



*“Il monitoraggio a supporto del consolidamento
di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza”*



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

□ Problematica principale:

■ Esteso fenomeno franoso interferente con il viadotto autostradale

- Rilevante spostamento della spalla del viadotto
- Potenziale instabilizzazione generale del versante
- Soggezione al traffico autostradale

Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- Lo stato dei luoghi:



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- Lo stato dei luoghi - versante:



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- Lo stato dei luoghi - versante:



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- Lo stato dei luoghi - versante:



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- Lo stato dei luoghi – spalla lato monte:



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- Lo stato dei luoghi – spalla lato valle:



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- Lo stato dei luoghi – muri andatori spalla:



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- Lo stato dei luoghi – appoggi spalla:



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

□ Condizioni al contorno:

- Scarso grado di conoscenza del fenomeno
- Tempi ristretti per le attività progettuali
- Operatività di cantiere quasi immediata
- Disponibilità dei materiali
- Risorse economiche disponibili

Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

□ Vincoli:

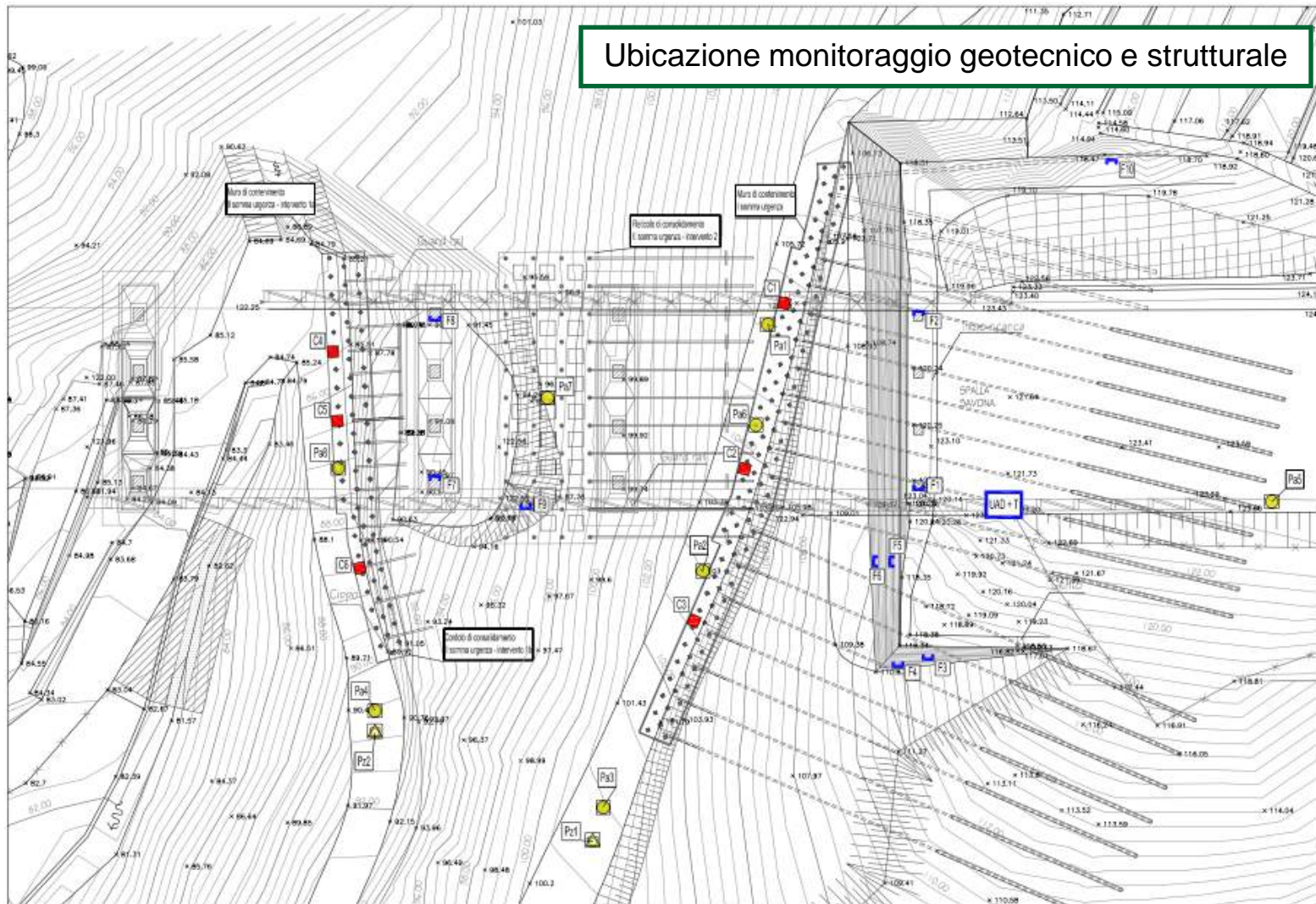
- Grado di “attività” del dissesto
- Geometria e accessi al cantiere
- Interferenze con l’esercizio in condizioni di sicurezza
- Potenziali disturbi indotti dalle lavorazioni alle manufatto ed all’evoluzione del dissesto
- Soggezioni indotte dal contesto alle lavorazioni

Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

□ Attività programmate - 1^a fase di interventi :

- Documentazione storica
- Rilievi sul terreno
 - Rilievo geologico su larga scala
 - Rilievo geomeccanico
 - Interpretazione foto aeree
- Indagini e prove geotecniche
 - Indagini geognostiche
 - Prove geotecniche in sito
 - Prove di laboratorio
- **Monitoraggio**
 - **Monitoraggio geotecnico**
 - **Monitoraggio strutturale**
 - **Monitoraggio topografico**
- Primo stralcio opere

Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

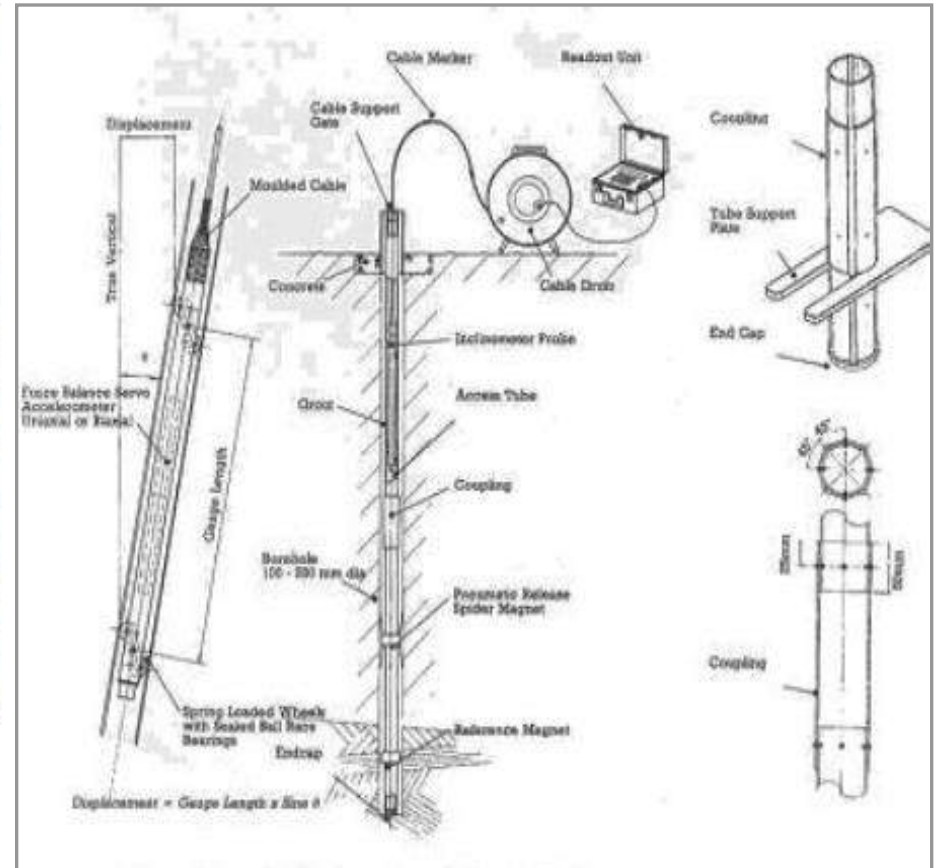
□ 1^a fase di interventi – *Monitoraggio geotecnico - inclinometri*

- n. 8 colonne inclinometriche per la valutazione delle deformazioni profonde e l'individuazione della superficie di scorrimento del dissesto. La strumentazione può essere così riassunta:

- PA 1 inclinometro verticale in foro di sondaggio I1, prof. utile 23,5 m;
- PA 2 inclinometro verticale in foro di sondaggio I2, prof. utile 24,0 m;
- PA 3 inclinometro verticale in foro di sondaggio I3, prof. utile 25,5 m;
- PA 4 inclinometro verticale in foro di sondaggio I4, prof. utile 17,5 m;
- PA 5 inclinometro verticale in foro di sondaggio I5, prof. utile 39,5 m;
- PA 6 inclinometro verticale entro micropalo (lavori di I° somma urgenza),
ubicato entro il cordolo di consolidamento superiore, tra I1 e I2, prof.
utile 15,0 m;
- PA7 inclinometro verticale in foro a distruzione, ubicato in corrispondenza
della pila n°3, nella porzione mediana del reticolo di consolidamento
(Intervento 2 - lavori di II° somma urgenza), prof. utile 17,0 m;
- PA8 inclinometro verticale entro micropalo, ubicato in corrispondenza
della sezione mediana del muro di contenimento (Intervento 1 - lavori
di II° somma urgenza), prof. utile 13,5 m.

Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- 1^a fase di interventi – *Monitoraggio geotecnico - inclinometri*



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

□ 1^a fase di interventi – *Monitoraggio geotecnico - piezometri*

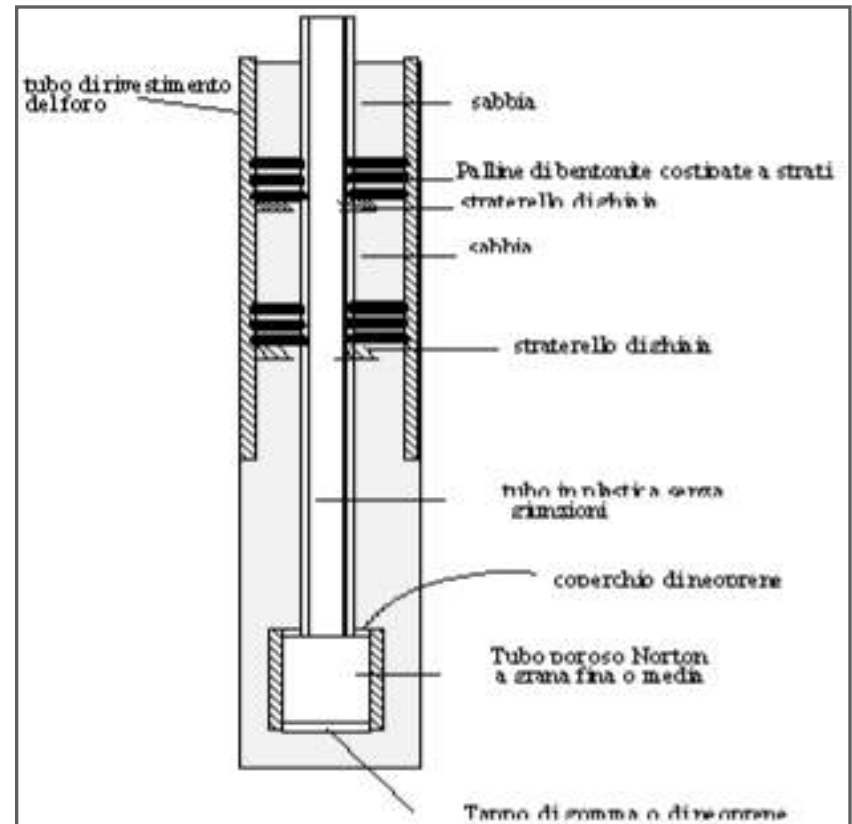
- n. 2 colonne piezometriche a tubo aperto, in affiancamento agli inclinometri, per la valutazione delle escursioni della falda in funzione delle precipitazioni e la correlazione con le possibili deformazioni del versante:

- PZ1 colonna piezometrica in foro di sondaggio PZ1, ubicato presso PA3, profondo 12,0 m;
- PZ2 colonna piezometrica verticale in foro di sondaggio PZ2, ubicato presso PA4, profondo 15,0 m.

Le colonne sono attrezzate con piezometro del tipo a tubo aperto in PVC, diam. 1.5", finestrato alla profondità da p.c. compresa tra -3.00 m e fondo foro.

Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- 1^a fase di interventi – *Monitoraggio geotecnico - piezometri*



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

□ 1^a fase di interventi – *Monitoraggio strutturale* - fessurimetri

- I fessurimetri sono installati secondo il seguente schema:

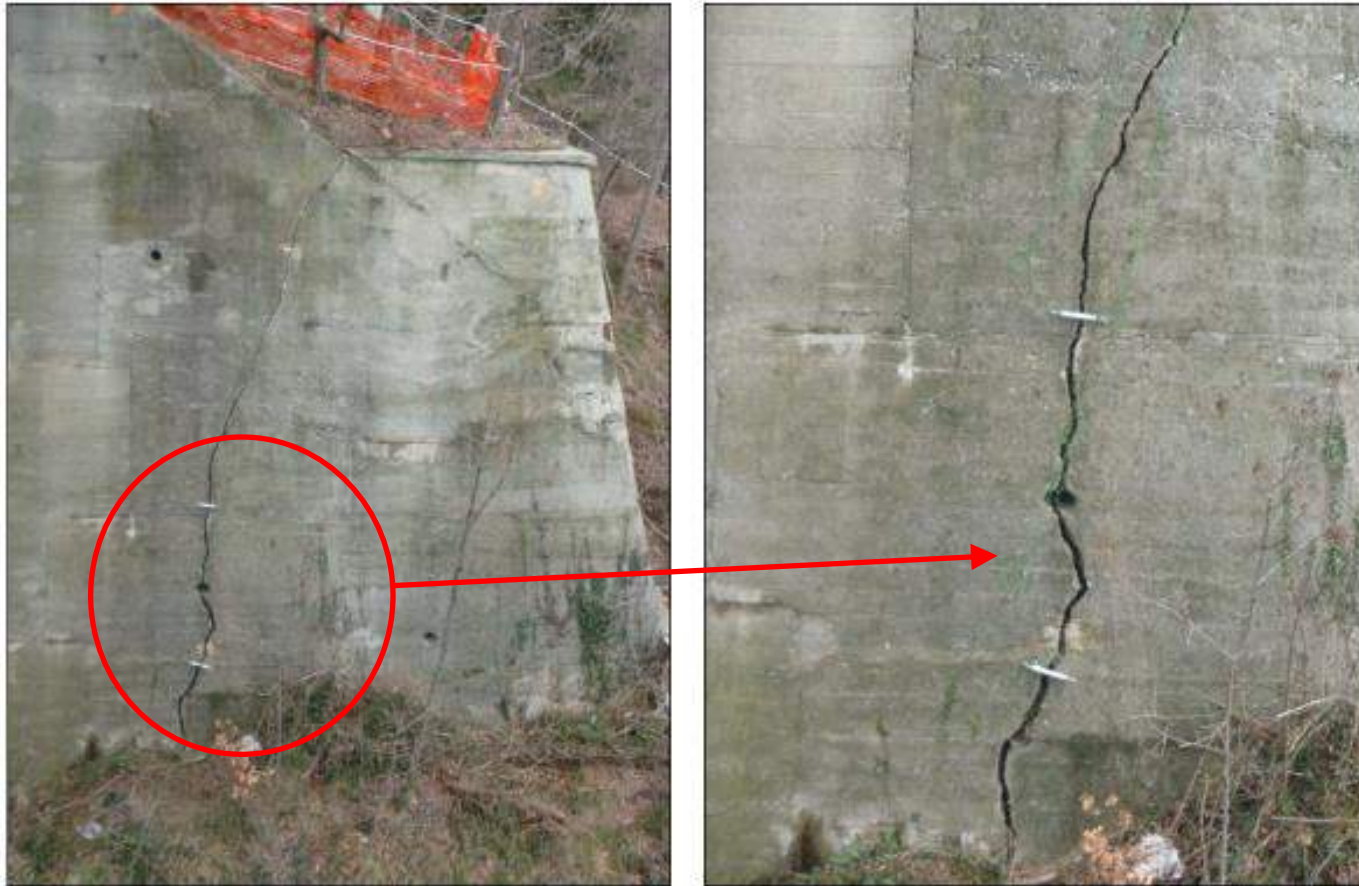
- ◆ fessurimetro MG1 = appoggio di valle lato Savona della 4^o campata;
- ◆ fessurimetro MG2 = appoggio di monte lato Savona della 4^o campata;
- ◆ fessurimetro MG3 = frattura beante sulla spalla viadotto, lato di valle;
- ◆ fessurimetro MG4 = frattura beante sulla spalla viadotto, lato di valle;
- ◆ fessurimetro MG5 = frattura beante sul fronte della spalla viadotto;
- ◆ fessurimetro MG6 = frattura beante sul fronte della spalla viadotto;
- ◆ fessurimetro MG7 = appoggio di valle lato Savona della 3^o campata;
- ◆ fessurimetro MG8 = appoggio di monte lato Savona della 3^o campata;
- ◆ fessurimetro MG9 = incastro di valle tra la 3^o e la 4^o campata;
- ◆ fessurimetro MG10 = appoggio di valle lato Savona della 4^o campata;

- La strumentazione è completata dall'installazione di un sensore di temperatura al platino (PT100), adibito alla misura delle variazioni termiche locali.

- I trasduttori di spostamento sono collegati ad una Unità di Acquisizione Dati (UAD)

Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- 1^a fase di interventi – *Monitoraggio strutturale - fessurimetri*



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- 1^a fase di interventi – *Monitoraggio strutturale - fessurimetri*



Lato di valle della spalla del viadotto; frattura monitorata con MG3.

Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- 1^a fase di interventi – *Monitoraggio strutturale - fessurimetri*



Lato di valle della spalla del viadotto; frattura monitorata con MG4.

Interventi di monitoraggio e consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- 1^a fase di interventi – *Monitoraggio strutturale - fessurimetri*



Fessurimetro MG10 su appoggio di valle della 4[°] cam pata lato Savona.

Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- 1^a fase di interventi – *Monitoraggio strutturale - fessurimetri*



Fessurimetro MG8 su appoggio di monte della 3^o camp ata lato Savona.

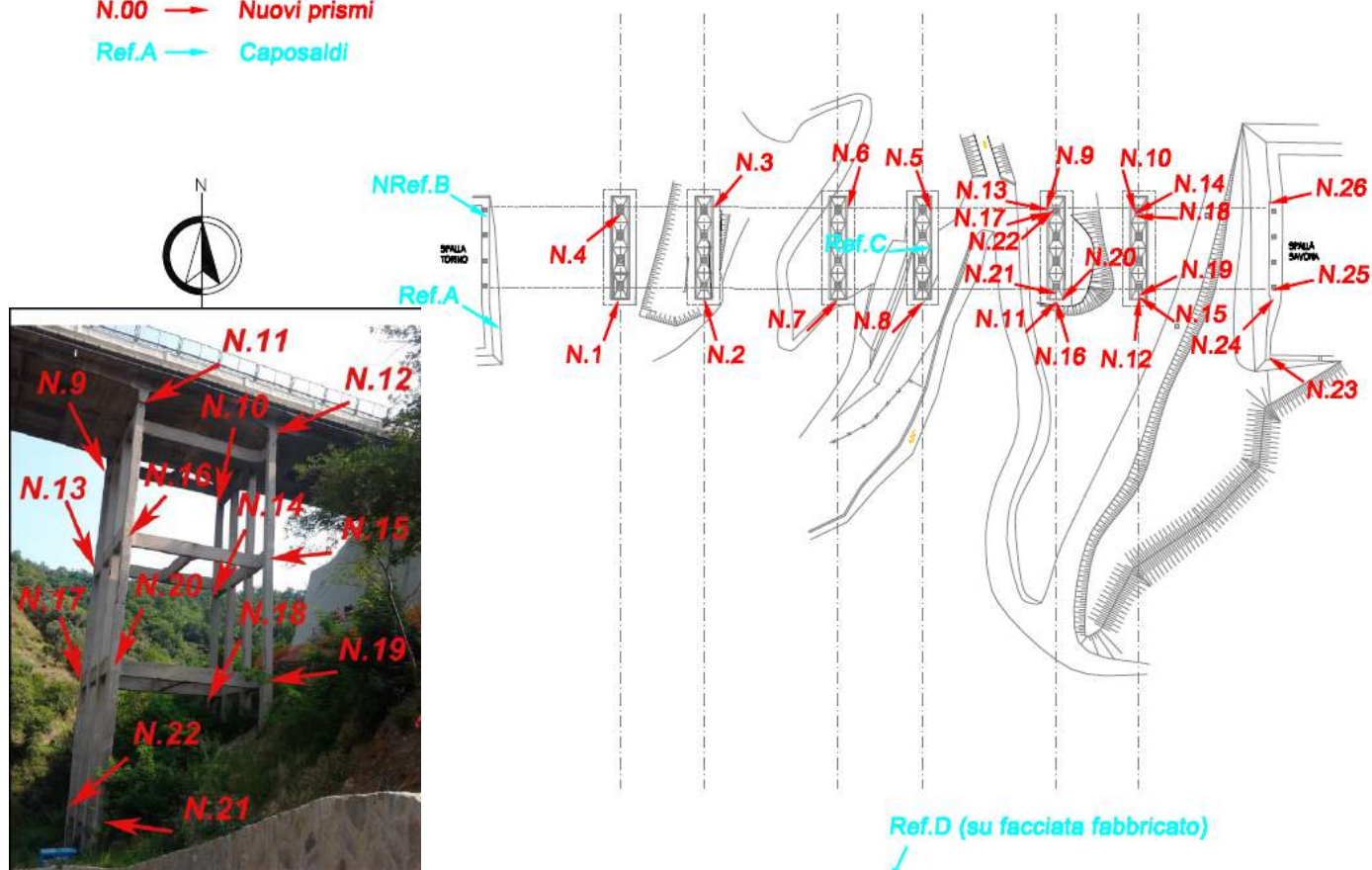
Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

1^a fase di interventi – Monitoraggio topografico

LEGENDA

N.00 → Nuovi prismi

Ref.A → Caposaldi



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

□ 1^a fase di interventi – *Monitoraggio strutturale* – celle di carico tiranti

- n. 6 celle di carico elettriche a lettura automatica per il controllo della tesatura dei tiranti a trefoli, a medio e lungo termine, realizzati durante i lavori di somma urgenza.

Le celle sono state installate secondo il seguente schema:

- cella C1 paratia - I° somma urgenza – lato mont e;
- cella C2 paratia – I° somma urgenza – centro;
- cella C3 paratia – I° somma urgenza – lato vall e;
- cella C4 paratia – II° somma urgenza – lato mon te;
- cella C5 paratia – II° somma urgenza – centro;
- cella C6 paratia – II° somma urgenza – lato val le.

Le strumentazioni sono state collegate all'Unità di Acquisizione Dati (UAD) di cui al precedente punto A).

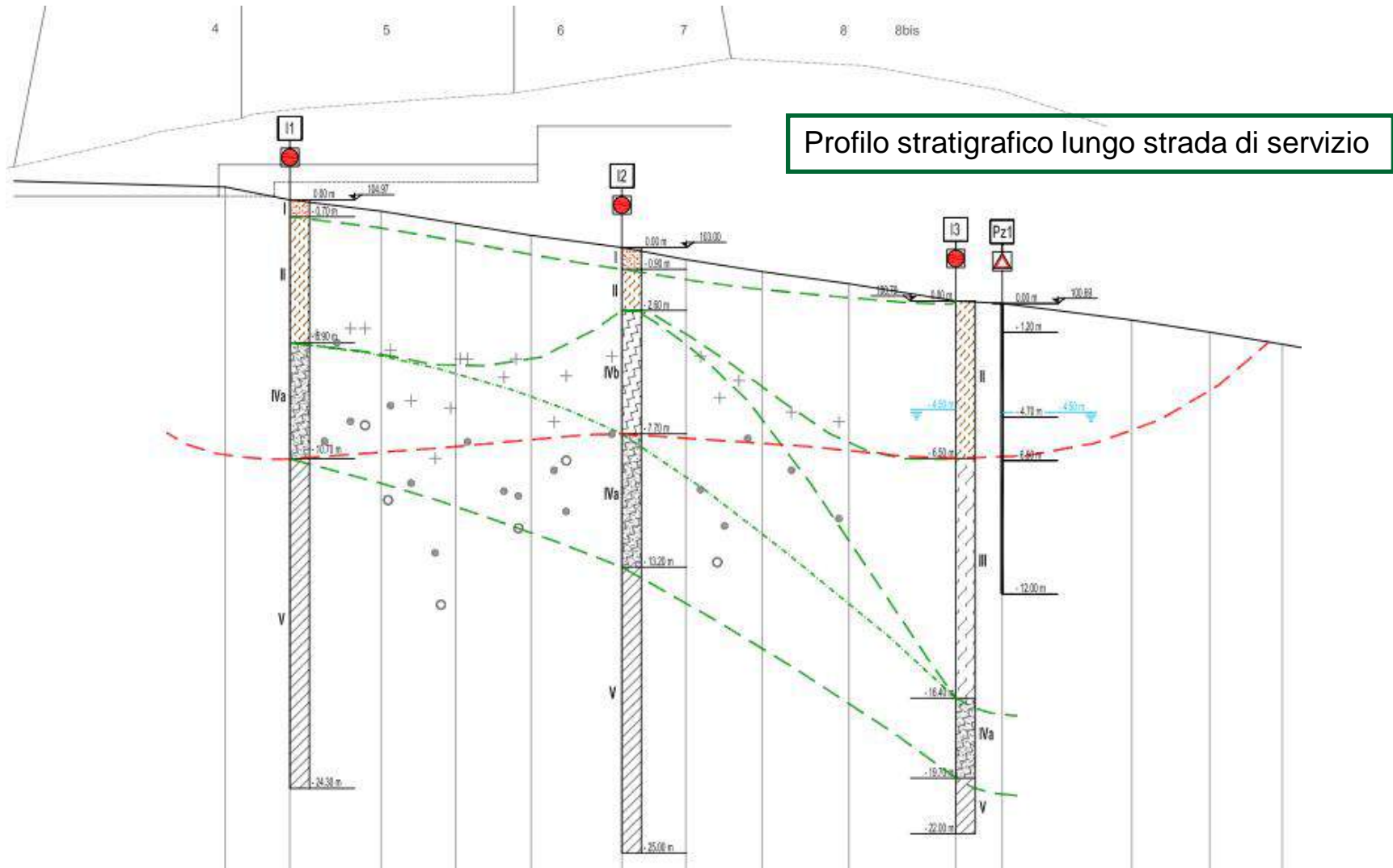
Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- 1^a fase di interventi – *Monitoraggio strutturale* – celle di carico tiranti



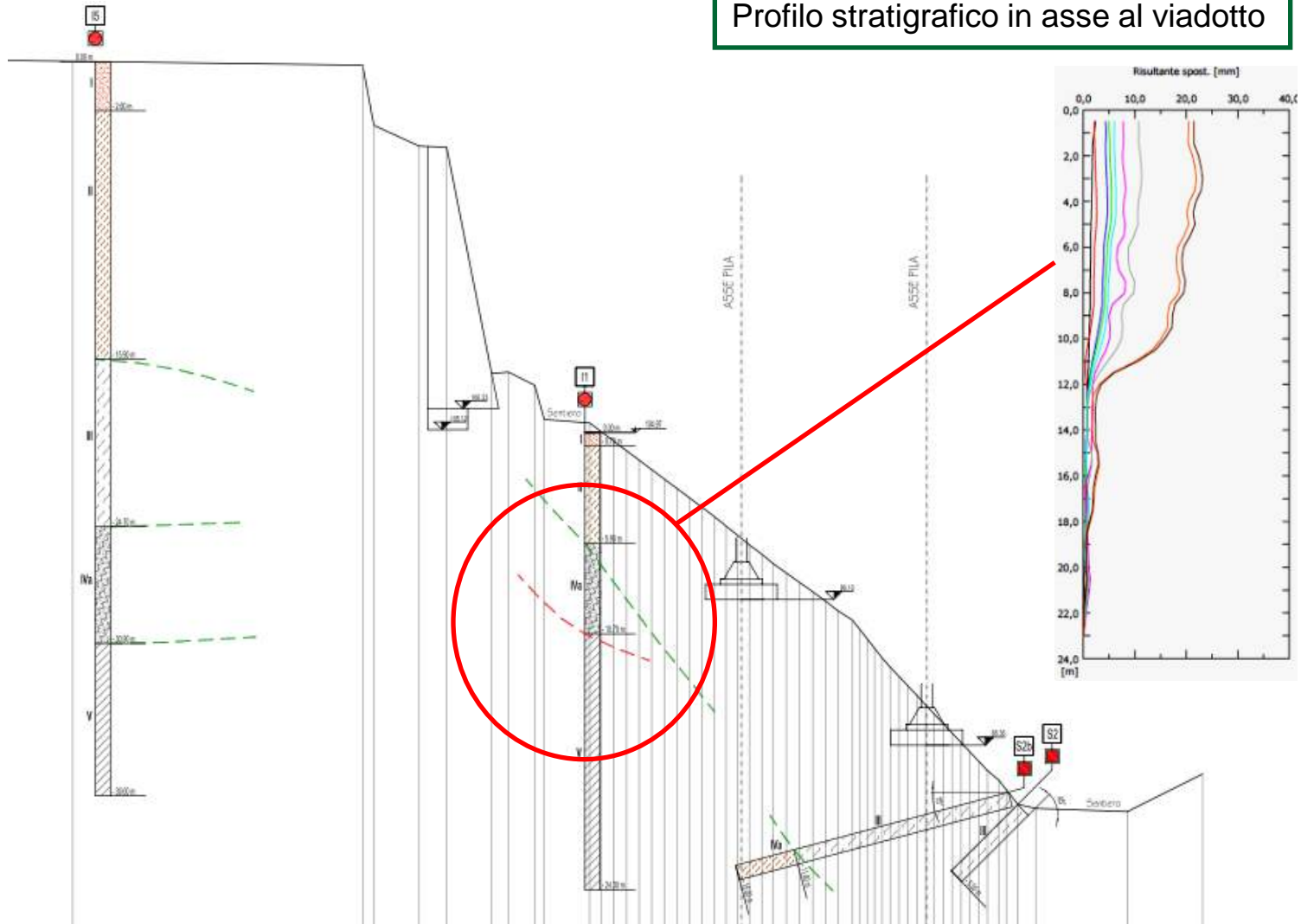
Fig 4.11: Particolare della cella CI dopo l'installazione

Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza



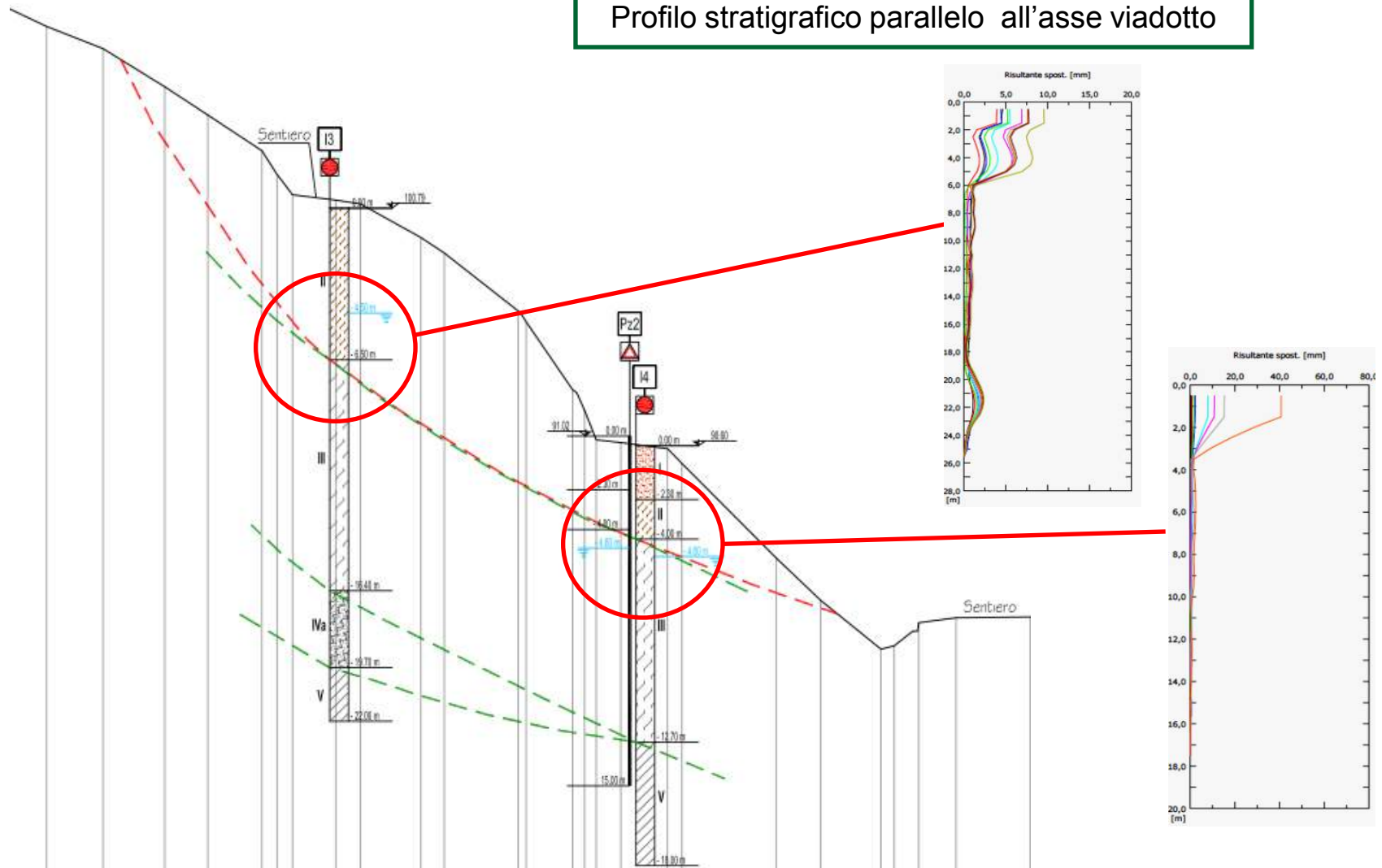
Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

Profilo stratigrafico in asse al viadotto



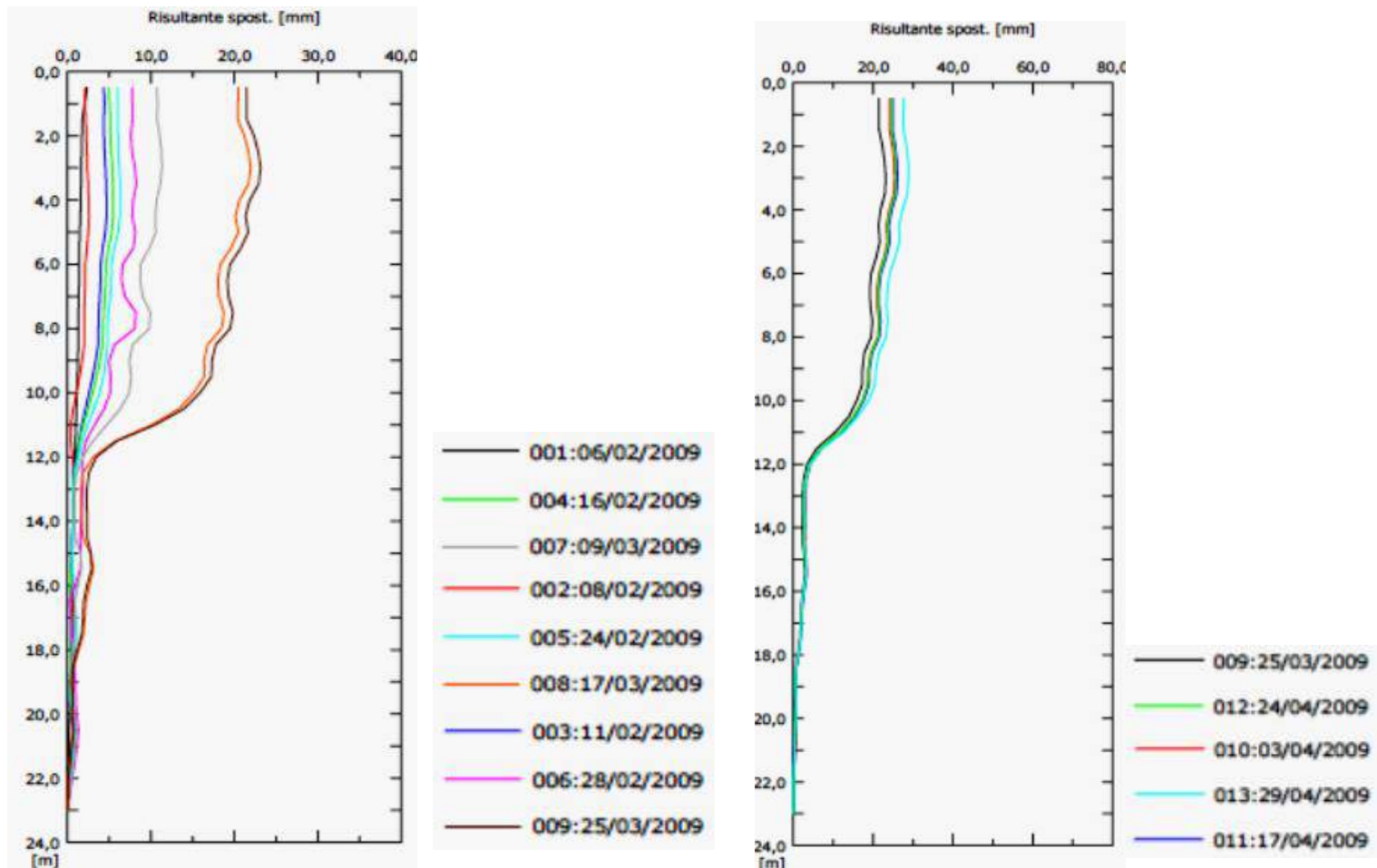
Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

Profilo stratigrafico parallelo all'asse viadotto



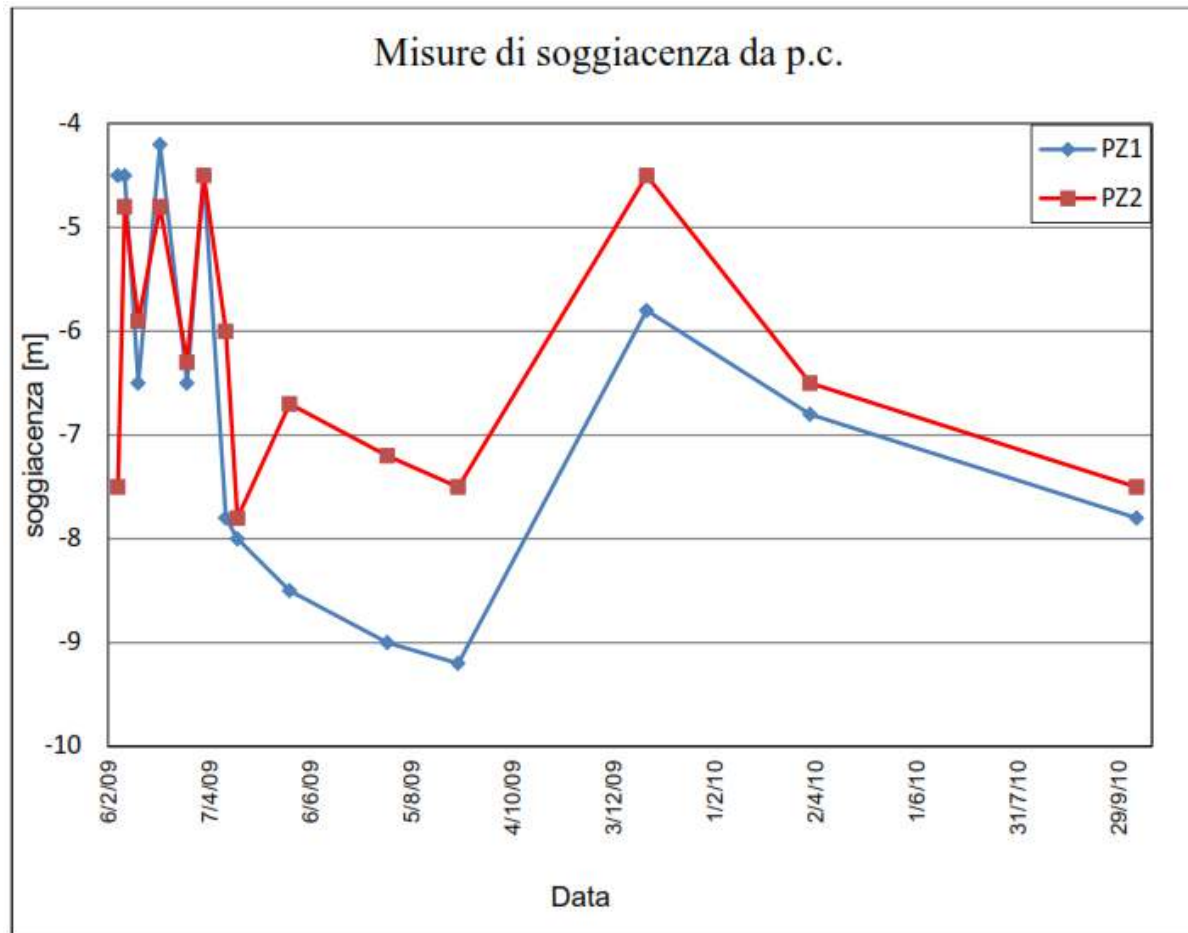
Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- 1^a fase di interventi – *Monitoraggio geotecnico* – inclinometro PA1



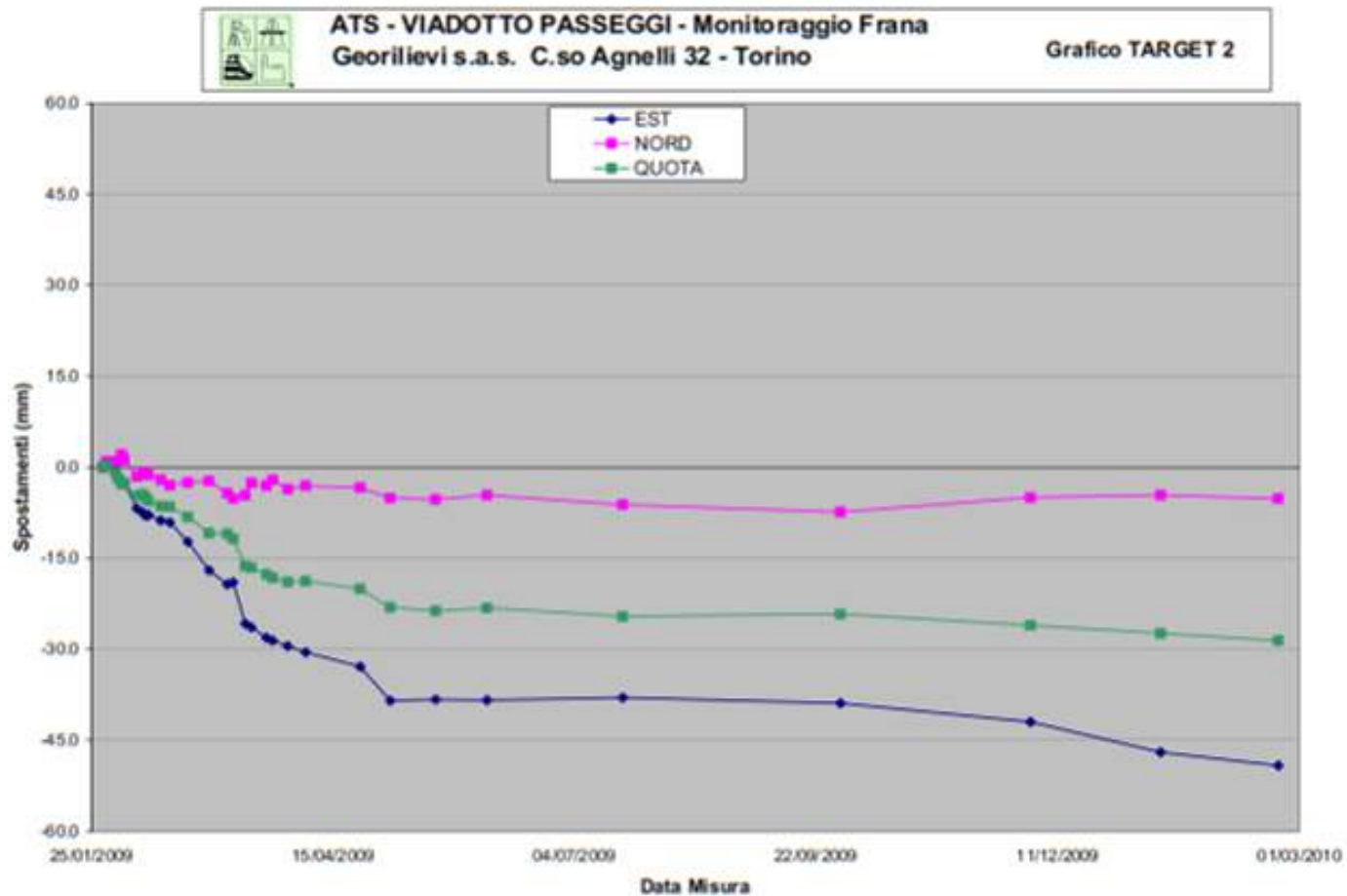
Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- 1^a fase di interventi – *Monitoraggio geotecnico* – piezometri



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

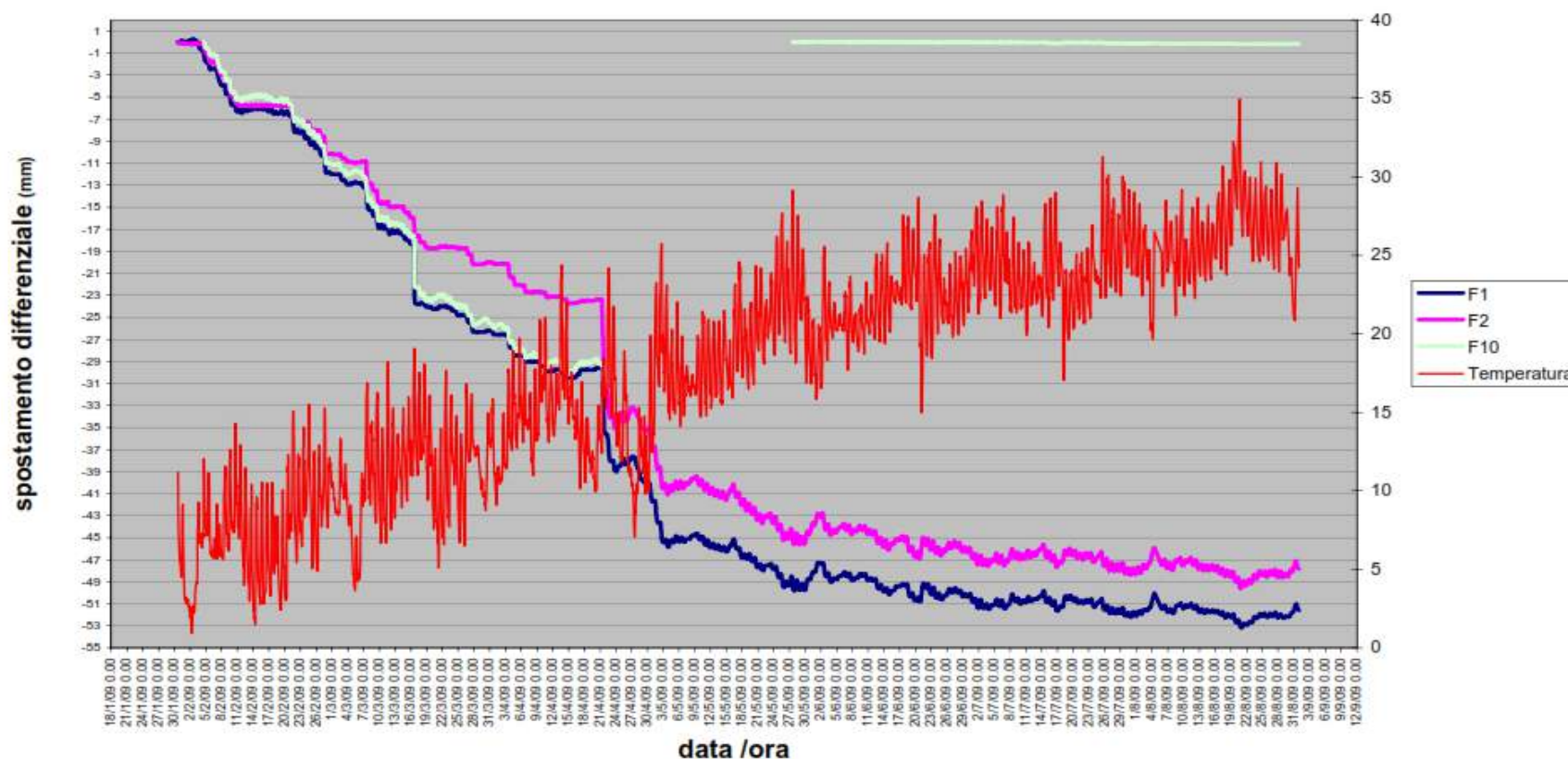
- 1^a fase di interventi – *Monitoraggio topografico*



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- 1^a fase di interventi – *Monitoraggio strutturale - fessurimetri*

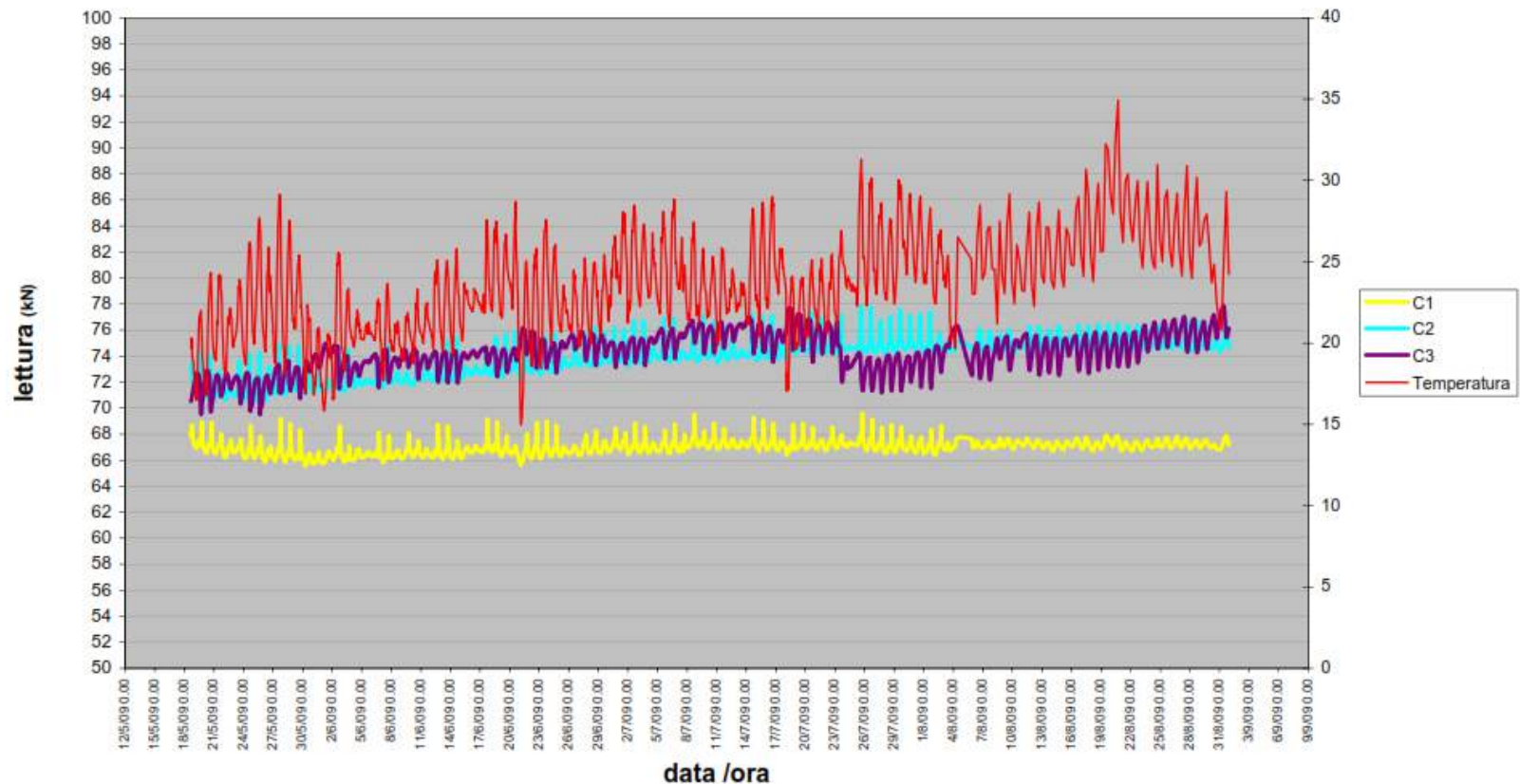
Viadotto Passeggi: Fessurimetri F1, F2, F10
(Periodo di riferimento: Febbraio - Agosto 2009)



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- 1^a fase di interventi – *Monitoraggio strutturale* – celle di carico tiranti

Viadotto Passeggi Celle di carico toroidali
(Periodo di riferimento: Maggio - Agosto 2009)



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- Caratterizzazione del movimento franoso:
 - Materiali litoidi fortemente alterati e disarticolati, con comportamento prossimo ad un terreno
 - Superficie di scorrimento collocata a circa 10 – 12 m di profondità
 - Sviluppo altimetrico pari a circa 40 – 50 m
 - Larghezza pari a circa 40 – 50 m

Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

□ Caratterizzazione geotecnica dei materiali:

- Prove in sito
- Prove di laboratorio
- Classificazione dell'ammasso roccioso



- Back analysis del dissesto
 - Prova di taglio su larga scala
 - Condizioni piezometriche
 - Risultanze misure inclinometriche

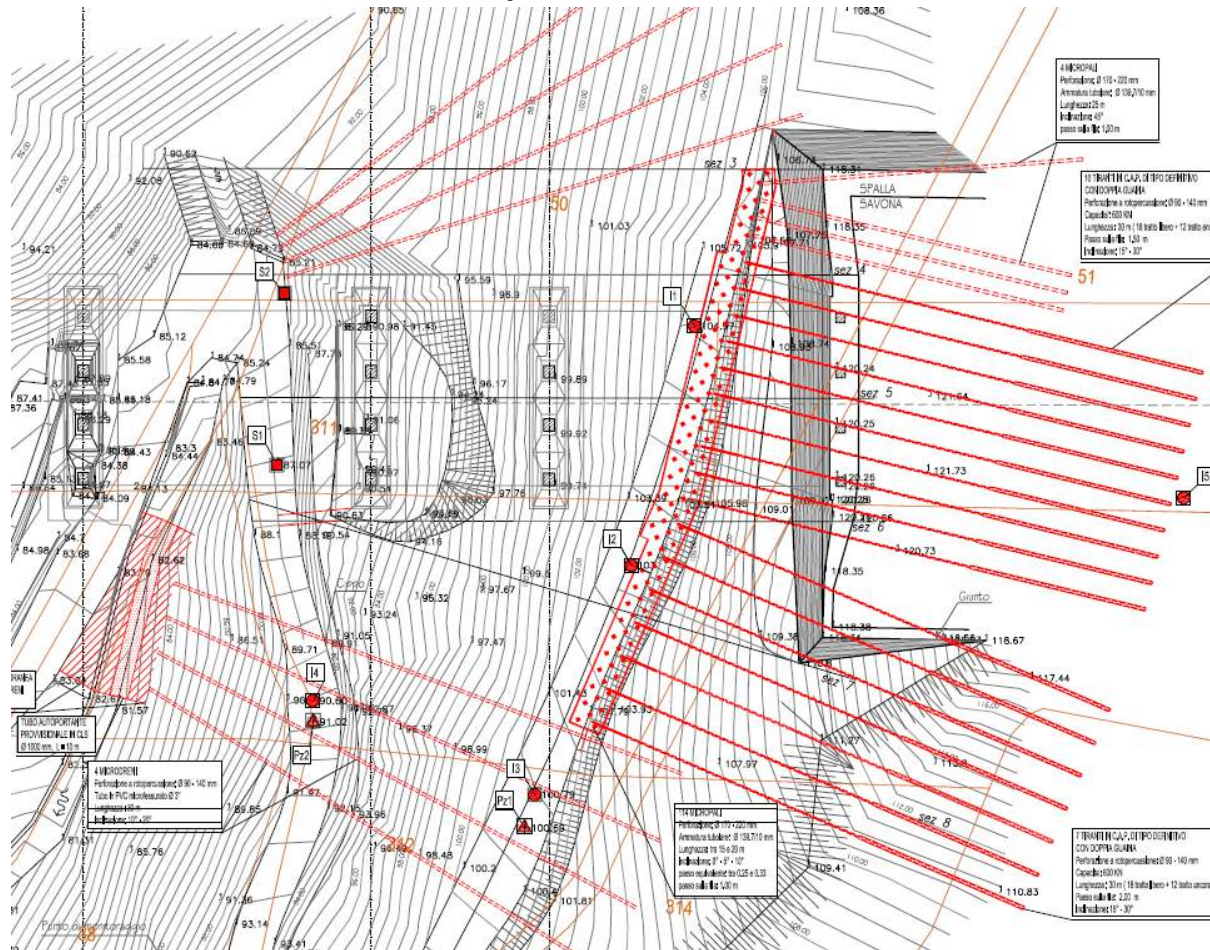
Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

□ Definizione interventi di prima fase:

- reticolo di micropali lungo il settore sommitale della pista esistente
 - armatura tubolare 168/10,0 mm, su tre file e con disposizione a quinconce
 - passo equivalente 0,35 m
 - lunghezza 15 m
- tirantura attiva in corrispondenza del cordolo di collegamento sommitale
 - capacità max 600 kN,
 - passo equivalente 2,00 m
 - lunghezza 25 m
 - inclinazione 30°
- cordolo di collegamento sommitale in c.a.
- monitoraggio micropali reticolo con inclinometri assiali
- monitoraggio tirantura con celle di carico
- sostituzione appoggi

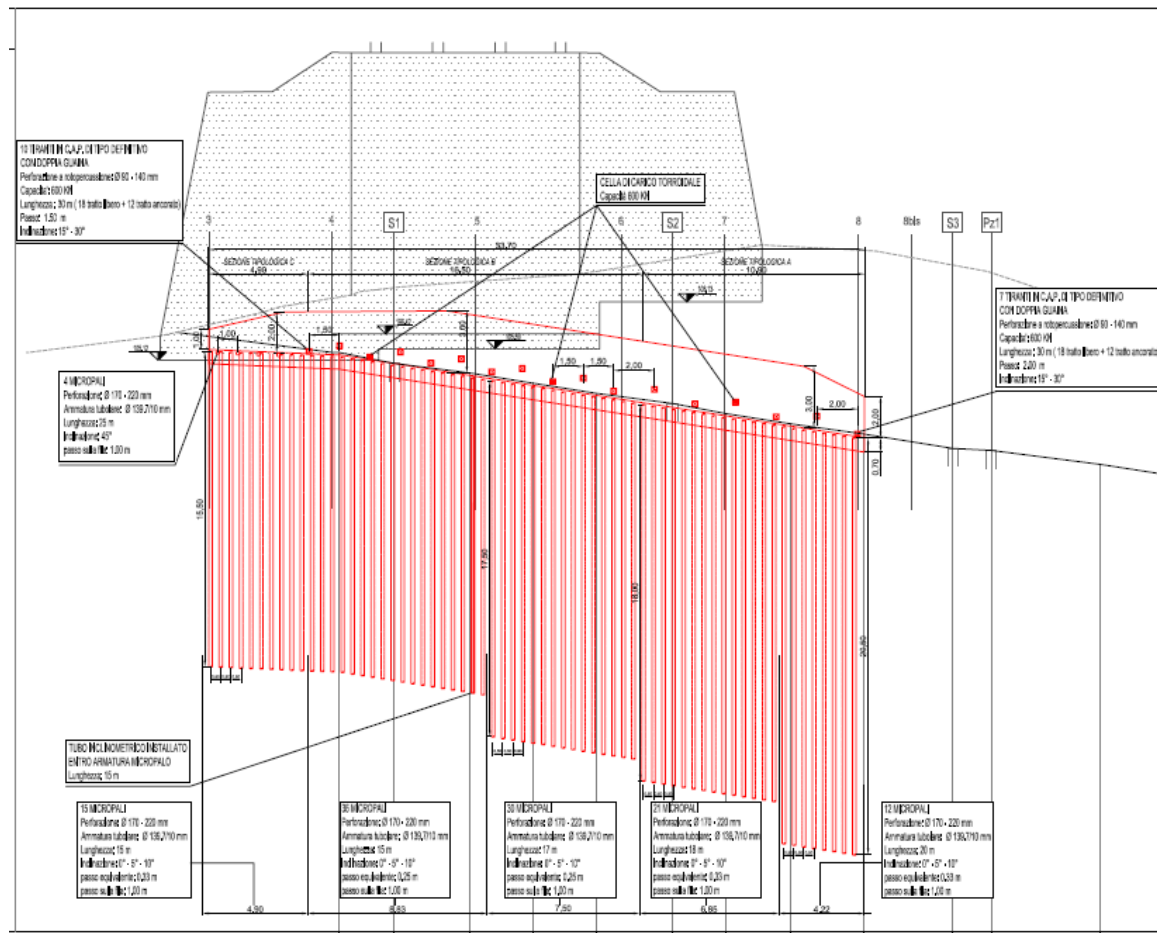
Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

Definizione interventi di prima fase:



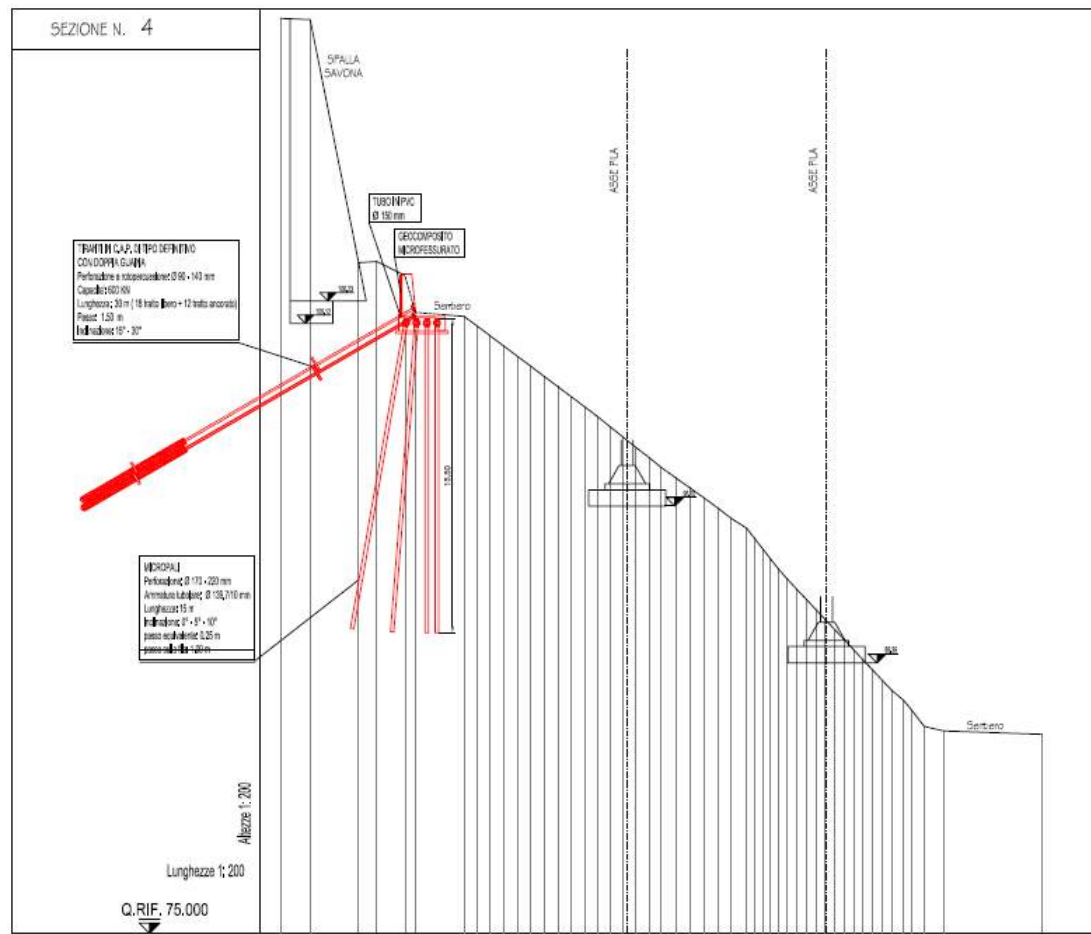
Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

Definizione interventi di prima fase:



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- Definizione interventi di prima fase:



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

□ Definizione interventi di seconda fase:

- reticolo di micropali lungo il settore intermedio della pista esistente
 - armatura tubolare 168/10,0 mm, su tre file e con disposizione a quinconce
 - passo equivalente 0,35 m
 - lunghezza 15 m
 - inclinazione 0 - 10°
- tirantura attiva in corrispondenza del cordolo di collegamento sommitale
 - capacità max 600 kN,
 - passo equivalente 2,00 m
 - lunghezza 30 m
 - inclinazione 30°
- cordolo di collegamento sommitale in c.a.
- monitoraggio micropali reticolo con inclinometri assiali
- monitoraggio tirantura con celle di carico

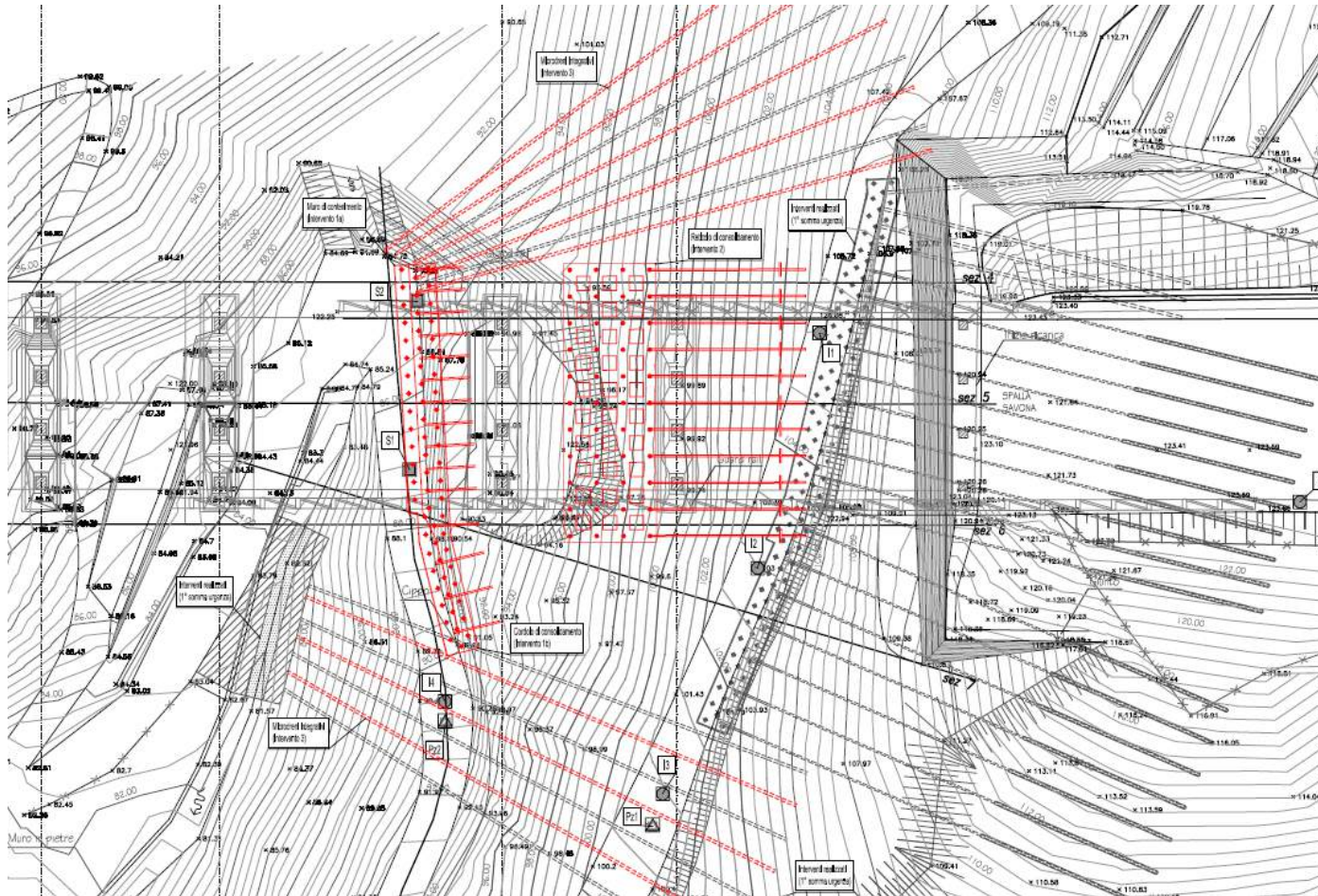
Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

□ Definizione interventi di seconda fase:

- reticolo di micropali lungo il settore intermedio della pila
 - diametro $\phi = 160 - 180$ mm
 - armatura tubolare 88,9/12,0 mm, su quattro file e con disposizione a quinconce
 - passo sulla fila 1,50 m
 - lunghezza 18 m
 - Inclinazione 45°
- reticolo travi in c.a. di collegamento

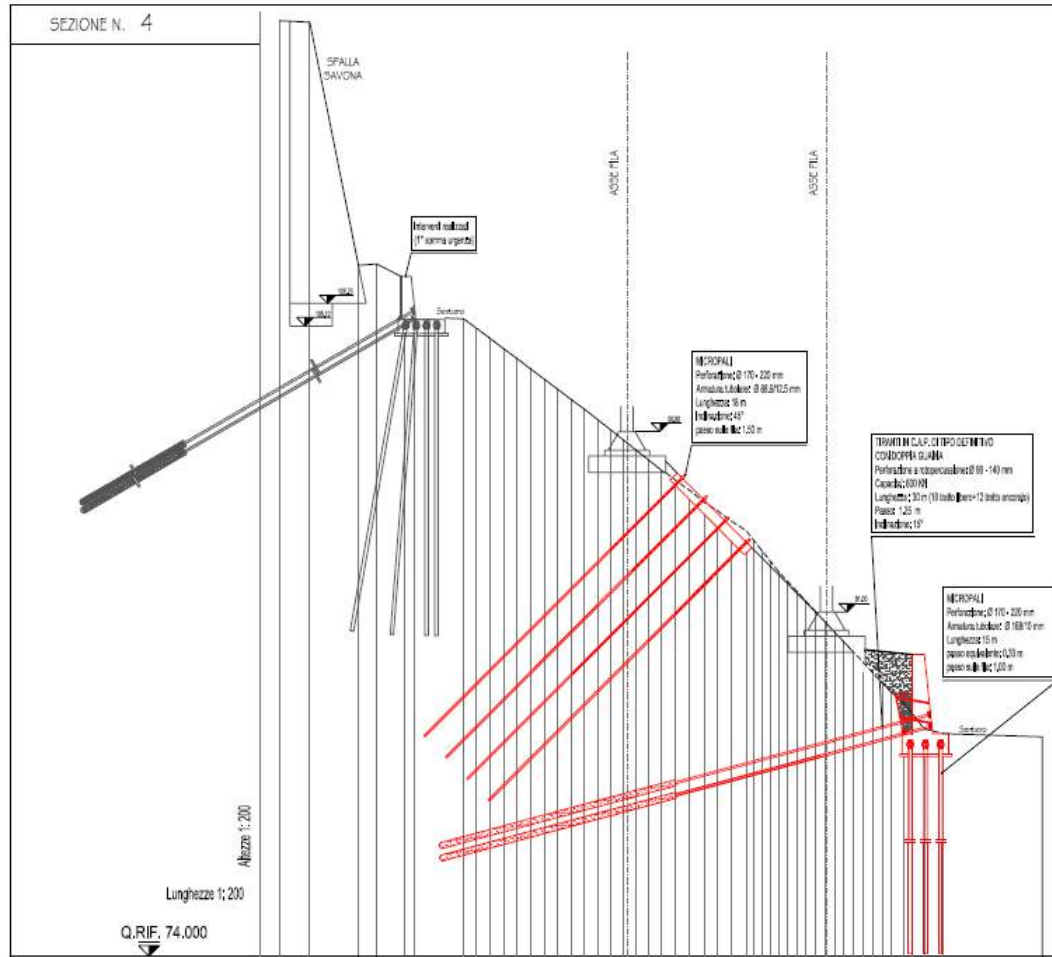
Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- Definizione interventi di seconda fase:



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

Definizione interventi di seconda fase:



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- Sostituzione appoggi:



Il monitoraggio a supporto del consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

□ Sostituzione appoggi:



Interventi di monitoraggio e consolidamento di un viadotto autostradale in condizioni di urgenza

- Sostituzione appoggi – lettura strumentazione di monitoraggio:



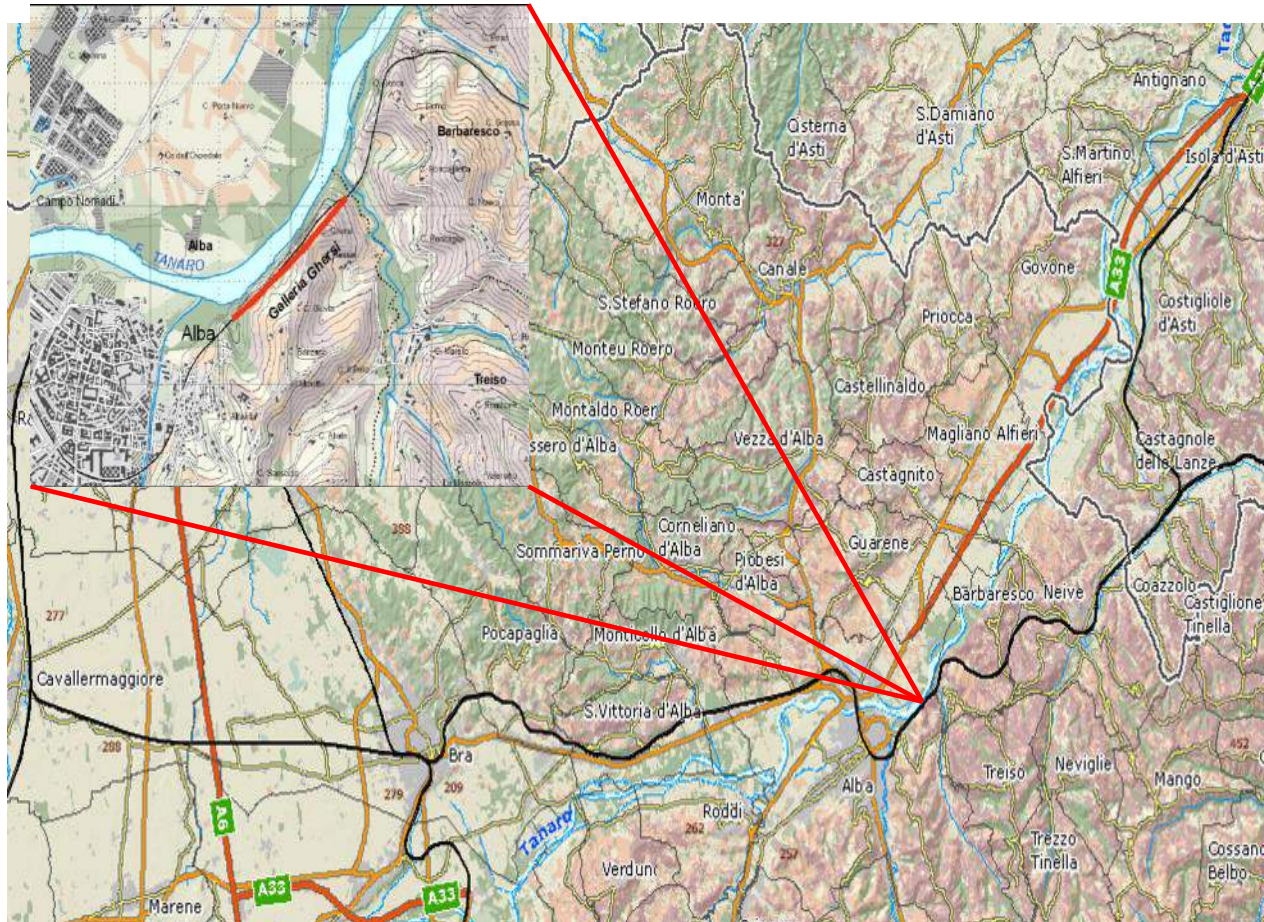
*Linea ferroviaria CANTALUPO – CAVALLERMAGGIORE
tratta CASTAGNOLE-ALBA*

*Galleria Gheresi
Monitoraggio geotecnico e strutturale dei processi di
instabilizzazione*



Galleria Gherzi *Monitoraggio geotecnico e strutturale dei processi di instabilizzazione*

□ Inquadramento territoriale:



Galleria Gheresi

Monitoraggio geotecnico e strutturale dei processi di instabilizzazione

Caratteristiche della galleria:

Galleria RFI Gheresi

Linea Cantalupo-Cavallermaggiore

Entrata in Esercizio: 26/05/1865

Chiusura al Traffico: Aprile 2010

Lunghezza: 1 046 metri

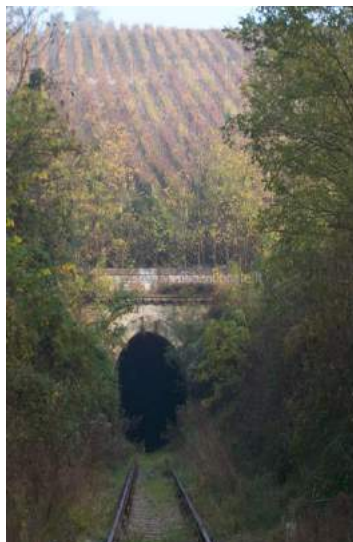
Sezione: Ferro di cavallo priva di arco rovescio, circa 28 m²

Rivestimento: Muratura di Mattoni in alcune tratte ricoperta da betoncino

33 nicchie lato monte

Smaltimento Acque: Cunetta di scolo in muratura lato Tanaro

Cunicolo di areazione e cunicolo di scolo lato Tanaro



□ Stato di Fatto e Problematiche in atto:

Problematiche generali relative al versante

L'erosione della parete esposta con contestuale arretramento del versante, favorita tra l'altro dall'azione di scalzamento del piede della scarpata indotta dalle acque di piena del Tanaro, comporta:

📄 Un sistematico smantellamento della copertura parietale della galleria

📄 Il disturbo dello stato tensionale nell'intorno del cavo

Il processo, caratterizzato da una significativa velocità di evoluzione, è destinato a produrre nel tempo una interferenza diretta con la galleria.

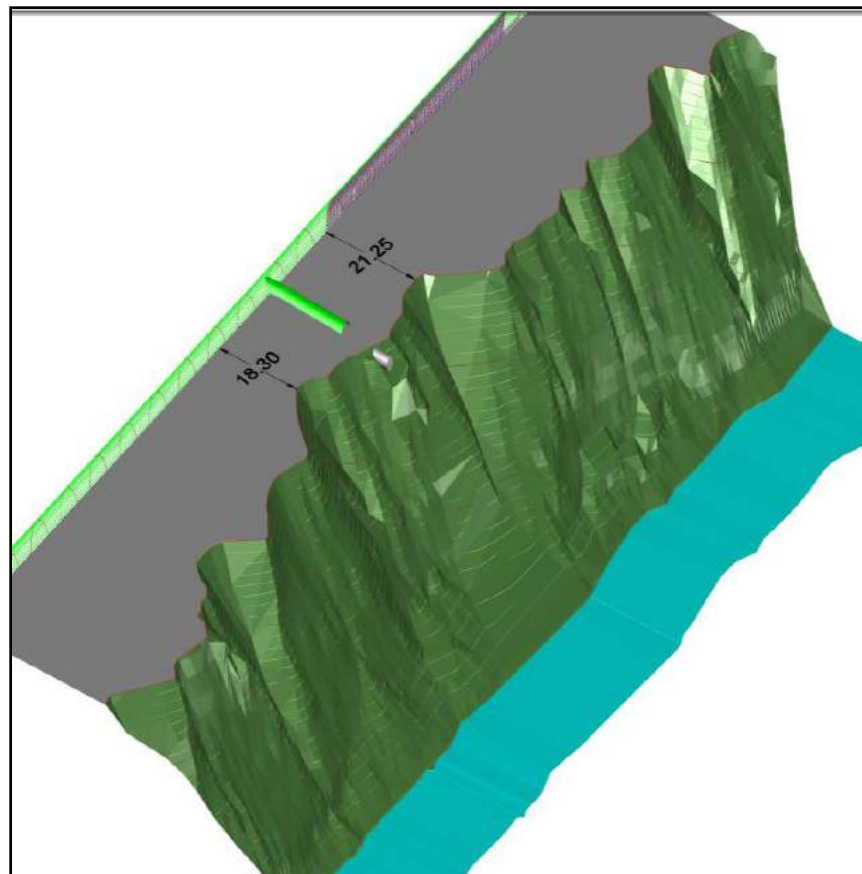
Ad oggi si osservano locali riduzioni della copertura parietale a circa 18 m



Galleria Gherzi

Monitoraggio geotecnico e strutturale dei processi di instabilizzazione

- Stato di Fatto e Problematiche in atto:



Galleria Gheresi

Monitoraggio geotecnico e strutturale dei processi di instabilizzazione

- Stato di Fatto e Problematiche in atto:

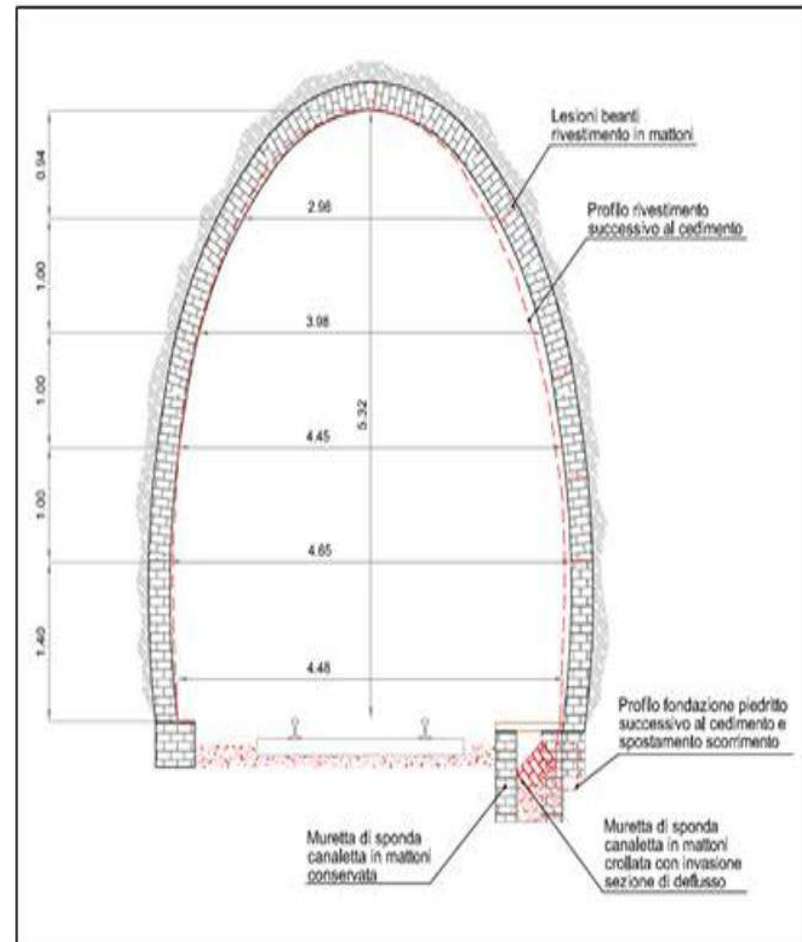


□ Stato di Fatto e Problematiche in atto:

Problematiche locali relative al rivestimento

Il rivestimento della galleria evidenzia problematiche di ammaloramento, più o meno accentuato, lungo lo sviluppo dell'opera.

Localmente il medesimo è stato interessato da importanti fenomeni di instabilità concretizzatesi nel cedimento del piedritto lato Tanaro, con conseguenti lesioni a carico della muratura e nella locale compromissione del sistema di raccolta e smaltimento delle acque.



Galleria Gherzi

Monitoraggio geotecnico e strutturale dei processi di instabilizzazione

- Stato di Fatto e Problematiche in atto:



□ Analisi ed interventi posti in essere:

📁 Elaborazione di un progetto di interventi di I fase per il **contenimento ed il controllo del dissesto e la risoluzione delle condizioni di emergenza:**

📁 Indagini ispettive ed analisi dello stato di consistenza del rivestimento

📁 **Implementazione e realizzazione di un sistema di monitoraggio strutturale del paramento**

📁 Realizzazione di un intervento di sostegno provvisorio del rivestimento

📁 Realizzazione campagna di indagini geognostiche a supporto del dimensionamento degli interventi di consolidamento definitivo

📁 Approfondimento sulle problematiche in atto mediante modellazione numerica

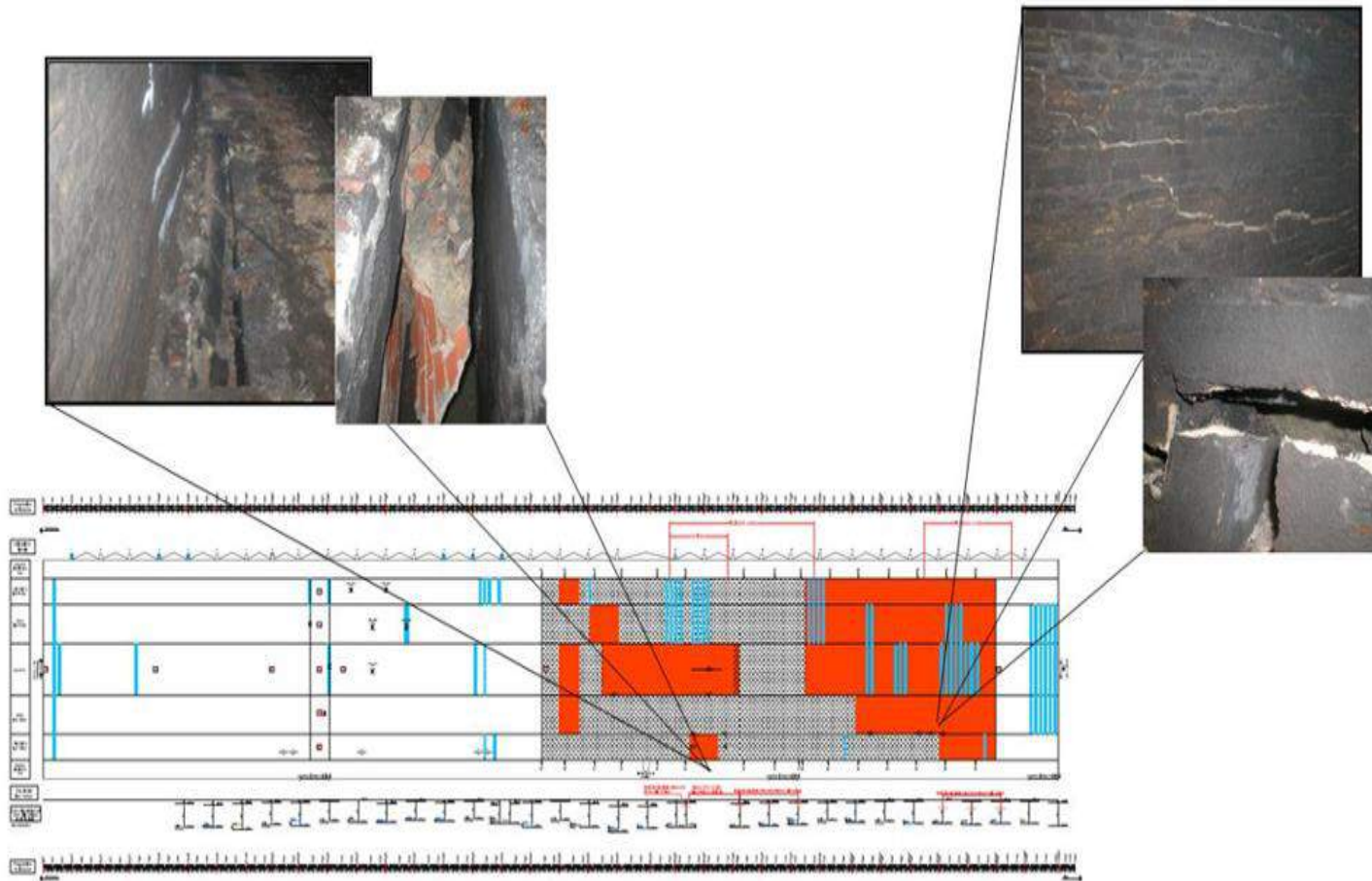
📁 Rilievo di dettaglio della scarpata (modellazione 3D)

📁 Analisi preliminare proposte di intervento per il consolidamento definitivo

Galleria Gherzi





Monitoraggio geotecnico e strutturale dei processi di instabilizzazione

- Indagini ispettive ed analisi dello stato di consistenza del rivestimento







Campagne di indagini geognostiche

Campagna di indagini Anno 2006

-  n. 8 sondaggi orizzontali a carotaggio continuo
Caratterizzazione litostratigrafica ammasso roccioso
-  n. 3 sondaggi verticali a carotaggio continuo
Caratterizzazione litostratigrafica ammasso roccioso
-  n. 13 campioni sottoposti a prove di laboratorio
Caratteristiche fisiche e proprietà indice, parametri di resistenza e deformabilità
-  Indagine geofisica – n. 2 prove sismiche in foro down-hole
Caratterizzazione qualità meccaniche ammasso roccioso

Campagna di indagini Anno 2011

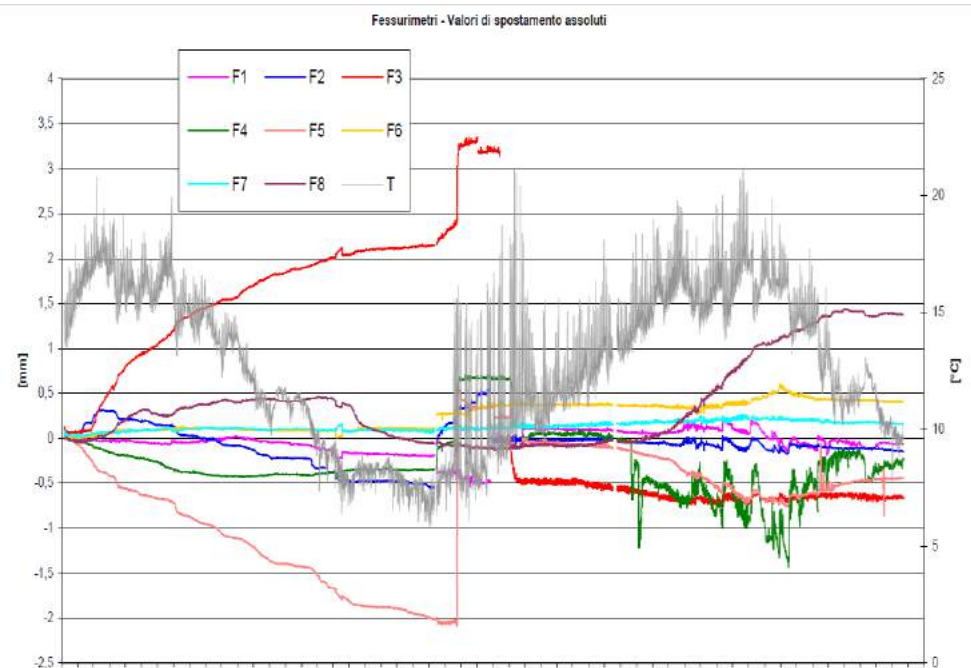
-  prospezioni georadar sul rivestimento
Determinazione spessore rivestimento e caratteristiche accoppiamento con l'ammasso roccioso
-  n. 14 sondaggi interni alla galleria
Determinazione spessore rivestimento e caratteristiche dell'ammasso roccioso nell'intorno del cavo /
Installazione strumentazione di monitoraggio
-  indagine endoscopica delle perforazioni
Determinazione spessore rivestimento e caratteristiche dell'ammasso roccioso nell'intorno del cavo
-  n. 2 sondaggi verticali a carotaggio continuo

Sistema di monitoraggio strutturale del paramento

n. 8 Fessurimetri elettrici

Finalizzati al controllo degli spostamenti sui giunti beanti.

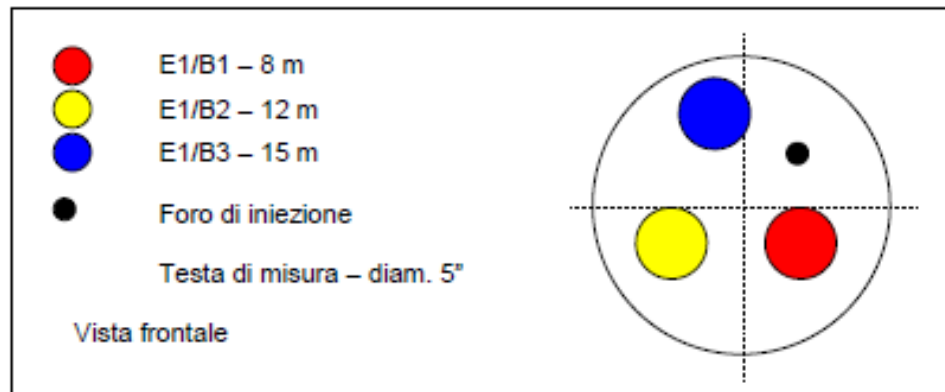
Hanno evidenziato un incremento del cedimento sul rene destro senza un contestuale cedimento della porzione del piedritto.



Sistema di monitoraggio strutturale del paramento

- n. 3 Estensimetri multibase da foro

Finalizzati al controllo dei movimenti del tunnel ed all'analisi qualitativa della correlazione con i movimenti del versante



Sistema di monitoraggio strutturale del paramento

- Sistema di acquisizione e trasmissione dati automatizzato

Consente la lettura e registrazione in continuo delle misure, l'elaborazione preliminare e trasmissione dei dati registrati, l'eventuale attivazione di un apposito allarme



Galleria Gherzi

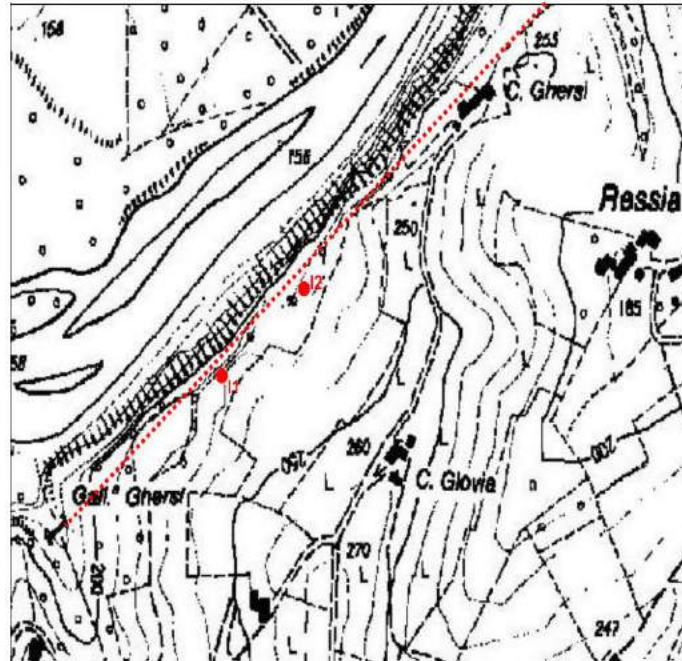
Monitoraggio geotecnico e strutturale dei processi di instabilizzazione

Sistema di monitoraggio geotecnico - Inclinatori

- n.2 Colonne Inclinatorie

Perforazione a carotaggio continuo da 0,00 a 60,0 m

Diametro di perforazione 101 mm



Galleria Gherzi

Monitoraggio geotecnico e strutturale dei processi di instabilizzazione

Interventi di I Fase – condizioni di urgenza:

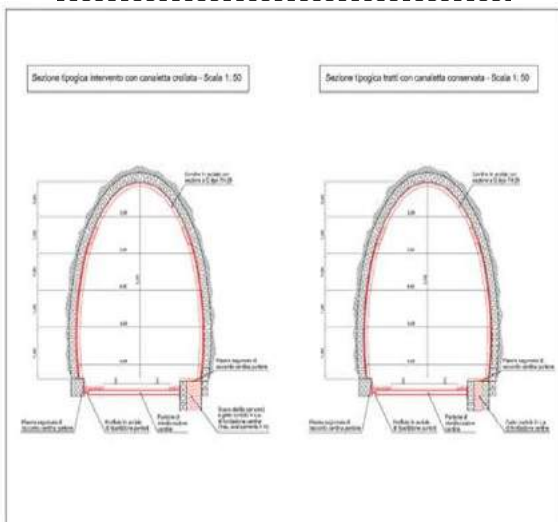
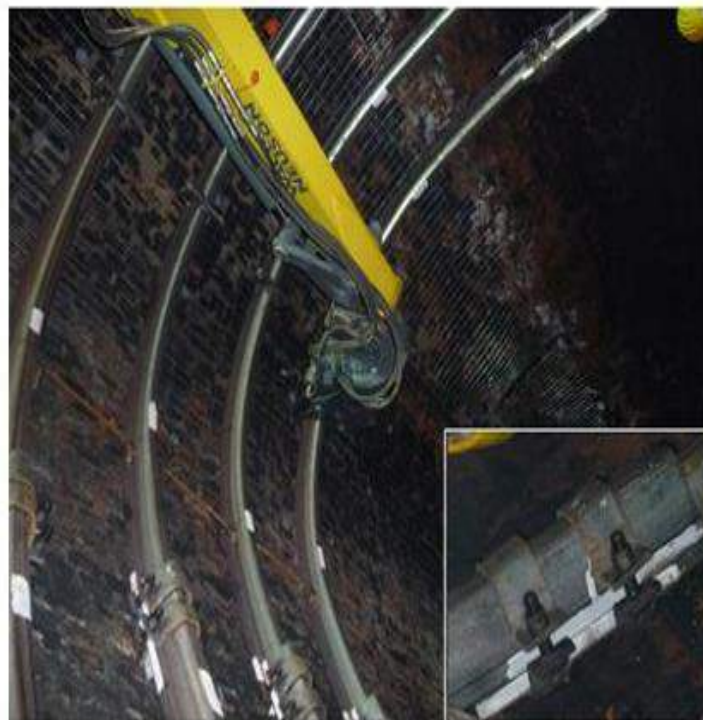
Centinatura sistematica per sostegno provvisorio rivestimento

Caratteristiche Intervento

Sviluppo complessivo: 60,0 m

Centine telescopiche collassabili
in Profilati Ω TH 29

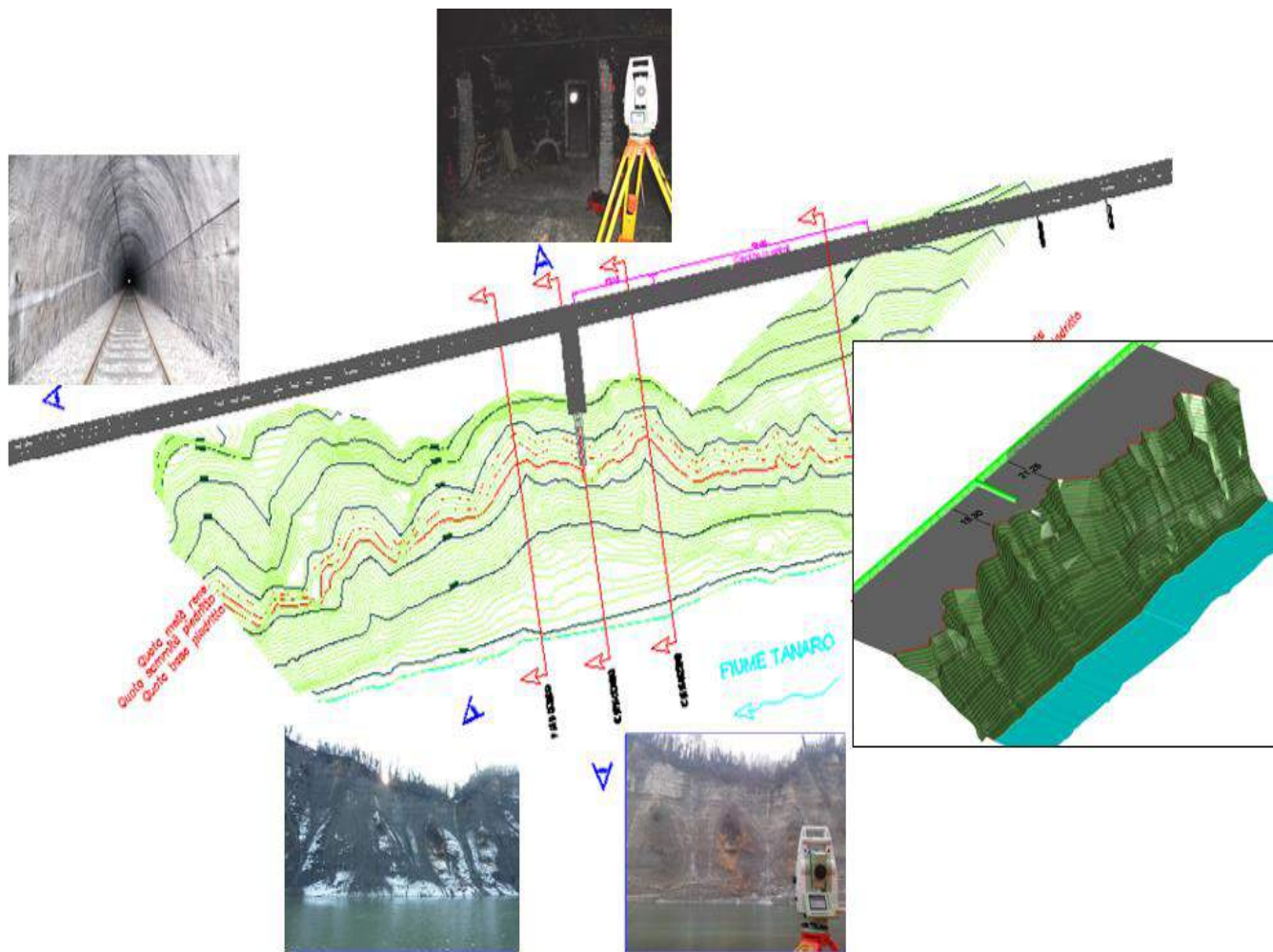
Interasse centine: 0,60 m



Galleria Gherzi

Monitoraggio geotecnico e strutturale dei processi di instabilizzazione

Rilievo di dettaglio ed elaborazione 3D del versante



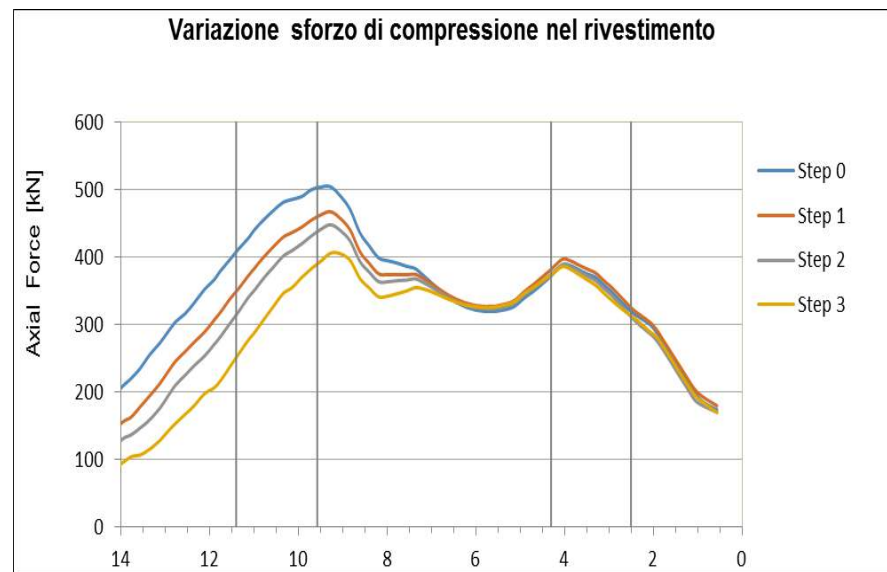
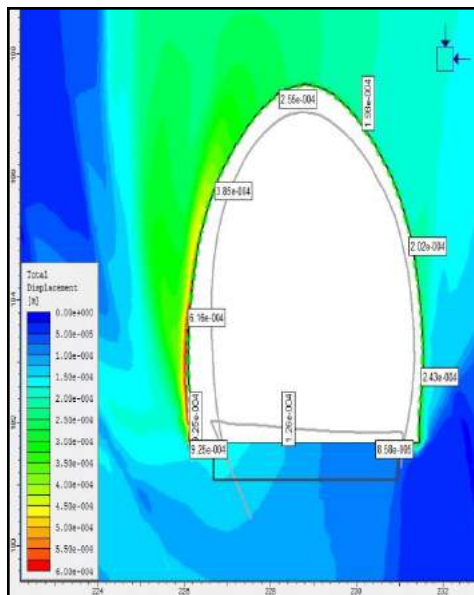
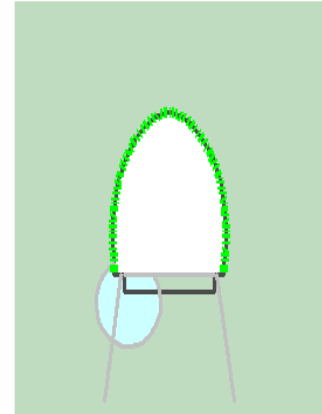
Modellazione numerica delle problematiche in atto
Problematiche generali – Simulazione regressione del versante

Simulazione decadimento caratteristiche di resistenza e deformabilità all'imposta del piedritto, a seguito del rammollimento del terreno connesso a ristagni d'acqua.

Risultati:

Cedimento del Piedritto secondo cinematismi analoghi a quanto osservato

Detensionamento muratura in corrispondenza del piedritto



Modellazione numerica delle problematiche in atto

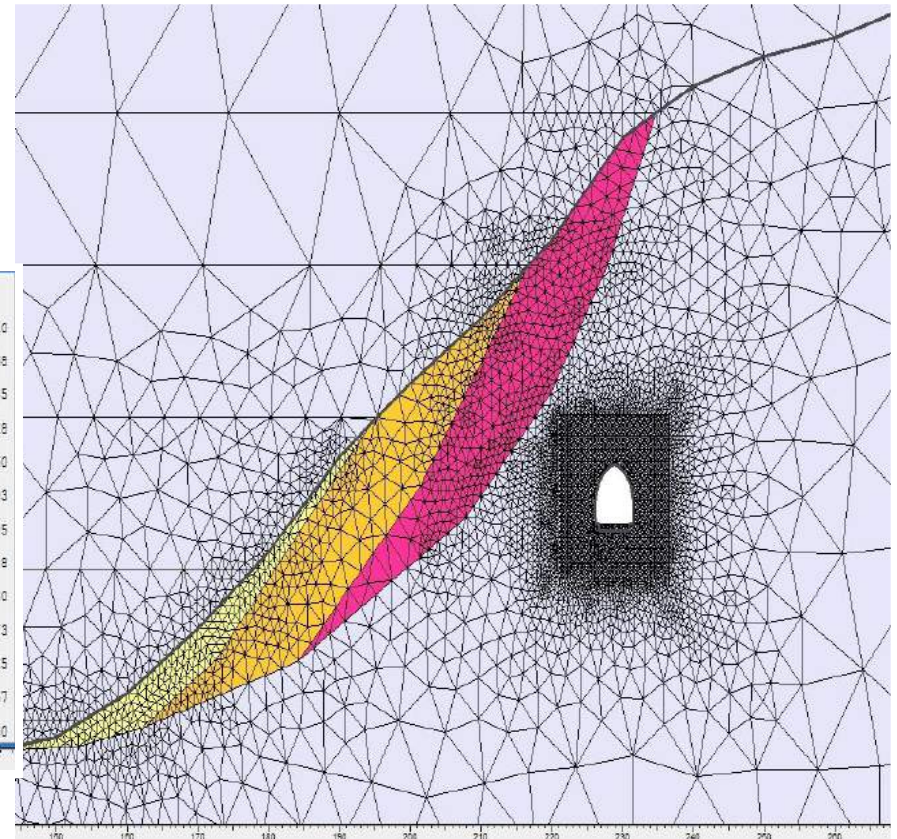
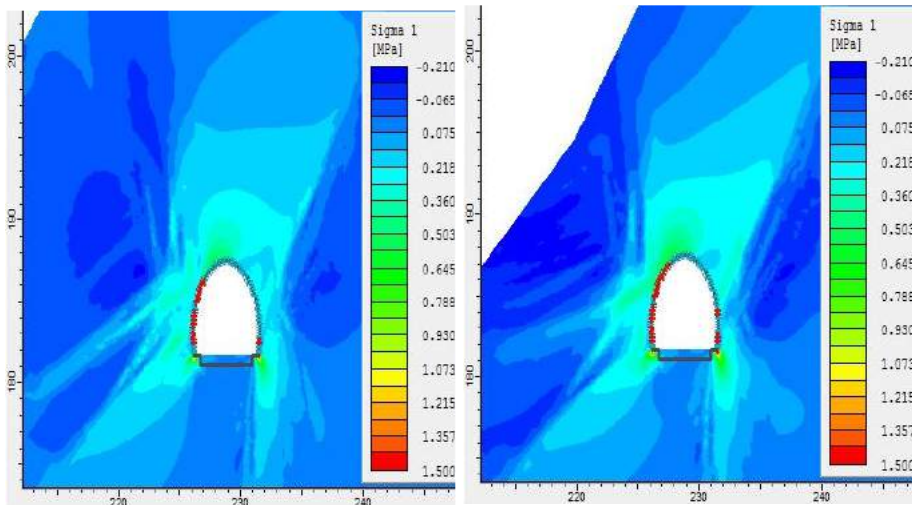
Problematiche locali – Simulazione cedimento del piedritto

Simulazione riduzione copertura parietale galleria:

1° step: erosione al piede di circa 5,0 metri

2° step: copertura residua circa 20,0 metri

3° step: copertura residua circa 10,0 metri



Grazie per l'attenzione



- Ing. Geol. Luigi Marengo – Geol. Nicola Quaranta
- GEO Engineering s.r.l.