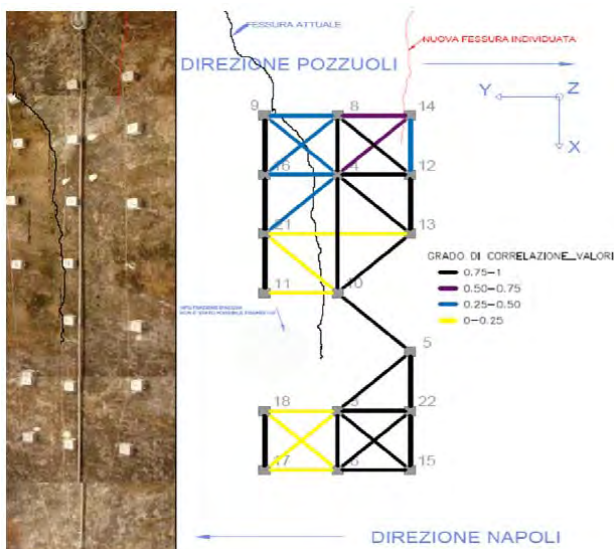
Il sistema è oggetto di una domanda di brevetto italiano depositata il 24/07/2009 N. RM2009A000387 col titolo "Metodo e sistema per il monitoraggio di alterazioni, quali discontinuità e/o difetti di integrità, di una struttura o di una infrastruttura - Method for monitoring alterations, such as integrity defects and/or discontinuities, of a structure/infrastructure".



## IL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Sistema di monitoraggio strumentale costituito da una rete accelerometrica wireless a tecnologia MEMS densamente distribuita nello spazio che opera in continuo ed elabora i dati in tempo reale per fornire informazioni sull'evoluzione dello stato fessurativo sulla base della determinazione della correlazione temporale tra i segnali accelerometrici registrati dai vari sensori in corrispondenza della sollecitazione vibrazionale costituita dal transito del treno.

## ELABORAZIONE DEI DATI



Visualizzazione grafica del pattern spaziale della funzione di correlazione secondo una griglia a pseudocolori

Calcolo della funzione di correlazione temporale con la funzione di Matlab

**`xcorr(X, 0, 'coeff')`**

X è la matrice dei segnali accelerometrici nell'intervallo temporale corrispondente alla prima oscillazione,

0 fornisce il valore della correlazione per traslazione temporale nulla tra i segnali accelerometrici, coeff esegue una normalizzazione.

:: Valori di `xcorr` bassi (<1) indicano la presenza di uno sfasamento → presenza di fessura;

:: Valori di `xcorr` alti (~1) indicano una sostanziale sincronia tra i segnali → assenza di fessura.

## PROBLEMA

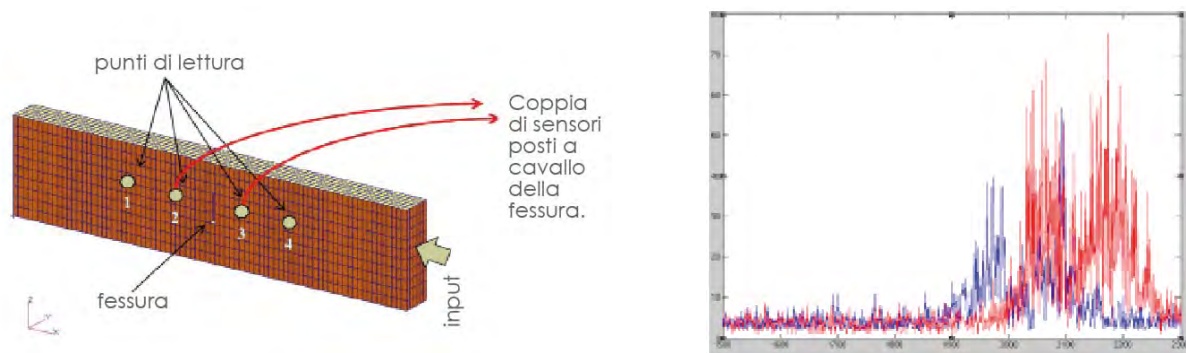


Diagnostica e monitoraggio di stati fessurativi in ponti ferroviari in muratura che consenta la ricostruzione dell'evoluzione temporale e l'identificazione di fessure non chiaramente riconoscibili visivamente.

## IDEA

Un'onda vibrazionale che viaggia nella struttura del ponte, quale quella generata dal transito del treno, subisce uno sfasamento temporale, oltre che un'accentuata attenuazione, nell'attraversare una regione di discontinuità quale una fessura.

Una coppia di sensori accelerometrici a cavallo della fessura registrerà tale sfasamento, mentre i segnali di sensori accelerometrici in punti misura contigui separati da una regione uniforme risulteranno sincroni.



Segnali accelerometrici nel punto misura 2 (linea rossa) e 3 (linea nera).

La vibrazione giunge nel punto 2 in ritardo rispetto al punto 3 a causa dell'attraversamento della fessura interposta tra detti punti misura.

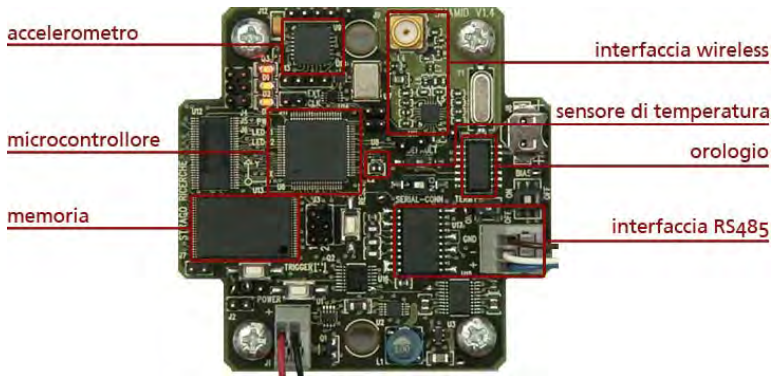
La correlazione temporale tra i due segnali risulta quindi diminuita rispetto a quella tra due segnali sincroni, quali le coppie 1 e 2 o 3 e 4.

## METODO

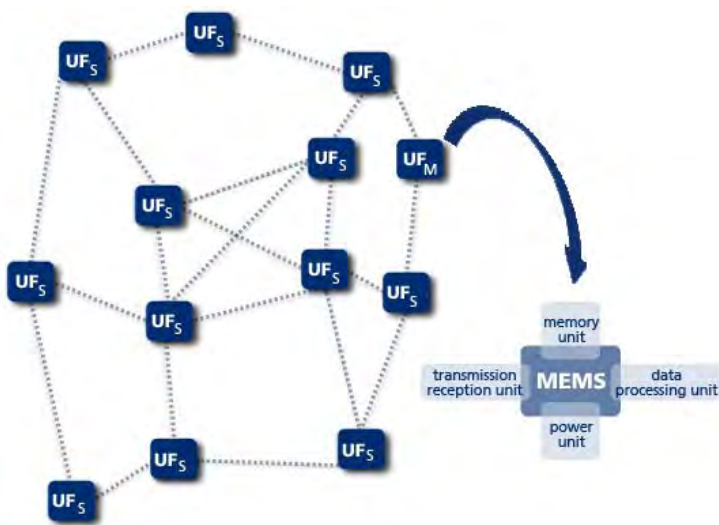
1. Installazione di una rete di sensori accelerometrici sull'area da monitorare;
2. Acquisizione dei segnali accelerometrici in corrispondenza del transito di un treno (sollecitazione vibrazionale);
3. Calcolo della funzione di correlazione tra i segnali accelerometrici nei vari punti misura;
4. Individuazione valore di correlazione uniforme  $C$  per coppie di segnali da sensori contigui in zone non fessurate;
5. Individuazione di valori di correlazione sensibilmente minori di  $C$  per segnali da coppie di sensori contigui a cavallo di una zona fessurata;
6. Confronto dei valori di correlazione per una data coppia di sensori per acquisizioni successive ripetute nel tempo per il monitoraggio dell'evoluzione degli stati fessurativi diagnosticati al punto 5 e l'identificazione dell'instaurarsi di nuovi stati fessurativi.

## SISTEMA DI MISURA ACCELEROMETRICO A TECNOLOGIA MEMS

### UNITÀ FUNZIONALE



### RETE DI MONITORAGGIO ACCELEROMETRICA



L'**UF master** (M) si occupa della gestione dell'acquisizione, del download di dati dalle UF slave (S) e dell'upload dei dati verso il PC host.

Le **UF slave** effettuano l'acquisizione secondo le direttive impartite dall'unità master.

### CARATTERISTICHE

- Alto grado di configurabilità (parametri e modalità di acquisizione, pre-elaborazione e trasmissione)
- Pre-elaborazione dei dati in loco
- Comunicazione wireless
- Alimentazione a batteria
- Basso costo dell'UF

### FUNZIONALITÀ

- Autonomia di funzionamento
- Semplicità di installazione
- Alta risoluzione spaziale
- Operatività in continuo
- Disponibilità di informazioni di sintesi in tempo reale
- Semplicità di impiego da parte dell'utente anche non esperto
- Basso costo di acquisto, installazione, gestione e manutenzione