



1222-2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

ICEA



Lo stato della ricerca sulla valutazione del rischio e la verifica della sicurezza dei ponti e dei viadotti

L'ispezione degli elementi critici: i cavi post-tesi

Padova, 2 Settembre 2021 - Michele Mori, SINA SpA

Il degrado del calcestruzzo e la **CORROSIONE** dell'armatura di precompressione possono generare importanti problemi di affidabilità compromettendo l'effettiva capacità portante della struttura.

La valutazione della corrosione, soprattutto nel caso di cavi scorrevoli, è **molto complicata**.

Gli esami visivi non consentono di stimare l'eventuale corrosione delle barre da precompressione, rendendo quindi necessarie tecniche di indagine più sofisticate per la valutazione dello stato di conservazione delle guaine e dei cavi da precompressione.



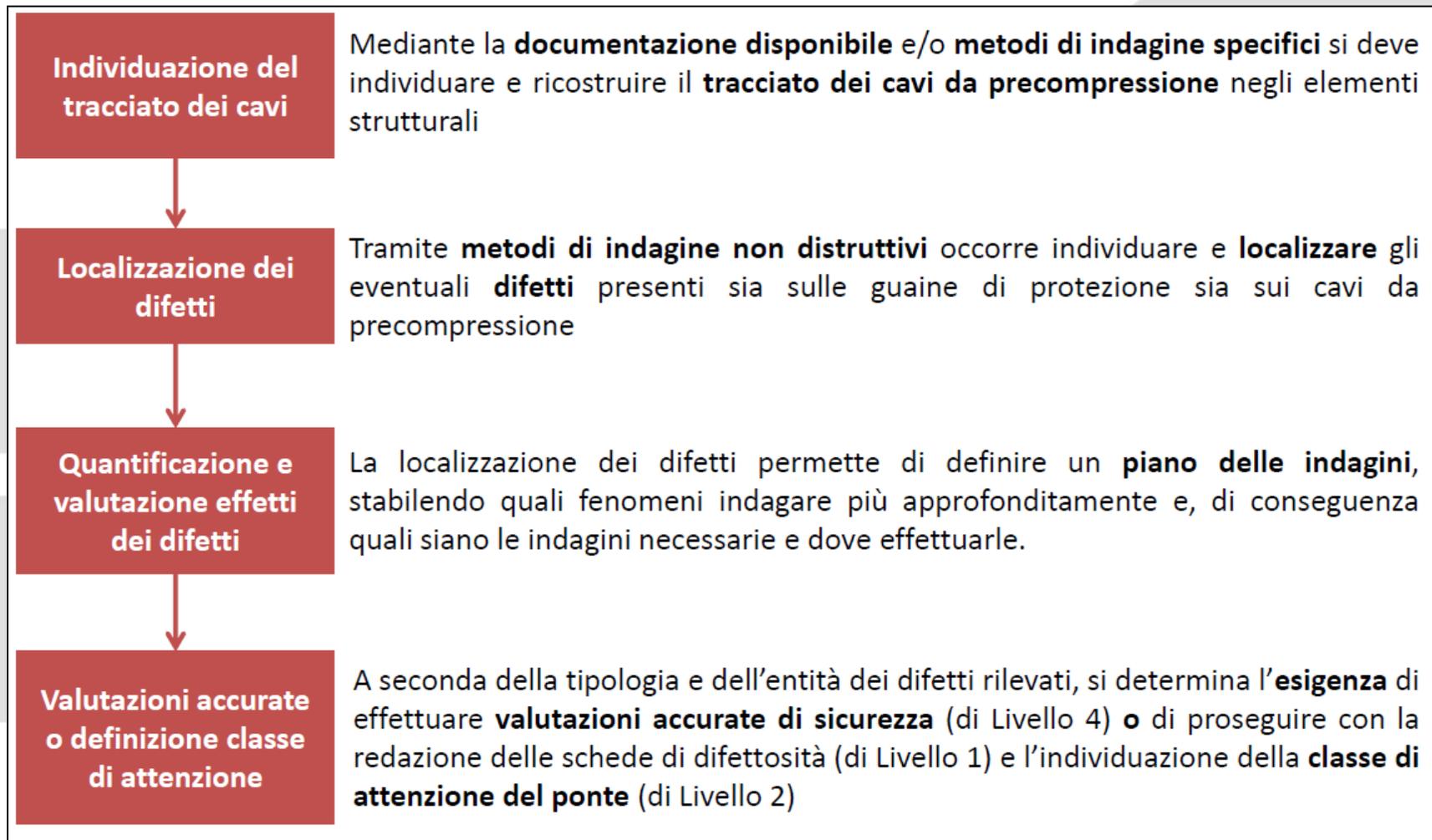
Guaina non riempita



Guaina parzialmente riempita

L'ispezione degli elementi critici: i cavi post-tesi

Le Linee Guida Ponti impongono al par. 7.4, in caso di strutture in calcestruzzo armato precompresso a cavi post-tesi, l'esecuzione di **ispezioni speciali** fornendo una linea d'indirizzo su metodi e finalità dell'approfondimento della conoscenza.





Rimangono **problemi aperti** in merito a:

1. Non esaustiva conoscenza delle **strumentazioni** per le ispezioni speciali;
2. Assenza di comprovate **procedure** per l'esecuzione delle ispezioni speciali;
3. Assenza di adeguate metodologie per la **valutazione degli effetti dei difetti**;
4. Elevato numero di ponti in CAP sul territorio italiano.

E' quindi necessario definire una **metodologia su base sperimentale** per l'esecuzione di ispezioni speciali su ponti in CAP a cavi scorrevoli.

Per questo obiettivo il Gruppo ASTM, per tramite di SINA, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università di Pisa ed imprese di settore, ha attivato nel 2020, **una importante sperimentazione**, tutt'ora in corso per alcuni sviluppi, sul tema specifico. Le risultanze della sperimentazione sono ora condivise all'interno del Tavolo Tecnico appositamente costituito dal MIMS, sulle indagini speciali.

La ricerca sperimentale è costituita dalle seguenti 4 fasi:

PROGRAMMA DELLA RICERCA



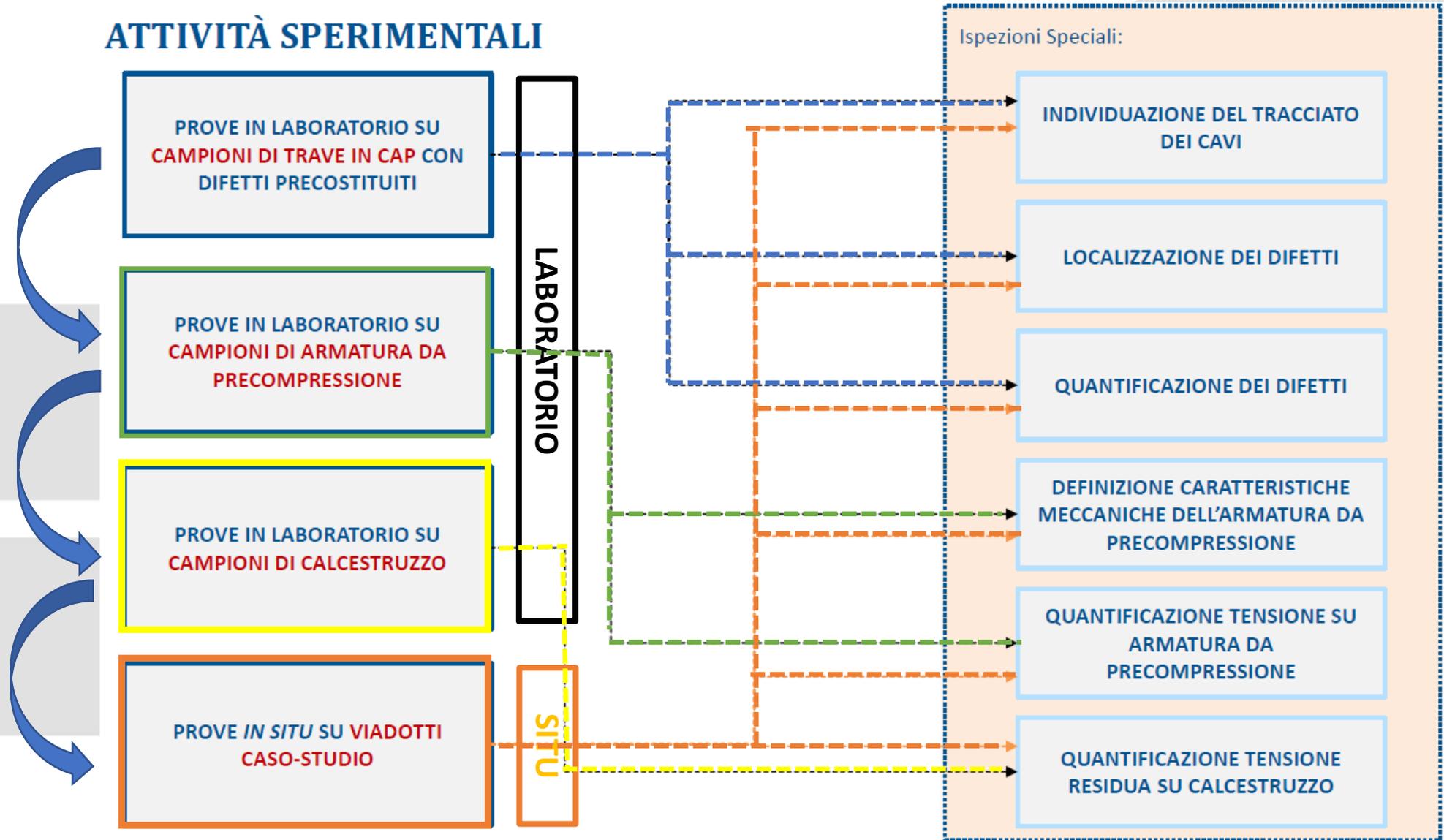
1. definizione delle metodologie di prova ritenute efficaci o promettenti sulla base dello **studio dello stato dell'arte** e della ricerca di nuove strumentazioni e tecnologie;
2. progettazione ed esecuzione di **prove sperimentali in laboratorio per la calibrazione** delle metodologie di prova prescelte su campione noto;
3. progettazione ed esecuzione di **prove sperimentali in situ per la valutazione dell'efficacia** delle metodologie di prova prescelte;
4. definizione della metodologia generale per l'esecuzione delle ispezioni speciali.

La ricerca ha dato come risultato la definizione di una **metodologia sperimentale** per l'esecuzione delle ispezioni speciali che si articola nelle seguenti fasi:

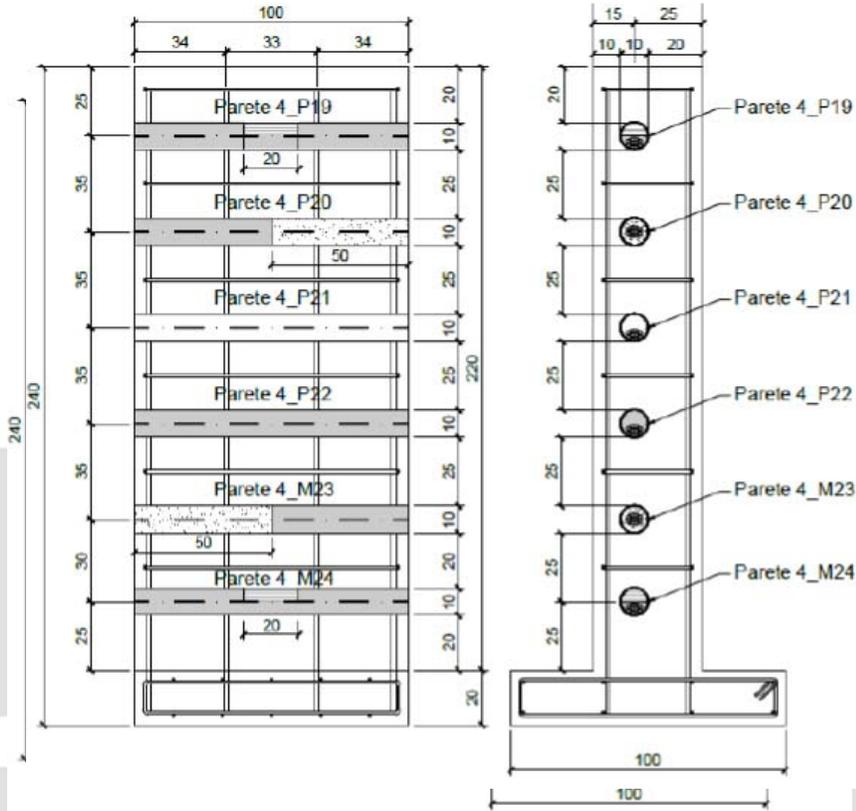
0. Selezione degli elementi da indagare
1. Individuazione del tracciato dei cavi
2. Localizzazione degli eventuali difetti
3. Quantificazione dei difetti
4. Valutazione dello stato tensionale del cls e dell'acciaio
5. Valutazione delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio da precompressione

La sperimentazione ha interessato prima le prove di laboratorio e quindi le prove in situ.

ATTIVITÀ SPERIMENTALI



Laboratorio: Campioni di trave in c.a.p. con difetti precostituiti



Tipologia di guaina	Profondità delle guaine	Dimensione del difetto	Tipologia di difetto
Guaina metallica	15 cm di profondità	Ridotta	Rottura della guaina e dei trefoli
Guaina plastica	25 cm di profondità	Media	Vuoto d'aria nel riempimento della guaina
-	-	Estesa	Presenza di acqua



Laboratorio: esecuzione prove – strumentazione e campioni

Campioni in c.a.p. precompresso		Campioni armatura da precompressione		Campioni di calcestruzzo
Individuazione tracciati	Localizzazione difetti	Caratteristiche meccaniche	Tensione residua	Rilascio tensionale
Georadar 2 GHz	Georadar 2 GHz	Durometro di Leeb	Diffrattometro a Raggi X	Estensimetri
Georadar 3 GHz	Georadar 3 GHz	Durometro UCI ad ultrasuoni	Estensimetri	-
Tomografo ad ultrasuoni	Tomografo ad ultrasuoni	Durometro Vickers	-	-
-	Impact Echo	Resistenza a trazione	-	-



Tipologia	Diametro Nominale [mm]
Filo singolo	5.20
Treccia a 3 fili	6.50
Trefolo	9.30
Trefolo	15.20
Trefolo	15.70

DESCRIZIONE DEI CAMPIONI
 Cubetti in CLS di dimensioni 15x15x15cm da porre in compressione a livelli noti di carico



Laboratorio: esecuzione prove – esiti

Campioni in c.a.p. precompresso		Campioni armatura da precompressione		Campioni di calcestruzzo
Individuazione tracciati	Localizzazione difetti	Caratteristiche meccaniche	Tensione residua	Rilascio tensionale
Georadar 2 GHz	Georadar 2 GHz	Durometro di Leeb	Difrattometro a Raggi X	Estensimetri
Georadar 3 GHz	Georadar 3 GHz	Durometro UCI ad ultrasuoni	Estensimetri	-
Tomografo ad ultrasuoni	Tomografo ad ultrasuoni	Durometro Vickers	-	-
-	Impact Echo	Resistenza a trazione	-	-

GPR 2GHz: Ottima ripetibilità, facilità e rapidità di acquisizione e visualizzazione dei dati;

GPR 3GHz: i radargrammi risultano più nitidi e, in caso di armatura lenta fitta, si riescono ad individuare, anche se con difficoltà, le guaine retrostanti. Si ha però una minor profondità di indagine e le prove comportano maggiori difficoltà di esecuzione.

GPR ed Impact Echo non hanno fornito risultati soddisfacenti.

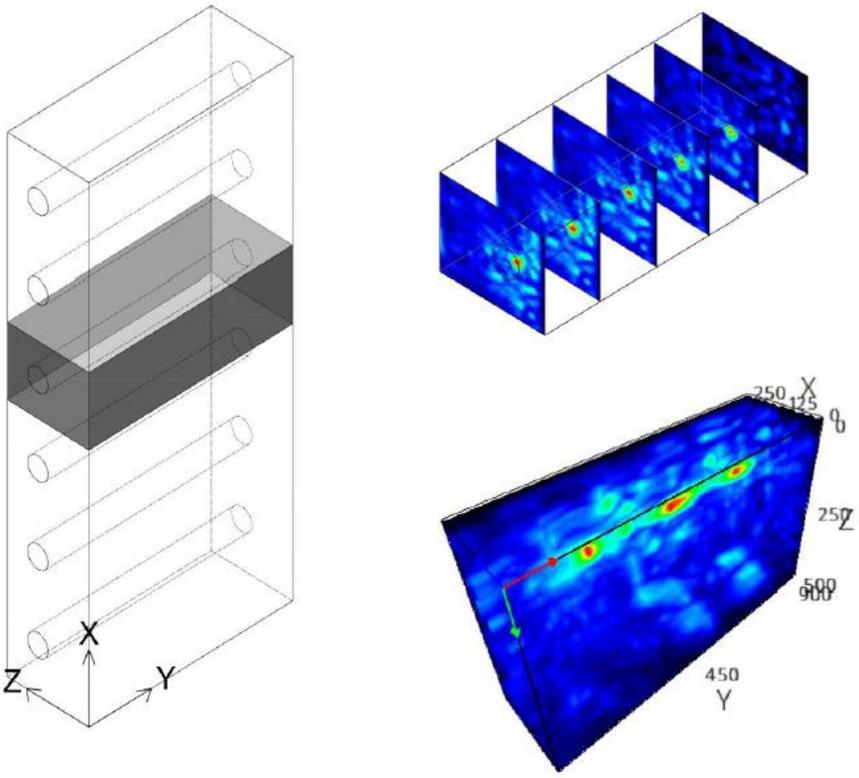
Il **tomografo ad ultrasuoni** ha invece fornito buone indicazioni.

Tramite i **modelli numerici** è stato possibile valutare i seguenti effetti **TENSIONI RESIDUE**

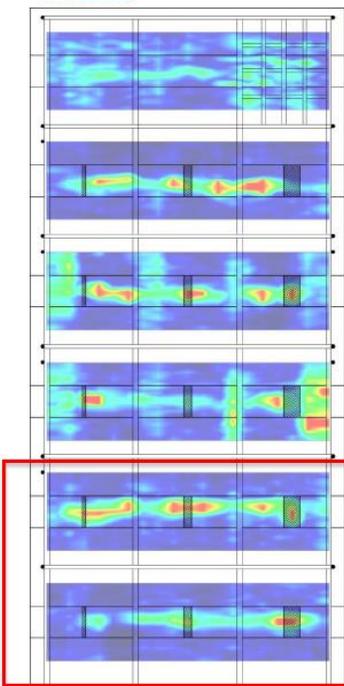
1. Riduzione, per effetto Poisson, dell'area nominale ovvero **differenza tra tensioni effettive e ingegneristiche.**
2. **Non omogeneità della distribuzione tensionale nella sezione del trefolo.**
3. **Variabilità della tensione sulla superficie esterna, lungo la circonferenza del filo esterno.**
4. **Variabilità della tensione sulla superficie esterna, lungo la direzione longitudinale del filo esterno.**
5. **Variabilità della tensione rilevabile al variare dell'angolo** tra asse di misurazione e asse longitudinale locale del filo esterno

La configurazione adottata nella sperimentazione è caratterizzata dall'**uso di soli estensimetri lineari**, da applicarsi **parallelamente all'asse longitudinale della trave**, e dall'esecuzione di uno o due tagli in direzione trasversale, di fronte e sul retro dell'estensimetro.

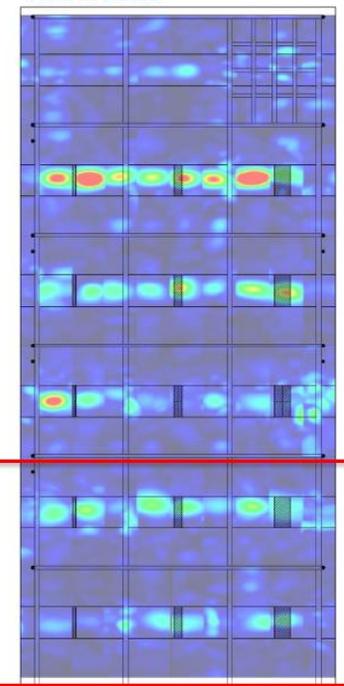
INDAGINI SPECIALI – PROVE DI LABORATORIO CON TOMOGRAFO LINEARE



LINEARE



MATRICIALE



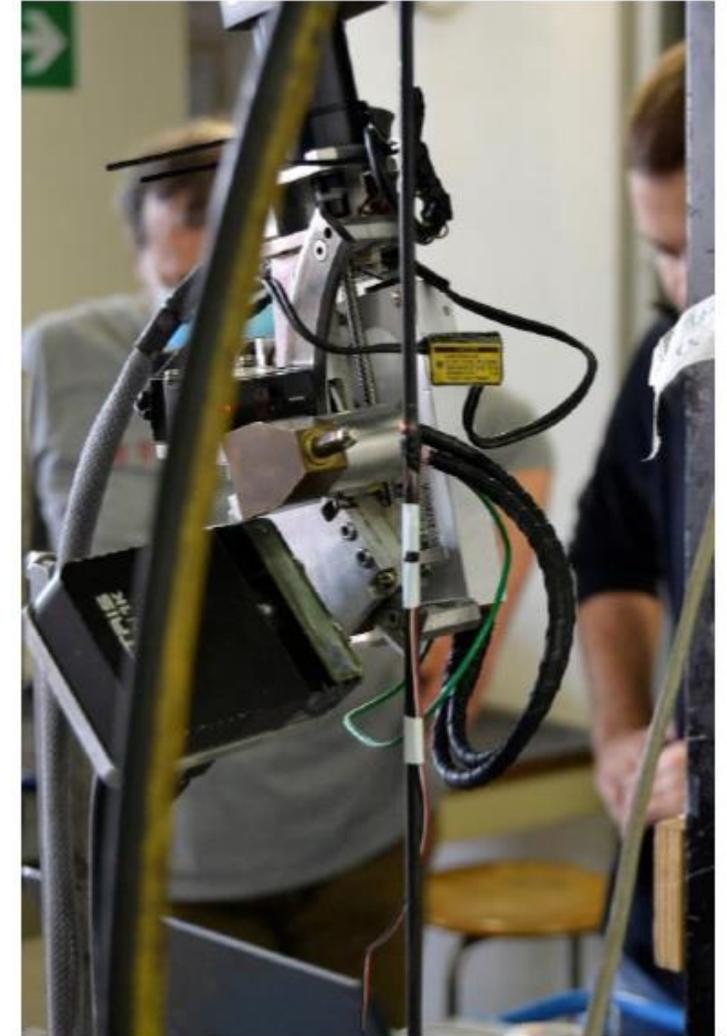
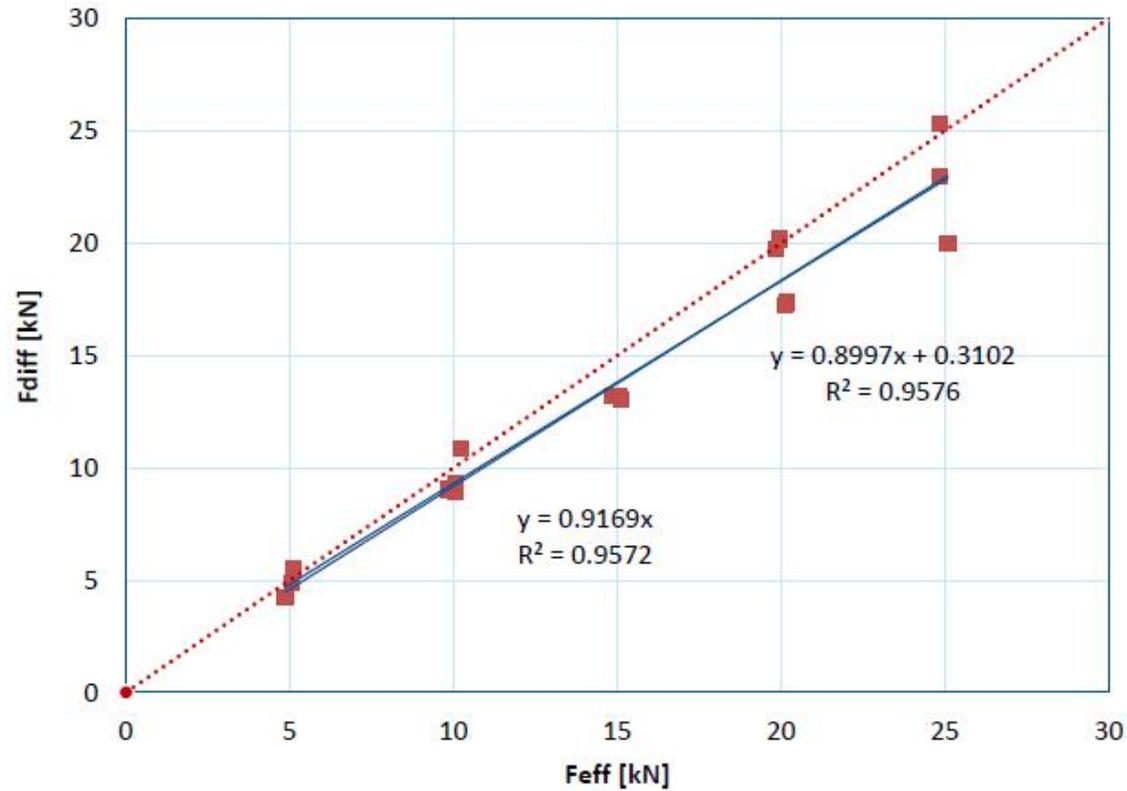
Difetti piccoli in guaine METALLICHE

M1		M1
M2	Vuoto d'aria tra trefoli, tomografo lato difetto	M2 Vuoto d'aria tra trefoli, tomografo lato difetto
M3	Vuoto d'aria tra trefoli, tomografo lato opposto difetto	M3 Vuoto d'aria tra trefoli, tomografo lato opposto difetto
M4	Vuoto d'acqua, tomografo lato opposto difetto	M4 Vuoto d'acqua, tomografo lato opposto difetto
M5	Vuoto d'aria laterale (settore circolare), tomografo lato difetto	M5 vuoto d'aria laterale (settore circolare), tomografo lato difetto
M6	Vuoto d'aria laterale (settore circolare), tomografo lato opposto difetto	M6 vuoto d'aria laterale (settore circolare), tomografo lato opposto difetto

DEFINIZIONE DELLE TENSIONI RESIDUE **ARMATURA DA PRECOMPRESSIONE**

Prove in laboratorio

FILO SINGOLO 6 mm



L'ispezione degli elementi critici: i cavi post-tesi

INDAGINI SPECIALI – STATO TENSIONALE ARMATURA - DIFRATTOMETRO



Prove in situ: verifica dell'applicabilità.

Individuazione opere e studio dati di base

1. Viadotto 1 ('60)

- 3 travi in cap per campata
 - 9 campate da 30 m
 - 2 campate da 24 m

33 TRAVI

2. Viadotto 2 ('70)

- 4 travi in cap per campata
 - 8 campate da 35 m

32 TRAVI

3. Viadotto 3 ('90)

- 6 travi in cap per campata
 - 9 campate da 40 m
 - 2 campate da 30.5 m

66 TRAVI

4. Viadotto 4 ('60)

- 3 travi in cap per campata
 - 12 campate da 40 m ca.

36 TRAVI

Prove in situ: verifica dell'applicabilità. FASE1: prove non distruttive

1. Individuare (o verificare) il tracciato dei cavi

Georadar 2 GHz

Georadar 3 GHz



2. Localizzare i difetti

Georadar 2 GHz

Georadar 3 GHz

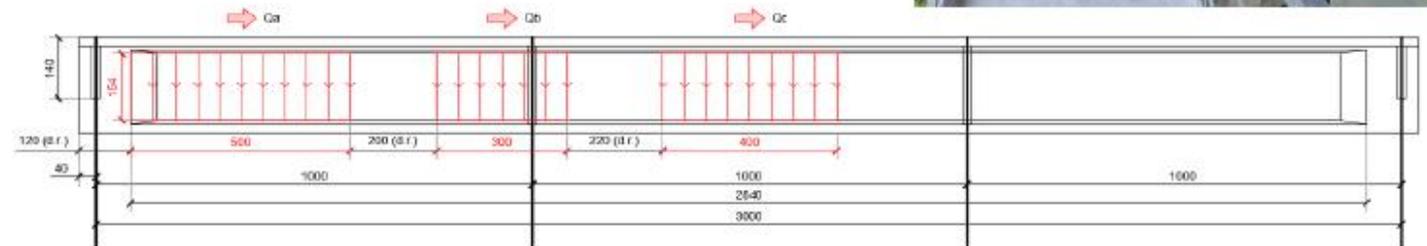
Tomografo ad ultrasuoni

Impact Echo

Icor per velocità di corrosione

Prove di carbonatazione

Raggi X



Prove in situ: verifica dell'applicabilità. FASE2: prove semi-distruttive

1. Quantificare i difetti

Endoscopie
Saggi diretti



2. Quantificare la tensione residua presente nel calcestruzzo

Prove di rilascio tensionale



3. Quantificare la tensione residua presente nell'armatura da precompressione

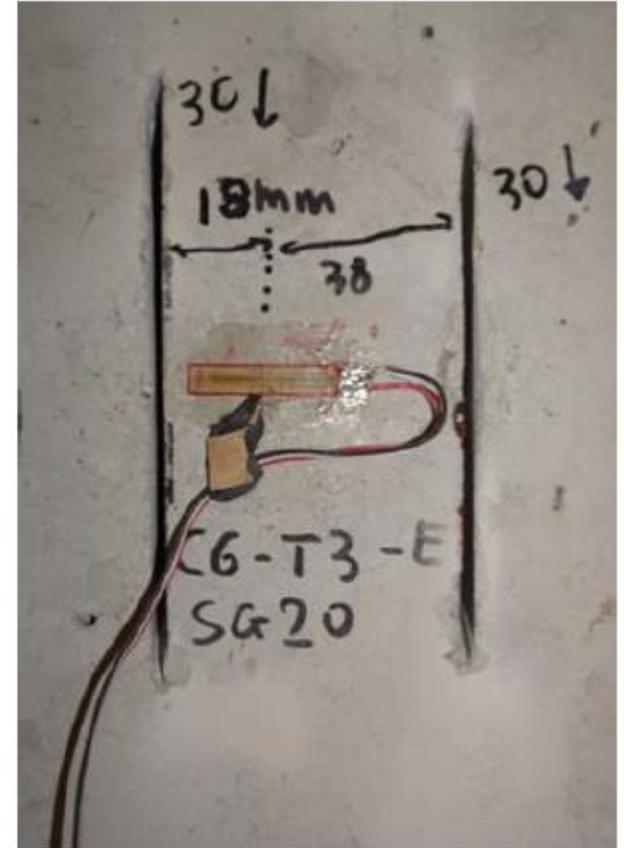
Prove diffrattometriche



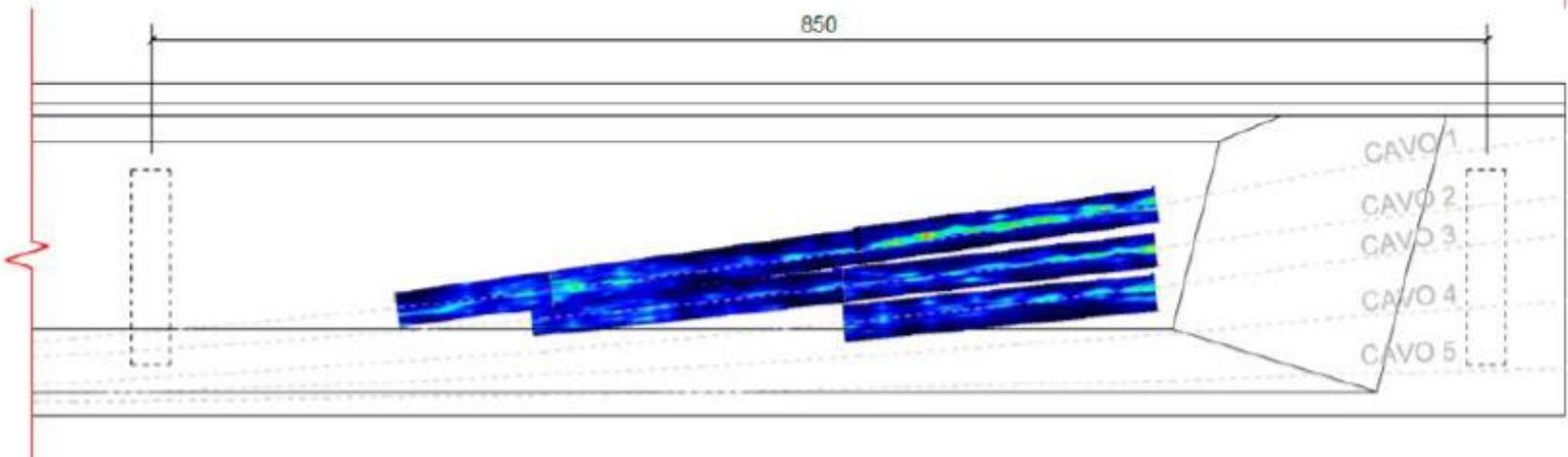
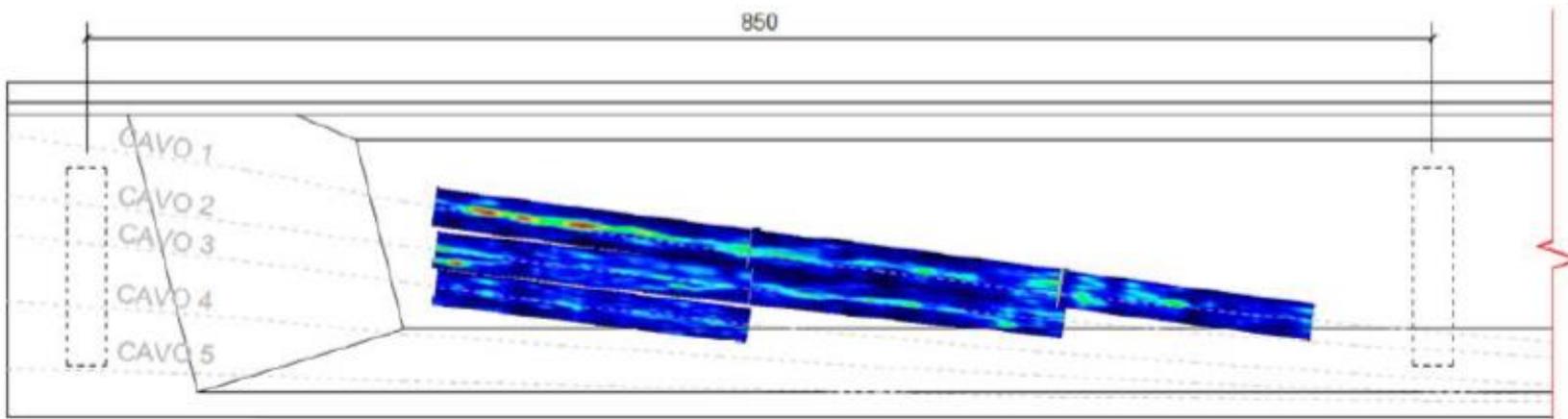
4. Definire le caratteristiche meccaniche dell'acciaio da precompressione

Prove con durometri portatili

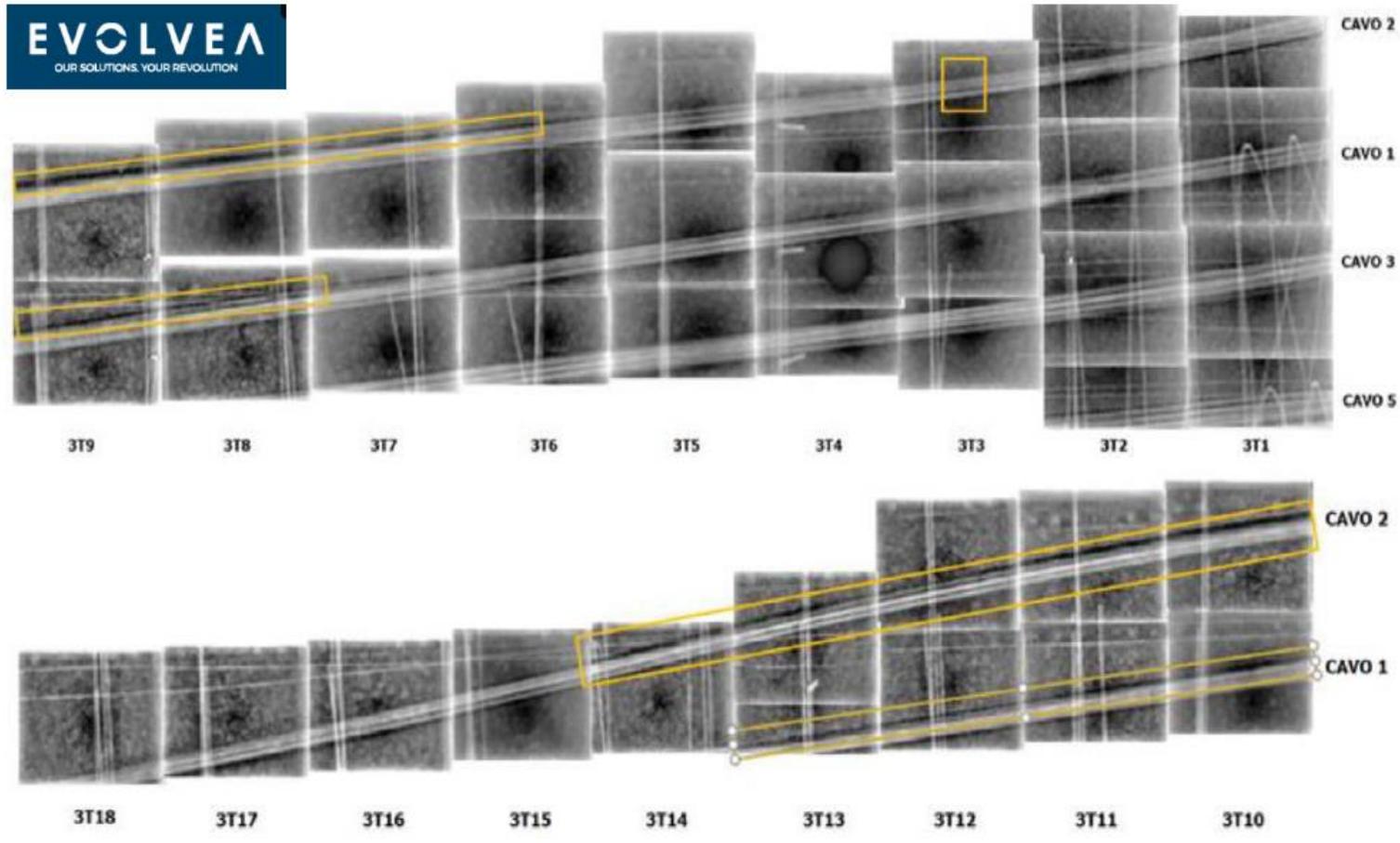
INDAGINI SPECIALI – STATO TENSIONALE CLS - ESTENSIMETRI



INDAGINI SPECIALI IN SITU – IDENTIFICAZIONE DIFETTI - TOMOGRAFO



INDAGINI SPECIALI IN SITU – IDENTIFICAZIONE DIFETTI – RAGGI X





SVILUPPI IN CORSO

1. Prove in situ con **Magnetic Flux Leakage**;
2. Prove in laboratorio con Durometro su campioni di trefolo e barre di **armatura lenta**;
3. Sperimentazione su **barre dywidag**;
4. **Sperimentazione su viadotti dismessi** per misure stati tensionali acciaio e cls, caratterizzazione dinamica, prove acustiche, ...validazione/calibrazione dei modelli;
5. Sviluppo di modelli atti a analizzare l'influenza di diversi scenari di danno al fine di riconoscere i difetti che maggiormente influenzano la sicurezza del ponte;
6. Sviluppo di modelli strutturali dei viadotti mirati alla **caratterizzazione dello stato tensionale conseguente all'applicazione dei soli carichi permanenti e della precompressione prevista in fase di progetto.**