

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

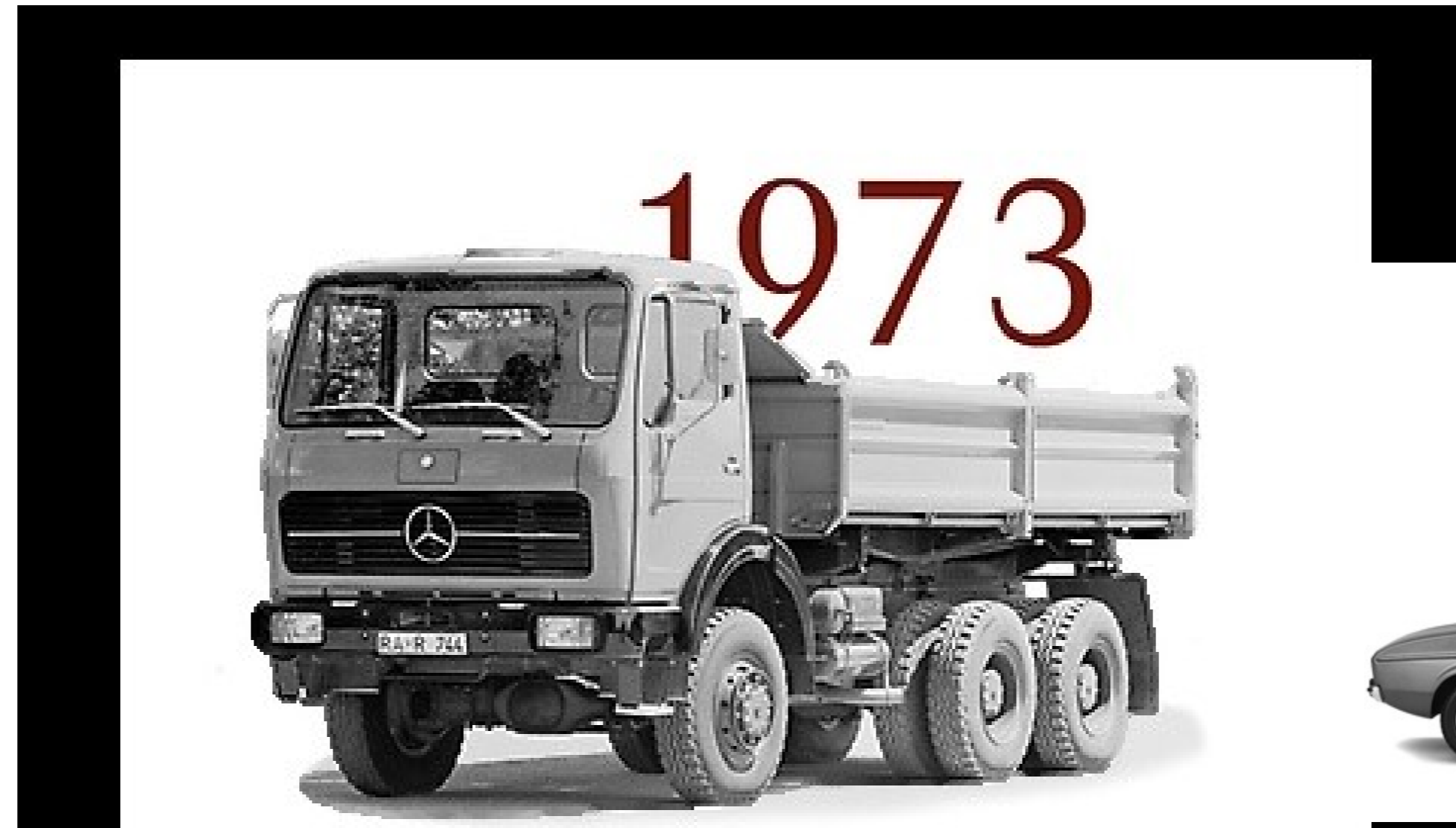


Traffico in A22

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

$\Delta\%$ 1990-2019



+90,09 %

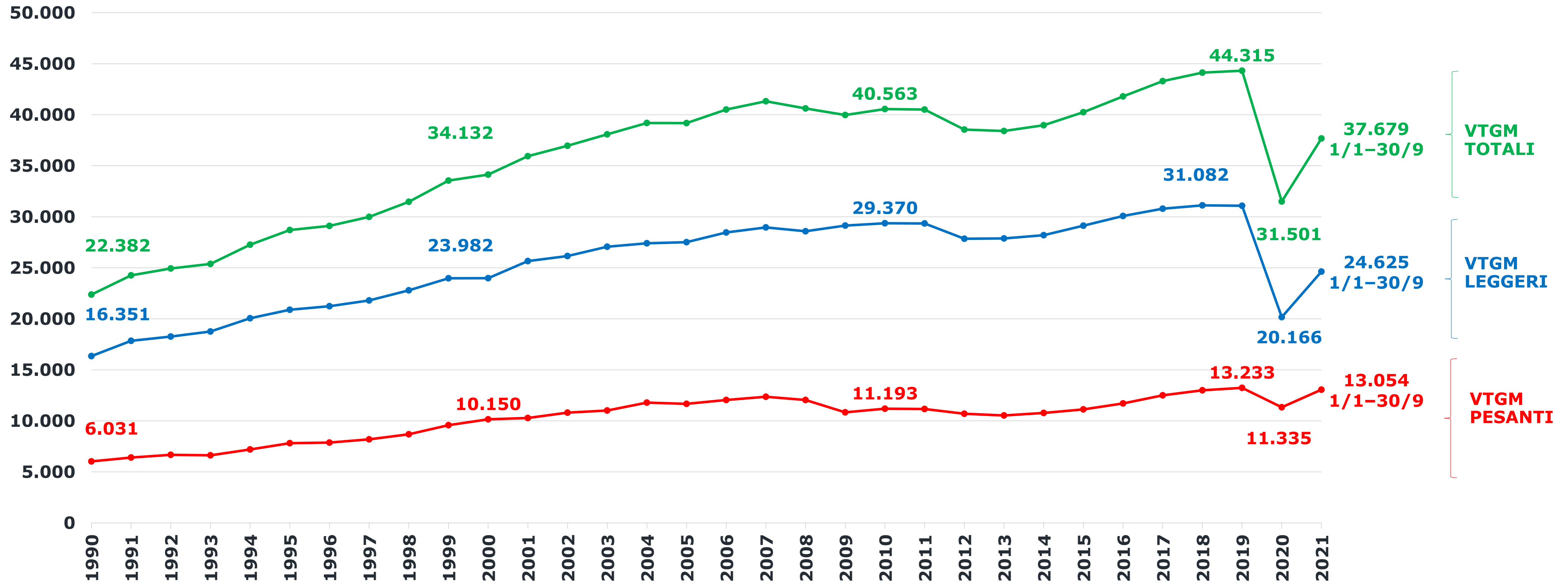


+119,42 %



+97,99 %

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



Autostrada del Brennero in numeri

314
km

lunghezza complessiva

24
m

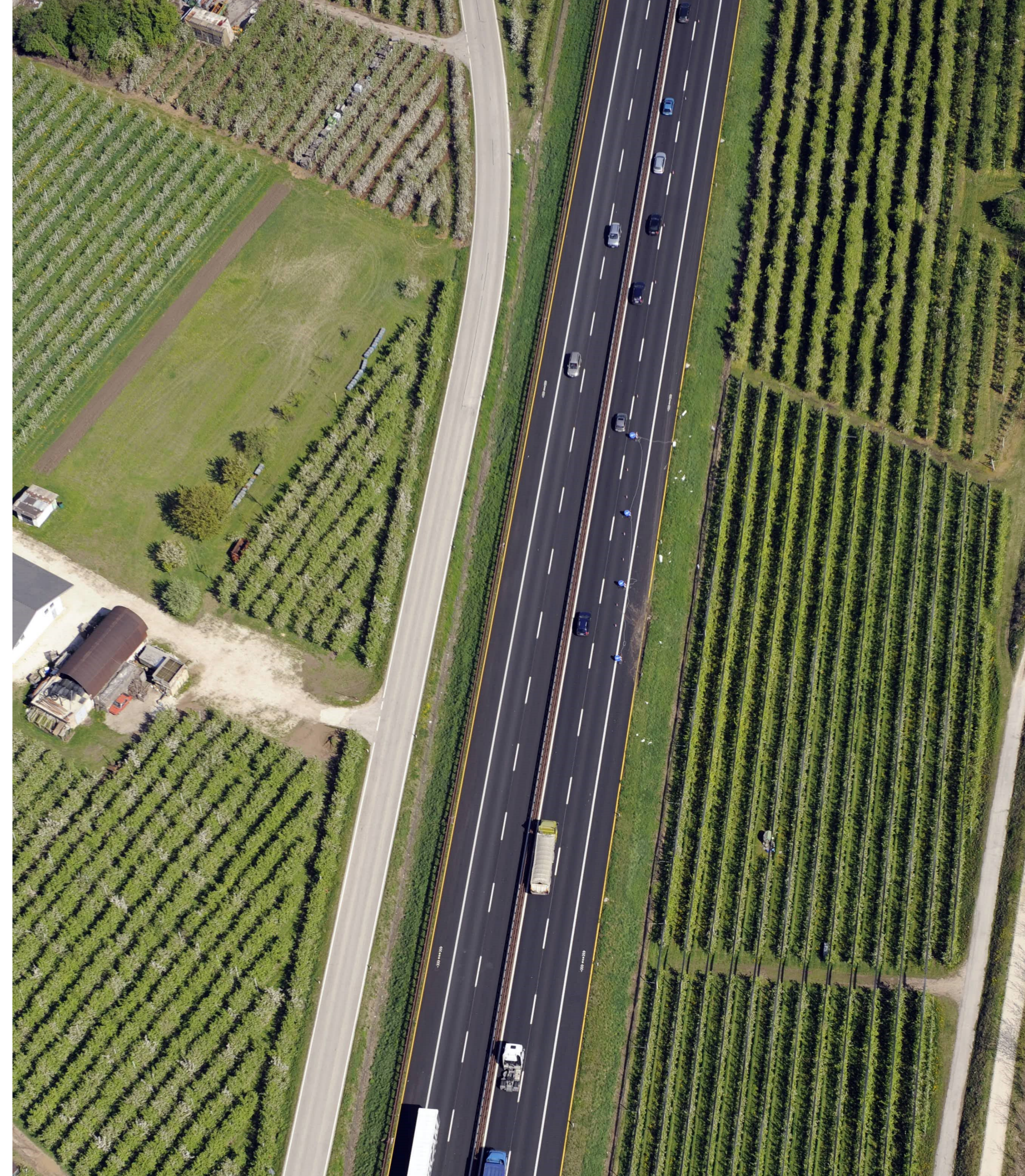
piattaforma autostradale
da Brennero a Verona

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 ²
▪ 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 ²
▪ 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

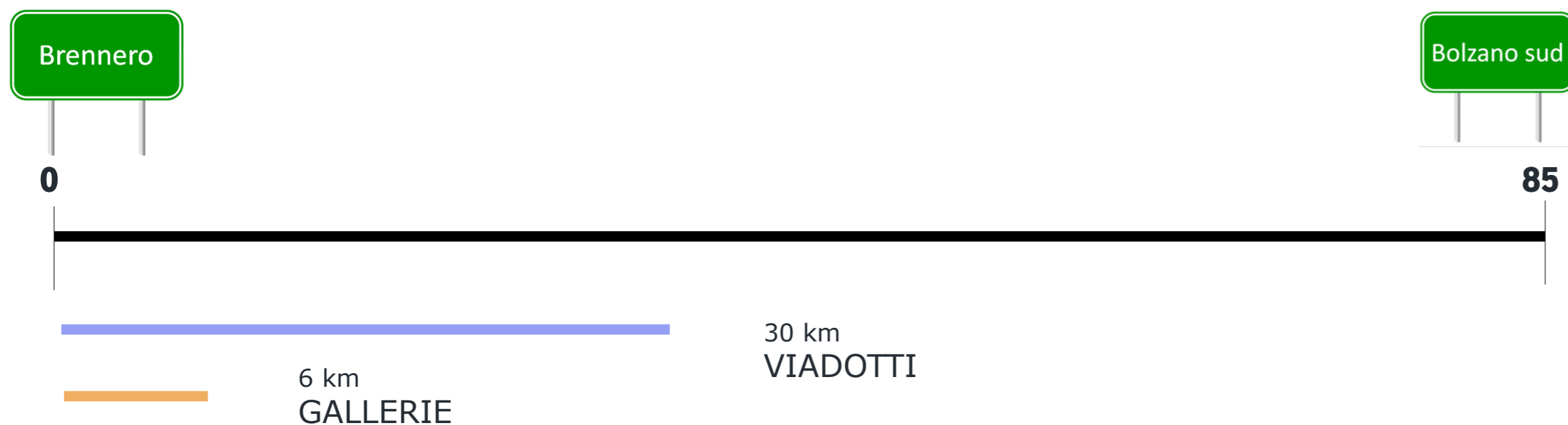
GALLERIE	Carreggiata nord	Carreggiata sud
	Lunghezza m	Lunghezza m
▪ Galleria Brennero	802	492
▪ Galleria artificiale Ponticolo	131	---
▪ Galleria Fortezza	834	752
▪ Galleria artificiale Fortezza	---	288
▪ Galleria Bressanone	---	256
▪ Galleria Matscholer (Funes)	363	316
▪ Galleria Gardena (Gardena nord)	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

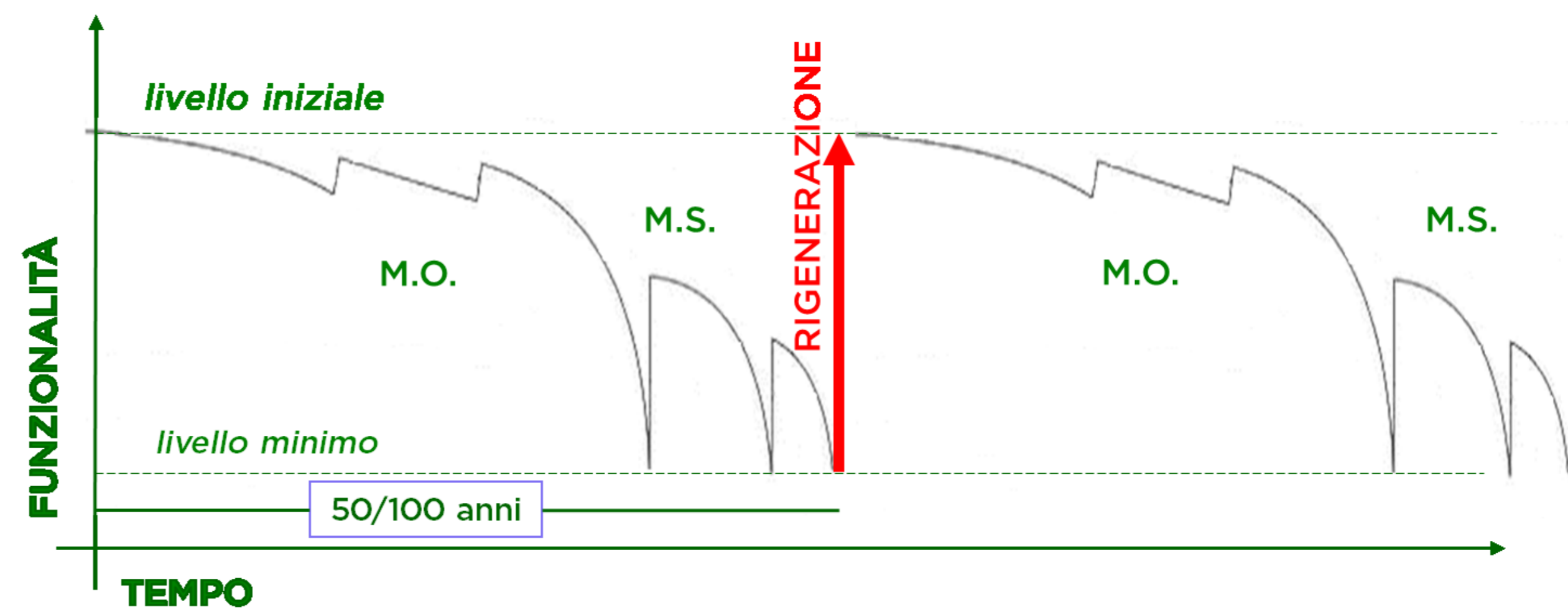
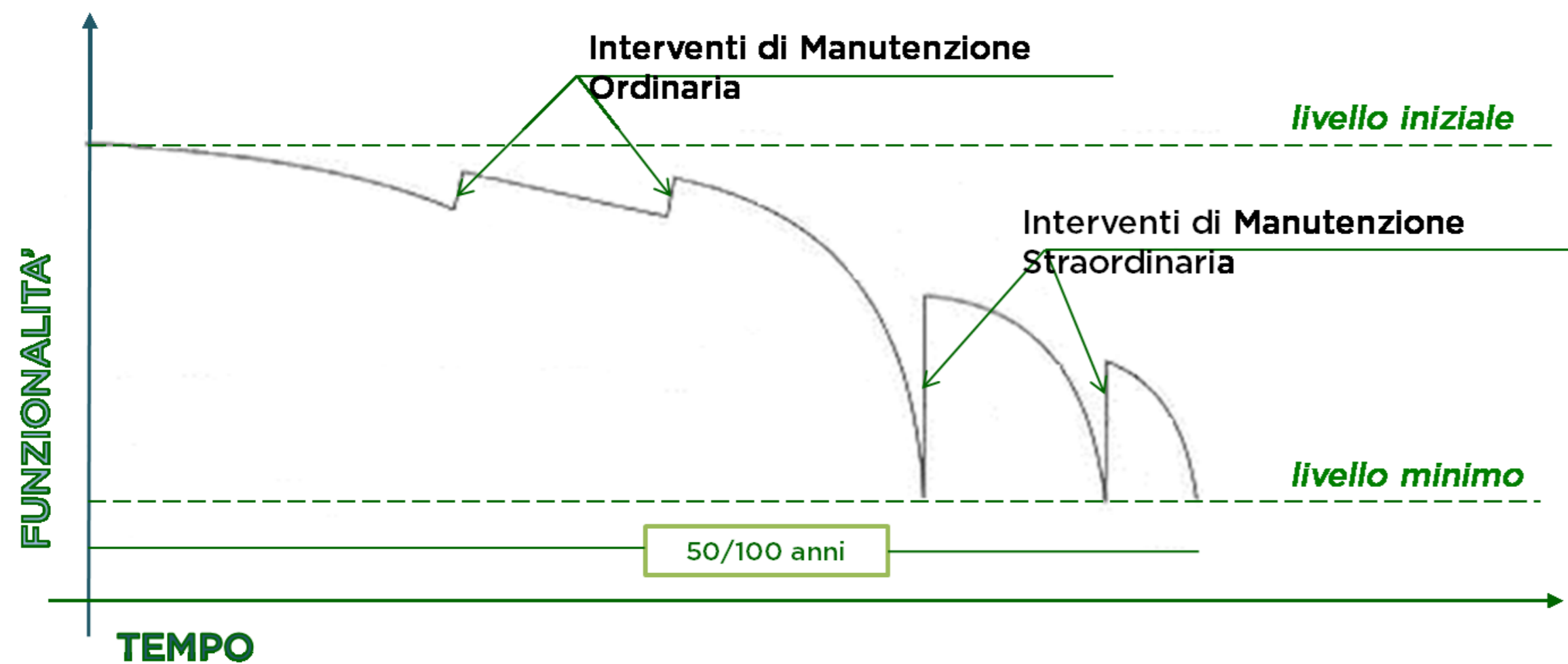
Nel tratto compreso tra il confine di Stato e
Bolzano sud, **lungo 85 km, più di 30 km
corrono su viadotti e 6 all'interno di gallerie:**



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

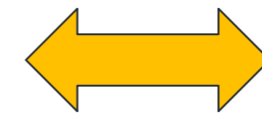
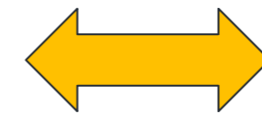
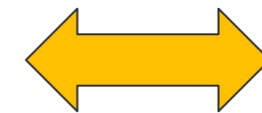
- Corrosione
- penetrazione di anidride carbonica
- penetrazione ioni di cloro (corrosione alveolare)
- attacco solfatico (disgregazione matrice cementizia espulsione copriferro)



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

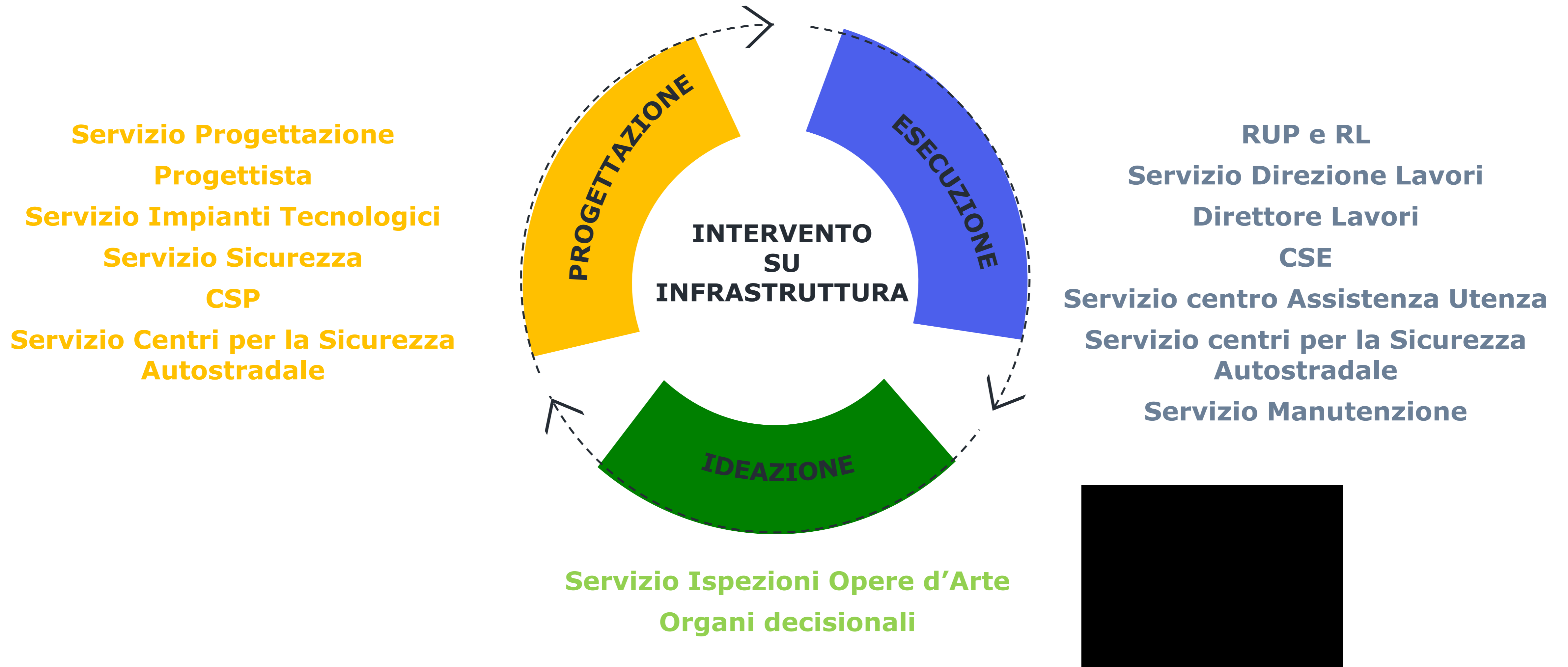
Sicurezza

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:

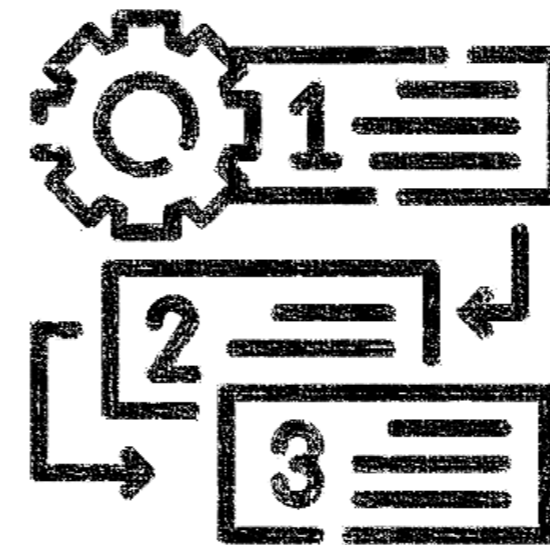
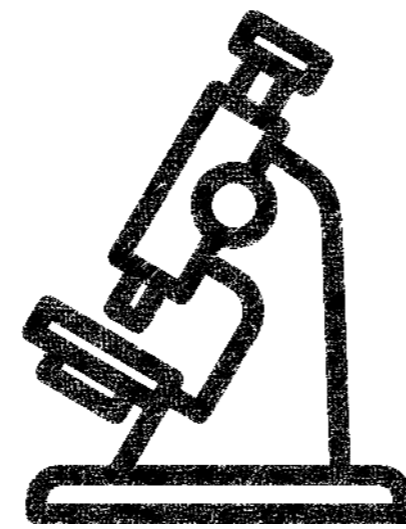
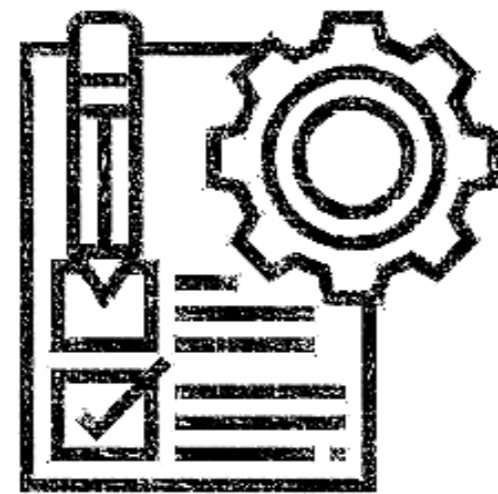
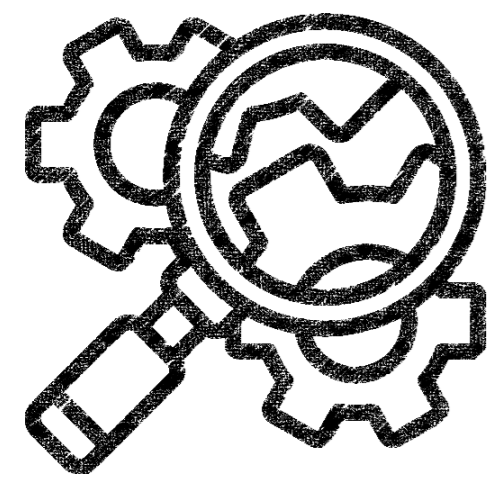
Mission Direzione Tecnica Generale A22 (580 dipendenti)

- 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

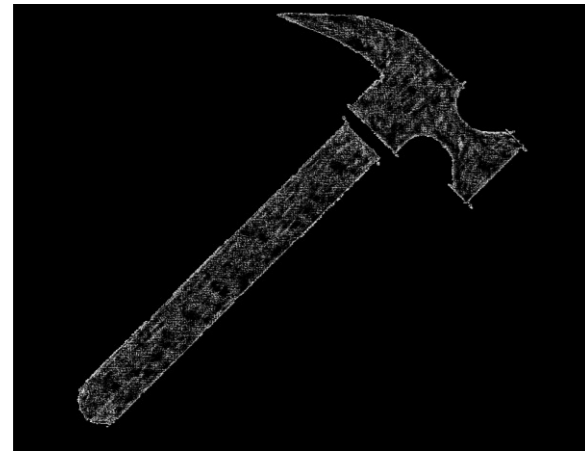
Livelli di ispezione

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



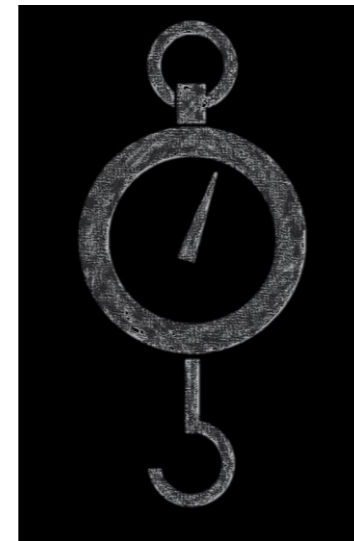
Ispezione e valutazione stato di conservazione opere d'arte

Indagine su strutture ed elementi



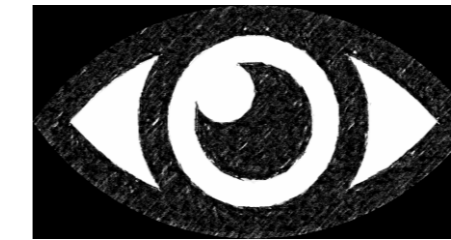
PROVE DISTRUTTIVE

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

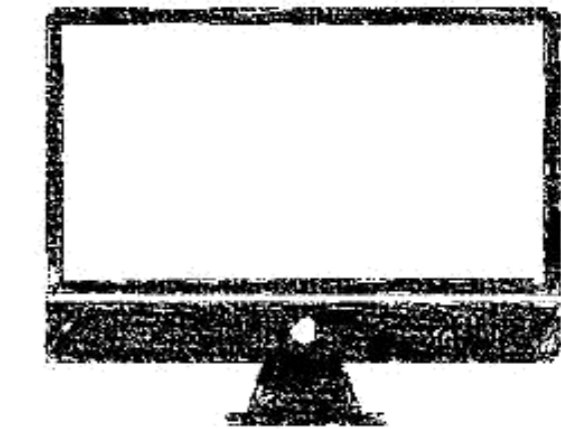


PROVE NON DISTRUTTIVE

- **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**



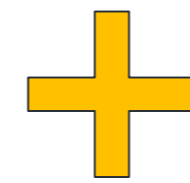
ISPEZIONE VISIVA



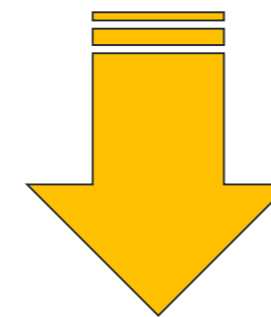
SPERIMENTALI

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

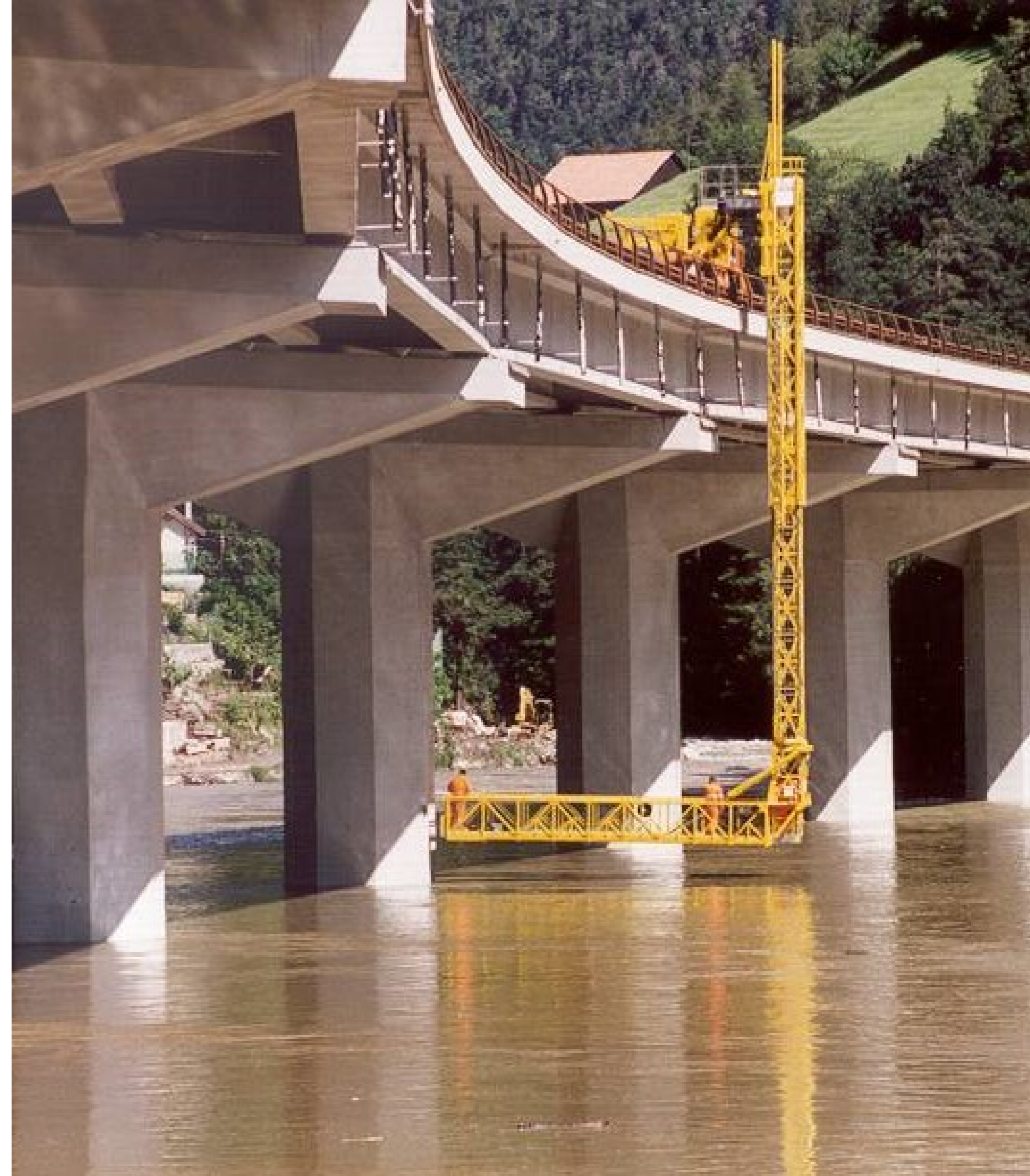
La manutenzione delle opere d'arte

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

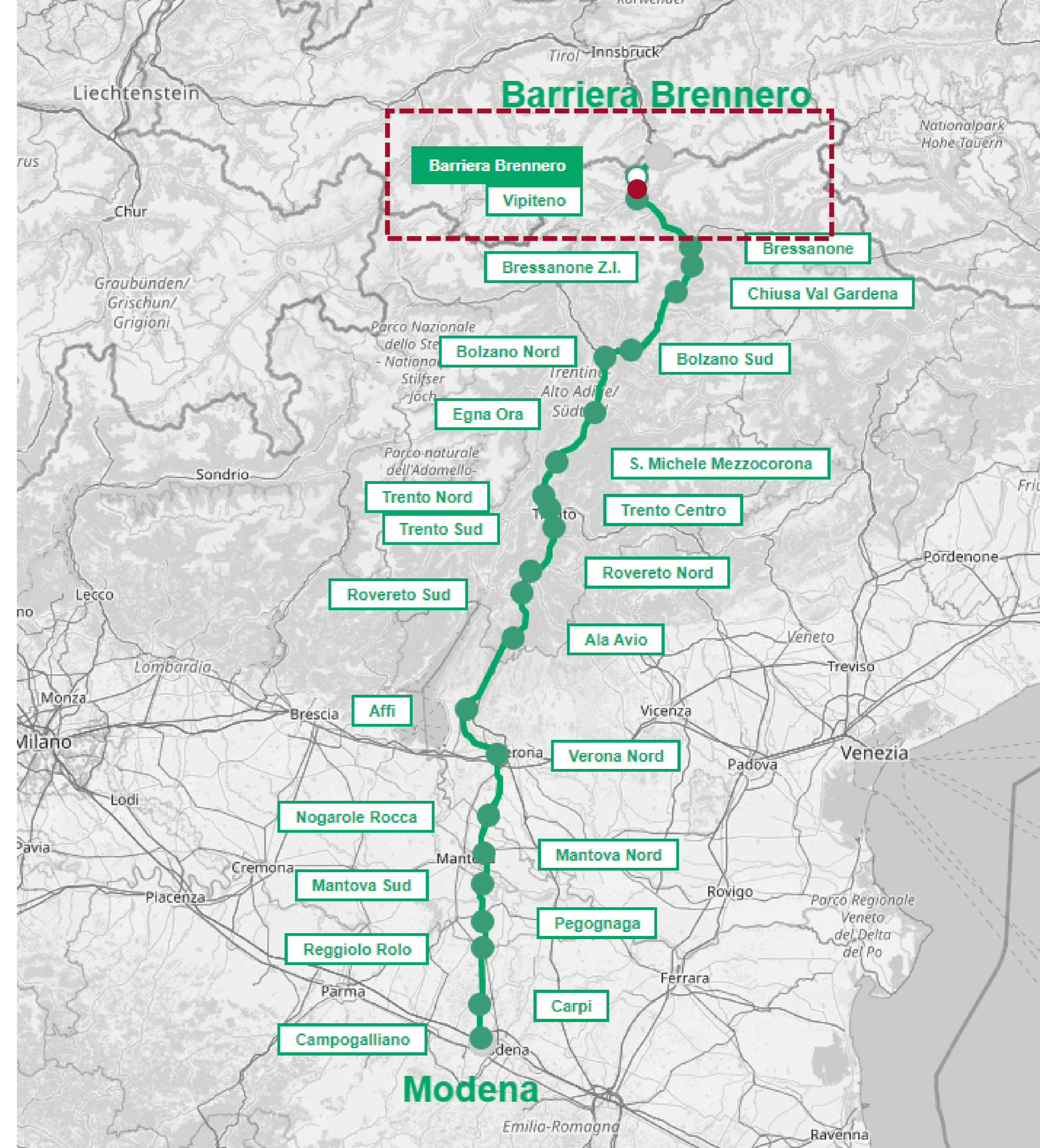
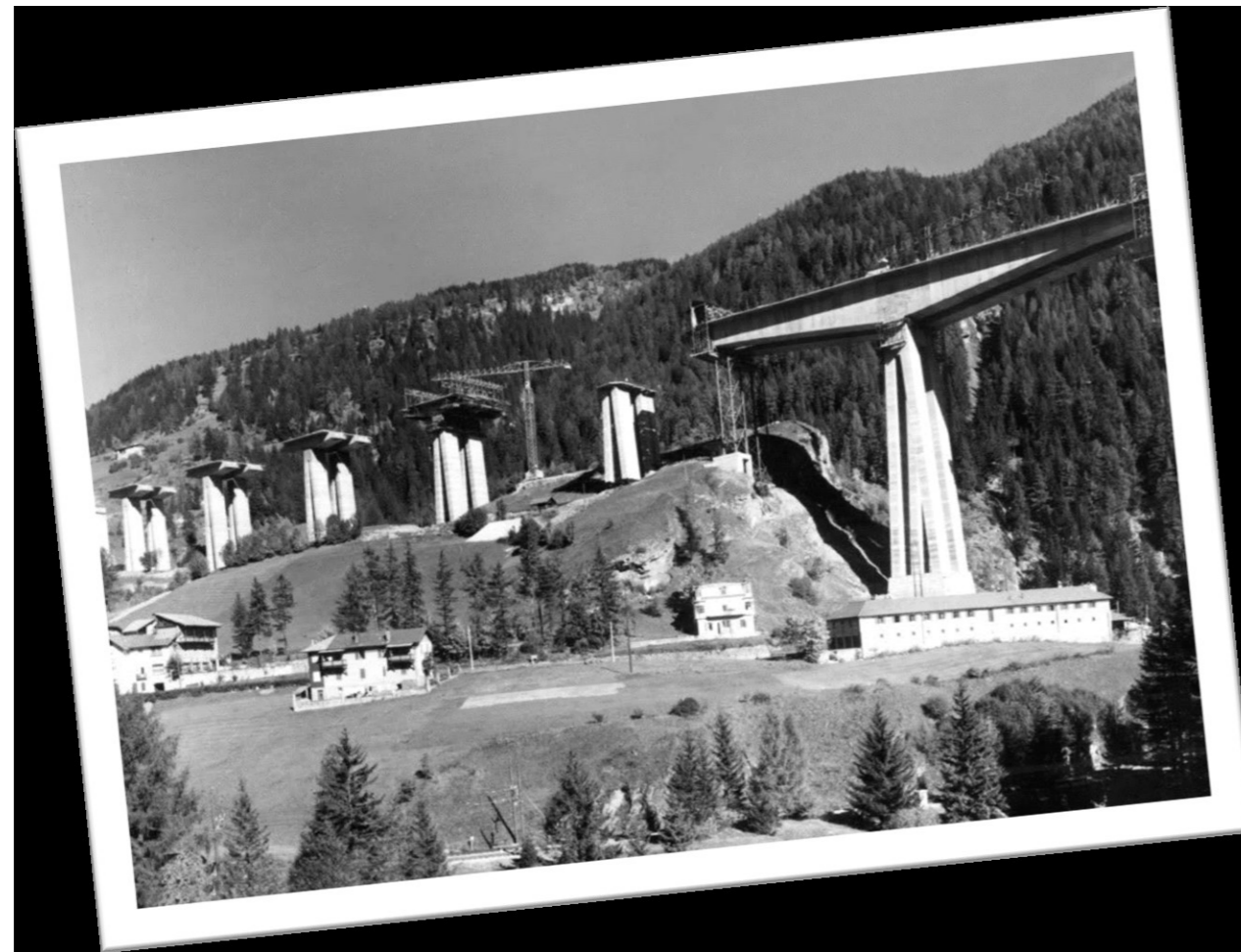


progettato a
cavallo degli
anni **1968** e
1969

(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

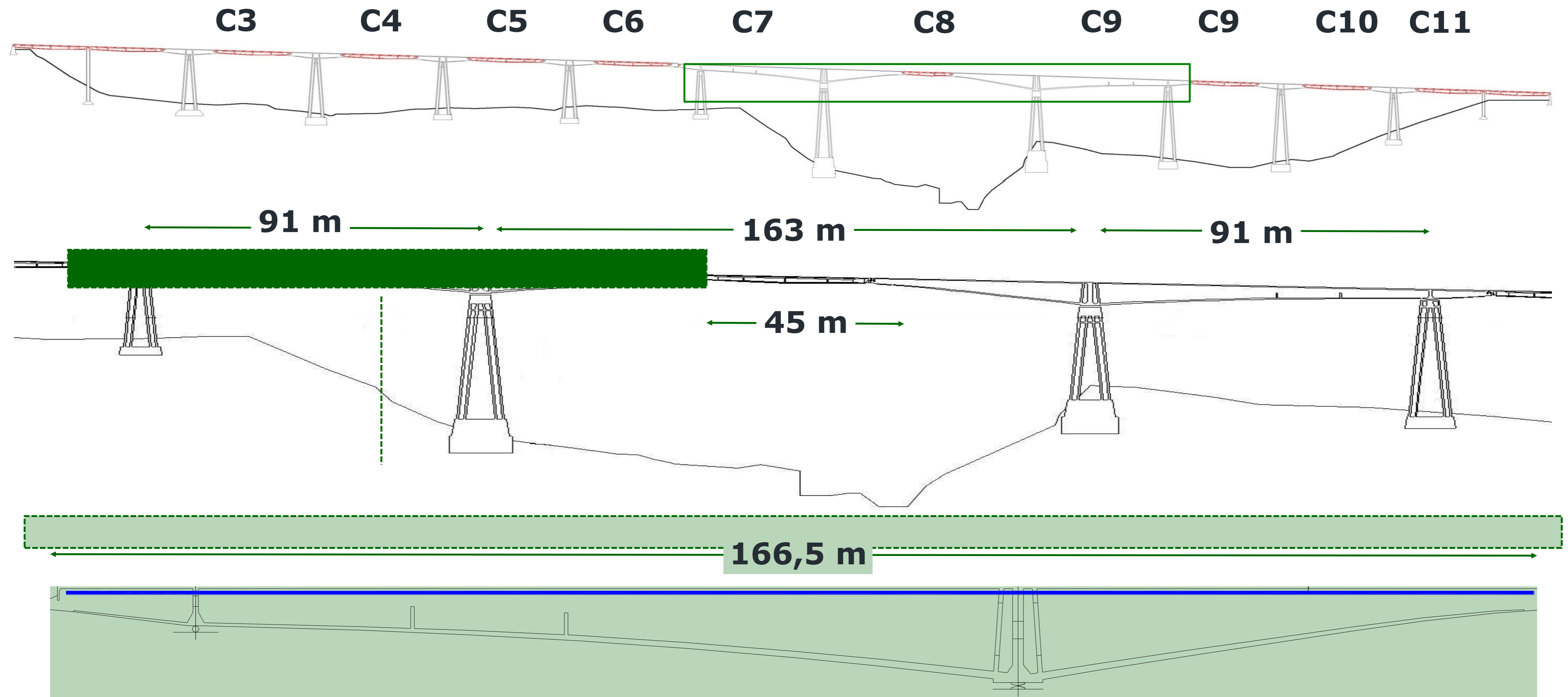
- **struttura in cemento armato precompresso** realizzata mediante un **avanzamento a sbalzo dei conci con maturazione in opera**
- soluzione costruttiva resa possibile realizzando la **precompressione delle membrature in cemento armato per fasi successive con l'utilizzo di barre Dywidag post-tese**
- **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

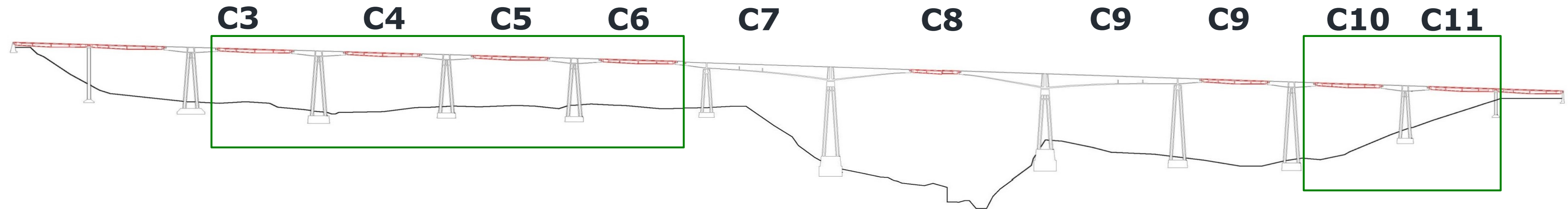
Sistema statico dell'opera

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

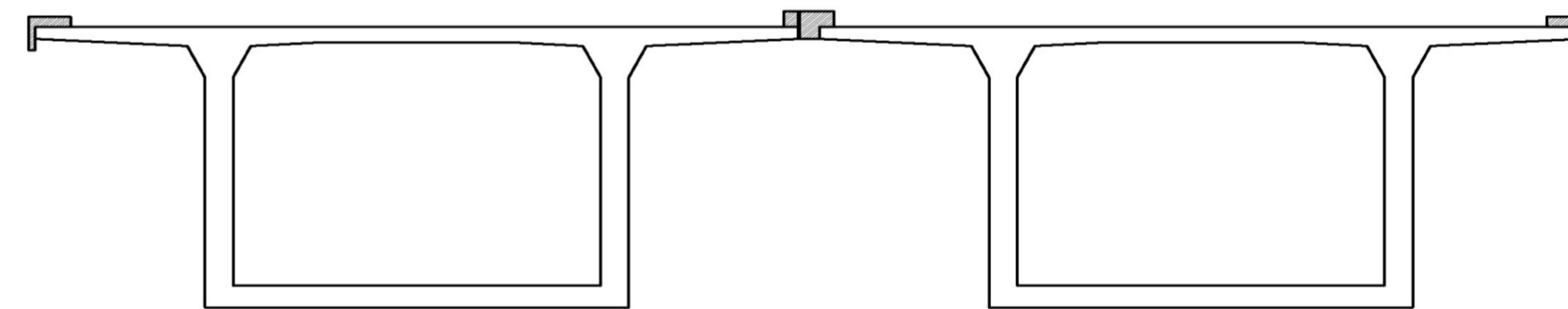


analogo schema statico adottato per le **6 campate di luce 78 m (C3-C4-C5-C6-C10-C11)**:

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

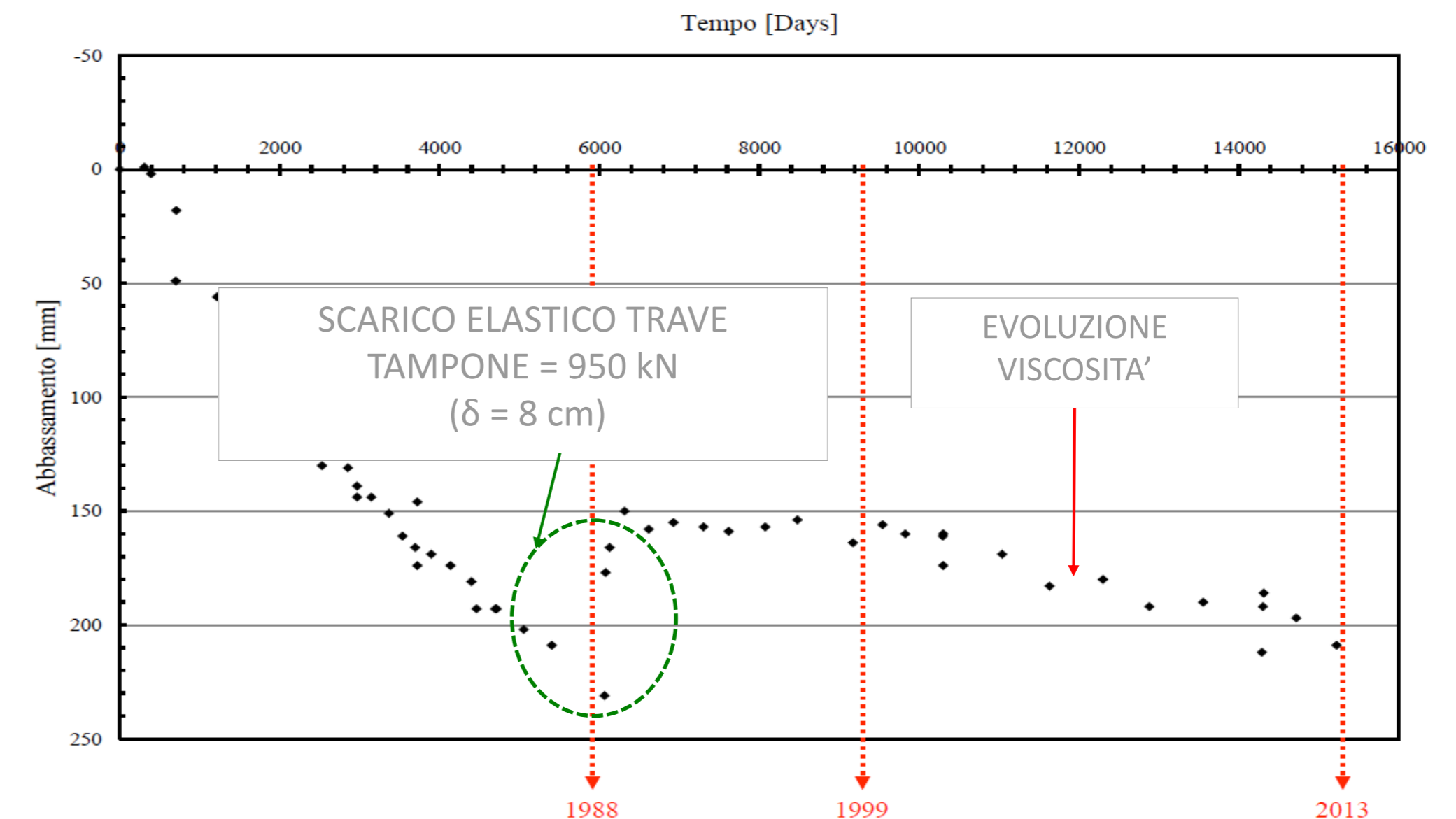
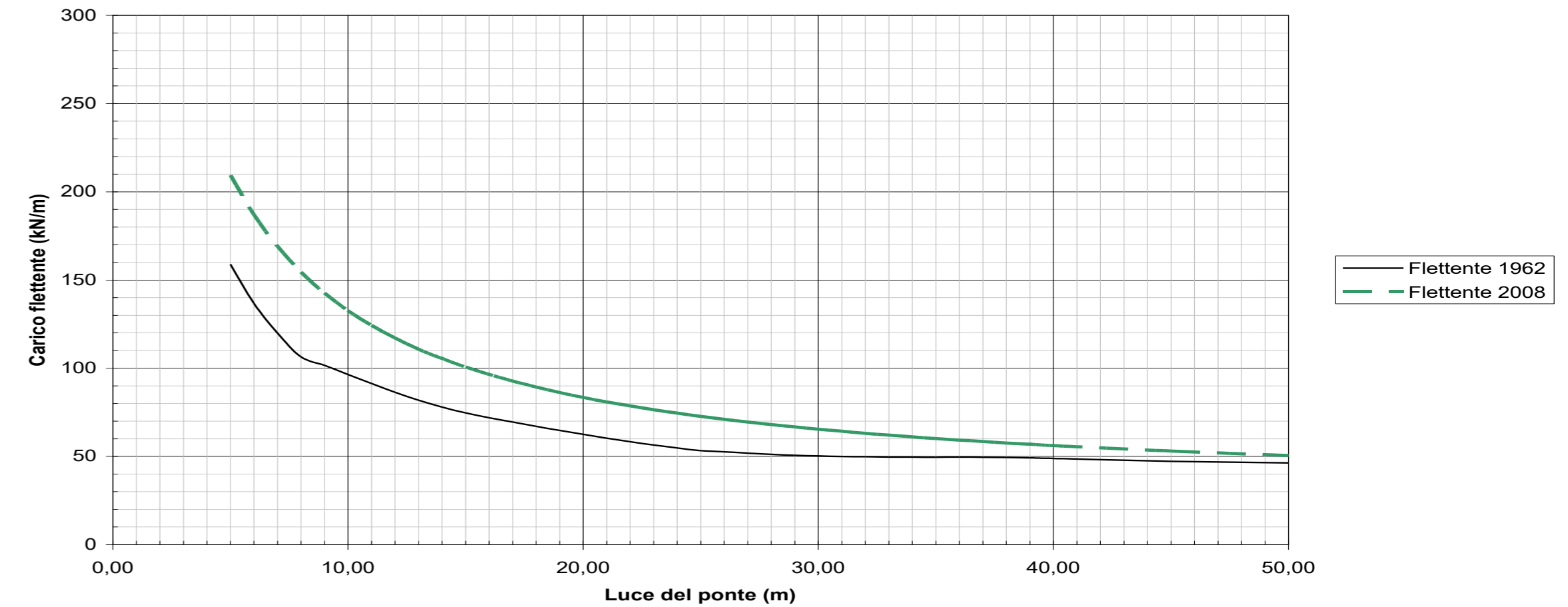


Colle Isarco

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**

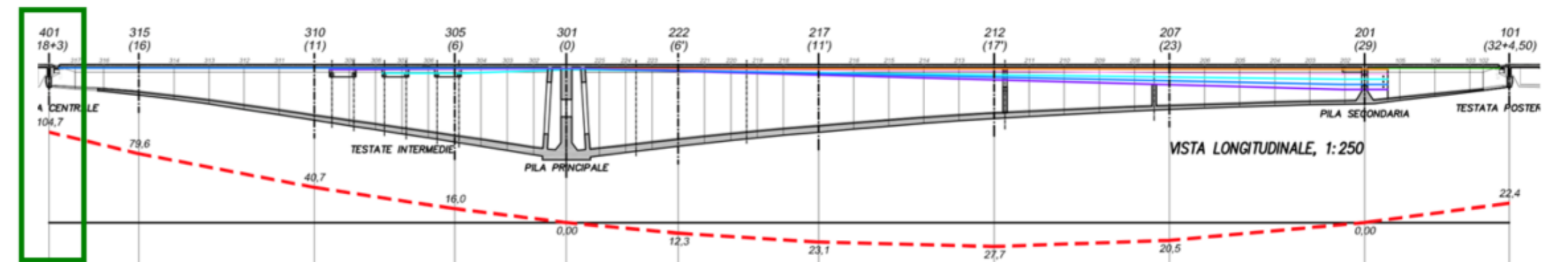


Colle Isarco

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

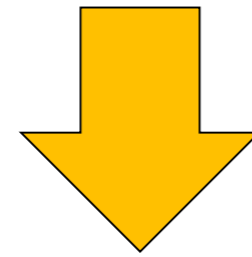


Colle Isarco

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

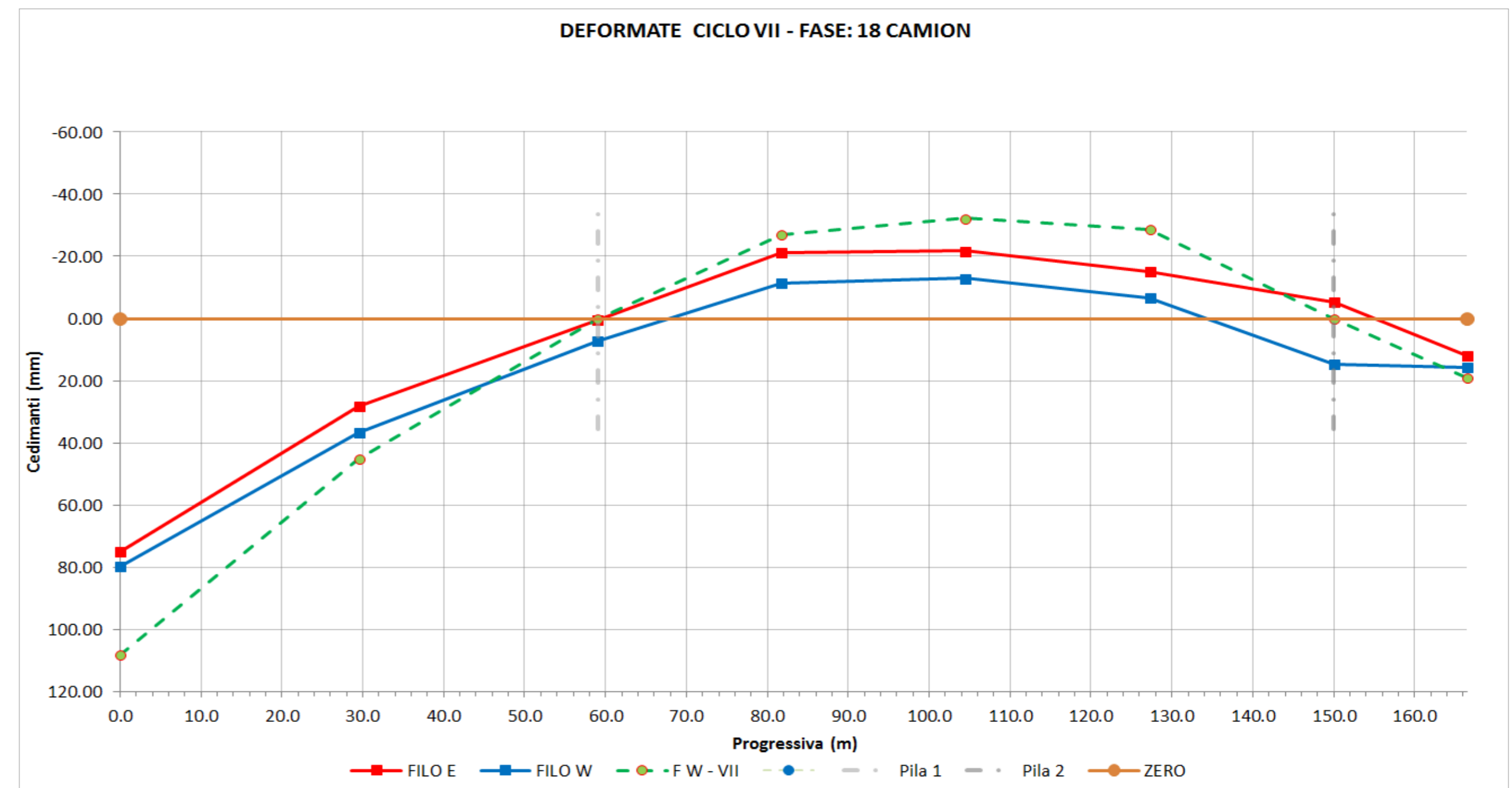


deformata minore rispetto a quella attesa
in via analitica

Confronto freccia a 59 m:

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

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

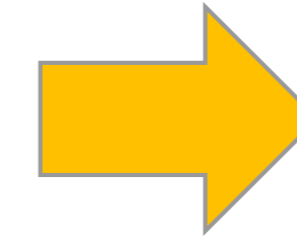


Colle Isarco

Coefficienti di sicurezza

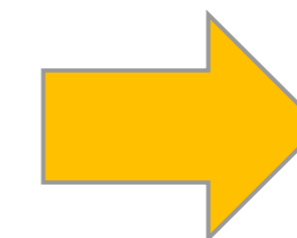
Coefficienti di sicurezza: sezione di attacco della mensola da 59 m

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



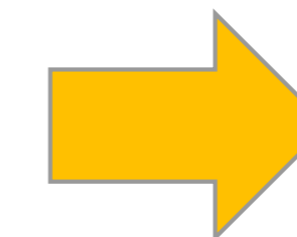
2.02 (T.A.)

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



1.19

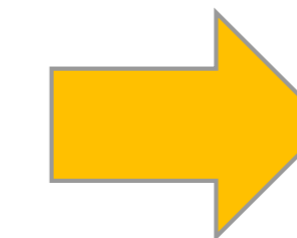
coefficiente di sicurezza POST-INTERVENTO riferito ai carichi mobili previsti dal DM14.02.2008 (barre Dywidag integre al 100%)



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

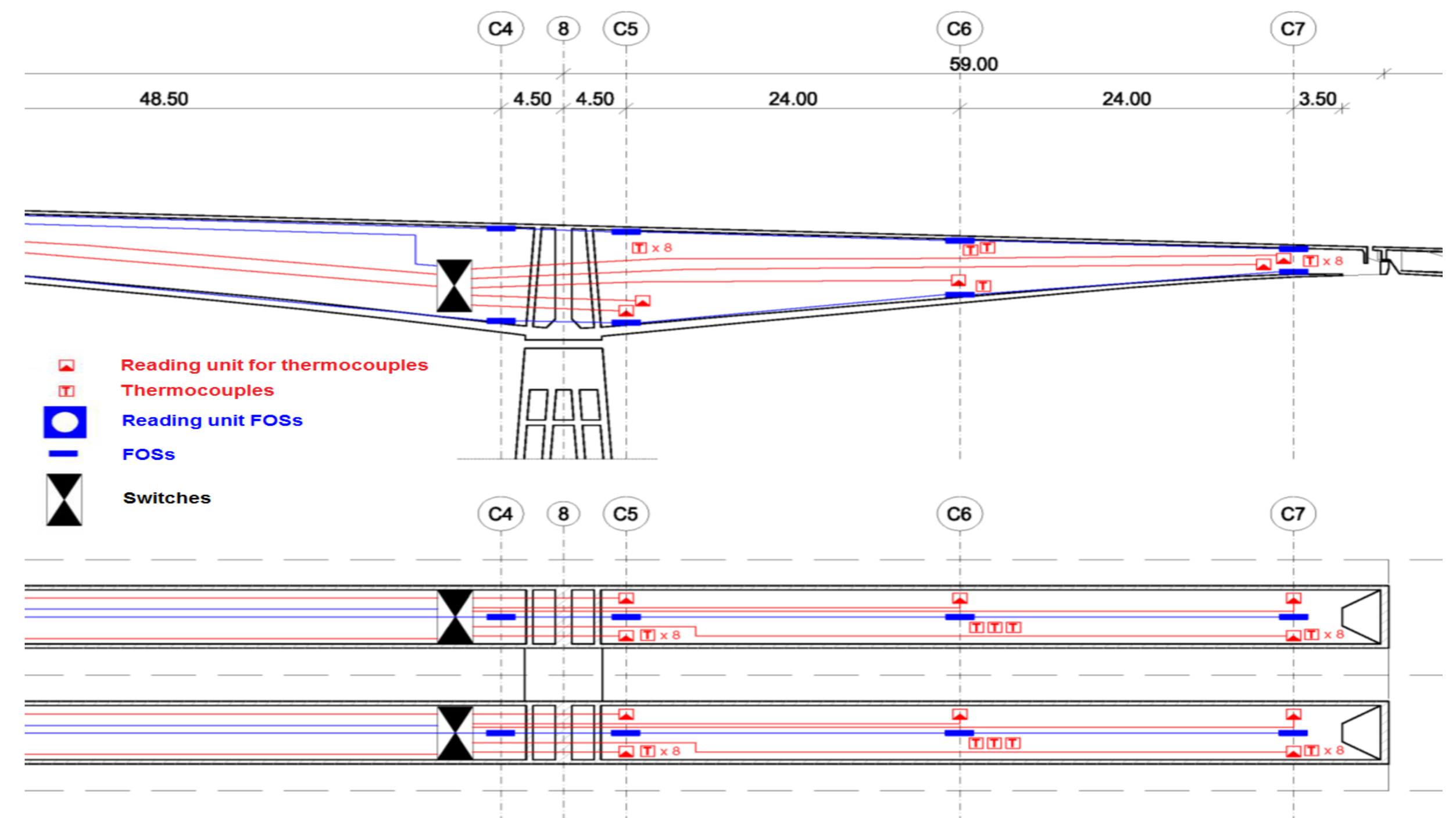
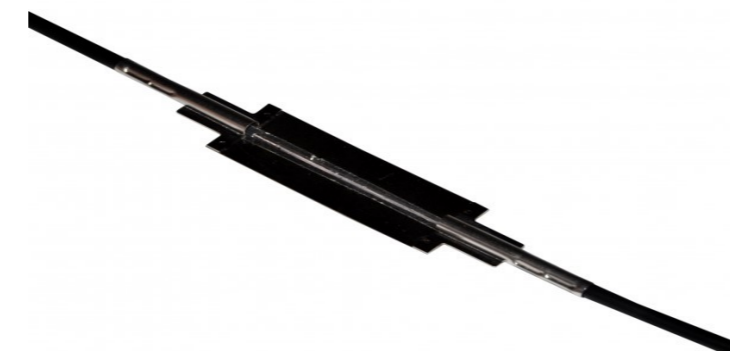
Monitoraggio continuo delle **deformazioni differite** derivanti dal sistema di post-tensione installato mediante estensimetri a fibra ottica tipo **FBG** (Fiber Bragg Grating).

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**

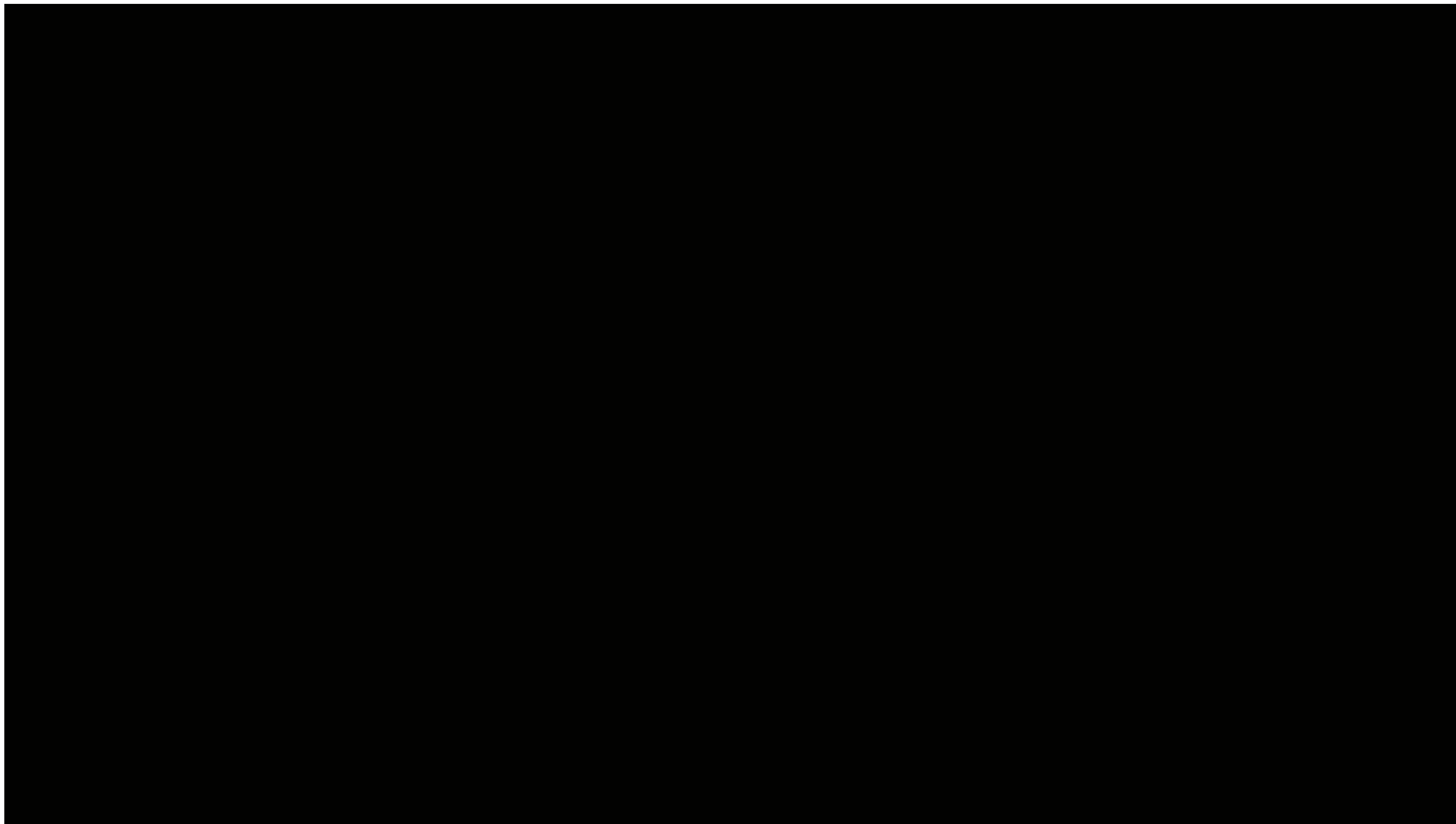
gradiente termico per corretto funzionamento: $-20\text{ C} \div +30\text{ C}$

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

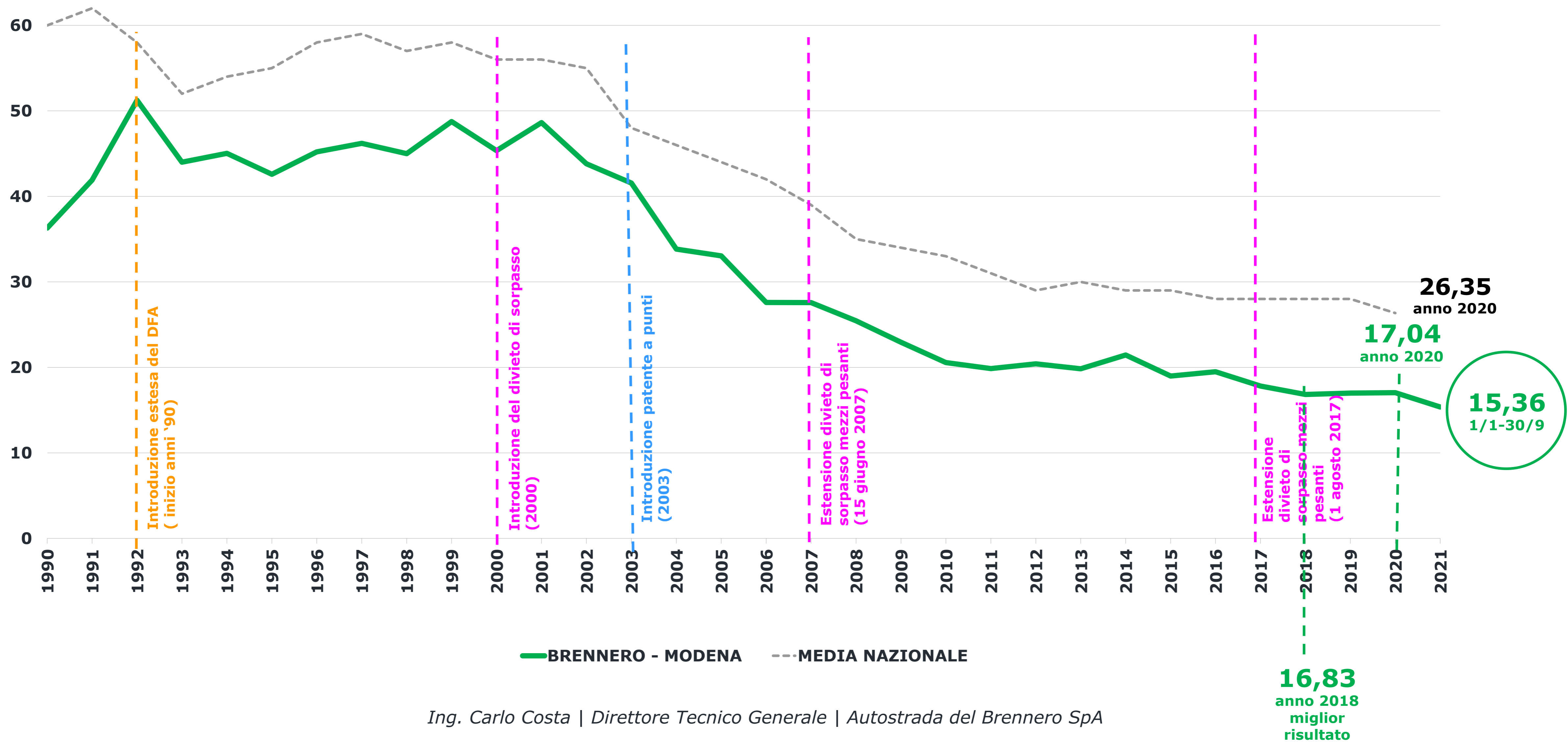


Prova di carico

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