

Conoscere per proteggere.
Tecnologie digitali e ricerca per la resilienza del patrimonio culturale e dei territori

3 giugno 2026
Sala Magna | Rocca Malatestiana,
Via Rocca 42, Verucchio (Rimini)

DIGI-BRIDGE - Conoscere i ponti per proteggere il territorio

Organizzato da:



Con il Patrocinio di:



Comune di Verucchio



Comune di Tredozio



CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI
PAESAGGISTI
E CONSERVATORI

In collaborazione con Ordine degli
Architetti P.P.C della provincia di Rimini:



Partners:



RETE ALTA TECNOLOGIA
EMILIA-ROMAGNA
HIGH TECHNOLOGY NETWORK



SERVIZIO SANITARIO REGIONALE
EMILIA-ROMAGNA
Azienda Unità Sanitaria Locale della Romagna

Media Partner:



Progetti cofinanziati da Fondo Europeo Regionale:



Monitoraggio strutturale e stima della vita residua: i casi studio del ponte delle Grazie di Faenza e del ponte ferroviario sul fiume Panaro

prof. Nicola Buratti

D-B PARTNER DI PROGETTO E IMPRESE COINVOLTE



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

CENTRO
INTERDIPARTIMENTALE
DI RICERCA INDUSTRIALE
EDILIZIA E COSTRUZIONI

 ARCHLIVING



CICCREI



UNIVERSITÀ
DI PARMA

TekneHub 



Università
degli Studi
di Ferrara | DA Dipartimento
Architettura
Ferrara



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

Centro Interdipartimentale di Ricerca
e per i servizi nel settore delle
Costruzioni e del Territorio - CRICT

CLUST-ER
BUILD
EDILIZIA E COSTRUZIONI

built
leave the light on

/ FER / FERROVIE
EMILIA
ROMAGNA



D-B MOTIVAZIONI

GRANDE QUANTITÀ DI PONTI E VIADOTTI, STRADALI O FERROVIARI, COSTRUITI NEL DOPOGUERRA STANNO MOSTRANDO SEGNI DI FORTE DEGRADO.

IL REPORT MAKING CRITICAL INFRASTRUCTURE RESILIENT, UN OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION, SOTTOLINEA CHE TRA IL 2007 E IL 2015, L'ITALIA (CON LA SPAGNA) È STATO IL PAESE CHE HA SPESO MENO PER LE INFRASTRUTTURE E CHE CIRCA 300 PONTI SONO A RISCHIO DI CROLLO.

NEL 2020 IL MIT HA PUBBLICATO LE "LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO, LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA ED IL MONITORAGGIO DEI PONTI ESISTENTI" CHE HANNO INTRODOTTI OBBLIGHI PER GLI ENTI GESTORI

SPESSO LE TECNOLOGIE ABILITANTI NEL SETTORE SIANO ANCORA APPANNAGGIO DEL MONDO DELLA RICERCA, EVIDENZIANDO NECESSITÀ DI TRASFERIMENTO TECNOLOGICO.



D-B OBIETTIVI

TECNICHE DIAGNOSTICHE AVANZATE

- Ispezioni visive e digitali (droni, fotogrammetria)
- Prove non distruttive (NDT)
- Valutazione dello stato di degrado
- Aggiornamento continuo delle condizioni

MONITORAGGIO STATICO E DINAMICO

- Deformazioni, vibrazioni, spostamenti
- Temperatura, carichi, traffico
- Acquisizione continua in tempo reale

TECNICHE DI RILIEVO AVANZATE

- Rilievo laser scanner e BIM
- Monitoraggio geospaziale (GNSS, InSAR)
- Modelli 3D ad alta fedeltà
- Georeferenziazione e aggiornamento geometrico

GEMELLO DIGITALE

- Integrazione dati multi-sorgente
- Modelli fisici e numerici aggiornati
- Simulazioni e analisi "what-if"
 - Supporto alle decisioni



D-B ORGANIZZAZIONE DEL PROGETTO

Generazione e qualificazione dei dati

UAV WP1 Rilievo

Dati geometrici e difettologici

Protocolli per rilievo 3D, immagini di superficie e interoperabilità verso digital twin.

NDT WP2 Diagnostica avanzata

Georadar, ultrasuoni, precompressione

Procedure e algoritmi per difetti, armature/cavi e stato di degrado di ponti in CA/CAP.

SHM WP3 Monitoraggio on-site e AI

Dinamica, fibre ottiche, MEMS, anomalie

Test in laboratorio e in opera, prototipo di trave, algoritmi di analisi dati e model updating.

SAR WP4 Interferometria satellitare

PSInSAR, spostamenti lenti

Monitoraggio statico multi-risoluzione, mappe di spostamento e criteri di integrazione dati.

Integrazione e valorizzazione

DT WP5

Digital twin per vita utile e manutenzione predittiva

Sintesi dei dati da WP1-WP4 in modelli numerici, calibrazione, scenari di degrado e stima della vita residua.

COM WP6 - Diffusione e networking



D-B RISULTATI

R.1 LINEE GUIDA PER RILIEVO, DIAGNOSTICA E MONITORAGGIO



Linee guida operative per attività di rilievo, diagnostica e monitoraggio statico e dinamico di ponti e viadotti.

- Protocolli e metodologie standardizzate
- Buone pratiche e criteri di qualità
- Strumento a supporto di tecnici, gestori e imprese

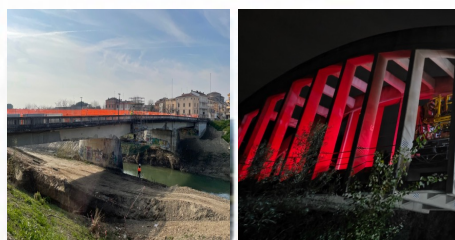
R.2 PROTOTIPO DI TRAVE DA PONTE IN CA CON MONITORAGGIO DINAMICO



Realizzazione e strumentazione di un prototipo di trave in calcestruzzo armato presso il laboratorio del CIRI-EC.

- Sistemi di monitoraggio dinamico con accelerometri
- Sensoristica con Fibre Bragg (FBG)
- Validazione sperimentale in laboratorio

R.3 INSTALLAZIONE SISTEMA DI MONITORAGGIO DINAMICO SU PONTI

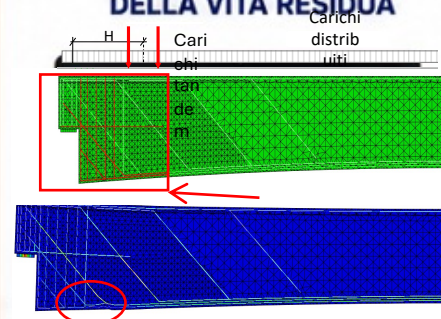


1 PONTE STRADALE 1 PONTE FERROVIARIO

Sperimentazione in ambiente operativo su due infrastrutture reali.

- Raccolta dati in condizioni reali di esercizio
- Validazione delle tecnologie e dei protocolli sviluppati

R.4 MODELLI DIGITAL TWIN PER LA PREVISIONE DELLA VITA RESIDUA



Sviluppo di modelli digitali integrati per la previsione della vita residua di:

- 1 PONTE FERROVIARIO
- 1 PONTE STRADALE

Integrazione di dati da rilievo, diagnostica e monitoraggio.

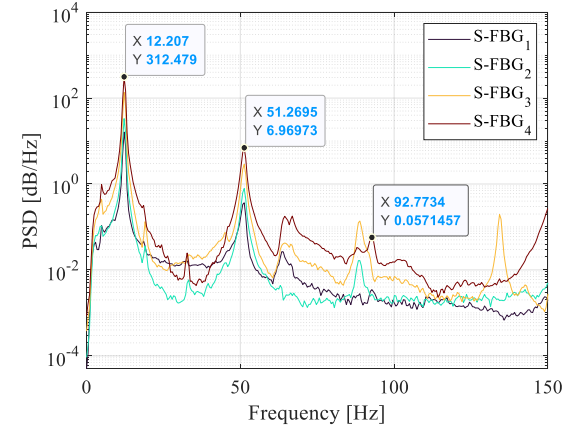
R.5 LINEE GUIDA PER LA REALIZZAZIONE DI DIGITAL TWIN PREDITTIVI



Linee guida per la costruzione e l'utilizzo di digital twin per la previsione della vita residua di ponti e viadotti.

- Metodologia e workflow replicabili
- Requisiti, strumenti e standard
- Supporto decisionale per la manutenzione predittiva

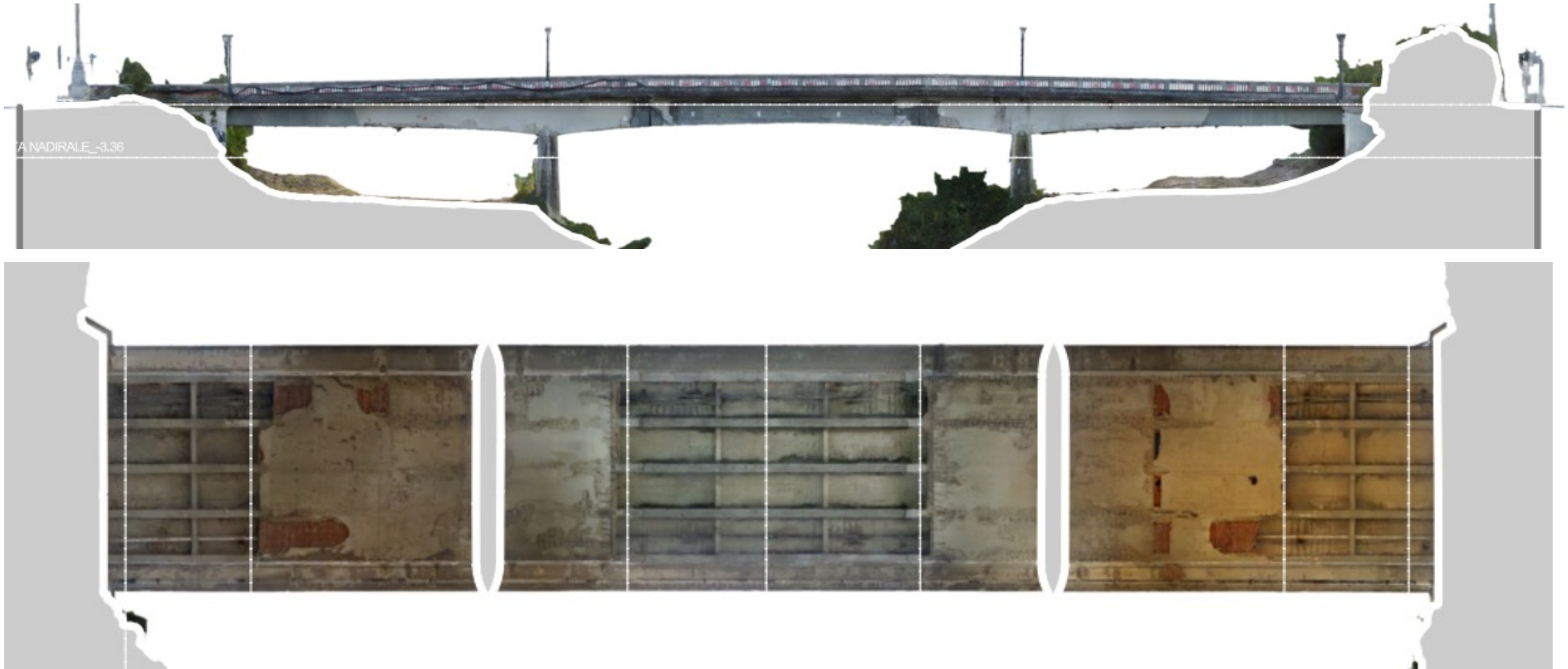
D-B DAL LABORATORIO AL TERRITORIO



D-B DAL LABORATORIO AL TERRITORIO

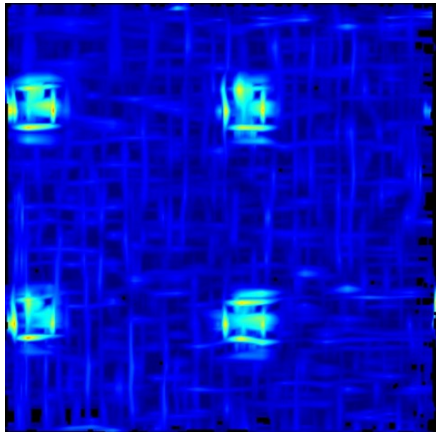


D-B TECNICHE AVANZATE DI RILIEVO

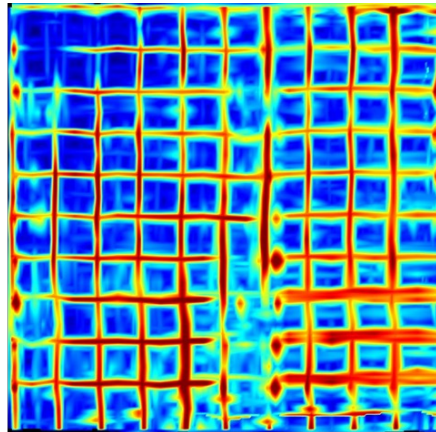


FOTOGRAMMETRIA, LASERSCANNER, DRONI
RICOSTRUZIONE SUPERIFICI E VOLUMI
IDENTIFICAZIONE DEGRADO

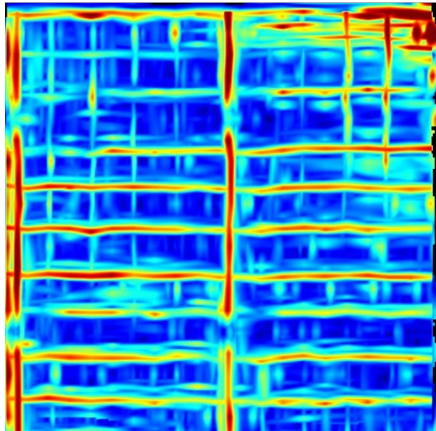
D-B DIAGNOSTICA



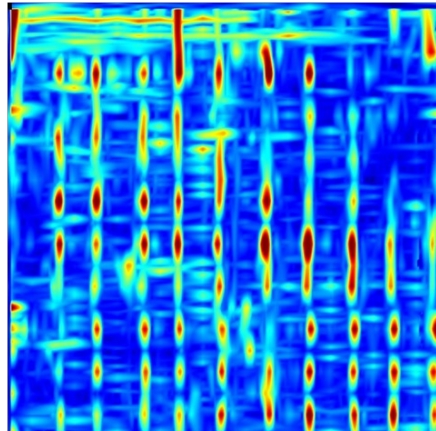
Depth = 0 cm



Depth = 7.3 cm



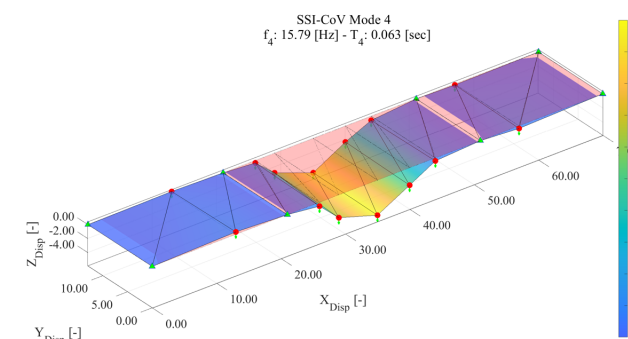
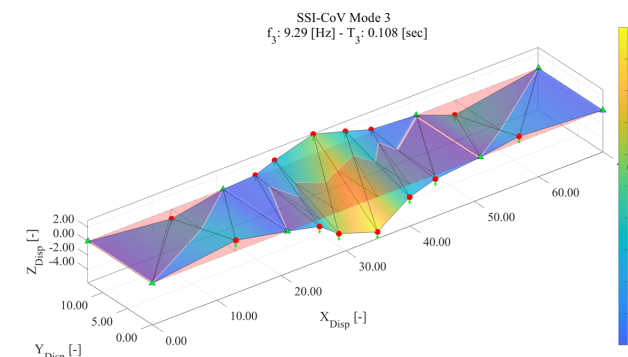
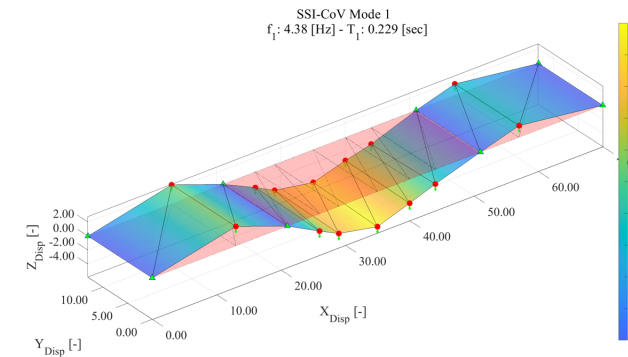
Depth = 13 cm



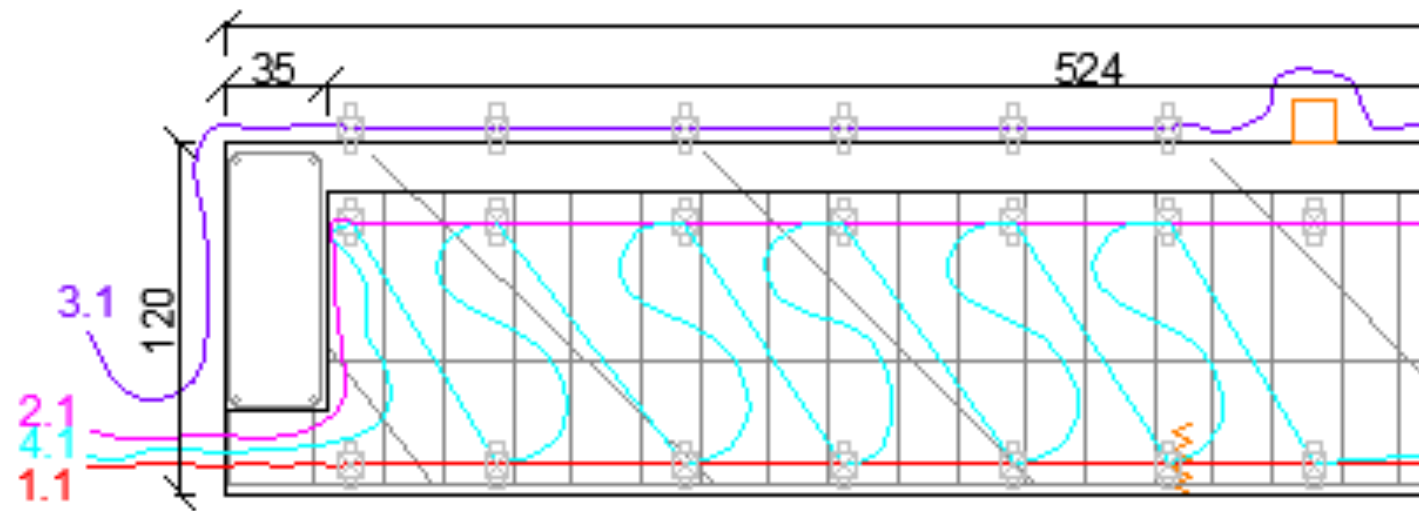
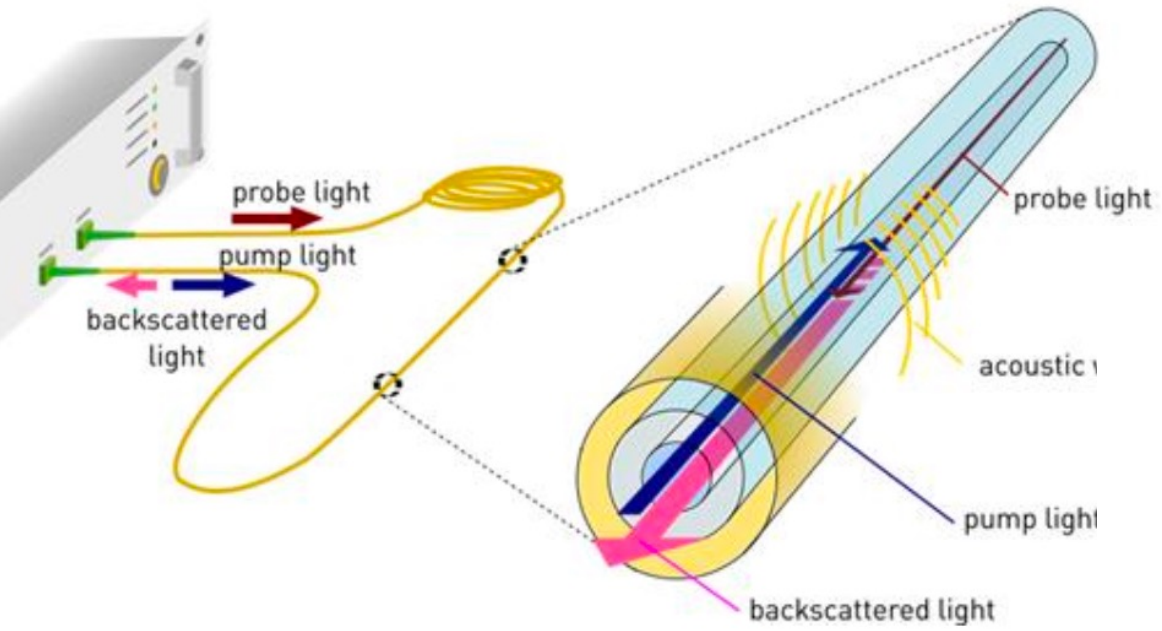
Depth = 20 cm



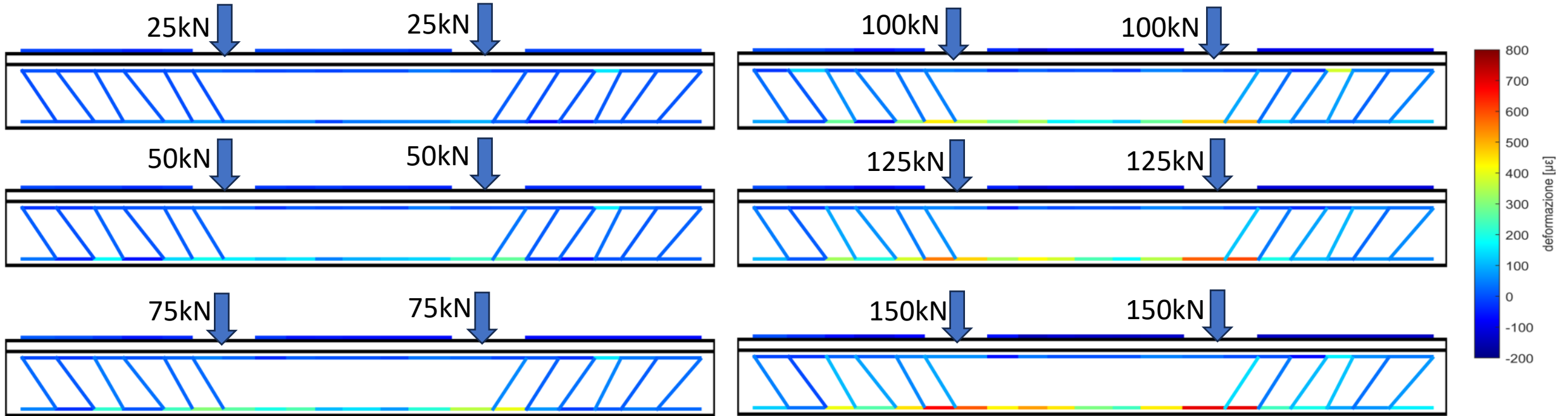
D-B MONITORAGGIO - OMA



D-B MONITORAGGIO - MISURE DISTRIBUITE CON FO



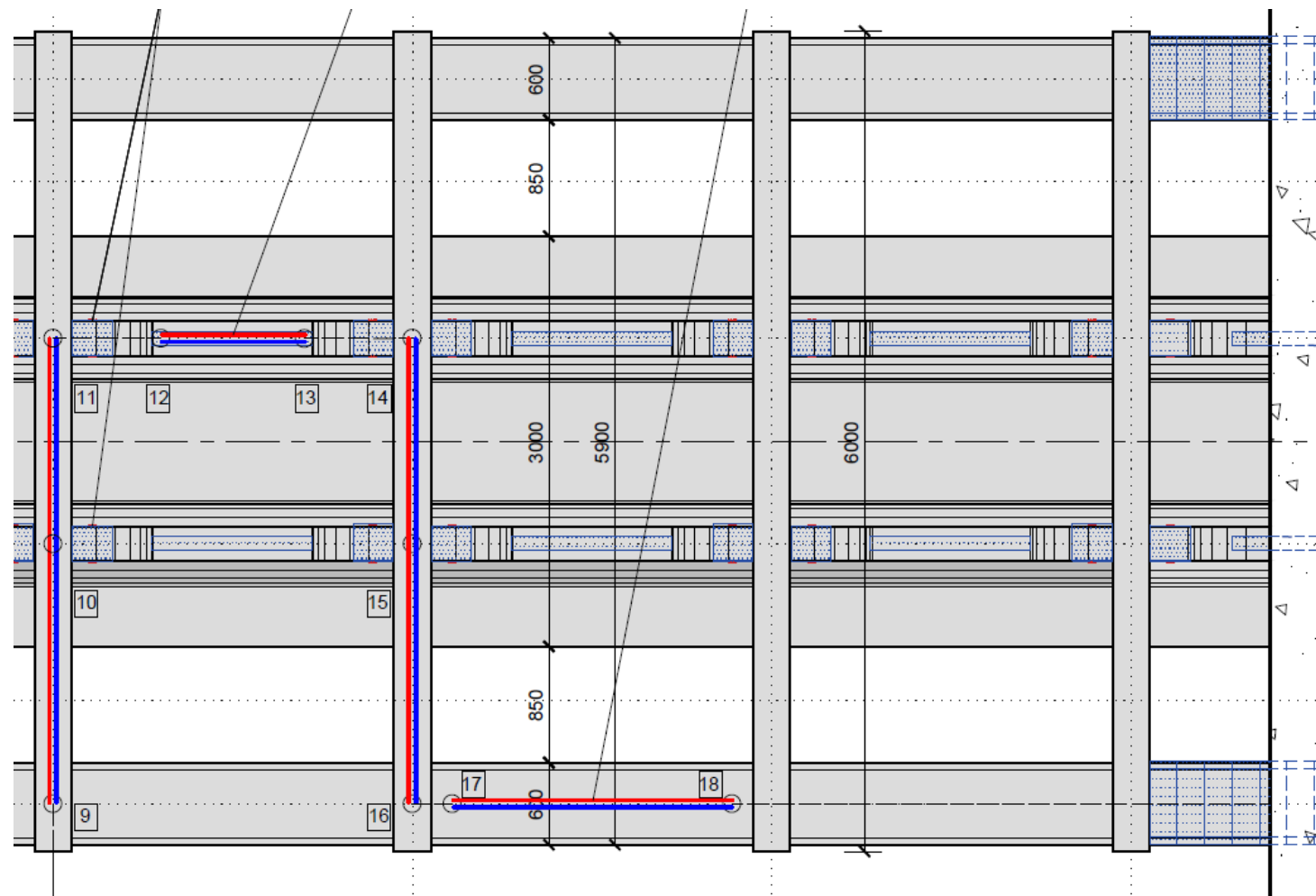
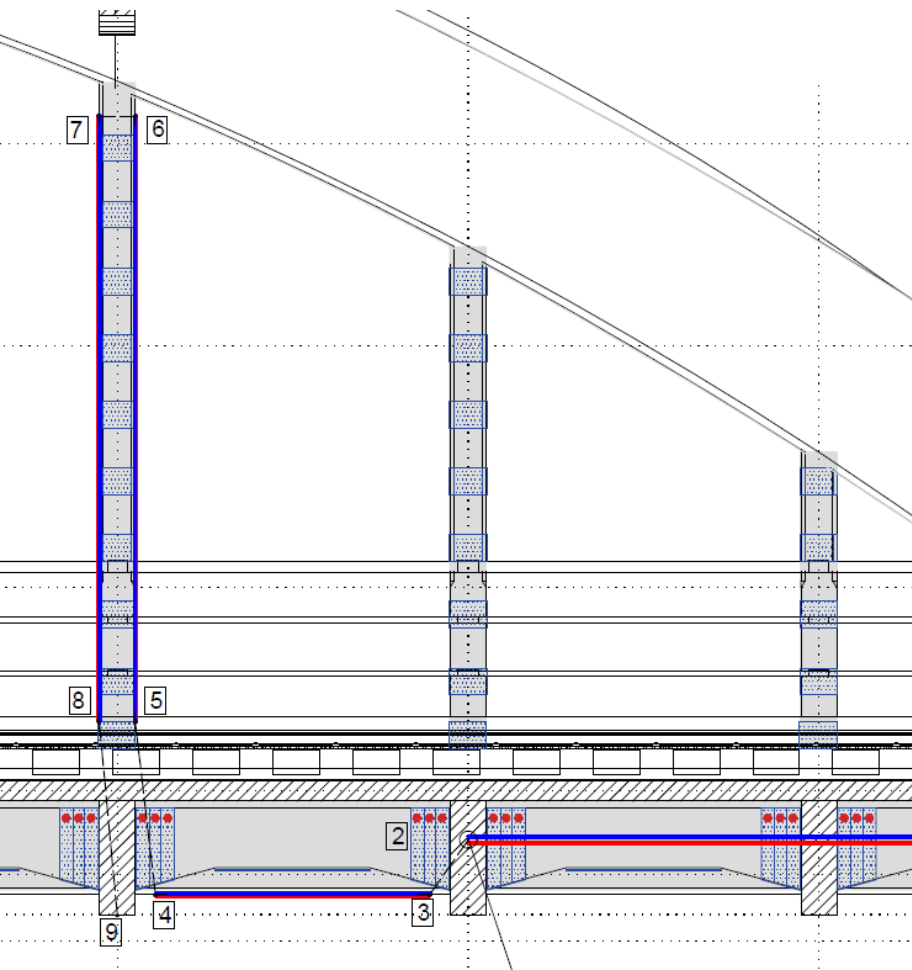
D-B MONITORAGGIO - MISURE DISTRIBUITE CON FO



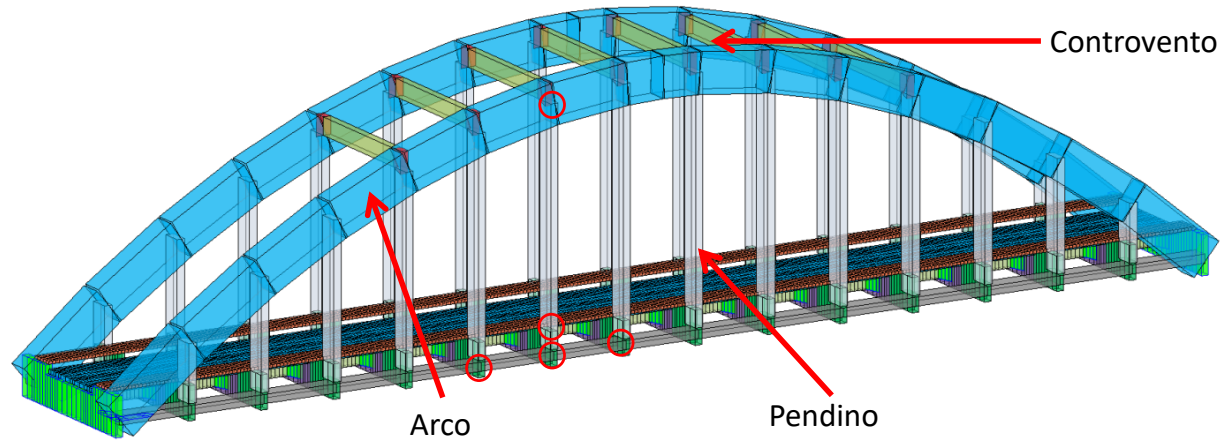
D-B MONITORAGGIO - MISURE DISTRIBUITE CON FO



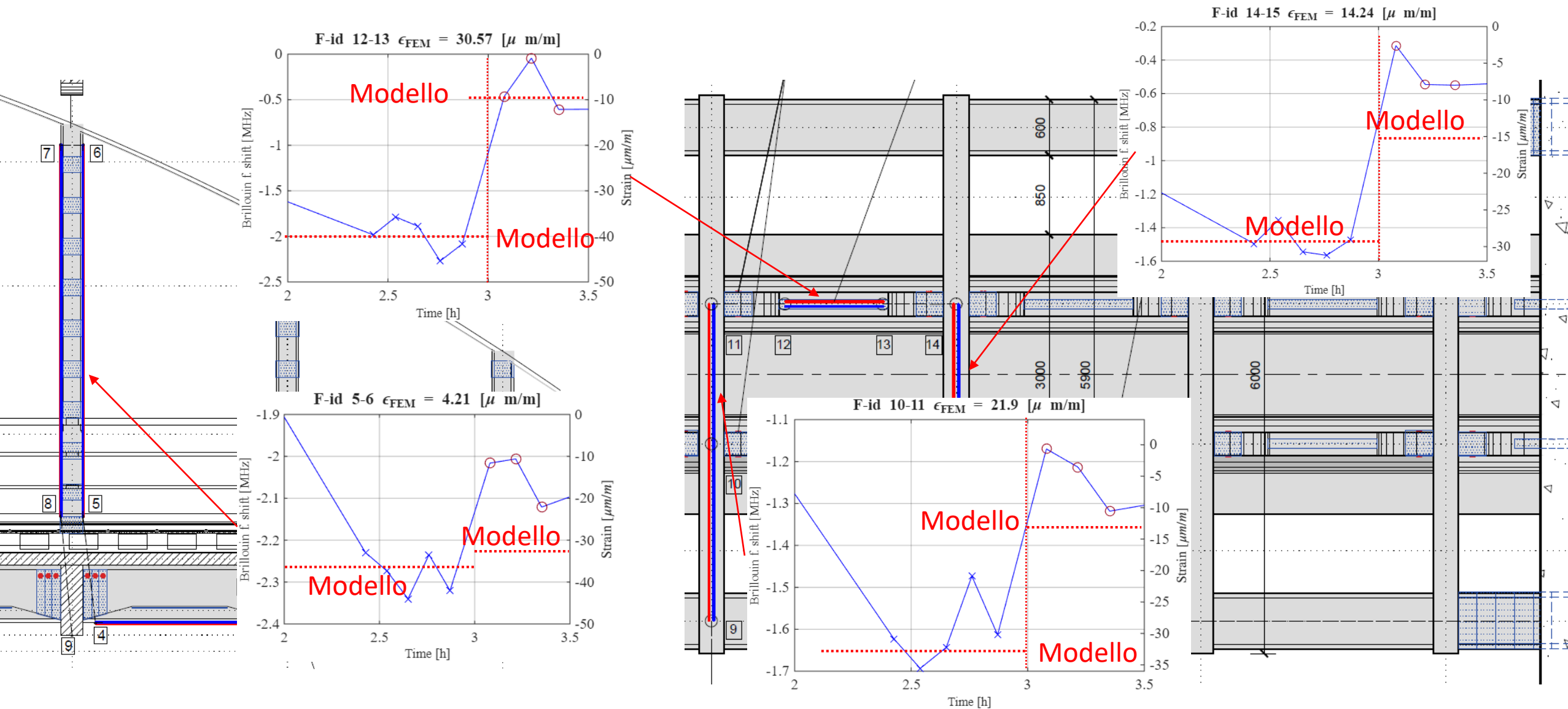
D-B MONITORAGGIO - MISURE DISTRIBUITE CON FO



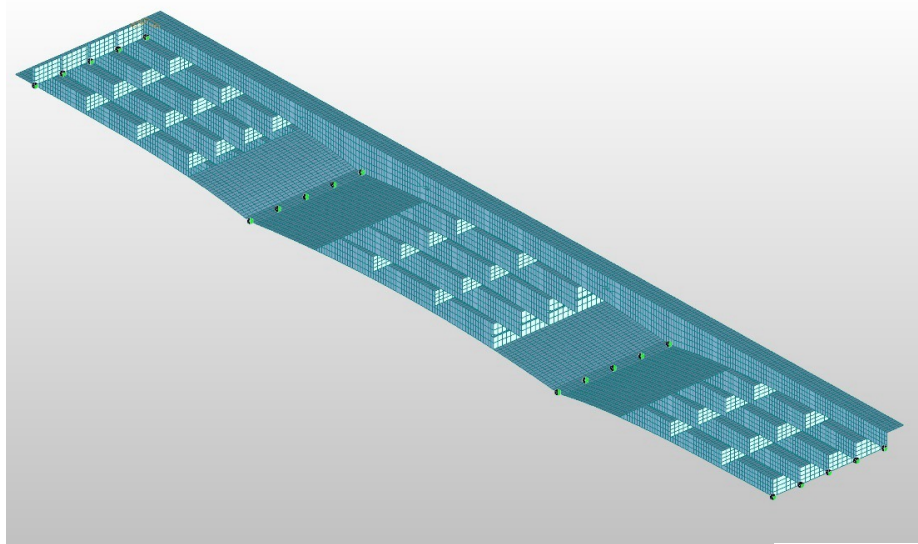
D-B MONITORAGGIO - MISURE DISTRIBUITE CON FO



D-B MONITORAGGIO - MISURE DISTRIBUITE CON FO

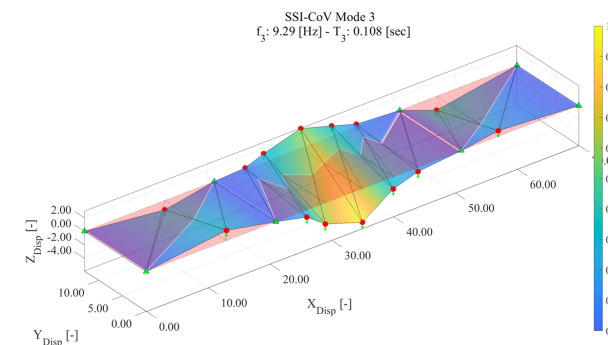
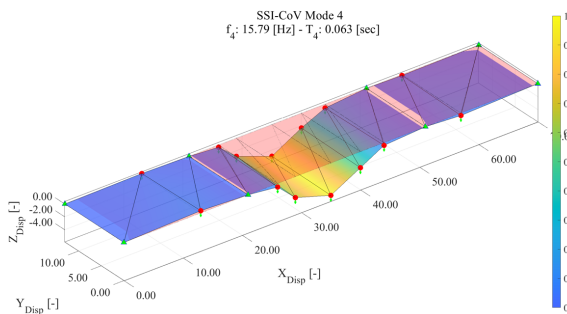
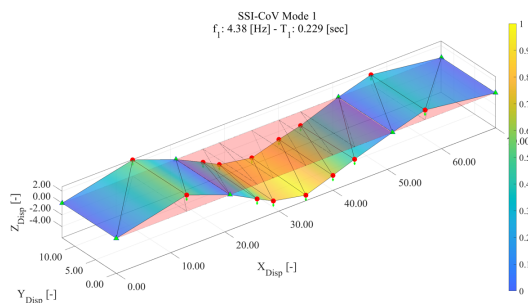


D-B GEMELLI DIGITALI



I DATI RACCOLTI TRAMITE RILIEVO, DIAGNOSTICA E MONITORAGGIO SI FONDONO IN UN GEMELLO DIGITALE

- SIMULAZIONE DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE AI FINI DELLA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA
- SIMULAZIONE DI SCENARI DI DEGRADO (P.ES. CORROSIONE)
- SIMULAZIONE EVENTI ECCEZIONALI
- SUPPORTO ALLA MANUTENZIONE PREVENTIVA E ALLA GESTIONE



D-B VITA RESIDUA

- ✓ La maggior parte dei ponti esistenti ha raggiunto o sta per raggiungere la fine della propria vita utile
- ✓ Problemi di degrado del calcestruzzo, durabilità, corrosione dell'acciaio e difficoltà di ispezione nei ponti.

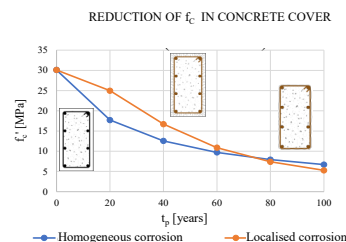
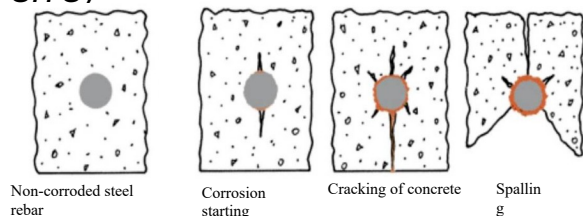


from Italian Guidelines for classification and risk management, safety assessment and structural health monitoring of existing bridges. 2020.

Occorrono strumenti che permettano di tener conto della **riduzione della capacità portante NEL TEMPO** delle strutture esistenti:

Alcuni parametri da tenere in considerazione nella valutazione della capacità portante residua sono i seguenti:

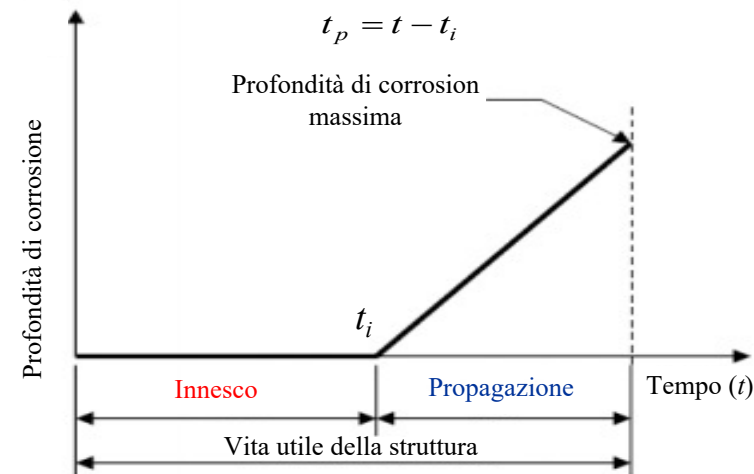
- ✓ **Degrado della resistenza del calcestruzzo fessurato (Anche da rilievi dei quadri fessurativi in SITU)**



- ✓ **Riduzione della resistenza delle barre d'armatura corrose**

Valutazione del periodo di innesco della corrosione e periodo di propagazione nelle barre d'armatura

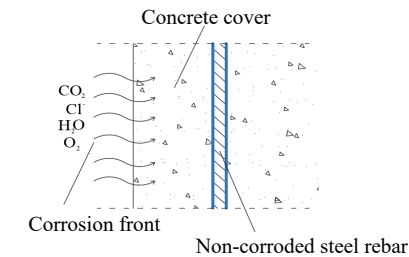
Modello di Tuutti (1982)



Tempo D'Innesco

- fib Bulletin 76.

$$t_i = \frac{1}{4 \cdot D_{app}} \cdot \frac{c^2}{\left[\operatorname{erf}^{-1} \left(1 - \frac{C_{crit}}{C_s} \right) \right]^2}$$

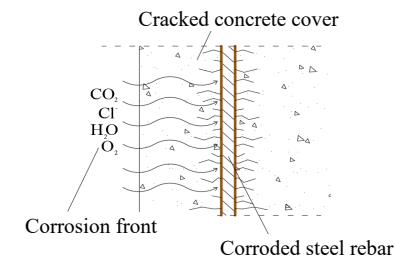


Tempo di Propagazione

- Model Code 2020.

$$P_x = t_p \cdot \alpha \cdot V_{corr}$$

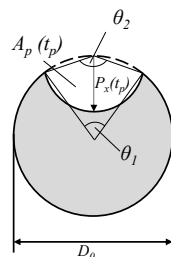
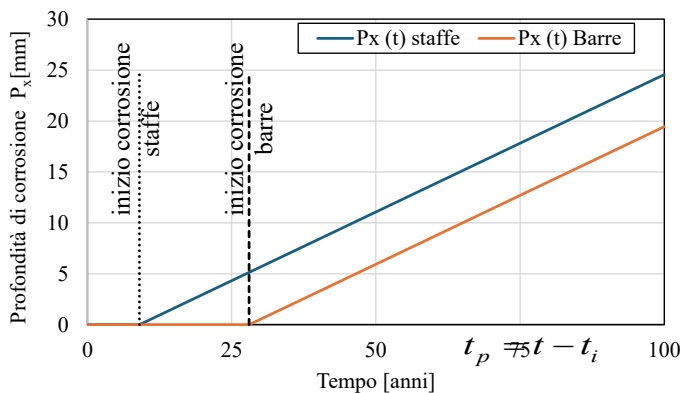
$$\mu(P_x(t_p)) = \frac{A_{corr}(P_x)}{A_0}$$



D-B VITA RESIDUA

- ✓ Le analisi numeriche non lineari sono come uno strumento utile per valutare la vita residua della struttura
- ✓ Un rilievo dettagliato della struttura e del quadro fessurativo, permette di individuare le zone maggiormente critiche da analizzare

Armature soggette a corrosione con diversi tempi di innesco



Riduzione della deformazione ultima e del tiro nelle armature in funzione della riduzione di sezione nel tempo

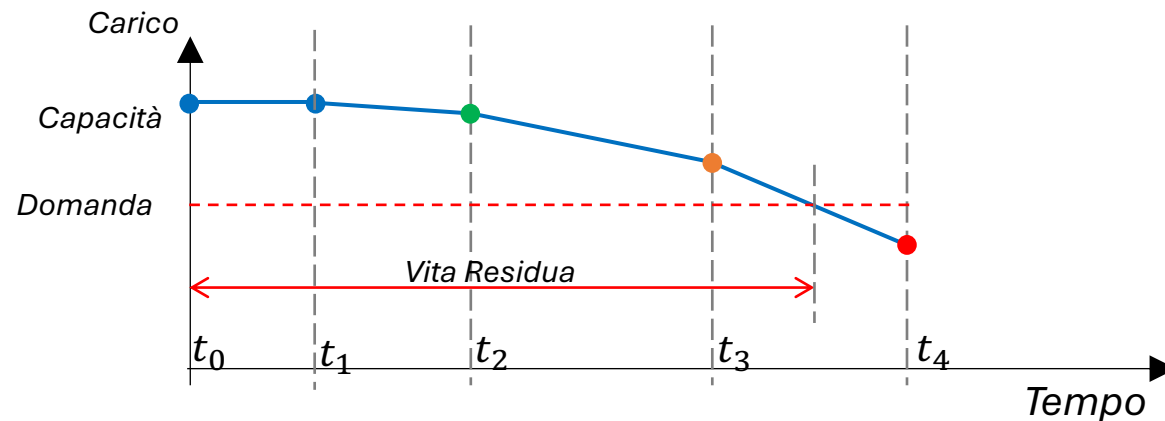
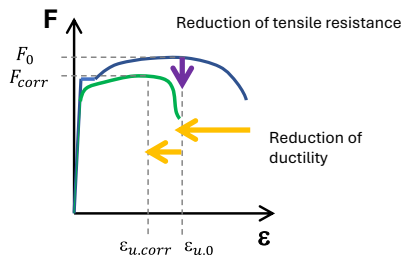
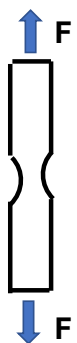
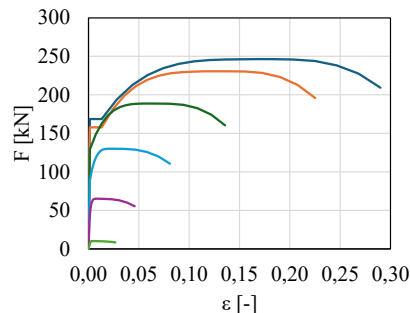
$$P_x = t_p \cdot \alpha \cdot V_{corr}$$

Riduzione di sezione μ

$$\mu(P_x(t_p)) = \frac{A_{corr}(P_x)}{A_0}$$

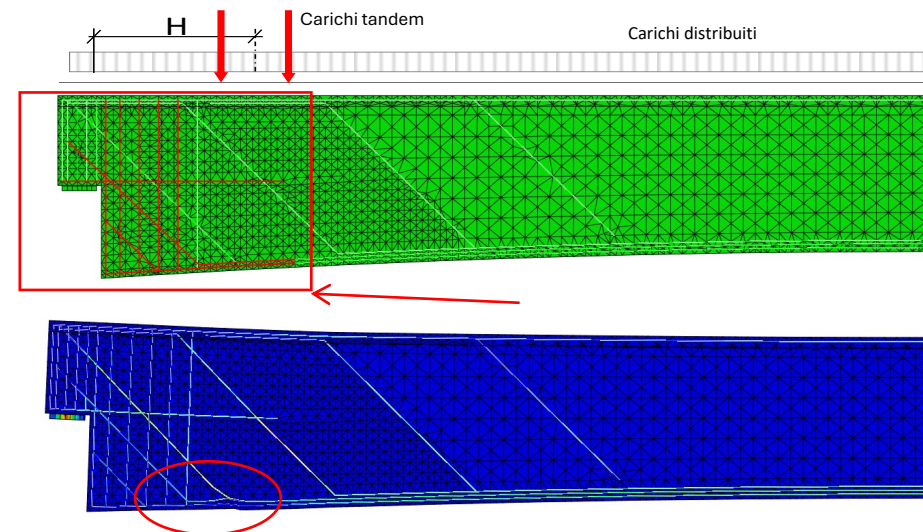
$$F_0 = A_0 \cdot f_{t0}$$

$$F_{corr} = A_{corr} \cdot f_{t,corr}$$



✓ Esempio modellazione trave da ponte

Attraverso le analisi tempo-dipendenti è possibile stimare la vita residua delle strutture implementando la riduzione delle proprietà meccaniche nelle barre d'armatura e nel calcestruzzo fessurato nel tempo. Si considerano i diversi tempi di innesco e propagazione delle varie armature (staffe e barre longitudinali). La struttura viene sottoposta a carico costante mentre diminuiscono le proprietà meccaniche dei materiali nel tempo, fin quando non si registra il collasso.



Crisi per rottura delle armature corrose inferiori

D-B CONCLUSIONI

- IDENTIFICARE L'INSORGENZA DI DEGRADO. SENSORI CHE MISURANO VIBRAZIONI, SPOSTAMENTI, FESSURAZIONI POSSONO IDENTIFICARE ANOMALIE STRUTTURALI PRIMA CHE DIVENTINO CRITICHE.
- MONITORARE L'IMPATTO DEI CARICHI DINAMICI PRODOTTI DAL PASSAGGIO DEI MEZZI, ANCHE CON RIFERIMENTO AI TRASPORTI ECCEZIONALI
- OTTIMIZZARE LE ATTIVITÀ DI ISPEZIONE. RIDUCENDO LA NECESSITÀ DI ISPEZIONI MANUALI.
- PROLUNGAMENTO DELLA VITA UTILE. LA MANUTENZIONE BASATA SU DATI IN TEMPO (QUASI) REALE EVITA SOSTITUZIONI PREMATURE DI COMPONENTI STRUTTURALI, RIDUCENDO IL CONSUMO DI MATERIALI.
- OTTIMIZZAZIONE DELLE RISORSE NELLA MANUTENZIONE. L'ANALISI PREDITTIVA CONSENTE DI RIDURRE IL CONSUMO DI MATERIE PRIME ATTRAVERSO STRATEGIE DI RIPARAZIONE MIRATE, LIMITANDO GLI SCARTI DI DEMOLIZIONE.
- VALUTAZIONE RAPIDA DEI DANNI DA EVENTI ESTREMI. IL MONITORAGGIO IN TEMPO REALE PERMETTE DI VALUTARE GLI EFFETTI DI PIOGGE INTENSE E ALLUVIONI, CONSENTENDO AZIONI TEMPESTIVE.