

**Variante alla S.S. 45 "Val di Trebbia"**  
**Comuni di Torriglia e Montebruno**  
**dal Km 31+500 (Costafontana) al Km 35+600 (Montebruno)**  
**2° stralcio funzionale**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI**

**I PROGETTISTI:**

*Ing. Giuseppe Danilo Malgeri*  
*Ordine Ing. di Roma n. A34610*

*Ing. Angelo Dandini*  
*Ordine Ing. di Frosinone n. A918*

*Geol. Maurizio Martino*  
*Ordine Geologi del Lazio n. 457*

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

*Arch. Roberto Roggi*

**VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :**

*Ing. Fabrizio Cardone*

PROTOCOLLO

DATA

**GEOTECNICA**

**Relazione di monitoraggio geotecnico - strutturale**

CODICE PROGETTO

PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG.

**DPGE03**    **D**    **1701**

NOME FILE

**T00GE00MOGRE01\_A**

REVISIONE

SCALA:

CODICE ELAB. **T00GE00MOGRE01**

**A**

-

**D**

**C**

**B**

**A**

Emissione a seguito di Richiesta Integrazioni prot. CTVA 7867

Gen. 2023

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

***RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO GEOTECNICO  
STRUTTURALE***

## Sommario

<b>1</b>	<b><i>Premessa</i></b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b><i>Criteri generali per il progetto di monitoraggio</i></b> .....	<b>4</b>
2.1	<b>Riferimenti normativi</b> .....	<b>4</b>
2.2	<b>Obiettivi del monitoraggio</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b><i>Inquadramento del progetto</i></b> .....	<b>6</b>
3.1	<b>Opere d'arte</b> .....	<b>6</b>
<b>4</b>	<b><i>Piano di monitoraggio geotecnico - strutturale</i></b> .....	<b>8</b>
4.1	<b>Ubicazione della strumentazione</b> .....	<b>8</b>
4.1.1	Paratie e chiodature di monte.....	8
4.1.2	Muri di sostegno .....	8
4.1.3	Viadotti .....	9
4.1.4	Galleria artificiale.....	11
4.2	<b>Frequenza delle letture</b> .....	<b>11</b>
4.2.1	Paratie e chiodature .....	12
4.2.2	Muri di sostegno .....	12
4.2.3	Viadotti .....	13
4.2.4	Galleria artificiale.....	13
<b>5</b>	<b><i>Gestione dati di monitoraggio</i></b> .....	<b>14</b>
5.1	<b>Soglie di allerta</b> .....	<b>14</b>
5.2	<b>Metodo emissione dati</b> .....	<b>14</b>
5.3	<b>Analisi dei dati</b> .....	<b>14</b>

## 1 Premessa

La presente relazione illustra il piano di Monitoraggio geotecnico-strutturale redatto nell'ambito della progettazione definitiva della Variante alla S.S.45 "Val Trebbia" Comuni di Torriglia e Montebruno dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno) 2° Stralcio funzionale.

Il piano, redatto in accordo alle "*Linee Guida ANAS per il Monitoraggio Geotecnico*" e del paragr. 6.2.6 del DM 17/01/2018, ha lo scopo di verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e i comportamenti osservati e di controllare la funzionalità dei manufatti nel tempo, mediante la misura di grandezze fisiche significative, prima durante e dopo la costruzione del manufatto.

Il sistema di monitoraggio è stato definito in modo da poter fornire gli elementi necessari ad una corretta valutazione in corso d'opera, al fine di poter intervenire con eventuali azioni correttive da adottare qualora ci si discosti dalle previsioni progettuali, in termini di comportamento delle nuove strutture.

## **2 Criteri generali per il progetto di monitoraggio**

### **2.1 Riferimenti normativi**

Di seguito si riporta una sintesi della normativa di riferimento:

- UNI EN 1997-1:2013, Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 1: General rules
- UNI EN 1997-1:2007, Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing
- UNI EN 1998-5:2005, Eurocode 8 - Design of structures for earthquake - Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnica aspects
- D.M. 17/01/2018, aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".
- Circolare Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21/01/2019, n. 7 recante "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al D.M. 17/01/2018"

### **2.2 Obiettivi del monitoraggio**

La tipologia di monitoraggio fa riferimento ai modelli geologico-geomorfologico e geotecnico descritti nelle specifiche relazioni ed elaborati grafici.

Il piano di monitoraggio proposto si prefigge lo scopo di:

- verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e il comportamento osservato;
- verificare la qualità delle prestazioni dell'opera dopo la costruzione.

Note le condizioni di progetto, la scelta della strumentazione da installare è una diretta conseguenza dei parametri che si intendono monitorare.

Tabella 2-1 Grandezze da misurare e strumentazione prevista

	<b>Grandezza da misurare</b>	<b>Strumentazione prevista</b>
<i>Comportamento delle strutture (paratie, muri di sostegno)</i>	Spostamenti della struttura Carico sui tiranti	Mire ottiche, inclinometri, celle di carico
<i>Comportamento delle strutture (fondazioni)</i>	Spostamenti della struttura Deformazione dei pali	Mire ottiche, clinometri, barrette estensimetriche
<i>Comportamento delle strutture (viadotti)</i>	Caratteristiche di temperatura, umidità e vento	Sensore temperatura, stazione meteo
<i>Comportamento delle strutture</i>	Spostamenti degli elementi strutturali Deformazioni degli elementi strutturali	Barretta estensimetrica, clinometro, misuratori di giunto

Il monitoraggio comprende il controllo delle seguenti strutture:

- Paratie, muri di sostegno e chiodature;
- Galleria artificiale;
- Viadotti;

Gli strumenti di monitoraggio dovranno essere installati:

- all'esterno, almeno tre mesi prima dell'inizio dei lavori, in modo da poter acquisire un numero di dati significativi ai fini della valutazione della situazione "ante-operam";
- all'interno delle parti componenti l'opera, durante le fasi realizzative.

Il piano di monitoraggio prevede l'installazione di strumenti topografici e geotecnici posizionati nelle posizioni ritenute significative, almeno tre mesi prima dell'inizio dei lavori, laddove significativo in funzione dell'opera.

### 3 Inquadramento del progetto

#### 3.1 Opere d'arte

Nel progetto sono presenti cinque viadotti di nuova realizzazione:

Tabella 3-1 Elenco dei viadotti dell'intervento.

Id. opera	Pk iniziale (km)	Pk finale (km)
VI01	0+455.00	0+545.00
VI02	1+013.00	1+133.50
VI03	1+377.92	1+489.92
VI04	1+561.52	1+656.52
VI05 (Ponte sul Trebbia)	0+040.00	0+110.00

La galleria si sviluppa per una lunghezza di 25 m, dalla pk 0+575 alla pk 0+600 ed è realizzata con una sezione scatolare in cemento armato.

Lungo il tracciato sono, inoltre, presenti opere d'arte minori, come paratie, chiodature di consolidamento delle scarpate di scavo e muri di sostegno in c.a.

Tabella 3-2 Elenco delle paratie

Id. opera	Pk iniziale	H iniziale (m)	Pk finale	H finale (m)	L (m)	H max (m)	Altezza scavo max (m)
OM02	0+010	7	0+090	10	83.80	9.50	13.50
OM03	0+125	10	0+185	10	62.40	13	8.80
OM04	0+230	10	0+430	10	218.80	13	8.80
OM05	0+600	7	0+668	7	74.90	10	7
OM06	0+730	7	0+810	10	84.30	10	6.20
OM07	0+840	10	0+970	7	143.65	10	6.20
OM08	1+200	7	1+350	10	160	13	8.80
OM09	1+508	10	1+560	10	56.60	13	7.30
OM10	1+675	7	1+725	7	61.70	7	4.40
OM11	0+555	7	0+575	10	19.50	10	6.80

Le paratie presentano tutte la medesima tipologia costruttiva, costituita da pali di medio diametro  $\varnothing 400$ , passo 0.60 m, armati con profilo tubolare in acciaio.

*Tabella 3-3 Elenco dei muri di sostegno.*

Id. opera	Pk iniziale (km)	Pk finale (km)
OM01	0+017	0+031
OM12	0+084	0+124
OM13	0+173	0+204
OM14	0+420	0+450
OM15	0+646	0+795
OM16	0+810	1+009
OM17	1+140	1+220
OM18	1+496	1+554
OM19	1+666	1+723
OM20	0+020	0+055
OM21	0+060	0+139
OM22	0+143	0+192
OM23	0+170	0+225

I muri di sostegno sono opere di sottoscarpa, in c.a., con fondazioni su micropali  $\varnothing 240$ , armati con tubolare in acciaio.



## 4 Piano di monitoraggio geotecnico - strutturale

### 4.1 Ubicazione della strumentazione

#### 4.1.1 Paratie e chiodature di monte

Nel presente piano di monitoraggio, per le paratie di pali/micropali, sono previste sezioni di misura attrezzate con:

- Mire ottiche installate sul cordolo di testa, con una distribuzione di circa 1 mira ogni 10 m;
- Mire ottiche lungo il fusto dei pali e sul rivestimento, in funzione delle diverse sezioni di calcolo;
- Celle di carico toroidali per il monitoraggio del carico dei tiranti (in numero pari al 10% del numero complessivo di tiranti)
- Celle di carico toroidali per il monitoraggio del carico dei chiodi (in numero pari al 10% del numero complessivo di chiodi)

Il numero e la tipologia degli strumenti installati sono riportati nella tabella seguente:

*Tabella 4-1 Strumenti installati sulle paratie e chiodature*

WBS	prog. inizio	prog. fine	N.mire cordolo	N.mire pali	N.celle chiodature	N.celle tiranti
OM02	+10.00	+93.00	9	8	7	9
OM03	+125.00	+185.00	7	6	6	7
OM04	+225.00	+440.00	22	20	21	29
OM05	+600.00	+668.00	8	6	6	4
OM06	+730.00	+810.00	9	8	--	5
OM07	+840.00	+970.00	15	7	9	11
OM08	1+200.00	1+350.00	17	16	13	21
OM09	1+508.00	1+560.00	6	4	3	6
OM10	1+675.00	1+725.00	7	3	3	2
OM11	+555.00	+575.00	3	1	--	1
<b>Totale</b>			<b>103</b>	<b>79</b>	<b>68</b>	<b>95</b>

#### 4.1.2 Muri di sostegno

Per i muri di sostegno in c.a., sono previste sezioni di misura attrezzate con:

- Mire ottiche installate in testa, con una distribuzione di circa 1 mira ogni 6 m;
- Mire ottiche installate alla base, con una distribuzione di circa 1 mira ogni 12 m.

Il numero e la tipologia degli strumenti installati sono riportati nella tabella seguente:

*Tabella 4-2 Strumenti installati sui muri di sostegno*

<b>WBS</b>	<b>prog. inizio</b>	<b>prog. fine</b>	<b>N.mire</b>
OM01	+17.00	+31.00	4
OM12	+84.34	+124.26	4
OM13	+173.05	+204.22	4
OM14	+420.00	+450.00	6
OM15	+645.50	+795.00	4
OM16	+810.00	1+007.00	22
OM17	1+140.00	1+220.00	12
OM18	1+495.80	1+554.00	0
OM19	1+665.55	1+723.40	10
OM20	+20.00	+55.00	4
OM21	+60.00	+139.20	0
OM22	+143.00	+192.00	6
OM23	+170.00	+225.00	6
<b>Totale</b>			<b>82</b>

#### 4.1.3 Viadotti

Per il monitoraggio geotecnico dei viadotti è prevista l'installazione della seguente strumentazione:

- Barrette estensimetriche per i pali di fondazione (n. 3 coppie di barrette distanziate di 5 m, lungo il fusto di n.2 pali di fondazione per ogni fondazione);
- Clinometri per ogni sottostruttura.

Il sistema di monitoraggio strutturale prevede una serie di sensori installati sull'impalcato e sulle sottostrutture. I sensori sono di diversi tipi e variano in funzione della grandezza e dell'elemento strutturale da monitorare.

Nello specifico vengono impiegati:

- Stazione meteo per valutazione delle caratteristiche di temperatura, umidità e vento;

- 
- Sensore temperatura superficiale per la determinazione delle temperature superficiali degli elementi strutturali;
  - Trasduttori di spostamento relativo per la valutazione di spostamenti degli elementi strutturali dovuti ad azioni di esercizio e azioni sismiche;
  - Barrette estensimetriche per la valutazione deformazioni degli elementi strutturali dovuti ad azioni di esercizio e azioni sismiche;

Completano l'architettura del sistema di monitoraggio le seguenti apparecchiature:

- Pannello solare di alimentazione apparecchiature;
- Cablaggio rete.

I sensori sono disposti in numero e tipologia tale da garantire una dettagliata "visione" del comportamento strutturale delle opere.

Il posizionamento dei sensori segue i seguenti criteri:

- Sensori di deformazione: si posizionano in corrispondenza di zone maggiormente sollecitate e/o potenzialmente soggette a danneggiamento per fatica (Es. giunti saldati tra conci);
- Sensori di spostamento e temperatura: sono posizionati in prossimità di appoggi e giunti in modo da monitorare nel dettaglio la risposta alle variazioni termiche;

Il collegamento dei sensori alla struttura è effettuato mediante adesivi strutturali e le uniche operazioni di manutenzione (ridotta al minimo) consistono nel controllo periodico e nella sostituzione di componenti mal funzionanti oppure guasti.

Il numero e la tipologia degli strumenti installati sono riportati nella tabella seguente:

*Tabella 4-3 Strumenti installati sui viadotti*

WBS	prog. inizio	prog. fine	N.barrette estens. (pali)	N.barrette estens. (impalcato)	Clinometr o biassiale	Misuratore di giunto	Sensore di temperatura
VI01	0+455	0+545	36	28	3	5	3
VI02	1+013	1+133.50	48	44	4	6	3
VI03	1+377.92	1+489.92	48	44	4	6	3
VI04	1+561.92	1+656.52	48	44	4	6	3
VI05 (Ponte sul Trebbia)	0+040	0+110	24	12	2	4	3
<b>Totale</b>			<b>204</b>	<b>172</b>	<b>17</b>	<b>27</b>	<b>15</b>

#### 4.1.4 Galleria artificiale

Per la galleria artificiale sono previste n.2 sezioni di misura attrezzate con:

- Barrette estensimetriche disposte nelle solette inferiore e superiore e nei piedritti.

Il numero e la tipologia degli strumenti installati sono riportati nella tabella seguente:

*Tabella 4-4 Strumenti installati sulla galleria artificiale*

WBS	prog. inizio	prog. fine	N.barrette esten.
GA01	0+575	0+600	32
<b>Totale</b>			<b>32</b>

## 4.2 **Frequenza delle letture**

Il piano di monitoraggio previsto per la lettura della strumentazione su opere di sostegno e viadotti consta di letture iniziali, effettuate durante la costruzione della singola opera, e di letture successive ed effettuate per tutta la durata di realizzazione dell'intera infrastruttura fino ad un anno dopo il termine dei lavori.

La frequenza delle misurazioni è stata ipotizzata a partire dalle indicazioni contenute nelle "Linee Guida ANAS per il Monitoraggio Geotecnico".

La durata prevista dei lavori è pari a 1320 giorni.

Si considera una frequenza "in corso d'opera" con riferimento alla durata delle lavorazioni necessarie alla realizzazione della singola opera e una frequenza "post operam" distinta tra una frequenza di letture durante le lavorazioni di cantiere (opportunamente ridotta nel tempo) e una frequenza di letture che prosegue fino a 12 mesi dal termine dei lavori.

Una volta raggiunta la stabilizzazione delle misure, le eventuali ulteriori letture di controllo proseguiranno con frequenze da definire in corso d'opera. Pertanto, in funzione dei risultati e dell'andamento, le frequenze esposte potranno essere ridefinite dal Progettista e/o dalla D.L..

#### 4.2.1 Paratie e chiodature

Per le paratie, le letture previste durante la sola costruzione della singola opera sono:

- Lettura di zero effettuata al momento dell'installazione (dopo il tempo minimo per il fissaggio dei target);
- Almeno 1 lettura prima dell'esecuzione degli scavi di ribasso;
- Almeno 1 lettura dopo la tesatura dei tiranti.

Le frequenze delle successive letture in corso di realizzazione della singola opera sono riportate nella tabella.

*Tabella 4-5 Frequenza delle letture (paratie e chiodature)*

<b>Tipologia di strumentazione</b>	<b>Corso d'opera (realizzazione)</b>	<b>Corso d'opera 0-6 mesi</b>	<b>Corso d'opera 6-12 mesi</b>	<b>Corso d'opera &gt;12 mesi</b>	<b>Post operam 12 mesi</b>
Mire ottiche	1/7gg	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg
Celle di carico	3/7gg	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg

#### 4.2.2 Muri di sostegno

Per i muri di sostegno si prevede la lettura di zero effettuata al momento dell'installazione (dopo il tempo minimo per il fissaggio dei target).

Le frequenze delle successive letture in corso di realizzazione della singola opera sono riportate nella tabella.

*Tabella 4-6 Frequenza delle letture (muri di sostegno)*

<b>Tipologia di strumentazione</b>	<b>Corso d'opera 0-6 mesi</b>	<b>Corso d'opera 6-12 mesi</b>	<b>Corso d'opera &gt;12 mesi</b>	<b>Post operam 12 mesi</b>
Mire ottiche	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg

### 4.2.3 Viadotti

Per i ponti e i viadotti è prevista una sola lettura iniziale, ovvero la lettura di zero effettuata al momento dell'installazione (dopo il tempo minimo per il fissaggio dei target).

Le frequenze delle successive letture in corso di realizzazione della singola opera sono riportate nella tabella.

*Tabella 4-7 Frequenza delle letture (viadotti)*

<b>Tipologia di strumentazione</b>	<b>Corso d'opera 0-6 mesi</b>	<b>Corso d'opera 6-12 mesi</b>	<b>Corso d'opera &gt;12 mesi</b>	<b>Post operam 12 mesi</b>
Barrette estensimetriche	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg
Clinometri	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg
Misuratori di giunto	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg
Sensore di temperatura, stazione meteo	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg

### 4.2.4 Galleria artificiale

Per le gallerie artificiali è prevista una sola lettura iniziale, ovvero la lettura di zero effettuata al momento dell'installazione (dopo il tempo minimo per il fissaggio dei target).

Le frequenze delle successive letture in corso di realizzazione della singola opera sono riportate nella tabella.

*Tabella 4-8 Frequenza delle letture (galleria artificiale)*

<b>Tipologia di strumentazione</b>	<b>Corso d'opera 0-6 mesi</b>	<b>Corso d'opera 6-12 mesi</b>	<b>Corso d'opera &gt;12 mesi</b>	<b>Post operam 12 mesi</b>
Barrette estensimetriche	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg

## **5 Gestione dati di monitoraggio**

### **5.1 Soglie di allerta**

Per tutta la strumentazione installata saranno definite, nelle successive soglie di allerta e allarme, mediante valutazione quantitative teoriche.

### **5.2 Metodo emissione dati**

I sensori sono collegati via cavo a un sistema di acquisizione dati costituito da un data logger statico (indicato con DS) e i dati registrati vengono trasferiti in rete mediante piattaforma web di nuova generazione e processati mediante software che restituisce facili tabulati di lettura.

I dati dei singoli sensori, non solo vengono valutati singolarmente, ma possono essere riaggregati dinamicamente tramite modelli fisici interpretativi. Il sistema di acquisizione dati permette di memorizzare la grande mole di dati provenienti dai sensori in modo automatico, secondo un intervallo di tempo preimpostato dall'operatore.

### **5.3 Analisi dei dati**

L'analisi dei dati di monitoraggio sarà a cura di figure professionali specifiche all'interno delle strutture organizzative dell'impresa e della Direzione Lavori. L'installazione degli strumenti e l'analisi dei dati di monitoraggio sono previsti a cura dell'Impresa esecutrice dei lavori, mentre la D.L. avrà la possibilità di fare dei controlli puntuali sia con misure in contraddittorio (stimate in quantità pari a circa il 50% delle misure previste a carico dell'Impresa), sia tramite verifiche specifiche.