

# L'ESPERIENZA DI AUTOSTRADA DEL BRENNERO NELLA GESTIONE DELL'INFRASTRUTTURA E NEL PROCESSO DI MONITORAGGIO E MANUTENZIONE DELLE OPERE D'ARTE

*4° edizione delle giornate dell'edilizia interalpina*

*Ing. Carlo Costa | Direttore Tecnico Generale | Autostrada del Brennero SpA*

Igls,  
11 e 12 novembre  
**2021**



# Autostrada del Brennero un'autostrada costruita negli anni '70

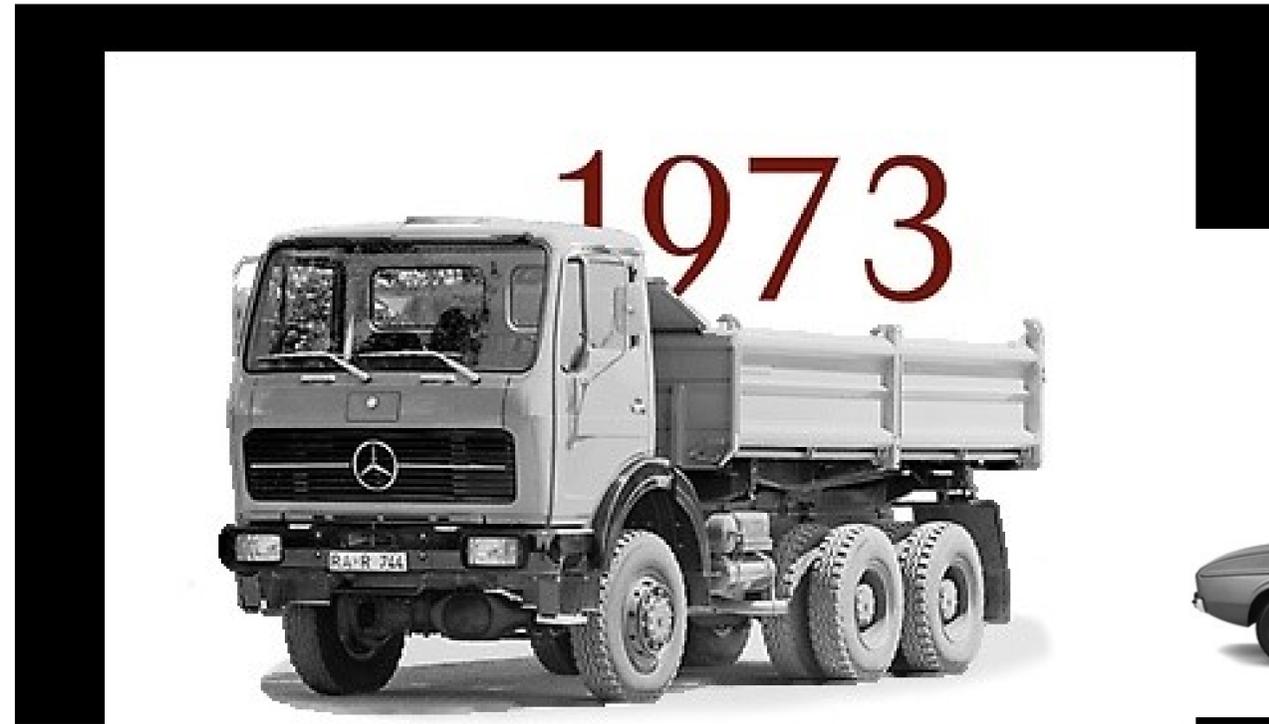


# Traffico in A22

## 1974



**8.077**  
veicoli/giorno  
VTGM



**2.853**  
veicoli/giorno  
VTGM



**10.930**  
veicoli/giorno  
VTGM

# Traffico in A22 2019

volumi di traffico più elevati di sempre

5.078.956.477  
km percorsi totali

73.430.080 veicoli effettivi  
t



circa 200.000 effettivi  
medi giorno



**31.082**  
veicoli/giorno  
VTGM



**1.125**  
veicoli/giorno  
VTGM



**44.315**  
veicoli/giorno  
VTGM

# Incremento del traffico in A22

Δ% 1990-2019



**+90,09 %**

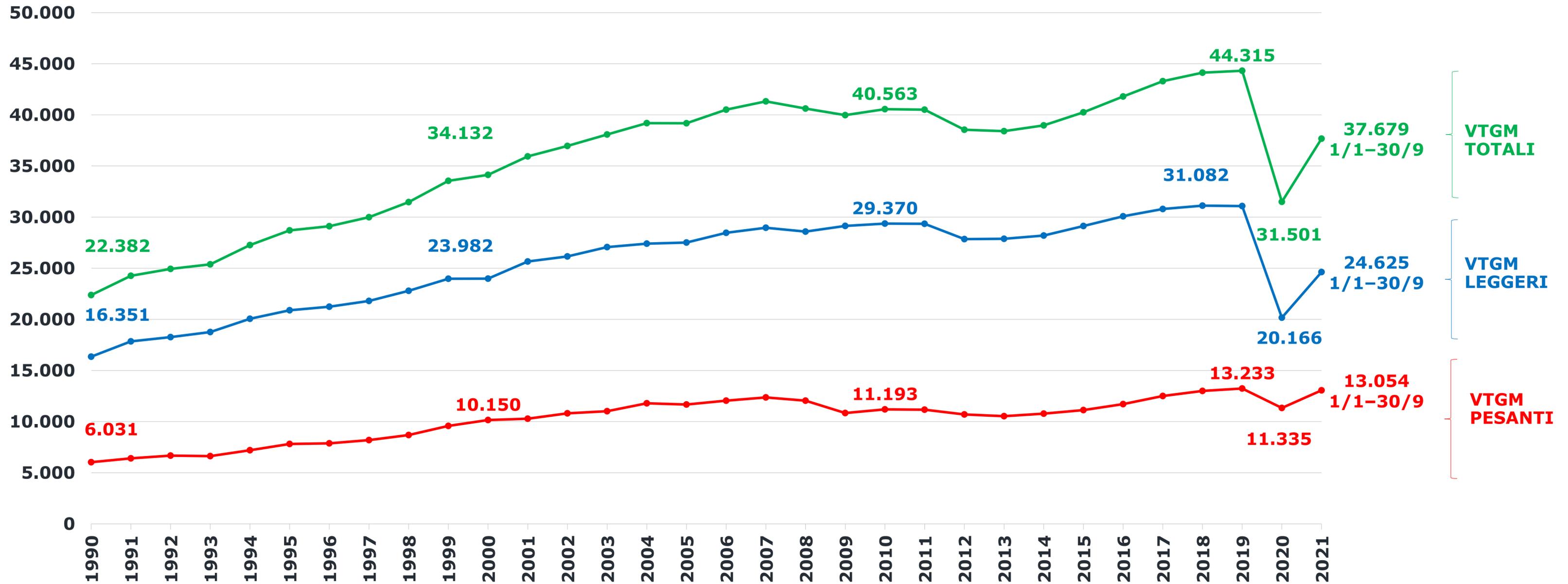


**+119,42 %**



**+97,99 %**

# Traffico (VTGM) Brennero - Modena andamento dal 1990 al 2021



# Autostrada del Brennero in numeri

**314**  
km

lunghezza complessiva

**24**  
m

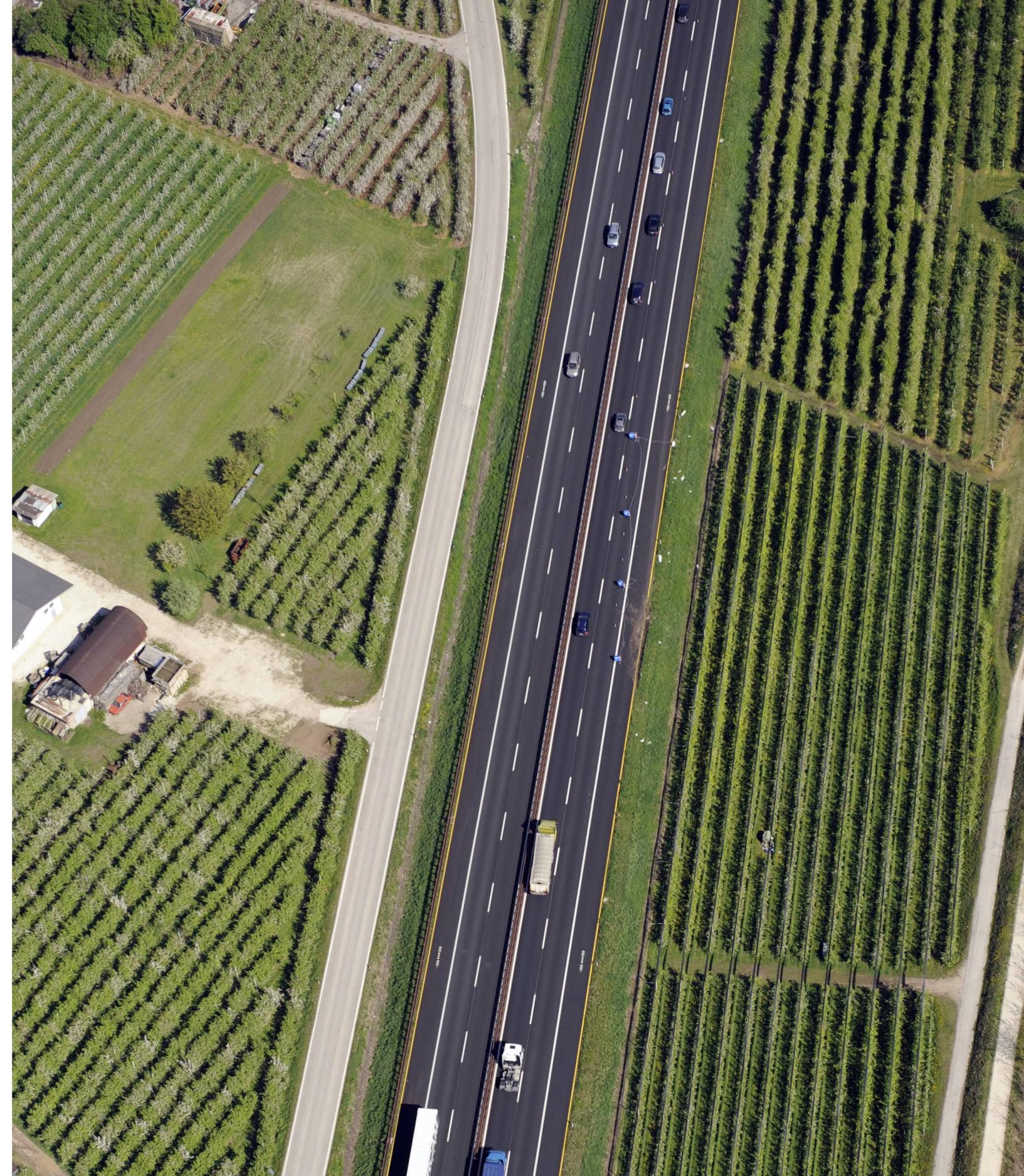
piattaforma autostradale  
da Brennero a Verona

**33**  
m

piattaforma autostradale  
da Verona a Modena

**1,4**  
%

pendenza media



# Autostrada del Brennero in numeri

**144** | Ponti e viadotti

**30** | Gallerie unidirezionali

**147** | Sovrappassi autostradali

**24** | Stazioni autostradali

**22** | Aree di servizio



# Opere d'arte autostradali

## PRINCIPALI OPERE STRADALI

	Lunghezza m	Superficie m <sup>2</sup>
▪ Viadotto Colle Isarco	1.031,50	21.166
▪ Viadotto Fortezza	444,59	9.158
▪ Ponte sul fiume Mincio	219,50	4.741
▪ Ponte sul fiume Po	983,50	19.670
▪ Ponti sul fiume Adige n°13	2.310,00	43.902

## PONTI E VIADOTTI IN VALLE ISARCO

	Quantità n	Superficie m <sup>2</sup>
▪ a pila unica	17	278.500
▪ a doppia pila	30	120.800
▪ altri tipi	15	40.500
<hr/>		
▪ sottopassi ferroviari	12	10.816
▪ ponti per l'attraversamento di torrenti e canali	116	18.650
▪ sottopassi	139	29.590
▪ sovrappassi	147	52.308



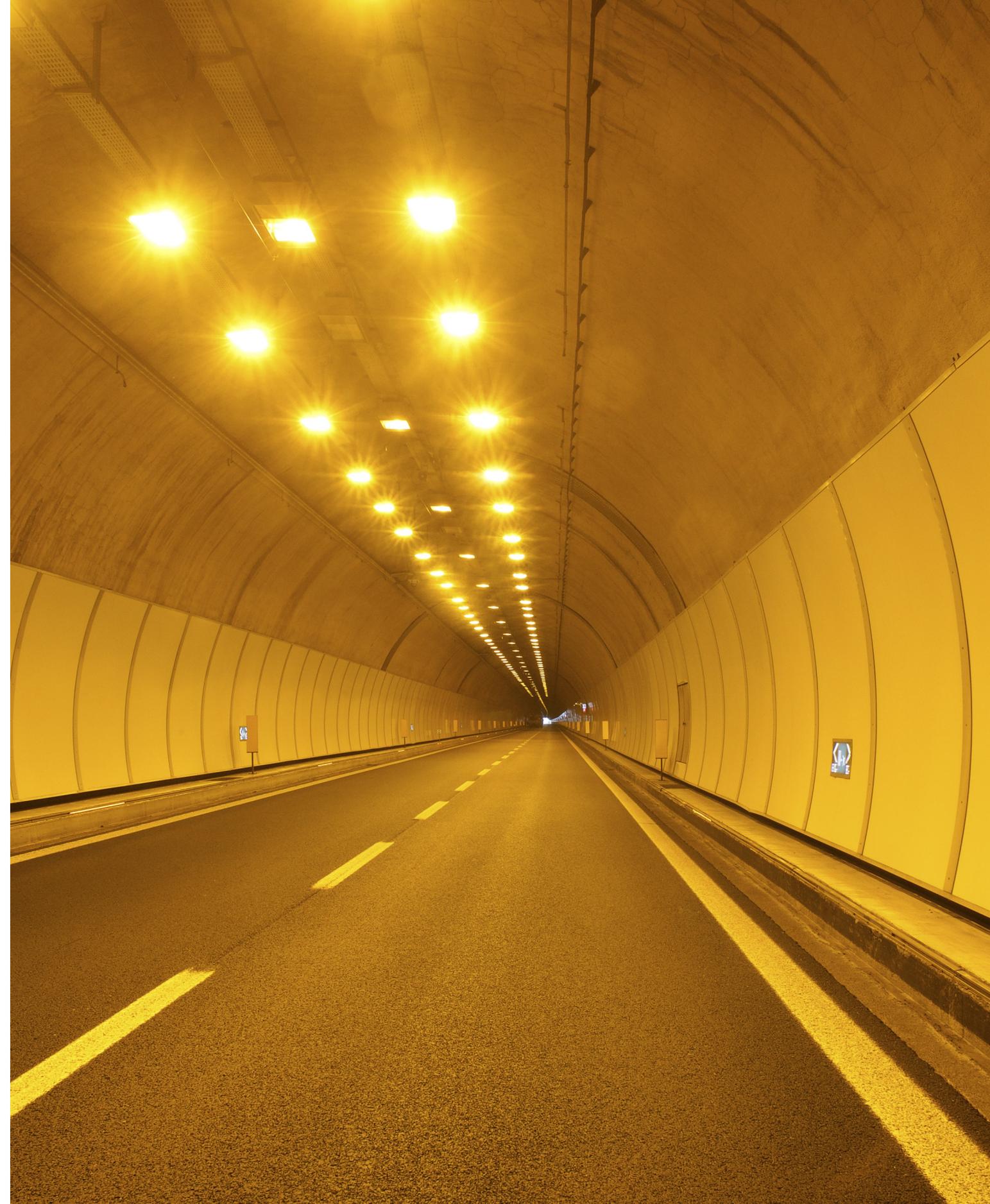
# Opere d'arte autostradali

**30 GALLERIE UNIDIREZIONALI** per uno sviluppo totale di **12.577 m** di cui:

- 13 a doppio fornice (26)
- 2 a singolo fornice
- 2 artificiali a singolo fornice

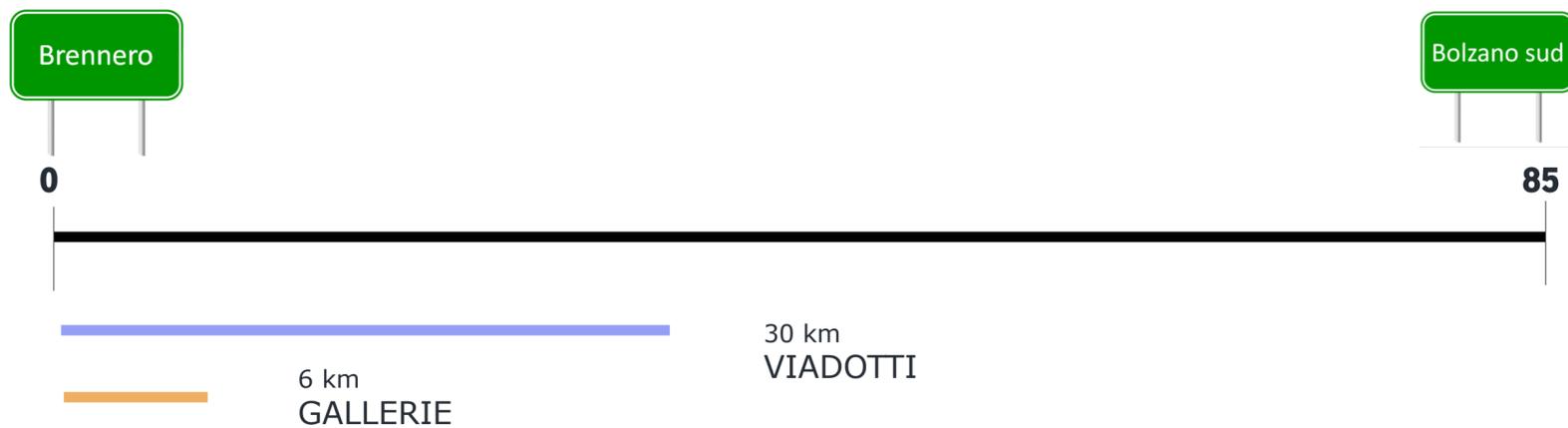
<b>GALLERIE</b>	<b>Carreggiata nord Lunghezza m</b>	<b>Carreggiata sud Lunghezza m</b>
▪ Galleria Brennero	802	492
▪ Galleria artificiale Ponticolo	131	---
▪ Galleria Fortezza	834	752
▪ Galleria artificiale Fortezza	---	288
▪ Galleria Bressanone	---	256
▪ Galleria Matscholer (Funes)	363	316
▪ Galleria Gardena (Gardena nord)	140	118
▪ Galleria Trostburg (Gardena sud)	374	381
▪ Galleria Kofler (Rosa)	159	159
▪ Galleria artificiale S. Osvaldo	163	---
▪ Galleria Castelrotto	490	326
▪ Galleria Fiè (Micheletti)	453	488
▪ Galleria Tusch (Tasch)	266	285
▪ Galleria Hochklausner (Chiusalta)	250	236
▪ Galleria Cardano	223	226
▪ Galleria Virgolo	887	887
▪ Galleria Piedicastello	901	933

*Ing. Carlo Costa | Direttore Tecnico Generale | Autostrada del Brennero SpA*



# Autostrada del Brennero in numeri: il tratto con il maggior numero di opere d'arte

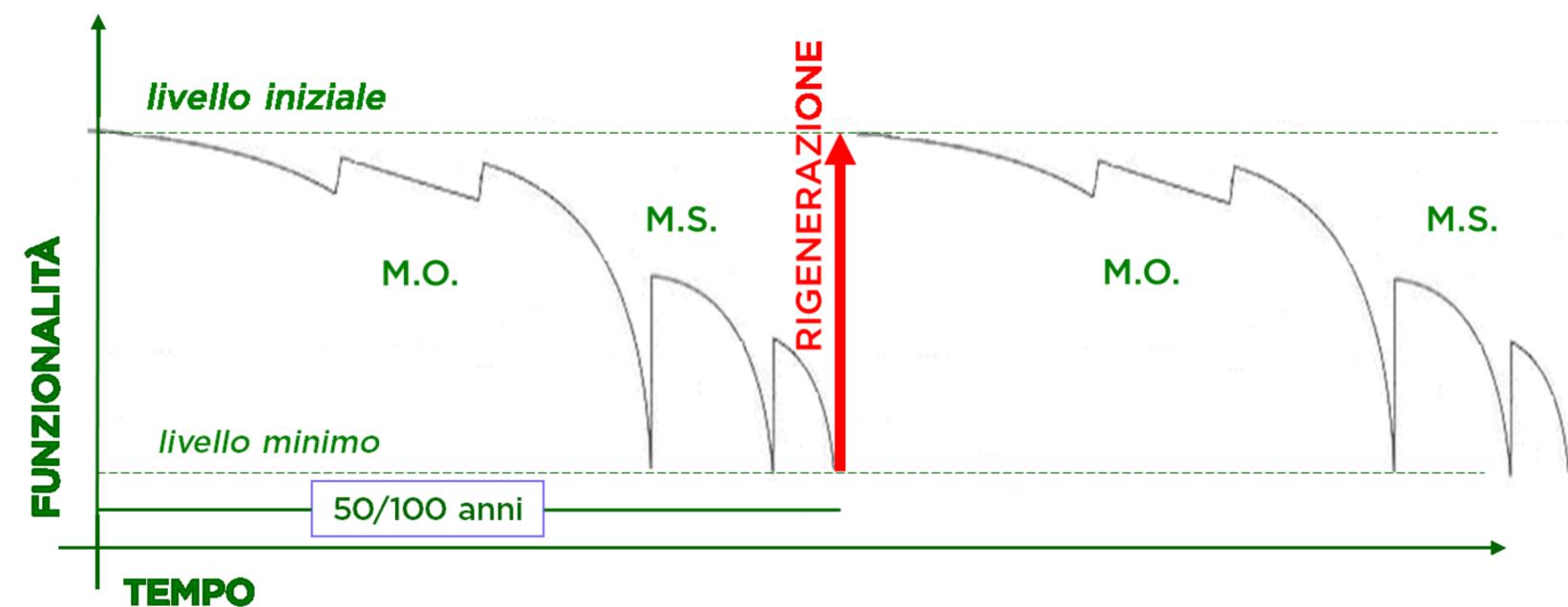
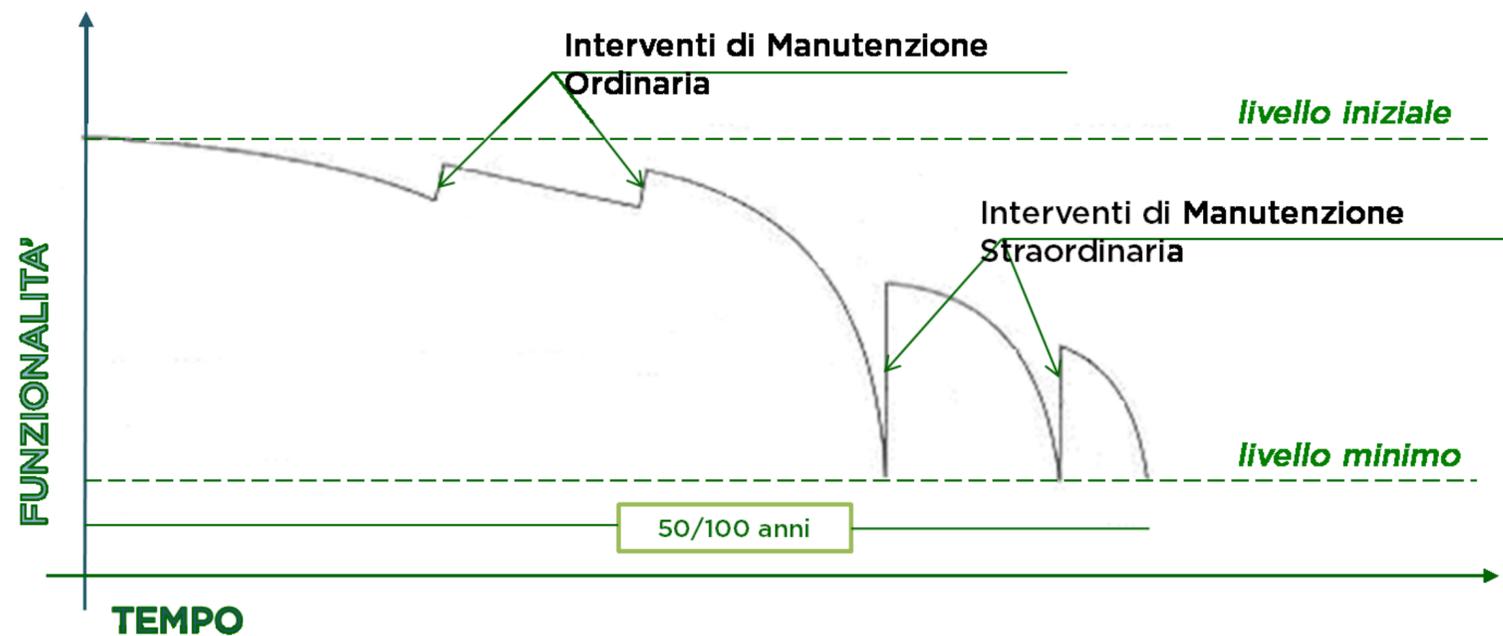
Nel tratto compreso tra il confine di Stato e  
Bolzano sud, **lungo 85 km, più di 30 km  
corrono su viadotti e 6 all'interno di gallerie:**



# Vita nominale opere d'arte

(da piani di manutenzione A22)

STRUTTURA	VITA UTILE
Impalcati	50 anni
Pile – Spalle – Muri	50 anni
Giunti	8 anni
Appoggi	40 anni
Pavimentazione stradale (usura)	6 anni



# Danneggiamenti opere d'arte: cause

## Interazione fisica

- urti di veicoli
- Fatica
- scalzamento pile
- azioni sismiche
- movimenti franosi
- trasporti eccezionali

## Interazione chimica

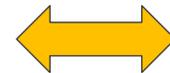
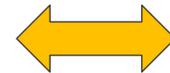
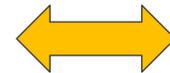
- Corrosione
- penetrazione di anidride carbonica
- penetrazione ioni di cloro (corrosione alveolare)
- attacco solfatico (disgregazione matrice cementizia espulsione copriferro)



# Degrado delle strutture esistenti

## CAUSE

- Inefficienza del meccanismo di tenuta all'acqua dei giunti di dilatazione delle travate
- Inefficienza sistema di raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma
- Deterioramento del pacchetto impermeabilizzante delle solette
- Utilizzo di sali disgelanti



## EFFETTI

- Travi longitudinali in condizioni di ammaloramento corticale
- Cordoli in situazione di esteso ed avanzato dissesto
- Ossidazione localizzata dei ferri delle solette
- Tenore di cloruri eccedente il limite critico negli strati superficiali delle sottostrutture

# Il Sistema A22: conservazione del patrimonio infrastrutturale



A22 ha scelto di **gestire interamente il processo integrando le singole fasi comprendendo l'intero sistema inclusivo ed unico** – Procedura 333 declinata in 9 Istruzioni operative

Ispezioni e progettazione

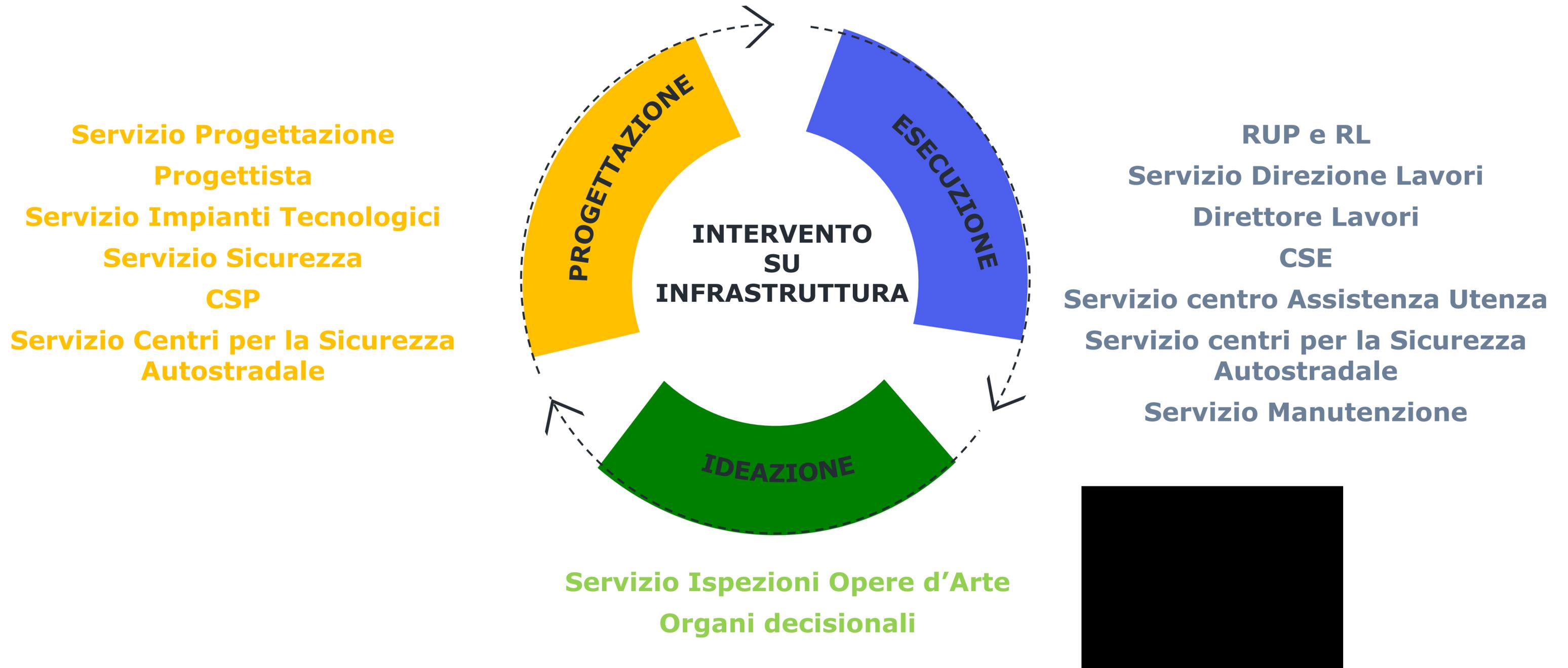
Sicurezza

Direzione Lavori

Esercizio Autostradale

Manutenzione

# Il Sistema A22: conservazione del patrimonio infrastrutturale



# Il Sistema A22: la gestione del processo

## OBIETTIVI

- garantire la sicurezza agli utenti
- assicurare un adeguato livello di servizio
- conservare il patrimonio infrastrutturale

## PROBLEMATICHE (rischi aggiuntivi)

- tempi di esecuzione
- spazi ristretti
- investimento degli addetti
- difficoltà di accesso al cantiere
- convivenza cantiere - traffico



# Il Sistema A22:

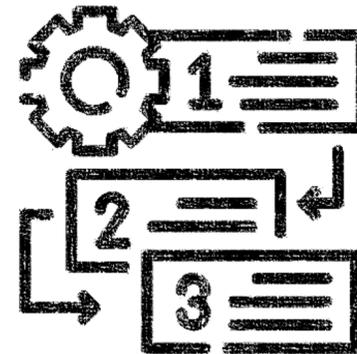
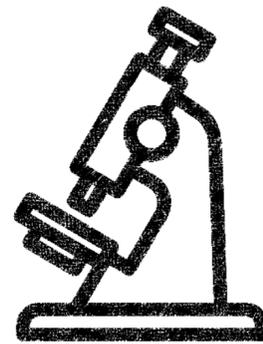
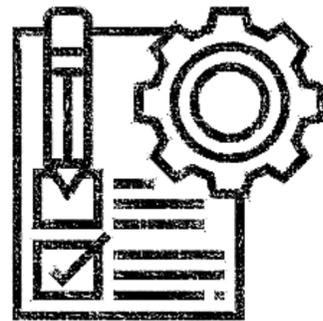
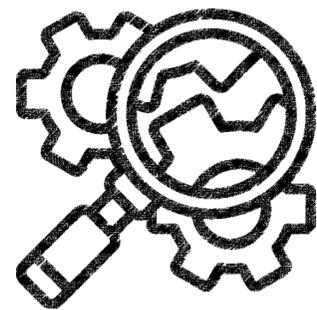
## Mission Direzione Tecnica Generale A22 (580 dipendenti)

- progettazione interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria
- progettazione delle nuove opere previste nel Piano Finanziario A22
- direzione lavori
- coordinamento della sicurezza
- collaudo
- monitoraggio opere d'arte
- gestione dell'esercizio autostradale garantendo e migliorando gli standard di sicurezza, qualità e confort



# Il Sistema A22: conservazione del patrimonio infrastrutturale

Fasi manutenzione opere d'arte in Autostrada del Brennero:



**1** **ispezione periodica** delle opere e/o loro **monitoraggio continuo**

**2** **valutazione** del loro **stato di conservazione** e delle loro **condizioni di sicurezza**

**3** **analisi dello stato di degrado** delle opere **attraverso prove di laboratorio** su campioni estratti

**4** **definizione delle priorità di intervento**

**5** **pianificazione e progetto degli interventi**

**6** **esecuzione dei lavori**

# Il Sistema A22:

## Ispezione e valutazione stato di conservazione opere d'arte

### *Attività propedeutiche*

- esame dei disegni di contabilità finale dei lavori
- studio della relazione di calcolo di progetto
- totale comprensione dello schema statico
- eventuale esecuzione di una nuova analisi strutturale



**Il Servizio Ispezioni Opere d'Arte di A22 è composto da un gruppo di 15 tecnici specializzati della D.T.G.**

# Il Sistema A22: Ispezione e valutazione dello stato di conservazione delle opere

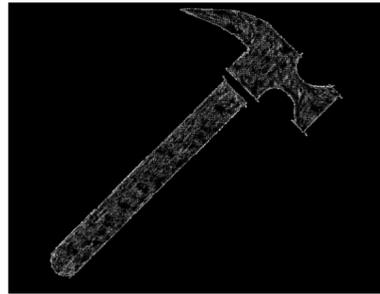
## Livelli di ispezione

- **Ricorrente** (ogni 3 mesi)
- **Principale** (dettagliata, prove non distruttive - annuale)
- **Approfondita** (prove in situ e laboratorio, per criticità strutturali rilevanti)



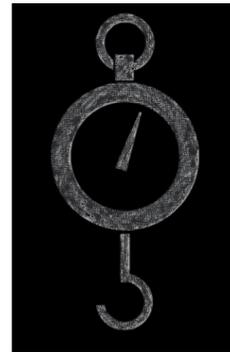
# Ispezione e valutazione stato di conservazione opere d'arte

## *Indagine su strutture ed elementi*



### PROVE DISTRUTTIVE

- Prove a **compressione**
- Prove a **trazione**

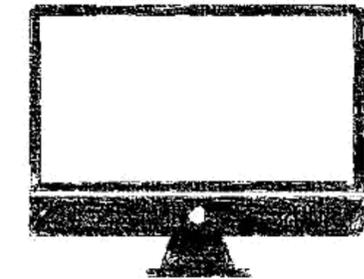


### PROVE NON DISTRUTTIVE

- **meccaniche** (sclerometro, pull out, pull off, Windsor)
- **elettromagnetiche** (radiografia, termografia, radar)
- **chimiche** (carbonatazione, analisi ione - cloro)
- **microsismiche** (soniche, ultrasismiche)
- **dinamiche** (risonanza flessionale, torsionale)
- **monitoraggio in continuo**



### ISPEZIONE VISIVA



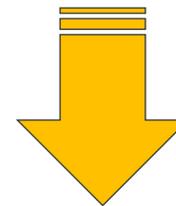
### SPERIMENTALI

# Ispezione e valutazione stato di conservazione opere d'arte

*Attività propedeutiche*



*Indagine su strutture ed elementi*



*rapporti di ispezione*



*giudizio*



**Pessimo**  
**Cattivo**  
**Mediocre**  
**Discreto**  
**Ottimo**



**attribuzione dei LIVELLI DI PRIORITÀ**

Condurre ulteriori verifiche strutturali  
Programmare interventi di risanamento/rifacimento

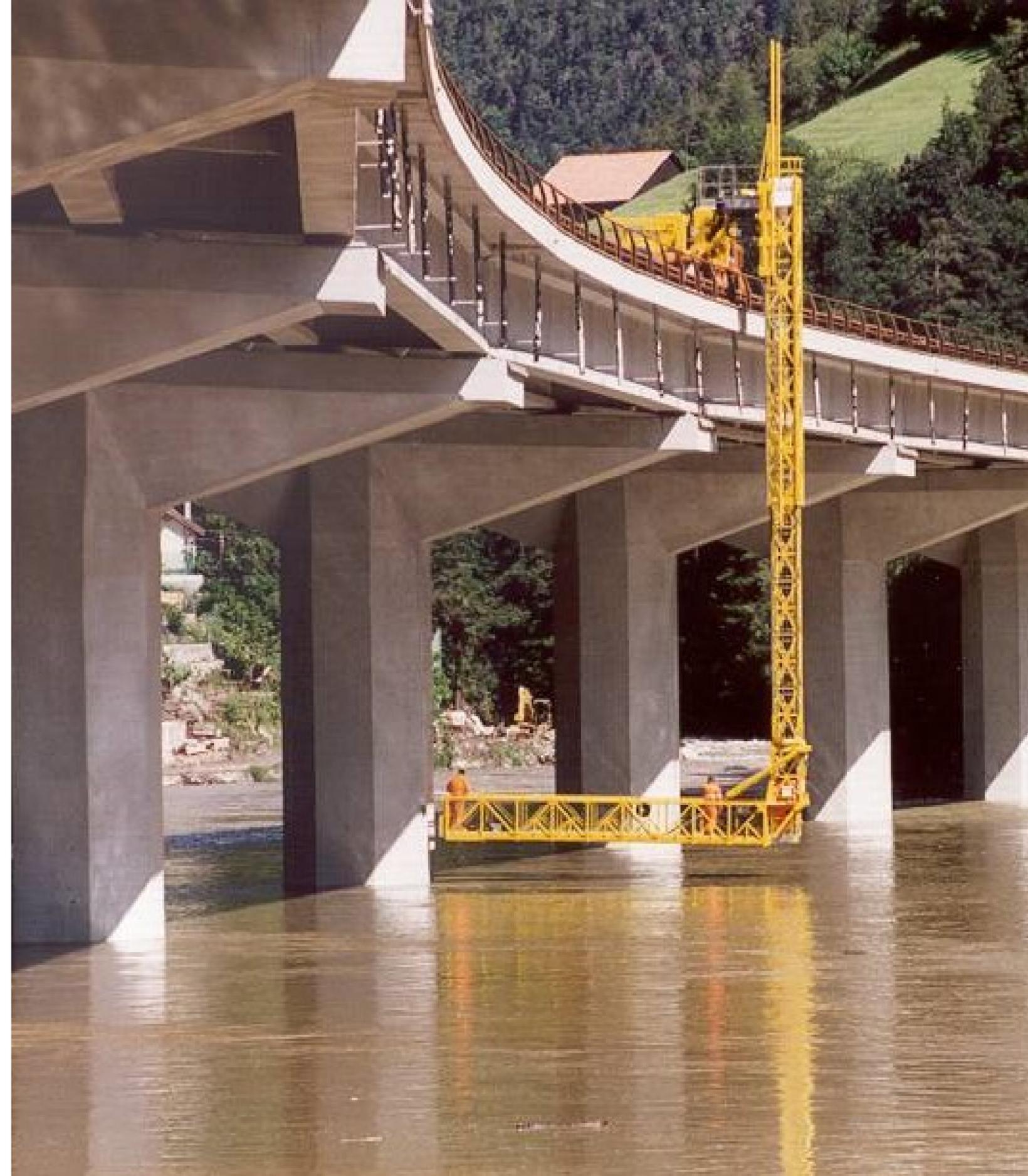
# La manutenzione delle opere d'arte

## OBIETTIVI

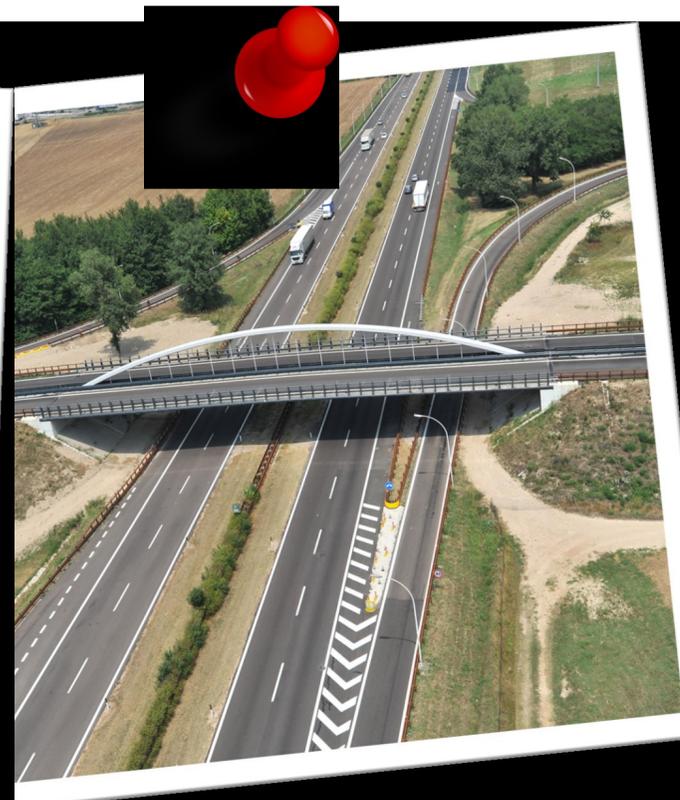
- limitare il decadimento della performance strutturale
- mantenere un livello di sicurezza minimo accettabile

## LIMITE

- gli interventi manutentivi non consentono di ripristinare completamente lo stato iniziale



# La manutenzione delle opere d'arte



## PONTI E VIADOTTI

- Rinforzo soletta e sostituzione giunti
- Rinforzo soletta, sostituzione giunti e sostituzione appoggi
- Collegamento trasversale impalcati, eliminazione giunti e sostituzione appoggi (modifica strutturale)
- Precompressione esterna, eliminazione giunti e sostituzione appoggi (modifica strutturale)
- Sostituzione degli impalcati (modifica strutturale)
- Protezione catodica attiva e passiva delle armature

## SOVRAPPASSI

- ricostruzione/ adeguamento
- rinforzo pile
- rinforzo selle Gerber
- ripristino intradosso
- sostituzione protezioni laterali

## GALLERIE

## ISPEZIONI, MAPPATURA DEL RISCHIO PER FRANE ED OPERE DI CONSOLIDAMENTO E PROTEZIONE VERSANTI MONTUOSI

# Valutazione degli interventi eseguiti

- **Prove di carico**

Si realizzano applicando alla struttura sollecitazioni e rilevandone le conseguenti deformazioni

- **Prove di verifica**

Verificano la corrispondenza sperimentale con quella teorica su strutture di cui si conoscano i parametri caratteristici

- **Prove di analisi**

Si analizzano e determinano le effettive caratteristiche di resistenza in strutture



# Esempio di intervento di manutenzione su ponti e viadotti A22

Consolidamento strutturale dell'impalcato  
del viadotto Colle Isarco

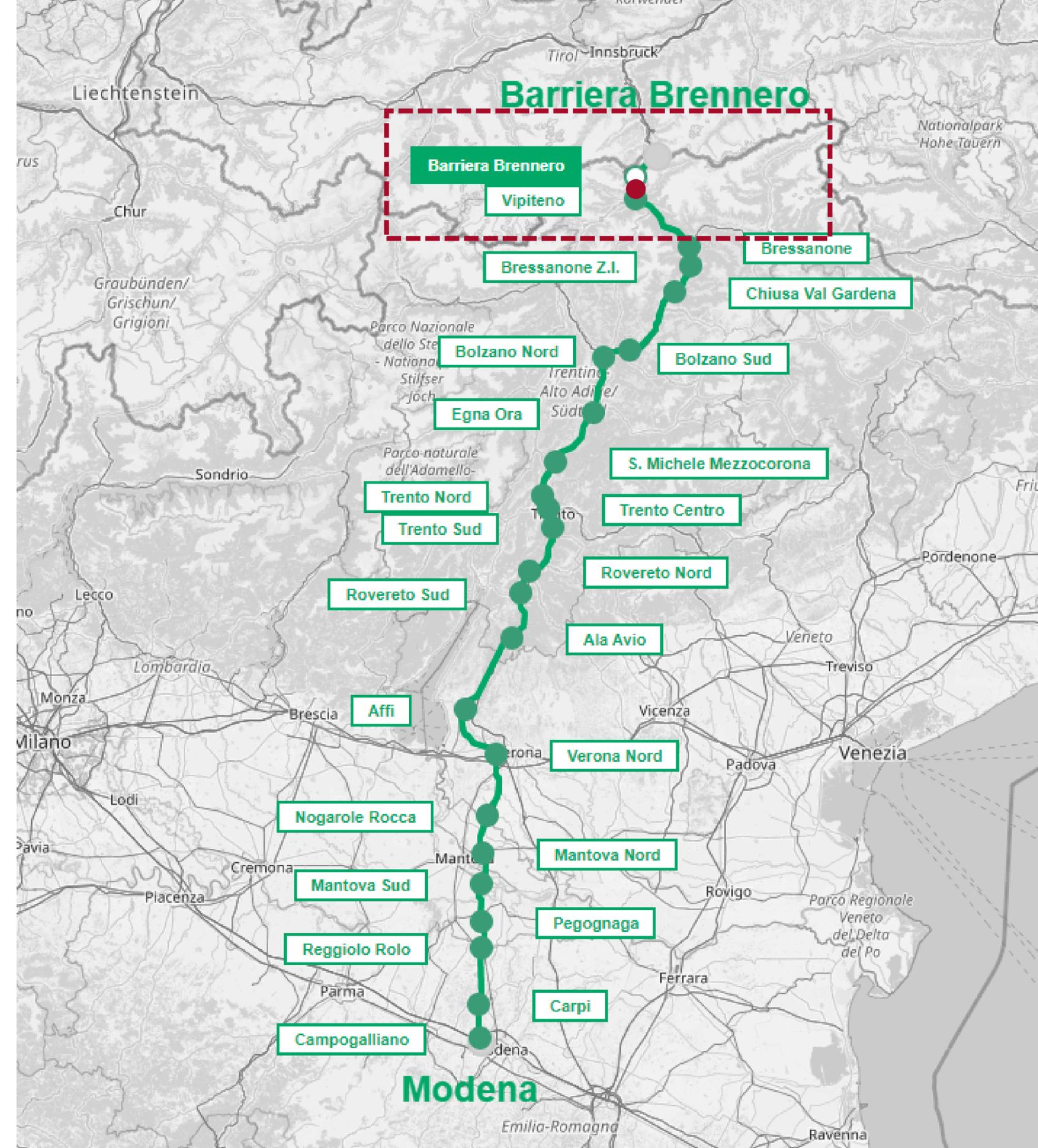
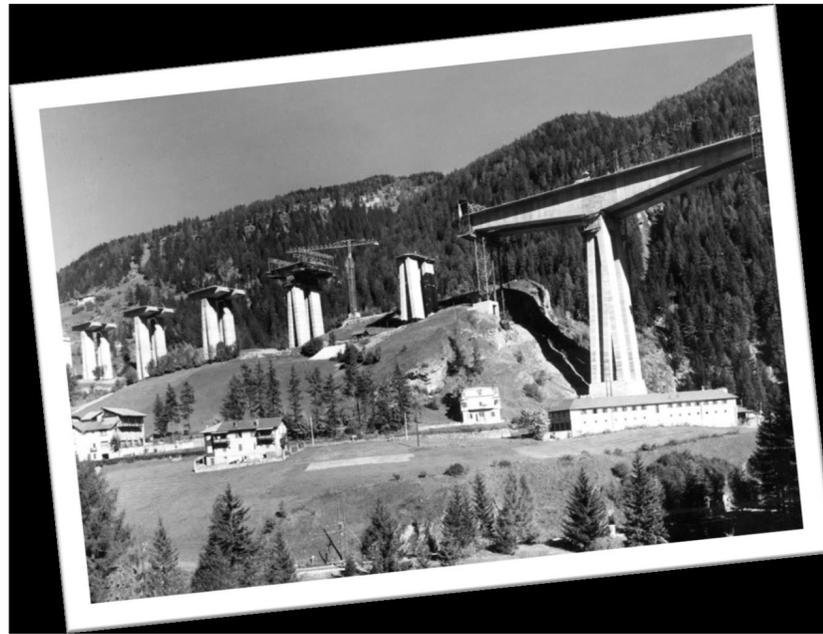


progettato a  
cavallo degli  
anni **1968** e  
**1969**

(Circolare  
Ministeriale 384  
del 14.02.1962  
«Norme relative  
ai carichi per il  
calcolo dei ponti  
stradali»)

# Ubicazione viadotto Colle Isarco

- situato tra le progr. km 8+957 e km 9+985 nel tratto compreso tra il Brennero e Vipiteno
- importanza strategica per la transitabilità lungo il **Corridoio 1**: eventuali problemi di ordine strutturale interromperebbero la percorribilità dell'Autostrada del Brennero causando enormi danni e disagi, anche alla luce dell'assenza di alternative viabilistiche



# Colle Isarco

## *Caratteristiche dell'opera*

- **lunghezza complessiva di 1.028 m**
- **13 campate aventi luce da 45,7 a 163 m**
- **quota media piano viabile: 1.182 m slm**
- **altezza massima sul fondovalle: 110 m**
- **altezza delle struttura (in corrispondenza delle pile): da 21 a 87 m**
- **sovrastuttura formata da 2 impalcati in c.a.p. affiancati**
- **larghezza complessiva: 22,10 m**



# Colle Isarco

## *Caratteristiche dell'opera*

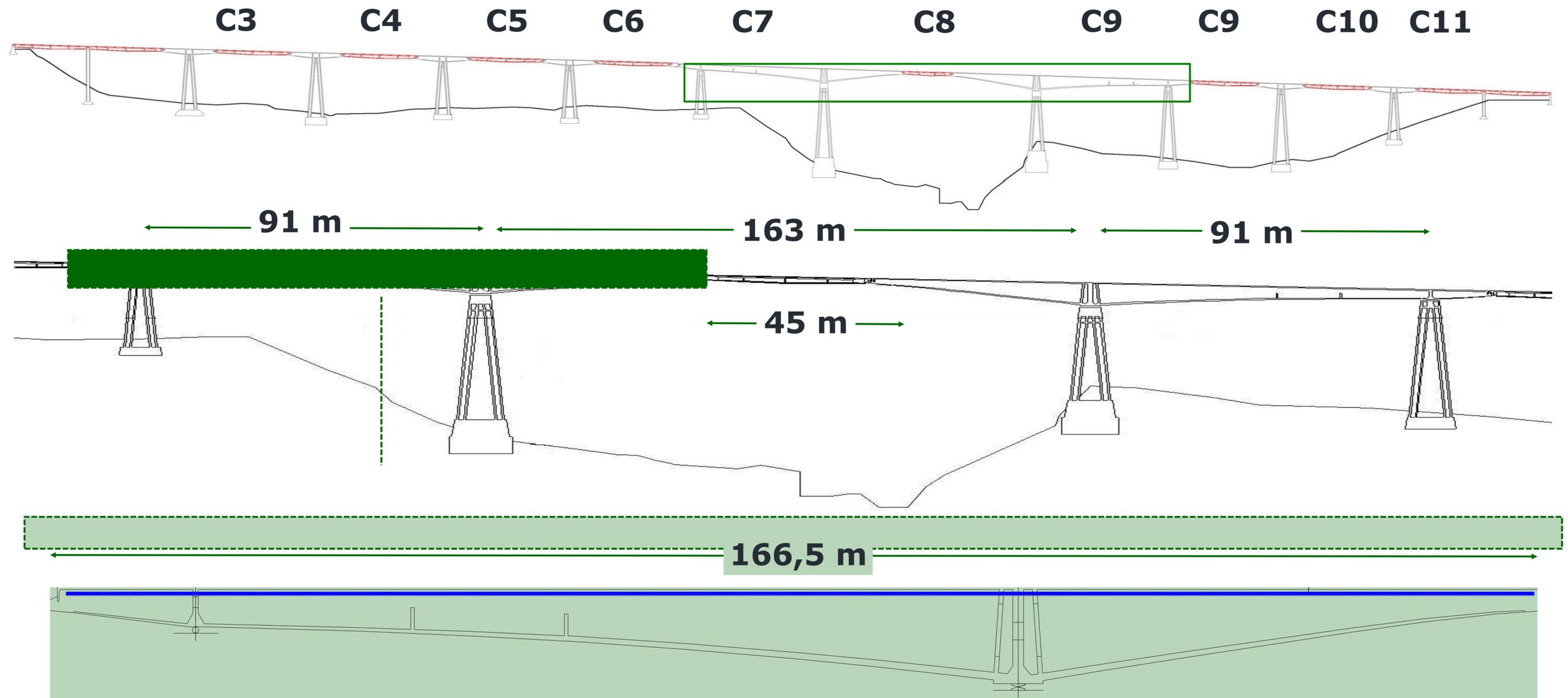
- **struttura in cemento armato precompresso** realizzata mediante un **avanzamento a sbalzo dei conci con maturazione in opera**
- soluzione costruttiva resa possibile realizzando la **precompressione delle membrature in cemento armato per fasi successive con l'utilizzo di barre Dywidag post-tese**
- **il sistema costruttivo ha consentito di raggiungere le rilevanti luci dell'opera**, ma ha avuto come **conseguenza il manifestarsi di deformazioni lente di tipo viscoso**, sempre **mantenute sotto monitoraggio continuo mediante livellazioni**



# Colle Isarco

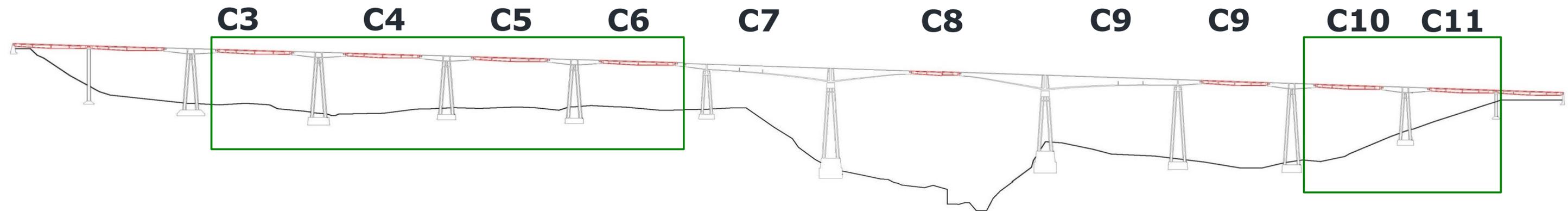
## *Sistema statico dell'opera*

il sistema statico delle 3 campate di maggior luce (C7-C8-C9) è quello di una travata Gerber tipo "Niagara": 2 travi a cassone appoggiate su 2 pile, coprono le 2 campate con luce di 91 m (C7 e C9) e, protendendosi a sbalzo per 59 m oltre gli appoggi sulle pile interne, sostengono con selle Gerber una travata sospesa della luce di 45 m



# Colle Isarco

*Sistema statico dell'opera*

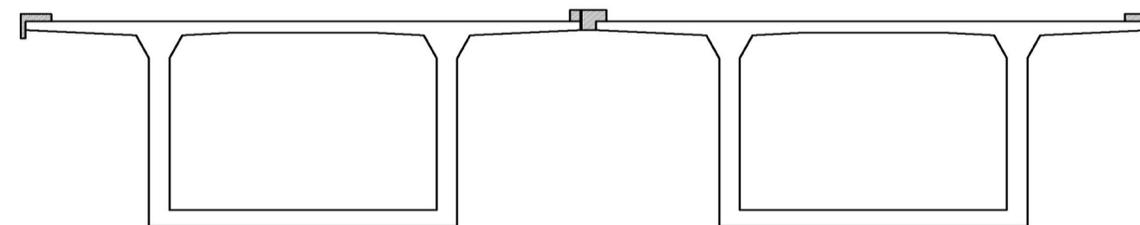


analogo schema statico adottato per le **6 campate di luce 78 m (C3-C4-C5-C6-C10-C11)**:

**travi a cassone** incastrate in sommità delle pile (sporgenti 16,5 m per parte) **sostengono travate sospese** di luce pari a **45 m**

**travi a cassone:**

- $H_{max} = 11,00$  m;  $H_{min} = 2,60$  m
- **2 nervature longitudinali**  $s = 0,40$  m
- **soletta superiore**  $s = 0,26$  m
- **soletta inferiore**  $s = \text{var. } 0,15$  m -  $1,00$  m

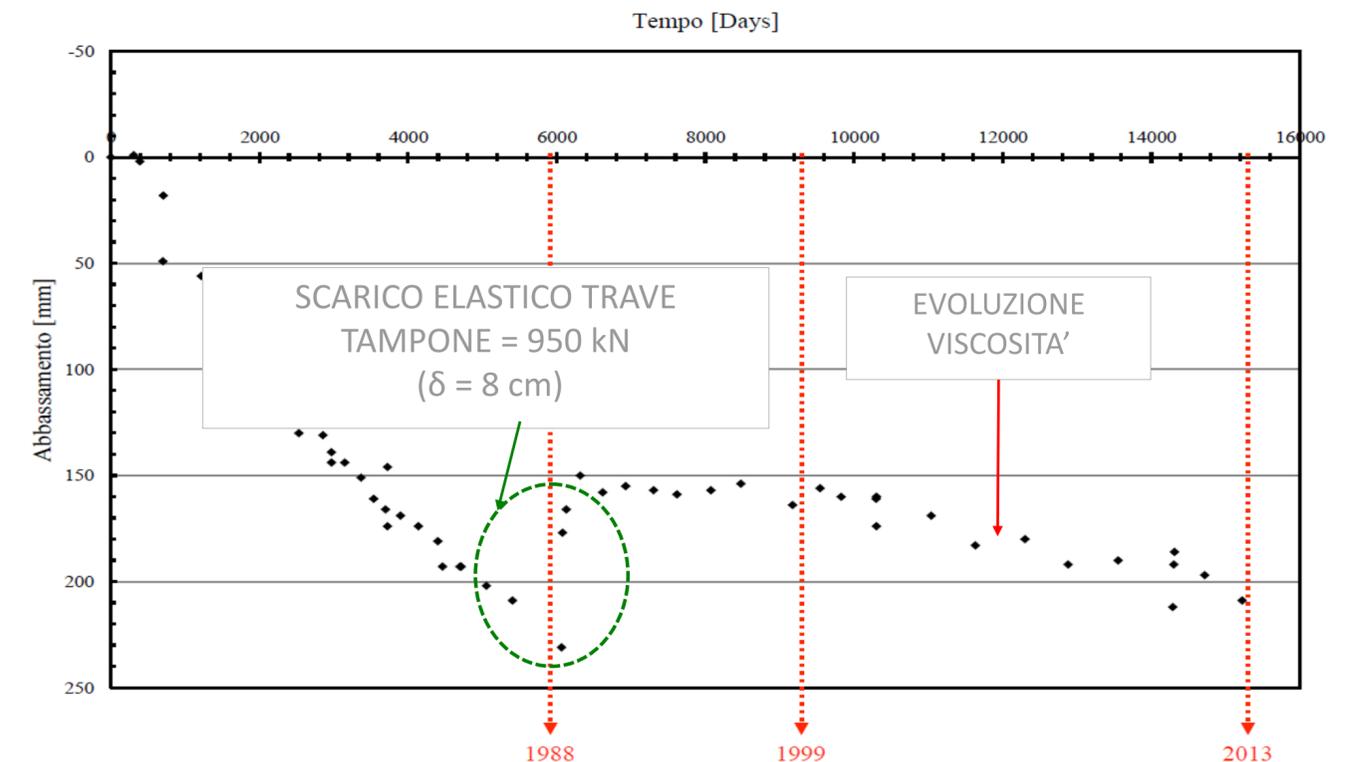
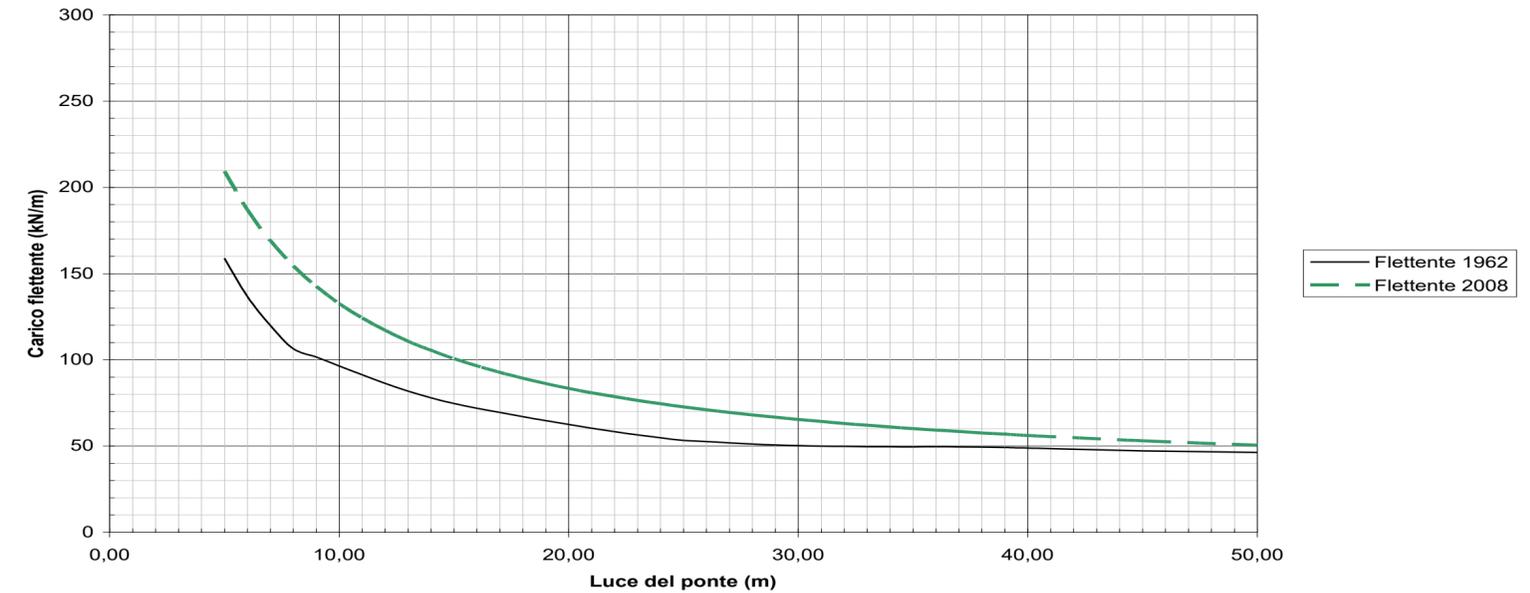


# Colle Isarco

Motivazioni necessità dell'intervento eseguito nel 2014-2015

- **riduzione del valore del coefficiente di sicurezza dovuta all'incremento dei carichi da traffico previsti dalle nuove normative (D.M.14.02.2008) rispetto a quelli utilizzati in progetto secondo la Circolare n°384 del 14.02.1962**
- **D.M. 1962 :  $M_{acc} = - 249.790 \text{ kNm}$**
- **D.M. 2008 :  $M_{acc} = - 281.394 \text{ kNm (S.L.U.)}$**
- **uso di sali disgelanti con conseguente corrosione o rottura delle barre d'armatura** a causa della diffusione degli ioni di cloro attraverso possibili lesioni dello strato impermeabilizzante.
- **evoluzione fenomeni di fatica a seguito dell'incremento delle caratteristiche e intensità dei mezzi pesanti moderni (carichi eccezionali)**
- **progressivo incremento della deformazione delle mensole (freccia) dovuta alla presenza di fenomeni viscosi connessi al sistema costruttivo adottato**

CONFRONTO CARICHI PER I PONTI  
[Carichi equivalenti dovuti alla colonna più gravosa]



# Colle Isarco

*Interventi eseguiti nel 2014-2015*

## Interventi all'estradosso:

- **consolidamento del calcestruzzo corticale all'estradosso della soletta dell'intero viadotto** (incremento di 25 mm dello spessore della soletta)
- **demolizione, ricostruzione, riconfigurazione ed impermeabilizzazione dei cordoli**
- **idrodemolizione, ricostruzione, rinforzo ed impermeabilizzazione delle solette**
- **sostituzione dei giunti di dilatazione e di tenuta all'acqua**
- **rinforzo dell'intera struttura d'impalcato con cavi esterni posizionati in prossimità dell'intradosso di soletta** e per l'intera lunghezza della travata
- **realizzazione di 4 diaframmi trasversali in acciaio** destinati a **rinforzare la struttura** verso azioni torcenti con **sensibile miglioramento del comportamento globale**

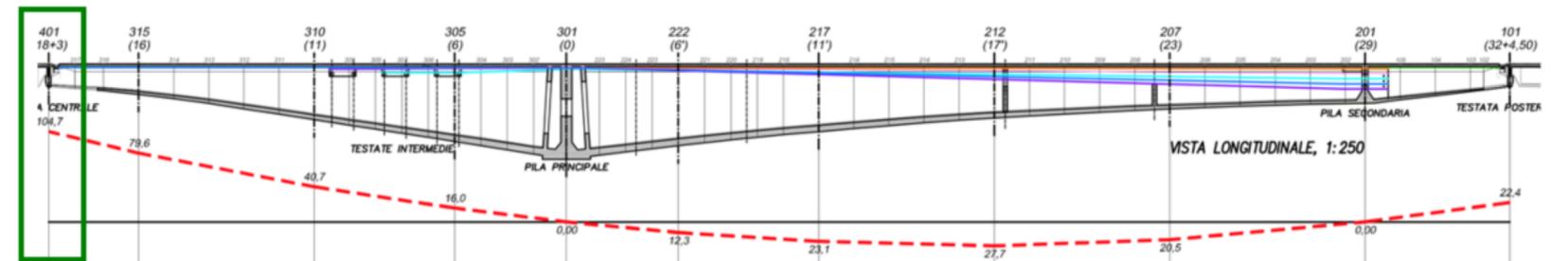


# Colle Isarco

## Precompressione esterna

### vantaggi e benefici:

- 1. Possibilità di ispezione e sostituzione** dei cavi mantenendo in esercizio il viadotto
- 2. Posizionamento interno al cassone:** protezione dagli agenti atmosferici e chimici
- 3. Vantaggi economici** nell'eventuale sostituzione dei cavi

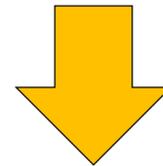


# Colle Isarco

Prova di carico del 4.12.2014

prova di carico realizzata sull'impalcato in carreggiata sud disponendo **15 camion** sulla mensola maggiore da 59 m

coefficiente di sicurezza prova di carico:  
**k = 1.12**

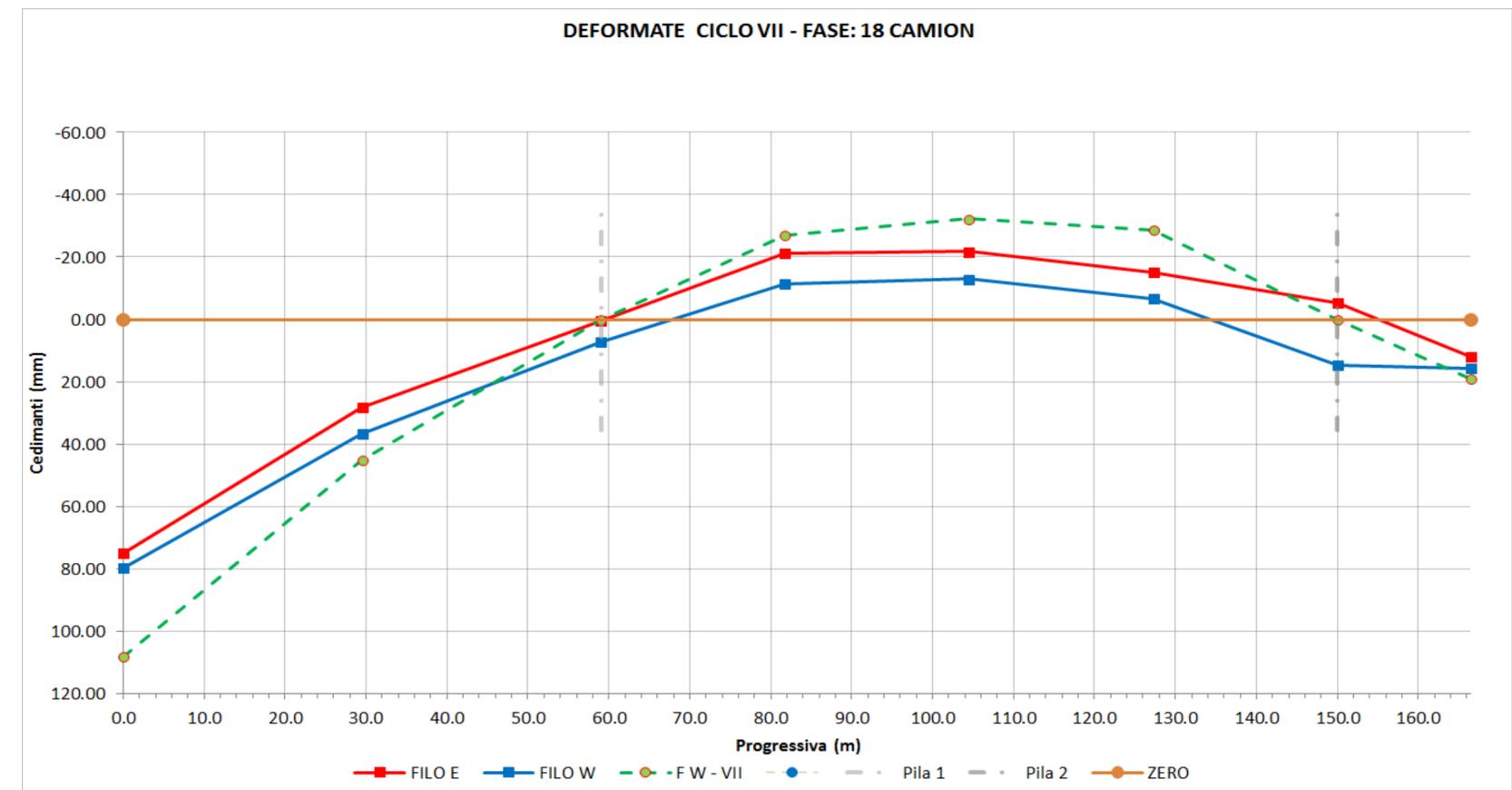


deformata minore rispetto a quella attesa  
in via analitica

Confronto freccia a 59 m:

Attesa:  **$\delta = 10.83$  cm**

Misurata:  **$\delta = 7.96$  cm**

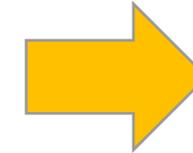


# Colle Isarco

## *Coefficienti di sicurezza*

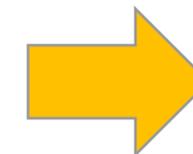
Coefficienti di sicurezza: sezione di attacco della mensola da 59 m

**coefficiente di sicurezza DI PROGETTO** riferito ai carichi mobili previsti dalla circolare n. 384 del D.M. 14.02.1962



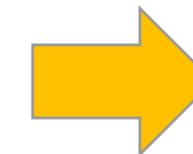
**2.02 (T.A.)**

**coefficiente di sicurezza PRE-INTERVENTO** riferito ai carichi mobili previsti dal DM14.02.2008 (barre Dywidag integre al 100%)



**1.19**

**coefficiente di sicurezza POST-INTERVENTO** riferito ai carichi mobili previsti dal DM14.02.2008 (barre Dywidag integre al 100%)

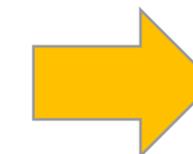


**1.30**

---

Ipotizzando danneggiamenti futuri delle barre Dywidag nell'ordine del 40%:

**coefficiente di sicurezza POST-INTERVENTO** riferito ai carichi mobili previsti dal DM14.02.2008 (barre Dywidag integre al 60%)



**1.11**

**Garanzia di sicurezza anche in presenza di rilevanti danneggiamenti delle barre DYWIDAG**

# Colle Isarco

## *Sistema di monitoraggio post-intervento*

- ai fini del monitoraggio strutturale si è adottata una stazione totale tipo **LEICA NOVA TM50** e prismi ottici circolari ad elevata precisione del tipo **LEICA GPR112** posizionati in **12 Benchmarks**
- **deflessioni** misurate ai prismi **8N1N** e **8N1S** nelle sezioni E ed F della **sella Gerber** della mensola in via Nord da 59,00 m



Incertezza di misurazione < 5 mm



# Colle Isarco

## Sistema di monitoraggio post-intervento

### ubicazione estensimetri a fibra ottica (FOSs) e termocoppie PT100

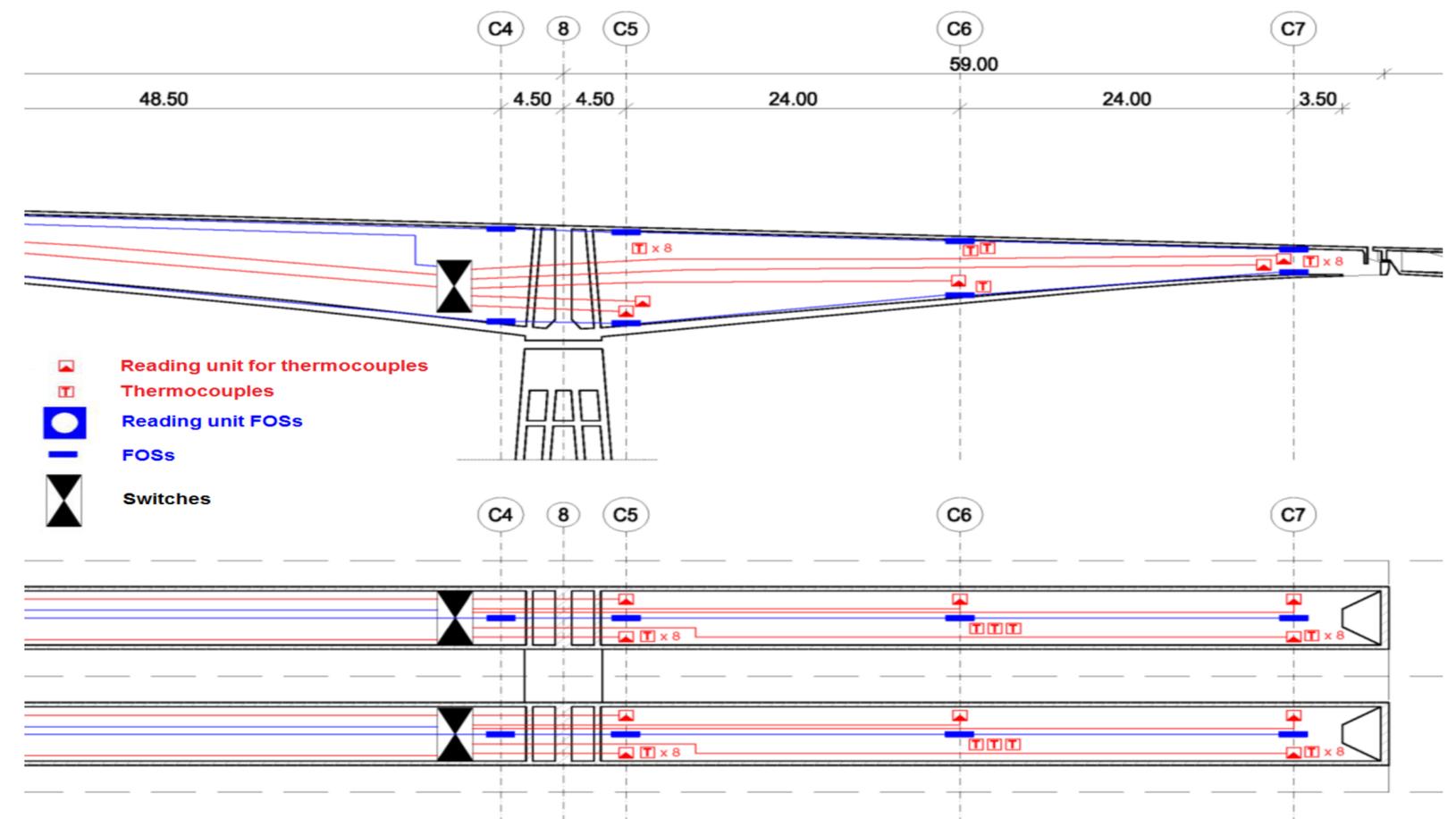
Monitoraggio continuo delle **deformazioni differite** derivanti dal sistema di post-tensione installato mediante estensimetri a fibra ottica tipo **FBG** (Fiber Bragg Grating).

installazione nella soletta inferiore e superiore delle travate in via NORD e SUD di **56** sensori:

- **48 FBG** – lunghezza **2,0 m**
- **8 FBG** – lunghezza **1,0 m**

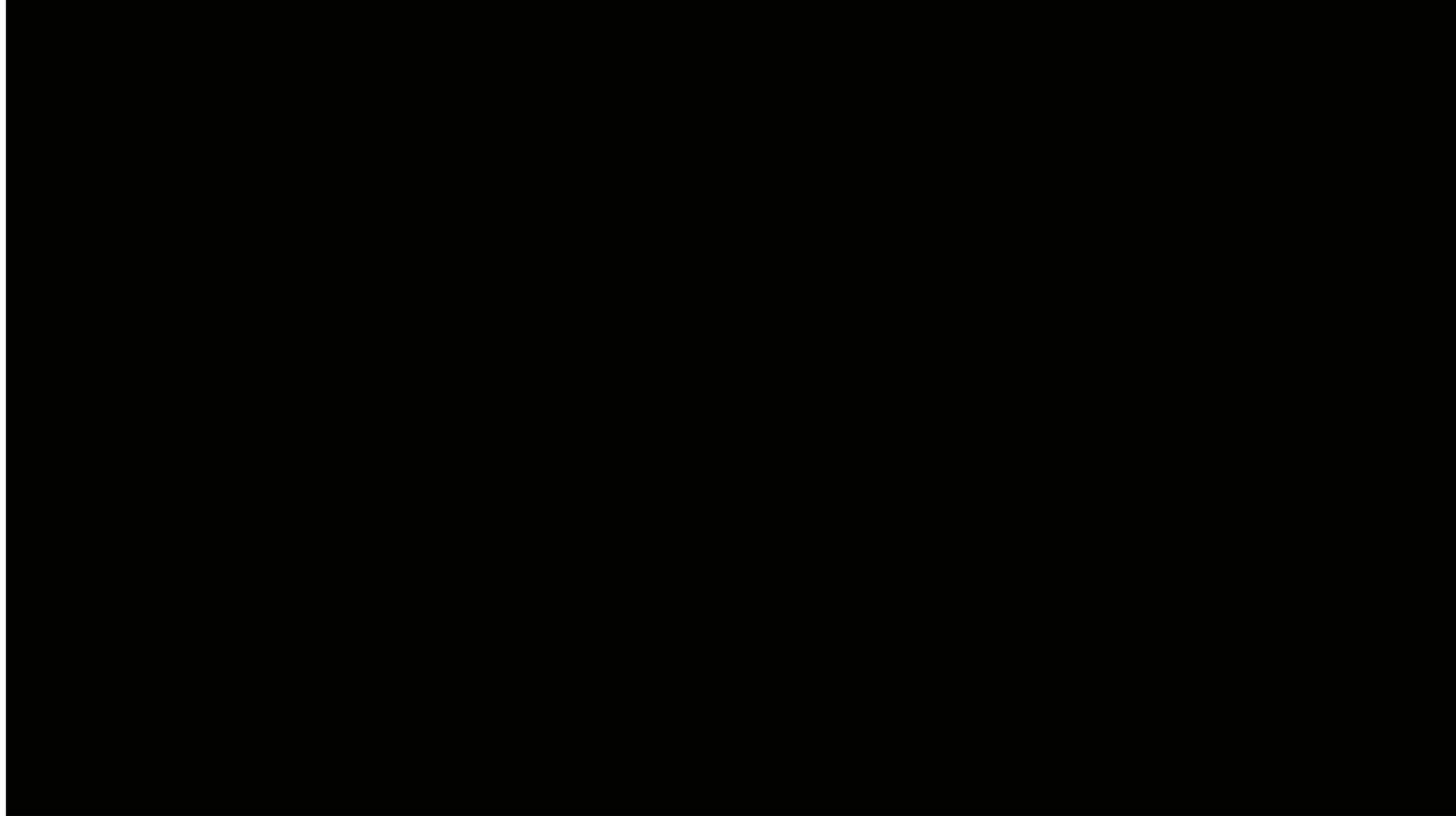
gradiente termico per corretto funzionamento:  $-20\text{ C} \div +30\text{ C}$

installazione di **4** Unità di acquisizione e trasmissione dati (**Master Unit**) sulle Pile 7 e 8 collegate al Server di archiviazione dati grazie a 4 Switch Ethernet con protocollo TCP/IP

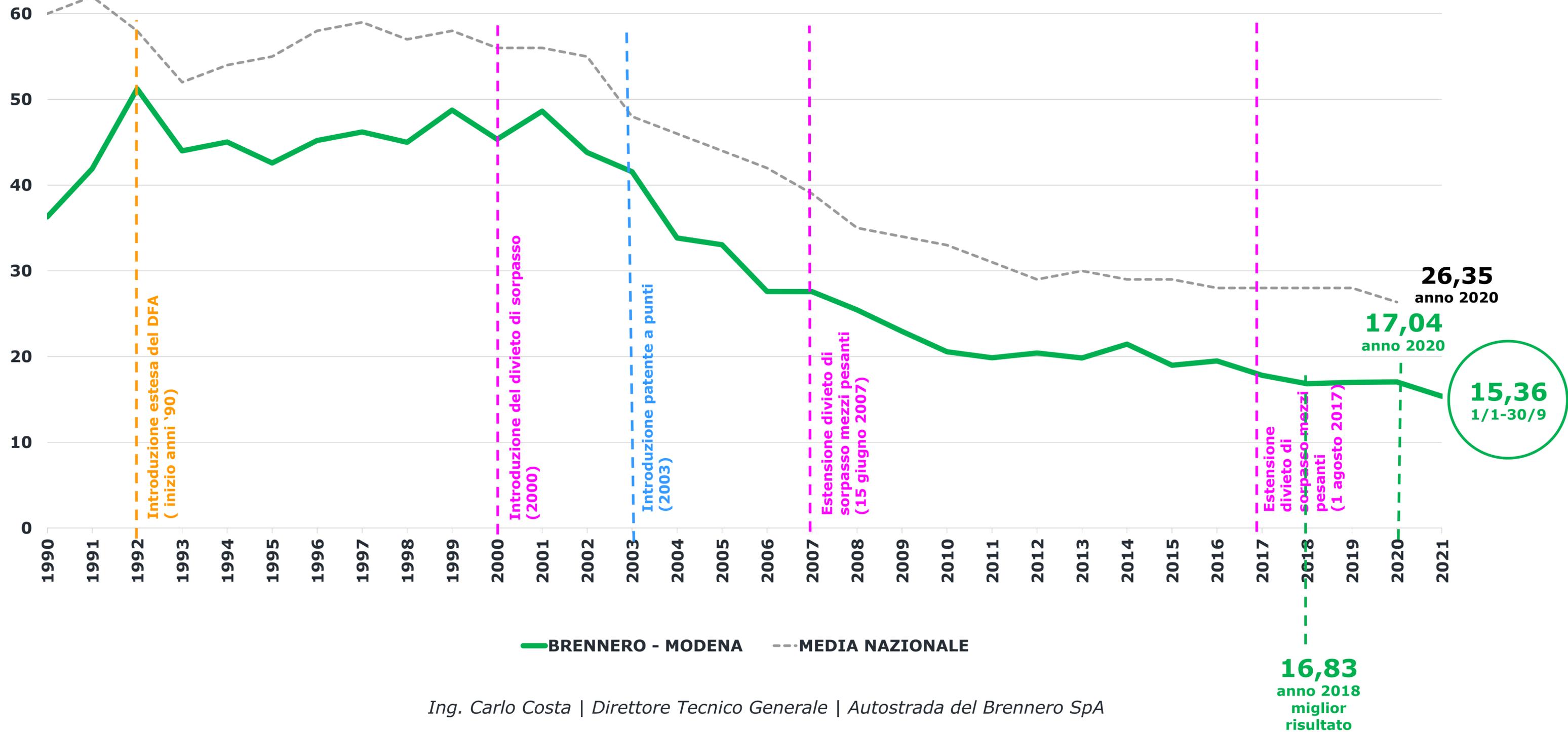


# Prova di carico

*del 04.12.2014*



# Il Sistema A22 negli anni ha consentito di raggiungere i migliori valori del tasso di incidentalità in ambito italiano



# L'ESPERIENZA DI AUTOSTRADA DEL BRENNERO NELLA GESTIONE DELL'INFRASTRUTTURA E NEL PROCESSO DI MONITORAGGIO E MANUTENZIONE DELLE OPERE D'ARTE

*4° edizione delle giornate dell'edilizia interalpina*

*Ing. Carlo Costa | Direttore Tecnico Generale | Autostrada del Brennero SpA*

Igls,  
11 e 12 novembre  
**2021**

