



Rete dei Laboratori Universitari  
di Ingegneria Sismica e Strutturale

## Convegno Finale



# La sperimentazione delle Linee Guida per la classificazione e la gestione del rischio, la valutazione della sicurezza e il monitoraggio dei ponti esistenti

## Tavola rotonda 2 – La ricerca scientifica per la sicurezza dei ponti



Roma, 19-20-21 novembre 2025



## LINEE GUIDA PONTI ESISTENTI

LUNGO IL TRACCIATO DELL'AUTOSTRADA DEL BRENNERO:

352 OPERE DI COMPETENZA CON LUCE > 6,0 M CHE RIENTRANO NEL CAMPO DI APPLICAZIONE LINEE GUIDA

74 PONTI E VIADOTTI CON IMPALCATO IN C.A.P. POST-TESO

27 PONTI E VIADOTTI CON PRESENZA DI SELLE GERBER



# LINEE GUIDA PONTI ESISTENTI

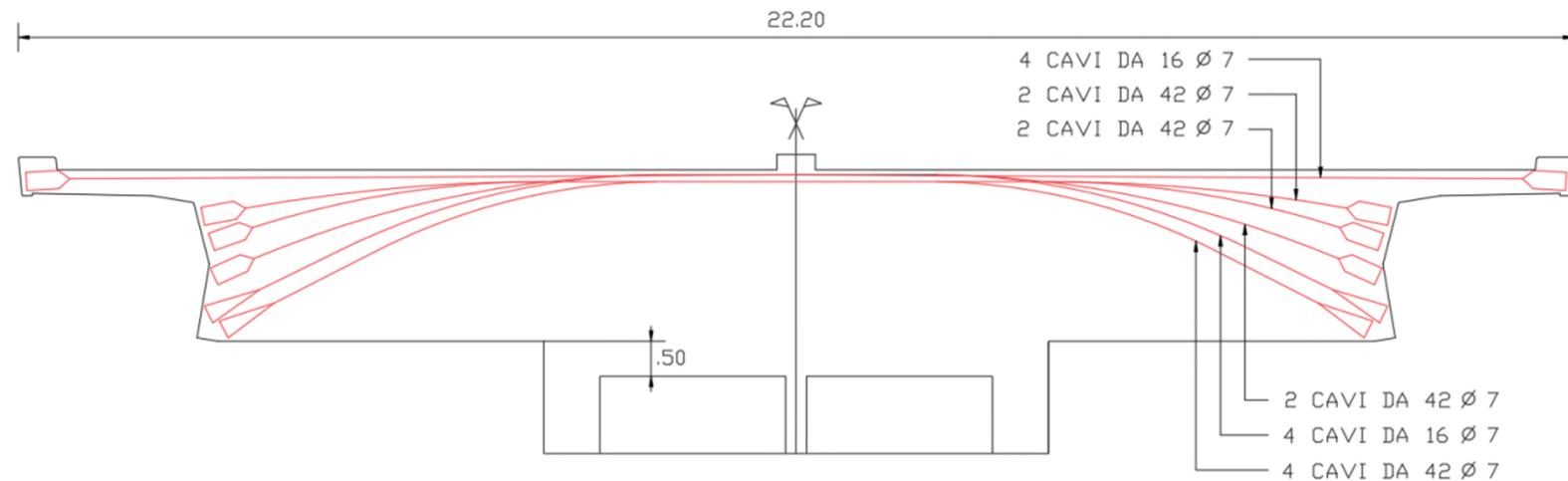
Paragrafo 3.3 delle Linee Guida «**DEFINIZIONE DEGLI ELEMENTI CRITICI**»

*Gli elementi critici dipendono dalla tipologia strutturale del ponte in esame. A titolo di esempio, sono considerati elementi critici o condizioni critiche ai fini della determinazione della classe di attenzione strutturale e fondazionale (§ 4.2) le selle Gerber, i cavi da precompressione, quadri fessurativi molto estesi ed intensi, meccanismi di incipiente perdita di appoggio o cinematismi in atto, giunzioni di elementi chiave per la staticità del ponte, scalzamento delle fondazioni. In particolare, si sottolinea l'importanza di ispezionare visivamente gli elementi critici, laddove possibile, o altrimenti di segnalare l'impossibilità della loro ispezione diretta e quindi la mancata completa valutazione delle loro condizioni di conservazione.*



PER GLI ELEMENTI CRITICI SI PREVEDONO ISPEZIONI SPECIALI, INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA E MONITORAGGIO CONTINUO.

# INDAGINI SPECIALI CAVI DI PRECOMPRESSESIONE POST-TESI



Indagini pacometriche, indagini Georadar, tomografie ultrasoniche mirate alla individuazione del tracciato reale dei cavi e alla localizzazione di eventuali vuoti o difetti.

Demolizione superficiale del calcestruzzo copriferro e ispezione visiva dei cavi.



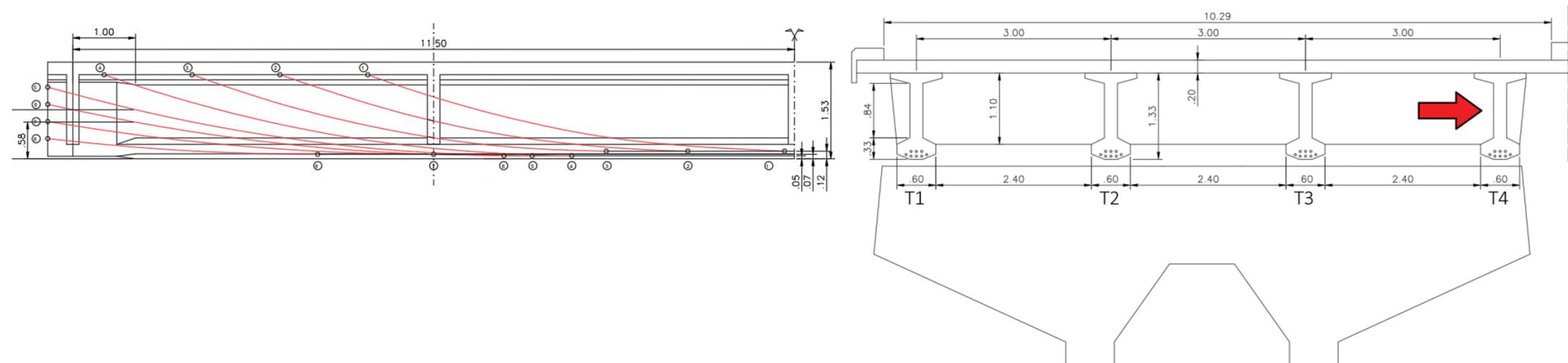
Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG



Viadotto Castelfinestra (BZ)



# INDAGINI SPECIALI CAVI DI PRECOMPRESSEIONE POST-TESI



Iniezione di malta cementizia al fine di eliminare eventuali vuoti all'interno delle guaine dei cavi di precompressione post-tesi, per proteggerli dai potenziali fenomeni di corrosione e aumentarne la durabilità.



Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG

# INDAGINI SPECIALI CAVI DI PRECOMPRESSE POST-TESI

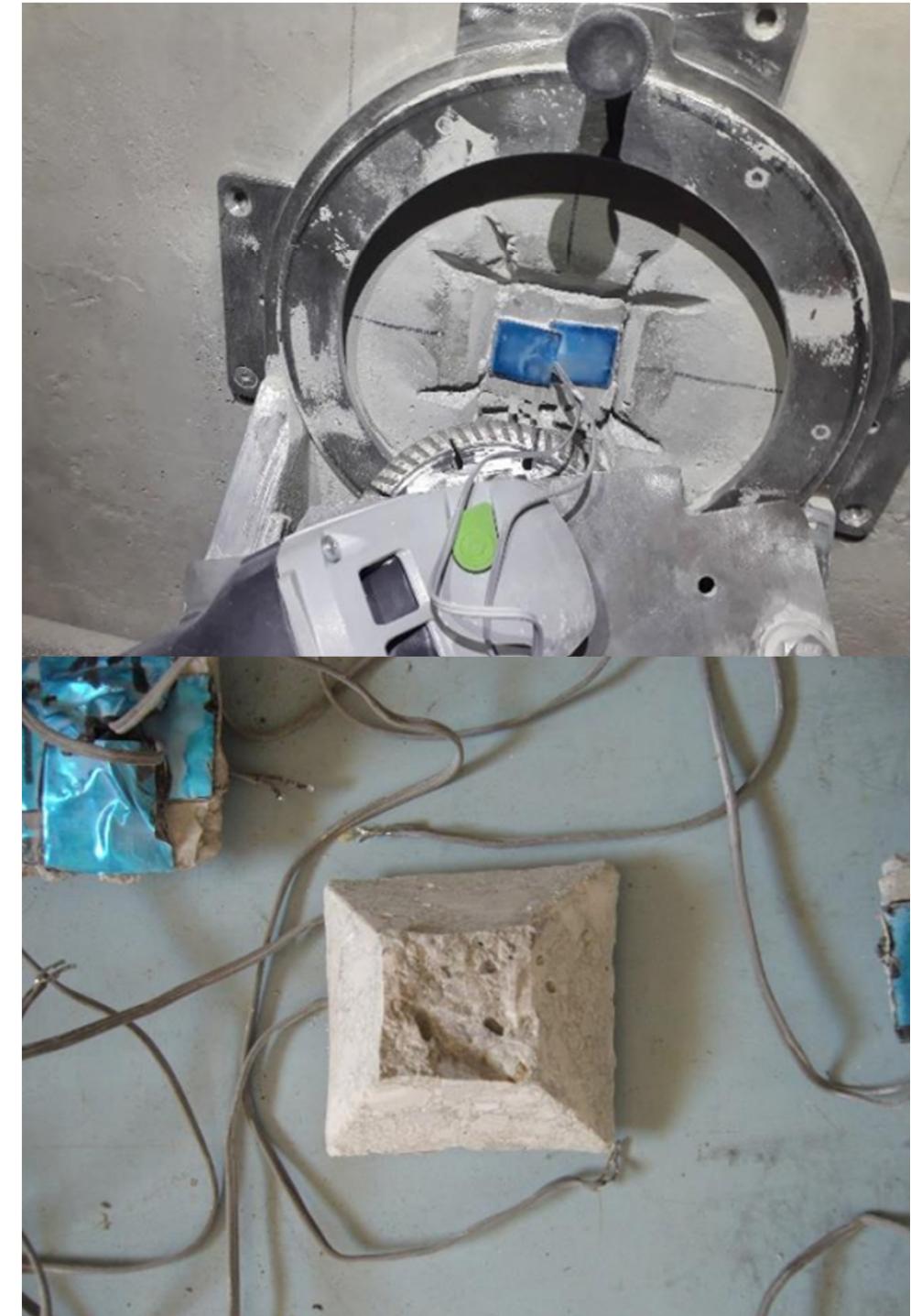
## PROVE DI RILASCIO TENSIONALE SU TRAVI IN C.A.P.

Provino tronco – piramidale: lato base 60 mm – altezza 24 mm

Conoscere lo **stato tensionale attuale** delle travi precomprese

Monitoraggio della variazione di compressione nel tempo

I valori di  $\varepsilon$  misurati indicano l'allungamento dell'estensimetro applicato durante la prova, a cui corrisponde un originale stato di compressione dell'elemento di calcestruzzo prima del taglio.





# INDAGINI SPECIALI CAVI DI PRECOMPRESIONE POST-TESI – PROVE DI RILASCIO

Sondaggio pacometrico per individuazione armature

Installazione sensori (estensimetri a  $120\ \Omega$ )

Esecuzione di tagli simmetrici a  $45^\circ$

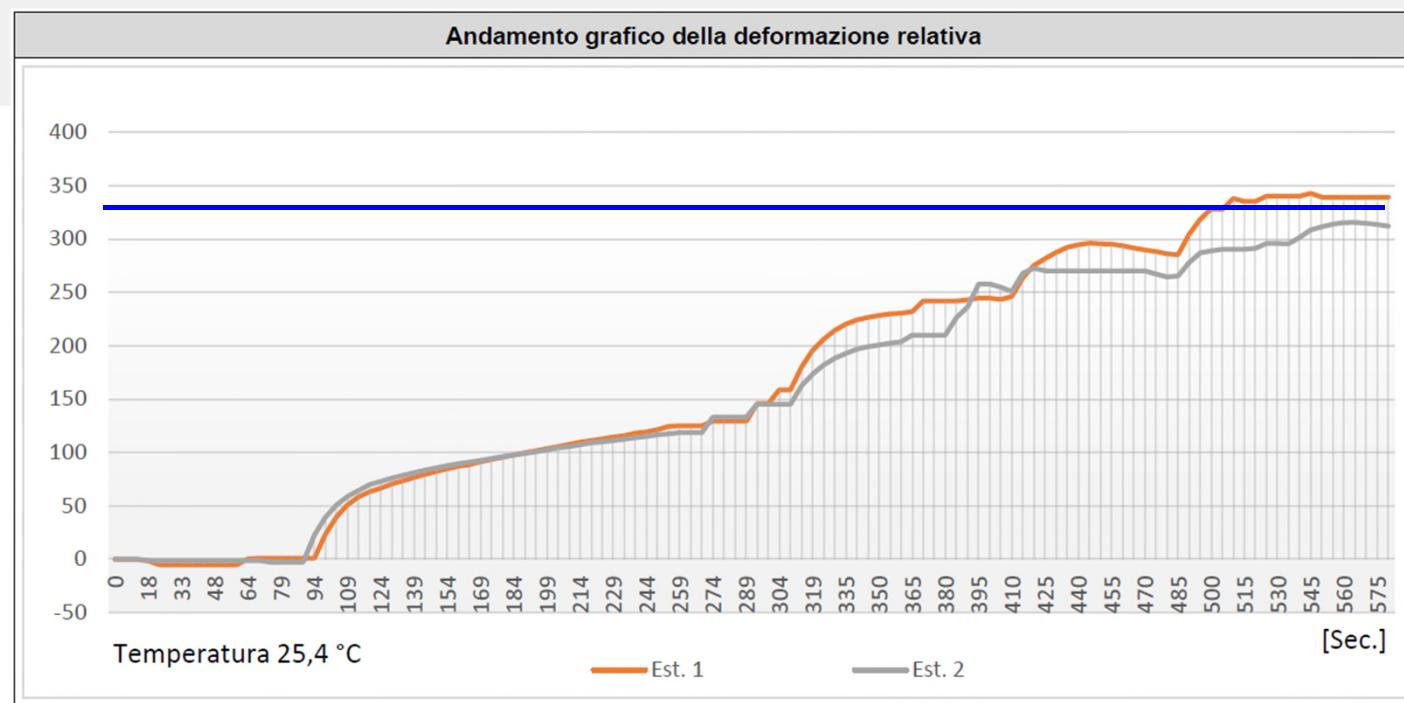
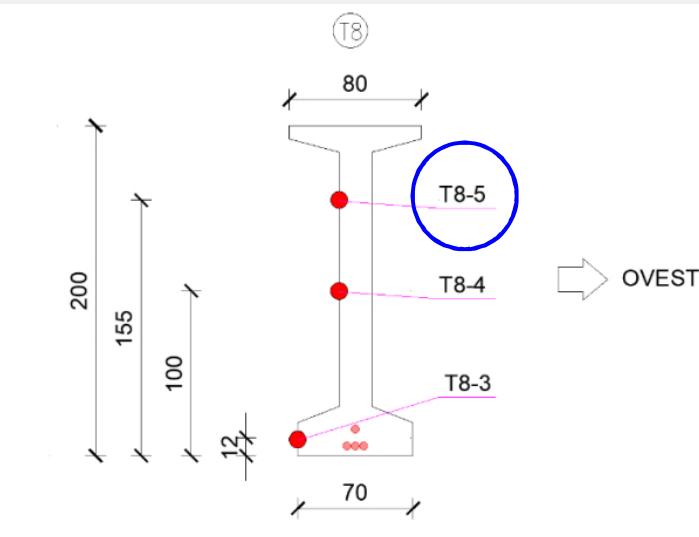
Acquisizione misure

## Prova T8 – 5

Estensimetro orizzontale	Deformazioni medie [ $\mu\epsilon$ ]
Superiore	340
Inferiore	315
<b>Media</b>	<b>328</b>



Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG



# INDAGINI SPECIALI CAVI DI PRECOMPRESSEIONE POST-TESI – PROVE DI RILASCIO

**Confronto con deformazione analitica in condizioni di ponte scarico**

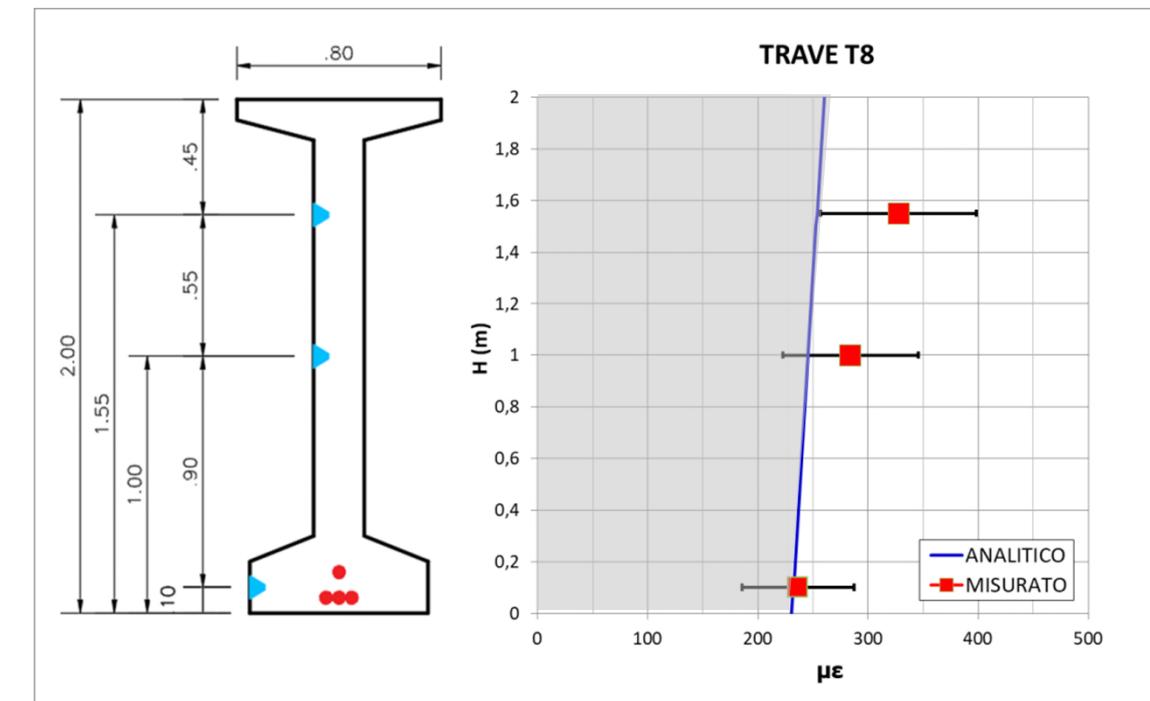
**Calcolo analitico della tensione nella posizione dei provini**

**Calcolo della deformazione attraverso il modulo elastico**

Modulo elastico determinato dalle prove di laboratorio eseguite su carote prelevate in situ (UNI EN 12390)



A22 Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG



Stato di compressione reale maggiore del valore analitico → post-tensione efficace

Prova	Deformazioni medie [ $\mu\epsilon$ ]	H [cm]
T8-5	328	155
T8-4	284	100
T8-3	205	12
T1-2	225	12
T1-1	236	12

# ISPEZIONE E MONITORAGGIO DELLE OPERE

## EVOZIONE DELLE TECNICHE DI INDAGINE, ISPEZIONE E MONITORAGGIO

1990

- Ispezioni visive periodiche
- Rilievi strumentali

2024

- Utilizzo di droni per l'ispezione delle opere in punti inaccessibili
- Azzeramento interferenze con il traffico autostradale
- Incremento della sicurezza
- Pianificazione più efficiente degli interventi manutentivi



Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG



# ISPEZIONE E MONITORAGGIO DELLE OPERE

2024

30 tecnici con abilitazione di pilota UAS livello Open cat. A2. Quadro normativo italiano:  
- LG – 2023 – 006/UAS  
- LG – 2020/001 – NAV

**ENAC** – *Ente Nazionale per l'Aviazione Civile*



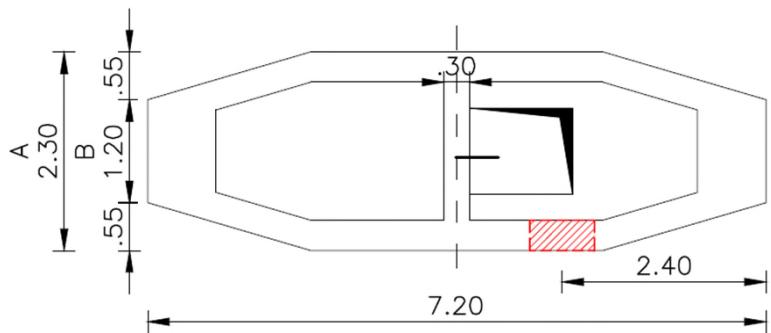
Ispezione approfondita degli elementi più sensibili per la stabilità delle opere d'arte (appoggi, selle Gerber, dispositivi sismici, ecc.)



# ISPEZIONE E MONITORAGGIO DELLE OPERE

## ESECUZIONE DI VIDEOISPEZIONI ALL'INTERNO DELLE STRUTTURE CAVE

Le indagini endoscopiche permettono il rilievo e l'individuazione di eventuale degrado (umidità, vespi, armature affioranti, vuoti) all'interno dei corpi di strutture cave non accessibili (pile, impalcati a cassone).

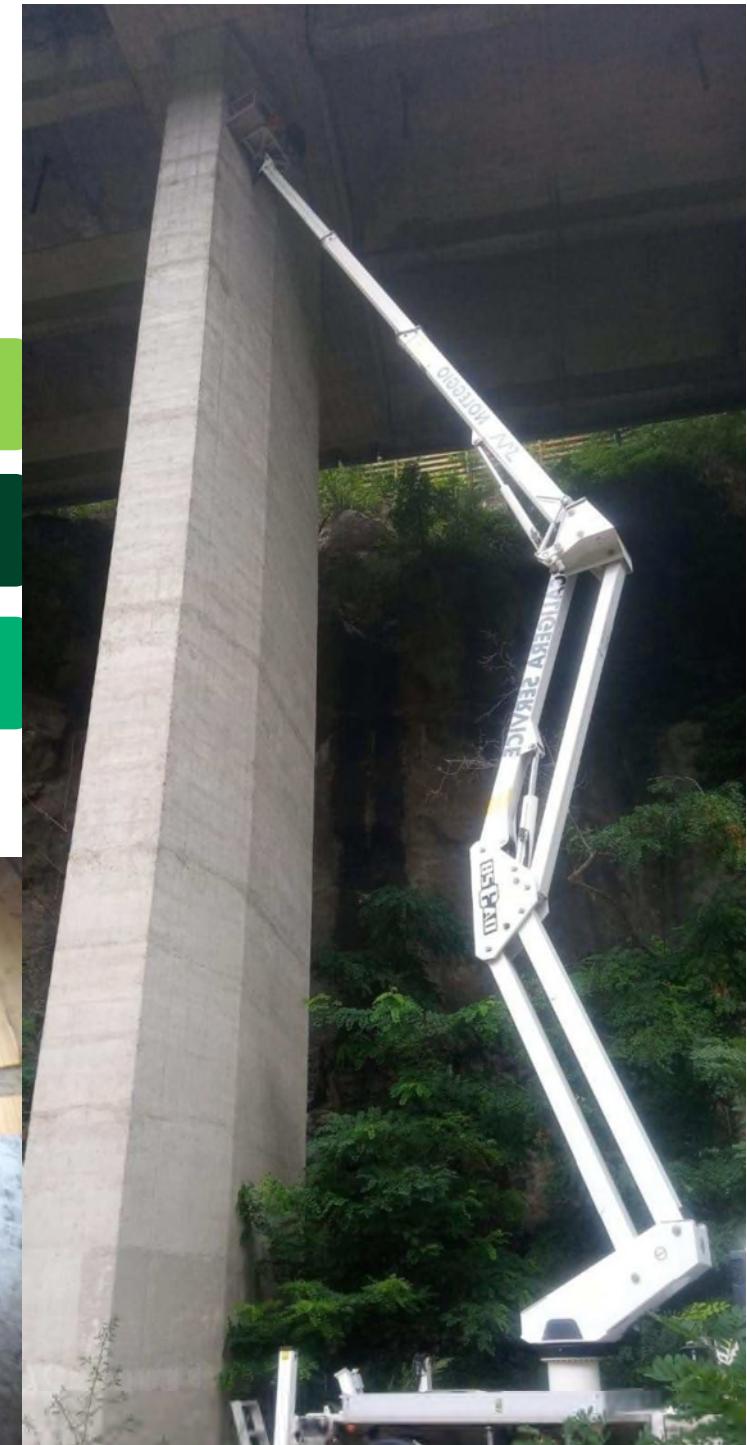


Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG

Carotaggio  $\phi$  102 mm in sommità per aperture

Endoscopio a fibra ottica, sistema di lenti e luci guida

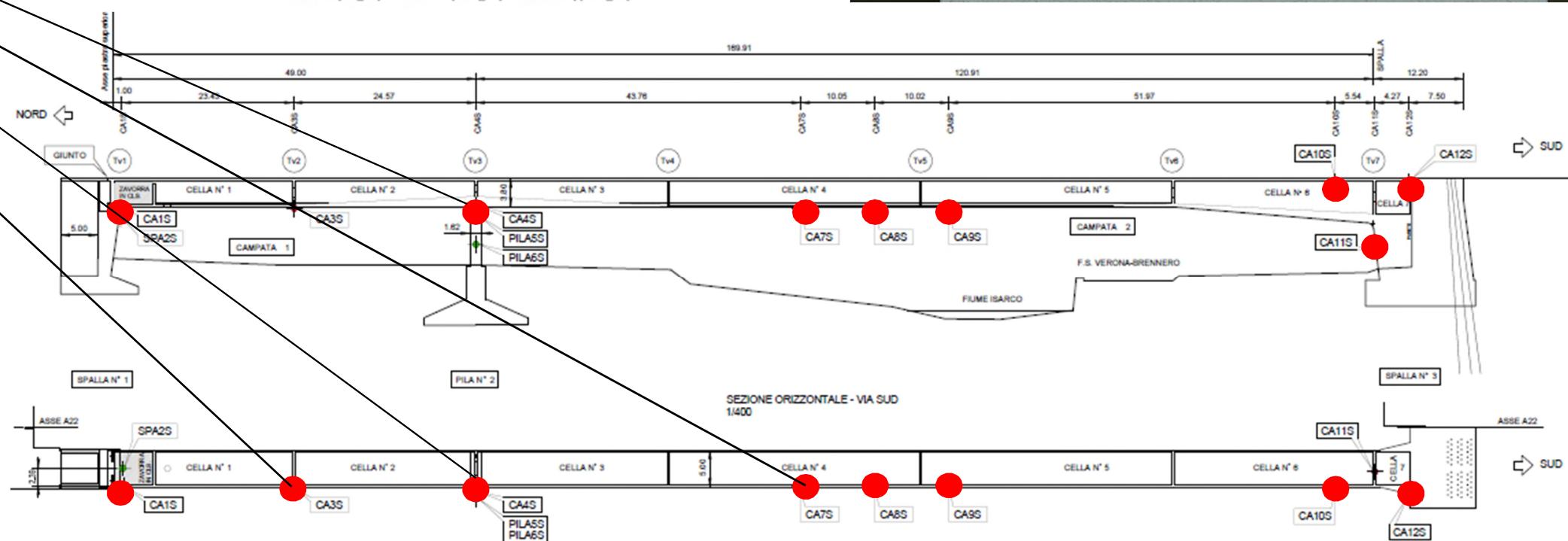
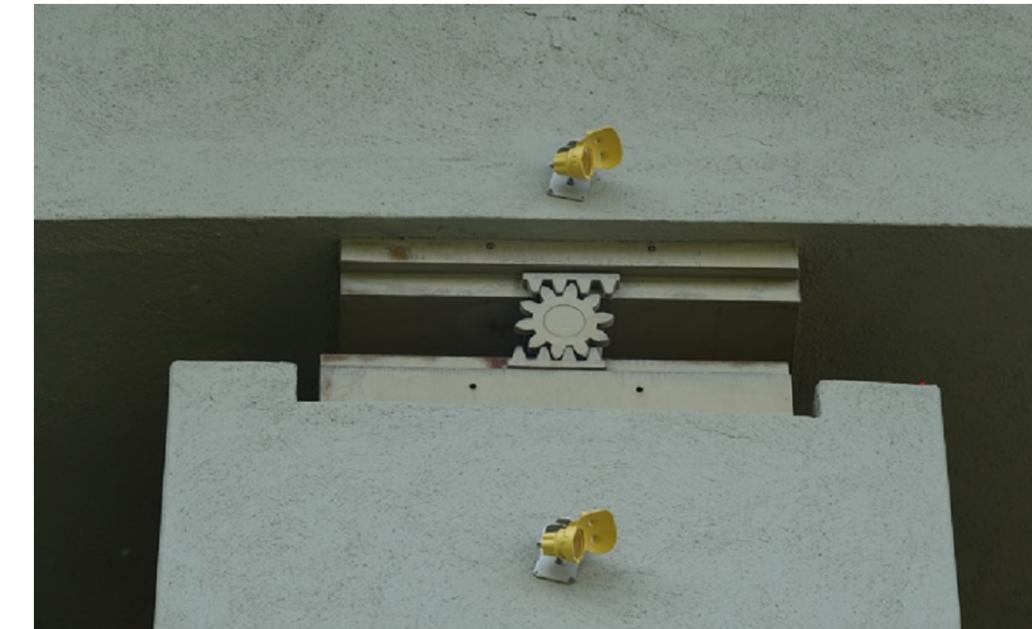
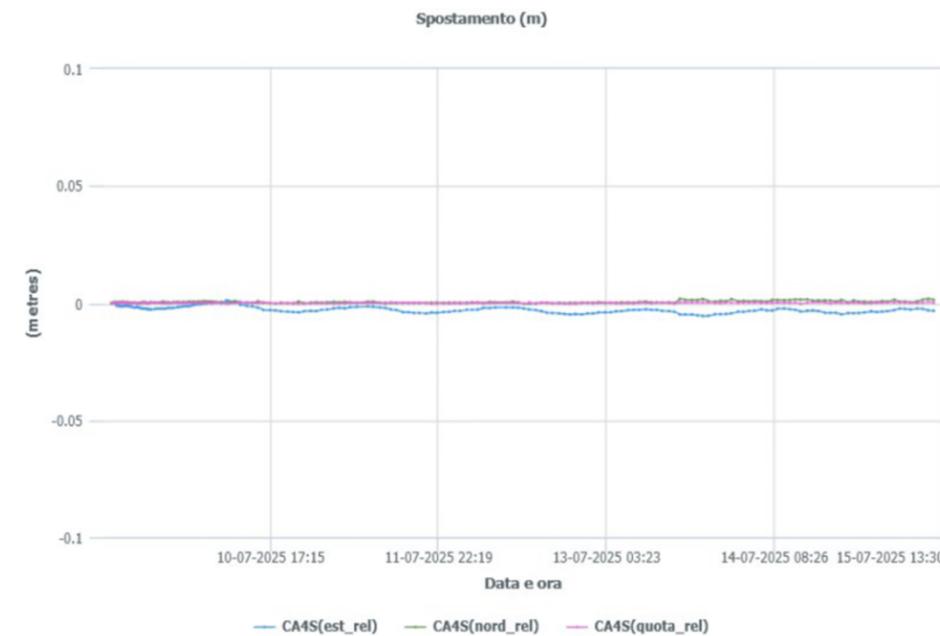
Telecamera VISIOPROBE per le riprese interne



# ISPEZIONE E MONITORAGGIO DELLE OPERE

## MONITORAGGIO ELEMENTI SENSIBILI: APPOGGI

Monitoraggio topografico appoggi mobili a rullo Viadotto Cardano 1

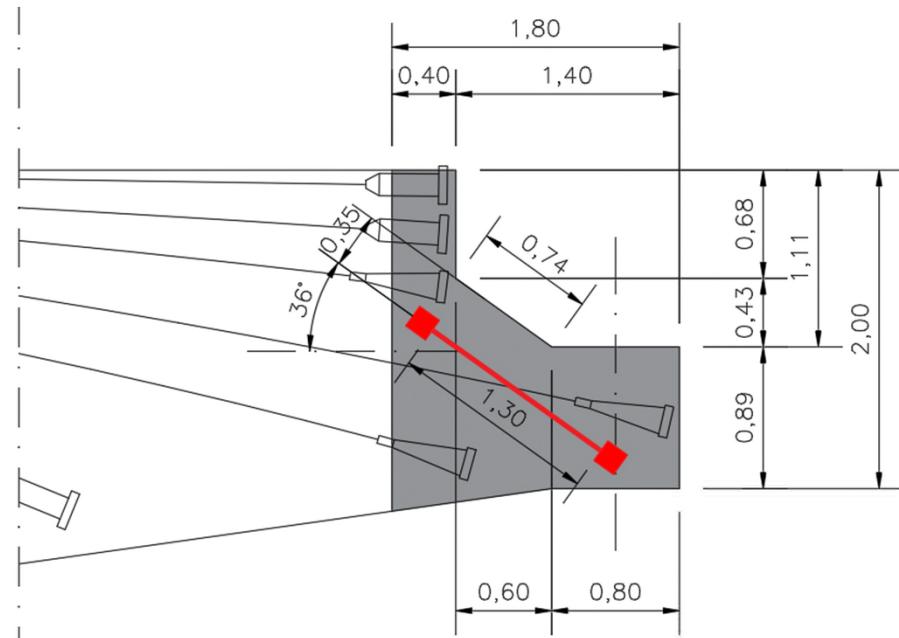
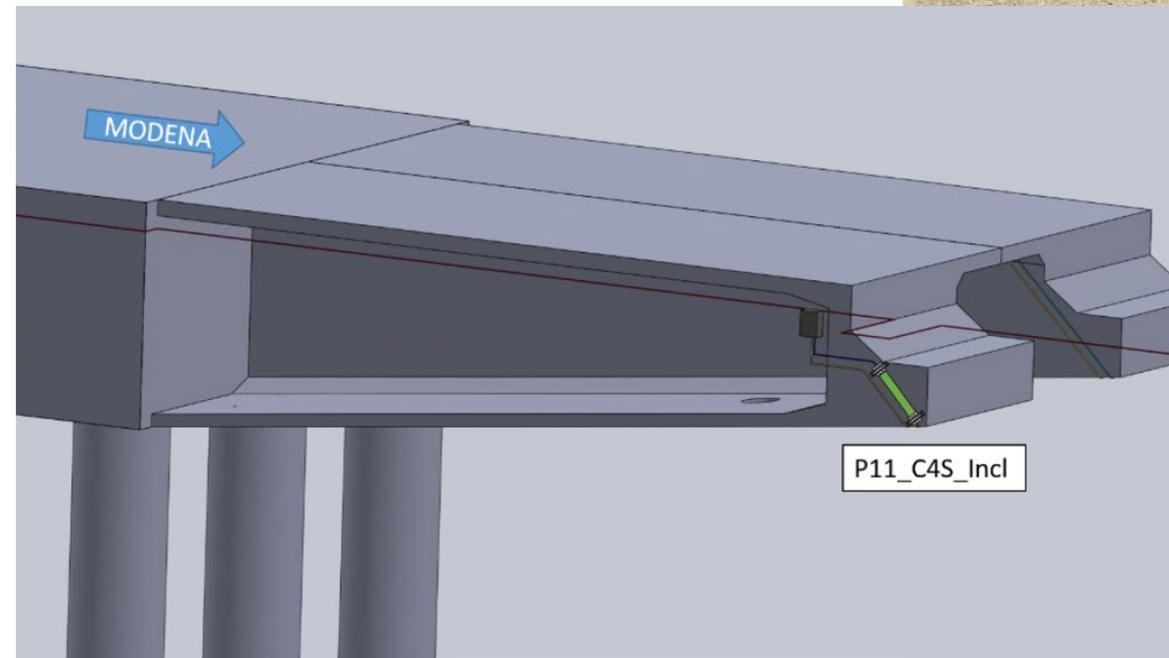


# ISPEZIONE E MONITORAGGIO DELLE OPERE

## MONITORAGGIO ELEMENTI SENSIBILI: SELLE GERBER

Monitoraggio strutturale delle **selle Gerber** del ponte sul fiume Po:

- **Misura degli spostamenti:**  
Fessurimetri elettrici di tipo potenziometrico (50 – 100mm)
- **Misura delle deformazioni e delle microfessure:**  
Sensori MuST a fibra ottica a reticolo di Bragg (FBG)



Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG



# LA MANUTENZIONE DELLE OPERE D'ARTE

Prolungamento della vita utile grazie ai numerosi interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria eseguiti nel corso degli anni

Interventi di **consolidamento degli elementi critici** dei ponti esistenti

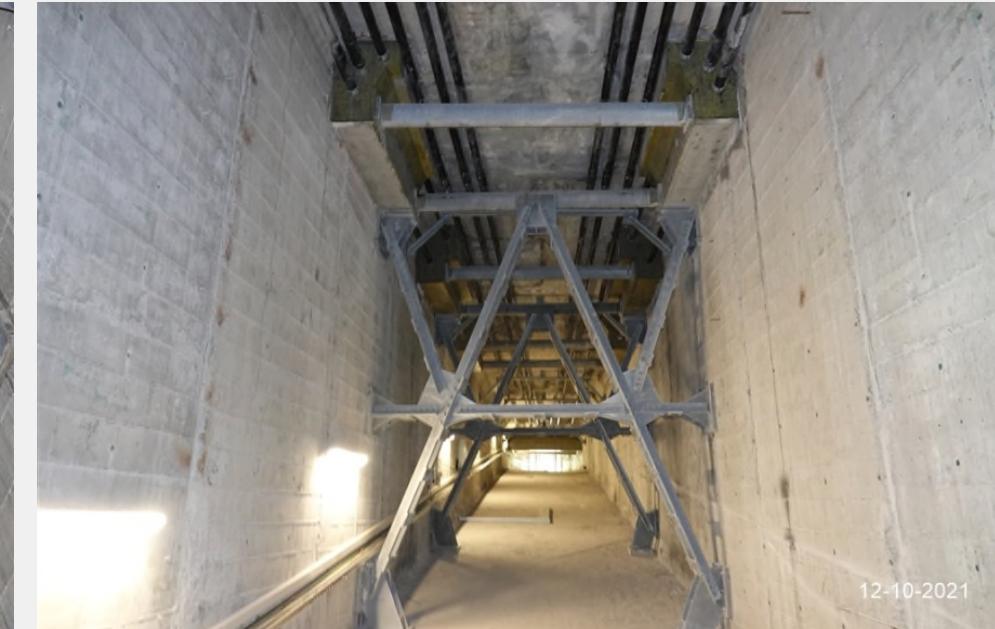
Implementazione del **modello digitale** delle opere





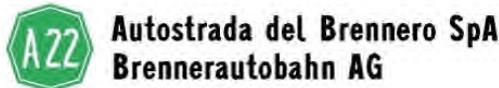
# IL VIADOTTO COLLE ISARCO – INTERVENTI ESEGUITI

## SISTEMA DI PRECOMPRESSEIONE ESTERNA TRAVATE NIAGARA (L=163 M)



16 cavi esterni (per ciascun cassone) tipo DYFORM da 19 trefoli da 0,6" C (n°12 cavi) e 15 trefoli da 0,6" C (n°4 cavi)

Azione assiale complessiva di precompressione: 43.318 kN

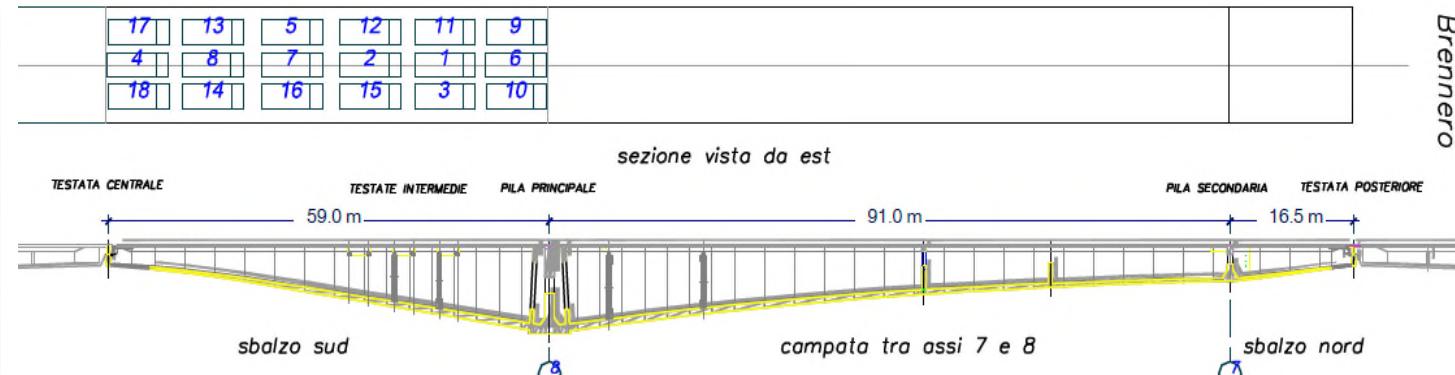
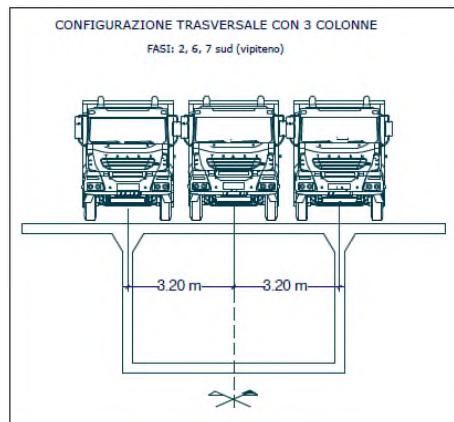


# IL VIADOTTO COLLE ISARCO – INTERVENTI ESEGUITI

## PROVA DI CARICO SU TRAVATE NIAGARA (L=163 M)

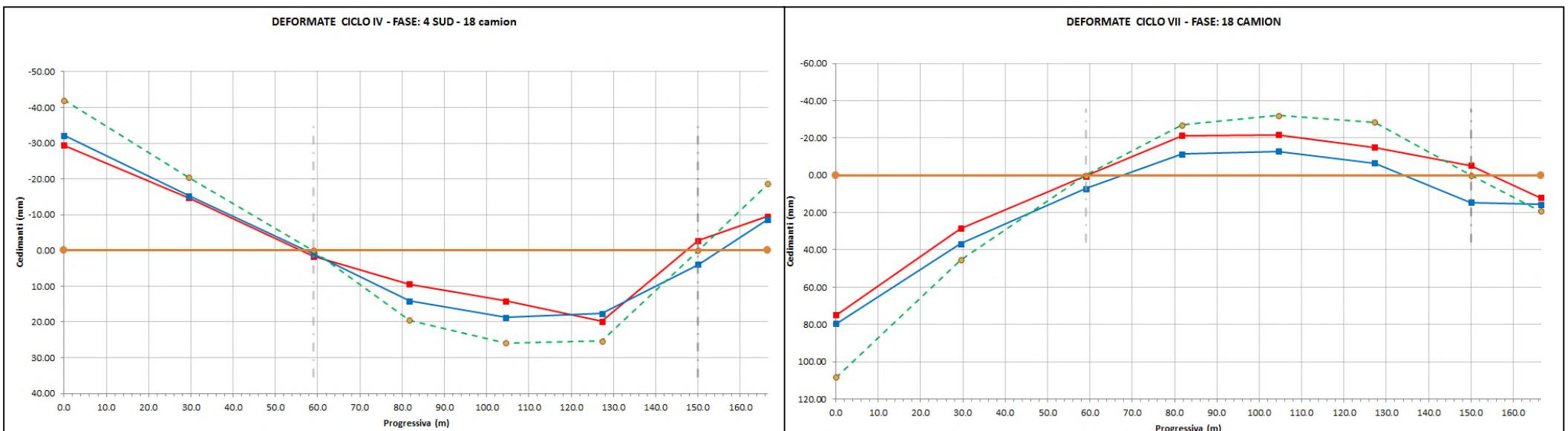
### Configurazione trasversale con 3 colonne di carico

Disposizione di n° 18 autocarri in tre colonne lungo l'intero sbalzo laterale da 59,00 m



M <sub>SLU</sub> [kNm]	1.254.614
M <sub>Rd</sub> [kNm]	1.401.245

**DEFORMATA MINORE  
RISPETTO A QUELLA  
ATTESA IN VIA ANALITICA!**



Freccia attesa	$\delta$ [cm]	2,53	Freccia attesa	$\delta$ [cm]	10,83
Freccia misurata	$\delta$ [cm]	1,98	Freccia misurata	$\delta$ [cm]	7,96



# IL VIADOTTO COLLE ISARCO – INTERVENTI ESEGUITI

PROVA DI CARICO SU TRAVATE NIAGARA (L=163 M)

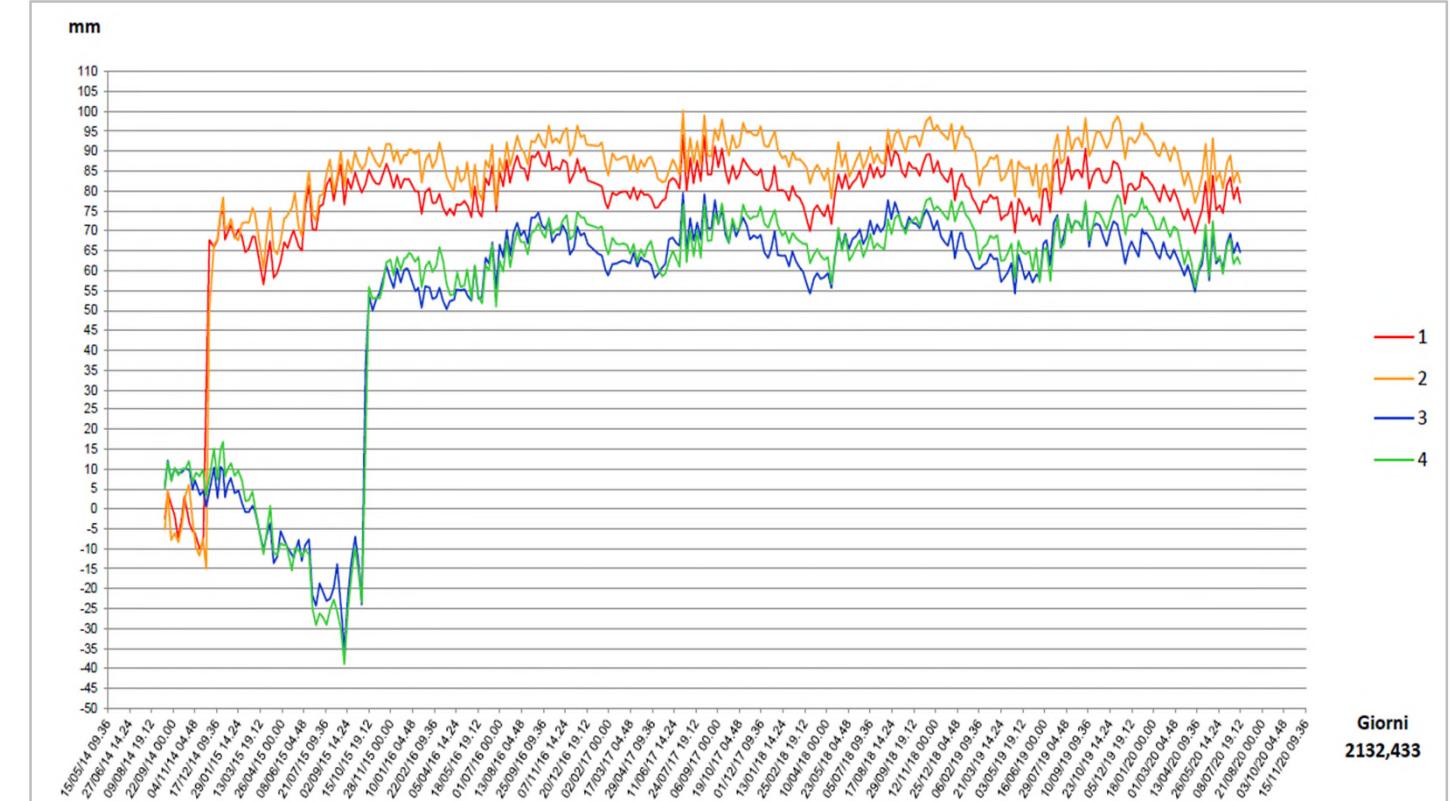


# IL VIADOTTO COLLE ISARCO – INTERVENTI ESEGUITI

## MONITORAGGIO TOPOGRAFICO IN CONTINUO DEGLI SPOSTAMENTI

2 stazioni totali LEICA NOVA TM60 e prismi ottici  
ad elevata precisione del tipo LEICA GPR112

56 estensimetri a fibra ottica a reticolo di Bragg (FOSS)  
e 80 termocoppie PT100 per la misurazione delle  
deformazioni differite



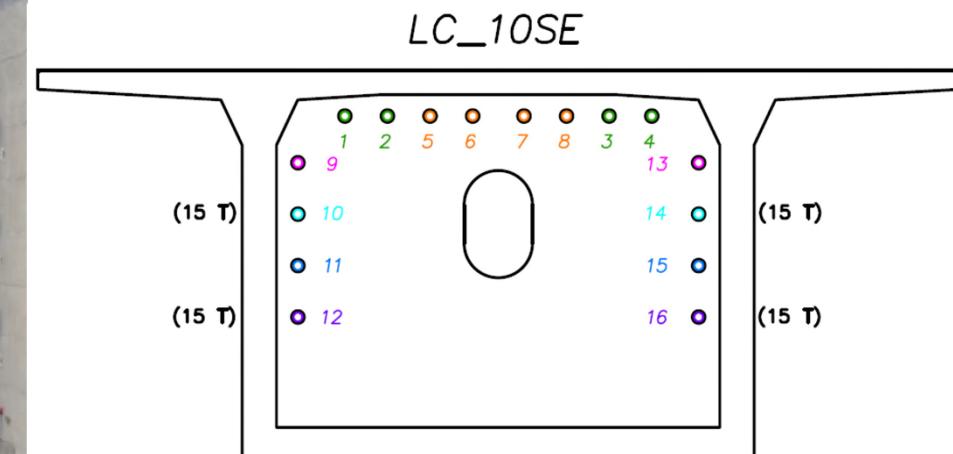
Innalzamento di 75 mm delle mensole delle travate  
“Niagara” dovuto alla precompressione integrativa

# IL VIADOTTO COLLE ISARCO – INTERVENTI ESEGUITI

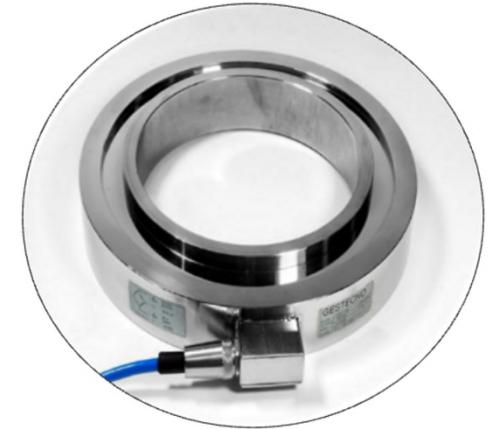
## MONITORAGGIO CON CELLE DI CARICO DELLA PRECOMPRESIONE INTEGRATIVA

Misurazione della **forza di tiro** nei cavi del sistema di precompressione integrativa attraverso l'installazione in corrispondenza delle testate attive dei cavi di:

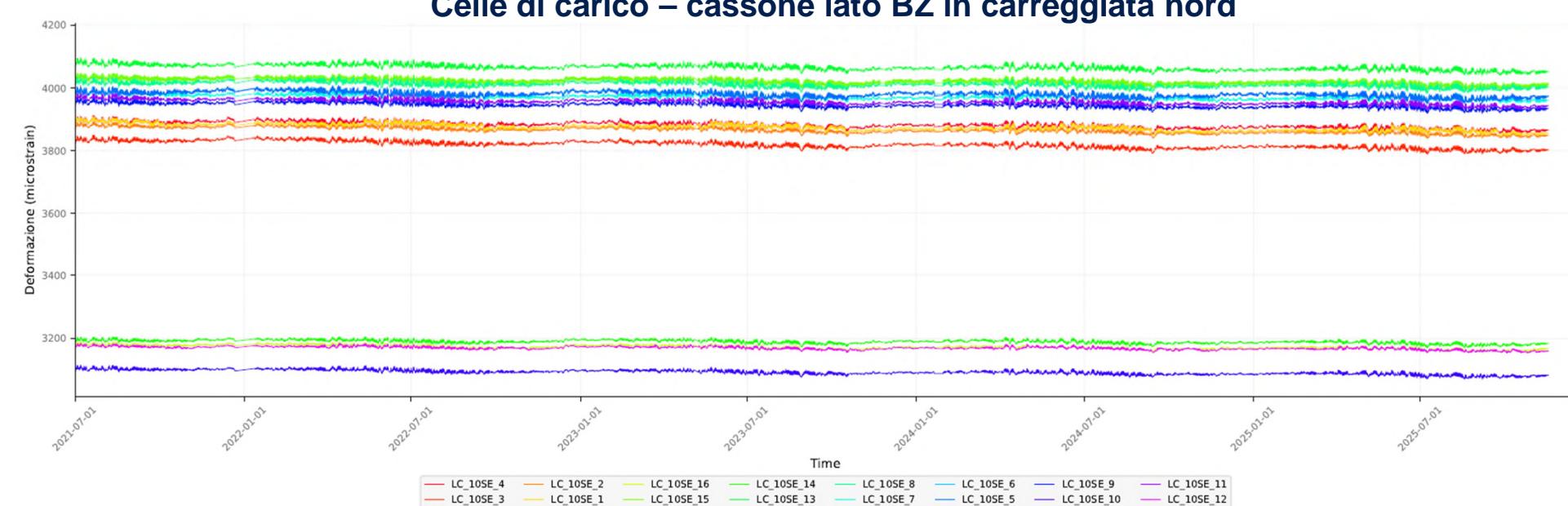
- 48 celle di carico tipo DE4200kN per cavi a 19 trefoli con uscita mV/V**
- 16 celle di carico tipo DE3100kN per cavi a 15 trefoli con uscita mV/V**



**Cella toroidale**



**Sistema di acquisizione**



# IL VIADOTTO COLLE ISARCO – INTERVENTI PROGETTATI

## PRECOMPRESSEIONE INTEGRATIVA DELLE MENSOLE DI LUCE L=16,50 M



Precompression: 6+6 cavi T19 da 0,6"S (Super)

Lunghezza cavi: L = 18,80 m

Sezione trefolo:  $A_{ap} = 150 \text{ mm}^2$

Tiro iniziale:  $T = 158 \text{ kN/trefolo}$

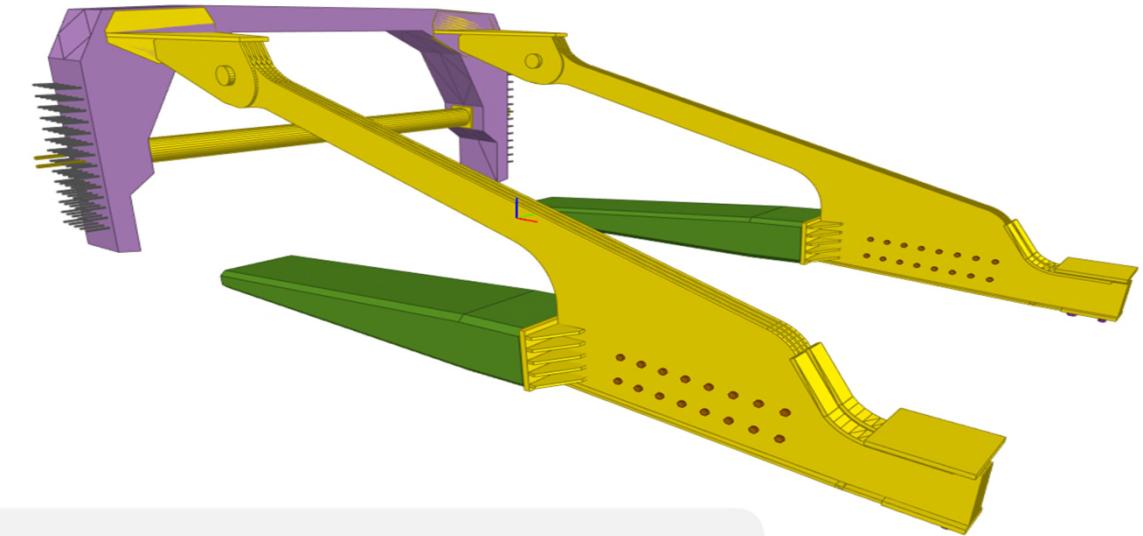
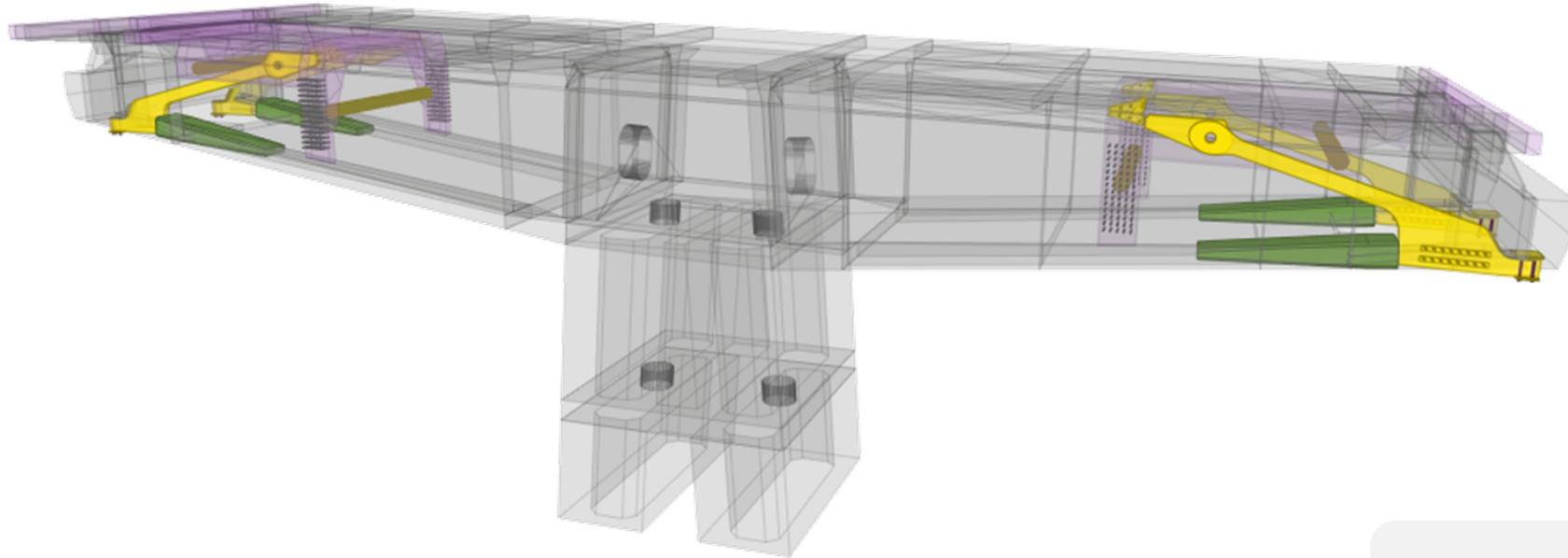
Tiro totale:  $T_0 = 3.002 \text{ kN/cavo}$

Coefficienti di sicurezza riferiti ai carichi mobili da D.M. 17/01/2018

- PRE-INTERVENTO: CS = 1.22
- POST-INTERVENTO: CS = 1.43 (**+17%**)

# IL VIADOTTO COLLE ISARCO – INTERVENTI PROGETTATI

## RINFORZO STRUTTURALE DELLE SELLE GERBER



- Articolazioni metalliche** in acciaio ad alta resistenza tipo **S460** per trasferimento della reazione proveniente dalla travata sospesa al cassone
- Rinforzo mensola** (3.200 kN) pari a circa il **60%** della domanda espressa in termini di stato limite ultimo
- Resistenza** articolazione pari circa al carico applicato in **combinazione frequente**

### REAZIONE ALL'APPOGGIO

SLU	$N_{Ed}$	= 5.325 kN
SLE frequente	$N_{Ed}$	= 3.158 kN

riferita ai carichi mobili D.M. 17.01.2018

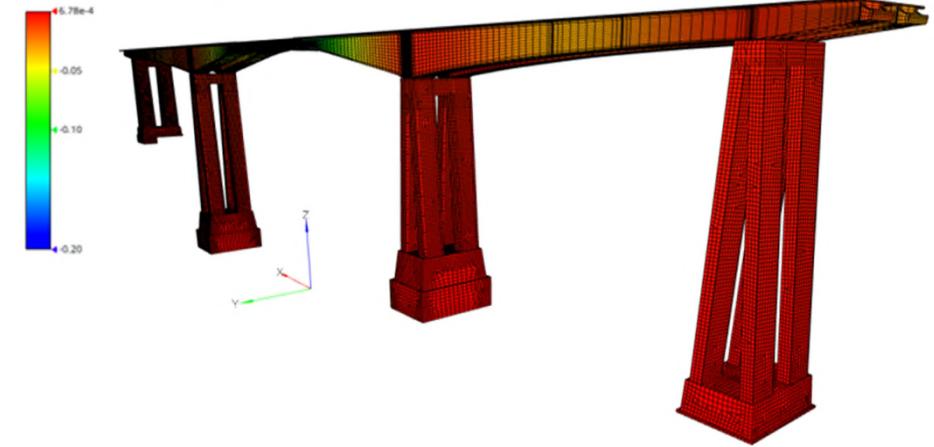
### RESISTENZA ARTICOLAZIONE

$$N_{Rd} = 3.200 \text{ kN (60\% } N_{Ed} \text{ SLU)}$$

# IL VIADOTTO COLLE ISARCO

## GEMELLO DIGITALE

Simulazione del comportamento globale della struttura  
sulla base dei dati di monitoraggio



Calibrazione del modello mediante analisi inversa

Analisi predittiva del comportamento globale della  
struttura con l'utilizzo di **tecnologie di IA**



Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG

# IL VIADOTTO COLLE ISARCO

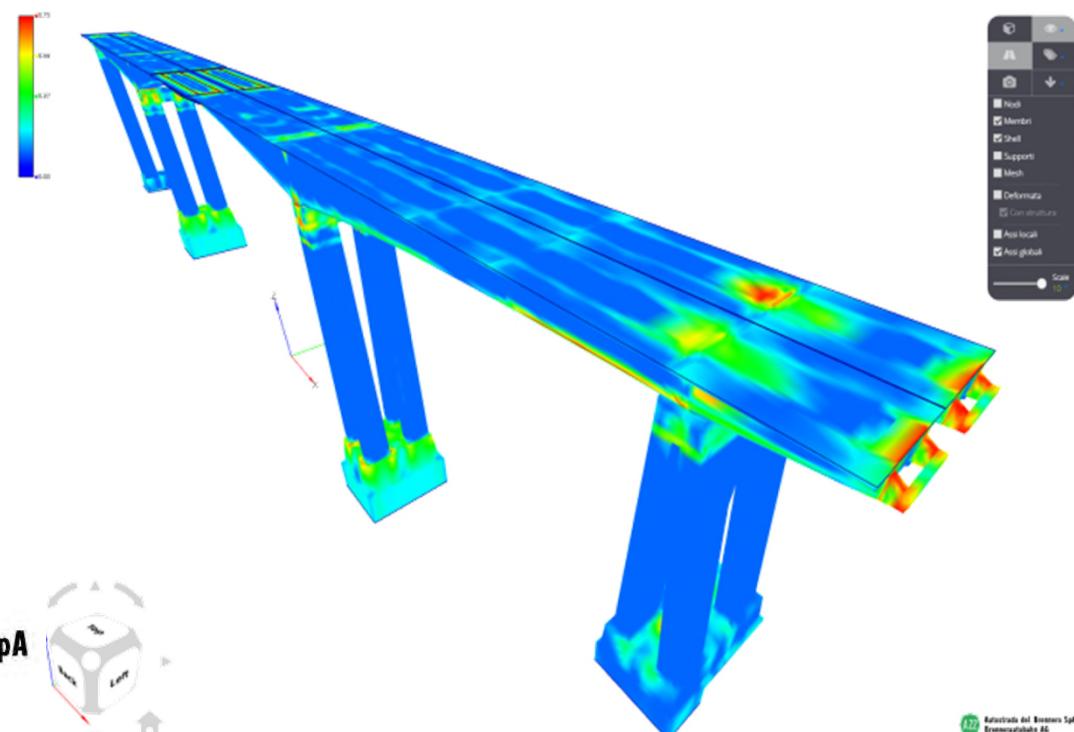
## GEMELLO DIGITALE

Ottimizzare gli interventi di ispezione e manutenzione

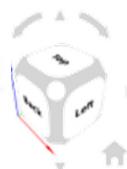
Controllare in continuo l'insorgere di **potenziali danni strutturali**

Identificare il **comportamento strutturale futuro** dell'opera

Analisi della capacità portante di ogni elemento strutturale e valutazione del **fattore di utilizzo**



Autostrada del Brennero SpA  
Brennerautobahn AG



La sperimentazione delle Linee Guida per la classificazione e la gestione del rischio, la valutazione della sicurezza e il monitoraggio dei ponti esistenti – Roma, 19-20-21 novembre 2025