



**Monitoraggio e controllo
di opere infrastrutturali**

RINA – Monitoraggio strutturale delle Opere d'Arte



Il gruppo RINA fornisce in tutto il mondo servizi di progettazione, supervisione ed implementazione di sistemi complessi nei seguenti settori di mercato:

Ingegneria Civile e delle Infrastrutture

Ponti, edifici, infrastrutture ferroviarie, gallerie, dighe..

Energia

Centrali termiche di Produzione, Impianti Rinnovabili...

Industria e Impianti Oil & Gas

Complessi industriali di Produzione, Piattaforme Off-shore, Pipelines...



Ispezioni

Monitoraggio strutturale

Verifiche transitabilità

Progettazione di
interventi di
consolidamento



Monitoraggio Dinamico e Strutture Intelligenti



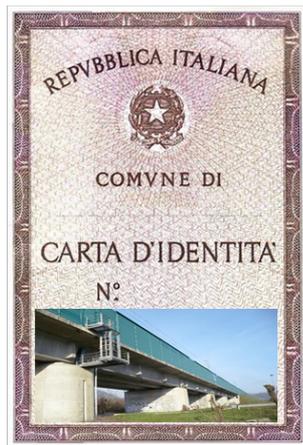
Scopo

- Strumento per la corretta **Valutazione del Comportamento Dinamico Reale** delle opere di Ingegneria Civile e, di conseguenza, per ottenere una **modellazione strutturale efficace** ed una stima affidabile della risposta delle opere alle **azioni sismiche**



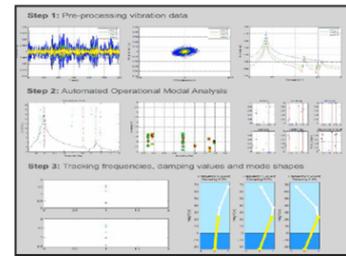
Funzionamento

- Si basa sulla misura della sola risposta strutturale eccitata da sorgenti ambientali, quali il traffico veicolare ed il vento, assumendo che l'ente generatore delle vibrazioni sia un processo stocastico

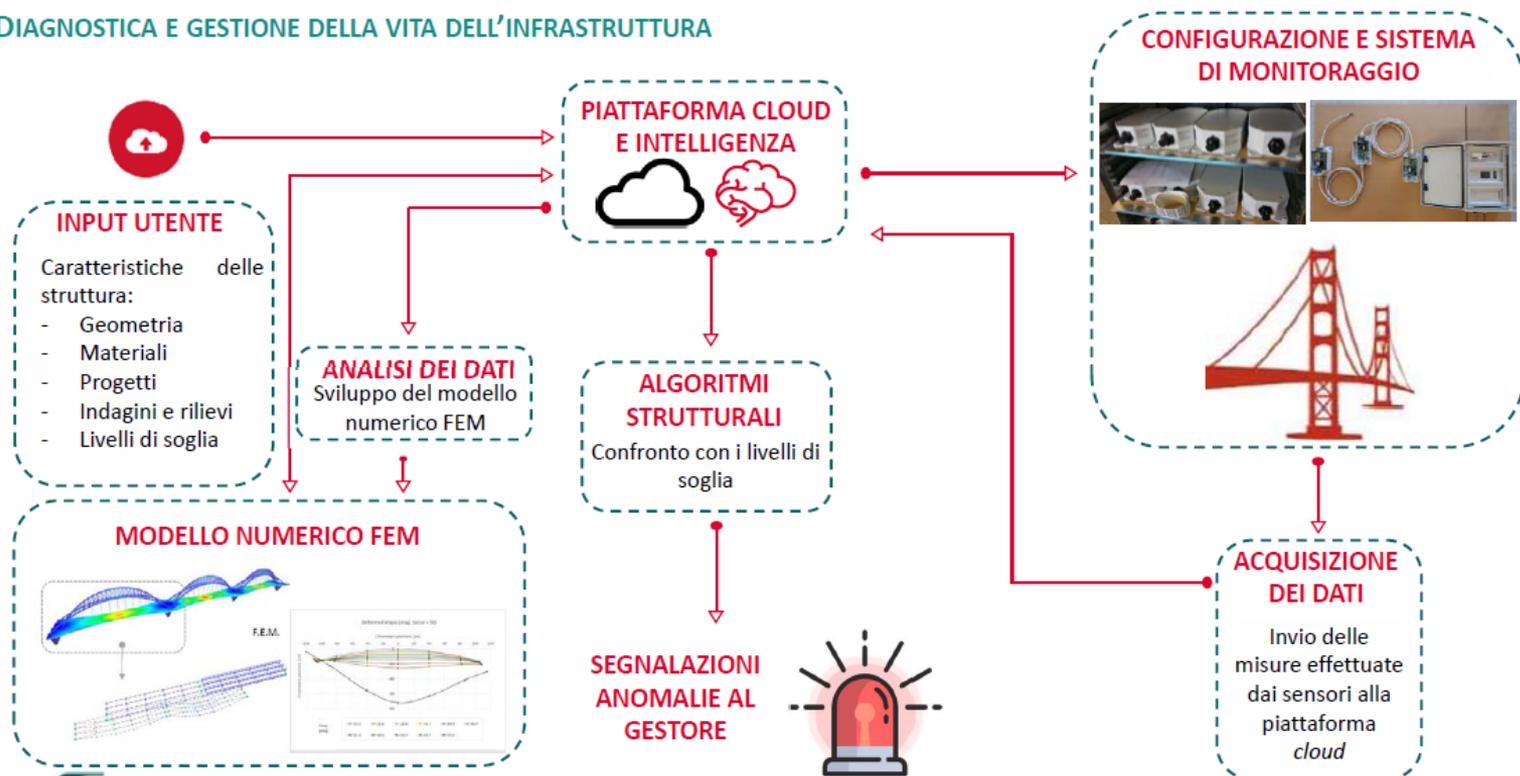


Output

- Realizzazione di un impianto di monitoraggio dinamico allo scopo di:
 - Identificazione delle grandezze dinamiche idonee** per l'individuazione degli ammaloramenti delle diverse tipologie di opere -> tracking dei parametri modali
 - categorizzazione delle opere soggette al passaggio di TE** analisi sia in regime lineare che non lineare nel caso di passaggi di carichi eccezionali (o eventi sismici)
 - Calibrazione dei modelli di calcolo (FEM)** atti a rappresentare il comportamento reale della struttura e a definire gli scenari di allarme
 - Identificazione del degrado della struttura, valutazione dell'influenza del degrado sul comportamento in campo dinamico della struttura oggetto di analisi e supporto alla manutenzione predittiva**



DIAGNOSTICA E GESTIONE DELLA VITA DELL'INFRASTRUTTURA



Smart Monitoring – Creazione di un Digital Twin

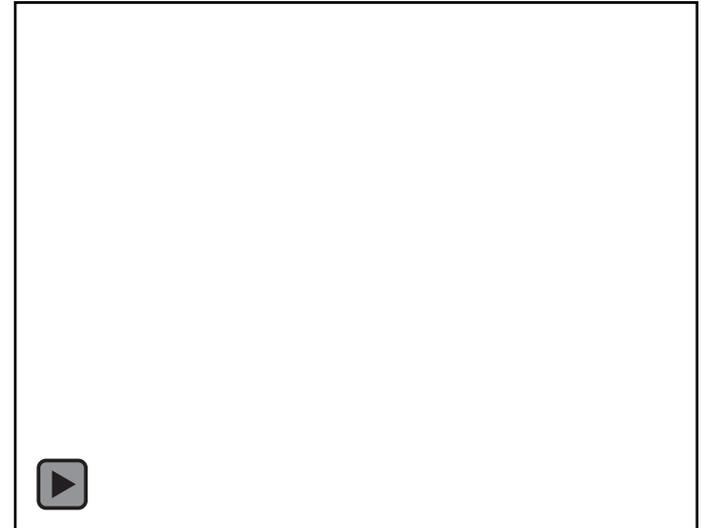
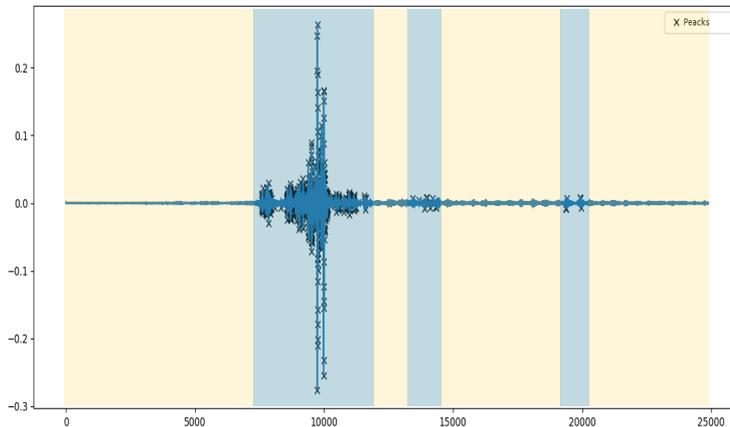
I gemelli digitali vengono creati attraverso questi passaggi:

- Creazione del modello 3D (idealmente rilievo dello stato di fatto e BIM dettagliato)
- Creazione del modello FEM (livello di dettaglio variabile)
- Installazione del sistema di monitoraggio
- Monitoraggio statico e dinamico continuo e registrazione dei dati
- Trattamento dei dati registrati (selezione dei dati, identificazione dinamica, controllo e identificazione anomalie anche mediante apprendimento da modello numerico) – data driven approach
- Aggiornamento del modello
- Rilevamento dei danni e previsione delle prestazioni con modello digitale (combined model and data based approach)



Smart Monitoring – AI per selezione dei dati e model updating

- La selezione dei dati viene completata utilizzando una varietà di metodi classici e basati sull'intelligenza artificiale.
- Intelligenza artificiale per l'identificazione modale e l'aggiornamento del modello
- L'intelligenza artificiale viene utilizzata per rilevare anomalie strutturali (autoencoder con GPU)
- Può essere combinata con un modello di Digital Twin



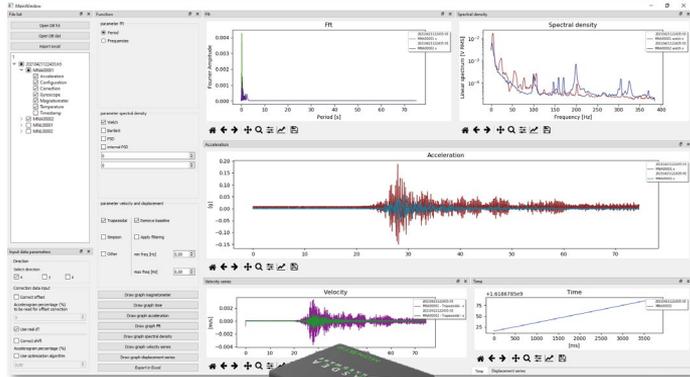
RINA

Smart Monitoring – Digital Twin integrato

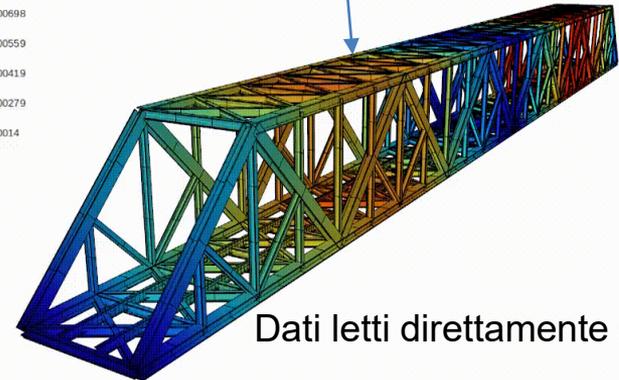
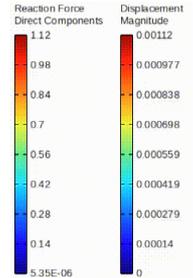


Selezione dei dati con AI.

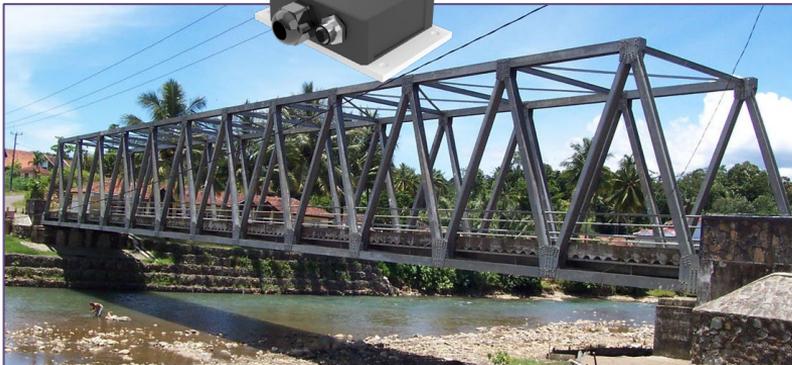
Edge computing a livello di sensore e di nodo



AI training con FEM e aggiornamento continuo del modello tramite AI



Dati letti direttamente sul FEM





Monitoraggio strutturale di ponti

Sistema di monitoraggio del Ponte Osmangazi



Revisione del progetto di monitoraggio strutturale, Installazione, Test e collaudo, Piattaforma SW integrata con lo SCADA

- Il Ponte Osmangazi è un ponte sospeso che si trova nel Golfo di Izmit lungo l'estremità orientale del Mar di Marmara, nelle immediate vicinanze di Izmit e a circa 50 Km da Istanbul. E' il quarto ponte ponte sospeso più lungo al mondo per la lunghezza della sua campata centrale e ha la più alta quota di pedaggio di qualsiasi ponte nel mondo
- La costruzione del ponte è stato assegnato ad una Joint Venture (NOMAYG) formata da cinque imprese turche (Nurol, Ozaltin, Makyol, Yuksel e Gocay) e una società di costruzioni italiana Astaldi a seguito di una gara internazionale avvenuta nell'aprile del 2009

Principali Sensori dell'Impianto di Monitoraggio



Stazioni Meteo distribuite lungo il ponte per fornire misurazioni delle caratteristiche del vento, delle precipitazioni, dell'intensità della radiazione solare, della temperatura e umidità



Sistemi di pesatura dinamica per la misura del tonnellaggio medio che insiste sull'opera e dei parametri relativi al traffico (e.g. velocità, peso, classificazione mezzi, ecc.)



Estensimetri Ottici per la misura della deformazione / temperature dei principali elementi strutturali (e.g. travata metallica dell'impalcato, stralli, cavo principale, ecc.)



Perni strumentati per la misura del carico sugli stralli



Accelerometri per la misura della vibrazione degli stralli indotta dal vento e la risposta dinamica della fondazione delle torri

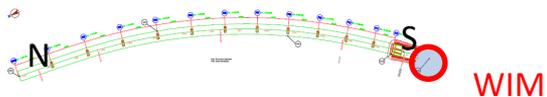


Sensori ad ultrasuoni per la misura degli spostamenti relativi sui giunti di dilatazione. Sensori GPS ed inclinometri statici/dinamici per il monitoraggio dei movimenti delle torri

Sistema di pesatura dinamica (WIM)



Area di Installazione del sistema WIM



Calibrazione del sistema WIM



Installazione completata del sistema WIM

Vehicle Details

Sequence No:	21	Vehicle length:	12.10 m
Date:	16 Jun 2016	Wheel base:	9.26 m
Time:	14:11:36	Vehicle speed:	28.6 km/h
Lane No:	1	Accelerate / Decelerate:	Decelerating
Metrological ID:	220908BC	Direction:	forward
Total number of axles:	5	Vehicle gross weight:	41519 kg
Number of single axles:	5	Total left weight:	21970 kg
Number of axle groups:	6	Total right weight:	19540 kg
		Total left/right imbalance:	52.9% / 47.1%

Type	No.	Weight	Left	Right	Left / Right	Dist. to Previous Axle
Single Axle	1	7000 kg	3780 kg	3310 kg	53.3% / 46.7%	-
Single Axle	2	11020 kg	5640 kg	5380 kg	51.2% / 48.8%	3.73 m
Single Axle	3	7970 kg	4270 kg	3700 kg	53.6% / 46.4%	2.92 m
Single Axle	4	7760 kg	4100 kg	3660 kg	53.2% / 46.8%	1.30 m

Violations: No violation occurred.
 Warnings: No warnings occurred.
 Errors: No Errors occurred.

Monitoraggio Stralli



Sensori di forza

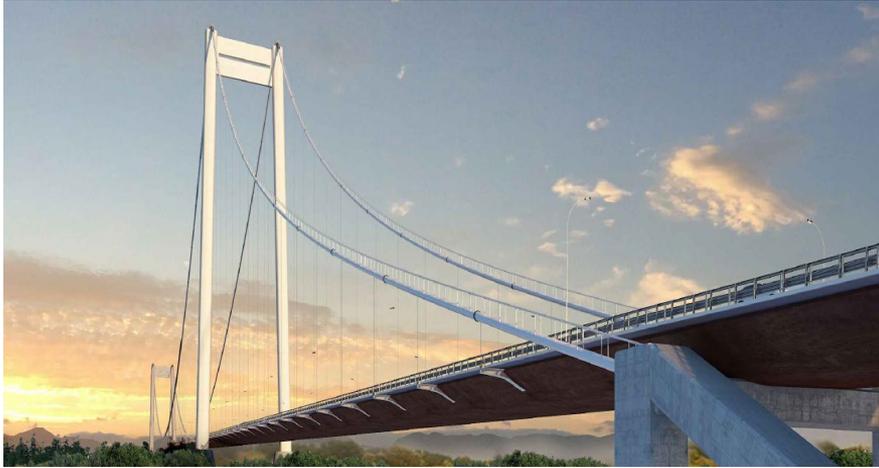


Sensori di temperatura dello strallo



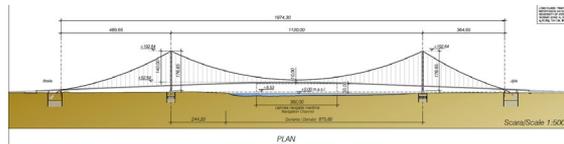
Accelerometri 2D

Progetti on-going - Sistema di monitoraggio del Ponte di Braila e Storstroem



Sistema di monitoraggio Braila Bridge

Il ponte di Braila sarà il più alto ponte sul Danubio in Romania, collegando al regione di Dobrogea al resto del paese. Il ponte sospeso avrà una lunghezza di 1900m.



Storstromsbroen Bridge Construction Project Structural Health Monitoring System (SHMS)

Il ponte Storstromsbroen sarà un ponte sospeso stradale e ferroviario che attraversa Storstrømmen tra le isole di Falster e Masnedø in Danimarca con una lunghezza totale di 3.840 m.

Monitoraggio Cavalcavia 1 A23



Autovie Venete

Analisi dinamica sperimentale e mappatura trasporti eccezionali

Monitoraggio dinamico permanente del Cavalcavia 1 A23

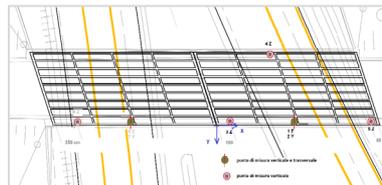


Contesto

- Maggior parte dei **viadotti** costruiti tra la fine degli **anni Cinquanta** e inizio **anni Sessanta**, quando i trasporti da 100 tonnellate erano rarissimi
- Da allora il **trasporto su gomma** è **cresciuto esponenzialmente** e con lui anche i carichi eccezionali e si registra un aumento dei passaggi irregolari
- Presenti **oltre 45.000** tra **ponti**, **viadotti** e **gallerie**, di cui i più critici sono gli oltre 30.000 gestiti dalle Province
- Necessità di **conoscere il passaggio** di trasporti eccezionali in modo da **programmare la manutenzione**

Approccio

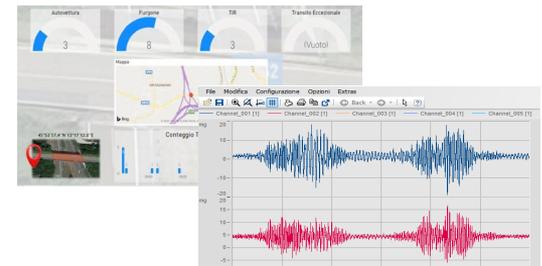
- **Caratterizzazione dinamica** del manufatto mediante la tecnica dell'analisi modale operativa (OMA) ed estrazione dei **parametri modali** in real-time
- Implementazione di algoritmi di intelligenza artificiale per l'identificazione di **trasporti ordinari ed eccezionali**



Studio installazione punti di misura sul manufatto²

Risultato

- Registrazione dati di **Classificazione dinamica e conteggio dei mezzi** in transito
- Sviluppo **algoritmo di correlazione** tra tipologia di mezzo in transito e **stress subito dall'opera**

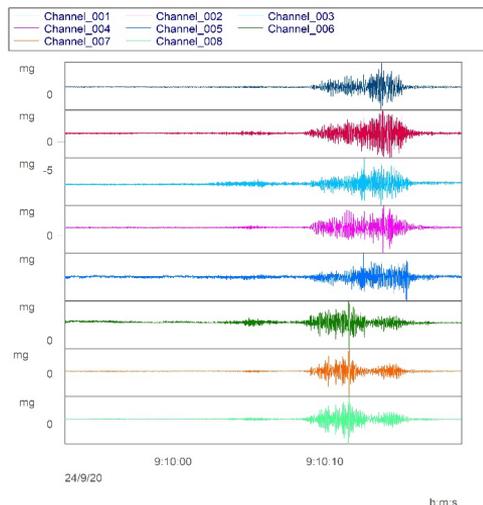
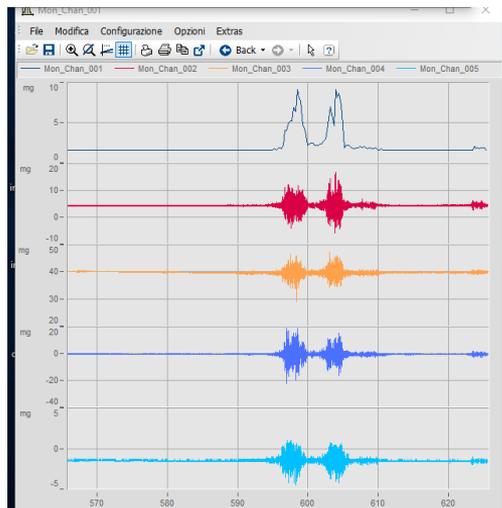


¹ Impianto di monitoraggio strutturale permanente dinamico su cavalcavia dell'autostrada A23. L'opera, posta a circa 1 km dal casello di Palmanova in direzione Udine, 45°53'57.4"N 13°17'12.0"E

² Installazione di: (i) N° 8 sensori accelerometrici mono assiali di tipo sismico (CB 393A03, ICP® , sensitività 1000 mV/g, range in frequenza 0.5 to 5k Hz, rumore sull'intera banda 0,000003 g rms), e (ii) N°1 sistema di acquisizione dati dinamico a 8 canali sincroni (IMC CS7800)

Screening traffico TE - Cavalcavia 1 A23

L'impianto esegue registrazioni dei dati dei sensori accelerometrici e mediante l'impiego di algoritmi di intelligenza artificiale effettua una individuazione booleana del passaggio di mezzi eccezionali.

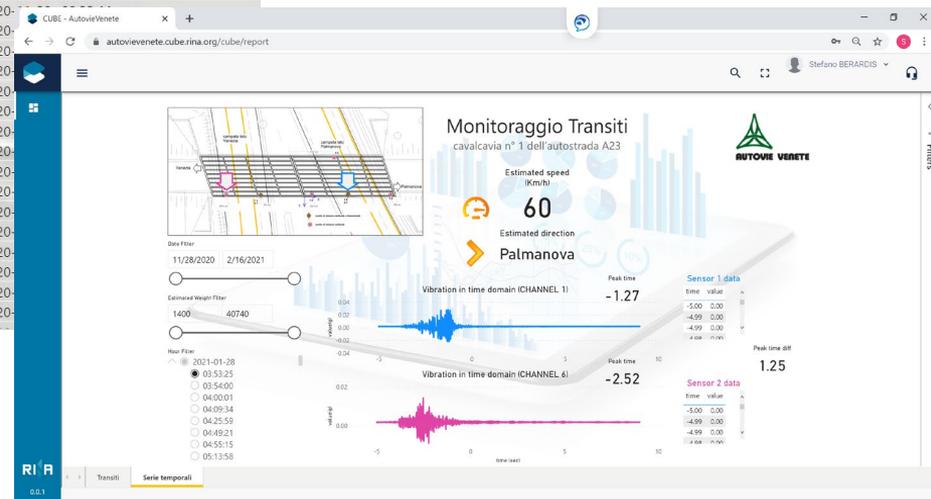


SENSORE	Max Transito [g]	RMS Transito [g]
---------	------------------	------------------

3° t - TGS carico - Palmanova - 30 km/h

1 - Z	0.009278	0.002311
2 - Y	0.004029	0.001172
3 - Z	0.002569	0.0003689
4 - Z	0.006348	0.001843
5 - Z	0.002258	0.001026
6 - Z	0.004151	0.001923
7 - Z	0.01019	0.001433
8 - Y	0.006165	0.00123

Presentazione Piattaforma di Monitoraggio on-line



<https://autovievenete.cube.rina.org/cube/report>



**Monitoraggio strutturale
di viadotti ferroviari**

Smart Monitoring di viadotti ferroviari



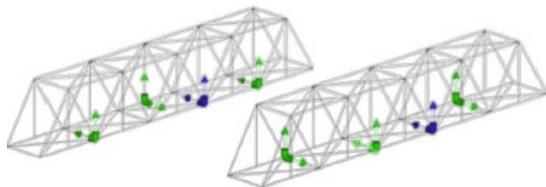
Scopo

- Identificazione delle grandezze statiche e dinamiche atte a individuare anomalie e/o ammaloramenti delle diverse tipologie di ponti ferroviari



Caratteristiche

- Misurazione della risposta strutturale (statica e dinamica) eccitata dalle sole condizioni operative (hp di input uguale a rumore bianco gaussiano)
- Creazione FEM basato sui dati di progetto
- Post-processing e analisi dei dati ottenuti



Output del servizio

- Parametri modali
 - tracking degli stessi per identificare anomalie
- Modello numerico agli elementi finiti (FEM) aggiornato sui dati sperimentali
 - Simulazione di condizioni operative non standard
 - Verifica numerica di interventi di manutenzione e/o migliorativi
- Identificazione del degrado della struttura
- Valutazione dell'influenza del degrado della struttura
- Supporto alla manutenzione predittiva

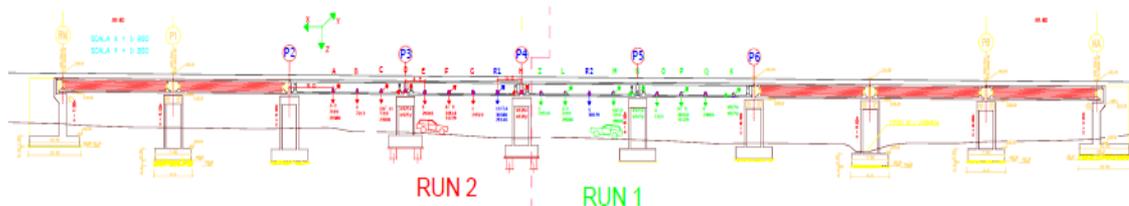
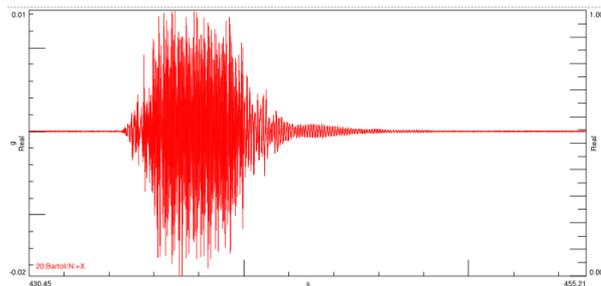
Referenze

Viadotto Bartoli



Viadotto ferroviario costituito da:

- 9 campate uguali di 24 m in CAP a sezione scatolare



- Identificazione del comportamento dinamico tramite OMA



- ✓ Calibrazione del modello FEM



- ✓ Valutazione degli effetti indotti dal passaggio dei convogli ferroviari

Referenze

Viadotto Ninfa e Cavata



Obiettivo è incrementare la velocità di transito dei convogli ferroviari.

- ✓ Estrazione **parametri modali**
- ✓ **Aggiornamento modello numerico**
- ✓ **Simulazione numerica** dei transiti a velocità maggiore



Ninfa



Cavata

Referenze

Viadotto Ninfa e Cavata – Setup sperimentale

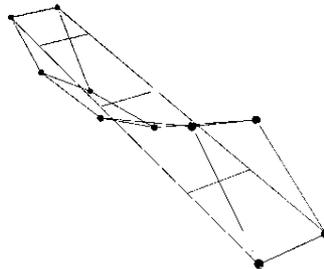
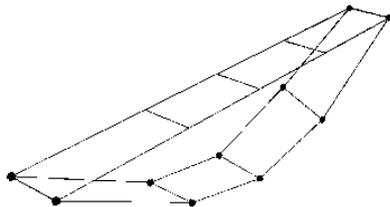


Sui seguenti viadotti sono stati installati:

- 6 **accelerometrici piezoelettrici**
- 10 **flessimetri lineari**

Al fine di misurare le grandezze spostamento e accelerazione durante il transito degli armamenti ferroviari.

Questa campagna di misura ha permesso ***l'estrazione dei parametri modali della stessa.***



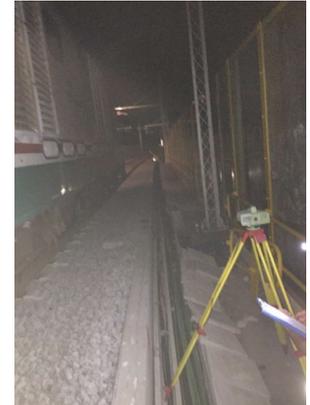
Referenze

Viadotto Valle Aurelia



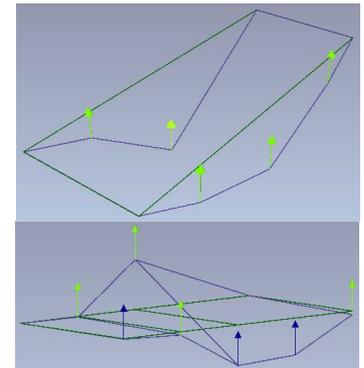
Collaudo Statico

- Carico generato da due locomotive
- Misure effettuate con una livella ottica di precisione



OMA

- Estrazione parametri modali delle campate analizzate



Progetto ongoing

Ponte Malnate sul fiume Olona



1. Estrazione **parametri modali**
2. Creazione e aggiornamento **modello FEM**
3. Studio del setup di monitoraggio permanente
4. Avvio **monitoraggio 24/7**

Sensori stand-alone wireless per la misura di:

- Accelerazioni
- Deformazione (strain)
- Inclinazione
- Spostamento
- Temperatura



[Altre referenze...](#)

PROJECT

Asset Performance

A23 OVERBRIDGE

CLIENT: Autovie Venete

LOCATION: Palmanova, Italy

SERVICES: **Permanent Dynamic Structural Monitoring** Procurement, Installation, Test and Commissioning, System management platform development for exceptional transport detection and real-time Operational Modal Analysis

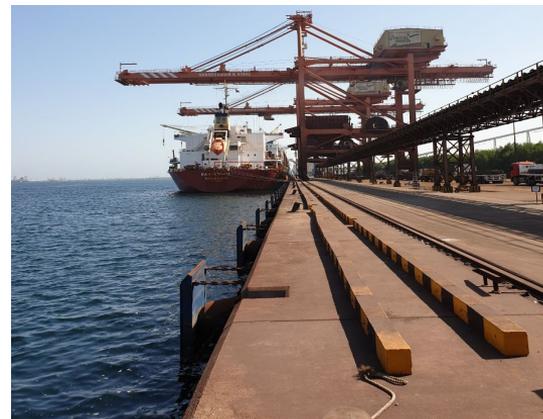


QUAY WALL MONITORING

CLIENT: Sohar Port

LOCATION: Sohar, Oman

SERVICES: **Quay Wall Structural Monitoring System** Procurement, Installation, Test and Commissioning, System management platform development for inclination sensors and alert notifications



PROJECT

Asset Performance

DYNAMIC MONITORING OF RAILWAY BRIDGE

CLIENT: MICOS

LOCATION: Rio Borghetto, Italy

SERVICES: **Measurement campaigns for the dynamic characterization** of the railway bridge near the Bordighera station during the transit of railway trains



BUILDING MONITORING

CLIENT: DAAX

LOCATION: Iraq

SERVICES: **Remote and permanent Crack monitoring with wireless crack-meters**
Procurement, Installation, Test and Commissioning,
Periodic Data Analysis



PROJECT

Asset Performance

INDUSTRIAL PLANT

CLIENT: Cimolai

LOCATION: Taranto

SERVICES: **Operational Modal Analysis for dynamic testing** of the coverage of the Mineral Park of the Arcelor Mittal plant



VEGA LAUNCHER

CLIENT: Vitrociset

LOCATION: Kourou, French Guiana

SERVICES: **Structural monitoring of the civil asset of the VEGA launcher.** Development of a software platform for the integration of the structural monitoring system with the command and control system of the launcher



Servizio offerto BU

- **Pre-design:** analisi della documentazione progettuale esistente (e.g. disegni, caratterizzazione materiali, ispezioni, etc.)
- **Pre-screening:** caratterizzazione dinamica di opere per individuare quelle più critiche (e.g. passaggio TE)
- Realizzazione del **modello ad elementi finiti**, Model Updating in base alle risultanze sperimentali e valutazione di soglie di allerta/allarme
- **Progettazione e specifica** (e.g. identificazioni sensori/sistemi e tecnologia cablata vs wireless, soluzione di trasmissione/storage del dato, etc.) **dell'impianto di monitoraggio permanente** sulla base delle attività di analisi e modellazione
- Attività di acquisizione della strumentazione e test della catena di misura (**FAT:** Factory Acceptance Test)
- **Supervisione alle attività di installazione** dell'impianto di monitoraggio e **collaudo finale**
- Implementazione della **piattaforma SW** di gestione dell'impianto di monitoraggio permanente
- Acquisizione, elaborazione ed interpretazione dati: **dal dato "raw" -> al dato "operativo"**
- **Interpretazione dei dati con il supporto della modellazione numerica** (e.g. model update)
- **Reportistica automatica vs scenari operativi** e manualistica con evidenza dei risultati ottenuti
- Decision Making: **dal dato operativo -> alla gestione ottimizzata degli interventi di manutenzione**

GRAZIE DELL'ATTENZIONE