

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 NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04)
Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24
Relazione di monitoraggio

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio Cepav due 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 N 0 4 0 0	0 0 3	A

PROGETTAZIONE							IL PROGETTISTA	
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Data	Ing. Davide MERLINI	
A	Emissione	REGE	15/11/18	MERLINI	15/11/18	15/11/18		
B								
C								

CIG. 751447334A Milano NOR11EE2ROGN0400003A.docx



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

Stampato dal Service di plottaggio ITALFERR S.p.A.

CUP: F81H91000000008

ALBA s.r.l.

INDICE

1.	INTRODUZIONE	5
2.	ELABORATI DI RIFERIMENTO	6
3.	NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO	8
3.1.	NORMATIVE	8
3.2.	SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO	8
4.	DESCRIZIONE DELLE OPERE	9
4.1.	UBICAZIONE	9
4.2.	TRACCIATO DELL'OPERA	9
4.3.	GALLERIA NATURALE.....	10
4.4.	IMBOCCHI	12
4.5.	VINCOLI PROGETTUALI E CONDIZIONI AL CONTORNO PARTICOLARI.....	13
4.6.	USCITE DI EMERGENZA.....	13
4.7.	PIAZZALI DI EMERGENZA ED AREA TECNOLOGICA	15
5.	SCAVO DELLA GALLERIA NATURALE.....	17
5.1.	SEZIONI DI SCAVO	18
5.1.1.	Sezione tipo CIA.....	19
5.1.2.	Sezione tipo CIA-rid.....	20
5.1.3.	Sezione tipo CIB.....	21
5.1.4.	Sezione tipo CIB-rid.....	22
5.1.5.	Sezione tipo CIBbis	23
5.2.	IMPERMEABILIZZAZIONE E RIVESTIMENTO DEFINITIVO.....	23
5.3.	NICCHIE TECNOLOGICHE.....	24
6.	OBIETTIVI DEL PIANO DI MONITORAGGIO	25
7.	SISTEMA DI MONITORAGGIO.....	26
7.1.	PREMESSA.....	26
7.2.	DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO.....	26
7.3.	FASI DI CONTROLLO E MISURA	27

Doc. N.	Progetto IN0R	Lotto 11	Codifica Documento E E2 RO GN 040 0 003	Rev. A	Foglio 3 di 51
7.4.					27
7.4.					VALORI ATTESI DELLE MISURE E AZIONI CORRETTIVE..... 27
8.					MONITORAGGIO DEL FRONTE DI SCAVO (IN CORSO D'OPERA)..... 28
8.1.					RILIEVO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO DEL FRONTE DI SCAVO..... 28
8.1.1.					<i>Rilievi di tipo speditivo</i> 28
8.1.2.					<i>Rilievi di dettaglio</i> 28
8.1.3.					<i>Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti</i> 28
8.1.4.					<i>Documentazione</i> 28
8.2.					MISURE D'ESTRUSIONE DEL FRONTE CON ESTENSIMETRO INCREMENTALE (EVENTUALI)..... 29
8.2.1.					<i>Frequenza delle misure</i> 29
9.					MONITORAGGIO INTERNO ALLA GALLERIA 30
9.1.					MISURE DI CONVERGENZA CON SISTEMA OTTICO..... 30
9.1.1.					<i>Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti</i> 30
9.1.2.					<i>Sistema di acquisizione e di restituzione dei dati</i> 31
9.1.3.					<i>Documentazione</i> 31
9.2.					MONITORAGGIO DELLE TENSIONI DEI RIVESTIMENTI 31
9.2.1.					<i>Misure del comportamento tensionale e deformativo con estensimetri a corda vibrante</i> 31
9.2.2.					<i>Misure della sollecitazione in parete con martinetti piatti</i> 32
10.					MONITORAGGIO ESTERNO ALLA GALLERIA..... 33
10.1.					MISURE ESTENSO-INCLINOMETRICHE E PIEZOMETRICHE DALLA SUPERFICIE 33
10.1.1.					<i>Frequenza delle misure</i> 34
10.1.2.					<i>Documentazione</i> 34
10.2.					MONITORAGGIO TOPOGRAFICO DELLA SUPERFICIE..... 34
10.2.1.					<i>Volume perso nelle sezioni monitorate</i> 35
10.2.1.1.					<i>Rilievo cedimenti - procedura</i> 35
10.2.1.2.					<i>Definizione curva dei cedimenti - procedura</i> 36
10.2.1.3.					<i>Calcolo dell'area A, compresa tra i due profili - procedura</i> 37
10.2.1.4.					<i>Calcolo del valore del volume perso</i> 37
10.2.1.5.					<i>Valutazione del volume perso lungo il tracciato</i> 37
10.2.1.6.					<i>Rilievo dei cedimenti in asse galleria</i> 38
10.2.1.7.					<i>Calcolo del valore del coefficiente di proporzionalità</i> 38
10.2.1.8.					<i>Calcolo del volume perso corrispondente alla progressiva del punto in asse considerato</i> 38

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.	Progetto INOR	Lotto 11	Codifica Documento E E2 RO GN 040 0 003	Rev. A	Foglio 4 di 51
10.2.1.9.	<i>Aggiornamento del valore del parametro di proporzionalità.....</i>				38
10.3.	MONITORAGGIO TOPOGRAFICO DELL' AUTOSTRADA A4				39
10.4.	MONITORAGGIO DELL'EDIFICIO INTERFERENTE				39
10.4.1.	<i>Rapporto d'inflessione (Δ/L) e distorsione angolare β tra due pilastri.....</i>				40
10.4.1.1.	<i>Rilievo cedimenti S - procedura.....</i>				42
10.4.1.2.	<i>Definizione della deformata dell'edificio e calcolo dei valori d'inflessione Δ.....</i>				42
10.4.1.3.	<i>Calcolo dei valori di rapporto di inflessione Δ/L.....</i>				43
10.4.1.4.	<i>Calcolo della distorsione angolare β.....</i>				44
10.5.	MONITORAGGIO TOPOGRAFICO DEL CANALE SCOLMATORE				44
11.	MONITORAGGIO DELLE PARATIE AGLI IMBOCCHI E DELLA USCITA DI SICUREZZA.....				46
11.1.	MISURE TOPOGRAFICHE.....				47
11.2.	CELLE DI CARICO TIRANTI.....				48
11.3.	ESTENSIMETRI A CORDA VIBRANTE PUNTONI.....				48
11.4.	MISURE INCLINOMETRICHE.....				48
11.5.	MISURE PIEZOMETRICHE.....				49
11.6.	FREQUENZA DELLE MISURE				49
12.	CONCLUSIONI				50

1. INTRODUZIONE

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 a sezione policentrica (GA17).

Il presente documento riguarda la galleria naturale San Giorgio in Salici, corrispondente alla WBS GN04. In questo tratto la linea ferroviaria, a doppio binario, è caratterizzata da una velocità di progetto di 300 km/h e da un interesse dei binari di 4.50 m.

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.

La sezione libera interna risulta di circa 89 m²; la sezione di scavo, ad esclusione dei fuori scavo, risulta variabile tra 142,00 m² e 167.50 m², in funzione dei rivestimenti di prima fase e definitivi.

La sezione interna di galleria prevede un raggio in calotta di 6,0 m; in calotta si prevede un piano teorico di contatto pari a 5.30 m.

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

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.

Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RO GN 040 0 003Rev.
AFoglio
6 di 51

2. ELABORATI DI RIFERIMENTO

Nel seguito si riporta l'elenco elaborati della WBS GN04, di cui la presente relazione generale costituisce parte integrante.

CODICE										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	P	5	GN	04	0	0	001	GALLERIA SAN GIORGIO IN SALICI (GA16 - GI08 - GN04 - GI09 - GA17) - Da Pk 140+181.85 a Pk 143+575.33 - Planimetria indagini geognostiche
INOR	11	E	E2	Z	5	GN	04	0	0	002	GALLERIA SAN GIORGIO IN SALICI (GA16 - GI08 - GN04 - GI09 - GA17) - Da Pk 140+181.85 a Pk 143+575.33 - Modello idrogeologico - Sezione longitudinale
INOR	11	E	E2	R	B	GN	04	0	0	001	GALLERIA SAN GIORGIO IN SALICI (GA16 - GI08 - GN04 - GI09 - GA17) - Da Pk 140+181.85 a Pk 143+575.33 - Relazione geotecnica
INOR	11	E	E2	R	I	GN	04	0	0	001	GALLERIA SAN GIORGIO IN SALICI (GA16 - GI08 - GN04 - GI09 - GA17) - Da Pk 140+181.85 a Pk 143+575.33 - Condizioni idrogeologiche e sistema di abbassamento della falda
INOR	11	E	E2	R	I	GN	04	0	0	002	GALLERIA SAN GIORGIO IN SALICI (GA16 - GI08 - GN04 - GI09 - GA17) - Da Pk 140+181.85 a Pk 143+575.33 - Relazione idraulica per lo smaltimento delle acque meteoriche
INOR	11	E	E2	P	6	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Planimetria di inquadramento con ubicazione nicchie e uscite di sicurezza
INOR	11	E	E2	F	6	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Profilo longitudinale
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali tav. 1/2
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	0	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali tav. 2/2
INOR	11	E	E2	W	Z	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo galleria corrente e tipologici nicchie
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	0	4	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Impermeabilizzazione e opere di drenaggio - Particolari costruttivi
INOR	11	E	E2	P	9	GN	04	0	0	001	GALLERIA SAN GIORGIO IN SALICI (GA16 - GI08 - GN04 - GI09 - GA17) - Da Pk 140+181.85 a Pk 143+575.33 - Planimetria opere di drenaggio acque di piattaforma
INOR	11	E	E2	4	T	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Tabella materiali
INOR	11	E	E2	R	O	GN	04	0	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Relazione generale
INOR	11	E	E2	C	L	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Relazione di calcolo dei sostegni e dei rivestimenti
INOR	11	E	E2	C	L	GN	04	0	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Relazione di calcolo dei sostegni e dei rivestimenti - allegati numerici
INOR	11	E	E2	R	O	GN	04	0	0	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Relazione di monitoraggio
INOR	11	E	E2	R	O	GN	04	0	0	004	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo
INOR	11	E	E2	S	R	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Analisi di rischio estesa
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	1	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1A - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1A - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1A - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1A - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	1	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1B - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	0	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1B - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1B - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	004	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1B - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	1	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Arid - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	0	0	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Arid - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	005	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Arid - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	006	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Arid - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	1	004	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Brid - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	0	0	004	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Brid - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	007	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Brid - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	008	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Brid - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	1	005	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Tratta di avanzamento in assenza di traffico - Sezione tipo C1Bbis - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	0	0	005	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Bbis - Carpenteria centina e dettagli costruttivi

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RO GN 040 0 003Rev.
AFoglio
7 di 51

CODICE										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	009	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Bbis - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	010	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Bbis - Armatura
INOR	11	E	E2	F	6	GN	04	0	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Profilo longitudinale geotecnico di previsione e di monitoraggio
INOR	11	E	E2	P	8	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Piano di monitoraggio
INOR	11	E	E2	W	B	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni tipo di monitoraggio in galleria
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	A	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Monitoraggio esterno - Sezioni e particolari tav. 1/2
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	A	0	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Monitoraggio esterno - Sezioni e particolari tav. 2/2
INOR	11	E	E2	P	8	GN	04	A	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Monitoraggio in corrispondenza del sottoattraversamento autostrada A4
INOR	11	E	E2	L	5	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Plano-profilo infrastruttura esistente su foto aerea con dati di tracciamento
INOR	11	E	E2	P	5	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Planimetria di progetto su foto aerea con dati di tracciamento
INOR	11	E	E2	L	7	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Planimetria e profilo di progetto su cartografia
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali ampliamento provvisorio - Tav.1
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	A	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali ampliamento provvisorio - Tav.2
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	A	0	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali ampliamento provvisorio - Tav.3
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	A	0	004	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali ampliamento provvisorio - Tav.4
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	A	0	005	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali ampliamento provvisorio - Tav.5
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	A	0	006	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali ampliamento provvisorio - Tav.6
INOR	11	E	E2	P	7	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Fasi esecutive realizzazione sottoattraversamento A4 - Tav.1
INOR	11	E	E2	P	7	GN	04	A	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Fasi esecutive realizzazione sottoattraversamento A4 - Tav.2
INOR	11	E	E2	W	A	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni tipologiche ampliamento provvisorio
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Dettagli costruttivi ampliamento provvisorio
INOR	11	E	E2	P	6	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Planimetria barriere e segnaletica
INOR	11	E	E2	R	O	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Relazione descrittiva opere stradali
INOR	11	E	E2	L	8	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Intervento di consolidamento in jet - grouting - planimetria e profilo longitudinale
INOR	11	E	E2	W	Z	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Intervento di consolidamento in jet - grouting - sezioni trasversali
INOR	11	E	E2	B	X	GN	04	0	8	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - COLLEGAMENTI EQUIPOTENZIALI MASSE METALLICHE
INOR	11	E	E2	P	6	CM	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Planimetria di inquadramento con ubicazione nicchie e uscite di sicurezza
INOR	11	E	E2	W	Z	CM	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo galleria corrente e tipologici nicchie
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie NLF + HP + FG - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie NLF + HP + FG - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie NLF + HP + FG - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie NLF + HP + FG - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	004	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie TT - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie TT - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	005	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie TT - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	006	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie TT - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	007	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie ST - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	02	0	0	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie ST - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	008	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie ST - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	009	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie ST - Armatura

3. NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO

3.1. Normative

- 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

- 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;

4. DESCRIZIONE DELLE OPERE

4.1. Ubicazione

La galleria San Giorgio in Salici interessa la nuova linea A.C. nel lotto Verona – Brescia, tra le progressive 140+181.85 e 143+575.24, per uno sviluppo complessivo pari a 3393.39 m.

La parte centrale dell'opera, compresa tra le progressive 140+502.85 e 141+930.24, per uno sviluppo complessivo di 1427.39 m, verrà realizzato a foro cieco, con scavo convenzionale, e con sezione tipo mono-canna a doppio binario.

Il tratto di galleria naturale sarà realizzato al di sotto di un'area caratterizzata da quote comprese tra 125 e 137 m s.l.m. che daranno luogo a coperture limitate ad un minimo di 7 m, nel primo tratto, al di sotto dell'Autostrada A4, fino ad un massimo di circa 20 m poco prima dell'imbocco lato Verona.

Il tracciato si sviluppa in un tratto curvilineo su tutta la galleria, con una pendenza longitudinale molto bassa, pari del 0,023 % verso l'imbocco lato Milano.



Figura 4.1: Galleria naturale San Giorgio in Salici – Vista del tracciato della Autostrada A4, nel tratto interferito dalla futura Galleria Naturale (sullo sfondo il cavalcavia via Segradi).

4.2. Tracciato dell'opera

Il progetto della galleria S. Giorgio in Salici prevede la realizzazione di una canna in naturale della lunghezza di 1427.39 metri e presenta un tratto più breve (321 m) in artificiale prima dell'imbocco lato Milano della galleria naturale mentre, a partire dall'imbocco della galleria naturale lato Verona si ha una galleria artificiale di maggiore lunghezza (1645 m) sottopassando una zona pianeggiante di notevole estensione con un modesto ricoprimento.

Rispetto al Progetto Preliminare (2006), l'imbocco della galleria naturale lato Milano è stato spostato dalla progressiva 140+463 del progetto a due canne fino all'attuale progressiva 140+502.85 nel progetto definitivo monocanna.

L'imbocco lato Verona è stato arretrato fino alla progressiva 141+930.24 in corrispondenza del primo risalto morfologico dove aumentano le coperture. La tratta tra le progressive 141+930.24 e 143+575.24 m è prevista in artificiale ed è costituita da un'area pianeggiante a destinazione agricola e residenziale a bassa densità. Alcuni fabbricati sono presenti a breve distanza dall'imbocco della galleria naturale, il cui tracciato non interessa direttamente i fabbricati.

I vincoli che condizionano la livelletta della galleria sono a partire da ovest verso est;

- lo scavalco di un'area pianeggiante ove è prevista la realizzazione di un viadotto per motivi di carattere idraulico;
- il sottopasso dell'autostrada Milano-Venezia ove è necessario mantenere una copertura adeguata;
- il mantenimento in sotterraneo (in galleria naturale od artificiale) nell'attraversamento della zona pianeggiante a destinazione agricola-residenziale presente dal lato est.

Il tracciato della galleria naturale, con riferimento al piano del ferro è situato a quota 108.20 m s.l.m. in corrispondenza dell'imbocco lato Milano e a quota 108.60 m s.l.m. in corrispondenza dell'imbocco lato Verona e presenta una lieve pendenza verso Ovest. Nella Figura 4.2, è riportata la planimetria della galleria naturale.

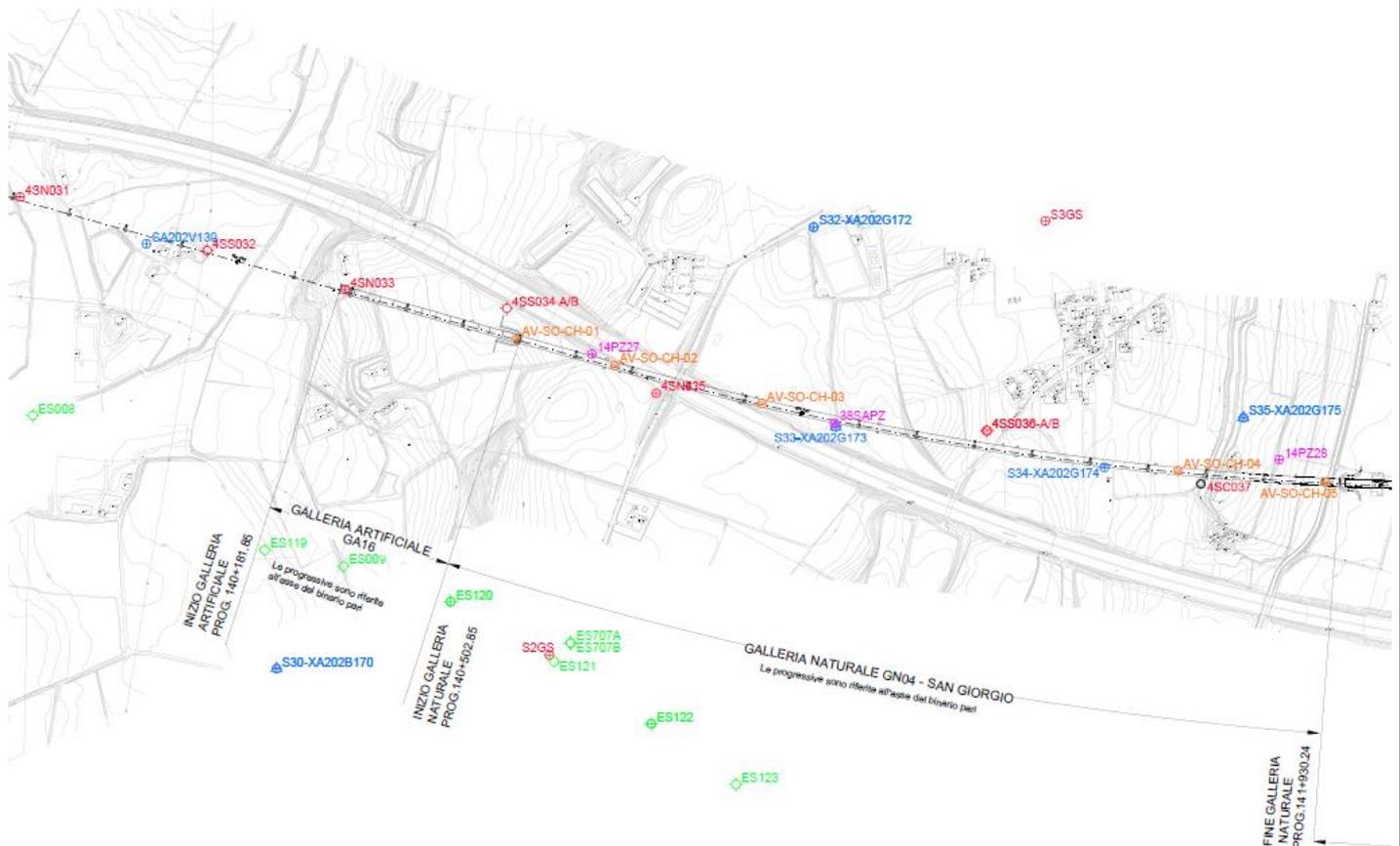


Figura 4.2: Galleria S.Giorgio in Salici, planimetria di progetto della galleria naturale con l'ubicazione delle indagini geotecniche.

4.3. Galleria Naturale

La galleria naturale è caratterizzata da coperture variabili tra 5 e 20 m. La sezione tipologica delle galleria a doppio binario contempla gli standard geometrici previsti dal nuovo Manuale di Progettazione RFI 2016 con particolare riferimento ai seguenti aspetti (Figura 4.3):



Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RO GN 040 0 003Rev.
AFoglio
11 di 51

- marciapiedi laterali costituenti i camminamenti di emergenza delle vie di esodo caratterizzati da un'altezza di +0,55 m rispetto al piano, su entrambi i lati;
- presenza di una canaletta sotto-ballast ad approfondimento variabile, al di sotto del piano ferro, allo scopo di fornire un sistema di drenaggio avente una opportuna capacità di smaltimento, tenendo conto della limitatissima pendenza longitudinale;
- estensione del sistema di impermeabilizzazione anche all'arco rovescio, avendosi pertanto una galleria interamente impermeabilizzata, al fine di consentire nel lungo termine il ripristino dei livelli piezometrici preesistenti alla costruzione dell'opera.

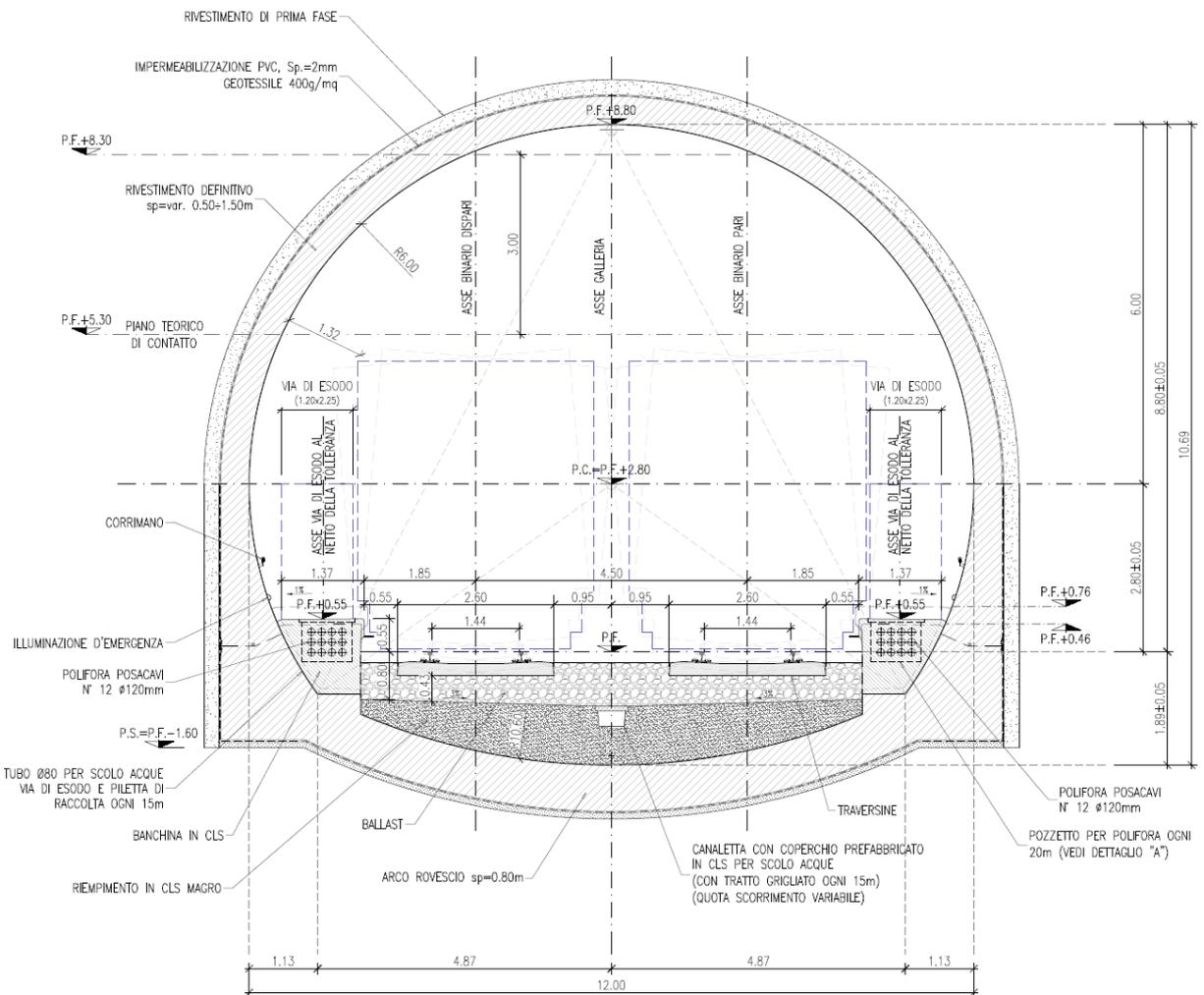


Figura 4.3: Galleria S.Giorgio in Salici, sezione trasversale tipologica

Dal punto di vista della sicurezza in galleria, la lunghezza del sistema complessivo delle gallerie artificiali e della galleria naturale, che risulta superiore ai 1000 m, ha comportato la necessità di prevedere alcune dotazioni, ed in particolare una uscita di emergenza nel tratto in galleria naturale e due nel tratto in galleria artificiale lato Verona.



4.4. Imbocchi

I due imbocchi della galleria naturale verranno realizzati utilizzando come sostegno provvisorio, paratie in terreno consolidato ottenute tramite Jet – Grouting.

Vista la morfologia del sito in esame, le dimensioni della futura sezione di scavo e la conseguente profondità dei ribassi, al fine di contenere i volumi di sbancamento e nel contempo operare un contenimento adeguato del versante, si è adottata per gli imbocchi lato Milano e lato Verona la tecnologia del jet-grouting, che risulta la più idonea in relazione alle caratteristiche geotecniche dei terreni. Tale tecnica consiste nell'effettuare iniezioni ad altissima pressione di miscele cementizie, allo scopo di ottenere setti di terreno consolidato; l'esecuzione di più perforazioni disposte in maniera opportuna consente di ottenere volumi consolidati delle forme e dimensioni volute.

Questo modo di procedere arreca inoltre il minimo disturbo al terreno a tergo della paratia, che conserva così inalterate le sue caratteristiche geomeccaniche di picco nel terreno sottostante il terreno migliorato. Inoltre è possibile operare una geometria planimetrica ad arco, migliorando la stabilità della paratia la quale assume un funzionamento a guscio.

Le perforazioni eseguite per il jet-grouting sono disposte su tre file a quinconcia con passo longitudinale 50 cm e 40 cm in direzione trasversale ed inclinazione variabile da 5° (fila di monte), a 15° nella fila di valle e 10° (fila centrale) rispetto alla verticale.

Le file esterne sono inoltre armate con un tubo metallico del diametro Φ 88.9 mm e spessore 10 mm. Le colonne in jet-grouting vengono poi unite in testa con un cordolo in cls armato, che le rende solidali, irrigidendo così la paratia in senso longitudinale.

L'intervento è completato con il getto di uno strato di spritz-beton dello spessore di 10 cm armato con rete elettrosaldata del diametro Φ 6 mm e maglia 20 x 20 cm, da effettuarsi a seguito di ciascun ribasso, e l'esecuzione dei barbacani sub-orizzontali, disposti su 2 file e di lunghezza pari a 5.0-8.0 m. Per quanto riguarda la geometria della paratia ed i dettagli costruttivi si rimanda agli elaborati grafici relativi.

L'imbocco lato Milano verrà realizzato tramite una paratia avente sviluppo planimetrico ad "U" per circa 98 m, con le colonne in jet – grouting che verranno realizzate con inclinazione convergente verso l'interno della trincea di imbocco.

La paratia in jet – grouting dell'imbocco sarà connessa ad una paratia di pali in calcestruzzo del diametro di 0.8 m con un ordine di tiranti, previste per il contenimento dello scavo della galleria artificiale (si vedano a questo proposito gli elaborati della GA16).

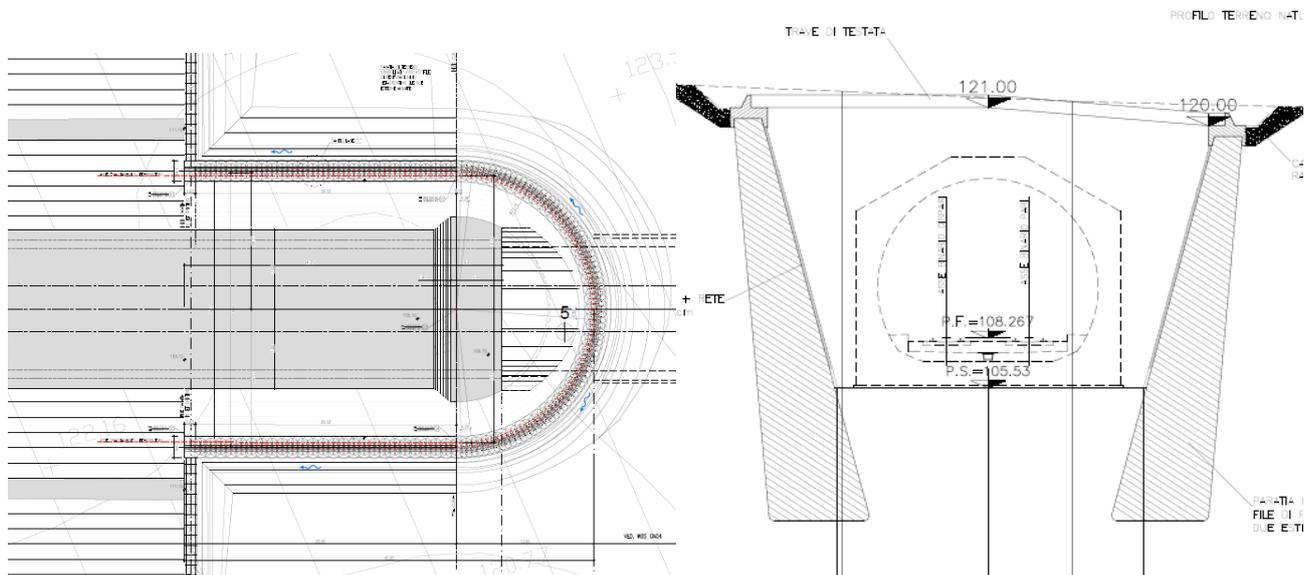


Figura 4.4: Galleria San Giorgio in Salici, imbocco lato, paratia in jet grouting.

L'imbocco lato Verona verrà realizzato tramite una paratia avente sviluppo planimetrico ad "U" per circa 104 m, con le colonne in jet – grouting che verranno realizzate con inclinazione convergente verso l'interno della trincea di imbocco.

4.5. Vincoli progettuali e condizioni al contorno particolari.

Si segnalano alcuni aspetti specifici considerati durante la fase di progettazione dell'opera, in particolari legati alla morfologia e alle pre-esistenze potenzialmente interferite dallo scavo della galleria.

- La presenza della falda con livelli massimi superiori alla calotta e battente fino a circa 5 m al di sopra dell'estradosso della chiave di calotta; nell'ultimo tratto della galleria lato Verona, i livelli di falda scendono a quote interferenti con lo scavo, leggermente al di sotto della calotta.
- La presenza del tratto di sotto attraversamento all'autostrada A4 tra le progressive 140+687.00 e 140+887.00 circa, con tracciato sub-parallelo per una lunghezza complessiva di oltre 200 m; tale tratto risulta molto critico a causa dei ricoprimenti minimi, compresi fra 7 e 8 m, che hanno portato alla scelta, più avanti illustrata in dettaglio, di un consolidamento al contorno del cavo mediante colonne in jet - grouting.
- La presenza di un canale idraulico esistente alla progressiva 141+900 circa, molto prossimo all'imbocco Est della galleria naturale, in una zona a basso ricoprimento. Allo scopo di garantire la continuità di esercizio idraulico del canale si prevede un rivestimento provvisorio con una membrana in PVC e geotessile, in grado di garantirne l'impermeabilizzazione in fase di scavo in presenza di eventuali fessurazioni del canale in c.a. ed un eventuale rifacimento/ripristino a fine lavori del tratto di canale stesso.

4.6. Uscite di Emergenza

La lunghezza complessiva della galleria San Giorgio, pari a 3393.39 m, comporta la realizzazione di n°3 uscite di emergenza/sicurezza intermedie, ad interdistanza non superiore ai 1000 m, e parimenti distanti dagli imbocchi, in accordo con le normative di riferimento per la tipologia di galleria monocanna a doppio binario, e coerentemente con quanto previsto dall'Analisi di Rischio.

Le uscite di emergenza previste vengono di seguito riepilogate:

Nel caso dell'uscita A, ubicata nel tratto di galleria naturale, si prevede lo scavo dei due cunicoli orizzontali a foro cieco, a partire dalla galleria principale, e la realizzazione dei due torrini di uscita verticali tramite pozzi sostenuti da paratie provvisorie costituite da pali in c.a. con sistemi di centine/puntoni in carpenteria metallica.

La presenza della falda ha reso necessario l'inserimento nel progetto di un tappo di fondo provvisorio in jet-grouting per entrambi i pozzi.

Le due uscite A e B, collocate nella WBS GA17, avranno le stesse caratteristiche geometriche, ad eccezione del cunicolo orizzontale che avrà sezione scatolare, realizzata "cut and cover", anziché policentrica; i pozzi verticali, di altezza inferiore, potranno essere realizzati a scavo libero.

4.7. Piazzali di emergenza ed Area Tecnologica

E' prevista la realizzazione di due aree, in prossimità degli imbocchi del sistema di gallerie San Giorgio, avente la duplice funzione di:

- raccogliere le funzioni tecnologiche a supporto della galleria;
- distribuire le dotazioni di sicurezza della galleria, costituite dai punti di raccolta, punti anti-incendio e passaggi a raso.

Il piazzale di emergenza lato Ovest è ubicato alla progressiva in asse pk. 139+911, ad una distanza di circa 250 m rispetto all'effettivo imbocco della galleria artificiale GA16.

Il piazzale, di superficie rettangolare, avrà dimensioni pari a 83 x 35 m, per circa 2900 m² di area asfaltata, e sarà organizzato con le seguenti dotazioni:

- fabbricato tecnologico in muratura di lunghezza 35 m e larghezza 8 – 12 m;
- cabina MT di dimensioni esterne 11.5 x 5.5 m;
- vasca antincendio interrata, con rampa scale di uscita di dimensioni esterne 12.5 x 5.5 m;
- piazzale di emergenza di dimensioni planimetriche 26 x 22 m, per 575 m² di area complessiva, suddivisa in 5 sotto-aree di diversa funzionalità.

Lo spazio adibito a piazzale di emergenza, risulterà connesso all'imbocco della galleria, tramite due marciapiedi laterali di larghezza 120 cm con le stesse caratteristiche tecniche delle vie di esodo interne alla galleria.

A partire dal punto di raccolta del piazzale di emergenza, sarà realizzato un doppio marciapiede di lunghezza 400 m e larghezza 200 cm ciascuno, con sviluppo verso Est, a servizio della sosta dei convogli e dello sbarco dei passeggeri in casi di evento incidentale, così come previsto dal Manuale di Progettazione RFI 2016. Alle estremità dei marciapiedi sono previsti due attraversamenti pedonali a raso larghi 2.40 m dotati di opportune rampe di raccordo che permetteranno l'evacuazione in sicurezza verso l'area di gestione delle emergenze.

L'accesso dall'esterno all'area tecnologica e piazzale di emergenza, verrà garantita da un nuovo tratto di viabilità che verrà connesso alla rete stradale esistente.

Il piazzale di emergenza lato Est è ubicato alla progressiva in asse pk. 143+590, in adiacenza all'imbocco della galleria artificiale GA17.

Il piazzale, di superficie rettangolare, avrà dimensioni pari a 83 x 25 - 28 m, per circa 2225 m² di area asfaltata, e sarà organizzato con le seguenti dotazioni:

- fabbricato tecnologico in muratura di lunghezza 35 m e larghezza 8 – 12 m;

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RO GN 040 0 003

Rev.
A

Foglio
16 di 51

- cabina MT di dimensioni esterne 11.5 x 5.5 m;
- vasca antincendio interrata, con rampa scale di uscita di dimensioni esterne 12.5 x 5.5 m;
- piazzale di emergenza di dimensioni planimetriche 26 x 22 m, per 575 m² di area complessiva, suddivisa in 5 sotto-aree di diversa funzionalità.

Lo spazio adibito a piazzale di emergenza, risulterà connesso all'imbocco della galleria, per circa 33 m, tramite due marciapiedi laterali di larghezza 120 cm con le stesse caratteristiche tecniche delle vie di esodo interne alla galleria.

A partire dal punto di raccolta del piazzale di emergenza, sarà realizzato un doppio marciapiede di lunghezza 400 m e larghezza 200 cm ciascuno, con sviluppo verso Ovest, a servizio della sosta dei convogli e dello sbarco dei passeggeri in casi di evento incidentale, così come previsto dal Manuale di Progettazione RFI 2016. Alle estremità dei marciapiedi sono previsti due attraversamenti pedonali a raso larghi 2,40m dotati di opportune rampe di raccordo che permetteranno l'evacuazione in sicurezza verso l'area di gestione delle emergenze.

L'accesso dall'esterno all'area tecnologica e piazzale di emergenza, verrà garantita da un nuovo tratto di viabilità che verrà connesso alla rete stradale esistente.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RO GN 040 0 003

Rev.
A

Foglio
17 di 51

5. SCAVO DELLA GALLERIA NATURALE

La galleria naturale San Giorgio in Salici è compresa tra le progressive 140+502.85 e 141+930.24, per uno sviluppo complessivo di 1427.39 m e con copertura variabile fra i 5 m nelle zone di imbocco, a 20 m nella parte centrale.

Data la lunghezza della galleria, le condizioni geotecniche e le interferenze in superficie sono state proposte diverse sezioni tipo di scavo e avanzamento che sono di seguito descritte, rimandando alla relazione di calcolo della galleria per il calcolo e le verifiche.

Per tutte le sezioni tipo di scavo e avanzamento è previsto lo scavo a sezione piena. L'avanzamento viene preceduto da opere di presostegno e preconsolidamento sia del fronte (nucleo di avanzamento) sia del contorno del cavo.

Dal punto di vista idrogeologico, la falda risulta essere più alta a tratti rispetto al livello della galleria. L'impermeabilizzazione è perciò presente lungo tutto lo sviluppo della galleria e sarà del tipo ad "anello" (o full – round).

La sezione libera interna risulta di circa 103.81 m²; la sezione di scavo, ad esclusione dei fuori scavo, risulta variabile tra 142.20 m² e 167.44 m², in funzione dei rivestimenti di prima fase e definitivi.

La sezione interna di galleria prevede un raggio in calotta di 6.00 m per la sezione in scavo, in calotta per le sezioni tronco - coniche si prevede una variabilità di spessore fra 0.5 m e 1.5 m.

Lo scavo in tradizionale verrà condotto mediante escavatore meccanico e poiché i terreni presentano caratteristiche geomeccaniche scadenti si procederà alla realizzazione di consolidamenti in avanzamento, mediante sistema di infilaggi metallici in terreni prevalentemente coesivi e jettinazione in terreni granulari.

Effettuato lo scavo e lo smarino, si procederà alla posa in opera dei rivestimenti di prima fase, mediante calcestruzzo proiettato, e centine metalliche ed al controllo geometrico del profilo di scavo, al fine di assicurare il gabarit previsto. A distanza dal fronte di scavo, funzione del comportamento deformativo del cavo, si procederà al getto dei rivestimenti definitivi di muretta e arco rovescio, al fine di contrastare adeguatamente il piede del rivestimento di prima fase, e, previa posa dell'impermeabilizzazione, al getto dei rivestimenti definitivi di calotta; considerata la natura dei terreni l'arco rovescio sarà gettato a ridosso del fronte di scavo (1-2 diametri) mentre i rivestimenti di calotta saranno eseguiti ad una distanza dal fronte definita in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo.

Lungo tutto il tracciato della galleria, caratterizzato dalla presenza di depositi fluvio glaciali e/o accumuli morenici, si prevede un comportamento del fronte di tipo "instabile".

Quali azioni di "pre-consolidamento" del fronte in avanzamento si è previsto l'impiego di barre in VTR cementate in modo da fornire al fronte elementi di stabilità atti ad impedire fenomeni di rilascio. Al contorno del cavo sono previsti a seconda delle sezioni tipo micropali cementati (ombrello di infilaggi) e, per alcune sezioni tipo, colonne in jet-grouting.

Per tutte le sezioni adottate, lo scavo a piena sezione consente inoltre – in funzione del comportamento deformativo del cavo - di chiudere il rivestimento del cavo con il getto di murette e arco rovescio a distanza ravvicinata dal fronte, e di procedere successivamente in tempi brevi al completamento del rivestimento definitivo con il getto del rivestimento di calotta, limitando considerevolmente i fenomeni deformativi. Drenaggi realizzati in avanzamento sono sistematicamente previsti, in modo da abbattere le pressioni interstiziali nel nucleo di scavo.

Sono stati valutati i possibili effetti indotti durante le fasi di scavo sull'autostrada A4 Milano-Venezia, sotto attraversata in corrispondenza delle pk 140+687.07 a pk 140+887.00, su un edificio presente alla pk 141+725 e su un canale scolmatore in prossimità dell'imbocco est lato Verona.

La soluzione progettuale adottata per il sotto attraversamento è descritta in dettaglio più avanti in un apposito paragrafo.

5.1. Sezioni di scavo

In accordo al profilo longitudinale geotecnico progettuale di previsione e di monitoraggio e a quanto riportato nella specifica relazione di calcolo, si prevede per lo scavo della galleria naturale l'applicazione di cinque sezioni tipo: C1A, C1A-rid, C1B, C1B-rid e C1Bbis.

Tutte le sezioni tipo prevedono lo scavo a piena sezione e sono state messe a punto per garantire elevate condizioni di sicurezza. Infatti, al fine di garantire condizioni di sicurezza durante gli avanzamenti occorre:

- Garantire la stabilità del fronte di scavo attraverso il controllo dei fenomeni deformativi interessanti il nucleo, sottoposto ai carichi gravitativi ed alla redistribuzione tensionale connessa all'apertura del cavo (estrusioni e preconvergenze). Per tutti i terreni interessati dallo scavo della galleria San Giorgio in Salici appartenenti ai depositi glaciali e fluvioglaciali dell'Allogruppo di San Giorgio (Anfiteatro Morenico del Garda), si è stimato, prevalentemente, un comportamento del fronte di tipo "instabile", con deformazioni significative che evolvono in campo elastoplastico e formazione di fasce plastiche già presso il fronte; sono quindi previsti interventi di consolidamento del fronte mediante tubi in vetroresina, con intensità funzione del carico litostatico e dei parametri di resistenza e deformabilità dei materiali (misurabili in corso d'opera dall'entità dei valori di preconvergenza ed estrusione), nonché interventi di presostegno mediante infilaggi metallici e interventi di precontenimento realizzati in avanzamento mediante colonne sub-orizzontali di jet - grouting. Inoltre, poiché la galleria è interamente sotto falda, al fine di abbattere le eventuali pressioni neutre nel nucleo saranno posti in opera, con le geometrie indicate negli elaborati grafici, dei drenaggi in avanzamento.
- Garantire la stabilità del profilo di scavo, specie in calotta, in corrispondenza del fronte; tenendo conto della natura dei terreni è previsto, nella maggior parte delle sezioni tipo correnti, al contorno del cavo un intervento di "presostegno" mediante la messa in opera di una coronella di tubi in acciaio.
- Garantire un adeguato contenimento del cavo, allo scopo di controllare i fenomeni di convergenza ed evitare i conseguenti detensionamenti e rilasci dell'ammasso al contorno del cavo; tale azione sarà effettuata dal priverivestimento, costituito da centine metalliche inglobate in uno strato di calcestruzzo, di rigidità funzione delle caratteristiche geotecniche dell'ammasso, ovvero delle spinte in gioco.
- Garantire il raggiungimento di "condizioni di stabilità definitive" del cavo nel più breve tempo possibile. Tale azione sarà condotta attraverso la tempestiva messa in opera dei priverivestimenti, a seguito di ogni singolo sfondo, e mediante il getto dell'arco rovescio a ridosso del fronte di scavo, così da contrastare efficacemente il piede del priverivestimento, incrementandone la capacità portante. Il getto della calotta dovrà essere effettuato ad una distanza dal fronte funzione del comportamento deformativo del cavo, talora a ridosso del fronte stesso.

Nella seguente tabella si riportano i criteri di applicazione delle diverse sezioni tipo mentre nel seguito si riporta una descrizione dettagliata delle sezioni tipo di avanzamento previste per lo scavo della galleria San Giorgio in Salici e una descrizione delle fasi esecutive. Per una rappresentazione dettagliata delle sezioni tipo si rimanda agli elaborati grafici.

Tabella 5.1 – Criteri di applicazione delle sezioni tipo.

Sezione tipo	Criteri di applicazione delle sezioni tipo
C1A (campo di avanzamento da 9 m) C1A-rid (campo di avanzamento da 6 m)	Attraversamento dei depositi glaciali e fluvioglaciali dell'Allogruppo di San Giorgio (Anfiteatro Morenico del Garda) con terreni prevalentemente a grana fine (limo argillosi, limo sabbiosi, limi debolmente sabbiosi con ghiaia), con conseguente necessità del preconsolidamento del fronte di scavo – nucleo d'avanzamento e di un presostegno in calotta, a causa delle ridotte coperture della galleria (comportamento del fronte di tipo "instabile", con deformazioni elevate in campo plastico).
C1B (campo di avanzamento da 9 m) C1B-rid (campo di avanzamento da 6 m)	Attraversamento dei depositi glaciali e fluvioglaciali dell'Allogruppo di San Giorgio (Anfiteatro Morenico del Garda) nelle tratte della galleria caratterizzate da terreni con una maggiore percentuale di terreni a grana grossa e comportamento incoerente del terreno (ghiaie limose e sabbie limose con ghiaia), con conseguente necessità del preconsolidamento del fronte di scavo – nucleo d'avanzamento, di un presostegno in calotta, a causa delle ridotte coperture della galleria, e di un preconsolidamento al contorno del cavo con una coronella di colonne in jet - grouting (comportamento del fronte di tipo "instabile", con deformazioni elevate in campo plastico).
C1Bbis	E' prevista in corrispondenza della tratta del sotto attraversamento dell'autostrada A4, nella quale viene realizzato un consolidamento in jet – grouting dal piano campagna che interessa tutto il profilo di scavo della galleria incluso l'arco rovescio. L'intervento di consolidamento in jet – grouting dalla superficie viene eseguito mediante un apposito piano di deviazione della piattaforma autostradale, concordato con la Concessionaria dell'A4, con la duplice finalità di: (1) realizzare lo stesso consolidamento in corrispondenza della piattaforma autostradale; (2) evitare la presenza del traffico in superficie nella zona dove si stanno eseguendo gli scavi (presenza del fronte di scavo della galleria). In questo caso la sezione tipo è cilindrica con il solo preconsolidamento del fronte di scavo – nucleo di avanzamento.

5.1.1. Sezione tipo CIA

La sezione tipo in fase costruttiva è costituita da:

- n° 2 + 2 drenaggi eseguiti sul fronte di scavo della lunghezza L = 24.00 m ogni 12 m di avanzamento;
- intervento di consolidamento al fronte tramite n° 50 tubi (da intendersi come valore medio compreso fra un valore minimo di 40 e un valore massimo di 60, in accordo ai criteri riportati nella relazione linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo) in vetroresina, $\phi = 60$ mm, cementati aventi lunghezza L = 18.00 m e sovrapposizione 9.00 m;
- intervento di presostegno tramite 55 tubi in acciaio $\phi 88.9$ mm, sp. = 10 mm, passo 0.35 m, cementati, lunghezza L = 14.00 m e sovrapposizione di 5.00 m;

- centine costituite da 2 IPN180 passo 1.00 m;
- calcestruzzo proiettato al contorno dello spessore di 25 cm;
- arco rovescio dello spessore 0.8 m;
- rivestimento definitivo di calotta in c.a. avente spessore variabile da 0.5 a 1.50 m.

Le fasi esecutive principali sono:

- esecuzione dei drenaggi in avanzamento;
- esecuzione del preconsolidamento del fronte di scavo mediante tubi in VTR;
- posa in opera dei tubi metallici per il presostegno al contorno;
- esecuzione dello scavo a piena sezione, per sfondi di massimo 1.0 m, sagomando il fronte a forma concava;
- posa in opera di centine e calcestruzzo proiettato;
- posa dell'impermeabilizzazione in corrispondenza delle murette e dell'arco rovescio;
- getto di murette ed arco rovescio in c.a., ad una distanza dal fronte ≤ 27 m;
- posa dell'impermeabilizzazione di completamento in calotta;
- getto del rivestimento definitivo di calotta, ad una distanza massima dal fronte di scavo ≤ 36 m, da verificare in funzione del comportamento deformativo del cavo.

5.1.2. Sezione tipo CIA-rid

La sezione tipo in fase costruttiva è costituita da:

- n° 2 + 2 drenaggi eseguiti sul fronte di scavo della lunghezza $L = 24.00$ m ogni 12 m di avanzamento;
- intervento di consolidamento al fronte tramite n° 60 tubi in vetroresina, $\phi = 60$ mm, cementati aventi lunghezza $L = 18.00$ m e sovrapposizione 12.00 m;
- intervento di presostegno tramite 55 tubi in acciaio $\phi 88.9$ mm, sp. = 10 mm, passo 0.35 m, cementati, lunghezza $L = 14.00$ m e sovrapposizione di 8.00 m;
- centine costituite da 2 IPN180 passo 1.00 m;
- calcestruzzo proiettato al contorno dello spessore di 25 cm;
- arco rovescio dello spessore 0.8 m;
- rivestimento definitivo di calotta in c.a. avente spessore variabile da 0.5 a 1.50 m.

Le fasi esecutive principali sono:

- esecuzione dei drenaggi in avanzamento;
- esecuzione del preconsolidamento del fronte di scavo mediante tubi in VTR;
- posa in opera dei tubi metallici per il presostegno al contorno;
- esecuzione dello scavo a piena sezione, per sfondi di massimo 1.0 m, sagomando il fronte a forma concava;

- posa in opera di centine e calcestruzzo proiettato;
- posa dell'impermeabilizzazione in corrispondenza delle murette e dell'arco rovescio;
- getto di murette ed arco rovescio in c.a., ad una distanza dal fronte ≤ 27 m;
- posa dell'impermeabilizzazione di completamento in calotta;
- getto del rivestimento definitivo di calotta, ad una distanza massima dal fronte di scavo ≤ 36 m, da verificare in funzione del comportamento deformativo del cavo.

5.1.3. Sezione tipo C1B

La sezione tipo in fase costruttiva è costituita da:

- esecuzione di n° 2 + 2 drenaggi eseguiti sul fronte di scavo della lunghezza $L = 24.00$ m ogni 12 m di avanzamento;
- intervento di consolidamento al fronte tramite n° 50 tubi (da intendersi come valore medio compreso fra un valore minimo di 40 e un valore massimo di 60, in accordo ai criteri riportati nella relazione linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo) in vetroresina, $\phi = 60$ mm, cementati aventi lunghezza $L = 18.00$ m e sovrapposizione 9.00 m;
- intervento di presostegno tramite 32 tubi in acciaio $\phi 88.9$ mm, sp. = 10 mm, passo 0.35 m, cementati, lunghezza $L = 14.00$ m e sovrapposizione di 5.00 m;
- un preconsolidamento al contorno della sezione di scavo realizzato mediante 61 colonne in jet - grouting del diametro di 600 mm della lunghezza di 14 m con sovrapposizione di 5 m;
- un preconsolidamento al piede delle centine costituito da 5 + 5 colonne in jet - grouting della lunghezza massima di 15.6 m eseguite ogni campo di avanzamento di 9 m;
- centine costituite da 2 IPN180 passo 1.00 m;
- calcestruzzo proiettato al contorno dello spessore di 25 cm;
- murette ed arco rovescio dello spessore 0.8 m;
- rivestimento definitivo di calotta in c.a. avente spessore variabile da 0.5 a 1.50 m.

Le fasi esecutive principali sono:

- esecuzione dei drenaggi in avanzamento;
- esecuzione del preconsolidamento del fronte di scavo mediante tubi in VTR;
- posa in opera dei tubi metallici per il presostegno al contorno;
- esecuzione del preconsolidamento al contorno del cavo e al di sotto del piede delle centine;
- esecuzione dello scavo a piena sezione, per sfondi di massimo 1.0 m, sagomando il fronte a forma concava;
- posa in opera di centine e calcestruzzo proiettato;
- posa dell'impermeabilizzazione in corrispondenza delle murette e dell'arco rovescio;
- getto di murette ed arco rovescio in c.a., ad una distanza dal fronte ≤ 27 m;

- posa dell'impermeabilizzazione di completamento in calotta;
- getto del rivestimento definitivo di calotta, ad una distanza massima dal fronte di scavo ≤ 36 m, da verificare in funzione del comportamento deformativo del cavo.

5.1.4. Sezione tipo C1B-rid

La sezione tipo in fase costruttiva è costituita da:

- esecuzione di n° 2 + 2 drenaggi eseguiti sul fronte di scavo della lunghezza $L = 24.00$ m ogni 12 m di avanzamento;
- intervento di consolidamento al fronte tramite n° 60 tubi in vetroresina, $\phi = 60$ mm, cementati aventi lunghezza $L = 18.00$ m e sovrapposizione 12.00 m;
- intervento di presostegno tramite 32 tubi in acciaio $\phi 88.9$ mm, sp. = 10 mm, passo 0.35 m, cementati, lunghezza $L = 14.00$ m e sovrapposizione di 8.00 m;
- un preconsolidamento al contorno della sezione di scavo realizzato mediante 61 colonne in jet – grouting del diametro di 600 mm della lunghezza di 14 m con sovrapposizione di 8 m;
- un preconsolidamento al piede delle centine costituito da 5 + 5 colonne in jet – grouting della lunghezza massima di 10 m eseguite ogni campo di avanzamento di 6 m;
- centine costituite da 2 IPN180 passo 1.00 m;
- calcestruzzo proiettato al contorno dello spessore di 25 cm;
- murette ed arco rovescio dello spessore 0.8 m;
- rivestimento definitivo di calotta in c.a. avente spessore variabile da 0.5 a 1.50 m.

Le fasi esecutive principali sono:

- esecuzione dei drenaggi in avanzamento;
- esecuzione del preconsolidamento del fronte di scavo mediante tubi in VTR;
- posa in opera dei tubi metallici per il presostegno al contorno;
- esecuzione del preconsolidamento al contorno del cavo e al di sotto del piede delle centine;
- esecuzione dello scavo a piena sezione, per sfondi di massimo 1.0 m, sagomando il fronte a forma concava;
- posa in opera di centine e calcestruzzo proiettato;
- posa dell'impermeabilizzazione in corrispondenza delle murette e dell'arco rovescio;
- getto di murette ed arco rovescio in c.a., ad una distanza dal fronte ≤ 27 m;
- posa dell'impermeabilizzazione di completamento in calotta;
- getto del rivestimento definitivo di calotta, ad una distanza massima dal fronte di scavo ≤ 36 m, da verificare in funzione del comportamento deformativo del cavo.

5.1.5. Sezione tipo C1Bbis

La sezione tipo in fase costruttiva è costituita da:

- consolidamento da piano campagna mediante colonne di jet – grouting $\phi = 1200$ mm, maglia 1.20 x 1.00 m;
- intervento di consolidamento al fronte tramite n° 34 tubi, $\phi = 60$ mm, cementati aventi lunghezza $L = 18.00$ m e sovrapposizione di 6.00 m (campo di avanzamento pari a 12 m);
- centine costituite da 2 IPN180 passo 1.00 m;
- calcestruzzo proiettato al contorno dello spessore di 25 cm;
- arco rovescio dello spessore 0.8 m;
- rivestimento definitivo di calotta in c.a. avente spessore di 0.7 m.

Le fasi esecutive principali sono:

- consolidamento da piano campagna mediante colonne di jet – grouting;
- esecuzione del preconsolidamento del fronte di scavo mediante tubi in VTR;
- esecuzione dello scavo a piena sezione, per sfondi di massimo 1.0 m, sagomando il fronte a forma concava;
- posa in opera di centine e calcestruzzo proiettato;
- posa dell'impermeabilizzazione in corrispondenza delle murette e dell'arco rovescio;
- getto di murette ed arco rovescio in c.a., ad una distanza dal fronte ≤ 18 m;
- posa dell'impermeabilizzazione di completamento in calotta;
- getto del rivestimento definitivo di calotta, ad una distanza massima dal fronte di scavo ≤ 24 m, da verificare in funzione del comportamento deformativo del cavo.

5.2. Impermeabilizzazione e rivestimento definitivo

Il rivestimento di prima fase della galleria dovrà essere regolarizzato prima della posa dell'impermeabilizzazione in modo da ottenere superfici regolari prive di brusche differenze di sagoma e di parti metalliche in vista che potrebbero danneggiare l'impermeabilizzazione.

Un tessuto in microfibra (400 g/m^2) permette di regolarizzare la superficie della galleria. A questo tessuto viene applicata in un secondo momento l'impermeabilizzazione di 2 mm con un apposito telo in PVC. Le fessure in prossimità delle riprese di getto (sezione trasversale) con calcestruzzo sono impermeabilizzate per mezzo di bandelle iniettabili saldate all'impermeabilizzazione. In questo modo è possibile formare dei settori regolari che possono essere isolati in caso di falla limitando così l'estensione delle infiltrazioni.

La galleria si sviluppa interamente sotto falda per cui l'impermeabilizzazione sarà di tipo full-round, e si estenderà lungo tutto il perimetro di scavo.

La seguente tabella riepiloga, per le diverse sezioni tipo gli spessori del rivestimento definitivo e le distanze massime dei getti del rivestimento definitivo.

Tabella 5.2: Galleria San Giorgio in Salici, riepilogo spessori rivestimento definitivo e distanze massime per i getti dei rivestimenti definitivi, per le diverse sezioni tipo.

SEZIONE TIPO	RIVESTIMENTO DEFINITIVO					
	Spessore cls in chiave calotta (cm)	Spessore cls in arco rovescio (cm)	Armato	Distanza massima getto murette dal fronte di scavo (m)	Distanza massima getto arco rovescio dal fronte di scavo (m)	Distanza massima getto rivestimento definitivo dal fronte di scavo (m)
C1A	50 - 150	80	SI	27	27	36
C1B	50 - 150	80	SI	27	27	36
C1A-rid	50 - 150	80	SI	27	27	36
C1B-rid	50 - 150	80	SI	27	27	36
C1Bbis	70	80	SI	18	18	24

5.3. Nicchie tecnologiche

Data la lunghezza totale della galleria, pari a 3393.39 m, sono presenti numerose tipologie di nicchie ad uso tecnologico, distribuite ad interassi variabili lungo l'opera. In particolare, rimandando agli elaborati delle sezioni impiantistiche per i dettagli tecnologici, la distribuzione delle nicchie prevede

- N°16 nicchie NLF per ciascun lato, con interasse massimo pari a 240 m;
- N°6 nicchie BTS/TT per ciascun lato posizionate in accordo al progetto di copertura radio GSM (tecnologia Terra-Treno),;
- N°3 nicchie ST, in lato binario pari;
- N°2 nicchie LD-AN, in lato binario pari, poste in prossimità degli imbocchi.

6. OBIETTIVI DEL PIANO DI MONITORAGGIO

Il presente documento è relativo alla progettazione esecutiva della galleria naturale San Giorgio in Salici della Linea ferroviaria AV/AC Torino – Venezia, nella tratta Milano – Verona.

Per poter acquisire in corso d'opera il maggior numero possibile di informazioni qualitativamente significative ai fini progettuali e valutare l'entità e le modalità di manifestazione dei fenomeni di deformazione, si definisce nel seguito un sistema di monitoraggio in corso d'opera, parte integrante del progetto, che consenta il controllo del comportamento tenso-deformativo del terreno e delle strutture durante la costruzione della galleria.

Il monitoraggio ed i controlli hanno la funzione di:

- verificare la validità delle previsioni progettuali attraverso un confronto sistematico, durante la costruzione, tra le stesse previsioni e le prestazioni/comportamento del terreno attorno alla galleria e del rivestimento tanto di prima fase che definitivo;
- assicurare che l'opera espliciti le sue funzioni, risultando idonea all'esercizio, resistente e stabile senza riduzioni significative della sua integrità o manutenzioni non previste;
- controllare e così evitare eventuali danni sulle infrastrutture circostanti la galleria, con particolare riguardo all'esercizio sulla soprastante Autostrada e l'integrità del fabbricato interferente individuato.

Il sistema di monitoraggio è strutturato per controllare il comportamento dell'ammasso negli scavi in sotterraneo ed all'aperto e per la misura degli spostamenti sulle seguenti infrastrutture:

- autostrada A4 interferente tra le progressive pk. 140+681.07 e 140+893.02;
- edificio interferente alla pk. 141+740.0;
- traliccio telecomunicazioni alla pk. 141+530.0;
- canale scolmatore in corrispondenza dell'imbocco Est.

I dati forniti dal sistema di monitoraggio rappresentano, dunque, lo strumento principale per la verifica delle ipotesi progettuali e degli interventi di stabilizzazione messi in atto per risolvere le problematiche statiche sia del fronte che dello scavo della galleria. E' perciò molto importante per la riuscita della progettazione e della costruzione dell'opera definire un piano di monitoraggio dove venga curato ogni particolare.

7. SISTEMA DI MONITORAGGIO

7.1. Premessa

Il sistema di monitoraggio previsto per la realizzazione della galleria San Giorgio in Salici è strutturato per controllare il comportamento dell'ammasso negli scavi in sotterraneo ed all'aperto e per la misura degli spostamenti sulle pre-esistenze.

Gli aspetti che hanno condizionato la predisposizione del piano di monitoraggio sono stati:

- gli obiettivi definiti;
- la definizione delle sezioni strumentate e delle stazioni di misura;
- la precisione strumentale definita e la definizione dei tempi di lettura;
- i tempi relativi alla restituzione dei dati;
- i costi.

7.2. Definizione del sistema di monitoraggio

Il piano delle misure del sistema di monitoraggio previsto per la costruzione della galleria San Giorgio in Salici è costituito da:

- Rilievi geologico-stratigrafici del fronte di scavo in galleria.
- Misure di estrusione del fronte con estensimetro incrementale (eventuali) in galleria.
- Misure di convergenza in galleria con sistema ottico.
- Misura della tensione nelle centine in galleria con estensimetri a corda vibrante.
- Misura della tensione nelle barre d'armatura con estensimetri a corda vibrante (eventuale).
- Misura della tensione nel rivestimento definitivo con martinetti piatti (eventuale).
- Misure di deformazione verticale ed orizzontale dei terreni in profondità con estensimetri a barre ed estenso-inclinometri.
- Misura dei cedimenti del terreno indotti dallo scavo in sotterraneo, ogni ventiquattro metri in asse alla galleria e attraverso sezioni trasversali all'asse con capisaldi topografici.
- Misure della falda con piezometri a tubo aperto.
- Controlli topografici delle paratie agli imbocchi con mire ottiche.
- Controllo del tiro nei tiranti sulle paratie con celle di carico.
- Misure inclinometriche a tergo delle paratie agli imbocchi.
- Misure piezometriche a tergo delle paratie agli imbocchi con piezometri a tubo aperto.
- Controlli topografici delle paratie all'uscita di sicurezza con mire ottiche.
- Controllo della tensione nei puntoni delle paratie all'uscita di sicurezza con estensimetri a corda vibrante.

- Misure inclinometriche a tergo delle paratie all'uscita di sicurezza.
- Misure piezometriche a tergo delle paratie all'uscita di sicurezza con piezometri a tubo aperto.
- Misure dalla superficie degli spostamenti tridimensionali sulla sede autostradale (guard-rail centrale e banchine laterali) con mire ottiche.
- Misure con inclinometri orizzontali delle deformazioni della piattaforma autostradale.
- Misura dei cedimenti edificio interferente con capisaldi topografici da livellazione.
- Controllo degli spostamenti con mire ottiche sul traliccio di telecomunicazioni.

7.3. Fasi di controllo e misura

A priori vengono distinte due fasi di controllo e misura:

- monitoraggio in corso d'opera;
- monitoraggio in fase d'esercizio (eventuale).

7.4. Valori attesi delle misure e azioni correttive

Nei paragrafi successivi si riportano i valori attesi degli spostamenti, che derivano dai calcoli di dimensionamento delle opere. Questi valori vanno confrontati con le misure effettuate sugli strumenti.

Dallo studio dei dati, anche confrontando misure provenienti da strumenti diversi, si ha la rappresentazione di quanto accade nella realtà, in concomitanza con gli scavi.

Il manifestarsi di eventuali spostamenti anomali può essere dovuto a comportamenti non rispondenti alle ipotesi progettuali dei terreni scavati e delle opere costruite. Tale eventualità porta generalmente a intensificare le frequenze di lettura degli strumenti.

Ove risulta necessario, si applicano inoltre le azioni correttive per rientrare in condizioni di normalità, che consistono nel variare la sequenza di avanzamento nello scavo, nell'incrementare i consolidamenti o i sostegni di prima fase.

8. MONITORAGGIO DEL FRONTE DI SCAVO (IN CORSO D'OPERA)

Per il monitoraggio del fronte di scavo in corso d'opera verranno eseguiti rilievi geologico-stratigrafici ed eventuali misure di estrusione con estensimetro incrementale.

I rilievi del fronte di scavo e le misure di estrusione permetteranno di acquisire dati relativi alle reali caratteristiche geologiche e geotecniche del fronte, in base alle quali verrà confermata oppure ridefinita la sezione tipo da applicare nel corso dell'avanzamento. In particolare l'ampiezza dei campi di scavo si porta da 9 m a 6 m in presenza di cedimenti eccessivi in superficie o ridotta coesione del terreno in sito.

8.1. Rilievo geologico-stratigrafico del fronte di scavo

Tali rilievi consistono nel rilevamento e restituzione grafica e numerica delle caratteristiche geologico-stratigrafiche del fronte di scavo, durante l'avanzamento. Si distingueranno:

- Rilievi di tipo speditivo.
- Rilievi di dettaglio.

Tipologia di rilievo	Quantità e ubicazione
Rilievo fronte di scavo	ad ogni campo di avanzamento (159 rilievi); 1 lettura/9m negli scavi; da definire con la DL

Tabella 8.1 – Quantità e ubicazione rilievo geologico-stratigrafico del fronte di scavo

8.1.1. Rilievi di tipo speditivo

Il fronte rilevato dovrà essere accuratamente descritto, anche per mezzo di fotografie e schizzi, fornendo informazioni sulla granulometria del terreno e la sua stratigrafia, con una stima del grado di addensamento e del grado di coesione (percentuale della frazione di materiale limoso-argilloso e di eventuali strati cementati) ed una descrizione del comportamento del terreno allo scavo.

8.1.2. Rilievi di dettaglio

Con questo tipo di rilievi devono essere descritte nel dettaglio le caratteristiche litologico-stratigrafiche. Dovranno essere indicati: nome formazione, litologia predominante, granulometria, colore, caratteristiche osservabili alla scala macroscopica, stato d'alterazione, eventuale grado di cementazione. Devono inoltre essere riportate informazioni riguardanti le condizioni idrogeologiche, gli eventuali fenomeni d'instabilità, con indicazione dei cinematismi e una valutazione del volume di terreno coinvolto. Infine, dovrà essere descritta la cadenza delle fasi lavorative (distanza dal fronte del rivestimento di prima fase e dei rivestimenti definitivi, arco rovescio e calotta) ed inserite delle note sulle lavorazioni (imprevisti, variazioni operative, ecc.).

8.1.3. Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti

Si prevede l'esecuzione di almeno 2-3 rilievi di dettaglio e di rilievi di tipo speditivo ogni 2-3 campi di avanzamento, esclusi quelli che si sovrappongono a quelli di dettaglio. In ogni caso, il numero e la posizione di dettaglio dei rilievi verrà definita in corso d'opera in accordo con la Direzione Lavori.

8.1.4. Documentazione

I dati elaborati per ciascuna stazione di rilievo geologico-stratigrafico vanno forniti alla Direzione Lavori entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo, sia su supporto magnetico che cartaceo. Questa attività ed i rilievi dovranno essere materialmente eseguiti da uno o più geologi dotati di specifico addestramento ed esperienza.

La documentazione dei controlli di monitoraggio comprenderà:

- fotografie del fronte;
- progressiva del fronte a cui è stato eseguito il rilievo;
- tabelle con i dati rilevati;

Relazione geologica descrittiva del sito di rilievo, inclusiva di tutti gli elementi necessari ad inquadrare e comprendere i risultati del rilievo stesso, delle note esplicative descrittive del rilevatore.

8.2. Misure d'estrusione del fronte con estensimetro incrementale (eventuali)

Con le misure di estrusione del fronte, da eseguire con estensimetro incrementale, è possibile controllare le deformazioni del terreno al fronte durante lo scavo della galleria. Queste misure, che consentono di rilevare gli spostamenti del fronte in asse alla galleria, vengono effettuate all'interno di un tubo in PVC, inserito in un foro di sondaggio orizzontale della lunghezza di 30 m, munito di appositi ancoraggi anulari a distanza di 1 m l'uno dall'altro, resi solidali al terreno circostante tramite un'iniezione di malta espansiva (acqua, cemento, bentonite, opalite). Le misure delle variazioni di distanza tra le coppie di ancoraggi adiacenti vengono effettuate mediante una sonda della lunghezza pari a 1.0 m, la cui precisione varia tra i 0.003 ed i 0.02 mm/m.

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei dati concernenti gli spostamenti relativi di ciascuna coppia di ancoraggi adiacenti in funzione della profondità dal fronte (grafico degli spostamenti differenziali) e la sommatoria degli spostamenti differenziali (spostamenti integrati o cumulativi), rispetto alla base più profonda che viene considerata fissa.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
Estensimetro incrementale al fronte	Eventuale, in presenza di significative percentuali di materiale fine	1 lettura/giorno negli scavi
* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate		

Tabella 8.2 – Quantità e frequenze delle misure di estrusione

8.2.1. Frequenza delle misure

Gli strumenti per le misure d'estrusione del fronte, di lunghezza di 30 m, andranno posizionati qualora si preveda un comportamento estrusivo del fronte, ovvero in presenza di significative percentuali di materiale fine. In relazione alla frequenza di lettura dello strumento, attesa la maturazione dell'iniezione, si procederà alla lettura di riferimento prima della ripresa dell'avanzamento. Le successive letture vanno effettuate una volta al giorno, che dovrebbe circa corrispondere ad una lettura ogni 1-2 m di avanzamento.

9. MONITORAGGIO INTERNO ALLA GALLERIA

Per il monitoraggio interno alla galleria sono state previste sia misure in galleria, costituite da misure di convergenza con sistema ottico, sia misure di tensione nelle centine e nel rivestimento definitivo (eventuali).

9.1. Misure di convergenza con sistema ottico

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica degli spostamenti nel piano trasversale all'asse della galleria. Gli spostamenti verranno misurati in direzione verticale ed orizzontale, in 5 punti per ogni stazione di misura, posizionati come indicato nell'elaborato grafico "Monitoraggio interno – Sezioni" ed attrezzati con mire ottiche (riflettori) rilevabili mediante strumenti topografici di precisione, quali teodolite a registrazione automatica e attrezzature elettroniche che permettono l'esecuzione di misure di distanza dello strumento dai punti di mira con un errore minore ad 1 mm per distanze fino ad 80 m in condizioni di normale visibilità in galleria. I riflettori¹ verranno montati su normali bulloni di convergenza della lunghezza di almeno 0.5 m cementati nel rivestimento di prima fase, ad una distanza minima dal fronte di scavo, allo scopo di registrare per intero i valori deformativi del rivestimento di prima fase, in seguito alla sua messa in opera.

Queste misure permetteranno una verifica delle ipotesi di progetto e della risposta del terreno di scavo, consentendo una taratura ed una ottimizzazione degli interventi e delle modalità esecutive da applicare nell'ambito della sezione tipo prevista, in accordo al documento Linee Guida per l'applicazione delle sezioni tipo.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
mira ottica misurazione di convergenza	5 mire ottiche, per 146 sezioni (730 mire); Una sezione ogni 9 metri dall'imbocco Ovest all'inizio del tratto di attraversamento autostradale (140°501.21-140°623.00); Una sezione ogni 6 metri del tratto di attraversamento autostradale (140°623.00-140°943.00); Una sezione ogni 9 metri dalla fine del tratto di attraversamento autostradale all'inizio della tratta a copertura maggiore (140°943.00-141°185.28); Una sezione ogni 27 metri dall'inizio della tratta a copertura maggiore all'inizio della tratta con falda più bassa (141°185.28-141°600.00); Una sezione ogni 9 metri dall'inizio della tratta con falda più bassa all'imbocco Est (141°600.00-141°928.00).	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno se $v > 1 \text{ mm/g}$ • 1 lettura/settimana se $v > 0.2 \text{ mm/g}$ • 1 lettura/mese se $v < 0.2 \text{ mm/g}$ fino alla stabilizzazione delle misure e posa in opera del rivestimento definitivo

* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate

Tabella 9.1 – quantità e frequenze misure di convergenza

9.1.1. Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti

Per la galleria San Giorgio in Salici verranno installate 5 mire ottiche (riflettori) per ogni stazione di misura delle convergenze, 3 in calotta e 2 sui piedritti. E' prevista una stazione ogni campo di avanzamento (6/9 m), ad eccezione del tratto centrale, dove le misure verranno effettuate ogni 3 campi di scavo.

Le misure verranno effettuate con le seguenti cadenze: giornalmente per sezioni ove si verificano spostamenti delle mire $\geq 1 \text{ mm/g}$. La prima lettura ("zero") viene effettuata subito dopo l'istallazione delle mire in corrispondenza del fronte di scavo. Se lo spostamento varia tra 0.2 mm/g ed 1 mm/g le misure verranno eseguite settimanalmente mentre se lo spostamento è inferiore a 0.2 mm/g si effettueranno dei rilievi mensili. Le misure dovranno protrarsi fino alla stabilizzazione della sezione e non dovranno essere interrotte prima della messa in opera dell'impermeabilizzazione e del rivestimento definitivo.

¹ Prismi cardanici riflettenti o catadiottri

9.1.2. Sistema di acquisizione e di restituzione dei dati

La misurazione della posizione dei punti di mira verrà effettuata con un teodolite a registrazione automatica collegato con un terminale. La posizione del teodolite prima della misura dovrà essere determinata rispetto ad almeno tre punti fissi predefiniti distanti non più di 80 m dal punto di stazione dello strumento. La misura permette di risalire alle coordinate spaziali delle basi con una tolleranza di 1 mm.

I dati così raccolti verranno trasferiti tramite interfaccia ad un computer su cui verrà installato un software in grado di effettuare l'analisi, l'elaborazione e la restituzione dei dati. In particolare il programma dovrà permettere:

- il calcolo della posizione dei punti di mira nelle coordinate locali (x, y, z);
- il calcolo delle differenze tra le coordinate dei punti di mira nelle diverse letture;
- la visualizzazione grafica dei risultati con gli spostamenti nel piano della sezione di misura (deformata) e la velocità di convergenza (mm/giorno).

9.1.3. Documentazione

L'esecuzione e la restituzione delle misure di convergenza richiede l'impiego continuativo di un topografo esperto e di un coadiutore. I dati elaborati per ciascuna stazione di convergenza verranno forniti alla Direzione Lavori entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo, sia su supporto magnetico che cartaceo.

I risultati verranno visualizzati, per ogni sezione di misura, come:

- vettore spostamento di ogni mira in funzione del tempo con indicazioni delle lavorazioni effettuate in galleria;
- vettore spostamento di ogni mira in funzione della distanza dal fronte di scavo con indicazioni delle lavorazioni effettuate in galleria;
- spostamenti nel piano della sezione di misura (deformata) con indicazione del profilo teorico;
- componenti x, y, z di ogni mira in funzione del tempo con indicazioni delle lavorazioni effettuate in galleria;
- componenti x, y, z di ogni mira in funzione della distanza dal fronte di scavo con indicazioni delle lavorazioni effettuate in galleria.

9.2. Monitoraggio delle tensioni dei rivestimenti

Si prevede la misura delle tensioni sul rivestimento provvisorio in fase di scavo. L'eventuale monitoraggio della galleria in fase d'esercizio potrà essere eseguito a mezzo di misure con estensimetri a corda vibrante e con martinetti piatti in parete.

9.2.1. Misure del comportamento tensionale e deformativo con estensimetri a corda vibrante

Lo stato tenso-deformativo dei rivestimenti e la sua evoluzione nel tempo potrà essere misurato con estensimetri a corda vibrante collegati ad una centralina di misura. Ogni sezione strumentata potrà essere costituita da 5 coppie di strumenti posizionati sulle centine, 3 coppie di strumenti sull'arco rovescio e 5 coppie di strumenti nel rivestimento definitivo. Si possono prevedere per la galleria S. Giorgio in Salici n° 13 sezioni strumentate.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
estensimetri a corda vibrante sulle centine	10 estensimetri, per 13 sezioni (130 strumenti)	letture automatiche, 1lett/30min negli scavi fino alla posa del rivestimento definitivo
estensimetri a corda vibrante sulle armature di rivestimento	16 estensimetri, per 13 sezioni (208 strumenti)	1lett/mese. In assenza di variazioni la frequenza verrà opportunamente diminuita

* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate

Tabella 9.2 – quantità e frequenze estensimetri a corda vibrante

9.2.2. *Misure della sollecitazione in parete con martinetti piatti*

La sollecitazione circonferenziale agente all'intradosso del rivestimento definitivo potrà essere misurata mediante l'installazione di martinetti piatti. Preliminarmente, dovranno essere realizzati degli intagli in parete normali alla superficie del rivestimento, a cui seguirà un rilascio tensionale che determinerà una parziale chiusura dell'intaglio stesso. Tale deformazione dovrà essere rilevata mediante estensimetri meccanici rimovibili oppure trasduttori elettrici di spostamento. Verrà quindi inserito nell'intaglio uno speciale martinetto piatto, la cui pressione interna verrà gradualmente aumentata fino ad annullare la deformazione prima misurata, ripristinando così lo stato tensionale preesistente, corrispondente alla sollecitazione tangenziale agente sul rivestimento.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
martinetti piatti nel calcestruzzo rivestimento definitivo	5 martinetti, per 13 sezioni (65 strumenti)	1lett/mese. In assenza di variazioni la frequenza verrà opportunamente diminuita

* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate

Tabella 9.3 – quantità e frequenze misure di convergenza martinetti piatti

10. MONITORAGGIO ESTERNO ALLA GALLERIA

Per il monitoraggio esterno alla galleria sono state previste sia misure topografiche della superficie, costituite da riscontri topografici fissati a pilastri al suolo con sistema ottico, sia misure estenso-inclinometriche e piezometriche in profondità con strumenti in foro.

10.1. Misure estenso-inclinometriche e piezometriche dalla superficie

Per il monitoraggio esterno alla galleria sono state previste misure dalla superficie, costituite da misure estenso-inclinometriche tipo T-Shape e piezometriche.

La strumentazione in foro si posiziona in corrispondenza delle tre sezioni complete di monitoraggio, come si riporta nel seguito:

- Stazione 1 - pk. 140+627.20 - Prima dell'attraversamento autostradale;
- Stazione 2 - pk. 140+915.11 - Dopo l'attraversamento autostradale;
- Stazione 3 - pk. 141+763.54 - In corrispondenza dell'edificio da monitorare.

Per la misura degli spostamenti verticali del terreno immediatamente al di sopra della calotta della galleria, si prevede l'installazione di un estensimetro a barra. Lo strumento è composto da tre basi solidarizzate al terreno ad intervalli regolari. Dalla superficie si misurano gli spostamenti di ogni barra e si ricava così la deformazione del terreno posto al di sopra della galleria. La lunghezza della barra più lunga è variabile nel range 6.2-19.66.

Per la misura degli spostamenti, nelle tre dimensioni, del terreno ai lati della galleria, si prevede l'installazione di 2 tubazioni estenso-inclinometriche. Le tubazioni, verranno installate a distanza di 2 m dalla galleria e avranno base posta a 7.5m sotto alla galleria. Gli strumenti sono costituiti da linee flessibili strumentate (tipo T-Shape), che s'inseriscono all'interno di tubi precedentemente cementati in foro. La lunghezza degli strumenti è variabile nel range 26.8-40.25. Si prevede l'installazione di piezometri a tubo aperto accoppiati alle tubazioni estenso-inclinometriche ai lati della galleria, che si estendono fino alle profondità raggiunte dagli estenso-inclinometri.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
Estenso-inclinometri galleria (tipo T-Shape)	6 strumenti, installati ai lati della galleria sulle sezioni complete	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno negli scavi quando il fronte si trova a distanza minore di $2.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura (z_0 è il dislivello tra il piano campagna e l'asse galleria); • 1 lettura/settimana dopo il passaggio del fronte, per il primo mese; • 1 lettura/mese per i successivi tre mesi; • 1 lettura/3 mesi fino a fine lavori.
Estensimetri a barre galleria	3 strumenti, installati in asse alla galleria sulle sezioni complete	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno negli scavi quando il fronte si trova a distanza minore di $2.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura (z_0 è il dislivello tra il piano campagna e l'asse galleria); • 1 lettura/settimana dopo il passaggio del fronte, per il primo mese; • 1 lettura/mese per i successivi tre mesi; • 1 lettura/3 mesi fino a fine lavori.
Piezometri galleria	6 strumenti, installati ai lati della galleria sulle sezioni complete, accoppiati all'inclinometro	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno negli scavi quando il fronte si trova a distanza minore di $2.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura (z_0 è il dislivello tra il piano campagna e l'asse galleria); • 1 lettura/settimana dopo il passaggio del fronte, per il primo mese; • 1 lettura/mese per i successivi tre mesi; • 1 lettura/3 mesi fino a fine lavori.

* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate

Tabella 10.1 – Quantità e frequenze misure estenso-inclinometriche e piezometriche.

10.1.1. Frequenza delle misure

La prima lettura (“lettura di zero”) dovrà essere effettuata non prima di 10-14 giorni dall’installazione della tubazione, che dovrà avvenire comunque prima dell’inizio delle operazioni di scavo in sotterraneo. Le letture successive verranno eseguite in funzione dell’entità delle deformazioni misurate. In generale, la frequenza dovrà essere giornaliera quando il fronte si trova a distanza minore di $2.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura, considerando z_0 come il dislivello tra il piano campagna e l’asse galleria. A passaggio avvenuto del fronte, una volta superata suddetta distanza, la frequenza potrà variare tra una lettura settimanale fino a letture trimestrali. Le misure si protrarranno fino alla messa in opera del rivestimento definitivo o comunque fino al completo esaurimento delle deformazioni.

10.1.2. Documentazione

La documentazione, dovrà comprendere, oltre alle informazioni di carattere generale (commessa, cantiere, ubicazione, data e nominativo operatore) e ai tabulati con le letture di campagna e le letture corrette, per ogni misura:

- valore dello scostamento dallo zero delle tre componenti x, y e z;
- grafico degli spostamenti verticali differenziali (componente z) in funzione della profondità;
- grafico della risultante degli spostamenti orizzontali (componenti x e y) per punti in funzione della profondità;
- grafico della sommatoria della risultante degli spostamenti orizzontali in funzione della profondità;
- grafico dell’azimut della risultante degli spostamenti orizzontali per punti in funzione della profondità;
- grafico dell’azimut della sommatoria della risultante degli spostamenti orizzontali in funzione della profondità.

10.2. Monitoraggio topografico della superficie

Si prevede il monitoraggio topografico superficiale in asse alla galleria e lungo sezioni trasversali. Questi strumenti permettono di valutare i parametri relativi alla curva di subsidenza V_p e k, che si ottengono lungo il tracciato. I capisaldi posti sulle sezioni trasversali permettono la valutazione di entrambi i parametri V_p e k mentre con la lettura del cedimento massimo sui capisaldi posti in asse, considerando costante il valore di k ottenuto nelle sezioni trasversali, si valuta il volume perso V_p lungo tutto il tracciato. I punti di misura si materializzano con mire ottiche a terra su pilastri di fondazione. Questi punti verranno rilevati con un teodolite, a cadenza giornaliera negli scavi. Longitudinalmente all’asse della galleria, i capisaldi si posizionano ad interasse variabile di 24m/27m. Trasversalmente al tracciato l’interasse è variabile tra 5m/10m, e l’allineamento dei capisaldi si estende fino al margine del bacino di subsidenza.

I capisaldi trasversali si posizionano sulle tre sezioni complete di monitoraggio e su tre sezioni di monitoraggio topografico, come si riporta nel seguito:

- COMP.1 - pk. 140+627.20 - Prima dell’attraversamento autostradale;
- COMP.2 - pk. 140+915.11 - Dopo l’attraversamento autostradale;
- TOPO.1 - pk. 141+329.20 - Viabilità Località Turco;
- TOPO.2 - pk. 141+449.21 - Viabilità Località Casin;
- TOPO.3 - pk. 141+913.98 - Canale scolmatore;
- COMP.3 - pk. 141+763.54 - In corrispondenza dell’edificio da monitorare.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
Capisaldi topografici galleria	117 capisaldi. 68 posti in asse, ad interdistanza di 24m/27m, in corrispondenza alla posizione prevista delle sezioni di monitoraggio interno. 24 su sezioni complete. 25 in sezioni topografiche	1 lettura/giorno negli scavi quando il fronte si trova a distanza minore di $2.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura (z_0 è il dislivello tra il piano campagna e l'asse galleria); • 1 lettura/settimana dopo il passaggio del fronte, per il primo mese; • 1 lettura/mese per i successivi tre mesi; • 1 lettura/3 mesi fino a fine lavori.
* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate		

Tabella 10.2 – Quantità e frequenze misure topografiche scarpata autostradale

Nel seguito si riportano i valori massimi attesi di spostamento, che derivano dai modelli di calcolo FEM, realizzati su cinque sezioni dislocate lungo il tracciato. Gli spostamenti massimi si ottengono in asse alla galleria.

Progressiva	descrizione sezione	cedimento verticale Dy [mm], rivolto verso il basso
140+550.0	Sezione n°1, tipo C1A, imbocco lato Ovest	-40 mm
140+700.0	Sezione n°2, tipo C1Bbis, attraversamento A4	-33 mm
141+200.0	Sezione n°3, tipo C1A, massima copertura per sezione C1A	-51 mm
141+725.5	Sezione n°4, tipo C1B, massima copertura per sezione C1B, con edificio residenziale	-37 mm
141+910.0	Sezione n°5, tipo C1B, imbocco lato Est, con canale scolmatore	-12 mm

Tabella 10-3 – Valori attesi misure topografiche scarpata autostradale

10.2.1. Volume perso nelle sezioni monitorate

Il volume perso rappresenta l'area sottesa dalla curva dei cedimenti verticali sotto la linea della superficie indeformata per unità di lunghezza. Viene espresso come percentuale nominale del volume teorico di scavo.

Il volume perso si calcola partendo dai valori di cedimento misurati attraverso i punti di riscontro topografici posizionati sul p.c. in corrispondenza delle sezioni di monitoraggio.

La procedura di calcolo è la seguente:

- rilievo cedimenti, per ogni caposaldo topografico;
- definizione curva dei cedimenti;
- calcolo dell'area A (si vedano le figure seguenti), compresa tra il piano campagna originario e la sua configurazione dopo il passaggio del fronte di scavo;
- calcolo del valore di volume perso.

10.2.1.1. Rilievo cedimenti - procedura

- Rilievo dei cedimenti di tutti i chiodi topografici posizionati nella sezione di monitoraggio considerata;
- Se la sezione di monitoraggio o una sua parte non è perpendicolare all'asse del tracciato le misure eseguite devono essere riferite a punti giacenti sulla traccia perpendicolare all'asse del tracciato e passante per il punto di intersezione tra la sezione di monitoraggio considerata e l'asse del tracciato, tali punti di riferimento si ottengono proiettando i punti corrispondenti ai chiodi topografici della sezione in oggetto sulla suddetta traccia di riferimento, come mostrato nella seguente figura.

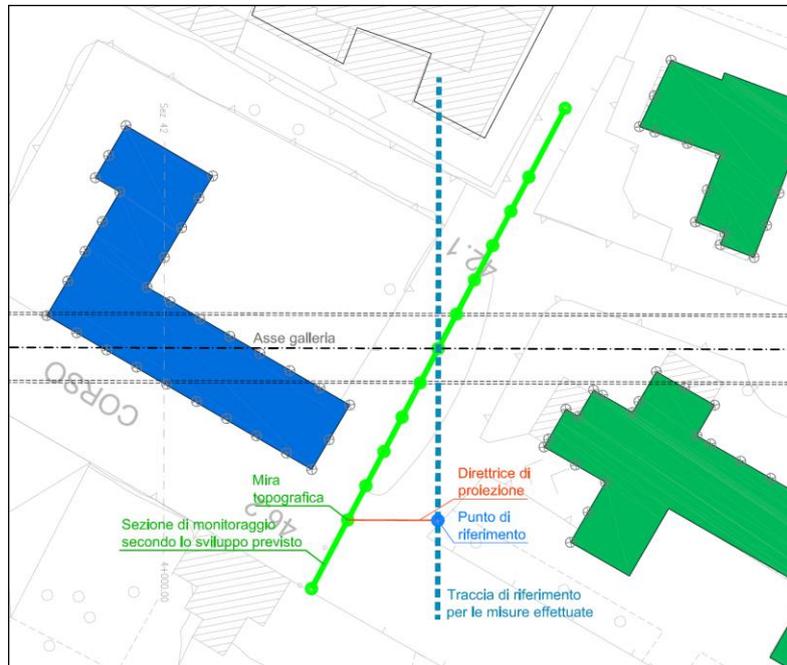


Figura 10.1: Proiezione delle misure sulla traccia di riferimento delle letture

10.2.1.2. Definizione curva dei cedimenti - procedura

- Rappresentazione su un piano cartesiano dei punti di riferimento corrispondenti ai chiodi topografici, collocandoli secondo la loro posizione planimetrica sulla traccia di riferimento
- Rappresentazione dei corrispettivi cedimenti, come mostrato nella seguente figura.

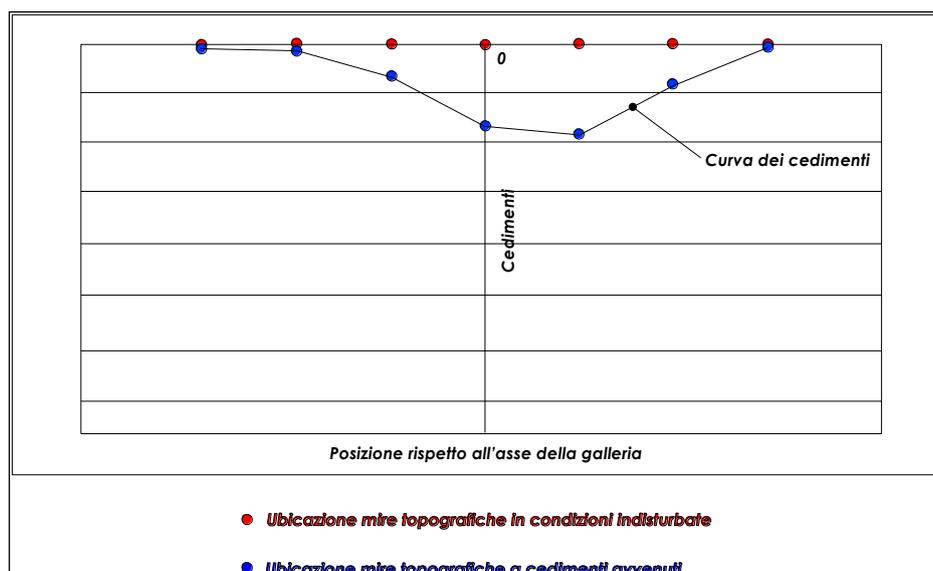


Figura 10.2: Piano di rappresentazione cedimenti del p.c.

10.2.1.3. Calcolo dell'area A, compresa tra i due profili - procedura

- Il calcolo dell'area avviene facendo riferimento al profilo discreto dei cedimenti e alla condizione iniziale di zero, come mostrato nella seguente figura.

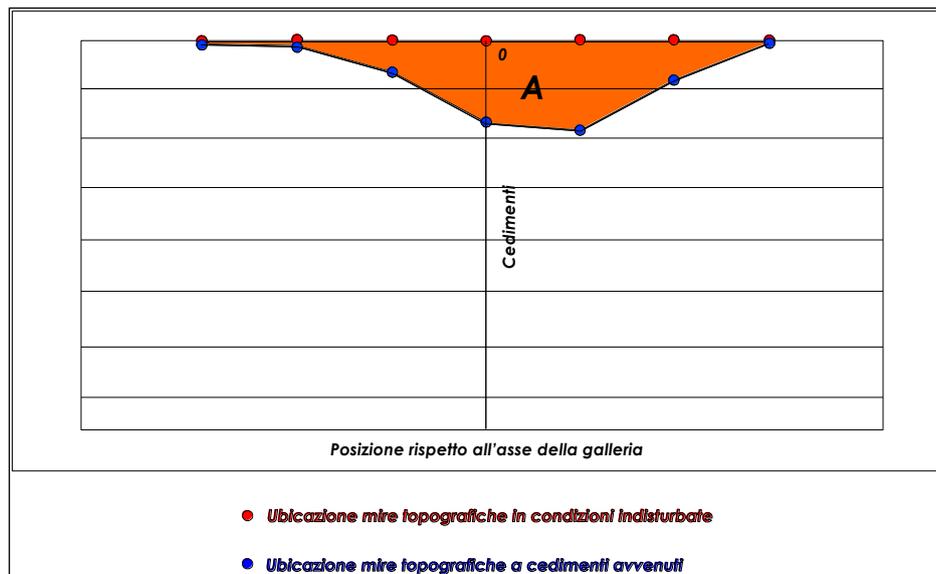


Figura 10.3: Area compresa tra i due profili

10.2.1.4. Calcolo del valore del volume perso

Il valore di volume perso si ottiene dal rapporto tra il valore dell'area A e la sezione teorica di scavo, si veda la seguente equazione:

$$V_p(\%) = \frac{A_I}{\pi \cdot R_{Galleria}^2} \cdot 100$$

dove:

V_p = volume perso,

A_I = area compresa tra la configurazione indisturbata del p.c. e la curva dei cedimenti indotta dallo scavo della galleria

$R_{galleria}$ = raggio nominale di scavo della galleria.

10.2.1.5. Valutazione del volume perso lungo il tracciato

Essendo il numero delle sezioni di monitoraggio necessariamente limitato il volume perso si stima anche attraverso la sua correlazione con il valore del cedimento massimo misurato in asse galleria, il procedimento è il seguente:

1. rilievo dei valori di cedimento lungo i punti posti in asse galleria;
2. calcolo del valore del coefficiente di proporzionalità fra il V_p e il valore del cedimento massimo corrispondenti alla sezione di monitoraggio precedente;
3. calcolo del volume perso corrispondente alla progressiva del punto di rilievo.

L'aggiornamento del parametro di proporzionalità può essere svolto unicamente alla successiva sezione, una volta manifestatesi per intero i cedimenti dovuti al passaggio dello scavo della galleria.

10.2.1.6. Rilievo dei cedimenti in asse galleria

Rilievo del cedimento corrispondente al punto in asse in oggetto. Come evidenziato nel paragrafo precedente questa misura consente, in base ai dati acquisiti nei tratti immediatamente precedenti, una stima del volume perso a partire dal cedimento massimo finale.

10.2.1.7. Calcolo del valore del coefficiente di proporzionalità

La procedura per il calcolo del parametro di proporzionalità da impiegare nella stima del V_p per la progressiva del punto in asse considerato è la seguente:

- calcolo del valore di volume perso della sezione di monitoraggio che precede il punto in asse considerato;
- calcolo del corrispondente valore del parametro di proporzionalità secondo la seguente equazione:

$$k = \frac{0.313 \cdot V_p \cdot D^2}{S_{\max} \cdot z}$$

dove:

- k è il coefficiente di proporzionalità tra il V_p e il cedimento massimo S_{\max} ;
- V_p è il valore di volume perso calcolato per quella sezione ;
- D è il diametro teorico di scavo della galleria ;
- S_{\max} è il cedimento massimo rilevato nella sezione di monitoraggio ;
- z è la distanza verticale tra l'asse della galleria e il p.c.

Il valore del V_p e del cedimento massimo di riferimento per il calcolo di k devono corrispondere alla condizione in cui il fronte si trova a circa 2.5 volte z oltre la sezione di riferimento in oggetto che è la condizione che assicura il manifestarsi per intero i cedimenti dovuti al passaggio dello scavo della galleria.

10.2.1.8. Calcolo del volume perso corrispondente alla progressiva del punto in asse considerato

Il valore di V_p , corrispondente alla progressiva del punto in asse per il quale viene rilevato il cedimento, si ricava esprimendo il volume perso V_p in funzione di k tramite la formula riportata nel paragrafo precedente:

$$V_p = \frac{S_{\max} \cdot k \cdot z}{0.313 \cdot D^2}$$

Si introdurrà nella formula il valore di S rilevato nel punto in asse galleria, che si presume debba coincidere con S_{\max} , il valore corrente di z alla progressiva del punto in asse considerato ed un valore di k pari a quello determinato per la sezione di monitoraggio precedente.

10.2.1.9. Aggiornamento del valore del parametro di proporzionalità

Il valore del parametro di proporzionalità k deve essere aggiornato ogni volta che si incontra una sezione monitorata lungo il tracciato, infatti ad una data sezione di monitoraggio fa riferimento il gruppo di punti che sono compresi tra la sua progressiva e la progressiva della sezione successiva. Inoltre fra tali punti di rilievo dei cedimenti in asse un certo numero fa riferimento al valore di k non della sezione corrente ma di quella immediatamente precedente in quanto,

per il periodo di tempo che trascorre tra il passaggio della sezione e la stabilizzazione dei cedimenti (corrispondente alla condizione per la quale il fronte si posiziona a circa 2.5 volte z dalla progressiva della sezione corrente) e la rispettiva elaborazione, si ha una condizione intermedia non rappresentativa. Il valore di V_p di questi primi punti verrà successivamente aggiornato in base al valore di k calcolato per la corrente sezione di riferimento.

10.3. Monitoraggio topografico dell'autostrada A4

Il presente Progetto Esecutivo semplifica per il sotto attraversamento dell'autostrada A4 il monitoraggio previsto dal Progetto Definitivo in quanto è prevista la deviazione dell'autostrada per fasi al fine sia di eseguire gli interventi di consolidamento in jet – grouting dal piano campagna sia di eseguire lo scavo della galleria in assenza di traffico in superficie in corrispondenza della zona del fronte.

Conseguentemente, con riferimento all'elaborato grafico "Monitoraggio in corrispondenza del sotto attraversamento autostrada A4", doc. IN0R11EE2P8GN4A0002 si prevede un monitoraggio topografico dell'autostrada A4 mediante la posa di mire ottiche a distanze regolari.

Questi punti verranno rilevati con un teodolite a cadenza giornaliera durante l'intervento di consolidamento in jet – grouting dal piano campagna, e quando il fronte si trova a distanza minore di 35 m dallo strumento di misura.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
Mire ottiche guard-rail e margini autostrada	70 mire ottiche, poste come indicato nell'elaborato IN0R11EE2P8GN4A0002	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno nelle iniezioni di trattamento; • 1 lettura/giorno quando il fronte si trova a distanza minore di 35m dall'attraversamento; • 1 lettura/settimana dopo il passaggio del fronte, per il primo mese; • 1 lettura/mese per i successivi tre mesi; • 1 lettura/3 mesi fino a fine lavori.
Estenso-inclinometri (tipo T-Shape) Autostrada	6 inclinometri orizzontali automatici installati ortogonalmente alla direzione dell'A4, sul tratto centrale di lunghezza circa 125 m.	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno nelle iniezioni di trattamento; • 1 lettura/giorno nelle eventuali iniezioni di sollevamento; • 1 lettura/giorno quando il fronte si trova a distanza minore di 35m dall'attraversamento; • 1 lettura/settimana dopo il passaggio del fronte, per il primo mese; • 1 lettura/mese per i successivi tre mesi; • 1 lettura/3 mesi fino a fine lavori.

* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate

Tabella 10.4 – Quantità e frequenze misure Autostrada A4

10.4. Monitoraggio dell'edificio interferente

Si prevede il monitoraggio topografico dell'edificio che viene sottopassato dalla galleria in prossimità della pk. 141+740.0, dove ci sono le massime coperture del tracciato, equivalenti a 22.97 m. L'edificio si colloca a Nord dell'asse ed ha distanza dello spigolo Nord posta a 24.00 m dall'asse, mentre lo spigolo Sud dista 9.60 m dall'asse. L'impronta della galleria è esterna all'ingombro dell'edificio. I punti di misura si materializzano con capisaldi topografici di livellazione solidarizzati alle pareti perimetrali, posti a distanze lineari regolari (interasse 5 m) attraverso il perimetro. Questi punti verranno rilevati con un teodolite, a cadenza giornaliera negli scavi. Con la lettura dei cedimenti in corrispondenza dei capisaldi si calcola il rapporto d'inflessione sull'edificio e la distorsione angolare.

L'edificio viene sottoposto inoltre a misure di vibrazione con vibrometro e di inclinazione degli elementi strutturali principali con clinometro.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
capisaldi topografici per livellazione edificio	8 capisaldi, posti ad interasse di 5m lungo il perimetro dell'edificio	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno negli scavi quando il fronte si trova a distanza minore di 65m dall'edificio; • 1 lettura/settimana dopo il passaggio del fronte, per il primo mese; • 1 lettura/mese per i successivi tre mesi; • 1 lettura/3 mesi fino a fine lavori.
clinometro edificio	1 strumento sulle strutture portanti principali	• letture automatiche, 1lett/30min negli scavi
vibrometro edificio	1 strumento in corrispondenza dell'edificio	• letture automatiche, 1lett/30min negli scavi

* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate

Tabella 10-5 – Quantità e frequenze misure topografiche Edificio

Nel seguito si riportano i valori massimi attesi di spostamento, che derivano dal modello di calcolo FEM, realizzato sulla sezione con massima copertura.

Progressiva	Descrizione sezione	Cedimento verticale Dy [mm], rivolto verso il basso
141+725.5	Sezione n°4, tipo C1B, edificio	-37 mm

Tabella 10-6 – Valori attesi misure topografiche Edificio

Nel seguito si riportano i valori di soglia dei parametri sull'edificio:

Parametro di riferimento	Definizione valore	Valore
Rapporto di inflessione (-) Δ/L	valore atteso	$\leq \pm 1/2000$
	valori di attenzione	$\geq \pm 1/2000$ e $\leq \pm 1/1000$
	valori di allarme	$\geq \pm 1/1000$

Tabella 10-7 – Valori attesi, di attenzione e di allarme del Rapporto d'inflessione

Parametro di riferimento	Definizione valore	Valore
Distorsione angolare (-) β	valore atteso	$\leq \pm 1/800$
	valori di attenzione	$\geq \pm 1/800$ e $\leq \pm 1/500$
	valori di allarme	$\geq \pm 1/500$

Tabella 10-8 – Valori attesi, di attenzione e di allarme del Rapporto d'inflessione

La verifica di uno dei due parametri non esclude quella degli altri. Tutti i parametri devono essere comunque controllati ed in caso di superamento del valore di attenzione o del valore di allarme di uno solo di essi si dovrà comunque procedere come definito in tabella ed aumentare la frequenza di rilievo delle grandezze che permettono il monitoraggio dei due parametri.

Si ritiene utile infine puntualizzare che il superamento puntuale di un valore di attenzione di un parametro può essere da solo di poca importanza, perché dovuto per esempio a cause locali, e solo un attento esame di tutti i dati provenienti dall'intero "volume di controllo" e soprattutto l'evolversi nel tempo di tali valori, potrà dare un quadro coerente degli eventuali fenomeni in atto.

10.4.1. Rapporto d'inflessione (Δ/L) e distorsione angolare β tra due pilastri

Il rapporto d'inflessione Δ/L è la massima distanza misurata tra la configurazione rigida dell'edificio e la sua deformata, diviso per la lunghezza dell'edificio, o della porzione di edificio, interessata dai cedimenti (si veda la Figura 10.4).

La distorsione β è il rapporto tra la massima differenza di cedimento tra due pilastri attigui di un edificio in c.a. e la distanza tra i pilastri stessi della porzione di edificio in c.a. interessata dai cedimenti.

Le ipotesi assunte in fase di progetto per valutare le subsidenze e per definire gli effetti dello scavo sui manufatti tengono conto dei seguenti fattori:

- caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati,
- tipo di manufatto,
- dimensioni del manufatto,
- posizione relativa rispetto all'asse della galleria,
- perdita di volume a causa delle operazioni di scavo e dei fenomeni di convergenza del cavo.

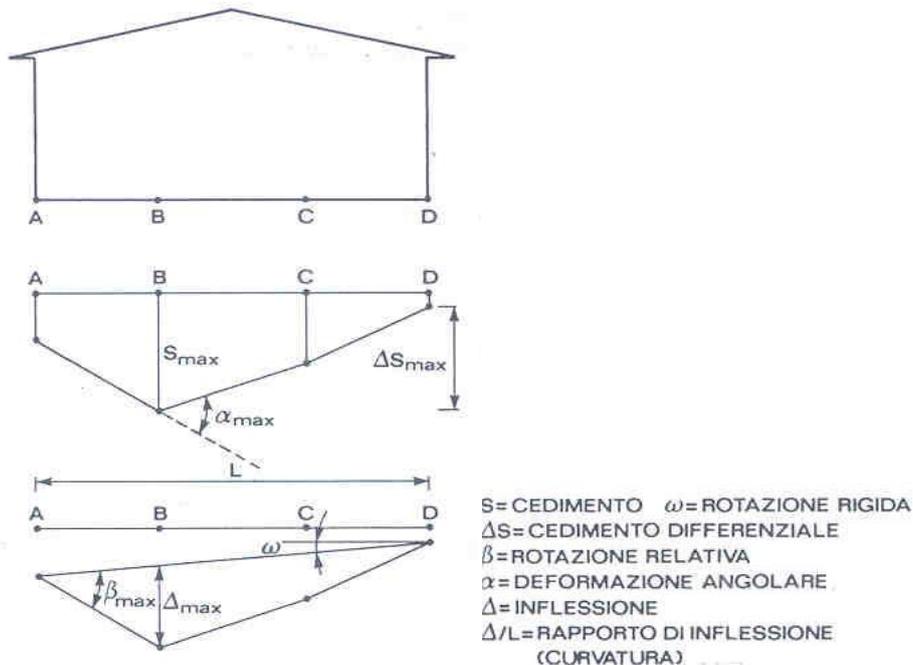


Figura 10.4 - Piano di rappresentazione cedimenti del p.c.

Il rapporto di inflessione si calcola partendo dai valori di cedimento misurati attraverso le mire ottiche posizionate sui muri perimetrali dell'edificio monitorato. Si ricorda che il bacino di subsidenza indotto dallo scavo può presentare zone differenti a seconda della condizione di convessità, "zone di hogging", o di concavità, "zone di sagging", della curvatura; quindi i valori di rapporto di inflessione calcolati saranno più di uno a seconda del numero di zone di sagging e/o di hogging che interessano l'edificio analizzato: ad esempio nella figura seguente s'individuano 3 zone, 1 di sagging e 2 di hogging, tutte le zone individuate interessano l'edificio, che occupa l'intera impronta della curva di subsidenza, ne deriva la necessità di calcolare almeno 3 differenti valori di rapporto di inflessione.

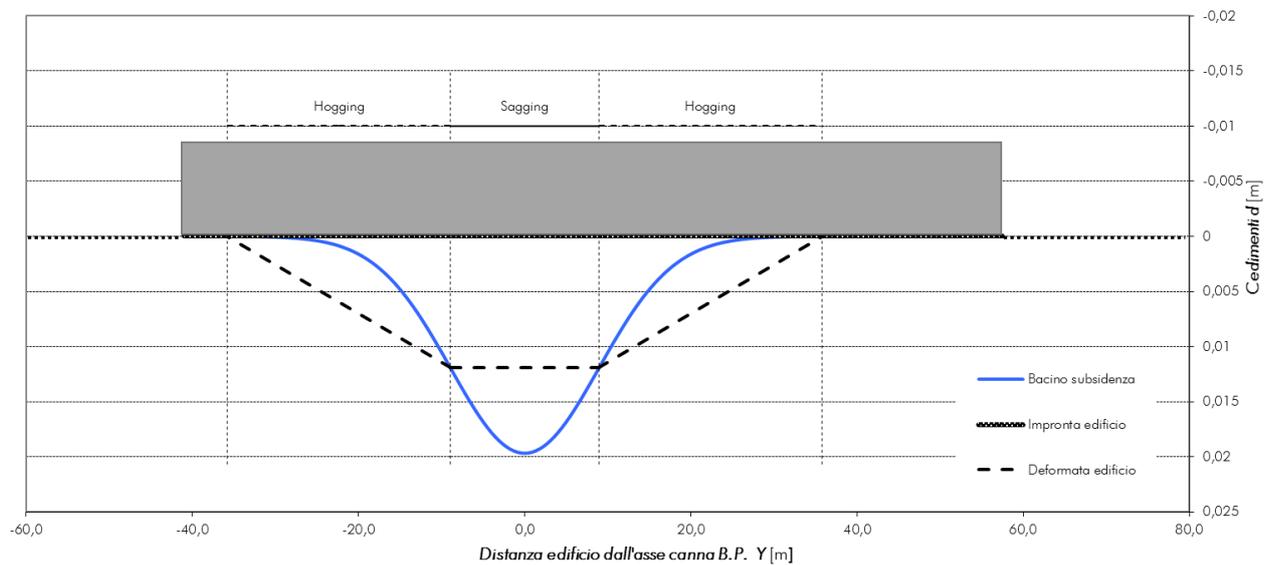


Figura 10.5 - Zone a differente curvatura

La distorsione angolare rappresenta il rapporto fra il cedimento di due pilastri contigui di una struttura intelaiata e la distanza fra i pilastri stessi:

$$\beta_{\max} = (S_i - S_{i-1}) / L_i$$

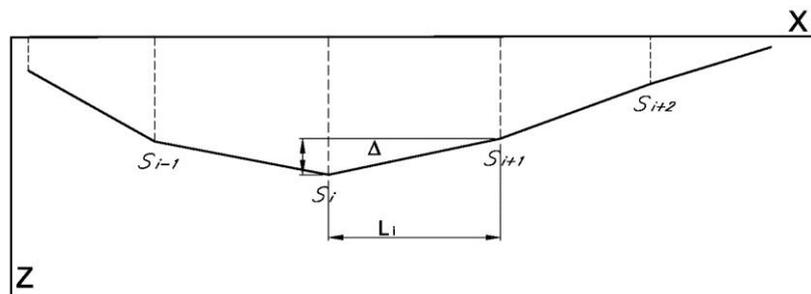


Figura 10.6- Schema per il calcolo della distorsione angolare

La procedura di calcolo dei valori di rapporto d'inflexione e distorsione angolare è la seguente:

1. rilievo cedimenti S;
2. definizione della deformata dell'edificio e calcolo dei valori di inflessione Δ ;
3. calcolo del (o dei) valori di rapporto d'inflexione e della distorsione angolare.

10.4.1.1. Rilievo cedimenti S - procedura

Rilievo dei cedimenti di tutti i punti di rilievo topografico collocati sui muri perimetrali dell'edificio monitorati

10.4.1.2. Definizione della deformata dell'edificio e calcolo dei valori d'inflexione Δ

- Rappresentazione su un piano cartesiano dei punti corrispondenti ai punti di rilievo topografico;

- rappresentazione dei corrispettivi cedimenti e calcolo dei valori di inflessione (per le zone di hogging e di sagging che interessano l'edificio) come distanza massima tra la deformata dell'edificio e la sua configurazione rigida, intesa come la corda che unisce la coppia di punti considerati (si veda la figura seguente).

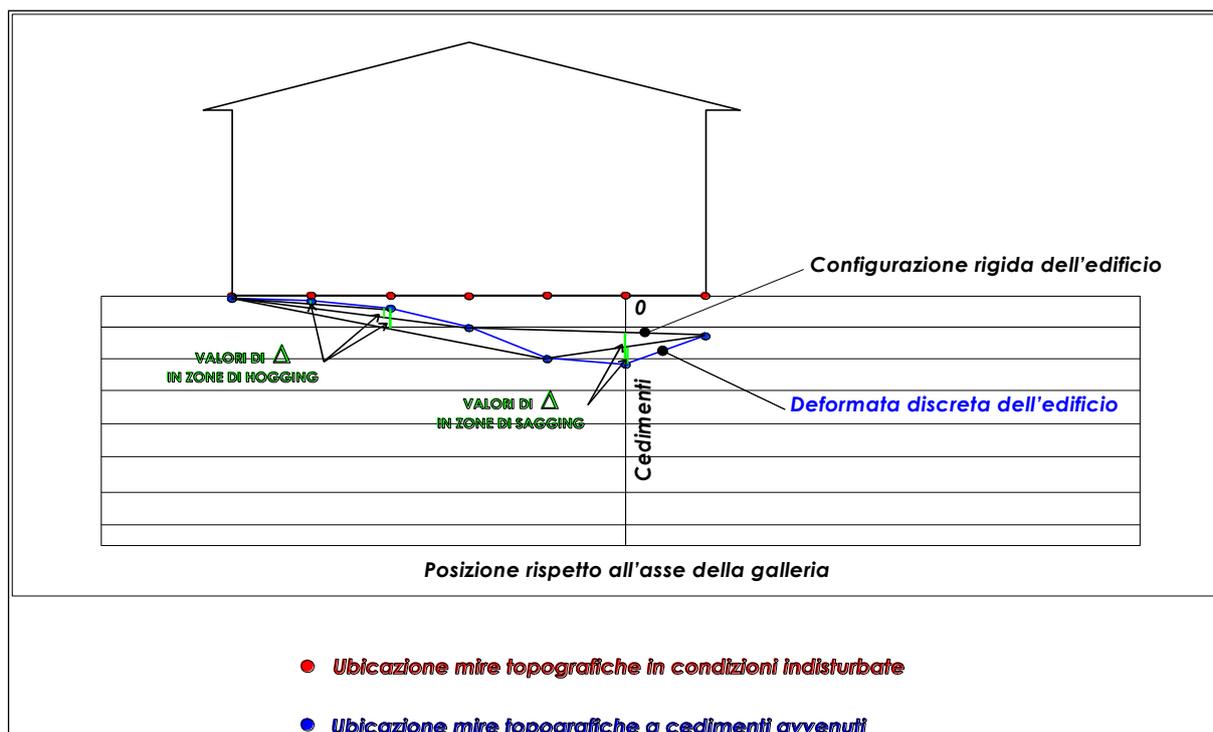


Figura 10.7 - Piano di rappresentazione cedimenti dell'edificio

10.4.1.3. Calcolo dei valori di rapporto di inflessione Δ/L

I valori di rapporto di inflessione si ottengono come rapporto tra il valore calcolato di Δ e il rispettivo valore di L (si veda la figura seguente), come mostrato nelle seguenti figure:

$$\frac{\Delta_{i_SAGGING}}{L_{i_SAGGING}}$$

per zone di sagging

$$\frac{\Delta_{i_HOGGING}}{L_{i_HOGGING}}$$

per zone di hogging

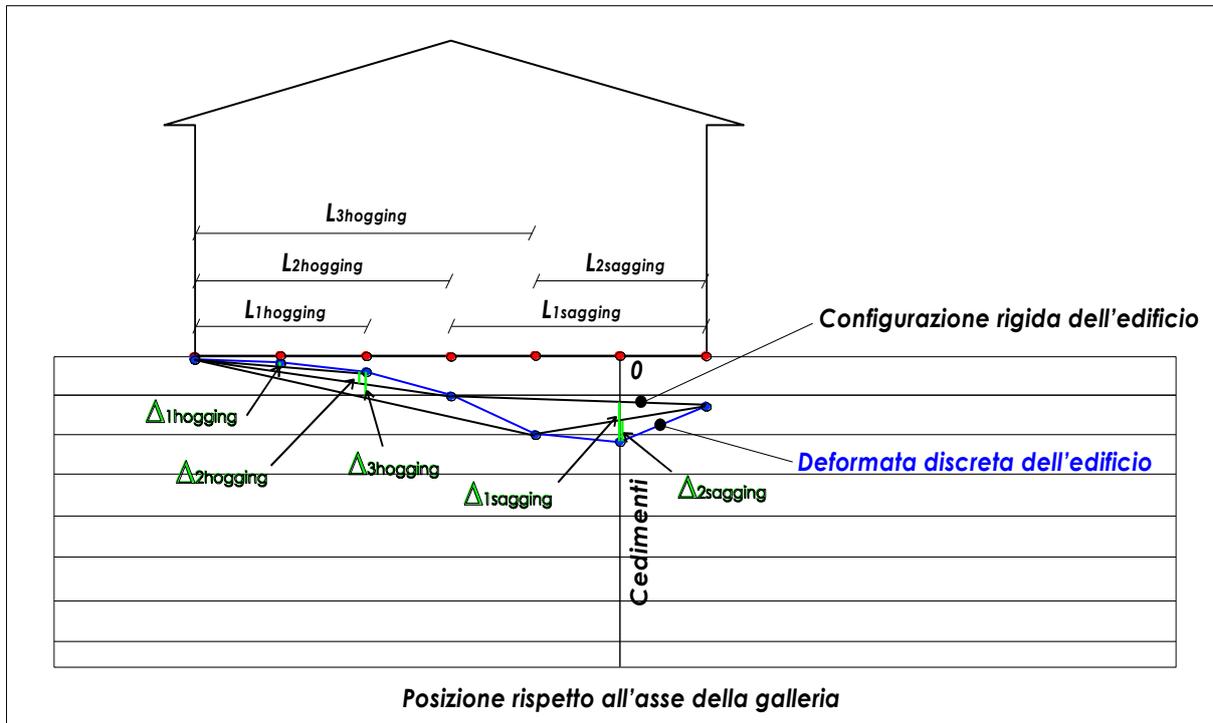


Figura 10.8 - Valori di inflessione D e della corrispondente porzione di edificio L

10.4.1.4. Calcolo della distorsione angolare β

La distorsione angolare rappresenta il rapporto fra il cedimento di due pilastri contigui di una struttura intelaiata e la distanza fra i pilastri stessi, come precedentemente esposto:

$$\beta_{\max} = (S_i - S_{i-1}) / L_i$$

Ove fosse di entità significativa la distorsione potrà essere depurata della rotazione rigida, definita come rapporto fra la differenza fra il cedimento del primo ed ultimo punto del profilo dell'edificio e la distanza orizzontale fra questi due punti:

$$\beta_{\text{rigida}} = (S_N - S_1) / L_{N,1}$$

In tal caso le soglie di attenzione/allarme saranno riferite alla distorsione depurata della aliquota attribuibile alla rotazione rigida:

$$\beta_{\max} = (S_i - S_{i-1}) / L_i - \beta_{\text{rigida}}$$

10.5. Monitoraggio topografico del Canale scolmatore

Si prevede il monitoraggio topografico superficiale in corrispondenza della canale scolmatore che viene sottopassato perpendicolarmente dalla galleria in prossimità dell'imbocco Est, con copertura di circa 5.6 m. I punti di misura si materializzano con capisaldi topografici a terra su pilastri di fondazione, posti a distanze lineari regolari (interasse 20 m) in prossimità del ciglio. Questi punti verranno rilevati con un teodolite, a cadenza giornaliera negli scavi. I capisaldi in oggetto sono quelli appartenenti alla sezione di rilievo topografico n. 3.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
Capisaldi topografici Canale scolmatore	6 capisaldi, posti trasversalmente alla galleria ad interasse di 5m	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno negli scavi; • 1 lettura/settimana dopo il passaggio del fronte, per il primo mese; • 1 lettura/mese per i successivi tre mesi; • 1 lettura/3 mesi fino a fine lavori.
* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate		

Tabella 10.9 – Quantità e frequenze misure topografiche Canale scolmatore

Nel seguito si riportano i valori massimi attesi di spostamento, che derivano dal modello di calcolo FEM, realizzato sulla sezione con massima copertura.

Progressiva	Descrizione sezione	Cedimento verticale Dy [mm], rivolto verso il basso
131+910.0	Sezione n°5, tipo C1B, canale scolmatore	-12 mm

Tabella 10.10 – Valori attesi misure topografiche Canale scolmatore

11. MONITORAGGIO DELLE PARATIE AGLI IMBOCCHI E DELLA USCITA DI SICUREZZA

Le opere d'imbocco sono costituite da paratie in jet-grouting e, per l'imbocco lato Milano, da due tratti di paratie di pali con un ordine di tiranti nelle tratta di massima altezza.

Alla progressiva 141+021.64 verrà, inoltre, realizzata un'uscita di sicurezza per consentire l'evacuazione sia dalla via di fuga del binario pari che del binario dispari. A tale scopo, ai lati della galleria naturale verranno realizzati due pozzi a pianta quadrata nei quali verranno collocati i vani scala delle uscite e che saranno collegati alla galleria naturale attraverso due cunicoli scavati in naturale a partire dalla galleria.

Nella seguente figura è riportata la planimetria dei pozzi dell'uscita di sicurezza.

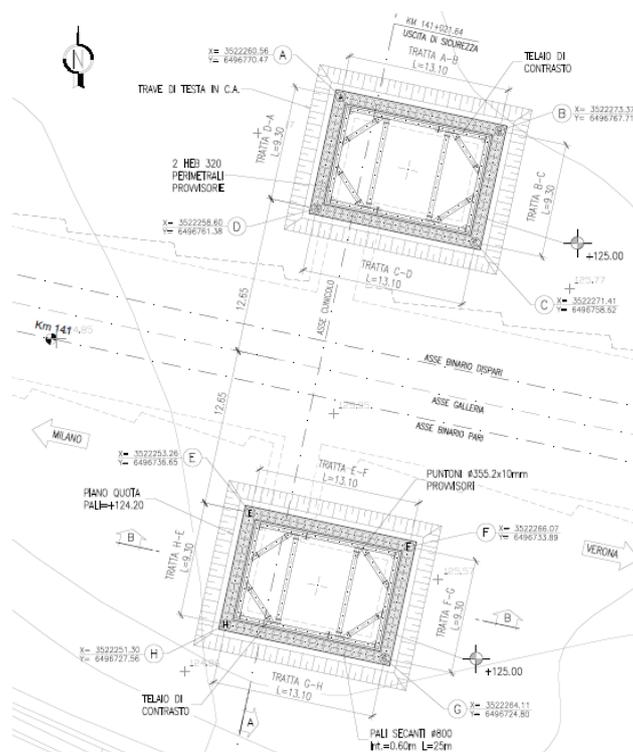


Figura 11.1 – Planimetria di scavo galleria artificiale San Giorgio est.

La dimensione dei pozzi è di 9.3 x 13.10 m per una profondità di scavo di circa 18 m. Lo scavo dei pozzi verrà realizzato sotto falda e sarà sostenuto in fase provvisoria da una paratia perimetrale di pali secanti del diametro di 800 mm a passo 0.6 m e lunghezza 25 m. I pali saranno resi solidali in testa per mezzo di una trave di coronamento in calcestruzzo armato e saranno contrastati da 4 ordini di telai di contrasto più un'ulteriore ordine posizionato a fondo scavo. Per impermeabilizzare la struttura è inoltre prevista la realizzazione di un tampone di fondo in jet-grouting dello spessore minimo di 4 m da realizzarsi dalla superficie prima dell'esecuzione dei pali. In Figura 11.2 è riportata una sezione che mostra degli interventi relativi allo scavo dei pozzi dell'uscita di emergenza.

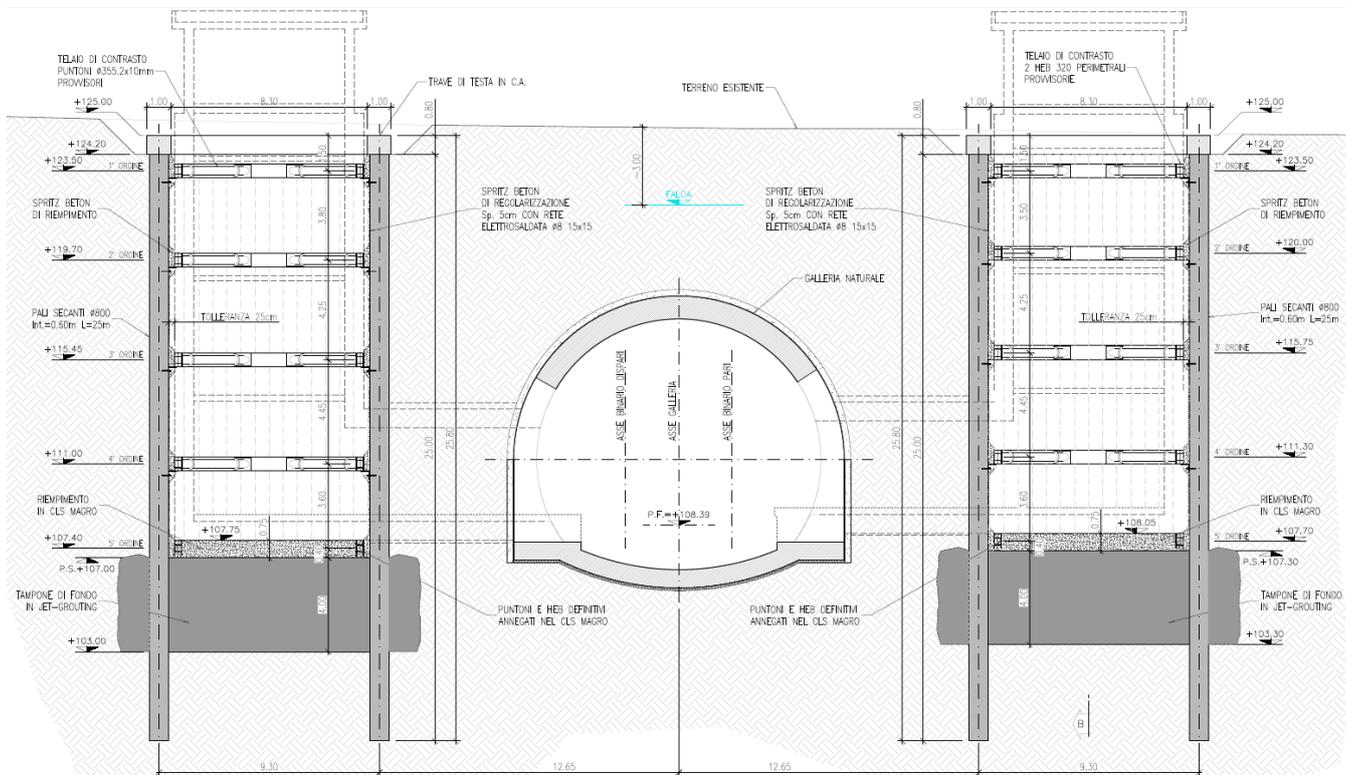


Figura 11.2 – Sezione trasversale degli interventi da realizzarsi per i pozzi delle uscite di emergenza.

L'uscita di sicurezza si realizza con paratie in pali secanti, per raggiungere le quote della galleria. La sezione di massima altezza di scavo è di circa 18.2 m ed è provvista di puntoni provvisori in acciaio, posti su quattro livelli di contrasto.

Per la descrizione dettagliata delle opere si fa riferimento alla relativa relazione tecnica.

Per queste opere si prevede di eseguire misure topografiche, misure del carico dei tiranti, misure di deformazione nei puntoni, misure inclinometriche e misure piezometriche.

Il sistema di monitoraggio previsto sarà realizzato su entrambi gli imbocchi, lato Milano e Verona, e sull'opera per uscita di emergenza e consentirà di determinare, durante la fase di costruzione, eventuali spostamenti atipici delle stesse e/o perdite di carico dei tiranti e di apportare gli eventuali interventi correttivi in funzione dell'entità delle anomalie riscontrate.

11.1. Misure topografiche

Sulle paratie agli imbocchi si posizionano mire ottiche poste su doppio livello. Il livello di sommità è sul cordolo, mentre quello sottostante è la trave di ripartizione inferiore o, se la paratia è sprovvista di tiranti, il paramento della stessa ad una quota sufficientemente elevata da garantire la tragguardabilità dei riscontri topografici.

Sulle paratie dell'uscita di emergenza le mire ottiche si posizionano una per lato sul cordolo di sommità e circa al di sotto del livello inferiore di contrasto.

La posizione dei riscontri topografici dovrà essere misurata prima dell'inizio degli scavi ("lettura di zero"), in modo tale da non essere influenzata dalle operazioni di scavo. Lo strumento di misura sarà costituito da una stazione dotata di teodolite e di un distanziometro elettronico che misureranno le posizioni delle mire ottiche rispetto ad un sistema fisso di coordinate. La precisione richiesta per la strumentazione è di 1 mm.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
Mire ottiche paratie imbocchi	32 mire ottiche, poste a passo 20m, su due allineamenti sovrapposti	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno negli scavi per il primo mese; • 2-3 letture/settimana negli scavi per i successivi 2-3 mesi; • 1 lettura/settimana fino a fine lavori.
Mire ottiche paratie uscita di sicurezza	16 mire ottiche, poste una per lato sul cordolo di sommità paratie e in corrispondenza del livello inferiore di contrasto	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno negli scavi per il primo mese; • 2-3 letture/settimana negli scavi per i successivi 2-3 mesi; • 1 lettura/settimana fino a fine lavori.

* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate

Tabella 11.1 – Quantità e frequenze misure topografiche paratie.

11.2. Celle di carico tiranti

Si posizionano due celle di carico per la paratia in pali dell'imbocco lato Milano, poste sui tiranti dell'ordine inferiore con la tensione maggiore, per misurare nel tempo il tiro effettivo a cui sono soggetti i tiranti. Le testate dove si prevederanno tali celle di misura dovranno essere accuratamente protette e sigillate per evitare il degrado dovuto agli agenti atmosferici.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
Celle di carico paratie imbocchi	2 celle di carico, poste sulle paratie lato Milano, su un allineamento di tiranti	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno negli scavi per il primo mese; • 2-3 letture/settimana negli scavi per i successivi 2-3 mesi; • 1 lettura/settimana fino a fine lavori.

* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate

Tabella 11.2 – Quantità e frequenze misure celle di carico tiranti.

11.3. Estensimetri a corda vibrante puntoni

Si posizionano estensimetri a corda vibrante in numero di due per ogni livello di contrasto sulle uscite di emergenza, per misurare nel tempo la tensione effettiva a cui sono soggetti i puntoni.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
estensimetri a corda vibrante paratie uscita di sicurezza	16 estensimetri, posti su due puntoni per ogni livello di contrasto	letture automatiche, 1lett/30min negli scavi fino alla posa del rivestimento definitivo

* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate

Tabella 11.3 – quantità e frequenze misure di carico puntoni

11.4. Misure inclinometriche

Il monitoraggio delle paratie di imbocco verrà integrato con l'installazione di 2 tubazioni inclinometriche, una per ogni imbocco, di lunghezza massima pari a 25 m. Le verticali inclinometriche dovranno essere ubicate a tergo delle paratie per consentire il controllo di eventuali movimenti di versante a seguito dell'esecuzione degli scavi.

La precisione delle misure con sonda inclinometriche non dovrà essere inferiore a 0.05 mm/m (1/20.000 sen α).



strumento	quantità e zona d'installazione	frequenza lettura *
inclinometri paratie imbocchi	2 strumenti, a servizio delle paratie ai due imbocchi, installati a distanza minima di 1.0m dal margine delle paratie	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno negli scavi per il primo mese; • 2-3 letture/settimana negli scavi per i successivi 2-3 mesi; • 1 lettura/settimana fino a fine lavori.
inclinometri paratie uscita di sicurezza	2 strumenti, a servizio delle paratie alle due uscite, installati a distanza minima di 1.0m dal margine delle paratie	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno negli scavi per il primo mese; • 2-3 letture/settimana negli scavi per i successivi 2-3 mesi; • 1 lettura/settimana fino a fine lavori.

* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate

Tabella 11.4 – quantità e frequenze misure inclinometriche paratie

11.5. Misure piezometriche

Il monitoraggio delle paratie di imbocco verrà svolto anche con l'installazione di 4 piezometri a tubo aperto, in prossimità alle tubazioni inclinometriche, uno per ogni imbocco e per ogni pozzo dell'uscita di emergenza, di lunghezza massima pari a 25 m.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
Piezometri paratie imbocchi	2 strumenti, a servizio delle paratie ai due imbocchi, installati a distanza minima di 1.0m dal margine delle paratie, accoppiati agli inclinometri	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno negli scavi per il primo mese; • 2-3 letture/settimana negli scavi per i successivi 2-3 mesi; • 1 lettura/settimana fino a fine lavori.
Piezometri paratie uscita di sicurezza	2 strumenti, a servizio delle paratie alle due uscite, installati a distanza minima di 1.0m dal margine delle paratie, accoppiati agli inclinometri	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno negli scavi per il primo mese; • 2-3 letture/settimana negli scavi per i successivi 2-3 mesi; • 1 lettura/settimana fino a fine lavori.

* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate

Tabella 11.5 – Quantità e frequenze misure piezometriche paratie

11.6. Frequenza delle misure

In fase di lettura si dovrà verificare l'assenza di spostamenti significativi dei punti di misura topografici e degli inclinometri messi in opera e, contemporaneamente, la tenuta dei tiro dei tiranti monitorati attraverso le celle di carico, e i valori di tensione nei puntoni trasversali. In fase progettuale gli spostamenti massimi calcolati sono dell'ordine di 1.0 cm: per altro, considerando gli errori strumentali e non escludendo locali assestamenti del terreno in fase di cantiere, nelle letture ottiche i capisaldi non dovranno presentare uno spostamento medio lungo il fronte di scavo maggiore di 1.5-2.0 cm.

Inizialmente e per un periodo non minore di un mese, si prevede una lettura giornaliera degli spostamenti e degli strumenti di misura suddetti, mentre successivamente, in assenza di spostamenti anomali, si predispose una cadenza delle letture di 2-3 volte a settimana per poter monitorare il comportamento della paratia.

Se non ci saranno risultati anomali sia del monitoraggio topografico dei punti e sia delle letture degli inclinometri e delle celle di carico, dopo un periodo di 2-3 mesi si potrà passare ad una lettura settimanale fino alla fine dei lavori.

12. CONCLUSIONI

Il sistema di monitoraggio da prevedere per la realizzazione della galleria naturale San Giorgio in Salici è strutturato per controllare il comportamento dell'ammasso negli scavi in sotterraneo ed all'aperto e per la misura degli spostamenti sulle seguenti infrastrutture:

- autostrada A4 interferente tra le progressive pk. 140+681.07 e 140+893.02;
- edificio interferente alla pk. 141+740.0;
- traliccio telecomunicazioni alla pk. 141+530.0;
- canale scolmatore in corrispondenza dell'imbocco Est.

Il piano delle misure è costituito da:

- Rilievi geologico-stratigrafici del fronte di scavo in galleria.
- Misure di estrusione del fronte con estensimetro incrementale (eventuali) in galleria.
- Misure di convergenza in galleria con sistema ottico.
- Misura della tensione nelle centine in galleria con estensimetri a corda vibrante.
- Misura della tensione nelle barre d'armatura con estensimetri a corda vibrante (eventuale).
- Misura della tensione nel rivestimento definitivo con martinetti piatti (eventuale).
- Misure di deformazione verticale ed orizzontale dei terreni in profondità con estensimetri a barre ed estenso-inclinometri.
- Misura dei cedimenti del terreno indotti dallo scavo in sotterraneo, ogni ventiquattro metri in asse alla galleria e attraverso sezioni trasversali all'asse con capisaldi topografici.
- Misure della falda con piezometri a tubo aperto.
- Controlli topografici delle paratie agli imbocchi con mire ottiche.
- Controllo del tiro nei tiranti sulle paratie con celle di carico.
- Misure inclinometriche a tergo delle paratie agli imbocchi.
- Misure piezometriche a tergo delle paratie agli imbocchi con piezometri a tubo aperto.
- Controlli topografici delle paratie all'uscita di sicurezza con mire ottiche.
- Controllo della tensione nei puntoni delle paratie all'uscita di sicurezza con estensimetri a corda vibrante.
- Misure inclinometriche a tergo delle paratie all'uscita di sicurezza.
- Misure piezometriche a tergo delle paratie all'uscita di sicurezza con piezometri a tubo aperto.
- Misure dalla superficie degli spostamenti tridimensionali sulla sede autostradale (guard-rail centrale e banchine laterali) con mire ottiche.
- Misure con inclinometri orizzontali delle deformazioni della piattaforma autostradale.
- Misura dei cedimenti edificio interferente con capisaldi topografici da livellazione.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
IN0R

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RO GN 040 0 003

Rev.
A

Foglio
51 di 51

- Controllo degli spostamenti con mire ottiche sul traliccio di telecomunicazioni.

Il monitoraggio si compone della strumentazione a presidio degli scavi in sotterraneo e delle opere all'aperto. Si ha il monitoraggio in corso d'opera, in concomitanza con gli scavi in sotterraneo ed all'aperto, ed il monitoraggio in fase d'esercizio, costituito dal rilievo della tensione nei rivestimenti e nelle armature. I valori attesi di spostamento derivano dai calcoli di dimensionamento, mentre le azioni correttive consistono nella definizione di più accelerate frequenze di lettura, variazioni nella sequenza di scavo, nell'incremento dei consolidamenti e dei supporti sulle paratie.