

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

**Accordo tra il CSLP ed il Consorzio ReLUIIS
attuativo dei DM 578/2020 - DM 204/2022 - DM 304/2024**

**TECNOLOGIE INNOVATIVE PER L'ISPEZIONE, LA MANUTENZIONE E
IL MONITORAGGIO DEI PONTI ESISTENTI
Autostrada del Brennero S.p.A. – Ing. Carlo Costa**

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

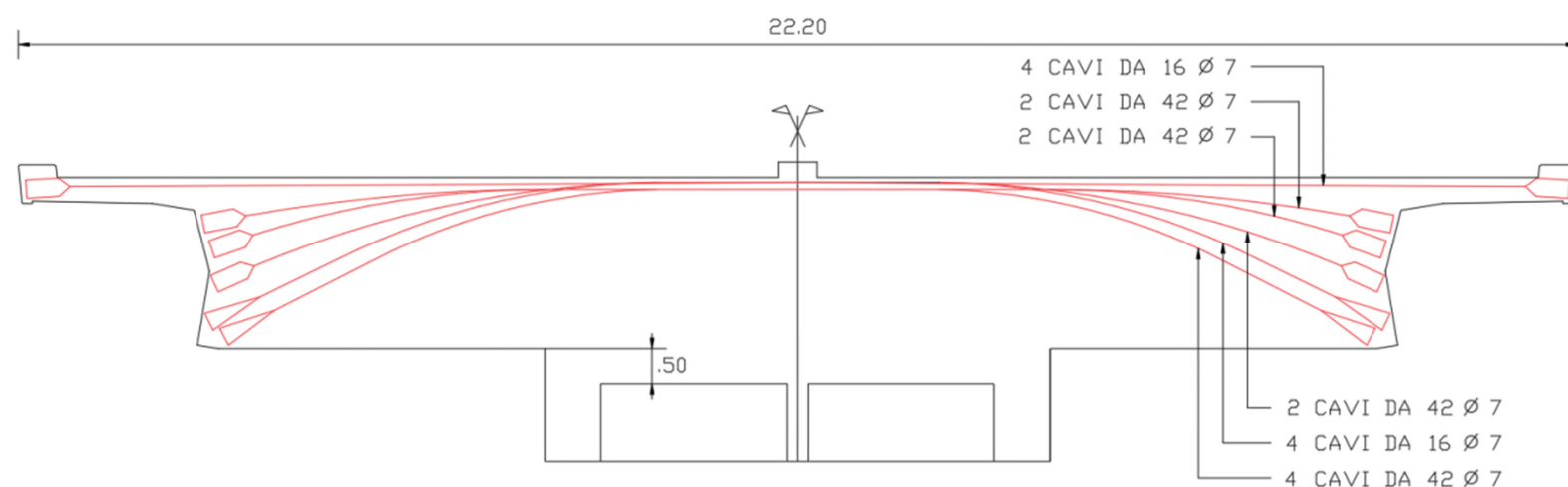
Paragrafo 3.3 delle Linee Guida «DEFINIZIONE DEGLI ELEMENTI CRITICI»

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 PRECOMPRESSIONE POST-TESI

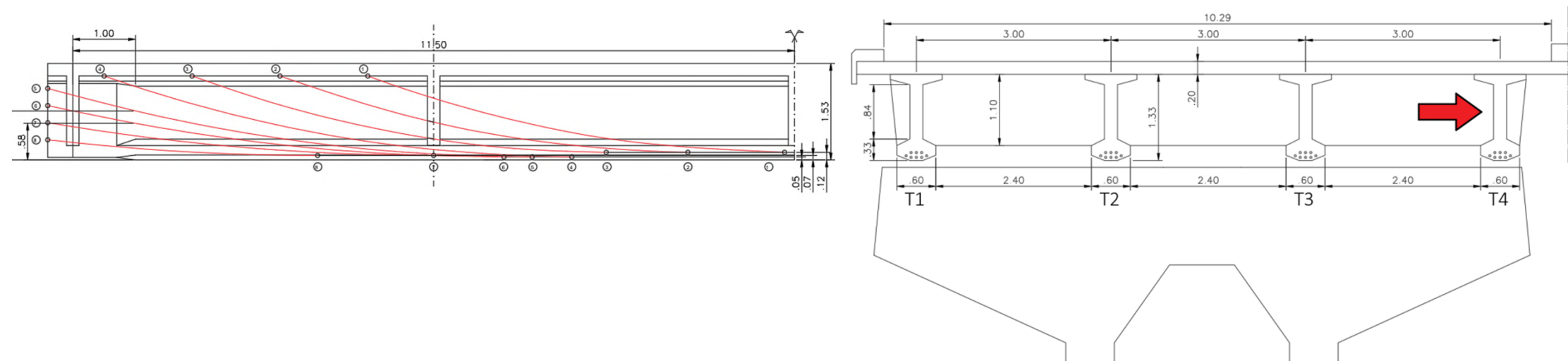


Indagini pacometriche, indagini Georadar, tomografie ultrasoniche mirate alla individuazione del tracciato reale dei cavi e alla localizzazione di eventuali vuoti o difetti.

Demolizione superficiale del calcestruzzo copriferro e ispezione visiva dei cavi.



INDAGINI SPECIALI CAVI DI PRECOMPRESSIONE 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.



INDAGINI SPECIALI CAVI DI PRECOMPRESSIONE POST-TESI

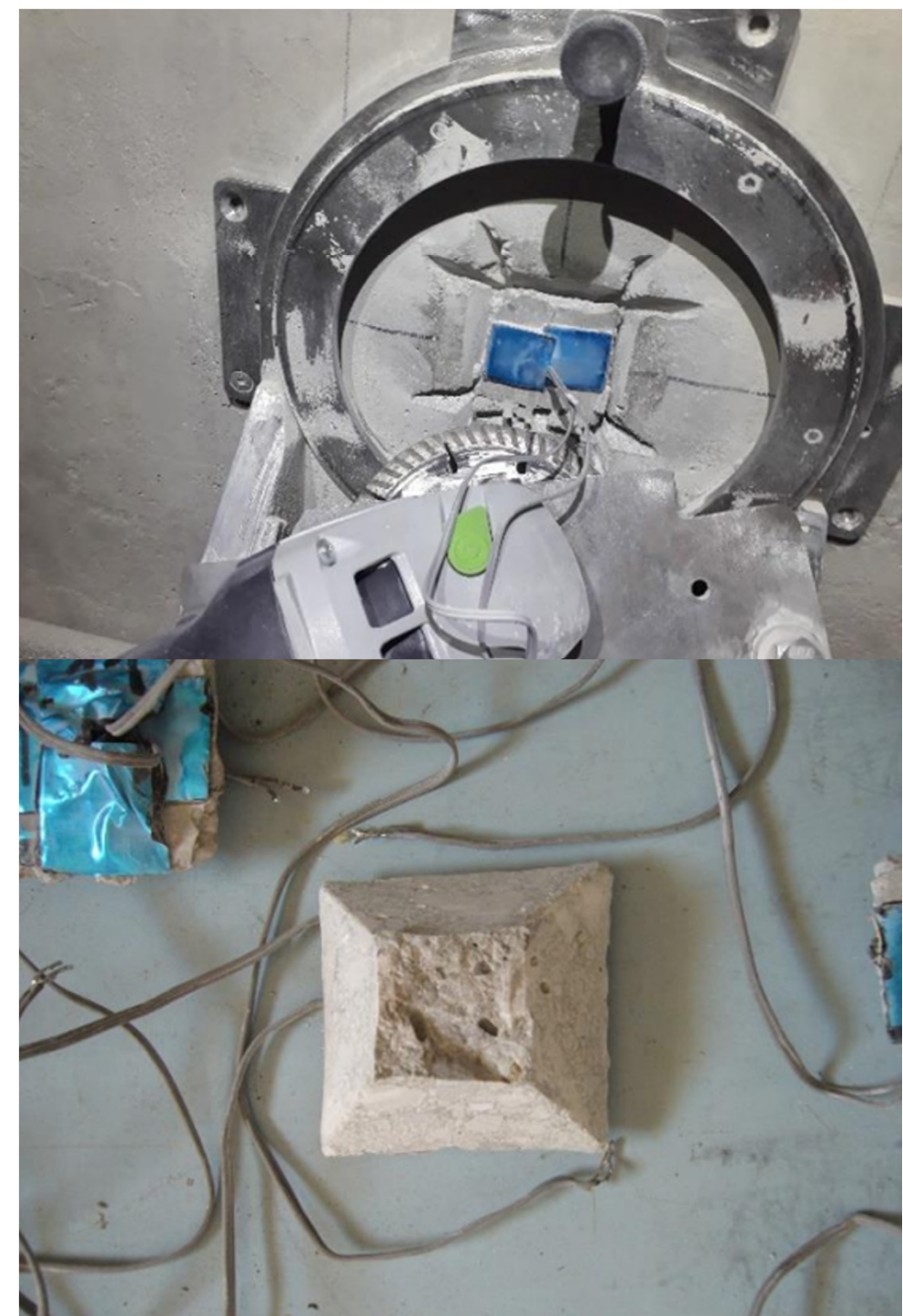
PROVE DI RILASCIO TENSIONALE SU TRAVI IN C.A.P.

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 ε 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.





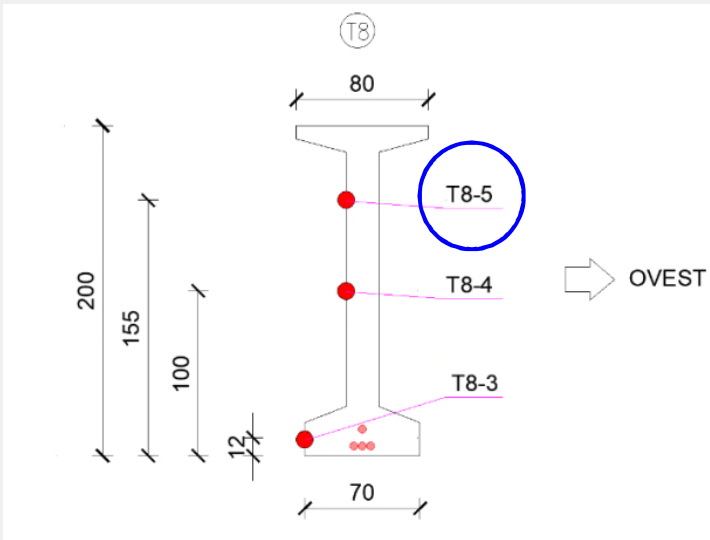
INDAGINI SPECIALI CAVI DI PRECOMPRESSIONE POST-TESI – PROVE DI RILASCIO

Sondaggio pacometrico per individuazione armature

Installazione sensori (estensimetri a 120 Ω)

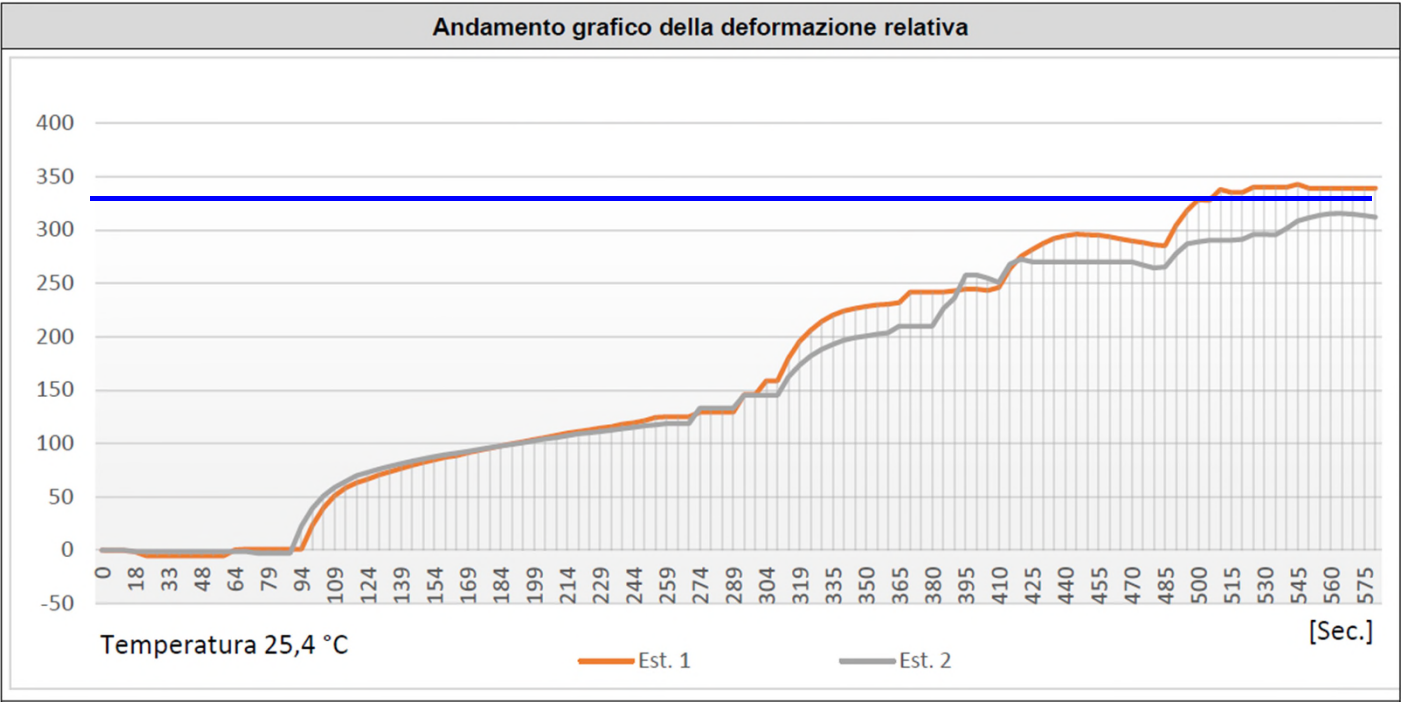
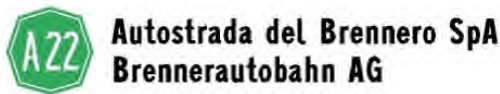
Esecuzione di tagli simmetrici a 45 °

Acquisizione misure



Prova T8 – 5

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



INDAGINI SPECIALI CAVI DI PRECOMPRESSIONE POST-TESI – PROVE DI RILASCIO

Confronto con deformazione analitica in condizioni di ponte scarico

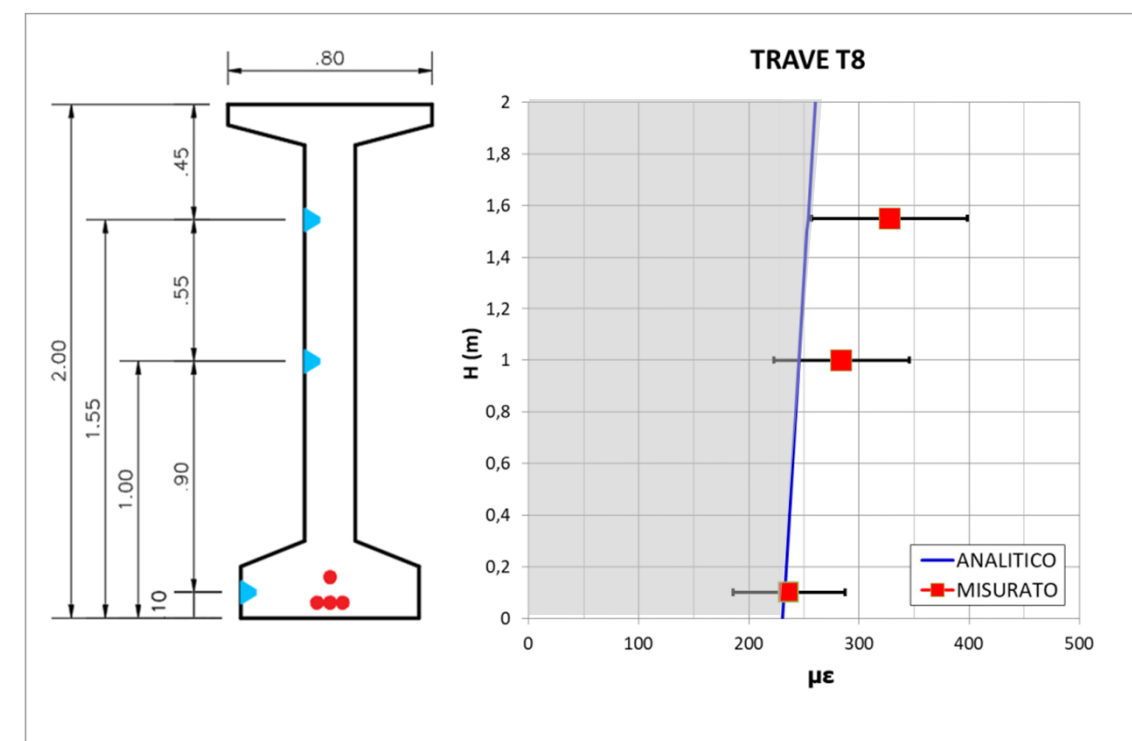
Calcolo analitico della tensione nella posizione dei provini

Calcolo della deformazione attraverso il modulo elastico

Modulo elastico determinato dalle prove di laboratorio eseguite su carote prelevate in sito (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

EVOLUZIONE 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



ISPEZIONE E MONITORAGGIO DELLE OPERE

2024

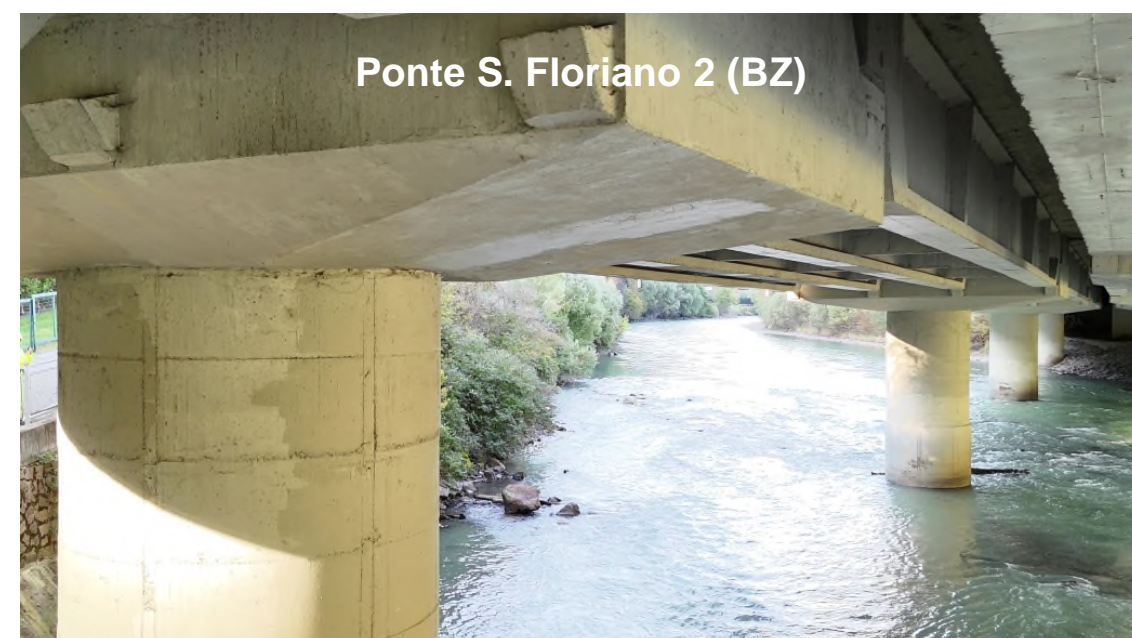
30 tecnici con abilitazione di pilota UAS livello Open cat. **A2**. Quadro normativo italiano:

- 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.)



Ponte S. Floriano 2 (BZ)



Viadotto Colle Isarco (BZ)



Autostrada del Brennero SpA
Brennerautobahn AG



Ponte Adige a Brentino (TN)



Ponte sul fiume Po (MN)

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

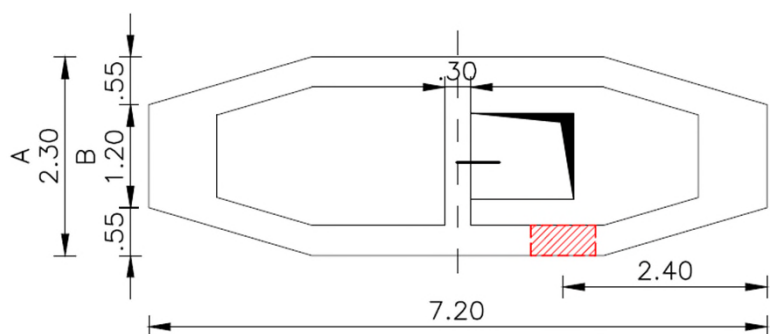
ESECUZIONE DI VIDEOISPEZIONI ALL'INTERNO DELLE STRUTTURE CAVE

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

Carotaggio ϕ 102 mm in sommità per aperture

Endoscopio a fibra ottica, sistema di lenti e luci guida

Telecamera VISIOPROBE per le riprese interne



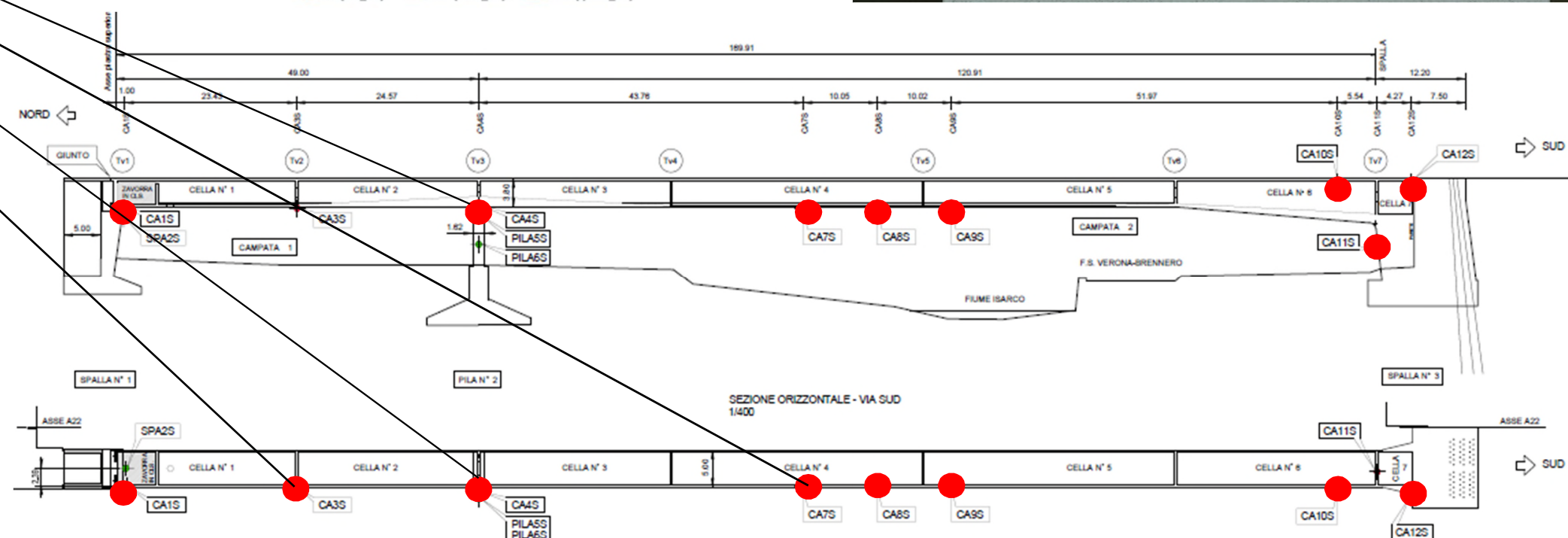
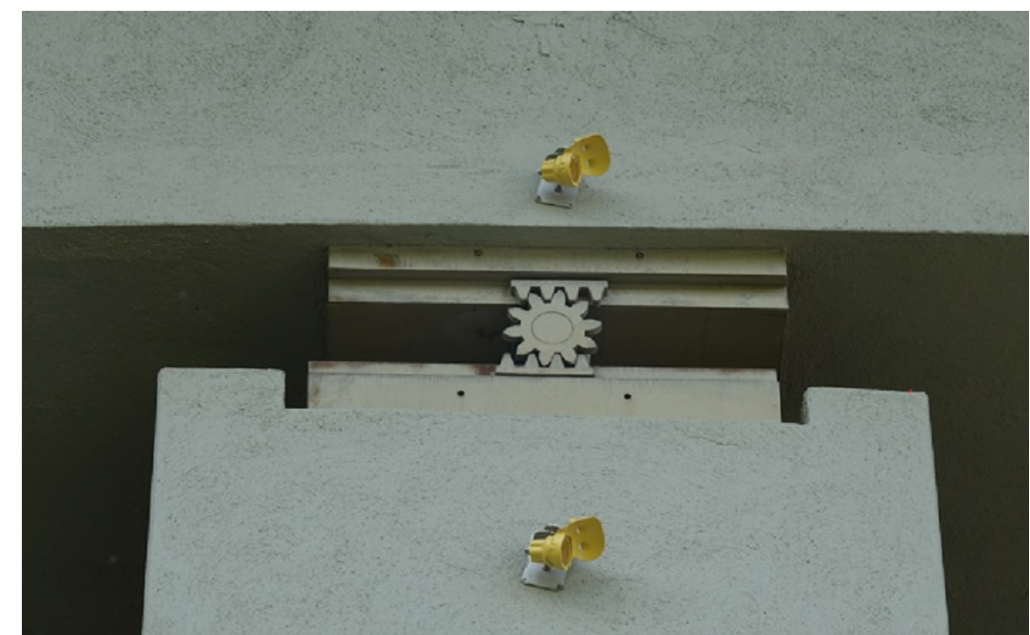
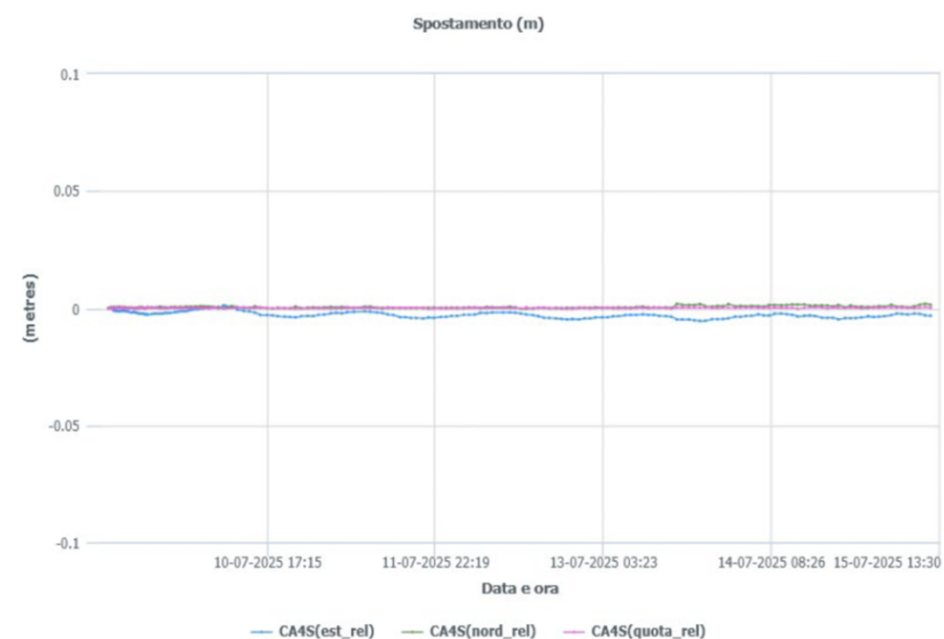
 Autostrada del Brennero SpA
Brennerautobahn AG



ISPEZIONE E MONITORAGGIO DELLE OPERE

MONITORAGGIO ELEMENTI SENSIBILI: APPOGGI

Monitoraggio topografico appoggi mobili a rullo **Viadotto Cardano 1**



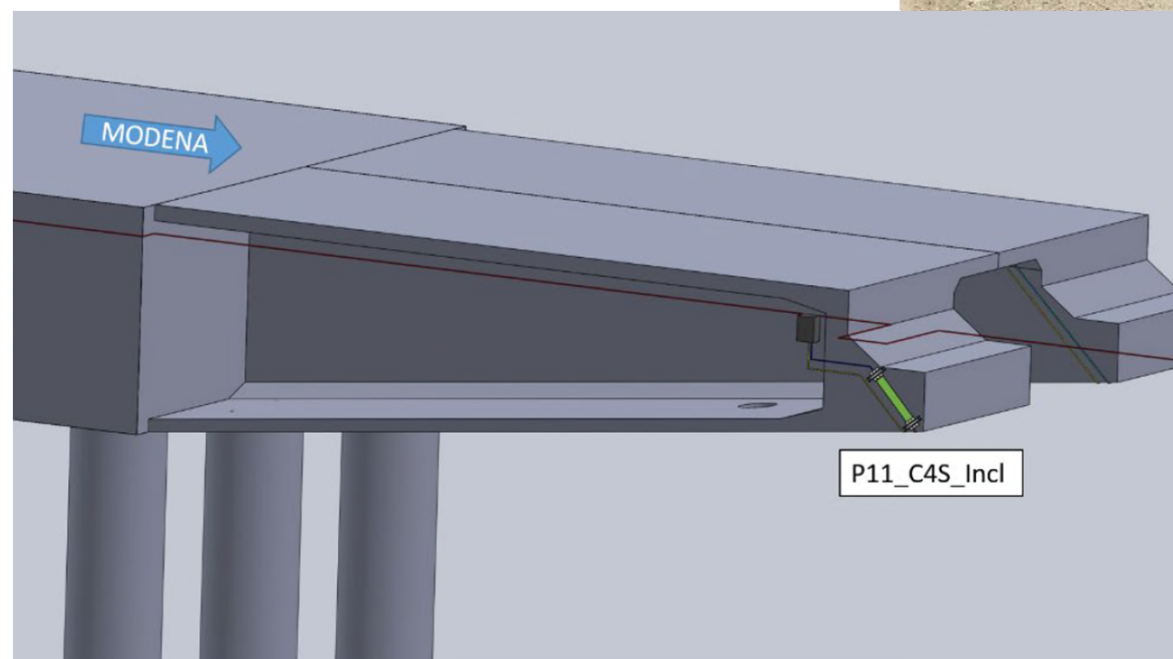
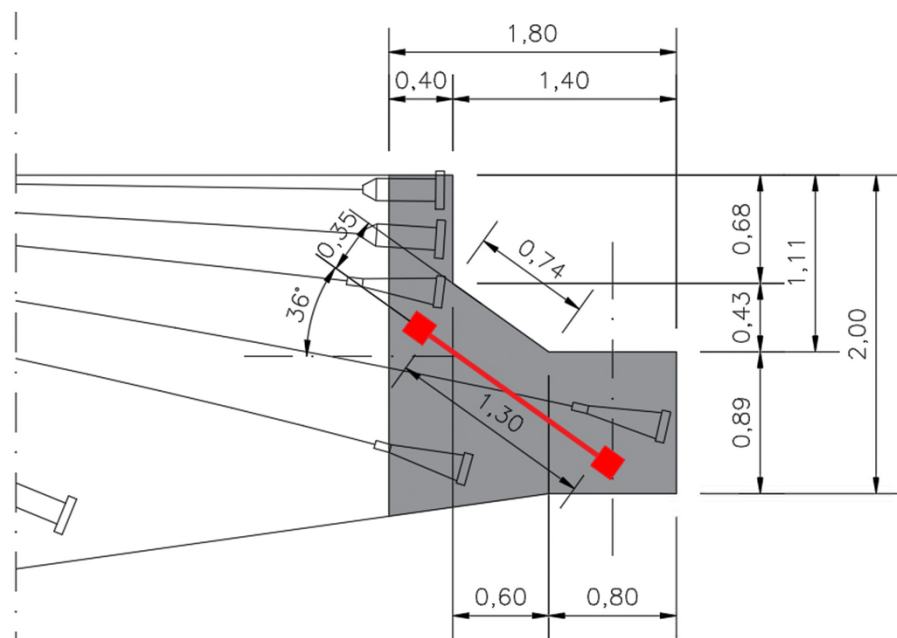
La sperimentazione delle Linee Guida per la classificazione e la gestione del rischio, la valutazione della sicurezza e il monitoraggio dei ponti esistenti – Roma, 19-20-21 novembre 2025

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)




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



 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

IL VIADOTTO COLLE ISARCO – INTERVENTI ESEGUITI

SISTEMA DI PRECOMPRESSIONE ESTERNA TRAVATE NIAGARA (L=163 M)



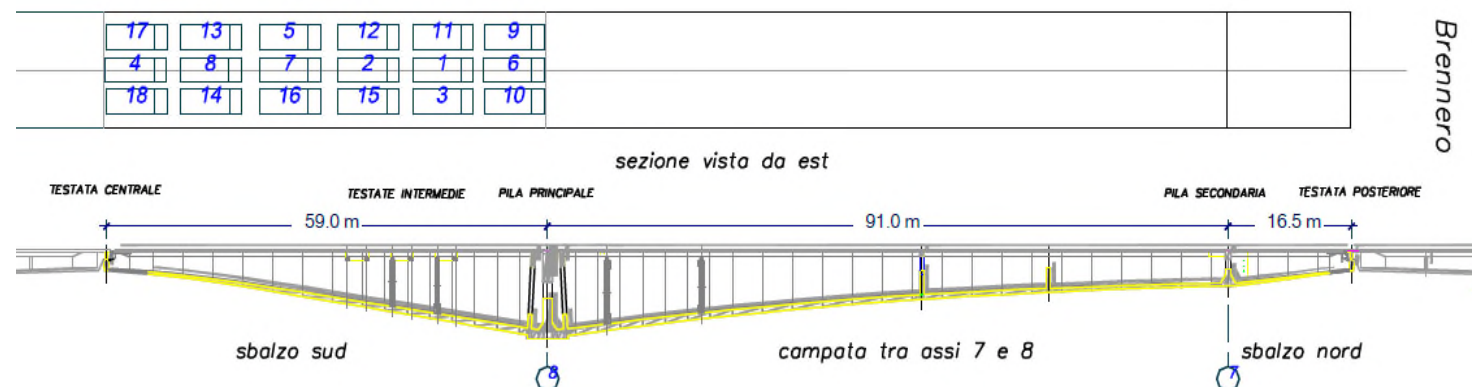
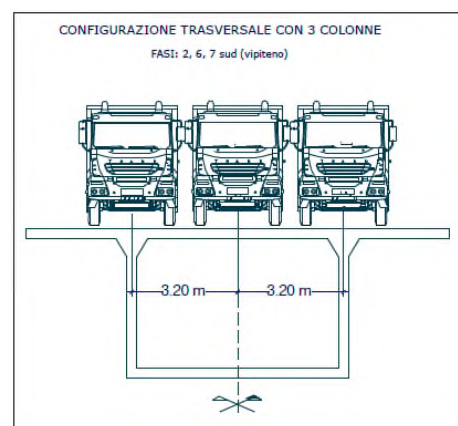
16 cavi esterni (per ciascun cassone) tipo DYFORM da 19 trefoli da 0,6''C (n°12 cavi) e 15 trefoli da 0,6''C (n°4 cavi)

Azione assiale complessiva di precompressione: 43.318 kN

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

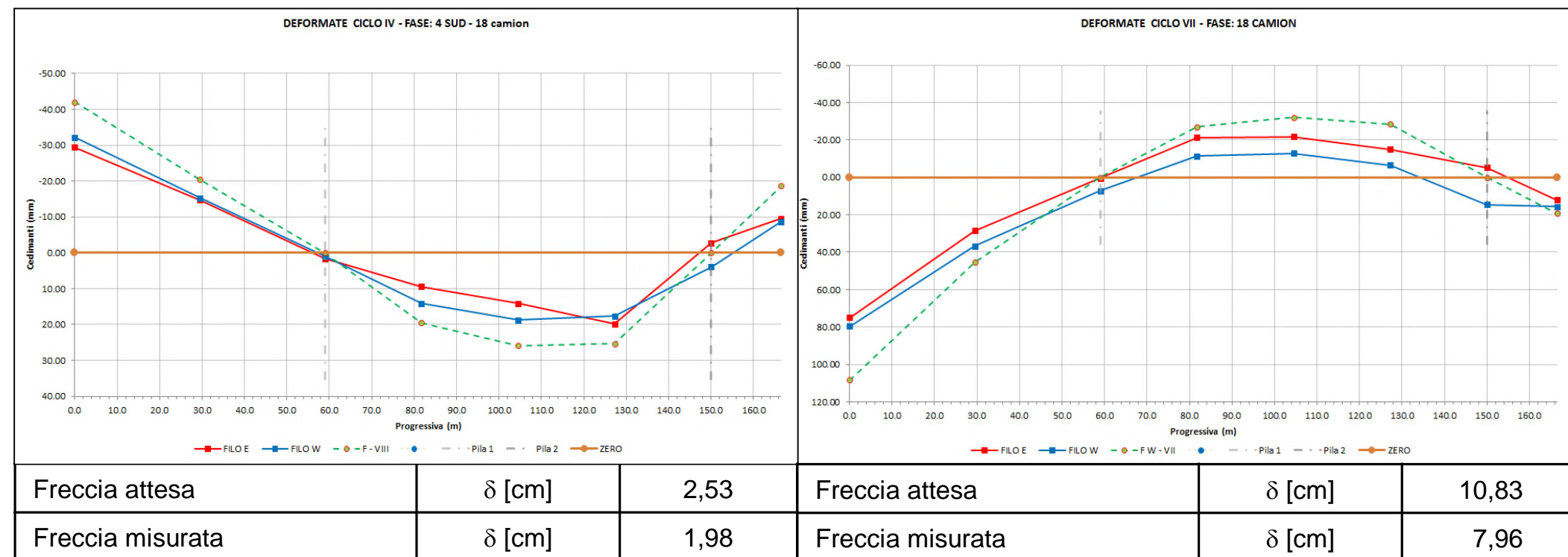
❑ Configurazione trasversale con 3 colonne di carico

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



M_{SLU} [kNm]	1.254.614
M_{Rd} [kNm]	1.401.245

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





IL VIADOTTO COLLE ISARCO – INTERVENTI ESEGUITI

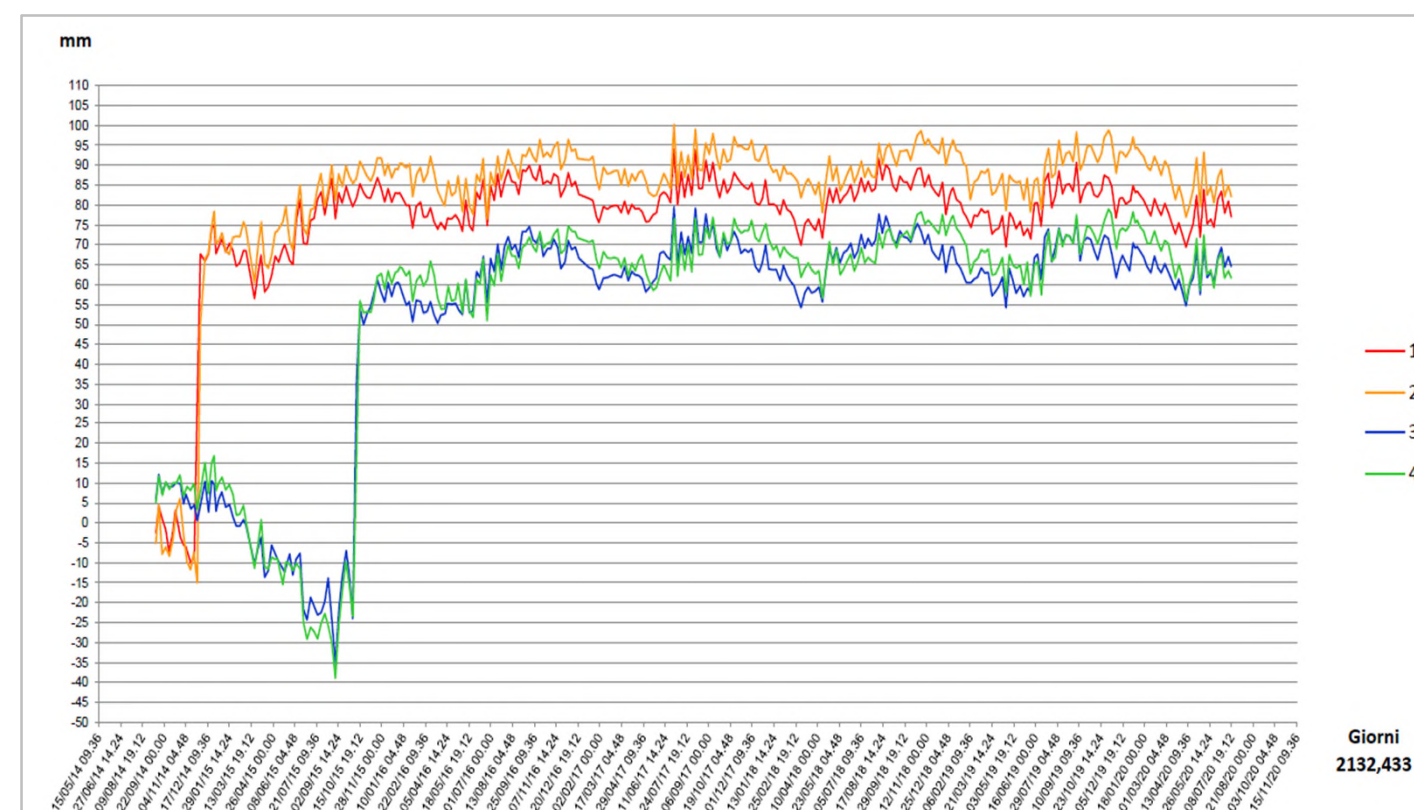


PROVA DI CARICO SU TRAVATE NIAGARA (L=163 M)

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



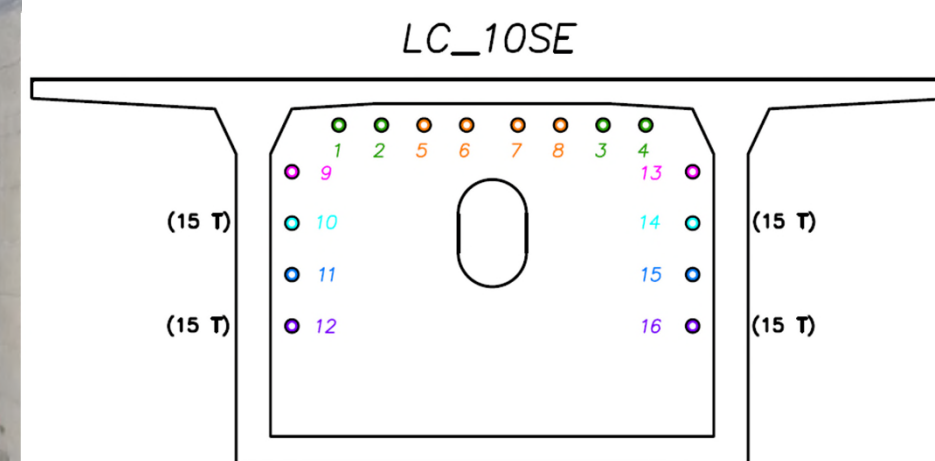
Innalzamento di 75 mm delle mensole delle travate “Niagara” dovuto alla precompressione integrativa

IL VIADOTTO COLLE ISARCO – INTERVENTI ESEGUITI

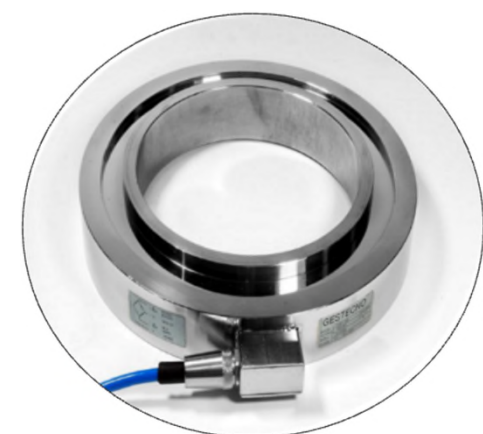
MONITORAGGIO CON CELLE DI CARICO DELLA PRECOMPRESSIONE INTEGRATIVA

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



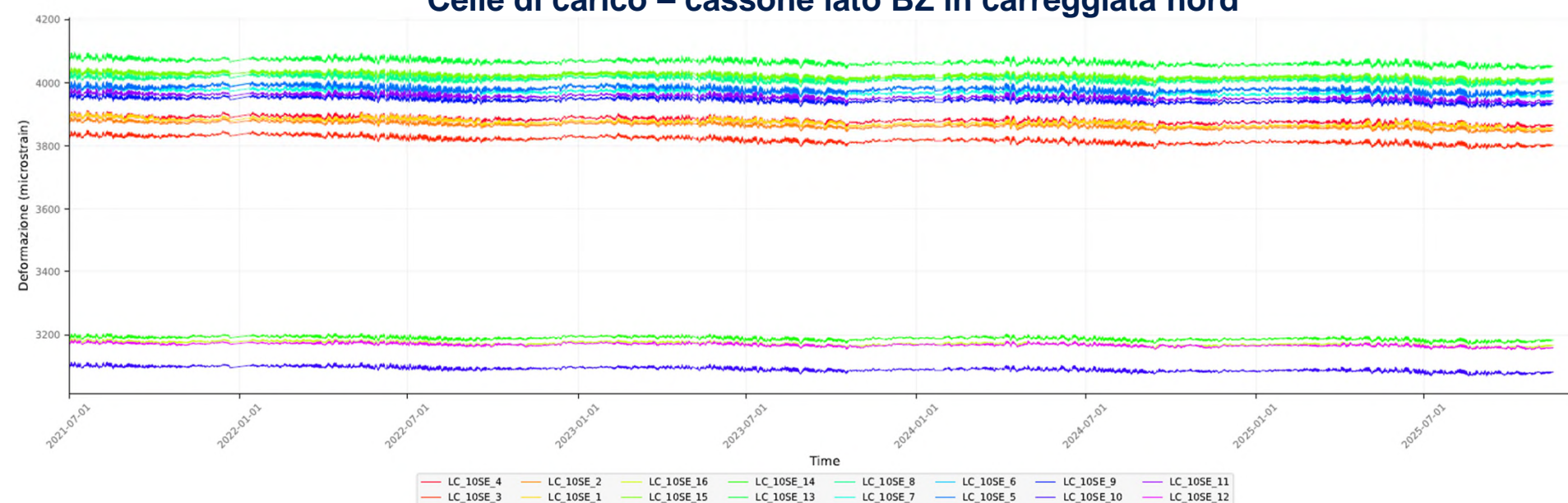
Cella toroidale



Sistema di acquisizione



Celle di carico – cassone lato BZ in carreggiata nord



IL VIADOTTO COLLE ISARCO – INTERVENTI PROGETTATI

PRECOMPRESSIONE INTEGRATIVA DELLE MENSOLE DI LUCE L=16,50 M



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

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

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

Lunghezza cavi: L = 18,80 m

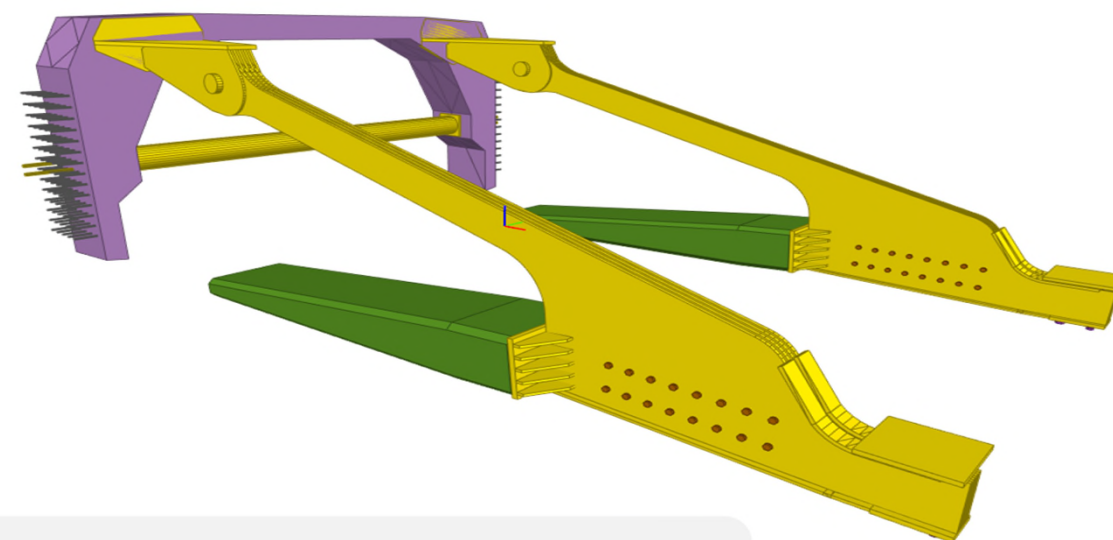
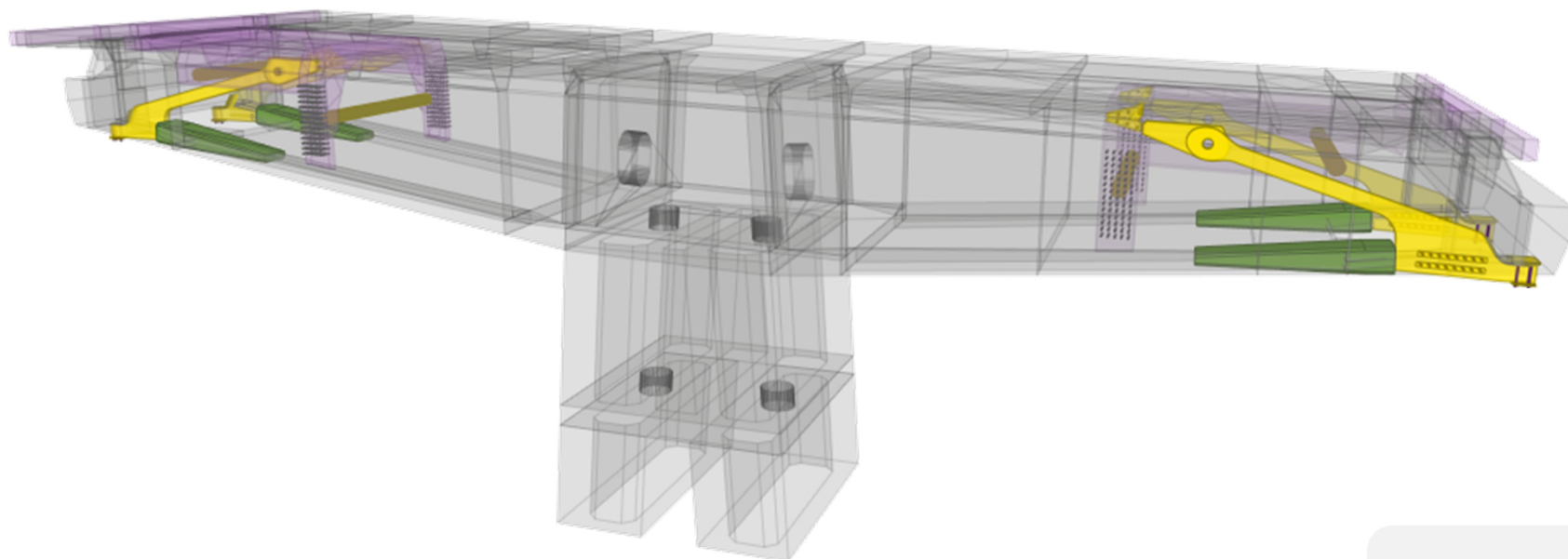
Sezione trefolo: $A_{ap} = 150 \text{ mm}^2$

Tiro iniziale: T = 158 kN/trefolo

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

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

referita ai carichi mobili D.M. 17.01.2018

RESISTENZA ARTICOLAZIONE

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

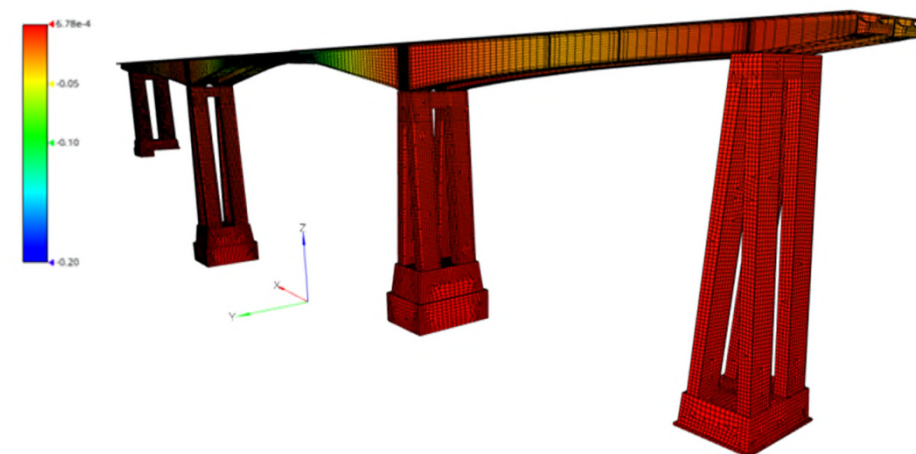
IL VIADOTTO COLLE ISARCO

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**



IL VIADOTTO COLLE ISARCO

GEMELLO DIGITALE

Ottimizzare gli interventi di ispezione e manutenzione

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

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

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

