

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA      Tratta MILANO – VERONA**  
**Lotto funzionale Brescia-Verona**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16)**

**Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85**

**Relazione sul monitoraggio**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio <b>Cepav due</b> Consorzio Cepav due Il Direttore del Consorzio <i>(ing. T. Taranta)</i> Data: _____	Valido per costruzione  Data: _____

COMMESSA      LOTTO      FASE      ENTE      TIPO DOC      OPERA/DISCIPLINA      PROGR      REV

I	N	O	R	1	1	E	E	2	R	O	G	A	1	6	0	0	0	0	3	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

PROGETTAZIONE						IL PROGETTISTA	
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Data	
A	Emissione	REGE	22/06/18	MERLINI	22/06/18	22/06/18	
B							
C							

CIG. 751447334A

File: ANOR11EE2ROGA1600003A\_10.doc



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

CUP: F81H91000000008

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 RO GA 160 0 003

Rev.  
A

Foglio  
2 di 18

## INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	4
1.1.	OGGETTO E SCOPO .....	4
1.2.	BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	4
2.	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	4
3.	NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO .....	6
3.1.	NORMATIVE.....	6
3.2.	SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO .....	7
3.3.	ISTRUTTORIE DI RIFERIMENTO .....	7
4.	SISTEMA DI MONITORAGGIO E CONTROLLO .....	8
4.1.	ASPETTI GENERALI.....	8
4.2.	MONITORAGGIO DELLA FALDA .....	8
4.3.	MONITORAGGIO DELLA SCARPATA AUTOSTRADALE.....	9
4.4.	MONITORAGGIO DELLE PARATIE PROVVISORIALI E DELL'EDIFICIO ALLA PK 140+180.....	9
5.	CARATTERISTICHE STRUMENTAZIONE .....	11
5.1.	MIRE OTTICHE.....	11
5.2.	CAPOSALDI TOPOGRAFICI.....	11
5.3.	INCLINOMETRI .....	12
5.4.	CELLE DI CARICO TOROIDALI.....	12
5.5.	PIEZOMETRI CON CELLA CASAGRANDE .....	13
6.	VALORI DI SOGLIA.....	14
6.1.	MONITORAGGIO DELLE PARATIE PROVVISORIALI.....	14
6.2.	MONITORAGGIO DELL'EDIFICIO CIVILE ALLA PROGRESSIVA 140+180 CA. ....	14
6.3.	MONITORAGGIO DELLA SCARPATA AUTOSTRADALE E DEGLI SCAVI.....	15
7.	SUPERAMENTO DEI VALORI DI SOGLIA.....	16
8.	RACCOLTA, TRASMISSIONE, ELABORAZIONE DEI DATI E GESTIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO	16
8.1.	ELABORAZIONE DEI DATI.....	16
8.2.	GESTIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO.....	17

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 RO GA 160 0 003

Rev.  
A

Foglio  
3 di 18

8.2.1. *Unità operativa*..... 17

8.2.2. *Unità di supporto tecnico alla Direzione Lavori*..... 17

9. CONCLUSIONI ..... 18

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1. Oggetto e scopo

Oggetto specifico del documento è la descrizione dei monitoraggi, in corrispondenza delle parti d'opera considerate sensibili, previsti nella fase di progettazione esecutiva.

Nel seguito si riporta una descrizione generale dell'opera, la descrizione dettagliata della strumentazione di monitoraggio, le quantità di strumentazione installata, le frequenze di acquisizione e le soglie dei parametri monitorati.

### 1.2. Breve descrizione del progetto

Nell'ambito della progettazione esecutiva della linea ferroviaria Alta Velocità/ Alta Capacità Milano-Verona la galleria San Giorgio in Salici è suddivisa in tre opere distinte (WBS):

- SAN GIORGIO IN SALICI OVEST, corrispondente ad una galleria artificiale monocanna, a doppio binario, con sezione policentrica (GA16);
- SAN GIORGIO IN SALICI, corrispondente ad una galleria naturale monocanna, a doppio binario (GN04);
- SAN GIORGIO IN SALICI EST, corrispondente ad una galleria artificiale monocanna, a doppio binario con sezione policentrica (GA17).

La Galleria San Giorgio in Salici è ubicata poco a sud dell'omonimo abitato, posto nel Comune di Sona, in provincia di Verona tra le località di Castelnuovo del Garda e Sommacampagna; il tracciato ferroviario interferisce nel suo primo tratto (nel verso delle progressive crescenti) con l'Autostrada A4 Milano – Venezia, per poi svilupparsi leggermente a Nord della stessa.

Il presente documento riguarda in particolare il tratto in artificiale sul lato ovest, corrispondente alla WBS GA16, che si sviluppa tra le progressive 140+182 e 140+494 a sud dell'autostrada A4 e risulta di lunghezza complessiva pari a 312 m. Planimetricamente la galleria è posta in rettilineo, la pendenza longitudinale è pressoché nulla e la quota di chiave della calotta è posta ad una profondità massima di 5.5 m da p.c.

La sezione della galleria è costituita da una sagoma policentrica il cui profilo interno coincide con la sagoma interna della galleria naturale. La tipologia strutturale in esame presenta notevoli vantaggi statici per la favorevole geometria della struttura che consente di ridurre sensibilmente le sollecitazioni flessionali. Tale tipologia pertanto risulta idonea per forti coperture.

Dal punto di vista geologico la galleria attraversa tratte costituite prevalentemente da depositi glaciali e/o fluvio-glaciali, materiali aventi litologia prevalente di limi-sabbiosi e ghiaie-limose, le cui caratteristiche meccaniche sono riportate nella Relazione Geotecnica.

## 2. ELABORATI DI RIFERIMENTO

Nel seguito si riporta l'elenco elaborati della WBS GA16, di cui la presente relazione generale costituisce parte integrante.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INORLotto  
11Codifica Documento  
E E2 RO GA 160 0 003Rev.  
AFoglio  
5 di 18

CODICE DOCUMENTO										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	F	6	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Profilo geologico e geotecnico
INOR	11	E	E2	R	O	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Relazione di confronto PD/PE
INOR	11	E	E2	R	O	GA	16	0	0	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Relazione Generale
INOR	11	E	E2	R	O	GA	16	0	0	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Relazione sul monitoraggio
INOR	11	E	E2	C	L	GA	16	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Relazione di calcolo opere provvisionali
INOR	11	E	E2	C	L	GA	16	0	1	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Relazione di calcolo opere provvisionali - allegati numerici
INOR	11	E	E2	C	L	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Relazione di calcolo
INOR	11	E	E2	C	L	GA	16	0	0	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Relazione di calcolo - Allegati numerici
INOR	11	E	E2	P	8	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sistemazione definitiva - Planimetria Generale
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sezione tipo corrente - carpenteria e particolari costruttivi
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	16	0	0	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sezione tipo con nicchie - carpenteria e particolari costruttivi
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	16	0	9	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sistema di impermeabilizzazione - Sezione tipo e particolari costruttivi
INOR	11	E	E2	P	8	GA	16	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Scavi - Planimetria generale
INOR	11	E	E2	F	Z	GA	16	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Scavi - Profilo longitudinale, sezione tipo e particolari
INOR	11	E	E2	W	9	GA	16	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 1/3)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	16	0	1	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 2/3)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	16	0	1	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 3/3)
INOR	11	E	E2	F	Z	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sistemazione definitiva - Profilo longitudinale e sezione tipo
INOR	11	E	E2	W	9	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sistemazione definitiva - Sezioni trasversali (TAV. 1/3)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	16	0	0	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sistemazione definitiva - Sezioni trasversali (TAV. 2/3)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	16	0	0	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sistemazione definitiva - Sezioni trasversali (TAV. 3/3)
INOR	11	E	E2	P	9	GA	16	0	5	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Pianta Piano ferro, sezione longitudinale e vista dall'alto (TAV. 1/3)
INOR	11	E	E2	P	9	GA	16	0	5	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Pianta Piano ferro, sezione longitudinale e vista dall'alto (TAV. 2/3)
INOR	11	E	E2	P	9	GA	16	0	5	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Pianta Piano ferro, sezione longitudinale e vista dall'alto (TAV. 3/3)
INOR	11	E	E2	P	9	GA	16	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Opere provvisionali - Paratia pk 140+462.85 - Pianta

CODICE DOCUMENTO										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	P	9	GA	16	0	1	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Opere provvisionali - Paratia pk 140+462.85 - Prospetto e sezioni
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	16	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Opere provvisionali - Paratia pk 140+462.85 - Sezioni tipo e particolari
INOR	11	E	E2	B	A	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Conci 1A e 1B con nicchie - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	A	GA	16	0	0	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Conci 2-4-5-6-7-8-9-12 - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	A	GA	16	0	0	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Conci 3-11 - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	A	GA	16	0	0	004	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Concio 10 con nicchie - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	A	GA	16	0	0	005	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Concio 13 - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	16	0	0	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sezione tipo corrente - Armatura
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	16	0	0	004	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sezione tipo con nicchie - Armatura
INOR	11	E	E2	P	Z	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Monitoraggio - Planimetria e sezioni
INOR	11	E	E2	4	T	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Tabella materiali
INOR	11	E	E2	P	9	GA	16	0	1	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Opere provvisionali - Paratia per salvaguardia edificio pk 140+180 - Pianta
INOR	11	E	E2	P	9	GA	16	0	1	004	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Opere provvisionali - Paratia per salvaguardia edificio pk 140+180 - Prospetto e sezioni
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	16	0	1	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Opere provvisionali - Paratia per salvaguardia edificio pk 140+180 - Sezioni tipo e particolari
INOR	11	E	E2	B	B	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Timpano concio 1 - Armatura e particolari

### 3. NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO

#### 3.1. Normative

Il quadro normativo alla base della presente revisione progettuale viene nel seguito riportato:

- Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 (NTC 2008) : "Norme tecniche per le costruzioni"
- Legge 05.11.1971 n. 1086 : "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Raccomandazioni A.I.C.A.P. del Maggio 1993 : "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce".
- Regolamento U.E. nr. 1299/2014 della commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea. Pubblicato su Gazzetta Ufficiale anno 156° n°10 del 5 febbraio 2015.

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 28 ottobre 2005. Sicurezza nelle Gallerie Ferroviarie.

### 3.2. Specifiche tecniche di riferimento

La presente revisione progettuale, fa riferimento al nuovo Manuale di Progettazione RFI.

- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 4 – Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 3 – Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 6 – Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 2 – Ponti e strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Specifica funzionale per il sistema di protezione e controllo accessi delle Gallerie Ferroviarie (RFI DPO PA LG A). Emissione 5/5/2008;

### 3.3. Istruttorie di riferimento

Il Progetto Definitivo del 19 settembre 2017, che costituisce il dato di base della presente fase progettuale, risulta soggetto ai seguenti rapporti di verifica Italferr:

IN0500D11ISGA1600115B – Rapporto di Verifica della Progettazione.

## 4. SISTEMA DI MONITORAGGIO E CONTROLLO

### 4.1. Aspetti generali

La galleria artificiale GA16 è in continuità con la galleria naturale GN04 e sarà realizzata mediante un'unica sezione scatolare policentrica.

I terreni di fondazione sono caratterizzati da buone caratteristiche meccaniche, e le principali problematiche sono connesse con la realizzazione degli scavi provvisori per l'esecuzione dello scatolare policentrico, che raggiungono un'altezza massima di circa 18.5 m.

Il livello di falda è prossimo al p.c., pertanto al fine di abbassarlo al di sotto del piano di scavo, si prevede l'inserimento di pozzi di drenaggio del diametro di 800 mm e lunghezza di 28 m, posti ai lati della trincea di scavo. Per i dettagli si rimanda alla relazione geotecnica e alle tavole di progetto.

Gli scavi della galleria artificiale si sviluppano nelle vicinanze dell'autostrada A4, con una distanza minima di circa 20 m in corrispondenza della progressiva 140+462 ca., ovvero della paratia di pali contigua alle opere di imbocco della galleria naturale. In queste condizioni, con la notevole profondità di scavo e in presenza di acqua, si richiede una certa cautela progettuale al fine di garantire in tutte le fasi lavorative la massima sicurezza.

A tal fine è previsto un apposito sistema di monitoraggio finalizzato alla verifica sperimentale in corso d'opera, delle ipotesi progettuali.

Nel seguito viene descritto il sistema di monitoraggio delle strutture di perimetrazione e delle zone retrostanti, individuandone le caratteristiche, la cadenza delle misure contestualmente alle fasi esecutive e i relativi valori di soglia.

### 4.2. Monitoraggio della falda

Al fine di monitorare l'evoluzione delle condizioni idrauliche al contorno delle opere da realizzare, si prevede l'installazione di 3+3 piezometri con cella Casagrande (3 sul lato sinistro e 3 sul lato destro degli scavi). I piezometri si collocano su entrambi i lati degli scavi, in prossimità del ciglio, circa in corrispondenza delle seguenti progressive: 140+220, 140+340, 140+460. L'esatta ubicazione della strumentazione si riporta sull'apposito elaborato grafico.

Durante gli scavi, dovranno essere eseguite delle misure della portata di emungimento e contestualmente dovranno essere effettuati controlli del livello piezometrico all'esterno dello scavo.

La lunghezza dei piezometri risulta variabile in modo da installare la cella Casagrande a circa 2 m al di sotto della quota di fondo scavo.

Denominazione piezometro	Progressiva	Profondità cella Casagrande da p.c. [m]
1A	140+220 ca.	17.5
1B	140+220 ca.	13.5
2A	140+340 ca.	17.5
2B	140+340 ca.	17.5
3A	140+460 ca.	20.5
3B	140+460 ca.	17.5

**Tabella 4.1 – Profondità di installazione delle celle Casagrande.**

La frequenza delle letture è correlata al cronoprogramma dei lavori ed in particolare alle fasi di scavo. Indicativamente si può prospettare quanto segue:

- durante le fasi di realizzazione delle opere provvisorie e di scavo le letture piezometriche dovranno essere effettuate con cadenza settimanale;
- a regime la frequenza delle letture può essere rarefatta a cadenza mensile fino al completamento delle strutture scatolari interne ed al ritombamento degli scavi.

Il programma delle letture dovrà comunque essere tarato in cantiere sulla base dell'effettivo sviluppo delle fasi esecutive e sulla base dei riscontri desumibili dai primi rilievi strumentali.

### 4.3. Monitoraggio della scarpata autostradale

La trincea di scavo si estende fino ad una distanza minima di 20 m dal ciglio autostradale della A4. Al fine di monitorare gli eventuali movimenti della trincea autostradale si posizionano caposaldi topografici a terra, in sommità alla scarpata autostradale e parallelamente all'asse autostradale, con interasse di 20 m. Il tratto monitorato con caposaldi si estende quindi per una lunghezza di 140 m, per un totale di 8 caposaldi installati. L'esatta ubicazione della strumentazione si riporta sull'apposito elaborato grafico.

Le misure si eseguiranno con la seguente frequenza:

- Letture giornaliere durante gli scavi.
- Letture settimanali a regime fino al completamento delle strutture scatolari interne ed al ritombamento degli scavi.

Verrà inoltre installato un inclinometro della lunghezza di 30 m in corrispondenza del ciglio degli scavi lato autostrada alla progressiva 140+440 ca., con lo scopo di monitorare eventuali spostamenti interni del versante.

Le misure si eseguiranno con la seguente frequenza:

- Letture giornaliere durante gli scavi.
- Letture settimanali a regime fino al completamento delle strutture scatolari interne ed al ritombamento degli scavi.

### 4.4. Monitoraggio delle paratie provvisorie e dell'edificio alla pk 140+180

Le paratie provvisorie previste alle progressive 140+180 e 140+462 ca. saranno monitorate con la seguente strumentazione:

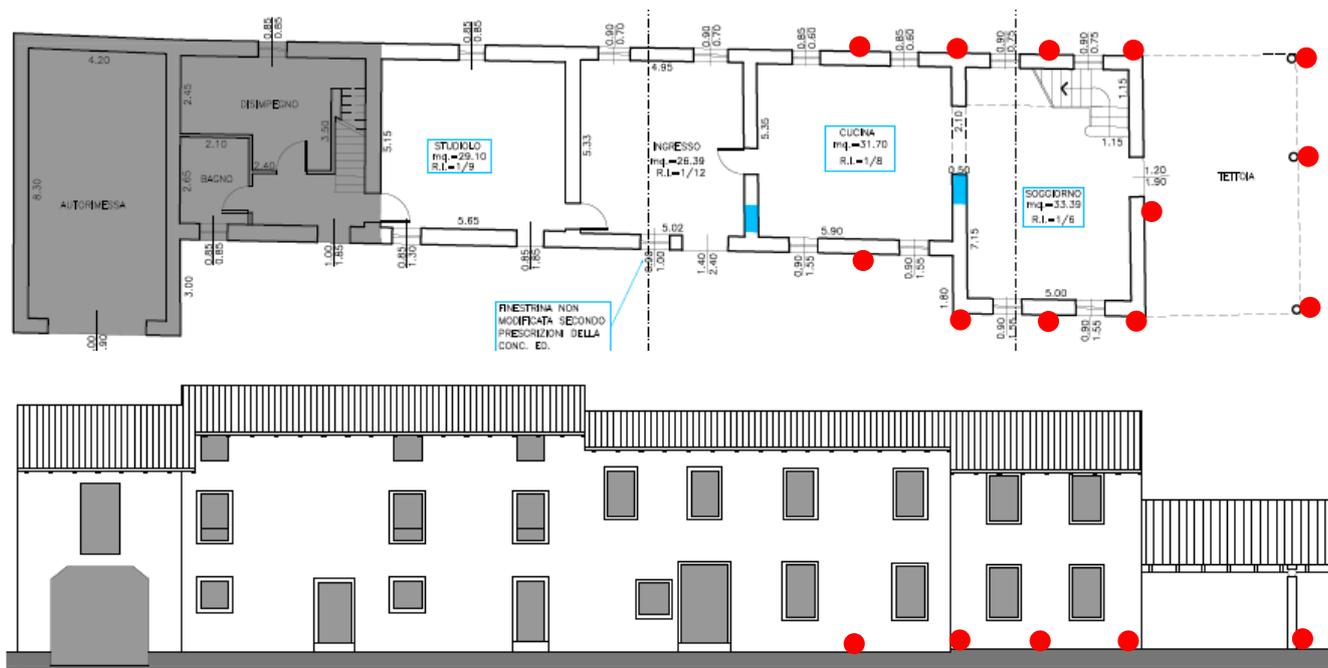
- mire ottiche sulla trave di collegamento dei pali
- mire ottiche sulla trave di ripartizione dei tiranti
- celle di carico toroidali
- caposaldi topografici nel terreno a tergo delle paratie

In particolare per la coppia di paratie alla progressiva 140+462 ca. sono previste 3+3 mire ottiche sulla trave di collegamento e 2+2 sulla trave di ripartizione dei tiranti, e 1+1 celle di carico toroidali in corrispondenza del tirante più esterno e prossimo alla galleria artificiale, dove l'altezza di scavo risulta maggiore. Sono inoltre previsti 2+2 caposaldi topografici posizionati nel terreno a tergo delle paratie.

Per il monitoraggio della paratia alla progressiva 140+180 ca. è invece prevista l'installazione di 5 mire ottiche sulla trave di collegamento dei pali.

La geometria di installazione della strumentazione è riportata negli elaborati specifici.

È inoltre prevista l'installazione di 12 mire ottiche sull'edificio esistente e da preservare e di 3 caposaldi topografici nel terreno a tergo della paratia. Sull'edificio esistente saranno installate le mire ottiche perimetralmente al tratto interferente con gli scavi con una spaziatura di 2.5-3 m e sulle colonne in legno della tettoia adiacente, come illustrato in Figura 4.1.



**Figura 4.1 – Edificio da preservare alla progressiva 140+180 ca. in rosso la posizione delle mire ottiche.**

Le misure di tutta la strumentazione si eseguiranno con la seguente frequenza:

- Letture giornaliere durante gli scavi.
- Letture settimanali a regime fino al completamento delle strutture scatolari interne ed al ritombamento degli scavi.

## 5. CARATTERISTICHE STRUMENTAZIONE

### 5.1. Mire ottiche

Le mire ottiche per il monitoraggio dovranno essere dei target riflettenti con croce di mira delle dimensioni minime di 50x50 mm. I target potranno essere montati su un supporto plastico ancorato alla struttura mediante un tassello o barra metallica filettata inghisata, oppure potranno essere di tipo adesivo ed applicati direttamente sulla struttura da monitorare.

Le misure dovranno essere eseguite con stazioni totali automatiche con precisione delle letture angolari a norma ISO 17123-3 di 1.5 cc e precisione di misura delle distanze a norma ISO 17123-4 di 1 mm + 1 ppm, e provviste di regolare certificato di calibrazione.



**Figura 5.1 – Esempio di target topografico riflettente su supporto in plastica.**

Le mire ottiche dovranno essere installate prima dell'esecuzione dei relativi scavi da monitorare e dovrà essere eseguita una lettura di zero subito dopo l'installazione. Sui fabbricati da monitorare l'installazione delle mire dovrà essere effettuata prima dell'inizio dei lavori e in concomitanza con l'esecuzione dello stato di consistenza del fabbricato stesso, mentre sulle opere di contenimento le mire dovranno essere installate una volta ultimata la parte di struttura sulla quale devono essere posizionate, prima dell'ulteriore approfondimento degli scavi. Le misure effettuate dovranno partire dai punti fissi della rete topografica utilizzata per il tracciamento delle opere da realizzare, e la posizione misurata dovrà essere nel medesimo sistema di riferimento.

### 5.2. Caposaldi topografici

I caposaldi topografici per il monitoraggio dovranno essere costituiti da una vite in acciaio inox, con testa sferica del diametro di 10 mm e della lunghezza di 400 mm, o prolungata tramite una barra metallica filettata, inserita all'interno di un foro del diametro di 100 mm e profondità di 400 mm riempito con boiaccia cementizia. Sulla testa della vite dovrà essere presente un'apposita scalfittura per le operazioni di misurazione. In Figura 5.1 è riportato uno schema dei caposaldi topografici.

Le misure dovranno essere eseguite con strumentazione avente le caratteristiche del punto precedente ed utilizzando una palina topografica dotata di miniprisma, o posizionando dei cavalletti topografici sui punti di lettura.



### 5.5. Piezometri con cella Casagrande

I piezometri Casagrande dovranno essere provvisti di due tubi accoppiati e collegati alla cella porosa. La cella dovrà essere isolata tramite la realizzazione di un tappo bentonitico nel tratto di tubazione al di sopra di essa. La tubazione dovrà inoltre essere cementata sull'intera lunghezza. Le letture dovranno essere eseguite attraverso una sonda removibile con trasduttore di pressione. La sonda dovrà poter misurare pressioni massime di almeno 200 kPa ed avere una sensibilità pari allo 0.05% del fondo scala. I piezometri dovranno inoltre essere dotati di un'apposita protezione con coperchio in testa. I piezometri dovranno essere realizzati prima dell'inizio dei lavori di scavo.

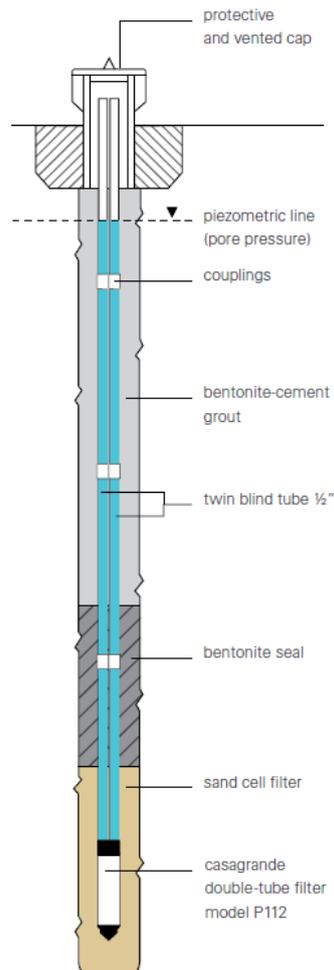


Figura 5.3 – Schema di un piezometro Casagrande.

## 6. VALORI DI SOGLIA

Di seguito si riportano i valori di soglia relativi alla strumentazione installata.

### 6.1. Monitoraggio delle paratie provvisionali

In Tabella 6.1 si riportano i valori di soglia relativi agli spostamenti delle mire ottiche installate sulla paratia di pali alla progressiva 140+462 ca.

Mire ottiche	Soglia di attenzione	Soglia di allarme
Sul cordolo di collegamento pali	10.0 mm	15.0 mm
Sulla trave di ripartizione	5.0 mm	10.0 mm

**Tabella 6.1 – Valori di soglia relativi agli spostamenti delle mire ottiche sulla paratia alla progressiva 140+462.**

In Tabella 6.2 si riportano i valori di soglia relativi alla forza nei tiranti, misurata dalle celle di carico, della paratia di pali alla progressiva 140+462 ca.

Celle di carico	Soglia di attenzione	Soglia di allarme
	550 kN	680 kN

**Tabella 6.2 - Valori di soglia relativi alla forza nei tiranti della paratia alla progressiva 140+462.**

In Tabella 6.4 si riportano i valori di soglia relativi agli spostamenti delle mire ottiche installate sulla paratia di pali alla progressiva 140+180 ca.

Mire ottiche	Soglia di attenzione	Soglia di allarme
Sul cordolo di collegamento pali H=14m	10.0 mm	15.0 mm
Sul cordolo di collegamento pali H=8m	5.0 mm	10.0 mm

**Tabella 6.3 – Valori di soglia relativi agli spostamenti delle mire ottiche sulla paratia alla progressiva 140+180.**

In Tabella 6.5 si riportano i valori di soglia relativi agli spostamenti dei caposaldi topografici installati a tergo della paratia di pali alla progressiva 140+180 ca. Gli spostamenti sono da intendersi sia in planimetria sia in quota.

Caposaldi topografici	Soglia di attenzione	Soglia di allarme
	5.0 mm	10.0 mm

**Tabella 6.4 – Valori di soglia relativi agli spostamenti dei caposaldi topografici a tergo della paratia alla progressiva 140+180.**

### 6.2. Monitoraggio dell'edificio civile alla progressiva 140+180 ca.

L'edificio in oggetto è un ex fabbricato rurale la cui costruzione è risalente agli inizi del '900 ed ha subito una ristrutturazione tra il 1997 e il 2003. La struttura del fabbricato è a muri portanti con pareti esterne ed interne in ciottoli e cotto con legante a base di calce. La geometria dell'edificio è costituita da pareti esterne longitudinali e pareti interne trasversali di controvento. Le murature portanti affondano nel terreno senza però alcuna struttura di fondazione. I solai intermedi sono in legno rinforzati con un massetto armato di ripartizione e la copertura dell'intero edificio è a due falde con travi portanti e secondarie in legno.

In Figura 6.1 sono riportati i cedimenti del terreno a seguito dello scavo in condizioni di Stato Limite di Esercizio, stimati secondo la teoria di Boone & Westland (2006). In testa alla paratia si raggiungono cedimenti dell'ordine di 8.5 mm, mentre in corrispondenza dell'edificio i cedimenti sono contenuti in un massimo di 1.5 mm. I valori massimi di rotazione relativa e di inflessione che si raggiungono nella struttura sono pari a 0.00015 e a 0.00004, dunque compatibili con una struttura in muratura.

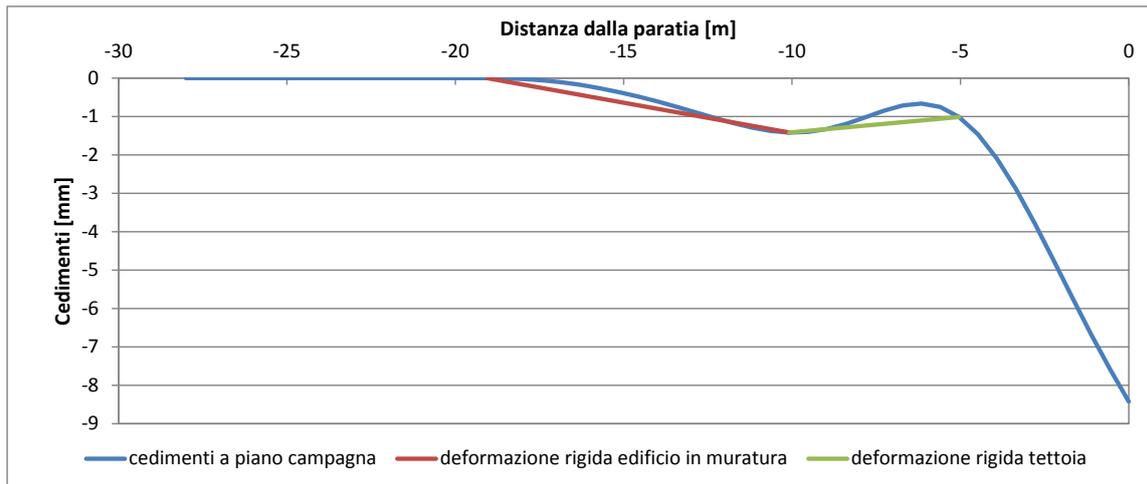


Figura 6.1 – Cedimenti del terreno allo SLE stimati secondo la teoria di Boone & Westland.

In si riportano i valori di soglia relativi agli spostamenti delle mire ottiche installate sull'edificio, in particolare vengono forniti i valori di soglia per i massimi spostamenti verticali e per il rapporto di inflessione e la distorsione angolare (rotazione relativa) valutati come in Figura 6.2.

Mire ottiche	Soglia di attenzione	Soglia di allarme
Spostamento verticale	1.5 mm	2.5 mm
Rapporto di inflessione	0.0004	0.008
Distorsione angolare	0.0005	0.001

Tabella 6.5 - Valori di soglia relativi agli spostamenti delle mire ottiche sull'edificio alla progressiva 140+180 ca.

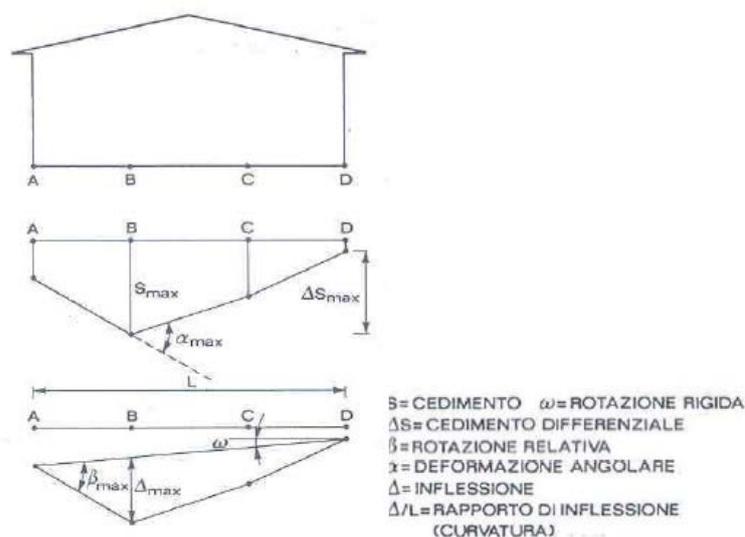


Figura 6.2 – Schema rappresentazione dei cedimenti di un edificio.

### 6.3. Monitoraggio della scarpata autostradale e degli scavi

La scarpata autostradale non deve essere interessata dagli scavi a cielo aperto. In Tabella 6.7 si riportano i valori di soglia relativi agli spostamenti dei caposaldi topografici installati lungo la scarpata.

Capisaldi topografici	Soglia di attenzione	Soglia di allarme
	2.0 mm	5.0 mm

**Tabella 6.6 - Valori di soglia relativi agli spostamenti dei caposaldi topografici lungo la scarpata autostradale.**

Per quanto riguarda la stabilità degli scavi a cielo aperto, l'inclinometro alla progressiva 140+440 ca. non deve evidenziare la presenza di superfici di scorrimento all'interno del fronte di scavo. In Tabella 6.8 si riportano i valori di soglia relativi agli spostamenti puntuali misurati dall'inclinometro posizionato sul ciglio della scarpata.

Inclinometro	Soglia di attenzione	Soglia di allarme
	2.0 mm	5.0 mm

**Tabella 6.7 - Valori di soglia relativi agli spostamenti puntuali misurati dall'inclinometro posizionato sul ciglio della scarpata.**

I valori di soglia precedenti si riferiscono a spostamenti orizzontali con una direzione compatibile con la geometria degli scavi da monitorare.

## 7. SUPERAMENTO DEI VALORI DI SOGLIA

In caso di superamento delle soglie di attenzione da parte di uno o più strumenti di monitoraggio, la frequenza delle letture andrà incrementata per poter rilevarne l'evoluzione nel tempo e confermare il dato misurato. Potrà inoltre venire installata della strumentazione aggiuntiva per una miglior definizione del fenomeno.

In caso l'evoluzione dei valori misurati tenda ai valori definiti dalle soglie di allarme, le operazioni di scavo dovranno essere interrotte e si dovrà continuare il monitoraggio finché non verranno definiti gli interventi addizionali da eseguire.

Qualora vengano invece raggiunti i valori di soglia di allarme da parte di uno o più strumenti di monitoraggio, le misure dovranno essere ripetute e bisognerà confermarne l'attendibilità. In seguito alla conferma dei valori misurati gli scavi dovranno essere immediatamente interrotti e si dovrà procedere al ritombamento degli stessi ed alla successiva progettazione di un intervento integrativo per il ripristino degli standard di sicurezza.

## 8. RACCOLTA, TRASMISSIONE, ELABORAZIONE DEI DATI E GESTIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

### 8.1. Elaborazione dei dati

I dati ottenuti dalle misurazioni di monitoraggio devono essere gestiti mediante dei software adeguati per consentire una corretta elaborazione e restituzione dei risultati.

I software impiegati dovranno fornire, sia in formato numerico che sotto forma di grafici cartesiani, le grandezze necessarie per l'immediata interpretazione ingegneristica delle misure eseguite.

## 8.2. Gestione del sistema di monitoraggio

Per ottenere una corretta gestione del sistema di monitoraggio si prevede una struttura organizzativa delle attività costituita dalle seguenti unità:

- unità operativa,
- unità di supporto tecnico alla Direzione Lavori.

### 8.2.1. Unità operativa

L'unità operativa avrà il compito di:

- eseguire le misure in campo;
- effettuare l'elaborazione e restituzione dei dati;
- convalidare le misure e i dati acquisiti da punto di vista strumentale;
- trasmettere i dati alla Direzione Lavori ed agli utenti remoti;
- occuparsi della manutenzione ordinaria e straordinaria.

L'elaborazione dei dati e delle misure raccolti dovrà consistere nella generazione di rapporti in formato numerico e grafico in grado di consentire una immediata interpretazione ingegneristica dei dati. I dati forniti dovranno essere convalidati dal punto di vista strumentale da parte dell'unità operativa.

La struttura fornirà inoltre informazioni, grafici o tabelle a differenti livelli di dettaglio inerenti il sistema di monitoraggio a utenti remoti, secondo modalità operative che verranno definite e concordate con i progettisti dell'opera.

### 8.2.2. Unità di supporto tecnico alla Direzione Lavori

L'unità di supporto tecnico avrà il compito di fornire l'interpretazione ingegneristica dei dati forniti dall'unità operativa e di verificarne la corrispondenza con le ipotesi progettuali.

## 9. CONCLUSIONI

Il sistema di monitoraggio previsto per la realizzazione della galleria artificiale San Giorgio in Salici ovest è strutturato per controllare il comportamento delle opere di sostegno e degli scavi a cielo aperto e della loro possibile interferenza con le strutture esistenti.

Il piano delle misure è costituito da:

- Misure di deformazione nei terreni prossimi alle paratie o agli scavi a cielo aperto con capisaldi topografici;
- Misure di deformazione orizzontale dei pali alla quota del tirante con mire ottiche;
- Misure di deformazione dei pali alla quota di sommità con mire ottiche sul cordolo;
- Controllo del tiro nei tiranti sulle paratie con celle di carico;
- Misure della falda con piezometri con cella Casagrande;
- Misura degli spostamenti sugli edifici interferenti con mire ottiche;

Il monitoraggio viene attuato in corso d'opera, in concomitanza con gli scavi e la realizzazione delle opere e fino a ritombamento finale. I valori attesi di spostamento derivano dai calcoli di dimensionamento. Le azioni correttive, in caso di superamento dei valori di soglia, consistono nella definizione di più accelerate frequenze di lettura, nella variazione della sequenza di scavo, nell'incremento dei consolidamenti e dei supporti sulle paratie, e nell'abbassamento dei livelli di falda.