

# Verso una nuova generazione di infrastrutture

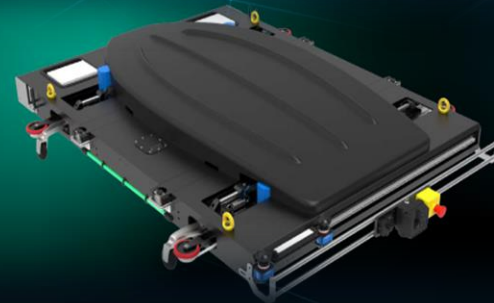
26 Ottobre 2023, Audizione presso 8<sup>a</sup>  
Commissione Senato

**Antonio Frisoli**  
Professore Ordinario di Robotica  
Presidente Centro di Competenza Artes 4.0  
Vice-Direttore Istituto di Intelligenza Meccanica

ISTITUTO  
DI INTELLIGENZA  
MECCANICA



**Sant'Anna**  
Scuola Universitaria Superiore Pisa





# La rete infrastrutturale italiana

- 25.000 km circa di *rete ferroviaria*
  - 840.000 km circa di *rete stradale*
  - 7.000 km di *rete autostradale*
  - 8.000 *treni in circolazione*
- 
- 10.000 dighe di cui 532 grandi ([affarinternazionali.it](http://affarinternazionali.it))
  - Oltre 2000 km di gallerie (secondi al mondo solo dopo la Cina, [Società Italiana Gallerie](http://Società Italiana Gallerie))
  - Circa 1.500.000 ponti e viadotti di cui solo 60.000 monitorati ([kireti.it](http://kireti.it))
  - 140 porti circa ([Istat 2020](http://Istat 2020))
  - 112 aeroporti circa ([aeroporti Firenze](http://aeroporti Firenze))

**Totale: circa 2 Milioni di opere infrastrutturali.  
Incidenza di monitoraggio pari al 3% circa**





# Trend futuri: la crescita dei trasporti

*La domanda globale del trasporto è in rapida crescita.*

- Il **traffico** di merci e passeggeri è destinato a **raddoppiare** entro il **2050** (ESA).
- Tale crescita è una leva per il progresso sociale ed economico, ma **comporta** anche una maggior **domanda** di **sicurezza** ed **efficienza**
- Le infrastrutture del nostro Paese hanno il potenziale per essere **competitive** sulle principali **metriche** di mobilità:

- *Velocità*
- *Affidabilità*
- *Costo*
- *Impatto ambientale*

Tuttavia, il monitoraggio continuo è necessario per prevenire e mitigare gli effetti del degrado strutturale



# Le azioni da intraprendere

## *Da una manutenzione correttiva ad una manutenzione predittiva*

- Monitoraggio: statico e dinamico (sì, ma di quali)
- Ispezioni ed analisi aggiornate
- Aggiornamento dei limiti di esercizio
- Stima del livello di sicurezza
- Stima della Vita utile
- Manutenzione: urgente, correttive, preventive o programmate, predittiva o model based
- Nella manutenzione predittiva i sistemi sono resi efficienti effettuando interventi manutentivi di piccola entità, ma tali da prolungare in maniera significativa la vita utile dei beni.

## I COSTI DELLA MANUTENZIONE

- costo della manutenzione preventiva
- costo della manutenzione correttiva
- costo totale della manutenzione



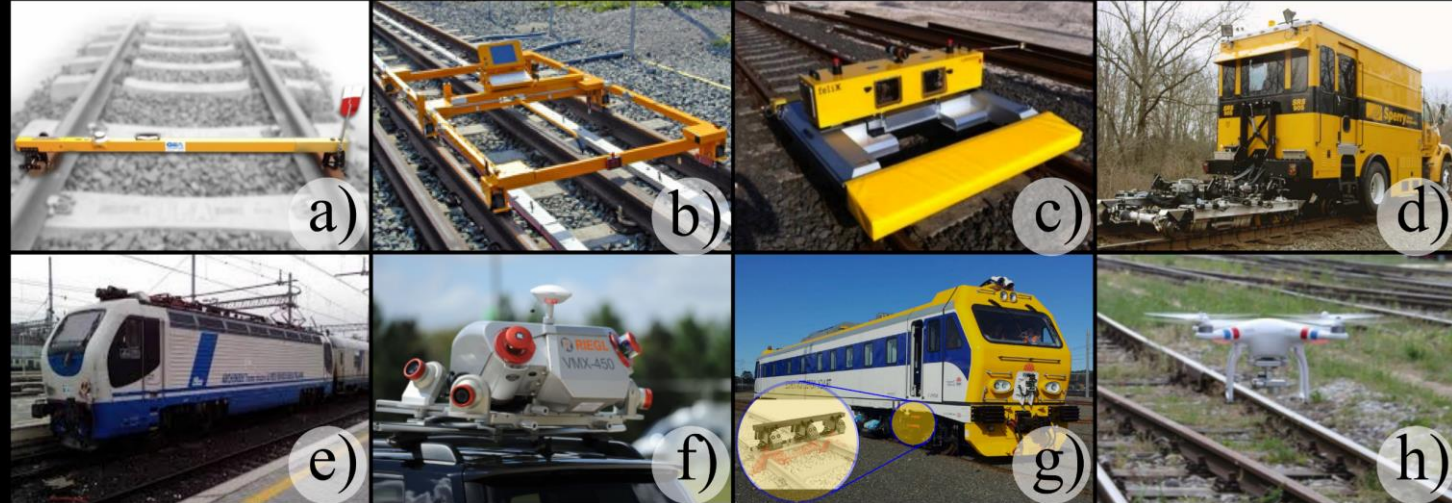


# Il ruolo della ricerca applicata

La ricerca applicata nel campo della **sensoristica avanzata** e del **monitoraggio intelligente** ha un ruolo **cruciale** nell'assicurare la **sostenibilità** della **nuova generazione di infrastrutture**.

*Esempio:* nell'infrastruttura ferroviaria esistono già tecnologie allo Stato dell'Arte per il monitoraggio della geometria del binario

- a) Calibri (manuali)
- b) Trolley Portabili
- c) Felix, Loccioni
- d) Hi-Rail
- e) Archimede, RFI
- f) Laser scanner RiegI
- g) Treno Diagnostico (Pitagora)
- h) Droni



Questi sistemi possono garantire ispezioni ad **alta risoluzione (0.2 – 0.5 m)**, ma **non consentono l'ispezione continua ed in tempo reale**.

**Ricerca e sviluppo possono sensibilmente migliorare l'efficienza del monitoraggio adottando sistemi di manutenzione predittiva**

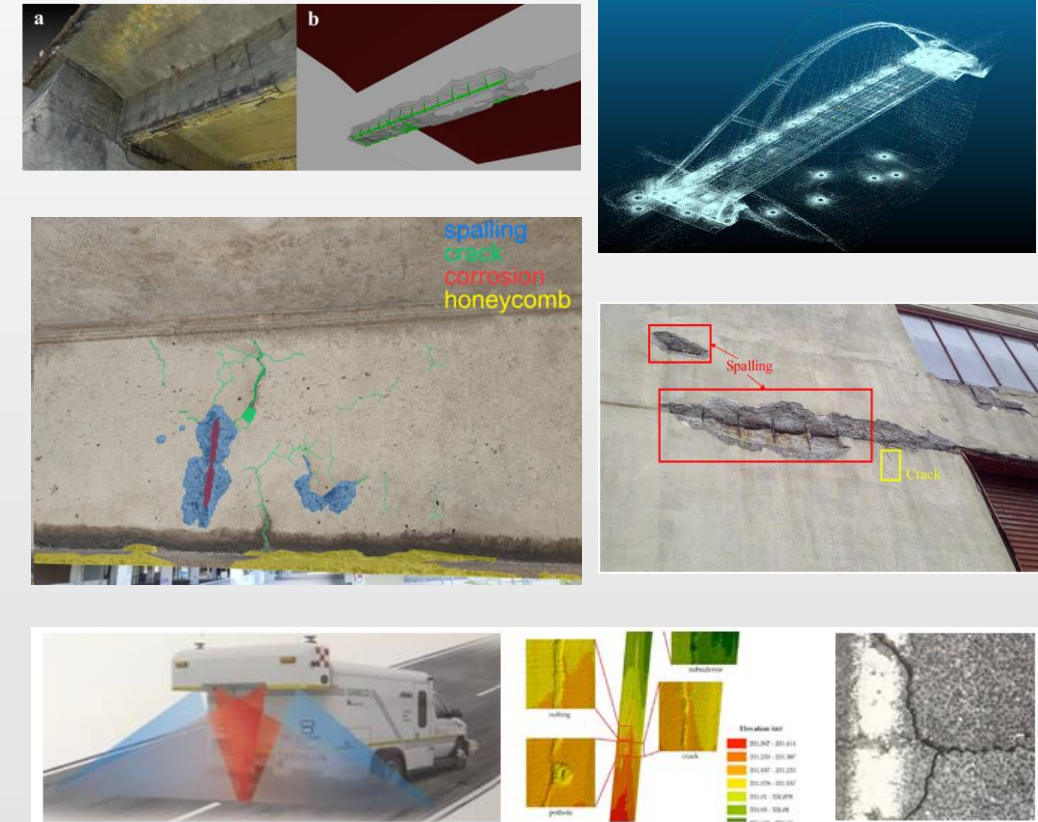
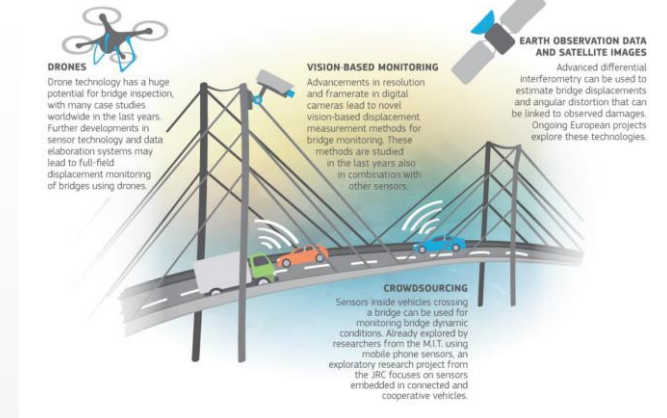


# Tecniche di Monitoraggio Semi-Automatico

Mentre attualmente i **metodi automatici** offerti dalle tecnologie innovative **non sono in grado di sostituire** il lavoro fatto dagli **esperti**, questi ultimi possono enormemente **beneficiare** dalla **riduzione di tempi** e dalle pre-analisi numeriche effettuate dai tool di **automazione**.

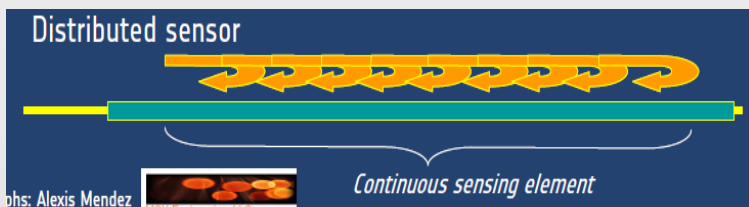
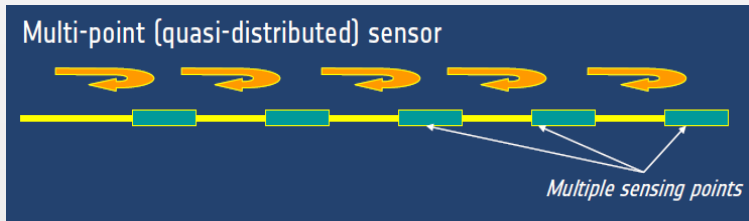
Ciò è legato alla **capacità** di tali tecnologie di **integrare** senza sforzo la **conoscenza storica**, e dalla **maggiore accuratezza** di **misura e ricostruzione** offerta dagli strumenti di **robotica**, **computer vision** e **telemetria**

- Sistemi robotici (rover, veicoli, droni)
- Sistemi autonomi e intelligenti
- Ricostruzione 3D
- Digital Twins
- Diagnostica basata su IA
- Tecnologie Satellitari
- Sensori distribuiti
- Sistemi radar
- Sistemi di visione intelligente
- Sensori meccanici innovative
- Sensori multidominio





# Robotica e sensoristica avanzata



L'uso degli innovativi sistemi fotonici e dispositivi robotici avanzati offre una serie di vantaggi rispetto ai sensori elettronici tradizionali, quali:

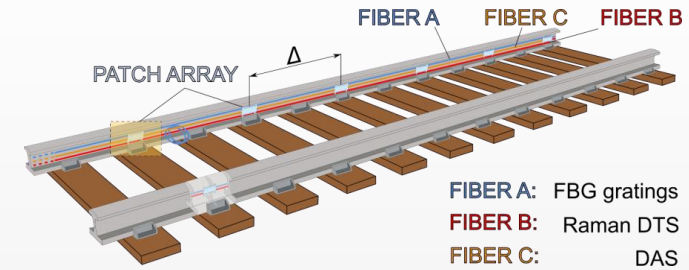
- **Immunità** elettromagnetica
- Alta **integrabilità** nelle strutture esistenti **con bassa invasività**
- **Resistenza** ad ambienti ostili e corrosivi
- Possibilità di **acquisire contemporaneamente centinaia di sensori distribuiti** (*tecnologia multiplex*)

Possibili **applicazioni**:

- **Ponti & Viadotti**
- **Tunnel**
- **Binari ferroviari**
- **Tubazioni e cavi di potenza**
- .....

In particolare, sensori **distribuiti** e **quasi-distribuiti** sono adatti per **monitorare grandi infrastrutture**

## Sensoristica fotonica distribuita

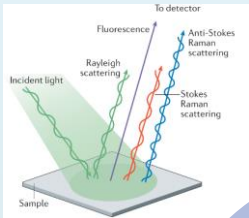


## Robotica mobile avanzata



# Tecnologie di sensoristica avanzata

## Tecnologie abilitanti

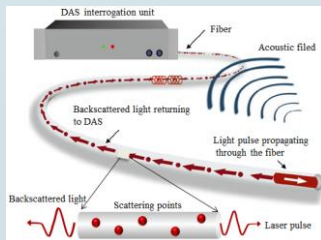
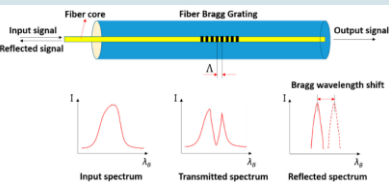


Raman scattering

Integrazione

Bragg gratings

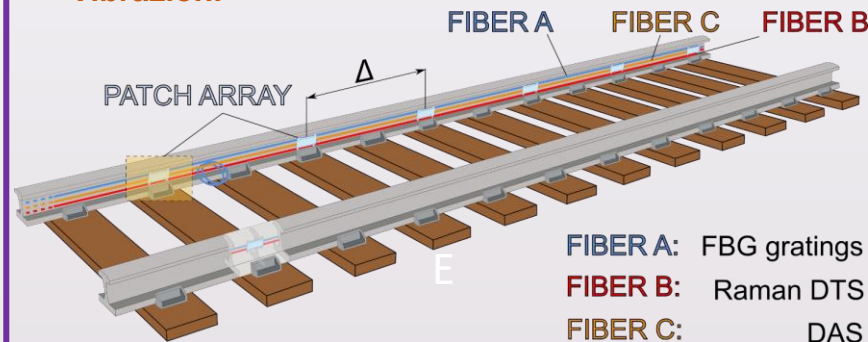
DAS



## SMARTRAIL

Monitoraggio in **real-time**:

- **Deformazione** locale
- **Temperatura**
- **Vibrazioni**



Le tecnologie di integrazione consentono l'**integrazione robusta** dei sensori in fibra

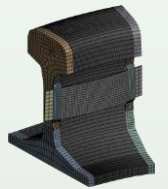
- *Saldatura laser per punti a supporto metallico protettivo*  
RFI - SmartRail Project
- *Nastri speciali ad incollaggio*  
RFI - Petacciato Project



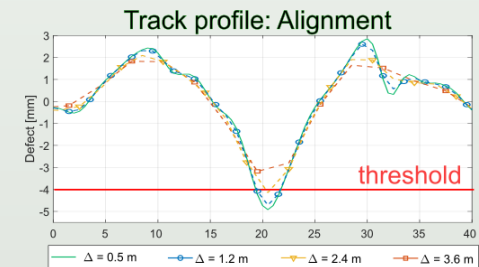
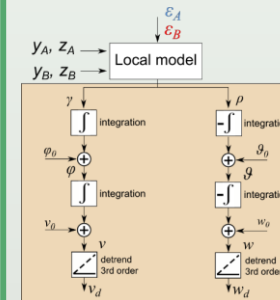
## Ingegneria Computazionale

I dati dei sensori sono processati da modelli fisici che consentono

- Interpretazione delle misure
- Manutenzione predittiva

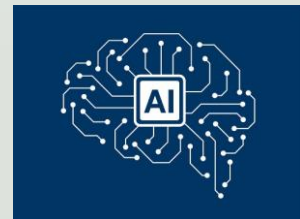


Simulazioni agli Elementi Finiti



## AI processing

Potenzialmente, grandi quantità di dati sono **disponibili** per analisi avanzate attraverso algoritmi di **deep learning**.





# Sistemi robotici avanzati

Informazioni tecniche, geometrie e rilievi morfologici, territoriali e idrogeologici

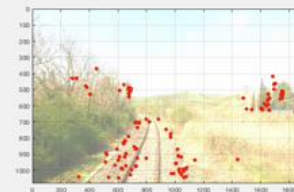
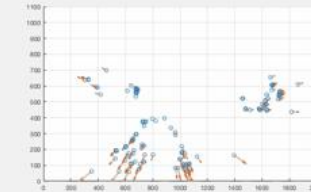
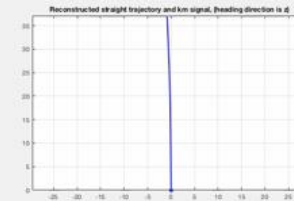
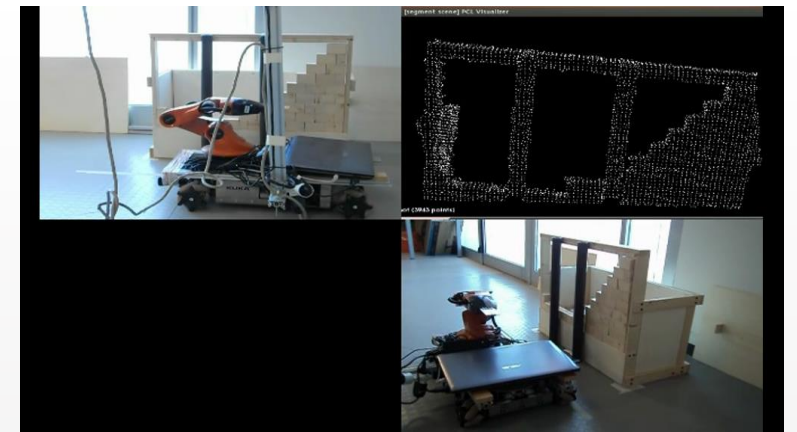
Misure statiche con prove fisse, misure reali sulla struttura, analisi di carichi dinamici (di transito)

Modelli orientati alla sicurezza

- Pericolosità sismica
- Prove idrogeologiche
- Rischi idraulici
- rischi frana

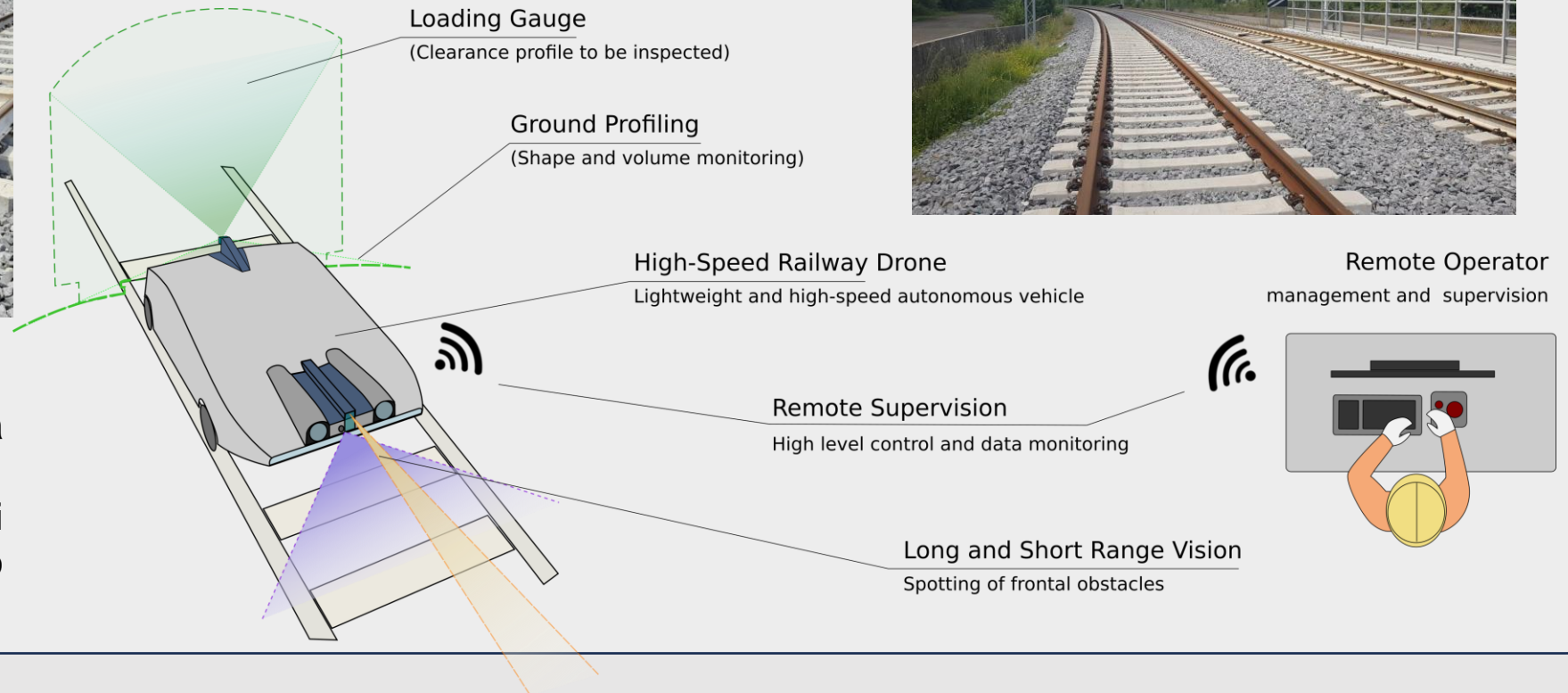
Modelli orientati al danneggiamento

- Effetti del degrado
- Soglie di allarme
- Scenari di danno
- Indicatori di danno



# Tecnologia di robotica ferroviaria per ispezione

- **RailDrone, sistemi robototici leggeri** progettati per l'ispezione dell'infrastruttura ferroviaria mediante sistemi di visione artificiale e lidar



Verifica che la linea sia libera e pronta al servizio, dopo ogni intervento di ispezione e/o manutenzione





# Robotica ferroviaria: ispezione del materiale rotabile

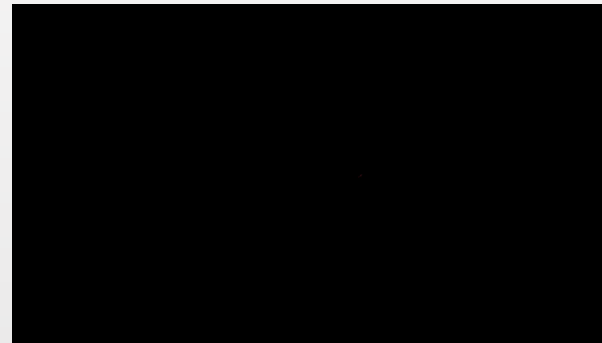
- Il Sistema robotico è in grado di sostituire le procedure di ispezione manuali con una digitalizzazione dei processi
- Algoritmi di AI sono in grado di raggiungere elevati Fault Detection Rate – oltre 98%- per un numero elevato di classi di difetti nel sottocassa dei treni



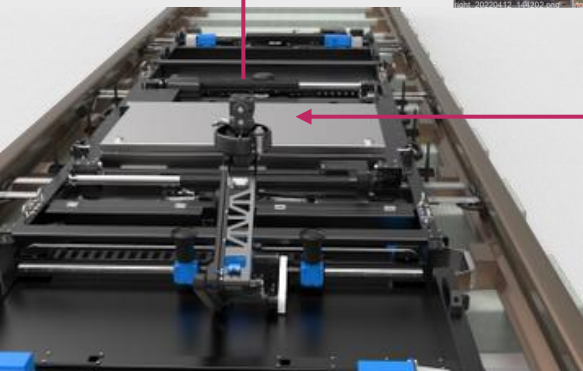
Sperimentazione in corso in Cina di robot per ispezione



Robot attualmente in sperimentazione in Europa



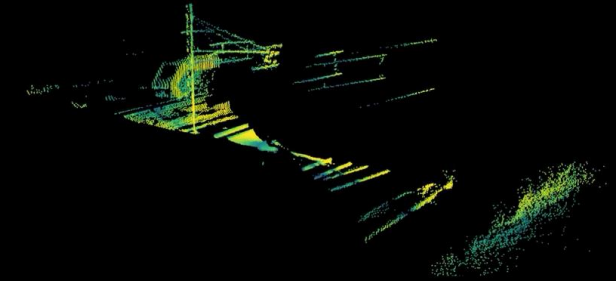
Manutenzione predittiva abilitata da algoritmi di AI



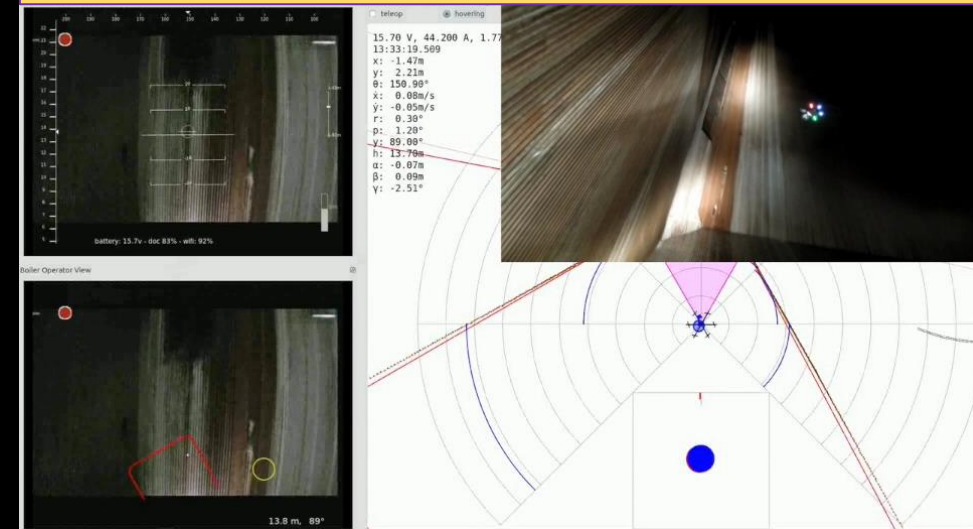
# Altre applicazioni della robotica

- Monitoraggio robotizzato di centrali elettriche
- Monitoraggio attivo di ponti, oleodotti e line ferroviarie con fibra ottica distribuita
- Sistemi intelligenti e robotizzati di computer vision per il controllo di treni e line ferroviarie
- Stima e segnalazione con sistemi di intelligenza artificiale di difetti ed anomalie
- Sistemi robotizzati (droni, veicoli autonomi e semiautonomi) per il controllo e l'assistenza agli operatori esperti durante le ispezioni periodiche
- Sistemi per il monitoraggio delle presenze, dei sovraccarichi e dei comportamenti tramite sensori evoluti (termici, lidar, ladar e visive)
- Sistemi di telepresenza per ispezioni remote e/o in ambienti pericolosi che minimizzino il rischio di intervento e connesso al sopralluogo

Sistemi intelligenti e robotizzati di computer vision per il controllo di treni e line ferroviarie



## Monitoraggio robotizzato di centrali elettriche





# Conclusioni

---

L'integrazione di tecnologie robotiche e **metrologiche (fotonica integrata)** consente di:

- **Monitorare in real-time monitoring** numerosi parametri cruciali epr le infrastrutture quali:
  - Temperatura
  - Deformazioni locali e distribuite
  - Vibrazioni ad alta frequenza
- Nel corso degli ultimi anni, abbiamo sviluppato diversi dimostratori, riscontrando:
  - Bassa invasività
  - Compatibilità con le moderne routine di manutenzione
  - Affidabilità delle misure
- La grande potenzialità di una rete di infrastrutture intelligenti si basa anche sulla **possibilità di processare i dati** acquisiti dai sensori attraverso algoritmi di **intelligenza artificiale**.







Contatti

Prof. Antonio Frisoli

[antonio.frisoli@santannapisa.it](mailto:antonio.frisoli@santannapisa.it)

ISTITUTO  
DI INTELLIGENZA  
MECCANICA



**Sant'Anna**  
Scuola Universitaria Superiore Pisa

