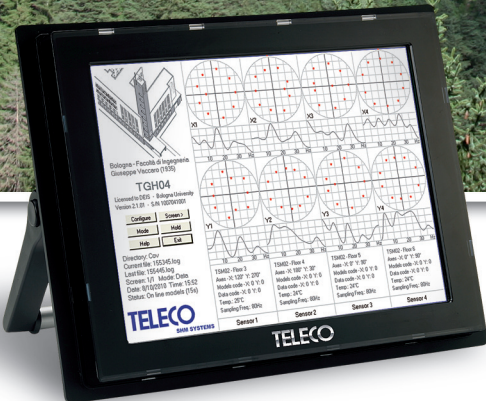


# TELECO

## SHM SYSTEMS



## Il monitoraggio dinamico delle strutture

Le infrastrutture civili quali autostrade, ponti, edifici civili e industriali, porti, aeroporti, ferrovie, acquedotti, gasdotti giocano un ruolo fondamentale nell'ambito dello sviluppo economico e sociale. Questi sistemi sono caratterizzati da costi elevati, forti impatti sulla qualità della vita per insiemi numerosi di cittadini e da vite operative molto elevate.

La gestione di tali sistemi richiede pertanto l'adozione di politiche scelte con molta cura per mettere in conto il delicato equilibrio tra esigenze potenzialmente conflittuali come, ad esempio, il mantenimento di elevati standard di sicurezza e la compatibilità con costi accettabili. Va poi osservato come il verificarsi di eventi eccezionali quali sismi, inondazioni o tornado possa richiedere decisioni molto critiche nel valutare l'integrità delle strutture ed il grado di utilizzabilità delle stesse.

Problemi analoghi riguardano la valutazione dello stato di strutture che hanno superato la durata prevista per il loro ciclo operativo e quello di edifici storici presenti in contesti urbani, messi in pericolo dalle sollecitazioni dovute al forte incremento del traffico urbano ed ai sistemi di trasporto sotterranei.

La rilevanza di questi problemi non è, tuttavia, limitata alla valutazione dello stato di strutture potenzialmente danneggiate da eventi traumatici; le tecnologie utilizzate nella realizzazione di progetti avanzati come, ad esempio, gli edifici con controllo attivo antisismico, richiedono un monitoraggio del loro comportamento esteso a tutta la loro vita utile.

Il monitoraggio strutturale dinamico, comunemente indicato con l'acronimo SHM (Structural Health Monitoring) è costituito da un insieme di metodologie che consentono di caratterizzare le strutture in maniera tale da consentire la rilevazione di eventuali danni.

È poi inevitabile che le strutture siano soggette, durante la loro vita utile, a cambiamenti dovuti alla variazione delle proprietà fisiche e geometriche dei materiali, a variazioni delle loro connessioni con altre strutture e ad altri processi (es. variazioni delle caratteristiche del suolo, infiltrazioni di acque ecc.) che ne possono pregiudicare le prestazioni.

Le metodologie SHM sono basate sul monitoraggio continuo delle vibrazioni in alcuni punti di una struttura attraverso un insieme di sensori che operano ad una opportuna frequenza di campionamento. Tali misure vengono poi utilizzate per la costruzione di modelli in grado di evidenziare deviazioni del comportamento osservato rispetto a quello previsto a livello progettuale

## Dynamical structural health monitoring

Civil infrastructures like highways, bridges, civil and industrial buildings, ports, airports, railways, gas and water pipelines, play a role of paramount importance in the social and economic development of countries. These systems are characterized by high costs, high impacts on the quality of life of people and extended operative lives.

The optimal management of these systems requires a careful balance between potentially conflicting requirements like assuring an high safety standard at acceptable costs. It must also be observed that exceptional events like earthquakes, floods or hurricanes can require very critical evaluations concerning the integrity of surviving structures and their exploitation.

Similar problems concern the evaluation of the state of structures whose operative life exceeds the design limits and that of historical buildings endangered by the high level of vibrations due to urban traffic and underground transport systems in many urban contexts.

The relevance of these problems is, in any case, not limited to the evaluation of the integrity of structures potentially damaged by traumatic events; the technologies used in some advanced realizations like, for instance, buildings with active anti-seismic control, require a monitoring of their dynamical behavior extended to their whole operative life.

Structural Health Monitoring (SHM) consists in a set of methodologies that allow characterizing the behavior of physical structures in order to detect possible damages.

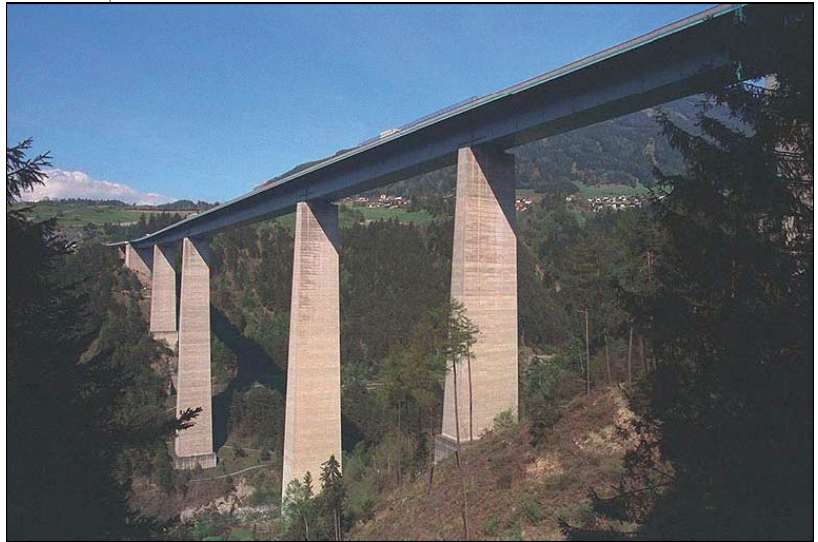
It can also be observed that all physical structures undergo, during their operative life, changes due to variations in the physical and geometric properties of materials and in their interconnections with other structures and processes (e.g. variations of the soil characteristics, water infiltrations etc.) that can prejudice their performances.

SHM methodologies are based on the continuous measure of the accelerations in some selected points of the monitored structure by means of sensors operating at a suitable sampling frequency. These measures are then used for identifying dynamical models that can detect deviations of the actual behavior from the reference one. SHM systems can thus detect in real time anomalies much in advance with respect to dangerous situations.



e validato in fase di collaudo; i sistemi SHM sono quindi in grado di segnalare in tempo reale le anomalie osservate prima che si verifichino situazioni di pericolo.

*Il ponte Europa (Austria) utilizza un costante monitoraggio.  
A continuous monitoring is performed on Europabrücke (Austria).*



## La rilevanza delle metodologie SHM nella gestione delle strutture

Le motivazioni che possono suggerire l'implementazione di sistemi SHM e che hanno spinto alcuni paesi ad emanare direttive precise in tal senso sono molteplici. Tra le principali è possibile considerare:

**1) La sicurezza.** Il problema della sicurezza delle strutture ha aspetti molteplici, legati sia alla tipologia di struttura considerata sia alle circostanze rispetto alle quali ci si intende cautelare. In tale contesto assumono particolare importanza le strutture di elevata rilevanza sociale, anche in assenza di condizioni ambientali anomale. Rientrano in tale categoria gli edifici sede di servizi pubblici (in particolare scuole e ospedali), gli impianti sportivi, i ponti stradali e ferroviari, volendo citare solo gli esempi più rilevanti. Si tratta di strutture nelle quali eventuali cedimenti possono portare a costi sociali inaccettabili ed a perdite di vite umane.

In situazioni anomale, come quelle che seguono un sisma, un sistema di monitoraggio consente di verificare immediatamente le massime accelerazioni cui sono state esposte le varie parti di una struttura ed anche di confrontare il comportamento dinamico della stessa con quello precedente all'evento. Ciò consente un reimpiego rapido delle strutture non danneggiate, l'esclusione altrettanto rapida di quelle che esibiscono danni non compatibili con la sicurezza, relegando l'ispezione approfondita ai casi di danni intermedi. Tutto questo può poi avere una valenza economica non trascurabile quando applicato a strutture produttive.

**2) Gli aspetti economici.** Gli amministratori, pubblici e privati devono continuamente confrontarsi con il difficile equilibrio tra costi di manutenzione delle infrastrutture ed il mantenimento di livelli elevati di

## The relevance of SHM methodologies in structure management

The reasons that can suggest the implementation of SHM systems and that have led some countries to enforce specific regulations are the following:

**1) Safety.** Safety has multiple aspects, concerning both the nature of the considered structure and the circumstances that could lead to damages. In this context a primary role is played, even in absence of abnormal events, by the structures with high social impact. Inside this category we can find the buildings that host public services (in particular schools and hospitals), sport facilities, road and rail bridges, to cite just a few among most relevant examples.

In abnormal situations, like those following an earthquake, monitoring systems allow real-time controls on the maximal accelerations observed in the different parts of a structure and also a comparison of the observed dynamical behavior with the reference one. This allows a fast reuse of non damaged structures and an equally fast exclusion of damaged ones; detailed inspections will thus be reserved to intermediate situations. This can be associated with relevant economic aspects when performed on production facilities.

**2) Economical aspects.** Private and public administrators are continuously faced with the difficult equilibrium between maintenance costs of the infrastructures and safety requirements. The best results can be obtained by programming the maintenance on the basis of actual needs, evaluated by means of suitable diagnostic tools and, in the case of buildings, this requires a reliable monitoring of their behavior in order to be sure to operate within wide safety margins.

sicurezza. I migliori risultati si ottengono programmando gli interventi in base alla effettiva esigenza degli stessi, determinata mediante l'uso di strumenti diagnostici adeguati e, nel caso degli edifici, questo richiede un affidabile monitoraggio del loro comportamento in modo da avere la certezza di non comprometterne la sicurezza.

**3) Salvaguardia del patrimonio culturale.** Gli aspetti rilevanti in quest'ambito sono numerosissimi ed associati anche ad aspetti economici di valenza opposta. Se, da un lato, impedire il degrado del patrimonio culturale del paese richiede investimenti significativi, non va trascurato che tale patrimonio, oltre a caratterizzare l'eredità culturale del paese, è alla base di una sensibile fonte di entrate dovute al turismo. In quest'area i sistemi di monitoraggio possono avere una duplice valenza: da un lato quella ovvia del controllo di eventuali deterioramenti in modo da consentire interventi prima che si verifichino danni irreversibili, dall'altro quello di consentire la creazione di un data base contenente le caratteristiche dinamiche delle strutture principali che consenta futuri interventi di ripristino o manutenzione progettati avendo come riferimento le caratteristiche originarie delle strutture.



*Il sistema SHM602 installato sul Manhattan Bridge di New York nell'ambito di un progetto comune tra l'Università di Bologna e la Columbia University ha consentito di raccogliere un complesso di informazioni poi utilizzate per la modellazione di tale struttura.*

*The SHM602 system installed on the Manhattan Bridge (New York) in the context of a cooperation between the University of Bologna and Columbia University has allowed collecting a large amount of measures subsequently used to analyze the conditions of this structure.*

**3) Preservation of cultural heritage.** This sector must take into account many aspects, often associated with opposite economical valence. On one side, preserving the cultural heritage of a country requires significant investments that, on the other side, contribute to the economic revenues associated with tourism. In this area SHM systems can play different roles: the obvious control of possible deteriorations in order to plan interventions before irreversible damages and the creation of a database containing the descriptions of the dynamical behaviors of the most important structures in order to allow future actions designed with reference to the original characteristics.

*L'SHM602 è stato utilizzato anche per misure sul Colosseo.  
The SHM602 system has been used also for tests on the Coliseum.*



*Molte installazioni di sistemi SHM sono state fatte in edifici scolastici.*

*Many SHM systems have been installed in school buildings.*





## **Il sistema SHM602 della Teleco ed il suo range di applicabilità**

Un sistema SHM ideale dovrebbe utilizzare sensori robusti ed economici, effettuare localmente le conversioni A/D in modo da utilizzare connessioni digitali, risultare poco invasivo e di semplice installazione, rendere disponibili in maniera remota dati e modelli ed avere un costo contenuto.

Il sistema Teleco SHM602, sviluppato da Teleco in collaborazione con l'Università di Bologna, è conforme alle specifiche ISO/DIS 18649 ed alle raccomandazioni del Fib Task Group 5.1. Realizzato a norma IP67, consente l'installazione delle unità accelerometriche e delle eventuali unità di acquisizione di dati analogici anche in strutture soggette a condizioni atmosferiche critiche (es. ponti ferroviari e stradali, impianti industriali ecc.). Risulta quindi possibile realizzare sistemi di monitoraggio strutturale, eventualmente integrati da monitoraggi ambientali o di qualunque altro tipo non solo in edifici civili ma anche in qualunque altro tipo di struttura senza alcuna necessità di ricorrere a protezioni ausiliarie dei sensori.

Le installazioni possono riguardare la sola acquisizione di dati finalizzati ad analisi della integrità delle strutture oppure sistemi integrati che sfruttano la capacità del bus e del data logger presente nel sistema per acquisire anche misure di altro tipo. Anche sistemi di monitoraggio e logging (es. del consumo termico di un edificio) privi di finalità di monitoraggio SHM possono trarre vantaggio dalla flessibilità e facilità di installazione dell'SHM602.

### **Esperienze significative**

Sistemi SHM602 di complessità diverse sono stati installati sia in ambienti civili che industriali ed è stato possibile effettuare valutazioni comparate della capacità del sistema di operare tanto in edifici soggetti a stimoli continui di intensità non trascurabile ed in ponti soggetti a stimoli di notevole intensità quanto in strutture scarsamente sollecitate. Tra le applicazioni significative Palazzo Saraceni (Bologna), la torre della Scuola di Ingegneria (Bologna), alcune scuole, Il Mahattan Bridge (New York), strutture industriali.

### **Struttura e componenti del sistema SHM602**

L'SHM602 è un sistema integrato avanzato per il monitoraggio strutturale dinamico (SHM, Structural Health Monitoring) di edifici e strutture civili ed industriali attraverso l'analisi della risposta di tali strutture a sollecitazioni naturali (traffico, azione del vento) o artificiali. Diversamente dai sistemi tradizionali, basati su costosi sensori analogici di tipo sismico e su invasive

## **The Teleco SHM602 system and its applicability range**

Ideal SHM systems should be endowed with robust and economical sensors, perform locally the A/D conversions in order to rely on digital links, be minimally invasive, have a simple installation, make data and models remotely accessible and have a limited cost.

The Teleco SHM602 system, developed in the context of a cooperation between Teleco SpA and the University of Bologna, complies with ISO/DIS 18649 specifications and with the recommendations of the Fib Task Group 5.1. It complies also with the IP67 standard and allows installing the accelerometric and analog acquisition units also in structures subjected to harsh environmental conditions like bridges, industrial plants etc. The SHM602 can thus be used to implement integrated structural and environmental monitoring systems concerning not only civil buildings but also a wide range of other structures without any need of additional protection for the sensors.

These systems can be limited to the acquisition of measures to be used for the analysis of the integrity of the structures or be more general systems that take advantage of the architecture of the system bus and data logger to acquire an extended range of measures. In some cases it could also be useful to exploit the flexibility of the SHM602 even in the realization of monitoring and logging systems that do not concern SHM (e.g. monitoring of heat consumption in large buildings).

### **Relevant experiences**

Systems characterized by various complexity levels have been installed in several civil and industrial environments. This has allowed a comparison of the SHM602 performance in installations concerning buildings operating in a wide range of environmental excitations and in bridges strongly excited by heavy road and railway traffic. Among the more significant applications it is possible to mention Palazzo Saraceni (Bologna), the tower of the Engineering School of Bologna University, some school and industrial buildings and Manhattan Bridge (New York).

### **Structure and components of the SHM602 system**

The SHM602 is an advanced integrated system designed for SHM (Structural Health Monitoring) applications in civil and industrial structures. It is based on the analysis of the response of these structures to environmental excitations (wind, vehicle traffic) or to artificial stimuli (falling weight or other mechanical impulse generators).

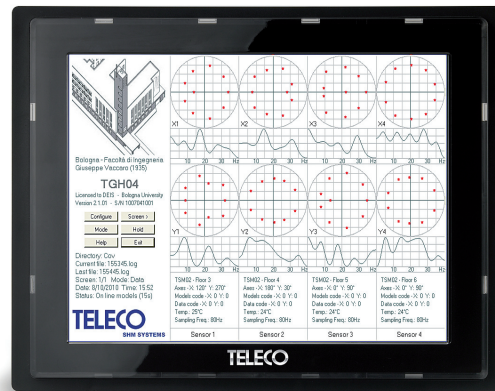
connessioni radiali con l'unità di controllo, l'SHM602 utilizza tecnologie digitali ed un collegamento ai sensori tramite bus con vantaggi economici, di affidabilità e di insensibilità ai disturbi elettromagnetici. L'SHM602, sviluppato da Teleco SHM Systems in collaborazione con l'Università di Bologna, si avvale di algoritmi e tecnologie proprietari ed è composto da:

Differently from traditional systems, usually based on expensive seismic accelerometers and on invasive radial connections with the control unit, the SHM602 relies on digital technologies and on the insertion of the sensors on a bus; the advantages concern cost, reliability and insensitivity to electromagnetic disturbances. The SHM602, that has been developed in the context of a

cooperation between Teleco SHM Systems and Bologna University, relies on proprietary algorithms and technologies. It is a modular system whose main components are:

**Centralina e data logger TSD10**

- Display: Touch Screen 10"
- Temperatura di funzionamento: 0°C +70°C
- Umidità: 0 – 85% (senza condensa)
- Consumo: 12W
- Porte: USB, CF, Ethernet 100Mb, RS232
- Bus: 2 bus seriali RS485
- Numero Massimo di sensori su ogni bus: 16@20Hz, 8@40Hz, 4@80Hz



**Storage and Control Unit TSD10**

- Display: Touch Screen 10"
- Operating temperature: 0°C +70°C
- Operating humidity: 0 – 85% (non condensing)
- Consumption: 12W
- Ports: USB, CF, Ethernet 100Mb, RS232
- Bus: 2 RS485 buses
- Max. number of sensors on every bus: 16@20Hz, 8@40Hz, 4@80Hz

**Sensori TSM02**

- Temperatura di funzionamento: -20°C +80°C
- Umidità: 0 – 95% (senza condensa)
- Livello di protezione ambientale: IP67
- Range di rilevazione (acc.): ± 1500 mg (due assi)
- Rumore di fondo:  $\sigma = 0.32 \text{ mg @ } 20 \text{ Hz}$
- Range di rilevazione (temp.): -20°C +80°C
- Collegamento: Tramite bus RS485



**TSM02 sensors**

- Operating temperature: -20°C +80°C
- Operating humidity: 0 – 95% (non condensing)
- Environmental protection: IP67
- Acceleration range: ± 1500 mg (two axes)
- Noise:  $\sigma = 0.32 \text{ mg @ } 20 \text{ Hz}$
- Temperature measurement range: -20°C +80°C
- Interface: RS485 bus

**Unità di acquisizione dati analogici TGA102**

- Due ingressi differenziali
- Guadagno: 10, 100 (TGA102A); 1, 2, 10, 100, 200 (TGA102B)
- Risoluzione: 16 bit (campionamento a 20Hz)
- Range di ingresso: ±4.0V (G=1)
- Offset di ingresso: ±8.0V
- Max. errore sul guadagno: 0.15%
- Temperatura di funzionamento: -20°C +80°C
- Max. errore sul range di temperature a G=100: 0.004% del range di uscita /°C
- Max. errore sul range di temperature a G=100 (configurazione a ponte): 0.006% del range di uscita /°C
- Resistenza di ingresso (dc): 10 G
- Max. tensione di ingresso: ±20V
- Max. tensione differenziale di ingresso: ±20V
- Umidità: 0 – 95% (senza condensa)
- Collegamento: Tramite bus RS485



**Analog acquisition unit TGA102**

- Two differential inputs
- Gain: 10, 100 (TGA102A); 1, 2, 10, 100, 200 (TGA102B)
- Resolution: 16 bit (@ 20Hz)
- Input range: ±4.0V (G=1)
- Input offset: ±8.0V
- Max. gain error: 0.15%
- Operating temperature: -20°C +80°C
- Max. error over the temperature range at G=100: 0.004% of the output range/°C
- Max. error over the temperature range at G=100 (bridge configuration): 0.006% of the output range /°C
- Input resistance (dc): 10 G
- Max. input voltage: ±20V
- Max. differential input voltage: ±20V
- Operating humidity: 0 – 95% (non condensing)
- Interface: RS485 bus



#### **TSIC485 – Unità di inserimento e filtraggio alimentazione sul bus RS485**

- Temperatura di funzionamento: -20°C +80°C
- Umidità: 0 – 95% (senza condensa)

#### **TSBR485 – Unità di ripetizione segnali e inserzione ausiliaria di alimentazione sul bus RS485**

- Temperatura di funzionamento: -20°C +80°C
- Umidità: 0 – 95% (senza condensa)
- Livello di protezione ambientale: IP67

#### **Software di configurazione e acquisizione TBH02**

- Selezione frequenza di campionamento (20/40/80 Hz)
- Start/Stop acquisizione dati
- Monitoraggio di eventuali errori di acquisizione

#### **Software di analisi e visualizzazione TGH04**

- Calcolo dello spettro di potenza dei segnali acquisiti
- Visualizzazione dei poli dei modelli identificati
- Visualizzazione dello spettro di potenza dei segnali
- Visualizzazione della allocazione dei sensori nella struttura
- Analisi della affidabilità dei modelli
- Analisi della idoneità delle condizioni di eccitazione

#### **Software di analisi multivariata e segnalazione anomalie TGH06**

- Calcolo e visualizzazione dello spettro di potenza dei segnali acquisiti
- Calcolo e visualizzazione dei cross-spettri dei segnali acquisiti
- Confronto degli spettri e cross-spettri misurati con quelli di riferimento
- Visualizzazione della allocazione dei sensori nella struttura
- Analisi di affidabilità dei segnali
- Verifica della presenza di situazioni anomale
- Creazione ed invio di messaggi di allarme.

#### **TSIC485 – RS485 power insertion and filtering unit**

- Operating temperature: -20°C +80°C
- Operating humidity: 0 – 95% (non condensing)

#### **TSBR485 – Signal repeater and auxiliary power insertion unit**

- Operating temperature: -20°C +80°C
- Operating humidity: 0 – 95% (non condensing)
- Environmental protection: IP67

#### **Configuration and data acquisition software TBH02**

- Sample frequency selection (20/40/80 Hz)
- Start/Stop data acquisition
- Monitoring of acquisition errors

#### **Analysis and visualization software TGH04**

- Computation of the power spectrum of the measured signals
- Visualization of the poles of the identified models
- Visualization of the power spectrum of the signals
- Visualization of sensor allocations
- Analysis of the reliability of the models
- Analysis of the suitability of the excitation

#### **Multivariate analysis and diagnosis software TGH06**

- Computation and visualization of the power spectrum of the measured signals
- Computation and visualization of the cross-spectra of the measured signals
- Comparison of the power spectra and cross-spectra of the measured signals with the reference ones
- Visualization of sensor allocations
- Reliability analysis of the measured signals
- Diagnosis of abnormal situations
- Generation of alarm messages.



Via E. Majorana, 49 - 48022 Lugo (Ra) Italy - Tel. +39 (0545) 25037 - Fax +39 (0545) 32064  
info@telecoshmsystems.com [www.telecoshmsystems.com](http://www.telecoshmsystems.com)