

**S.S 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"
TRATTO SPOLETO - ACQUASPARTA
1° stralcio: Madonna di Baiano-Firenzuola**

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **PG143**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. David Carlacini
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° Terni n° A1245

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

Il Responsabile di Progetto

Arch. Pianificatore Marco Colazza

Il Responsabile del Procedimento

Dott. Ing.
Alessandro Micheli

PROTOCOLLO

DATA

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



Dott.Ing. N.Granieri
Dott.Arch. N.Kamenicky
Dott.Ing. V.Truffini
Dott.Arch. A.Bracchini
Dott.Ing. F.Durastanti
Dott.Ing. E.Bartolucci
Dott.Geol. G.Cerquiglini
Geom. S.Scopetta
Dott.Ing. L.Sbrenna
Dott.Ing. E.Sellari
Dott.Ing. L.Dinelli
Dott.Ing. L.Nani
Dott.Ing. F.Pambianco
Dott. Agr. F.Berti Nulli

Dott. Ing. D.Carlacini
Dott. Ing. S.Sacconi
Dott. Ing. C.Consorti
Dott. Ing. E.Loffredo
Dott. Ing. C.Chierichini

Dott. Ing. V.Rotisciani
Dott. Ing. F.Macchioni
Geom. C.Vischini
Dott. Ing. V.Piunno
Dott. Ing. G.Pulli
Geom. C.Sugaroni



24.MONITORAGGIO GEOTECNICO STRUTTURALE

Relazione sul monitoraggio Ante e Post Operam

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	ANNO	T00M000OSTRE01A		
DTPG143	E	23	CODICE ELAB. T00M000OSTRE01	A	-
A	Emis. A seguito istr. ANAS		Set 2023	D.Carlaccini	Carlacini N.Granieri
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

RELAZIONE SUL MONITORAGGIO ANTE E POST OPERAM

1	PREMESSA	2
2	CRITERI DI MONITORAGGIO DELLE GALLERIE ARTIFICIALI	3
2.1	PRINCIPI DEL MONITORAGGIO	3
3	PIANO DI MONITORAGGIO	4
4	STRUMENTAZIONE	5
5	FREQUENZE DI LETTURA	8
6	MONITORAGGIO DELLA GALLERIA ROMANELLA	9
6.1	MONITORAGGIO ANTE OPERAM	9
6.2	MONITORAGGIO POST OPERAM	9
7	MONITORAGGIO DELLA GALLERIA COLLE DEL VENTO	10
7.1	MONITORAGGIO ANTE OPERAM	10
7.2	MONITORAGGIO POST OPERAM	10
8	RIEPILOGO DELLA STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO	11
9	PIANO DI MONITORAGGIO VIADOTTI ANTE E POST OPERAM	11
9.1	STRUMENTAZIONE	11
9.2	FREQUENZE DI LETTURA	11
9.3	SINTESI MONITORAGGIO	12
9.4	VALUTAZIONE DEL NUMERO DI LETTURE PER I VIADOTTI	12

RELAZIONE SUL MONITORAGGIO ANTE E POST OPERAM

1 PREMESSA

La presente relazione, redatta nell'ambito del Progetto Esecutivo delle "Tre Valli Umbre" tratto Eggi - Acquasparta – I° Stralcio Baiano – Firenzuola, è relativa al monitoraggio *Ante* e *Post Operam* delle opere di sostegno degli scavi delle gallerie artificiali Romanella e Colle del Vento, comprese le opere di imbocco e del rivestimento definitivo delle gallerie artificiali, nonché del monitoraggio dei viadotti Marroggia e Molino Vecchio.

Lo scopo del presente documento è quello di fornire i principi generali del monitoraggio proposto e gli obiettivi che esso si prefigge, riassumere la strumentazione da installare e le misure da effettuare, dare indicazioni sulla periodicità delle misurazioni e sulle relative elaborazioni.

Gli interventi di presidio degli scavi per la realizzazione delle gallerie artificiali sono costituiti da pareti chiodate, estese anche alla zona di imbocco. Gli scavi di sbancamento realizzati avranno funzione temporanea, al termine della realizzazione delle gallerie artificiali, si procederà al ricoprimento sino al ripristino delle condizioni originarie del piano campagna.

Per quanto concerne i viadotti, la seguente tabella ne riassume le caratteristiche:

<i>Viadotto</i> [-]	<i>Lunghezza</i> [m]	<i>N. pile</i> [m]	<i>Fondazioni pile</i> [-]	<i>Fondazioni spalle</i> [-]
Marroggia	933.500	20	pali ø 1200	pali ø 1200
Molino Vecchio	766.50	16	pali ø 1200	pali ø 1200

Tab. 1 – Caratteristiche dei viadotti.

Il programma di monitoraggio prevede la posa in opera e la lettura programmata di apposite strumentazioni quali mire ottiche, barrette estensimetriche, piezometri ed inclinometri.

Le indicazioni fornite nella presente relazione sono scaturite da considerazioni di tipo teorico e tecnico. In corso d'opera andranno quindi verificate e meglio adattate alla situazione reale valutando la possibilità di incrementare o ridurre le strumentazioni e la frequenza delle letture, in funzione del reale comportamento registrato e della risposta deformativa del terreno in relazione alla realizzazione dell'opera.

2 CRITERI DI MONITORAGGIO DELLE GALLERIE ARTIFICIALI

Il sistema di monitoraggio è stato pensato in modo da poter fornire gli elementi necessari per una corretta valutazione della situazione *Ante* e *Post Operam*. Ciò al fine di ottenere informazioni circa la situazione antecedente all'esecuzione dei lavori e per poter intervenire con eventuali azioni correttive da adottare qualora ci si discosti dalle previsioni progettuali, in termini di effetti sulle interferenze con le preesistenze e del comportamento delle nuove strutture a seguito della loro realizzazione.

A titolo indicativo e non esaustivo, tali azioni correttive potranno consistere:

- integrazioni del monitoraggio previsto (come quantità e tipologia della strumentazione e come frequenza di lettura della stessa);
- integrazioni degli interventi di consolidamento e/o contenimento;
- variazioni delle modalità di risposta alle ipotesi di progetto.

L'insieme dei dati raccolti relativi agli effetti indotti nel volume di terreno interessato, potrà essere confrontata con quanto previsto in progetto, al fine di verificare la validità delle ipotesi assunte e dei modelli utilizzati.

2.1 PRINCIPI DEL MONITORAGGIO

La struttura di sostegno degli scavi ha carattere provvisoria ed è funzionale alla realizzazione delle gallerie artificiali Romanella e Colle del Vento. Al termine di detta realizzazione, infatti, le gallerie saranno rinterrate.

In quest'ottica, la funzionalità della struttura di sostegno è legata al regime di spostamenti indotti dallo scavo nel periodo intercorrente tra l'inizio degli sbancamenti ed il successivo rinterro.

Il monitoraggio *Ante Operam* è finalizzato alla valutazione del campo di spostamenti antecedenti alla realizzazione dell'opera in progetto, durante e successivamente allo scavo, con lo scopo di controllare che tali valori siano in linea con i quanto previsto in progetto.

L'elaborazione ed il controllo di qualità dei dati, misurati periodicamente, consentiranno di controllare con sufficiente precisione il comportamento dell'opera con lo scopo di garantire la sicurezza delle maestranze e dei macchinari presenti nell'area e, ove necessario, di intervenire prontamente con opportune misure di correzione qualora il monitoraggio evidenziasse risposte differenti rispetto alle ipotesi progettuali (ad esempio spostamenti eccessivi).

3 PIANO DI MONITORAGGIO

Il monitoraggio proposto prevede un controllo completo degli aspetti deformativi dovuti alla realizzazione degli sbancamenti antecedenti alla realizzazione della galleria, nonché del regime delle pressioni interstiziali, ovvero:

- controllo completo dei profili di spostamento orizzontale a ridosso delle opere mediante apposizione di strumentazione inclinometrica;
- controllo delle pressioni interstiziali mediante installazione di piezometri elettrici.

Tali strumenti saranno installati a monte della zona interessata dagli scavi provvisori, precedentemente alla realizzazione degli stessi e sarà opportunamente collocata in maniera da proseguire il monitoraggio anche nella fase *Post Operam*. Le misure di monitoraggio saranno effettuate a partire dalla fase *Ante Operam* e proseguiranno per tutta la durata dei lavori di esecuzione della galleria, compreso il rinterro. Per ciò che concerne la fase *Post Operam*, le misure di monitoraggio piezometrico proseguiranno al fine di ottenere informazioni circa le eventuali variazioni nel regime delle pressioni interstiziali; le misure inclinometriche saranno effettuate sino al completo ritombamento della galleria artificiale.

Con riferimento al monitoraggio degli stati tensionali indotti all'interno delle strutture definitive delle gallerie Romanella e Colle del Vento, si prevede il controllo tensionale (indiretto a partire dalla misurazione delle deformazioni) mediante installazione di barrette estensimetriche opportunamente installata al fine di mantenere il monitoraggio anche nella fase di esercizio della galleria (fase *Post Operam*).

Durante le fasi di monitoraggio vengono fissati dei set di soglie, rispettivamente al raggiungimento di determinate altezze di scavo e relativamente al fondo scavo, così da offrire un confronto teorico con il quale valutare l'effettiva risposta delle opere quantificando eventuali difformità dalle previsioni progettuali.

4 STRUMENTAZIONE

La strumentazione di base di un **inclinometro** è costituita da:

- tubo inclinometrico in alluminio o ABS, a sezione circolare, provvisto di quattro scanalature con funzione di guida per la sonda inclinometrica. Riproduce le deformazioni della massa di terreno così che le misure di inclinazione siano rappresentative degli effettivi movimenti. Mantiene costante il riferimento azimutale delle misure grazie alle quattro guide. Può essere installato in fori subverticali perforati attraverso la massa di terreno oppure inserito all'interno della struttura di sostegno. La posizione iniziale è stabilita con una serie di misure dette misure di zero; le misure successive consentono di stabilire l'entità e le velocità dei movimenti alle varie profondità;
- sonda inclinometrica. È costituita da un corpo metallico cilindrico provvisto di 2 carrelli che consentono di mantenere costante l'orientamento azimutale della sonda e quindi dei sensori contenuti. I sensori, nel caso di sonde biassiali, misurano l'inclinazione in due piani ortogonali, uno dei quali è il piano delle ruote dei carrelli ed è convenzionalmente chiamato asse A mentre l'altro è chiamato asse B. Le misure sono quindi puntuali, riferite cioè ad una precisa quota, generalmente ogni 0.5 m;
- cavo di misura. Serve per calare la sonda in profondità e per effettuare il collegamento elettrico. È armato con un cavo ed una treccia in acciaio inox per evitare l'allungamento, ed è provvisto di tacche tattili ogni 0.5 m,
- centralina di misura. Permette di rilevare i valori inclinometrici alle varie quote nella forma più idonea per l'elaborazione.

I **piezometri** vengono installati in foro già eseguito. Il fluido da impiegarsi per la perforazione del foro in cui viene installato il piezometro è l'acqua.

La sequenza delle operazioni da eseguire nella fase di installazione è riportata nel seguito.

1. Il piezometro viene saturato, controllato, tarato e mantenuto in acqua pulita fino al momento dell'installazione.
2. Durante la fase di inserimento nel foro, il piezometro non deve venire a contatto con l'aria.
3. Il foro, fino alla quota di 1.5 m inferiore a quella di installazione del piezometro, deve essere riempito con miscela cemento bentonite acqua in proporzioni tali che la consistenza della

RELAZIONE SUL MONITORAGGIO ANTE E POST OPERAM

miscela, a presa avvenuta, sia simile a quella del terreno nella zona del piezometro. La miscela viene immessa dal basso mediante batteria di tubi appositamente discesa a fondo foro.

4. La quantità di miscela immessa va controllata molto attentamente ed il livello raggiunto deve essere man mano verificato con apposito scandaglio.

5. Al di sopra della miscela plastica e per lo spessore di 1.2 m, fino cioè a raggiungere la quota di 0.5 m al di sotto di quella stabilita per installare il piezometro, deve essere messo in opera un "tappo impermeabile" costituito da straterelli (spessore 10 cm circa) di ghiaietto (diam. da 0,5 a 2 cm) alternati a strati (spessore 30 cm circa) di palline di bentonite (diam. da 1.5 a 2 cm). Ogni coppia di straterelli (bentonite e ghiaietto) deve essere leggermente costipata con apposito pestello azionato dalla superficie.

6. La messa in opera del tappo di cui sopra deve avvenire solo quando la miscela plastica ha raggiunto una consistenza cui corrisponde una resistenza non drenata superiore a 20 kPa (misurata con scissometro su un provino in superficie appositamente conservato immerso in acqua).

7. Le palline di bentonite devono essere preconfezionate e la loro consistenza non deve essere inferiore a quella corrispondente al limite di plasticità.

8. Al di sopra del tappo impermeabile è messo in opera il letto di sabbia e successivamente viene calato a quota il piezometro controllando (con l'esclusione dei piezometri idraulici) che la pressione misurata coincida con la profondità della cella rispetto al livello del fluido nel foro.

Un ulteriore strato di sabbia viene quindi posato fino a raggiungere una quota di 0.5 m al di sopra di quella del piezometro, completando così il tratto "filtrante" attorno al piezometro. Durante l'installazione il piezometro deve essere mantenuto in posizione centrale nel foro in modo che il filtro di sabbia lo avvolga senza soluzioni di continuità.

9. Al di sopra del filtro deve essere posato un ulteriore "tappo impermeabile" del tutto uguale a quello posato al di sotto del filtro, dello spessore di almeno 1 metro.

Il costipamento delle coppie di straterelli deve essere fatto solo in caso di installazione di un secondo piezometro. Va tenuto presente che il pestello deve avere questa volta i fori passanti per i tubetti del piezometro sottostante, che non devono ovviamente essere danneggiati dal costipamento. Il pestello deve essere inoltre apribile in due metà per inserire appunto i tubetti.

10. Ove si debba installare un secondo piezometro, il tappo impermeabile superiore del primo deve avere altezza maggiore di un metro; esso costituirà il tappo inferiore del secondo piezometro, con uno sviluppo massimo pari a 5 m (tappo costituito da 50,0 cm di bentonite e 20

cm di ghiaietto). Per la posa del secondo "filtro" di sabbia, l'installazione del secondo piezometro e la creazione del tappo impermeabile superiore (in questo caso non costipato) si procede come descritto precedentemente.

11. Al di sopra del "tappo impermeabile superiore" il foro deve essere riempito con la miscela plastica cemento-bentonite acqua immessa dal basso mediante apposita batteria di aste discesa nel foro.

Anche qui, nel caso di installazione di 2 piezometri, può risultare difficoltoso (e pericoloso per i tubetti di collegamento) l'inserimento di questa batteria di aste per la presenza di numerosi tubi nel foro. Si deve pertanto provvedere all'installazione del tubo di immissione della miscela fin dalla messa in opera del secondo piezometro, installandolo, solidale con i tubi piezometrici ma in posizione più alta, per tenere conto del filtro superiore e del tappo impermeabile.

Durante le fasi di installazione sopra descritte è da tenere presente che la colonna di rivestimento deve essere man mano estratta mantenendo però la scarpa del rivestimento sempre all'interno del livello inferiore a quello di cui è in corso la posa in opera. Per esempio, durante la formazione del filtro, la scarpa deve essere immersa nel tappo impermeabile inferiore; durante la posa del tappo superiore essa deve trovarsi nel filtro, ecc..

Al termine dell'installazione si devono eseguire una o più letture che attestino la perfetta funzionalità dello strumento installato.

Le **barrette estensimetriche** a corda vibrante consistono in un tubetto in acciaio inox all'interno del quale una sottile corda, fissata alle due estremità, è fatta vibrare da una bobina di eccitazione. Esternamente al corpo cilindrico un involucro in resina protegge la bobina. La frequenza di vibrazione del cavo di acciaio è funzione delle deformazioni della struttura, nella sezione considerata, alla quale la barretta è fissata. La barretta può lavorare indifferentemente sia a trazione che a compressione; è a tenuta stagna e può essere applicata esternamente a strutture sollecitate oppure annegata in getti di calcestruzzo.

Le barrette estensimetriche annegate nel getto di cls vengono installate tramite delle fascette, metalliche o in plastica, su delle strutture di supporto, al fine di mantenere in posizione lo strumento durante le fasi di getto. Le strutture di supporto possono essere sia le armature del c.a. sia appositi tondini (diam. 8 mm) opportunamente predisposti. Per tarare le successive letture in funzione della temperatura e dell'effetto del ritiro del cls in fase di presa, è buona

norma provvedere, con opportuna periodicità, alla posa in opera di termometri e/o barrette di controllo aggiuntive.

5 FREQUENZE DI LETTURA

Le frequenze di lettura della strumentazione vengono di seguito definite.

Il piano di monitoraggio previsto per la lettura degli inclinometri può essere sintetizzato come segue:

- lettura di zero;
- n. 1 lettura/30 gg sino all'inizio dei lavori;

Successivamente al collaudo dell'opera (*Post Operam*) si prevede:

- n.1 lettura ogni 2 mesi per i primi 6 mesi;
- n.1 lettura ogni 3 mesi per i successivi 6 mesi.

Il piano di monitoraggio previsto per la lettura degli estensimetri nel rivestimento definitivo della galleria artificiale può essere sintetizzato come segue:

- 12 letture giornaliere (1 ogni 2 ore) fino al collaudo dell'opera.

La frequenza delle letture in corso d'opera definite in precedenza potranno subire variazioni in qualsiasi momento a seguito di eventuali anomalie o incrementi del comportamento deformativo delle opere o del raggiungimento dei limiti di progetto.

6 MONITORAGGIO DELLA GALLERIA ROMANELLA

6.1 MONITORAGGIO ANTE OPERAM

Complessivamente si prevede l'installazione della seguente strumentazione in corrispondenza della galleria Romanella:

Opera	Inclinometri	Piezometri
Sviluppo GA	6	6
Imbocco Ovest (lato Acquasparta)	2	2
Imbocco Est (lato Spoleto)	2	2

Tab. 2 - Strumentazione necessaria al monitoraggio in corso d'opera della galleria Romanella.

In particolare, gli inclinometri e i piezometri saranno installati antecedentemente all'inizio delle operazioni di scavo e l'acquisizione dei dati proseguirà con continuità per tutta la fase di esecuzione dei lavori sino al termine del ritombamento della galleria artificiale.

6.2 MONITORAGGIO POST OPERAM

Complessivamente si prevede di mantenere in opera la strumentazione piezometrica installata a tergo degli scavi e di proseguire le letture delle barrette estensimetriche per il monitoraggio degli stati tensionali della galleria.

Opera	Piezometri	Barrette estensimetriche
Sviluppo GA	6	18
Imbocco Ovest (lato Acquasparta)	2	-
Imbocco Est (lato Spoleto)	2	-

Tab. 3 - Strumentazione necessaria al monitoraggio *post operam* della galleria Romanella.

In caso di rottura della strumentazione installata in corrispondenza della galleria artificiale, si prevede l'installazione di eventuali 2 piezometri.

7 MONITORAGGIO DELLA GALLERIA COLLE DEL VENTO

7.1 MONITORAGGIO ANTE OPERAM

Complessivamente si prevede l'installazione della seguente strumentazione in corrispondenza della galleria olle del Vento:

Opera	Inclinometri	Piezometri
Sviluppo GA	6	6
Imbocco Ovest (lato Acquasparta)	2	2
Imbocco Est (lato Spoleto)	4	4

Tab. 4 - Strumentazione necessaria al monitoraggio in corso d'opera della galleria Colle del Vento.

In particolare, gli inclinometri e i piezometri saranno installati antecedentemente all'inizio delle operazioni di scavo e l'acquisizione dei dati proseguirà con continuità per tutta la fase di esecuzione dei lavori sino al termine del ritombamento della galleria artificiale.

7.2 MONITORAGGIO POST OPERAM

Complessivamente si prevede di mantenere in opera la strumentazione piezometrica installata a tergo degli scavi e di proseguire le letture delle barrette estensimetriche per il monitoraggio degli stati tensionali della galleria.

Opera	Piezometri	Barrette estensimetriche
Sviluppo GA	6	24
Imbocco Ovest (lato Acquasparta)	2	-
Imbocco Est (lato Spoleto)	4	-

Tab. 5 – Strumentazione necessaria al monitoraggio *post operam* della galleria Colle del Vento.

In caso di rottura della strumentazione installata in corrispondenza della galleria artificiale, si prevede l'installazione di eventuali 2 piezometri.

8 RIEPILOGO DELLA STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO

Di seguito si riporta la strumentazione totale necessaria al monitoraggio dell'intero complesso degli imbocchi delle gallerie artificiali.

Strumentazione	Inclinometri	Piezometri	Barrette estensimetriche rivestimento def GA
Imbocco Romanella ovest	2	2	-
Imbocco Romanella est	2	2	-
GA Romanella	6	6	-
Rivestimento definitivo Romanella	-	-	36
Imbocco Colle del Vento ovest	2	2	-
Imbocco Colle del Vento est	4	4	-
GA Colle del Vento	6	6	-
Rivestimento definitivo Colle del Vento	-	-	36
Totale	22	22	72

Tab. 5 - Riepilogo strumentazione necessaria al monitoraggio.

9 PIANO DI MONITORAGGIO VIADOTTI ANTE E POST OPERAM

- N.1 mira ottica su ogni pila e 2 sulle spalle installate sul fusto, una in prossimità del pulvino e una alla base;

9.1 STRUMENTAZIONE

Le **mire ottiche (MO)** sono disponibili in vari modelli, dal semplice target tape adesivo fino alla mira bifacciale dotata di adattatore per chiodo di convergenza filettato.

9.2 FREQUENZE DI LETTURA

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).

A seguito della lettura zero sono previste letture della strumentazione con cadenza prestabilita nelle seguenti fasi:

- Per i 12 mesi successivi al termine di realizzazione dell'intera infrastruttura.

RELAZIONE SUL MONITORAGGIO ANTE E POST OPERAM

Le frequenze di lettura in queste fasi vengono riportate nella tabella successiva in funzione della tipologia di strumentazione e del tempo trascorso dal fine lavori della singola opera.

Tab. 6 - Frequenza delle letture su ponti e viadotti.

Tipologia di strumentazione	Ante operam (3 mesi)	Post operam (12 mesi)
Mire ottiche	-	1/60gg

9.3 SINTESI MONITORAGGIO

Complessivamente si prevede l'installazione della seguente strumentazione per il monitoraggio dei viadotti:

Tab. 7 - Strumentazione prevista per il monitoraggio dei viadotti

Opera	Mire Ottiche (MO)
Viadotto Marroggia	22
Viadotto Molino Vecchio	18
Totale	40

9.4 VALUTAZIONE DEL NUMERO DI LETTURE PER I VIADOTTI

Il numero delle letture stimate per la strumentazione installata sui viadotti è riportato nella seguente tabella:

Tab. 8 - Numero delle letture

Opera	N° strumenti	Letture in corso d'opera	Letture post operam
Mire ottiche	40		12