



CONVEGNO FABRE  
PONTI, VIADOTTI, E GALLERIE ESISTENTI:  
RICERCA, INNOVAZIONE E APPLICAZIONI  
LUCCA, 2-4 FEBBRAIO 2022



## Monitoraggio Strutturale, caratterizzazione e tracking modale con sistemi Wireless LoRaWAN e Algoritmi automatici in Cloud

### Structural monitoring, characterisation and modal tracking with LoRaWAN wireless systems and automatic Cloud Algorithms

Matteo Maccanti <sup>a</sup>, Paolo De Lellis <sup>a</sup>  
<sup>a</sup> Move Srl, Piazza Cavour 7, Milano 20121

*Keywords: Sistema Monitoraggio Strutturale, Sensori wireless LoRAWAN, OMA, FDD, Cloud.*

#### SOMMARIO

Ogni struttura nell'arco della sua vita utile ha bisogno di essere monitorata, sia per garantire un livello di sicurezza adeguato sia perché possono sopraggiungere eventi esterni - sia naturali che non - che possono disturbare il suo stato di equilibrio. In Italia il monitoraggio si rende ancor più necessario, visto che gran parte delle infrastrutture critiche sono state realizzate oltre 60 anni fa con norme costruttive e tecniche ovviamente diverse da quelle presenti oggi.

Partendo da queste esigenze, negli ultimi anni Move Solutions ha implementato un sistema di monitoraggio strutturale, statico e dinamico, costituito da una famiglia di sensori completamente wireless, operanti con tecnologia LoRaWAN, accompagnati da una apposita piattaforma Cloud sviluppata con l'obiettivo di facilitare l'analisi e la visualizzazione dei dati da parte degli operatori addetti alle attività. Uno dei punti di forza del sistema è l'ottimo livello di sincronizzazione (500 $\mu$ s) che vi è tra le acquisizioni dei sensori denominati "accelerometri SHM" grazie ai quali è possibile ottenere dei dataset adatti alla caratterizzazione modale di una struttura durante le sue condizioni di normale operatività, metodologia nota in letteratura come OMA (Operational Modal Analysis).

A partire dai dati accelerometrici, è possibile estrapolare le frequenze e le forme modali giornaliere servendosi della tecnica FDD (Frequency Domain Decomposition) che può essere facilmente automatizzata su Cloud sia perchè è un algoritmo non parametrico sia perchè risulta essere molto efficiente a livello computazionale rispetto ad altre tecniche OMA.

Ai fini di un monitoraggio a lungo termine è necessario individuare solo i modi propri della struttura tra tutti quelli calcolati dalla FDD; questo è reso possibile attraverso un algoritmo di Clustering multi-livello, da noi ideato, in grado di riconoscere i modi vibrazionali dai modi "spuri", i quali verranno scartati.

La fase successiva è quella di *Tracking* il cui scopo è quello di monitorare nel corso del tempo le variazioni dei modi vibrazionali precedentemente identificati: infatti utilizzando degli algoritmi di Machine Learning e Artificial Intelligence è possibile evidenziare delle anomalie nelle serie temporali riconducibili a possibili danni o deterioramenti della struttura.

Tutto questo può essere di grande supporto ai professionisti del settore che possono sia monitorare lo stato di salute della struttura sia aggiornare, sulla base dei dati sperimentali, il modello FEM e BIM giornalmente per tenere sotto controllo uno o più scenari di danno

L'impiego di un sistema di monitoraggio wireless e completamente automatizzato su Cloud può dare una grande spinta nella semplificazione della gestione di tutte le infrastrutture, abbattendo i costi e digitalizzando i processi.

## ABSTRACT

Every structure needs to be monitored throughout its useful life, both to ensure an adequate level of safety and due to external events - both natural and not – that can disturb its state of equilibrium. In Italy, monitoring is even more necessary since most of the critical infrastructures were built more than 60 years ago with construction standards and techniques that are obviously different from those present today.

Moving from these demands, in recent years, Move Solutions has implemented a structural monitoring system, static and dynamic, consisting of a family of completely wireless sensors, operating with LoRaWAN technology, accompanied by a special Cloud platform developed with the aim of facilitating the analysis and visualization of data by the operators in charge of the activities.

One of the strengths of the system is the excellent level of synchronisation (500 $\mu$ s) between the acquisitions of the sensors known as "SHM accelerometers", thanks to which it is possible to obtain datasets suitable for the modal characterisation of a structure during its normal operating conditions, a methodology known in the literature as OMA (Operational Modal Analysis).

From the accelerometric data, it is possible to extrapolate the daily frequencies and modal shapes using the FDD (Frequency Domain Decomposition) technique, which can be easily automated on the Cloud both because it is a non-parametric algorithm and because it is very efficient at the computational level compared to other OMA techniques.

For the purpose of long-term monitoring, it is necessary to identify only structure modes of vibration among all those calculated by FDD; this is made possible by a multi-level clustering algorithm, designed by us, able to recognize vibrational modes from "spurious" ones, which will be discarded.

The next phase is the Tracking phase, the purpose of which is to monitor the variations of the previously identified vibrational modes over time: in fact, by using Machine Learning and Artificial Intelligence algorithms, it is possible to highlight anomalies in the time series that can be traced back to possible damage or deterioration of the structure.

All this can be of great support to professionals who can both monitor the health of the structure and update, based on experimental data, the FEM and BIM model on a daily basis to keep under control one or more damage scenarios.

The use of a wireless and fully automated monitoring system on the Cloud can give a big boost in simplifying the management of all infrastructures, cutting costs and digitising processes.