

INFRASTRUTTURE

# Monitorare in modo continuo lo stato di salute delle strutture

Migliorare le prestazioni nel prossimo futuro: il sistema SHM a supporto delle decisioni critiche nell'industria di settore

“Le infrastrutture di ingegneria civile sono centrali per lo sviluppo socio-economico di un Paese.” Esordisce così nel suo paper “I sistemi SHM per la manutenzione e sicurezza delle infrastrutture” (2018) l'ing. Giovanni Manco, esperto dell'ICT e membro DI SGI-Stati Generali dell'innovazione, già membro del G.L. dell'ingegneria dell'informazione del CNI (2012-2016). Cosa si intende per sistemi SHM? In che modo essi contribuiscono a una migliore ed efficiente manutenzione? E soprattutto, quanto possono aiutare lo sviluppo economico di un Paese e quindi la qualità di vita dei cittadini? “I sistemi SHM (Structural Health Monitoring) che hanno lo scopo di monitorare h24 lo stato di salute dell'infrastruttura, consentendo una migliore ed efficiente manutenzione e, soprattutto, segnalando in tempo utile le condizioni che possono portare a un crollo.” Dall'analisi fornita dall'ing. Manco (così come riportato nel dettaglio dal box integrativo **Architettura di un sistema SHM**), nella società odierna è assolutamente necessario evitare che il danneggiamento di una struttura civile provochi disastri con perdite di vite umane. I sistemi SHM risultano idonei non solo per una manutenzione efficace. “Dal punto di vista realizzativo – prosegue Manco – va ribadito che essi non possono essere ancora considerati una commodity, ma vanno disegnati e configurati opportunamente per la specifica applicazione. Il che richiede uno sforzo multidisciplinare che attiene a diverse discipline, in particolare dall'ingegneria civile ed elettronica all'ICT”. Per chiarire questi punti, abbiamo sentito l'ing. Manco (in foto).



## Qual è il ruolo dei sistemi SHM nella manutenzione e gestione delle infrastrutture di ingegneria civile?

“Da tempo le attività di manutenzione hanno subito, soprattutto in ambito industriale, una profonda trasformazione dando vita alla cosiddetta **ingegneria della manutenzione** (oggetto anche di norme ISO/EN/UNI): il suo obiettivo è quello di realizzare in modo efficace e al minimo costo tutte quelle attività da svolgere durante il ciclo di vita di un'opera (in generale di un'entità) per mantenerla o riportarla in uno stato in cui possa eseguire la sua funzione. In base alle normative tecniche vigenti, le attività di manutenzione seguono le seguenti politiche o strategie:

- **Manutenzione incidentale** (*Break Maintenance* o manutenzione a guasto);
- **Manutenzione preventiva** predeterminata (*TBM Time-based maintenance* o programmata);
- **Manutenzione preventiva** secondo condizione (*CBM Condition-based maintenance* detta anche predittiva);
- **Manutenzione migliorativa** (o proattiva)”.

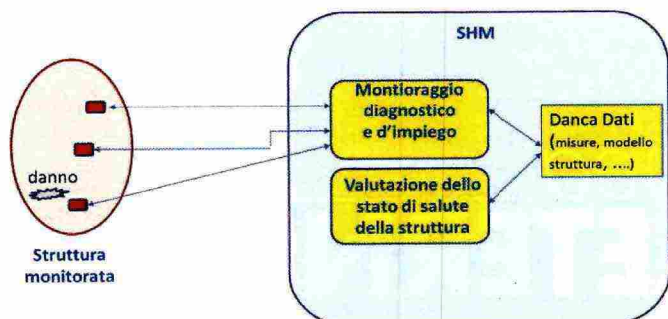


FIG 1. Schema operativo di un sistema SHM

## Qual è il vantaggio di questi sistemi?

“La capacità dei sistemi SHM di rilevare, localizzare e pronosticare un danno con metodi **NDE (Non-Destructive Evaluation)** di tipo statico o dinamico, rende possibile l'individuazione e la conseguente rimozione di errori di progettazione e/o realizzazione, l'introduzione di possibili miglioramenti, la gestione di diversi livelli di allerta e la predeterminazione della vita residua in sicurezza (*Safe Lifetime*). **Il tutto a vantaggio della sicurezza, dei costi e della vita utile della parte strutturale di un'opera.** Ovviamente le tecniche e i metodi usati nei sistemi SHM sono destinati a contribuire anche allo sviluppo della manutenzione degli impianti e dei prodotti dell'Industria 4.0. Per quanto riguarda il settore dell'ingegneria civile si sta assistendo, sia pure più lentamente, all'impiego dei risultati dell'ingegneria della manutenzione del settore industriale. Certamente l'uso dei sistemi SHM può contribuire al trasferimento di questi risultati, soprattutto in chiave di *Damage Tolerance*. La loro introduzione consente di individuare in modo anticipato errori di progetto o di esecuzione, controllare lo stato di salute della struttura anche sulla base dell'andamento dinamico del carico a cui è sottoposta (lavoro a fatica), localizzare problemi/difetti, produrre i dovuti allarmi e, anche se resta ancora molto lavoro da fare, **valutare la vita residua dell'opera.**”

## I sistemi SHM consentono l'adozione di una nuova strategia basata sul monitoraggio continuo e la possibilità di automatizzare le ispezioni visuali?

“Ovviamente si possono sempre fare controlli con prove *in situ* eseguite a cura di operatori. La realizzazione di un tale sistema richiede uno sforzo multidisciplinare perché non si tratta solo di posizionare sensori/attuatori e raccogliere ed elaborare dati, ma di conoscere il modello strutturale dell'opera stessa, le sollecitazioni, i meccanismi di degrado e i criteri per la valutazione del suo stato. Il monitoraggio dello stato di salute di una struttura di ingegneria civile, come quello di un ponte, comporta la valutazione dell'effetto di azioni di tipo fisico, meccanico e chimico che incidono sulla sua durabilità, ad esempio: i sovraccarichi, le azioni del vento, i cicli termici naturali gelo-disgelo, gli agenti chimici ambientali come quelli che comportano la corrosione delle armature del cemento armato da carbonatazione/cloruri, i terremoti, le esplosioni, gli incendi, etc.”

## Come è composto un sistema SHM?

“Per quanto riguarda le modalità operative, un sistema SHM deve avere sensori in grado di monitorare le reali condizioni d'impiego e la presenza di un danno (FIG 1). Inoltre può operare un controllo cosiddetto statico, ovvero monitorare solo i parametri variabili lentamente durante un periodo di osservazione e valutarne la tendenza (ad. es. uno spostamento assoluto o relativo), o dinamico, ovvero monitorare le caratteristiche dinamiche (come le vibrazioni) della struttura. I dati così raccolti consentono l'impiego di metodi “intelligenti” di rilevamento e gestione di un eventuale danno e possono popolare una banca di dati storici della struttura.”

## Ci sono delle norme di riferimento?

“La norma **UNI/TR 11634:2016** fornisce le linee guida per il monitoraggio strutturale. In concreto un sistema SHM è in grado di fornire al responsabile della gestione della manutenzione un supporto molto oggettivo sullo stato dell'opera. Il che è di rilevante importanza quando si tratta di intraprendere azioni di manutenzione critiche o di decidere di limitarne l'uso (per esempio chiusura del traffico di un ponte). Un sistema di monitoraggio può essere impiegato anche durante la fase di costruzione, consentendo così di verificare le ipotesi progettuali e di controllare le operazioni di realizzazione. A questi obiettivi possono contribuire anche le tecniche di simulazione e quanto prima, per le nuove costruzioni, l'impiego del **BIM (Building Information Modeling)**. In particolare quando si diffonderà anche l'utilizzo del **BIM to Field**, il dialogo con il relativo SHM contribuirà maggiormente a realizzare strutture sempre più sicure e una ottimizzata manutenzione. Per le nuove costruzioni la maggior parte dei sensori/attuatori possono essere immersi direttamente (*embedded*) negli elementi della struttura, dando vita a quella

che può essere considerata una **SMS (Smart Materials and Structures)**. Per le costruzioni esistenti i sensori/attuatori sono tipicamente sistemati sugli elementi esistenti. I costi di realizzazione e gestione di un sistema SHM incidono in minima parte su quello della struttura da monitorare. Da alcune esperienze di utilizzo per ponti risulta che essi consentono di **ridurre il costo dell'intero ciclo di vita dell'opera di ca. il 10%**. Il sistema SHM può integrarsi anche con sistemi per la gestione funzionale dell'infrastruttura, come quelli che gestiscono il traffico su un ponte autostradale in base anche alle condizioni ambientali".

**Come pensa che evolverà il monitoraggio strutturale?**

"Appare evidente che per la messa in sicurezza delle infrastrutture di un'intera regione o paese si assisterà all'integrazione dei sistemi satellitari con quelli terrestri. In futuro certamente sarà conveniente l'impiego dei sistemi SHM lungo tutto il ciclo di vita di un'opera.

**Non possono poi mancare il contributo alla ricerca e l'utilizzo dei materiali innovativi...**

"Bisogna dire che la UE e il nostro Paese, seguendo l'esempio degli USA, devono essere meno conservativi nel consentire l'uso dei nuovi materiali. A tal scopo è opportuno che si investa sulle attività relative allo loro sperimentazione e qualificazione. Non da meno la formazione degli addetti al settore perché la stessa ingegneria civile deve accelerare il passaggio dalla

cultura del progetto a quello della manutenzione e gestione. Il tutto tenendo sempre presente che il ruolo della ricerca e delle professioni tecniche resta quello di utilizzare le innovazioni scientifiche e tecnologiche per far crescere il Paese attraverso la gestione del rischio. Esiste tutto un mondo del costruito, a volte anche datato, che solo in minima parte potrà beneficiare di questi sviluppi. Ma per esso le tecnologie alla base dei sistemi SHM già possono apportare il loro determinante contributo per un controllo in tempo reale del loro stato di salute e quindi per un loro utilizzo in sicurezza".

**L'attività di ANAS: "Per i ponti approcci innovativi"**

Almeno in carica per il prossimo triennio, fino al 2020 quando sarà prevista la nuova Assemblea di approvazione di bilancio, Massimo Simonini è il nuovo AD e Direttore Generale di ANAS eletto nell'ultimo CdA. In un suo recente intervento, durante il Convegno "Proposte per il Sud", svoltosi lo scorso novembre a Lecce, Simonini ha affermato: "Abbiamo già avviato in parte e aggiudicato circa 500 milioni di euro di gare e stanno per partire - entro l'anno - altri 1100 milioni. L'attività di ANAS consiste anche nell'organizzare e programmare questi soldi e queste spese: abbiamo cercato di rendere più al passo con i tempi la PA. Ci siamo dotati di un sistema RAM che sulla base dello stato dei ponti stila un elenco e definisce le priorità di intervento. A questo affianchiamo un'analisi viva della struttura del ponte, a cui stiamo affiancando un'ulteriore approccio innovativo: stiamo iniziando a utilizzare la sensoristica - attività ancora in fase di sviluppo, ma che ovviamente hanno la necessità del primo approccio, cioè di un approccio visivo".



Massimo Simonini, nuovo AD e Direttore Generale di ANAS

**L'Architettura di un sistema SHM**

Un sistema SHM ha una architettura di tipo distribuita per monitorare una o più strutture, specifica l'ing. Giovanni Manco. Può impiegare soli dispositivi e apparati sistemati a terra (SHM terrestre) e/o di sensori alloggiati come payload su satelliti per la Earth Observation o su aerei (impiego di elicotteri o droni).

**Le macrofunzioni:**

- acquisizione dati;
- elaborazione dei dati acquisiti per individuare l'esistenza di danni con la relativa localizzazione e gravità;
- indicazioni di manutenzione e di eventuali limitazioni d'uso.

**LE TECNICHE DI ELABORAZIONE**

I sistemi soltanto satellitari sfruttano i servizi di Earth Observation di costellazioni a ciò dedicate con dispositivi e apparati a terra in grado di ricevere ed elaborare i dati raccolti dai satelliti. In aree poco coperte da reti TLC terrestri si possono utilizzare i servizi TLC satellitari, che con costi di realizzazione e gestione sostenibili presentano diversi vantaggi:

- monitorare una struttura di grandi dimensioni o tutte quelle di un'intera area;
- operare in zone di difficile accesso e anche in presenza di eventi come frane e terremoti;
- realizzare e operare in modo poco invasivo rispetto alla struttura monitorata e alle sue funzionalità;
- disporre anche di dati satellitari precedenti all'attivazione del sistema;
- ricevere ed elaborare altri dati satellitari per monitorare altri rischi che possono danneggiare la struttura di interesse, come quello idrogeologico.

**LIMITI**

La natura e la tempistica di acquisizione (anche diversi giorni) dei dati consentono solo un monitoraggio di tipo statico. Si riescono a valutare bene i fenomeni di deformazione localizzata, ma non si possono, ad esempio, valutare le vibrazioni a cui la struttura è soggetta. Per queste ragioni, recentemente si tende a integrarli con sistemi SHM terrestri.

**Sensori payload**

La tecnologia su cui oggi sono basati i sensori del payload è la InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) che rende possibile anche la

Tomografia SAR. È recente l'interesse del Governo di utilizzare le competenze ASI (Agenzia Spaziale Italiana) e del CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) per la realizzazione di un sistema satellitare per il monitoraggio delle infrastrutture del Paese. Per i sistemi aerei, la soluzione basata su SAPR (Sistema Aeromobili a Pilotaggio Remoto), che fa uso di APR (droni), è quella che si sta maggiormente affermando. I vantaggi e i limiti di questi sistemi sono in buona parte comuni a quelli di tipo satellitare.

**SHM terrestri**

Possono essere realizzati per effettuare sia il monitoraggio statico e sia quello dinamico: i sensori/attuatori impiegati costituiscono il sistema "nervoso" che monitora gli spostamenti e le deformazioni della struttura legate all'azione di tutti gli agenti meccanici, chimici e fisici che comportano un suo degrado prestazionale (estensimetri, accelerometri, inclinometri, misuratori di parametri ambientali o chimici). Per quanto riguarda le tecnologie utilizzate, oltre a quelle resistive, piezoresistive e piezoelettriche, si vanno sempre di più diffondendo le MEMS, Micro Electro-Mechanical Systems e le FOS (Fiber Optic Sensing) del tipo FBG, Fiber Bragg Grating (utilizzate per estensimetri, accelerometri, misuratori temperatura, etc.).

L'architettura di un SHM può prevedere uno o più sottosistemi locali di acquisizione/concentrazione. Per la connessione dei vari sensori/attuatori a tali sottosistemi si tende ormai a utilizzare delle WSN (Wireless Sensor Network Std IEEE 802.15.4x), anche se non mancano casi di collegamenti LAN e WLAN, o seriali multipoint RS485. Essi sono connessi al sottosistema centrale dove avviene la raccolta e l'elaborazione centralizzata dei dati. Dotato di varie postazioni di lavoro locali e remote, può essere connesso ad altri sistemi. Nel caso di integrazione con un sistema SHM satellitare o SAPR, è tipicamente connesso rispettivamente alla Service Station (a sua volta connessa a una Ground Station) o alla Stazione di Controllo (v. FIG 2, 3 e 4).

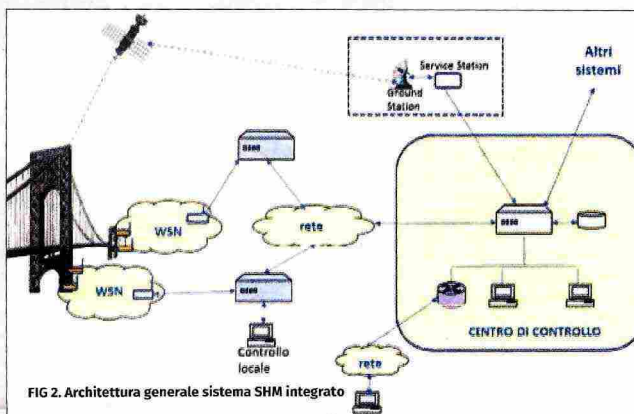


FIG 2. Architettura generale sistema SHM integrato

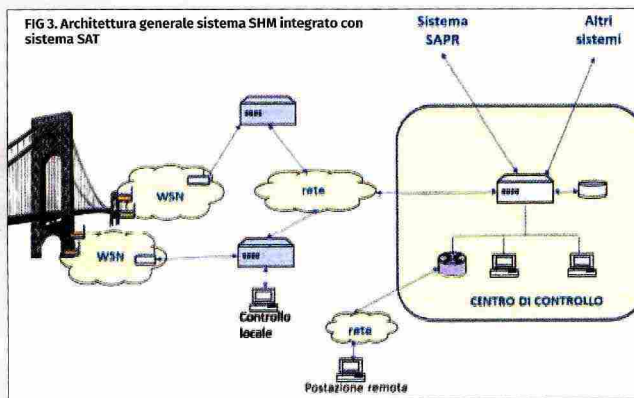


FIG 3. Architettura generale sistema SHM integrato con sistema SAT

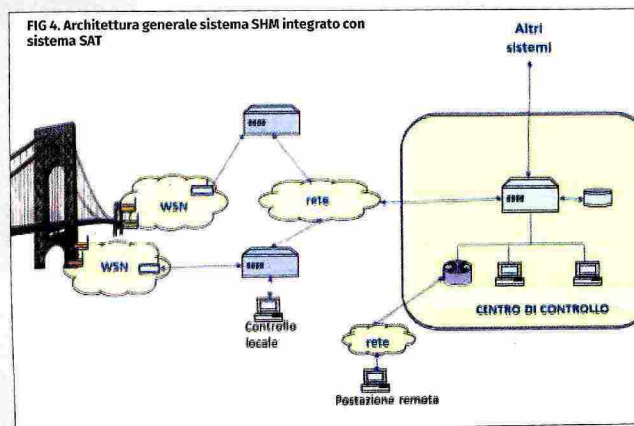


FIG 4. Architettura generale sistema SHM integrato con sistema SAT