



Il ruolo dell'innovazione nelle infrastrutture in sotterraneo: visioni, prospettive e progetti

Metodi di monitoraggio innovativi per le infrastrutture

*Come le giunzioni bullonate possono rivelare lo stato di salute di
un'infrastruttura, dal collaudo al ciclo di vita*

Ing. Matteo Villa

CTO -Tokbo

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma



Indice

Perché monitorare



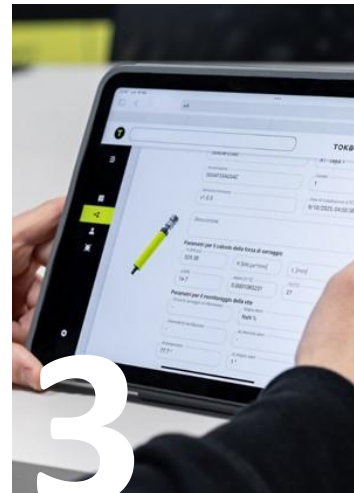
1

Tokbo Monitoring System



2

La soluzione



3

Case Study



4

Perché monitorare?



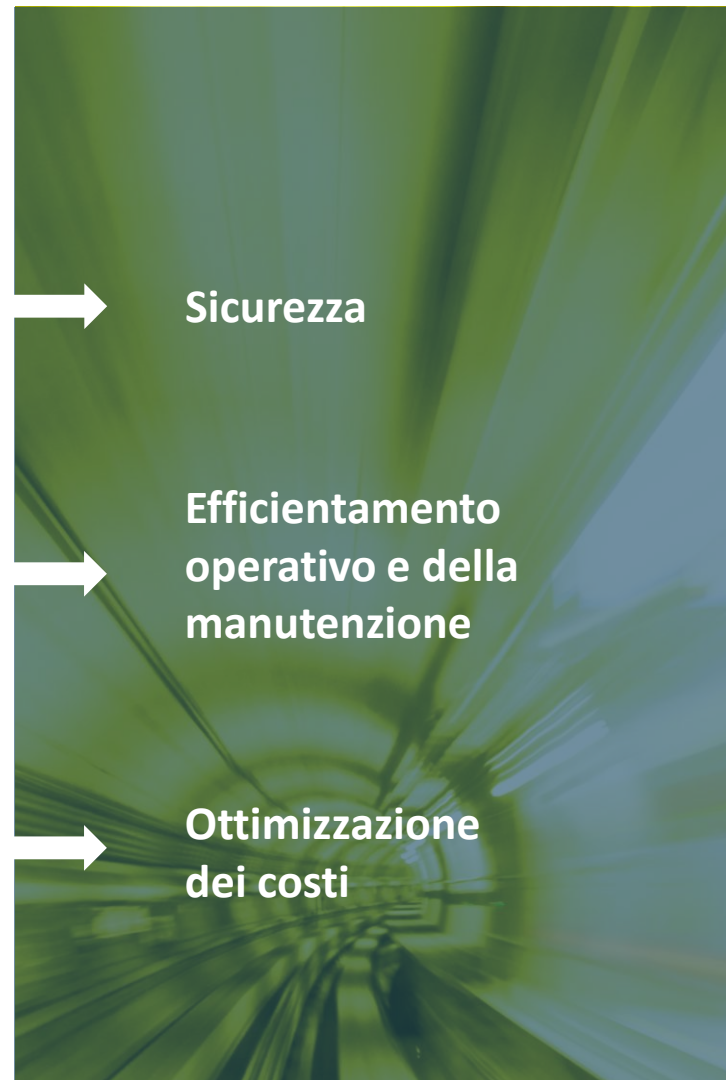
Cambiamenti climatici con eventi atmosferici estremi



Invecchiamento, usura e/o corrosione degli impianti



Costi di manutenzione e riparazione **elevati**



Approccio innovativo al monitoraggio

TOKBO Monitoring System

5 parametri funzionali

In real-time

Servizio personalizzato

Forza di serraggio, vibrazioni, accelerazione, inclinazione, temperatura

Digital twin, servizio di monitoraggio strumentale (SHM) continuo e da remoto, **trend analysis**, **predittiva** e **notifica** automatizzata in caso di anomaly detection.

Tokbo collabora con il cliente dalla **progettazione** dell'impianto, alla customizzazione della **piattaforma digitale** ed il successivo **servizio di monitoraggio, data-analysis e reporting**

What? TOKBO

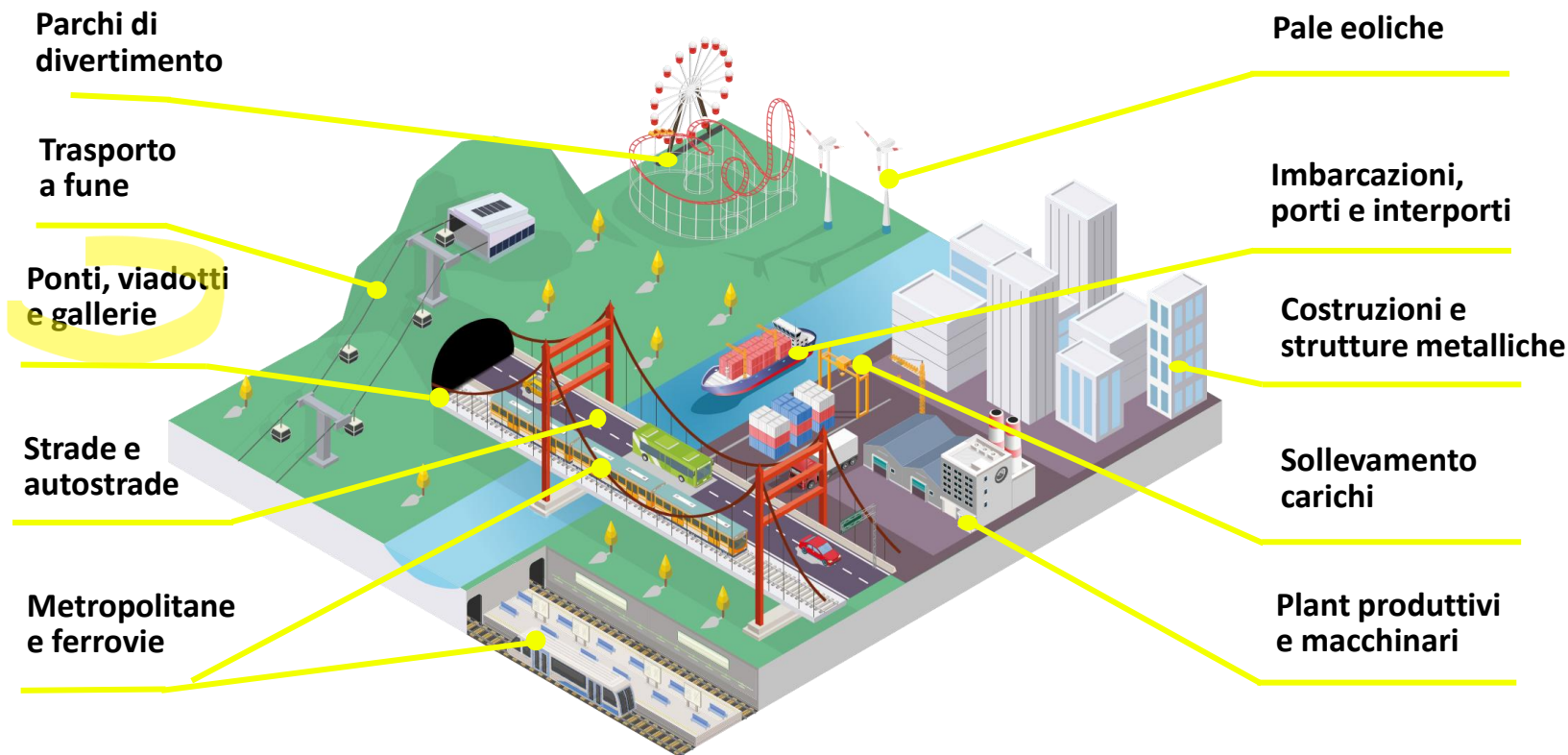
- Sensorizza le **connessioni bullonate**
- Fornisce un **monitoraggio predittivo da remoto**
- Abilita un **servizio digitale**





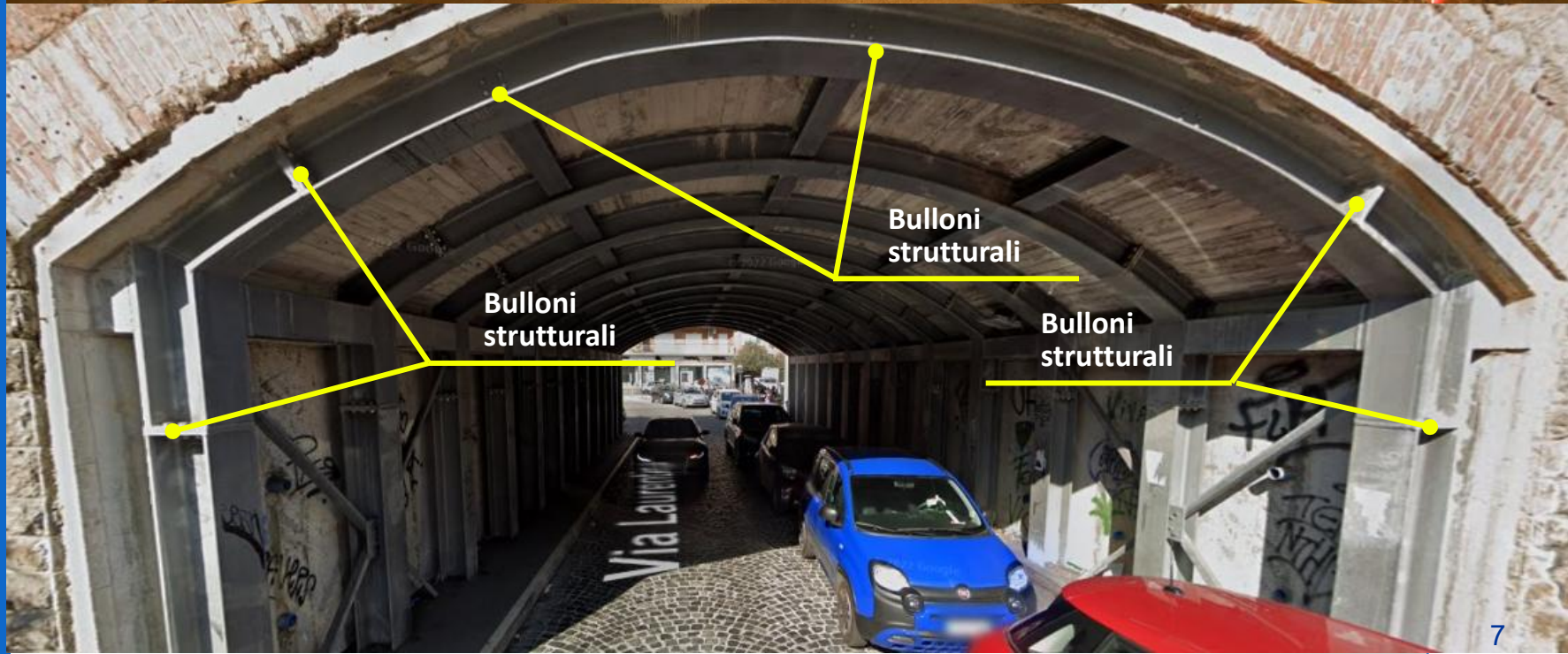
Settori di applicazione

Grazie alla sua flessibilità e scalabilità, la soluzione TOKBO è applicabile a diversi tipi di strutture:





Gallerie: applicazioni





Meccanismi di danneggiamento

Deformazione plastica
da sovrasserraggio



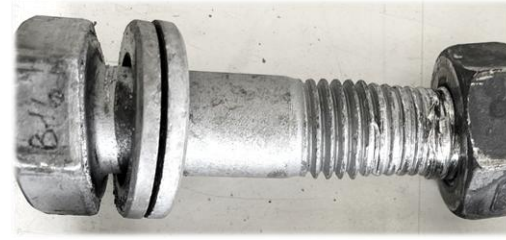
Cedimento per fatica



Collasso con
deformazione a taglio



Sovraccarico con
strappamento filetto



Corrosione



Fatica + corrosione / stress corrosion





Il processo di Tokbo



1. Esigenza

Analisi della struttura esistente o di nuova costruzione per identificare le criticità da monitorare.



2. Sopralluogo

Analisi della struttura in presenza per la valutazione del sistema da installare.



3. Proposta soluzione

Proposta di una soluzione plug & play in base all'esigenza di monitoraggio della struttura.

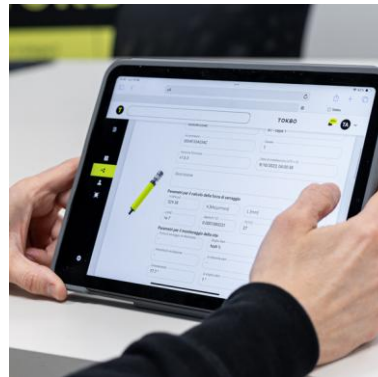


Il processo di Tokbo



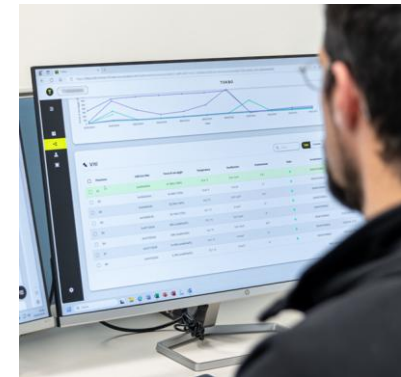
4. Installazione

Il nostro team tecnico, in collaborazione con il cliente, procede con l'installazione sulla struttura.



5. Data collection

Messa in funzione della rete di monitoraggio, che rileva dati consultabili direttamente dal cliente tramite accesso a piattaforma dedicata.



6. Analisi, supporto, reporting

Monitoraggio costante da remoto, con invio di alert in caso di anomalie per programmare interventi di manutenzione.

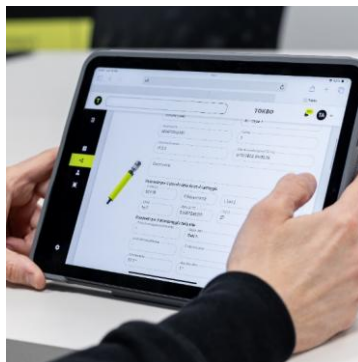
La soluzione

HARDWARE



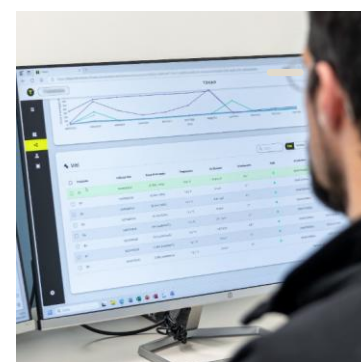
1. Installazione di un network di **sistemi di fissaggio sensorizzati**, connessi ad un **gateway**

SOFTWARE



2. **Piattaforma digitale** per la lettura dei dati da remoto che, in caso di rilevamento di anomalie, invia **warning/alert automatici**

SERVICE

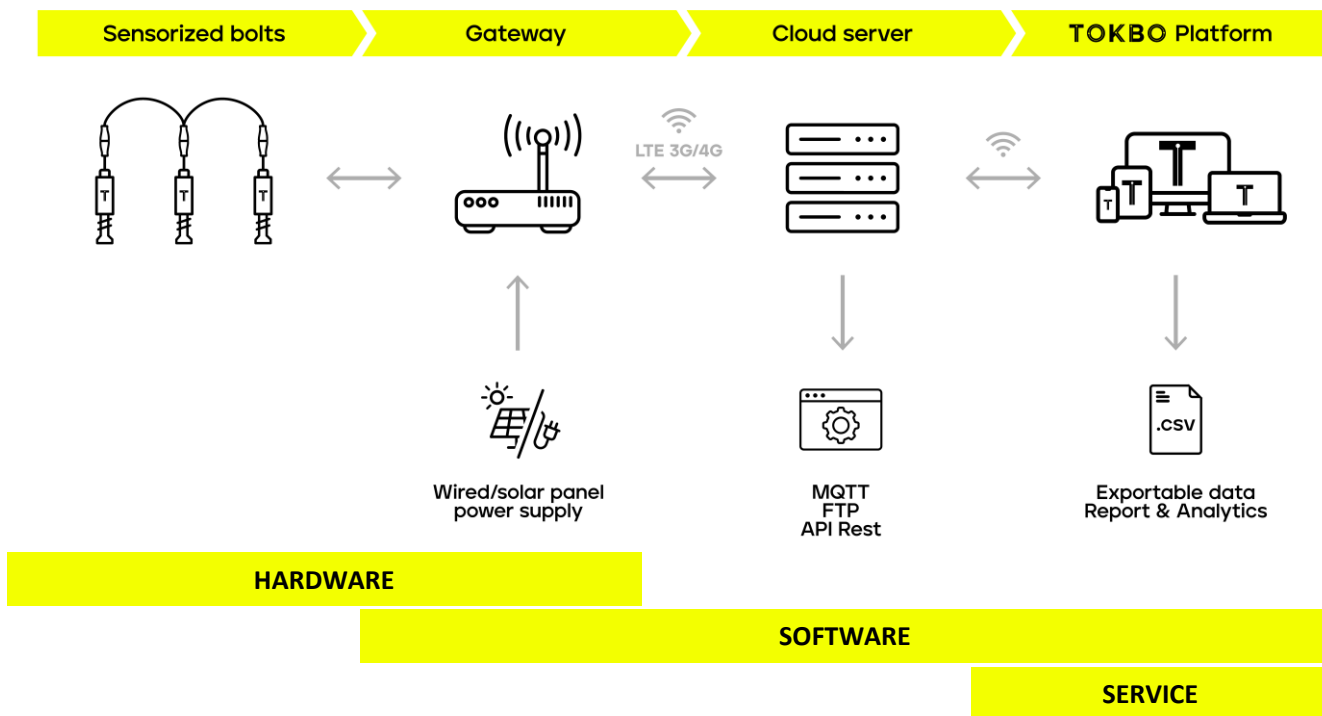


3. Servizio digitale a supporto delle operazioni di **manutenzione predittiva** mediante **collaborazione open con il cliente**



Architettura

Configurazione e condivisione stream dati





La soluzione

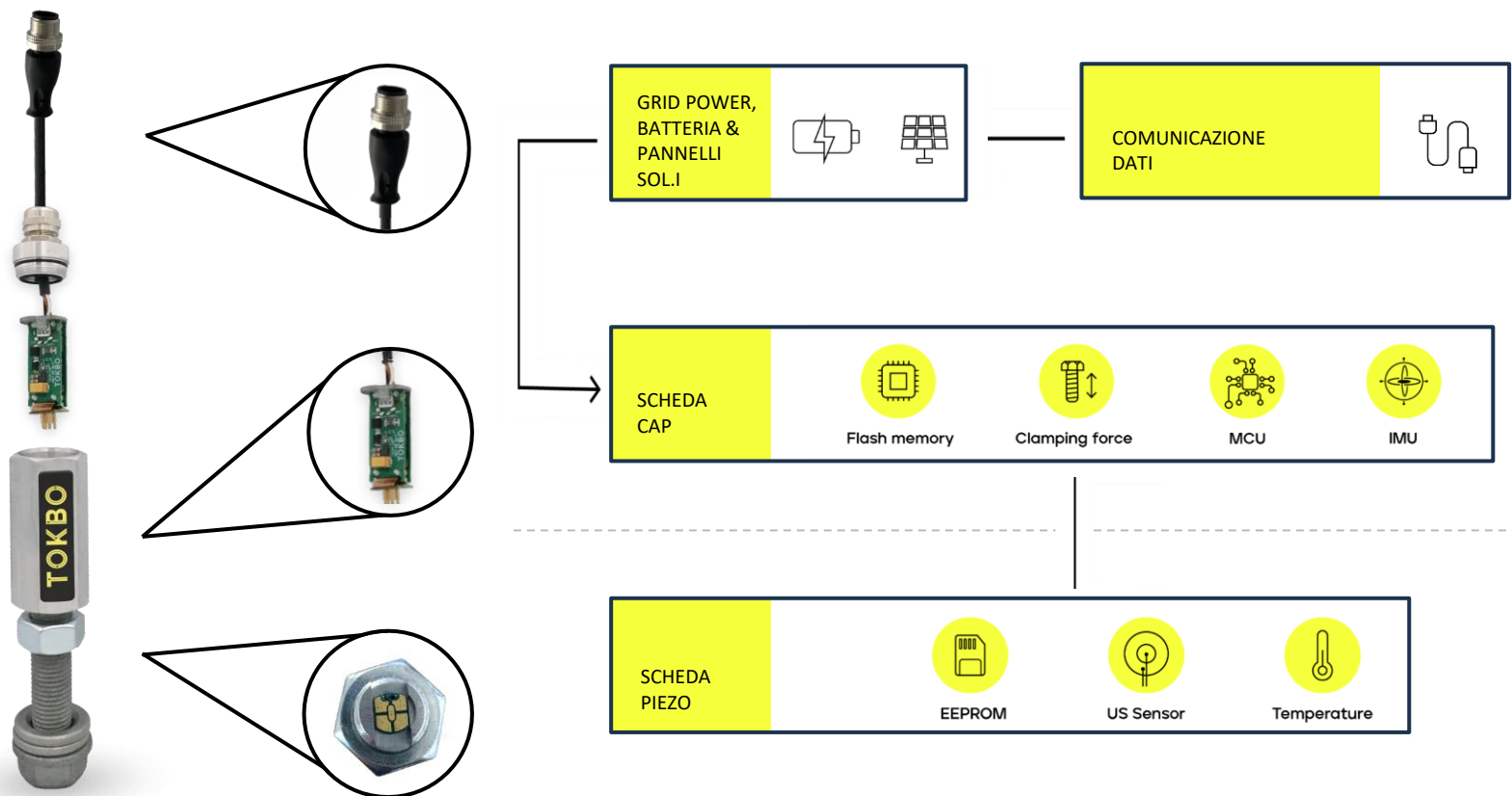
HARDWARE



1. Installazione di un network di sistemi di fissaggio sensorizzati, connessi via cavo ad un gateway

	WIRED	MILD WIRELESS	WIRELESS
Vantaggio	grande numero di nodi, possibilità di alta frequenza di acquisizione	ottima per strutture non coperte da impianti di rete elettrica o con accessibilità ridotta	ottima per strutture non coperte da impianti di rete elettrica o con accessibilità ridotta
Sensori	fino a 252	fino a 12	1 to 1
Alimentazione	Da rete (380V , 220V, 110V), trasformata 12÷24VDC	pacco batteria ricaricabile con energy harvesting tramite pannello solare	Batteria integrata + Opz. energy harvesting tramite pannello solare
Comunicazione cloud	LTE 4G, 3G, 2G	LTE 4G , 3G, 2G	Integrata : NB-IoT, Lo.Ra

Sensore Tokbo



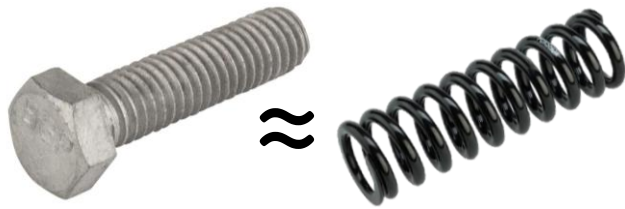
Principio di trasduzione

Misura della forza di serraggio:

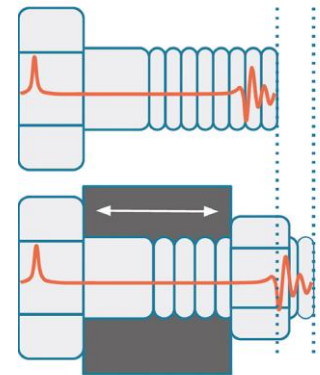
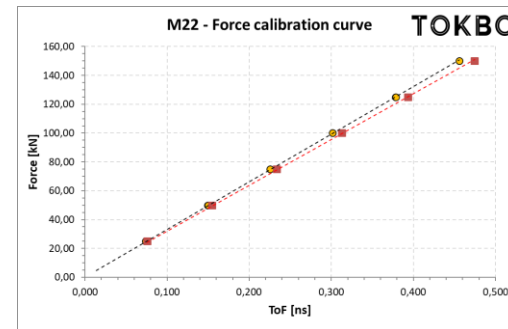
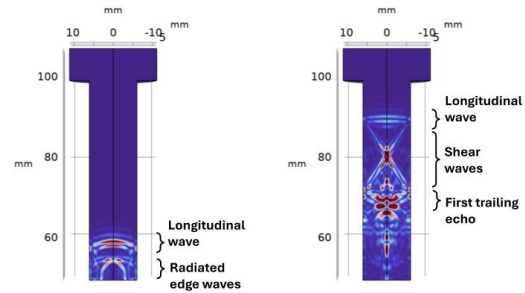
effettuata mediante tecnologia ultrasonora (Pulse-Echo).

Misurazione del tempo di volo (ToF): tempo che impiega l'onda ultrasonora (longitudinal waves) a propagarsi lungo il gambo della vite, riflettere e tornare al sensore (echo di riflessione)

- misurare il ToF equivale a misurare la lunghezza della vite
- misurare ΔToF equivale a misurare l'allungamento della vite ΔL
- Correlazione lineare tra ΔToF e forza di serraggio

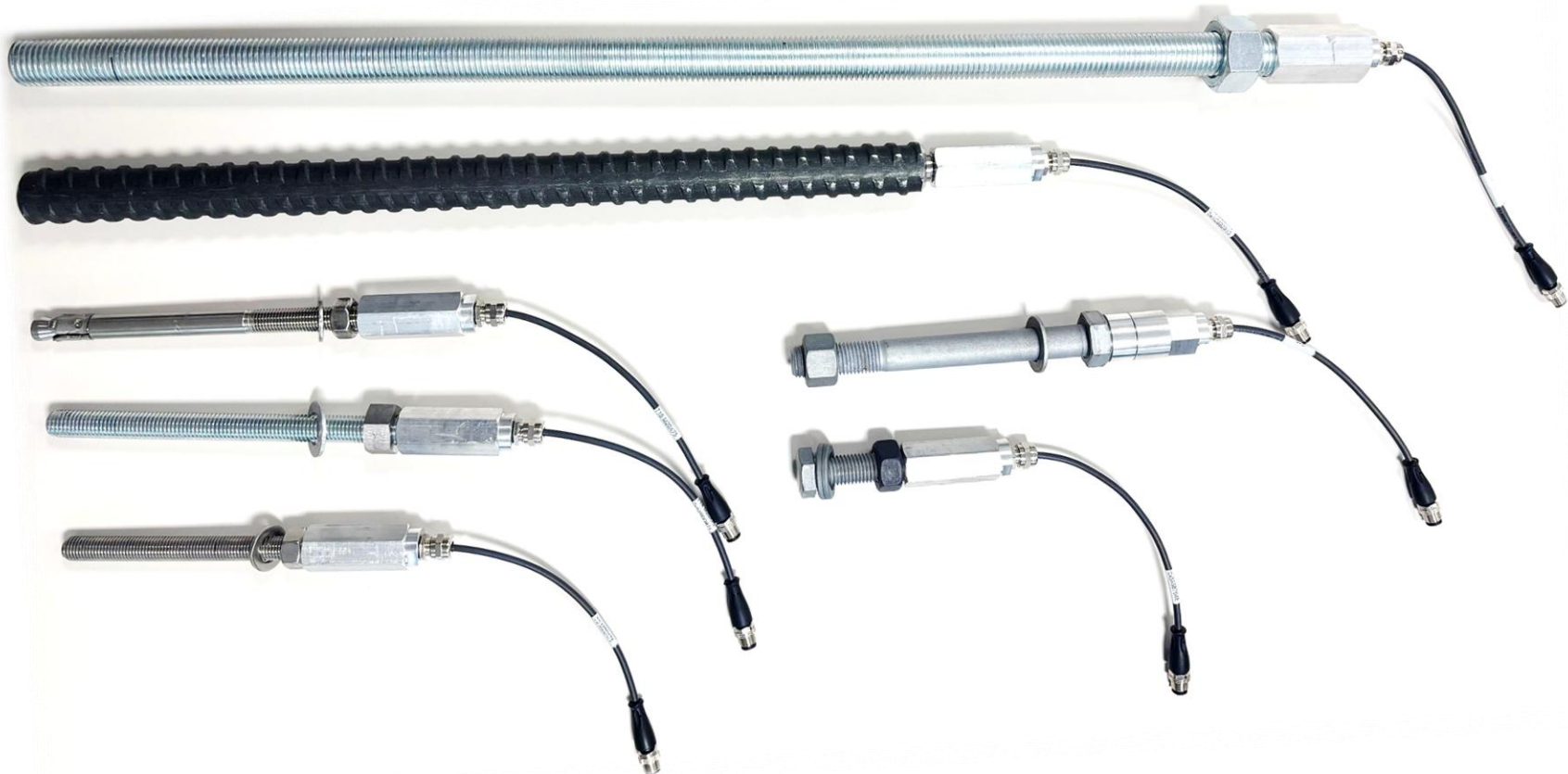


$$F = k_{el_molla} * \Delta l_{molla} \rightarrow F = k * \Delta l_{vite}$$





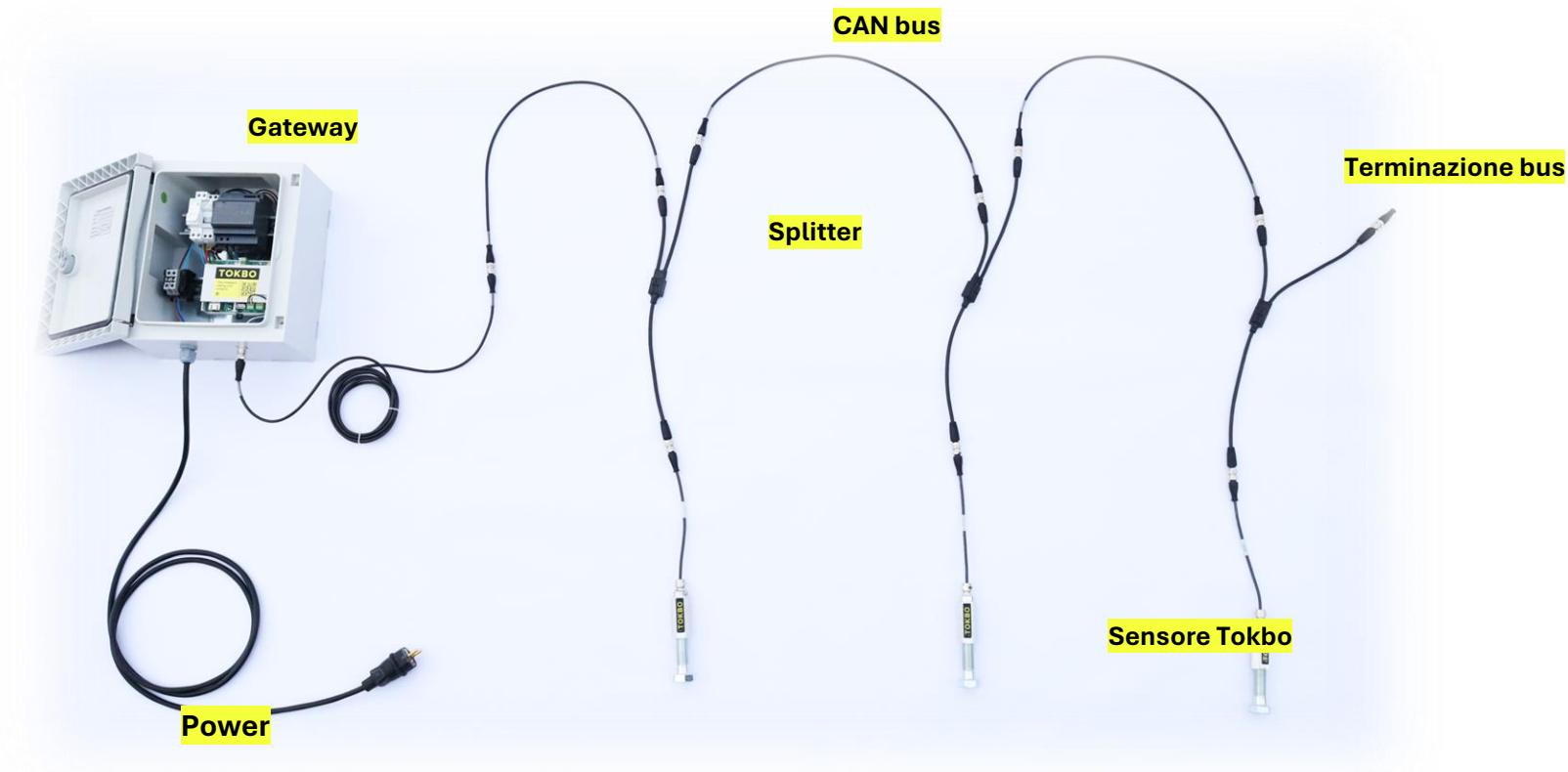
Gamma applicazioni





Network

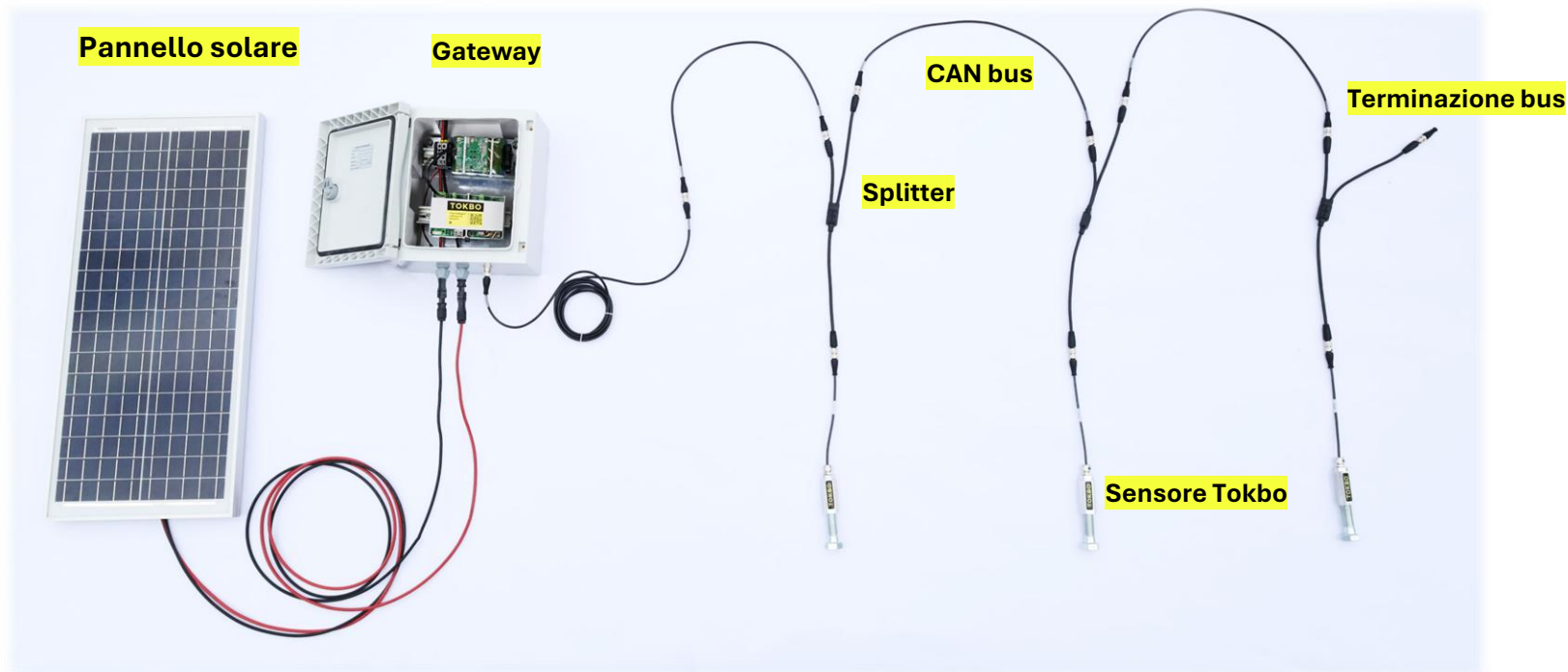
VERSIONE WIRED





Network

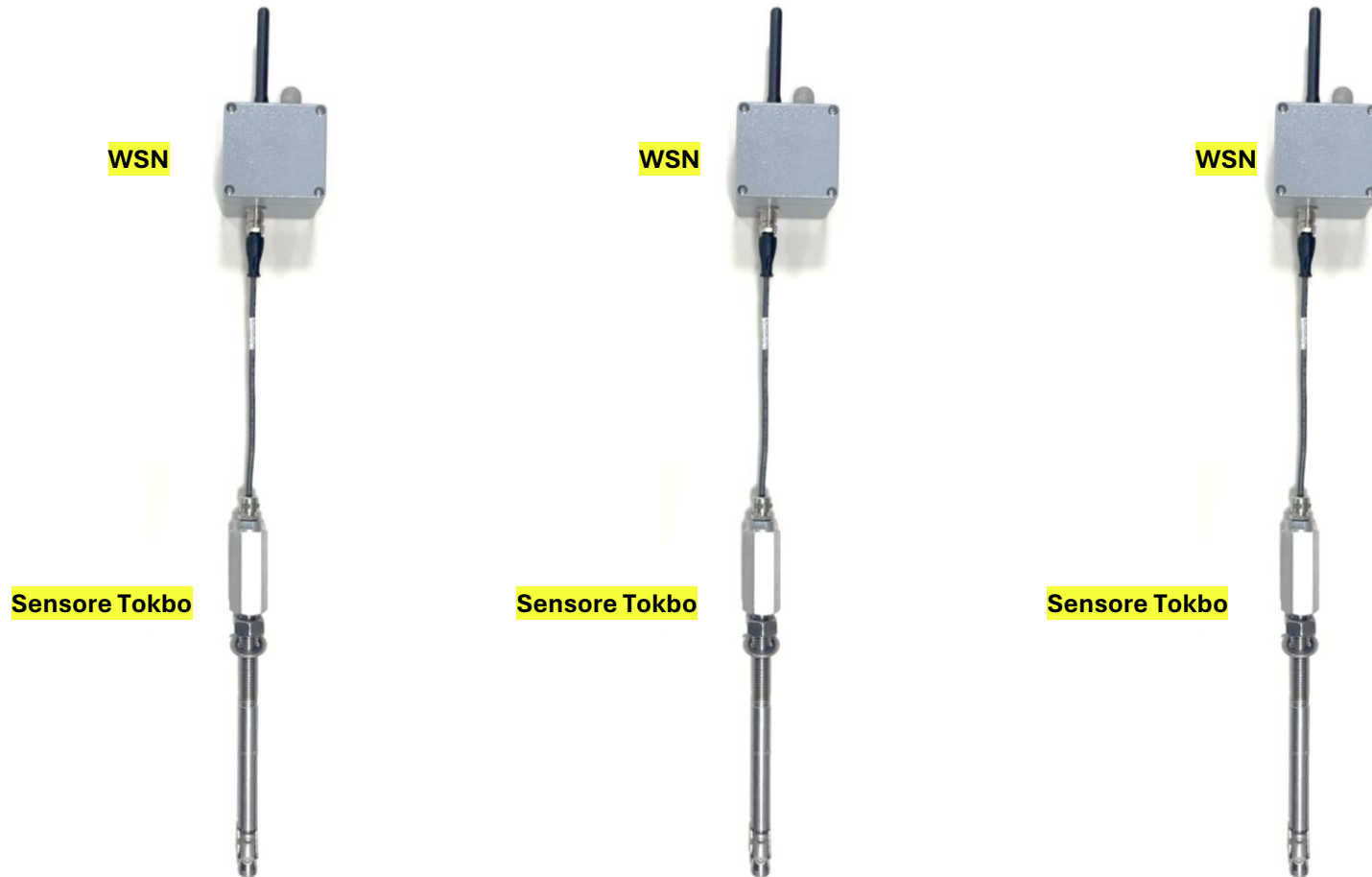
VERSIONE MILD WIRELESS





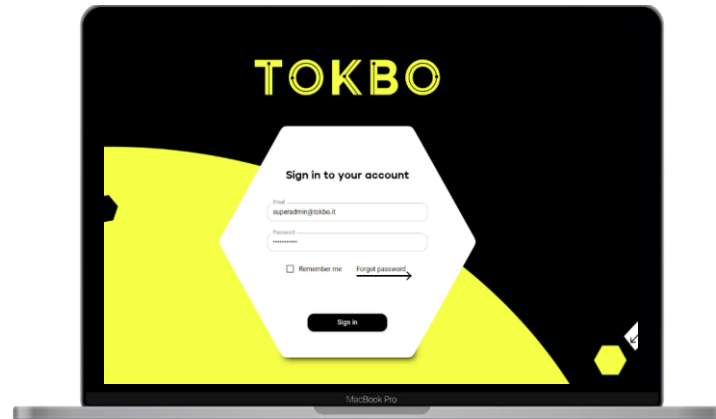
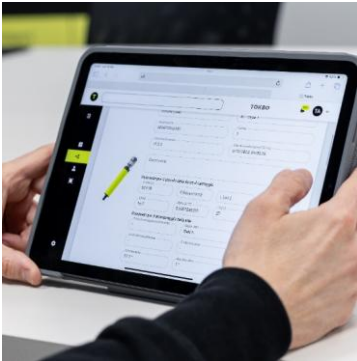
Network

VERSIONE FULL WIRELESS



La soluzione

SOFTWARE



2. **Piattaforma digitale** per la lettura dei dati da remoto che, in caso di rilevamento di anomalie, invia **warning/alert** automatici

Cloud – SaaS

Multi-tenant

Architettura gerarchica & Serie temporali



Forza di serraggio

Temperatura

Inclinazione

Accelerazioni

Spettrogramma

Dashboard - Analisi

Report

Notifiche

Infrastructures > Viadotto

Viadotto



Bolts

Search All Installed Not installed + Add Bolt

☐	Position	Mac address	Clamping force	Temperature	Oscillation	Pose	Status	Gateway	Last update	Actions
☐	B1	0xA01BD540	82.9kN (103%)	1.5 °C	0.03 m/s²	1.8 °	●	0004F34008E6	30/01/24, 5:50	🔄 ⋮
☐	B2	0xA026D540	87.2kN (103%)	1.8 °C	0.02 m/s²	0.6 °	●	0004F34008E6	30/01/24, 5:50	🔄 ⋮
☐	B3	0x202ED540	81.3kN (99%)	1.2 °C	0.02 m/s²	1.1 °	●	0004F34008E6	30/01/24, 5:50	🔄 ⋮
☐	B4	0xA051D540	117.7kN (99%)	1.6 °C	0.02 m/s²	0.8 °	●	0004F34008E6	30/01/24, 5:50	🔄 ⋮

Righe per pagina: 10 1-4 di 4 < >

Sensor detection

Status ● Last update at 30/01/24, 5:50 ©

↑↓ Clamping force
87.2 kN

🌡 Temperature
1.8 °C

📈 Intensity of oscillations
0.02 m/s²

📐 Pose
0.6 °

Clamping force distribution ⓘ



Fault status

1 Components	4 Bolts
1	4
Critical clamping force	0/1
Critical intensity of oscillations	0/1
Critical orientation	0/1
No connection	0/1



T

☰

☐

☒

☑

☒

TOKBO

99+ TA

> Infrastrutture

Ponte ferroviario

OK ✎ 🗑

+ Agg. componente

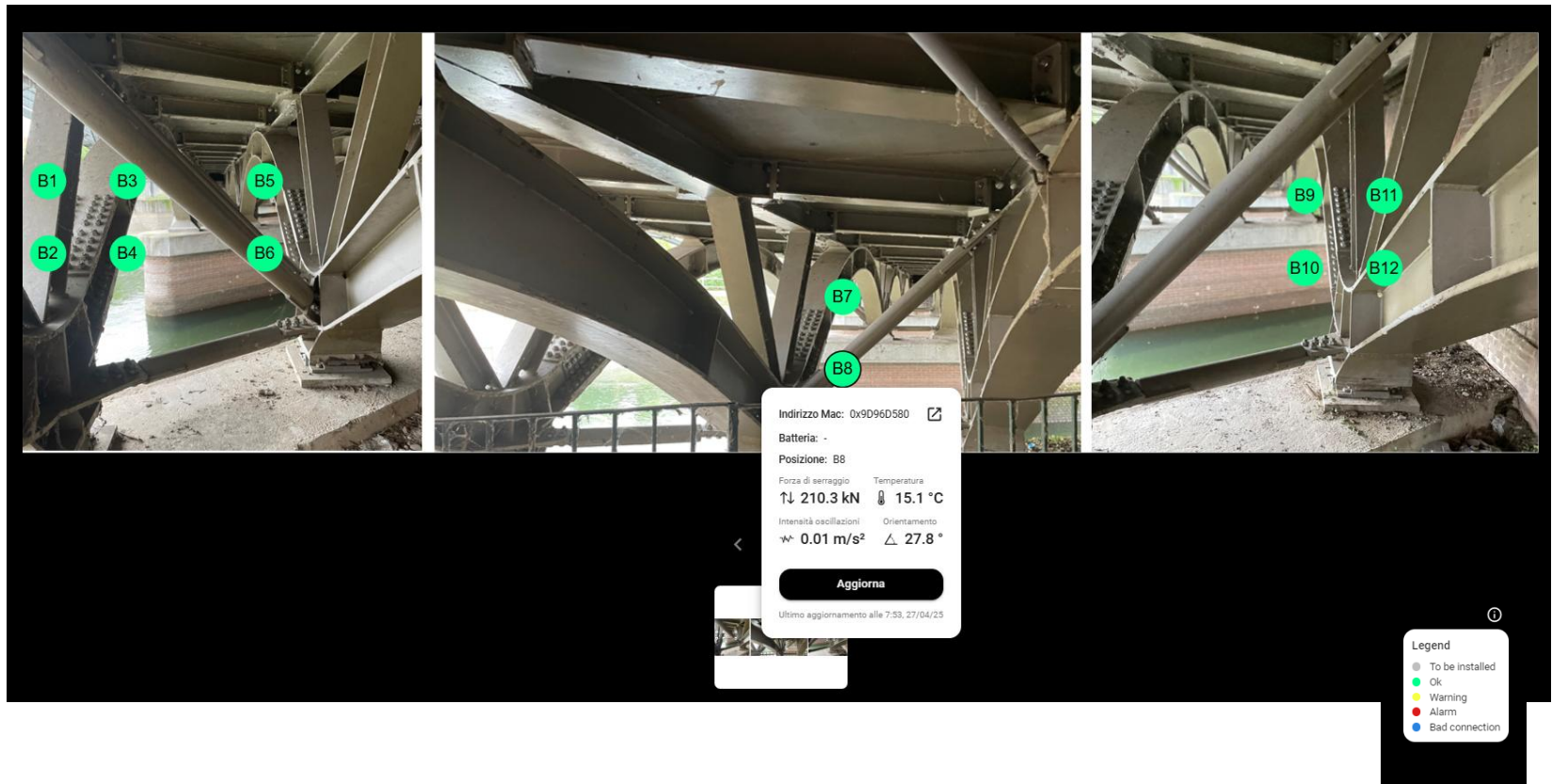
▼ Ponte ferroviario

Campata 4 - pilone OK

Foto ponte Nessuna vite

Campata dir pilone 1 OK

Tiranti di pilone 1 OK





T

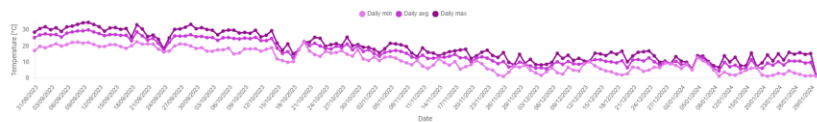
Forza di serraggio

Clamping force trend - B2



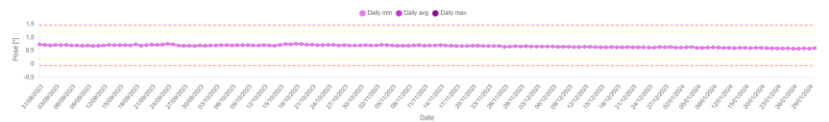
Temperatura

Temperature trend - B2



Inclinazione

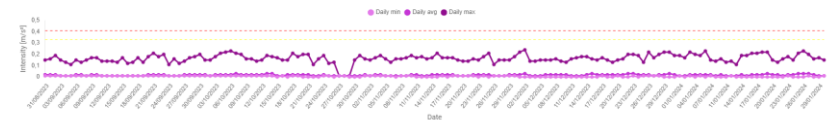
Pose - B2



TOKBO

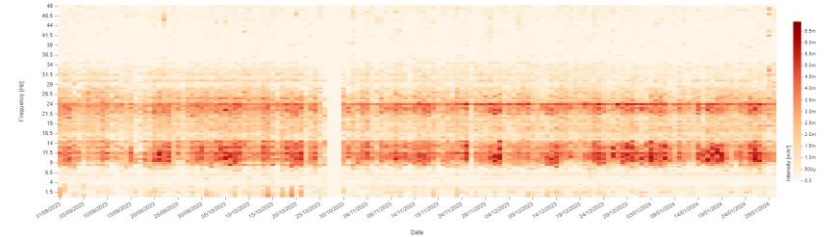
Accelerazioni

Intensity of Oscillations - B2



Spettrogramma

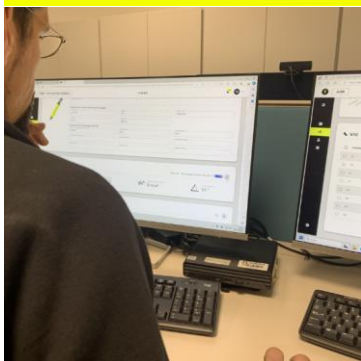
Main frequencies - B2





La soluzione

SERVICE



- 3.** Servizio digitale a supporto delle operazioni di **manutenzione predittiva** mediante collaborazione OPEN con il cliente

Servizi PRE-INSTALLAZIONE

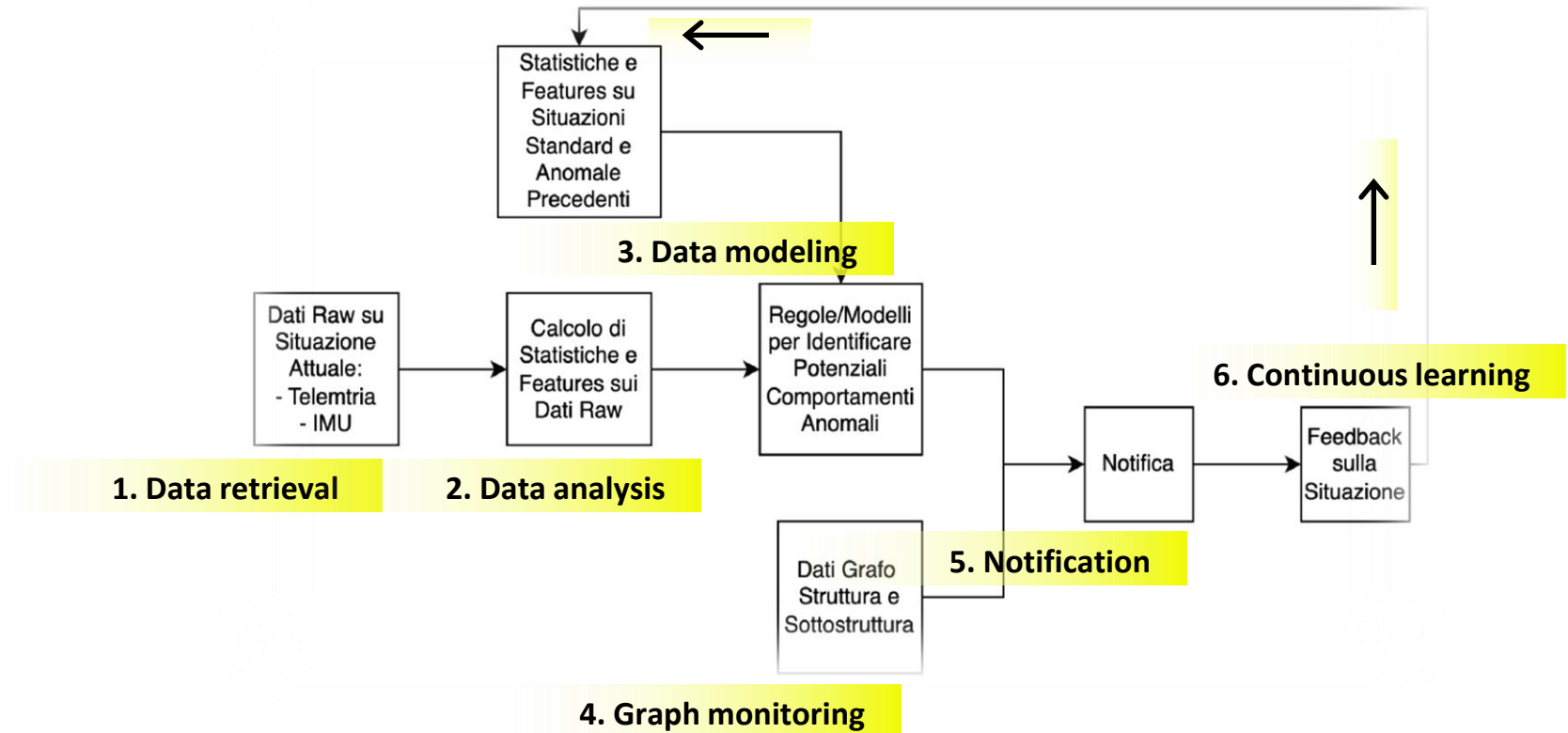
- **Analisi della struttura** esistente/di nuova costruzione
- **Sopralluogo** e discussione con il cliente della struttura e dei suoi **punti critici**
- Proposta di una **soluzione personalizzata**

Servizi POST-INSTALLAZIONE

- **Continua rilevazione e trasmissione** dei dati da parte dei sensori
- **Supporto** nel monitoraggio in real-time dello stato di salute della struttura

Analisi dati e predittiva

Utilizzo di algoritmi di ML non supervisionati





Analisi dati e predittiva

Utilizzo di algoritmi di ML non supervisionati

1. Data retrieval

Temperature trend - B1

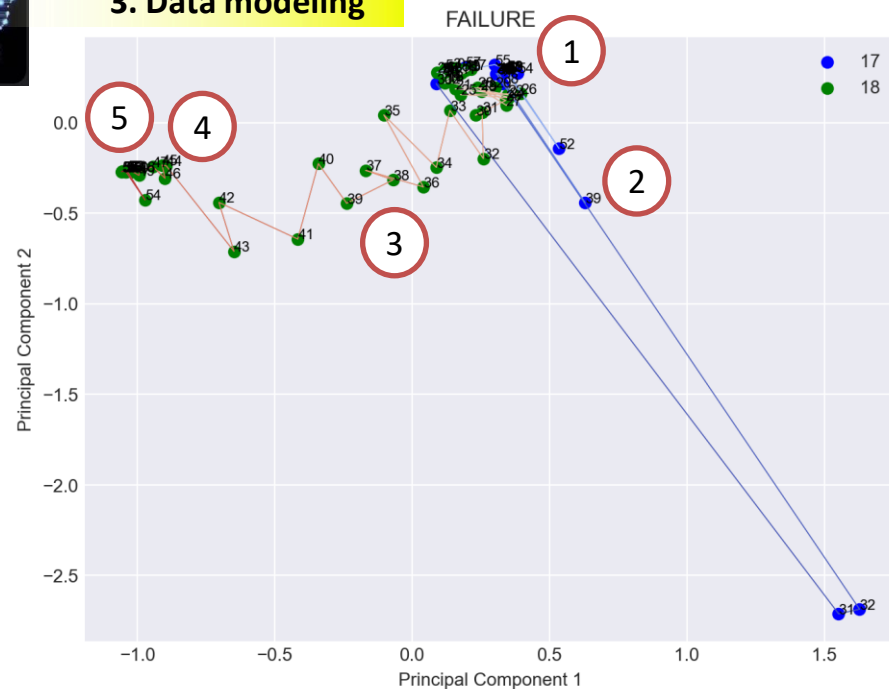
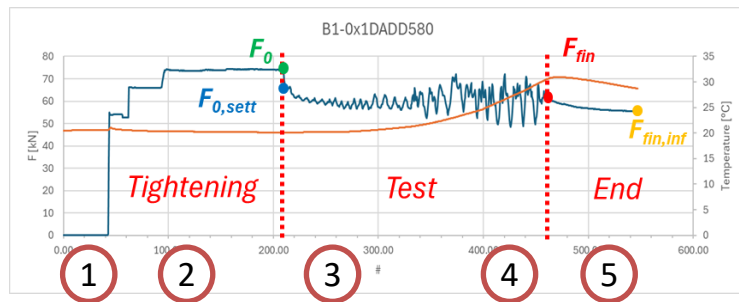
Clamping force trend - B1

Date	MacAddress	ClampingForce
2024-03-05T16:41:30.197Z	0x1DADD580	73.9
2024-03-05T16:41:36.193Z	0x1DADD580	73.9
2024-03-05T16:41:42.195Z	0x1DADD580	73.9
2024-03-05T16:41:48.196Z	0x1DADD580	73.9
2024-03-05T16:41:54.197Z	0x1DADD580	73.9
2024-03-05T16:42:00.198Z	0x1DADD580	73.9
2024-03-05T16:42:06.195Z	0x1DADD580	73.9
2024-03-05T16:42:12.197Z	0x1DADD580	73.8
2024-03-05T16:42:18.192Z	0x1DADD580	73.9

2. Data analysis



3. Data modeling



Case Study

Infrastrutture – strutture portanti e di sostegno

Condizione pre-esistente struttura

Il cliente aveva esigenza di applicare il nostro sistema di monitoraggio ai cavalletti di sostegno del tetto di un capannone raddoppiato in dimensione.

Approccio Tokbo

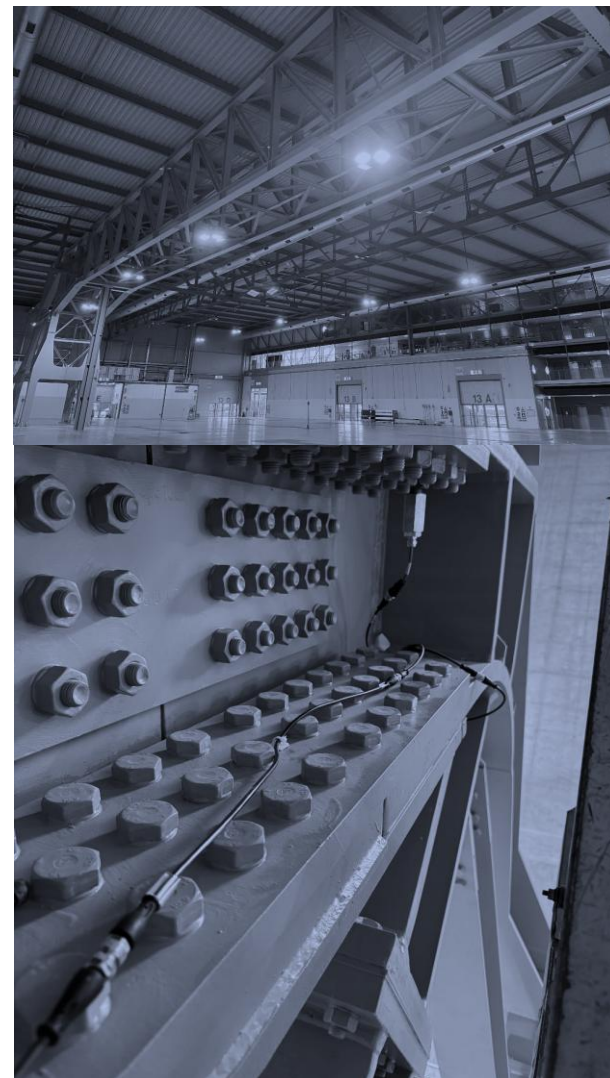
Il sistema è stato progettato per monitorare a partire dai punti della struttura più soggetti a sollecitazioni. Il sistema, entrato in funzione sin da subito, è stato fondamentale durante le prove di carico del peso del tetto.

Cosa/per quanto monitoriamo

Il sistema monitora 44 nodi in continuo da remoto, allertando prontamente e in modo automatizzato gli addetti alla manutenzione in caso di rilevazione di anomalie.

Miglioramenti/benefici/rilevazione anomalie e gestione

Il nuovo edificio viene monitorato in tempo reale, garantendo sicurezza anche in vista delle Olimpiadi di Milano-Cortina 2026, che verranno ospitate anche all'interno del capannone oggetto di installazione.





Case Study

Infrastrutture – segnaletica stradale

Condizione pre-esistente struttura

Il cliente ci ha contattato per monitorare un portale a messaggio fisso posizionato in una zona soggetta a vento.

Approccio Tokbo

Tokbo ha predisposto un sistema alimentato a pannello solare con 12 sensori.

Cosa/per quanto monitoriamo

Il monitoraggio avviene più volte all'ora, andando a misurare l'effetto delle oscillazioni date dal vento e dagli effetti termici.

Miglioramenti/benefici/rilevazione anomalie e gestione

La struttura è ora sotto controllo, monitorata in real-time al fine di garantire sicurezza e indicazione alle operations che ne curano la manutenzione.





Case Study



Infrastrutture – ponte ferroviario

Condizione pre-esistente struttura

Il cliente ci ha contattato per avviare una sperimentazione di monitoraggio di un ponte ferroviario.

Approccio Tokbo

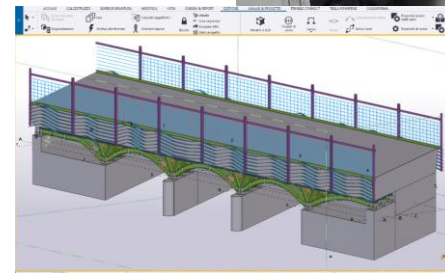
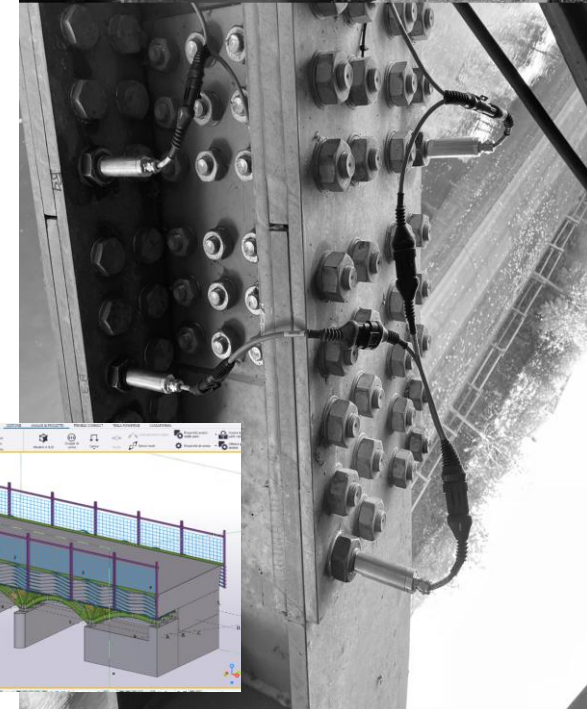
Vista la necessità, abbiamo applicato 3 gateway con pannello solare, monitorando le due campate prossime agli appoggi.

Cosa/per quanto monitoriamo

Il sistema monitora più volte all'ora l'effetto del passaggio dei treni e l'effetto della pressione dell'acqua del canale su cui si trova il ponte.

Miglioramenti/benefici/rilevazione anomalie e gestione

Grazie a Tokbo il cliente ha potuto verificare l'impatto della variazione idrometrica del canale, rilevando effetti di decadimento di forza mai riscontrati in precedenza e non conosciuti.





Case Study

Infrastrutture – scambio metropolitana

Condizione pre-esistente struttura

Il cliente riscontrava rotture anomale nei fissaggi delle giunzioni di alcuni scambi di binari.

Approccio Tokbo

Implementazione della manutenzione del cliente in modo predittivo. Sono stati installati 6 sistemi a controllare altrettanti deviatori con 24 sensori, 6 gateway.

Cosa/per quanto monitoriamo

Campionamento inferiore al minuto a monitorare il passaggio dei treni e l'effetto delle vibrazioni sulle giunzioni imbullonate.

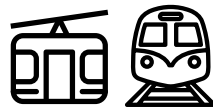
Miglioramenti/benefici/rilevazione anomalie e gestione

Grazie al nostro sistema, l'azienda è ora in grado di rilevare in tempo reale lo stato di salute non solo di questi giunti ma anche del materiale rotabile, in modo da prevedere eventuali guasti e gestire la manutenzione in anticipo.





Case Study



Infrastrutture – funicolare

Condizione pre-esistente struttura

Il cliente ci ha contattato per il monitoraggio dei rulli di scorrimento della fune di trazione di un'importante tratta di una funicolare.

Approccio Tokbo

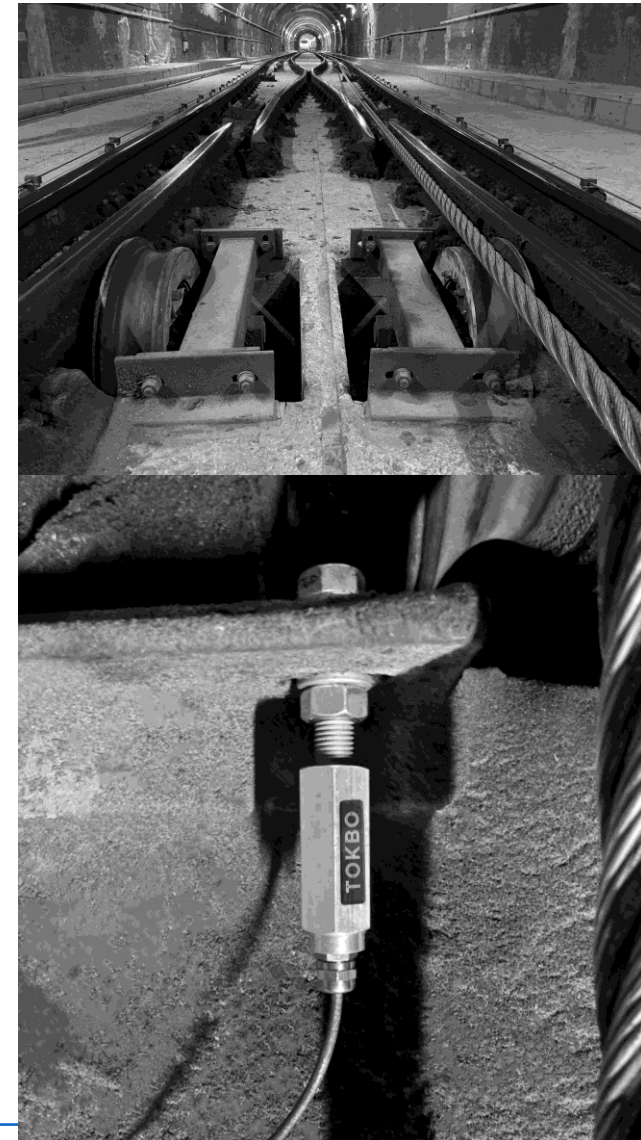
Tokbo ha installato 52 sensori + 1 gateway, distribuendoli sia sui rulli di destra che di sinistra lungo la tratta, per un monitoraggio completo.

Cosa/per quanto monitoriamo

Il sistema è operativo 24/7, con letture ogni 15 secondi di: vibrazioni anomale causate da usura meccanica; scostamenti della fune dal corretto alloggiamento, variazioni di inclinazione nei supporti dei rulli.

Miglioramenti/benefici/rilevazione anomalie e gestione

La struttura è ora sotto controllo, garantendo la sicurezza e abilitando la manutenzione predittiva della struttura.



Case Study

Infrastrutture – barriere antirumore/contenimento massi

Condizione pre-esistente struttura

Il cliente voleva monitorare il fissaggio a terra di una barriera antirumore alta velocità.

Approccio Tokbo

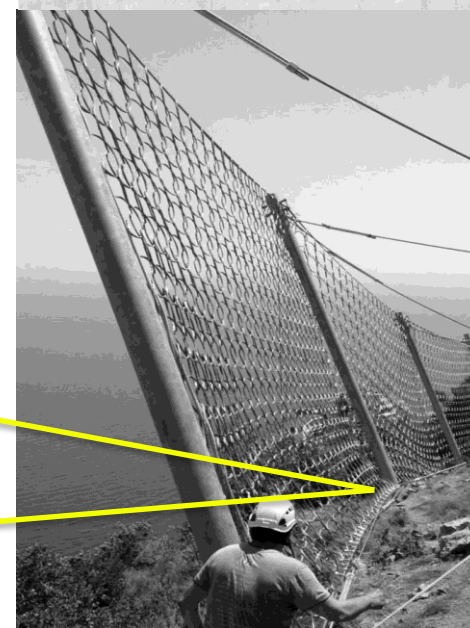
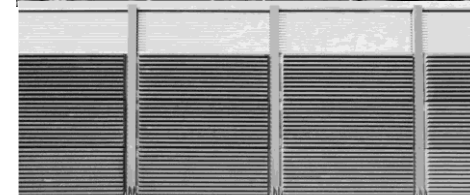
Tokbo ha installato 4 sensori relativi a tutte e quattro le barre delle basi di fissaggio.

Cosa/per quanto monitoriamo

Dopo degli stress test in laboratorio che simulavano un movimento oscillatorio, il sistema ha correttamente monitorato gli effetti.

Miglioramenti/benefici/rilevazione anomalie e gestione

Grazie a Tokbo, il cliente ha identificato un metodo per tenere sotto controllo il comportamento dinamico delle barriere.



Case Study

Sentinella frane – sostegno a reti anti-smottamento

Condizione pre-esistente struttura

Il cliente ci ha contattato per un'applicazione innovativa su reti di contenimento frane.

Approccio Tokbo

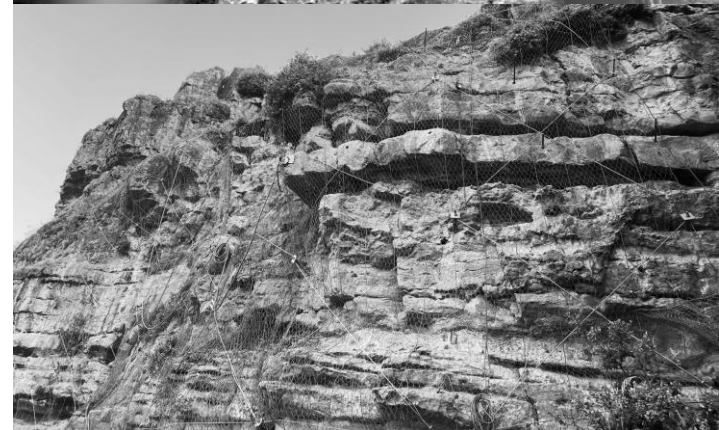
Tokbo ha installato 4 sensori + 1 gateway a pannello solare nelle zone di possibile accumulo di detriti.

Cosa/per quanto monitoriamo

Il sistema è operativo 24/7 per anticipare possibili rischi dovuti all'accumulo di detriti, che porterebbero allo strappo delle reti.

Miglioramenti/benefici/rilevazione anomalie e gestione

Grazie a Tokbo il cliente ha sotto controllo il comportamento dinamico della parete franosa, aggiungendo un monitoraggio attivo alle reti di contenimento frane.



Case Study

Infrastructure – berlinese

Condizione pre-esistente struttura

Il cliente ci ha contattato per monitorare le barre Dywidag di contenimento di un muro di sostegno di un garage sotterraneo.

Approccio Tokbo

Tokbo ha installato una sentinella di monitoraggio con funzione accelerometrica in grado di rilevare piccoli movimenti, con una precisione di $0,1^\circ$.

Cosa/per quanto monitoriamo

Il sistema è operativo 24/7 per verificare eventuali anomalie e spostamenti critici durante gli scavi che arriveranno a 14 metri sotto il livello del suolo.

Miglioramenti/benefici/rilevazione anomalie e gestione

Grazie a Tokbo il cliente ha sotto controllo l'andamento del cantiere durante gli scavi in profondità, garantendo la sicurezza dei palazzi circostanti.





Conclusioni

- Sistemi di monitoraggio strumentale (SHM) – **IoT network per strutture bullonate**
- **Multiple sensing:** soluzioni integrate, personalizzabile, plug & play
- Soluzione **cloud based:** AI, Big Data interpretation
- **SHM: event detection, analisi di trend e predittiva** per il monitoraggio real-time e long-term, a supporto dei **decision makers**
- **Link ed integrazione** con piattaforme BMS
- **Digital twin**





**VISIT OUR
WEBSITE** 



JOIN US
ON LINKEDIN **in**

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Ing. Matteo Villa



Relatore

Metodi di monitoraggio innovativi per le infrastrutture

Data

37