

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 LONATO (GN02)

Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00

Relazione di monitoraggio

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio Cepav due Consorzio Cepav due Il Direttore del Consorzio (Ing. T. Taranta)	Valido per costruzione
Data: _____	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 2 0 0	0 0 3	A

PROGETTAZIONE						IL PROGETTISTA	
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Data	
A	Emissione	REGE	22/11/18	MERLINI	22/11/18	22/11/18	 Ing. Davide Merlino Data: 22/11/2018
B							
C							

CIG. 751447334A

File: I NOR 1 EE2ROGN0200003A_10.doc



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

CUP: F81H91000000008

INDICE

1.	INTRODUZIONE	4
2.	ELABORATI DI RIFERIMENTO	7
3.	NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO	10
3.1.	NORMATIVE	10
3.2.	SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO	10
4.	SEZIONE TIPO E IMBOCCHI DELLA GALLERIA NATURALE	11
4.1.	SEZIONE TIPO	11
4.2.	IMBOCCHI	16
4.3.	BY-PASS E NICCHIE	17
5.	SISTEMA DI MONITORAGGIO	21
5.1.	PREMESSA	21
5.2.	DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO	21
5.3.	FASI DI CONTROLLO E MISURA	21
6.	MONITORAGGIO INTERNO ALLA GALLERIA	22
6.1.	MISURE DI CONVERGENZA CON SISTEMA OTTICO	22
6.1.1.	<i>Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti</i>	22
6.1.2.	<i>Sistema di acquisizione e di restituzione dei dati</i>	22
6.1.3.	<i>Documentazione</i>	22
6.2.	MONITORAGGIO DELLE TENSIONI DELLE ARMATURE	23
6.2.1.	<i>Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti</i>	23
6.3.	DIAGNOSTICA FRESA E PARAMETRI DA MONITORARE	23
6.3.1.	<i>Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti</i>	24
7.	MONITORAGGIO ESTERNO ALLA GALLERIA	25
7.1.	MISURE ESTENSO-INCLINOMETRICHE E PIEZOMETRICHE DALLA SUPERFICIE	25
7.2.	FREQUENZA DELLE MISURE	25
7.2.1.	<i>Documentazione</i>	25
7.3.	MONITORAGGIO TOPOGRAFICO DELLA SUPERFICIE	26

7.3.1.	<i>Volume perso nelle sezioni monitorate</i>	28
7.3.1.1.	<i>Rilievo cedimenti - procedura</i>	28
7.3.1.2.	<i>Definizione curva dei cedimenti - procedura</i>	28
7.3.1.3.	<i>Calcolo dell'area A, compresa tra i due profili - procedura</i>	29
7.3.1.4.	<i>Calcolo del valore del volume perso</i>	29
7.3.1.5.	<i>Valutazione del volume perso lungo il tracciato</i>	30
7.3.1.6.	<i>Rilievo dei cedimenti in asse galleria</i>	30
7.3.1.7.	<i>Calcolo del valore del coefficiente di proporzionalità</i>	30
7.3.1.8.	<i>Calcolo del volume perso corrispondente alla progressiva del punto in asse considerato</i>	30
7.3.1.9.	<i>Aggiornamento del valore del parametro di proporzionalità</i>	30
7.4.	MONITORAGGIO TOPOGRAFICO DELL'AUTOSTRADA A4	31
7.5.	MONITORAGGIO DEGLI EDIFICI INTERFERENTI	31
7.5.1.	<i>Rapporto d'inflessione (Δ/L) e distorsione angolare β tra due pilastri</i>	36
7.5.1.1.	<i>Rilievo cedimenti S - procedura</i>	37
7.5.1.2.	<i>Definizione della deformata dell'edificio e calcolo dei valori d'inflessione Δ</i>	37
7.5.1.3.	<i>Calcolo dei valori di rapporto di inflessione Δ/L</i>	38
7.5.1.4.	<i>Calcolo della distorsione angolare β</i>	39
8.	CONCLUSIONI	40

1. INTRODUZIONE

La presente relazione ha lo scopo d'illustrare il piano di monitoraggio geotecnico e strutturale relativo alla galleria naturale a doppia canna Lonato appartenente alla tratta ferroviaria ad alta velocità Brescia – 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 A4 e l'integrità dei fabbricati interferenti.

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. 116+218.13 e 116+500.00, per le parti poste nel bacino di subsidenza;
- edifici interferenti dislocati lungo il tracciato nel bacino di subsidenza.

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 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.

Nell'ambito del tracciato della linea ferroviaria Alta Velocità / Alta Capacità Milano-Verona, la galleria Lonato, comprende la galleria naturale a doppia canna più lunga della tratta, con una lunghezza complessiva di circa 4.8 km. L'opera complessiva, compresa tra le progressive 114+565.00 e 122+249.89 riferite all'asse del binario pari, è suddivisa in quattro parti d'opera distinte (WBS):

- GALLERIA ARTIFICIALE LONATO OVEST (GA06), corrispondente ad una galleria artificiale di lunghezza complessiva pari a 1425 m, con un primo tratto monocanna, a doppio binario, con sezione scatolare, ed un secondo tratto a canne separate con sezione scatolare;
- GALLERIA NATURALE LONATO (GN02), corrispondente ad una galleria naturale a doppia canna a singolo binario, scavata in meccanizzato con lunghezze di 4782 m (binario pari) e 4751.02 m (binario dispari), tra le progressive 115+990 e 120+772;
- GALLERIA ARTIFICIALE LONATO EST (GA07), corrispondente ad una galleria artificiale di lunghezza complessiva pari a 1356.35 m, con un primo tratto monocanna, a doppio binario, con sezione scatolare, ed un secondo tratto a canne separate con sezione scatolare;
- TRINCEA DI APPROCCIO LONATO EST (TR05), corrispondente a una trincea di muri ad U, della lunghezza di 68.55 m, di approccio alla galleria artificiale est.

Per quanto concerne l'opera principale costituita dalla galleria naturale, il cui scavo è previsto con l'impiego di una TBM del tipo EPB, le caratteristiche geometriche essenziali sono le seguenti:

- lunghezza binario pari = 4782.0 m;
- lunghezza binario dispari = 4751.02 m;
- raggio planimetrico minimo = 7130 m;
- pendenza longitudinale massima = 0.605 %;
- diametro di scavo \approx 10 m, diametro interno galleria = 8.8 m (Figura 1.1);
- interasse fra le due canne \approx 30 m (Figura 1.2).

La Galleria Lonato è ubicata poco a sud dell'omonimo abitato di Lonato in adiacenza ad una zona industriale; il tracciato ferroviario interferisce dopo circa 350 m dal primo inizio (nel verso delle progressive crescenti) con l'Autostrada A4 Milano – Venezia, al di sotto della quale dovranno passare le due canne della galleria Lonato con una copertura, rispetto all'autostrada, di circa 10 m.

Dal punto di vista geologico il territorio interessato dalla galleria è situato nella porzione occidentale dell'anfiteatro morenico gardesano, la sua posizione risulta esterna rispetto a più giovani depositi wurmiani localizzati tra Desenzano e Peschiera e in posizione più interna rispetto ai più antichi depositi morenici mindeliani. Il territorio è caratterizzato da un graduale passaggio dai depositi fluvio-glaciali che fanno transizione, senza brusche interruzioni di facies, ai cordoni morenici Rissiani, che conservano con rilievo decametrico, ancora una buona evidenza morfologica.

Delimitati dai cordoni morenici relativamente impermeabili, ci sono depositi glacio-lacustri di estensione reale limitata; in questi depositi risultano prevalenti le frazioni limose ed argillose. Il tracciato ferroviario, in questa zona, interseca dapprima depositi fluvio-glaciali essenzialmente ghiaioso-sabbiosi, entrando successivamente nei depositi glaciali del cordone morenico rissiano. Il corpo morenico risulta articolato in più cordoni con andamento N-S o NO-SE, intervallati da depositi fluvio-glaciali e in condizioni particolari da depositi glaciolacustri.

Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RO GN 020 0 003

Rev.
A

Foglio
6 di 40

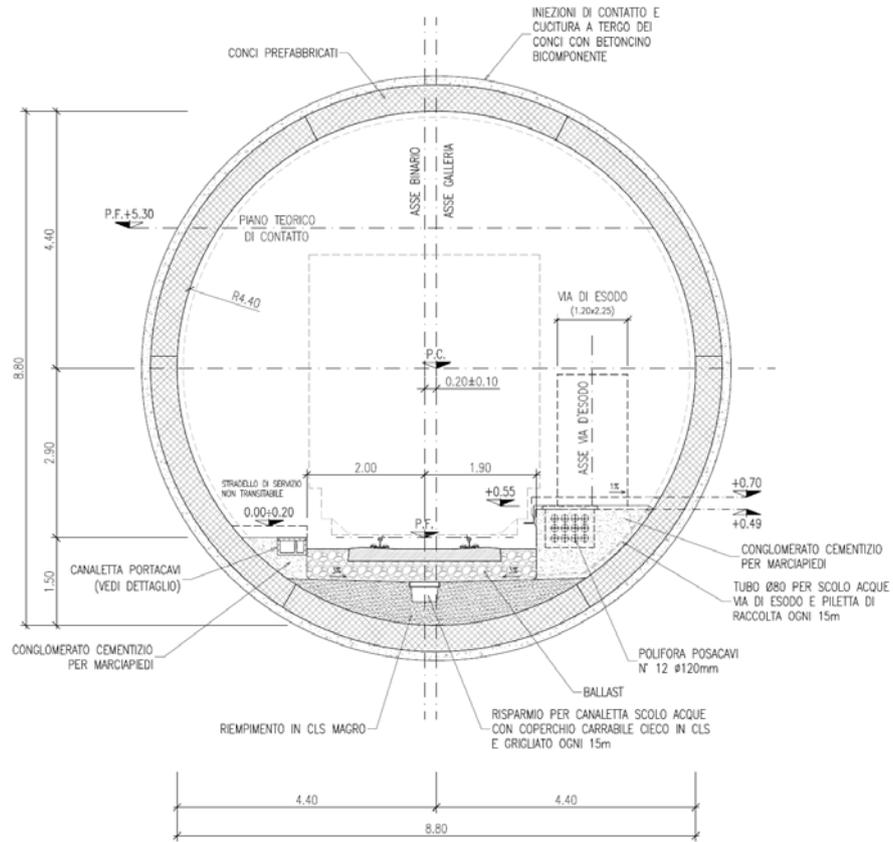


Figura 1.1 – Progetto Esecutivo galleria Lonato, sezione tipo a singolo binario.

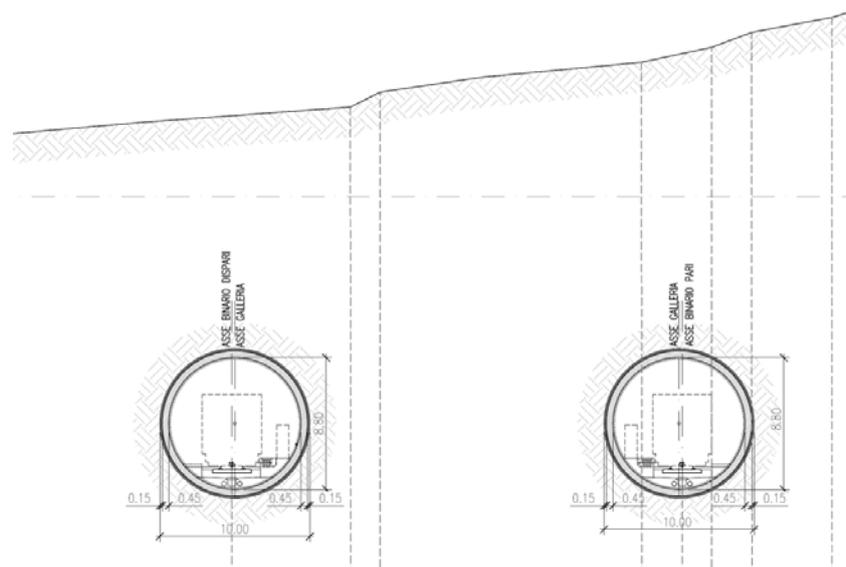


Figura 1.2 – Sezione trasversale tipica con posizione delle due canne monobinario alla progressiva chilometrica 116+300 circa.

Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RO GN 020 0 003Rev.
AFoglio
7 di 40**2. ELABORATI DI RIFERIMENTO**

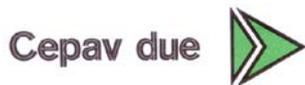
CODICE										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	P	5	GN	02	0	0	001	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Planimetria indagini geognostiche (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	P	5	GN	02	0	0	002	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Planimetria indagini geognostiche (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	R	B	GN	02	0	0	001	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Relazione geotecnica
INOR	11	E	E2	R	I	GN	02	0	0	001	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Relazione di smaltimento acque di piattaforma ed esterne
INOR	11	E	E2	R	I	GN	02	0	0	002	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Relazione idraulica per lo smaltimento delle acque meteoriche
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 1/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 2/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 3/3)
INOR	11	E	E2	F	5	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Profilo longitudinale (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	F	5	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Profilo longitudinale (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	W	9	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali (Tav. 1 di 4)
INOR	11	E	E2	W	9	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali (Tav. 2 di 4)
INOR	11	E	E2	W	9	GN	02	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali (Tav. 3 di 4)
INOR	11	E	E2	W	9	GN	02	0	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali (Tav. 4 di 4)
INOR	11	E	E2	W	Z	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezione trasversale tipologica della galleria
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	0	0	001	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Opere di drenaggio delle acque di piattaforma (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	0	0	002	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Opere di drenaggio delle acque di piattaforma (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	A	T	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Tabella materiali
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione generale
INOR	11	E	E2	C	L	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo
INOR	11	E	E2	C	L	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo - allegati numerici
INOR	11	E	E2	S	P	GN	02	0	1	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Specifiche Tecniche Macchina di scavo
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	0	1	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione tecnica sui parametri operativi della macchina EPB
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di monitoraggio
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	0	1	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Valutazione statistica dei trovanti presenti lungo il tracciato della galleria
INOR	11	E	E2	R	O	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Modalità di esecuzione degli interventi di consolidamento
INOR	11	E	E2	S	R	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Analisi di rischio estesa
INOR	11	E	E2	F	6	GN	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Profilo longitudinale geotecnico di previsione e di monitoraggio - Tav. 1/2
INOR	11	E	E2	F	6	GN	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Profilo longitudinale geotecnico di previsione e di monitoraggio - Tav. 2/2
INOR	11	E	E2	C	L	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo degli effetti indotti in superficie
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria bacino di subsidenza con individuazione degli edifici (tav 1/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria bacino di subsidenza con individuazione degli edifici (tav 2/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria bacino di subsidenza con individuazione degli edifici (tav 3/3)
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria Monitoraggio esterno. Tav 1 di 3
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	005	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria Monitoraggio esterno. Tav 2 di 3
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	006	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria Monitoraggio esterno. Tav 3 di 3
INOR	11	E	E2	P	7	GN	02	A	0	007	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Monitoraggio Sede autostradale
INOR	11	E	E2	W	Z	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Monitoraggio Esterno - Sezioni con strumentazione.
INOR	11	E	E2	W	Z	GN	02	A	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Monitoraggio Interno - Sezioni
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 1 - planimetria e sezioni Tav. 1/2
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 1 - planimetria e sezioni Tav. 2/2
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 2 e 3 - Planimetria e sezioni
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 4 e 5 - Planimetria e sezioni
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	005	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 6 e 7 - Planimetria e sezioni
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	A	0	006	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Consolidamenti intervento 8 - Planimetria e sezioni
INOR	11	E	E2	P	B	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Sezioni e schema planimetrico anello
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Viste frontali e posizioni concio di chiave
INOR	11	E	E2	D	Z	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Schema anello coordinate punti di riferimento
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo A

Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RO GN 020 0 003Rev.
AFoglio
8 di 40

CODICE										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo B
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo C
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo D
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	005	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo E
INOR	11	E	E2	B	C	GN	02	0	5	006	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Carpenteria concio tipo F
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	02	0	5	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Particolari costruttivi
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	001	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo A
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo B
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	003	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo C
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	004	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo D
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	005	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo E
INOR	11	E	E2	B	K	GN	02	0	5	006	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Armatura concio tipo F
INOR	11	E	E2	P	B	GN	02	0	5	002	GALLERIA NATURALE LONATO (GN02) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Conci prefabbricati - Andamento conci in rettilineo e in curva
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	0	8	001	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Planimetria percorsi d'esodo e segnaletica di emergenza. (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	02	0	8	002	GALLERIA LONATO (GA06 - GI03 - GN02 - GI05 - GA07 - TR05) - Da Pk 114+565.00 a Pk 122+197.10 - Planimetria percorsi d'esodo e segnaletica di emergenza. (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	C	L	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo by-pass e nicchie
INOR	11	E	E2	C	L	CM	01	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Relazione di calcolo by-pass e nicchie - Allegati numerici
INOR	11	E	E2	W	B	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sezioni trasversali tipologiche delle nicchie
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei conci - Nicchie NRDG+FG e BTS/TT - Tipo 1
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei conci - Nicchie NRDG+FG e BTS/TT - Tipo 2
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei conci - Nicchie TT - Tipo 1
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei conci - Nicchie TT - Tipo 2
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	005	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei conci - Nicchie TE
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	006	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei conci - By-pass di sicurezza
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	007	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Sistema di sostegno in fase di demolizione dei conci - By-pass MT
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TE - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	008	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchia TE - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TE - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TE - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	004	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie NRDG+FG - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	009	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchia NRDG+FG - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	005	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie NRDG+FG - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	006	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie NRDG+FG - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	007	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TT - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	010	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchia TT - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	008	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TT - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	009	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie TT - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	010	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie BTS/TT - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	011	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie BTS/TT - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	011	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie BTS/TT - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	012	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Nicchie BTS/TT - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	013	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass di sicurezza - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	012	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass di sicurezza - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	013	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass di sicurezza - Carpenteria
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	014	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass di sicurezza - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	015	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass MT - Scavi e consolidamenti
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	014	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass MT - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	01	0	0	015	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass MT - Carpenteria

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RO GN 020 0 003Rev.
AFoglio
9 di 40

CODICE											DESCRIZIONE
INOR	11	E	E2	B	B	CM	01	0	0	016	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - By pass MT - Armatura
INOR	11	E	E2	P	7	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 1/3)
INOR	11	E	E2	P	7	CM	01	0	0	002	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 2/3)
INOR	11	E	E2	P	7	CM	01	0	0	003	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Planimetria (Tav. 3/3)
INOR	11	E	E2	B	X	CM	01	0	0	001	GALLERIA NATURALE LONATO NICCHIE E BY-PASS (CM01) - Da Pk 115+990.00 a Pk 120+772.00 - Collegamenti equipotenziali masse metalliche

3. NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO

3.1. Normative

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

- Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 (NTC 2008) : "Norme tecniche per le costruzioni"
- Legge 05.11.1971 n. 1086 : "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Raccomandazioni A.I.C.A.P. del Maggio 1993 : "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce".
- Regolamento U.E. nr. 1299/2014 della commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea. Pubblicato su Gazzetta Ufficiale anno 156° n°10 del 5 febbraio 2015.
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 28 ottobre 2005. Sicurezza nelle Gallerie Ferroviarie.

3.2. Specifiche Tecniche di Riferimento

- 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. SEZIONE TIPO E IMBOCCHI DELLA GALLERIA NATURALE

4.1. Sezione tipo

La galleria verrà realizzata mediante scavo meccanizzato utilizzando una fresa scudata ad attacco integrale, del tipo a contropressione di terreno al fronte (TBM-EPB), in grado di affrontare lo scavo in terreni incoerenti o poco coerenti anche in presenza di falda, con la capacità di adattarsi alla variabilità imposta dal contesto geotecnico lungo il tracciato ed all'eterogeneità dei materiali.

Le caratteristiche dell'anello di rivestimento della galleria scavata in scavo meccanizzato con le seguenti:

- diametro interno: 8.80 m
- spessore conci: 0.45 m
- lunghezza conci: 2.00 m
- tipologia di anello: 6 conci (senza il concio di chiave come mostrato nelle sottostanti Figure)

E' prevista un'armatura tipo dei conci costituita da:

- armatura circonferenziale: composta da due ordini di ferri (B450C), per un totale di 16+16 Φ 16.
- armatura longitudinale: 40 Φ 10
- armatura perimetrale: 2 Φ 8
- armatura di rinforzo per la spinta dei martinetti: 1+1 Φ 10 passo 15 cm

Gli elementi prefabbricati in calcestruzzo devono presentare una elevata resistenza meccanica e precisione geometrica. La tenuta idraulica del rivestimento sarà garantita da guarnizioni in gomma montate sul perimetro del concio e da iniezioni a tergo del concio che vanno ad intasare lo spazio anulare fra profilo di scavo ed estradosso concio.

Tali iniezioni saranno realizzate in continuo a tergo dello scudo onde cementare e solidarizzare l'anello al terreno circostante, riempiendo il prima possibile lo spazio anulare e contrastando l'insorgere di potenziali fenomeni di volume perso in superficie.

Nel progetto si è previsto di utilizzare un anello di tipo universale. Mediante la rotazione dell'anello rispetto al proprio asse è possibile sfalsare i giunti longitudinali tra i conci e seguire l'andamento piano-altimetrico del tracciato.

I conci verranno assemblati all'interno dello scudo e collegati gli uni agli altri mediante barre guida e bulloni lungo i giunti circonferenziali (concio-concio) e connettori lungo i giunti longitudinali (anello-anello).

La macchina di scavo esegue la spinta per l'avanzamento attraverso una serie di martinetti agenti sui conci in precedenza montati. Il calcolo delle spinte necessarie all'avanzamento è riportato nel Capitolo 6 della presente relazione. Tali spinte risultano esattamente definite e controllabili nell'ambito dell'attività di guida dalla macchina di scavo.



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

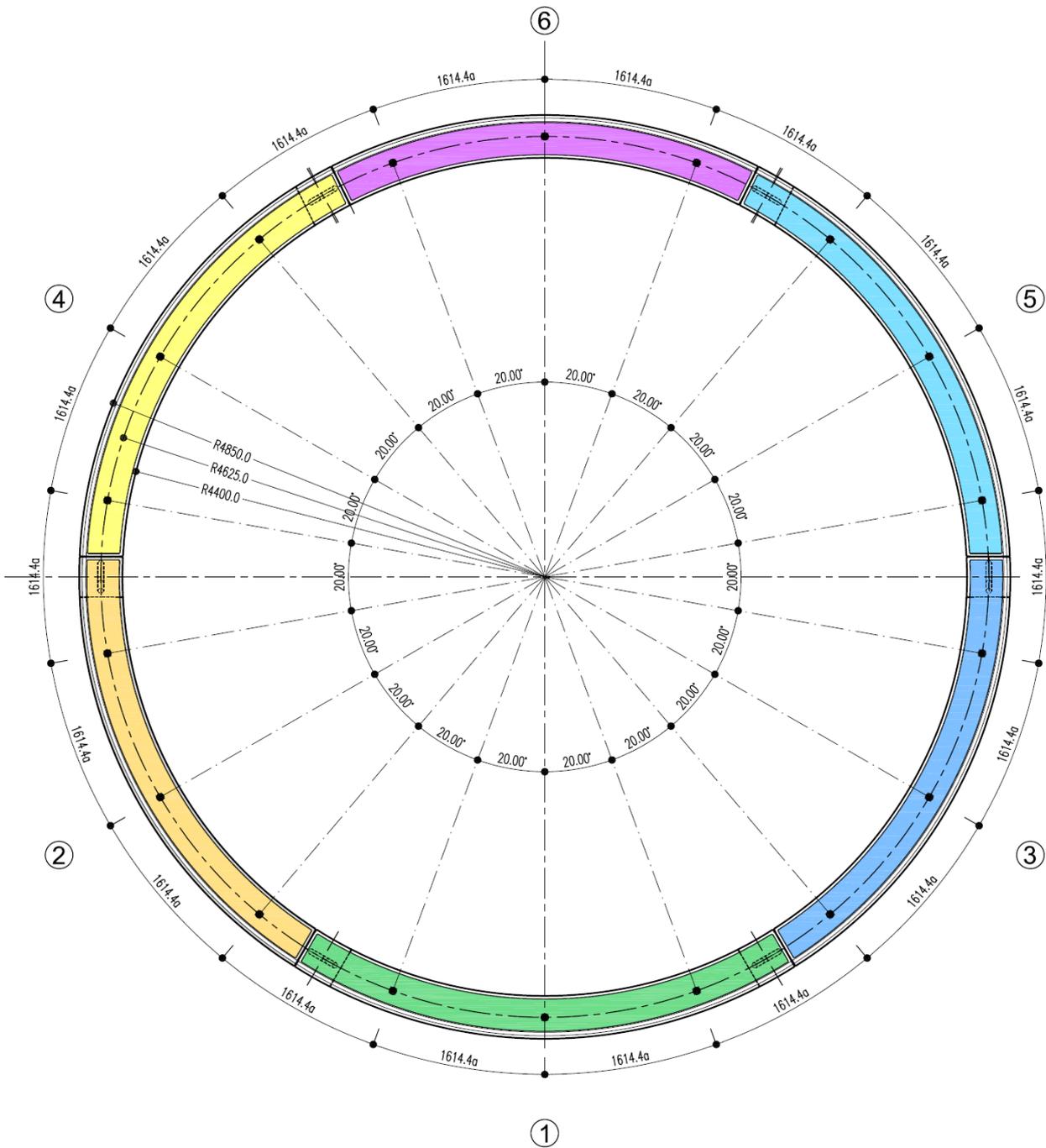
Codifica Documento
E E2 RO GN 020 0 003

Rev.
A

Foglio
13 di 40

ANELLO IN CONCI PREFABBRICATI VISTA SUPERFICIE DI CONTATTO A-A

scala 1:50



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

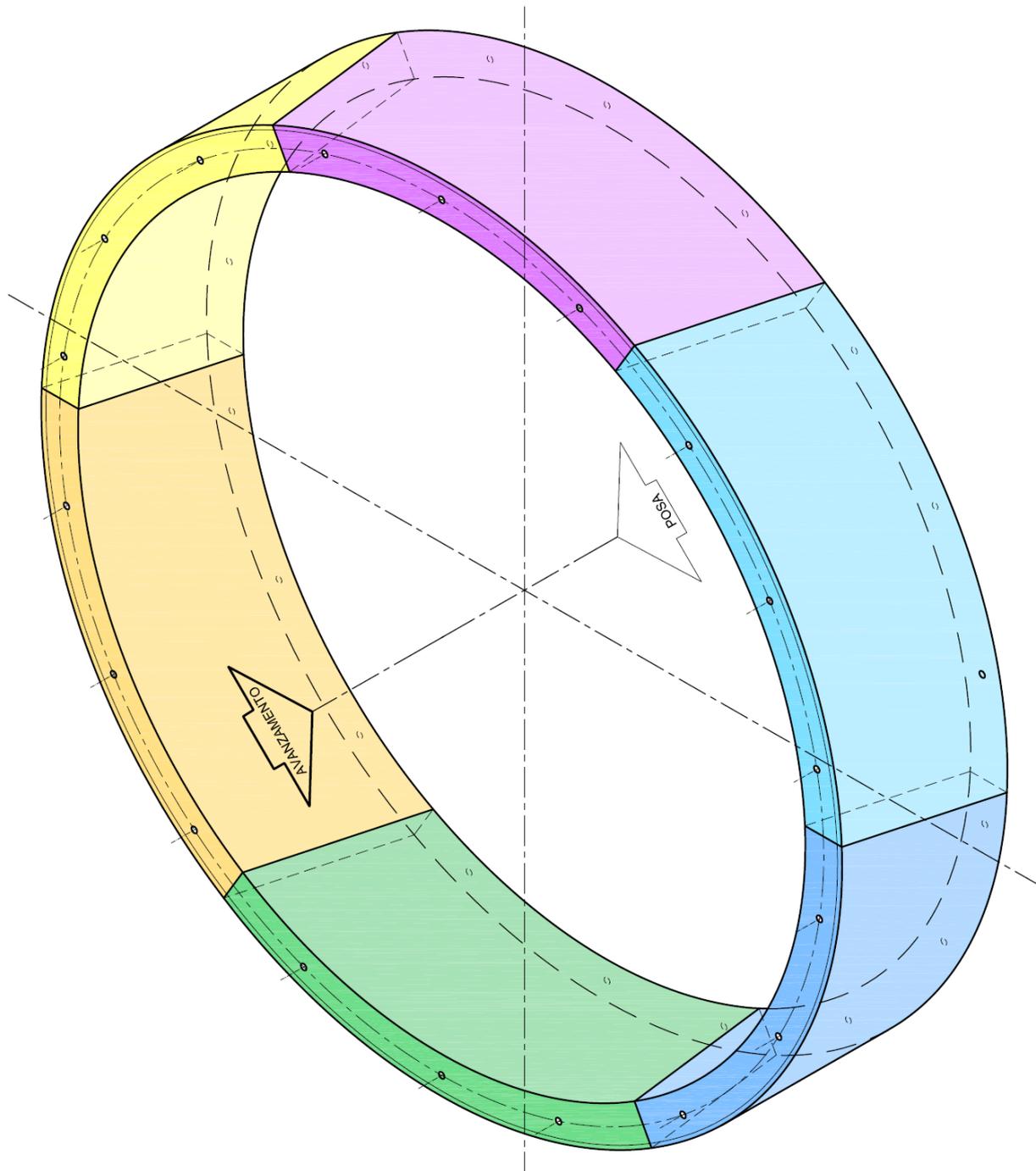
Codifica Documento
E E2 RO GN 020 0 003

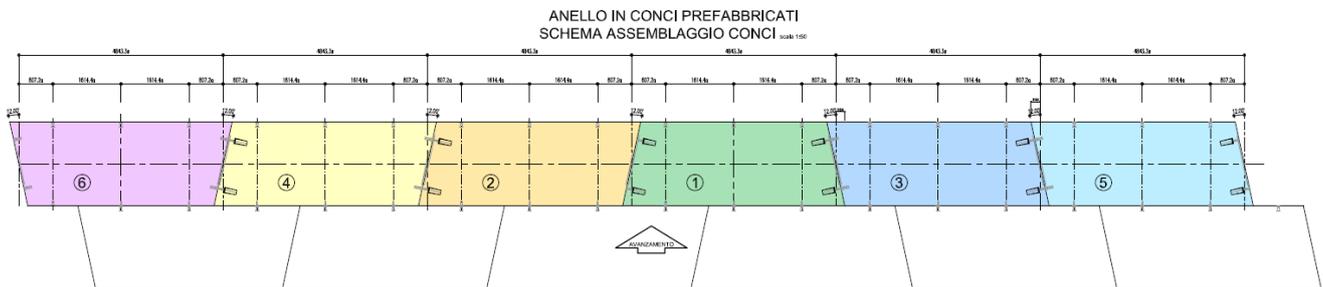
Rev.
A

Foglio
14 di 40

ANELLO IN CONCI PREFABBRICATI

VISTA ASSONOMETRICA ANELLO scala 1:50





ANELLO IN CONCI PREFABBRICATI
SEZIONE 2-2 scala 1:50

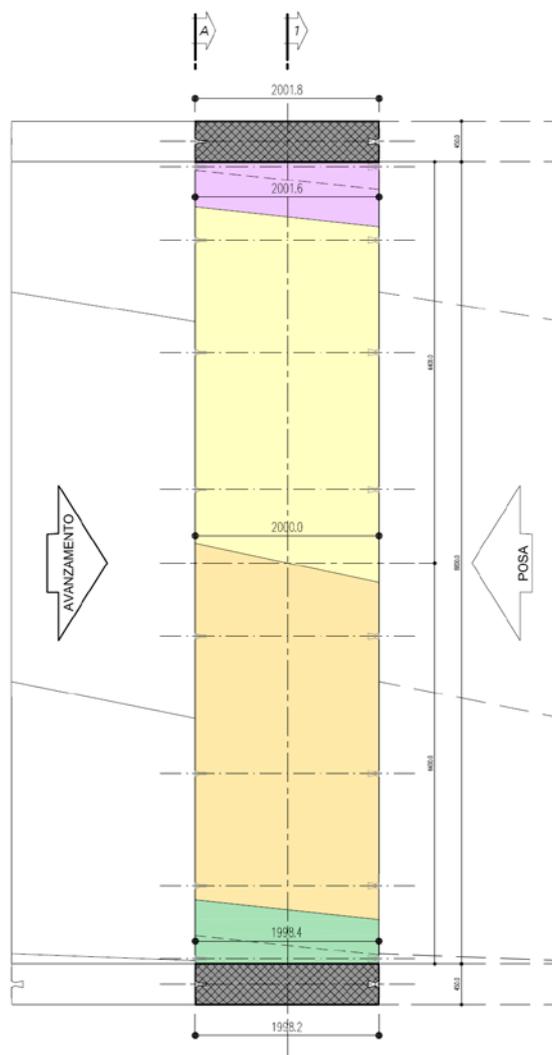


Figura 4.1– Anello in conci prefabbricati – sezioni trasversali, viste e rappresentazione tridimensionale.

4.2. Imbocchi

I due imbocchi sono stati modificati rispetto a quelli previsti dal Progetto Definitivo. Più precisamente invece di paratie in jet – grouting si sono adottate paratie di pali del diametro $\phi = 1200$ mm disposti ad interasse di 1.4 m.

Di seguito, si riportano alcune delle principali considerazioni che hanno portato al cambiamento della tipologia di entrambi gli imbocchi.

- Trattandosi della zona di partenza della TBM-EPB, è necessario ottenere il massimo spazio possibile tenendo conto che sulla base dell'ormai usuale prassi è possibile l'attacco diretto dello scavo con la TBM-EPB, a partire dallo scavo della stessa paratia, mediante opportuna sella in cls e un adeguato telaio di spinta. A questo riguardo il classico andamento planimetrico ad "arco" della paratia in jet – grouting è poco adatto agli ingombri di una TBM, anche con riferimento alla superficie "piana" della testa fresante della TBM (diametro di circa 10 m).
- Le opere di sostegno di tali imbocchi sono destinate, come da cronoprogramma, a restare per un periodo di tempo estremamente lungo. Vista la delicatezza dell'intera gestione dello scavo meccanizzato, l'opera di sostegno deve garantire un particolare elevato grado di sicurezza anche con riferimento ad eventuali comportamenti geotecnici di "creep" dei terreni interessati dallo scavo. Inoltre, vista la natura discretamente permeabile dei terreni, è importante che l'opera di sostegno sia in grado di contrastare efficacemente un eventuale innalzamento eccezionale della falda in periodi particolarmente piovosi e anche nel caso di eventi alluvionali. A quest'ultimo riguardo, si è ritenuto che una paratia costituita da pali di grosso diametro fosse in grado di garantire più elevati margini di sicurezza rispetto al tipico setto di terreno trattato in jet - grouting.

Nella Figura 4-2 è riportato uno stralcio planimetrico della soluzione adottata per l'imbocco lato Verona; analoga soluzione è stata adottata per l'imbocco lato Milano.

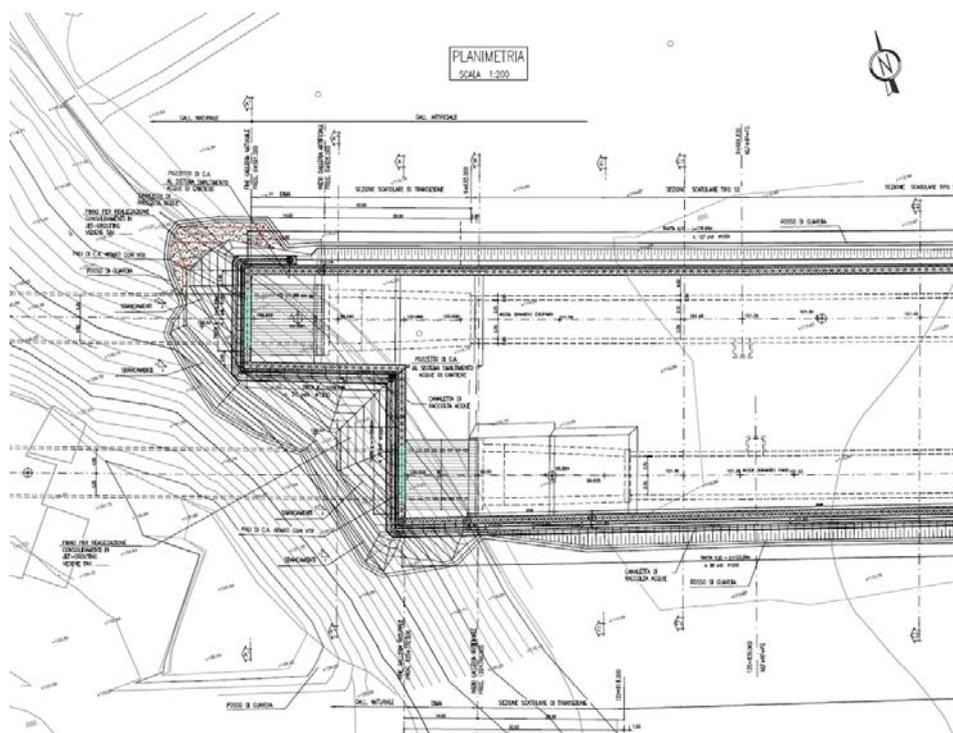
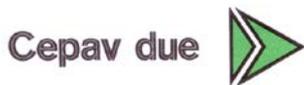


Figura 4-2: Galleria Lonato – Stralcio planimetrico dell'imbocco lato Verona con l'adozione di paratia in pali di grande diametro ($\phi = 1200$ mm).

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RO GN 020 0 003

Rev.
A

Foglio
17 di 40

Per entrambi gli imbocchi, rimandando agli elaborati grafici per i dettagli, si possono indicare le principali fasi costruttive:

1. esecuzione di un intervento di consolidamento in jet – grouting del terreno in corrispondenza del primo tratto di scavo in naturale della galleria mediante TBM - EPB;
2. realizzazione delle paratie di pali di grande diametro;
3. esecuzione delle travi di coronamento della paratia;
4. ribasso ed esecuzione dei tiranti (ove presenti);
5. completamento degli scavi fino al piano di imposta della galleria artificiale di transizione;
6. realizzazione della dima di attacco davanti alla paratia;
7. realizzazione dell'arco rovescio della sezione di transizione policentrica, che costituirà nella prima fase la sella per il montaggio e spinta dello scudo e della macchina;
8. montaggio dello scudo al di fuori della dima;
9. spinta dello scudo fino al fronte della paratia e montaggio all'esterno e dentro la dima di un certo numero di anelli prefabbricati per la contro spinta in fase di attacco;
10. realizzazione di un tratto di calotta di galleria artificiale necessario a contrastare la contropinta ed intasamento del gap tra i conci e la galleria artificiale stessa;
11. messa in opera della struttura di contropinta in posizione finale al di fuori della galleria artificiale realizzata;
12. prima spinta ed inizio dello scavo meccanizzato.

In configurazione finale rimarrà in opera quindi un tratto con i conci prefabbricati all'interno della galleria artificiale.

Le geometrie delle opere di imbocco sono state studiate prevedendo che gli scavi con la TBM – EPB possano iniziare dall'imbocco lato Verona, scavando per prima la canna relativa al binario dispari; una volta che la TBM – EPB raggiungerà l'imbocco lato Milano sarà opportunamente smontata e riportata nuovamente all'imbocco lato Verona per realizzare la seconda canna, relativa al binario pari.

4.3. By-pass e nicchie

Lungo la galleria naturale sono previsti 10 by-pass di sicurezza per il collegamento fra le due canne, posizionati ogni 500 m, ed un ulteriore by-pass nel quale è prevista l'installazione di una cabina MT. Nella seguente tabella sono riepilogate le progressive di ubicazione dei by pass.

Tabella 4.1 – Ubicazione by pass.

N° by-pass	Progressiva chilometrica (binario pari)
3	116+160
4	116+660
5	117+160
6	117+660
7	118+160
cabina MT	118+425
8	118+660
9	119+160
10	119+660
11	120+160
12	120+660

L'esecuzione dei by-pass è prevista in tradizionale con scavo a piena sezione secondo l'approccio progettuale ADECO-RS. Si prevede di scavare i by-pass eseguendo dei consolidamenti per impermeabilizzare e consolidare la zona di terreno a tergo degli anelli. Da una delle due canne verranno realizzate mediante tubi valvolati in vetroresina delle iniezioni lungo tutto il perimetro di scavo e all'interno del volume scavato. Realizzate queste, si procederà a montare il telaio di sostegno dei conci e successivamente a demolire i conci secondo le geometrie riportate negli elaborati grafici. In seguito all'avanzamento dello scavo, verrà realizzato il getto dei rivestimenti definitivi in tre fasi come riportato negli elaborati grafici.

Considerata che la quasi totalità dei by-pass lungo tutta la tratta della linea sarà realizzata in terreni con un contenuto maggiore di frazione a grana grossa e comportamento incoerente del materiale si è definito l'applicazione di una sola sezione tipo.

Viste le condizioni idrauliche al contorno per limitare le venute d'acqua al fronte si prevedono trattamenti (da realizzare prima dello scavo dall'interno della galleria) al contorno dello scavo per ridurre la permeabilità e migliorare la resistenza con tubi in VTR (2vlv/m) iniettati con miscele cementizie.

Per il consolidamento del fronte sono previste da 36 iniezioni di miscele cementizie mediante tubi in VTR $\phi 60/40$. Per poter sigillare il fronte da possibili distacchi di materiale sciolto localmente e dove necessario può venir eseguito sul fronte d'avanzamento uno strato di betoncino proiettato fibrorinforzato dello spessore di circa 10 cm ogni sfondo. È previsto l'avanzamento a piena sezione con sfondi da 1.0 m.

Il consolidamento al contorno è realizzato mediante 27 iniezioni di miscele cementizie mediante tubi in VTR $\phi 60/40$.

Lo scavo dei by-pass prevede un sostegno di prima fase costituito da 2 IPN180/1.0 metro e calcestruzzo fibrorinforzato proiettato dello spessore di 25 cm.

Il rivestimento definitivo in calcestruzzo armato ha spessore di 0.8 m in calotta e di 0.90 m in corrispondenza dell'arco rovescio. Nei tratti di innesto con le gallerie di linea lo spessore del rivestimento in calotta è maggiorato a 1 m, come riportato negli elaborati grafici. Nelle figure che seguono sono riportati gli interventi di consolidamento e la carpenteria della sezione tipo di by-pass.

Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RO GN 020 0 003

Rev.
A

Foglio
19 di 40

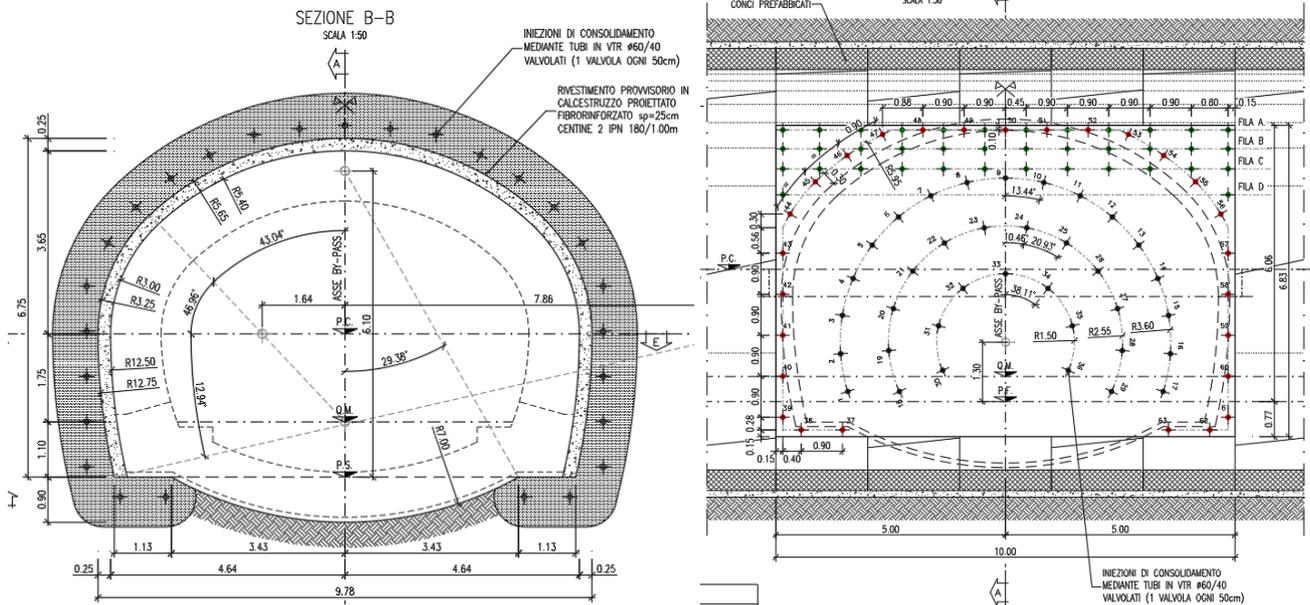


Figura 4.3: By pass - Interventi di consolidamento e sostegno di prima fase.

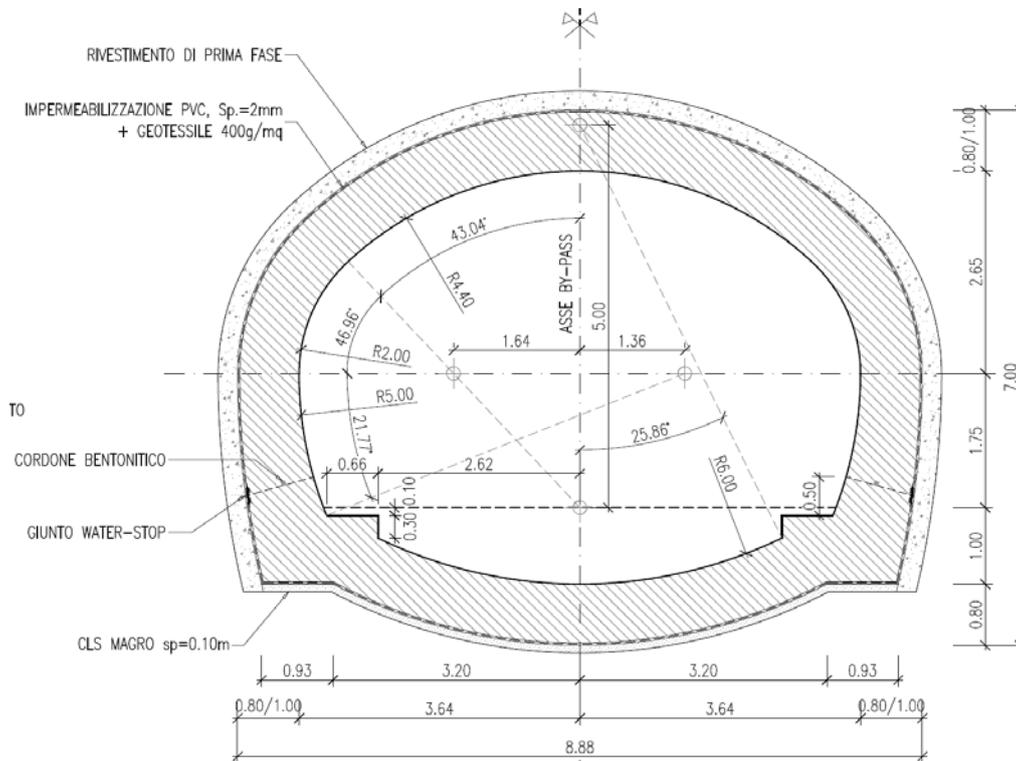


Figura 4.4: By pass - Carpenteria rivestimento definitivo.

Inoltre la galleria comprende, per tutte le esigenze sia di sicurezza sia di impiantistica, tutta una serie di nicchie laterali, in totale sono previste 4 differenti tipologie denominate: (1) NRDG+FG; (2) TT; (3) TE; (4) BTS/TT. L'ubicazione delle nicchie è riportata negli elaborati grafici.

Preventivamente allo scavo delle nicchie il terreno circostante verrà consolidato per mezzo di iniezioni cementizie realizzate mediante tubi valvolati in vetroresina secondo gli schemi riportati nei relativi elaborati grafici. In seguito

alla realizzazione dei consolidamenti verrà installato il sistema di sostegno dei conchi e successivamente inizieranno prima le attività di demolizione dei conchi e poi lo scavo della nicchia. Il sostegno di prima fase degli scavi è costituito da centine HEB 180 a passo 1 m ed uno strato di 25 cm di calcestruzzo proiettato fibrorinforzato, ad eccezione delle nicchie TE per cui è previsto l'utilizzo di centine HEB 200 a passo 1 m e dello stato di 25 cm di calcestruzzo proiettato fibrorinforzato. Il rivestimento definitivo delle nicchie è previsto in calcestruzzo armato dello spessore di 40 cm per le nicchie NRDG+FG, TT e BTS/TT e di 60 cm per le nicchie TE, in corrispondenza dell'innesto con le gallerie di linea tali spessori sono maggiorati come riportato nei rispettivi elaborati grafici. In sono riportati i consolidamenti e le carpenterie delle nicchie NRDG+FG.

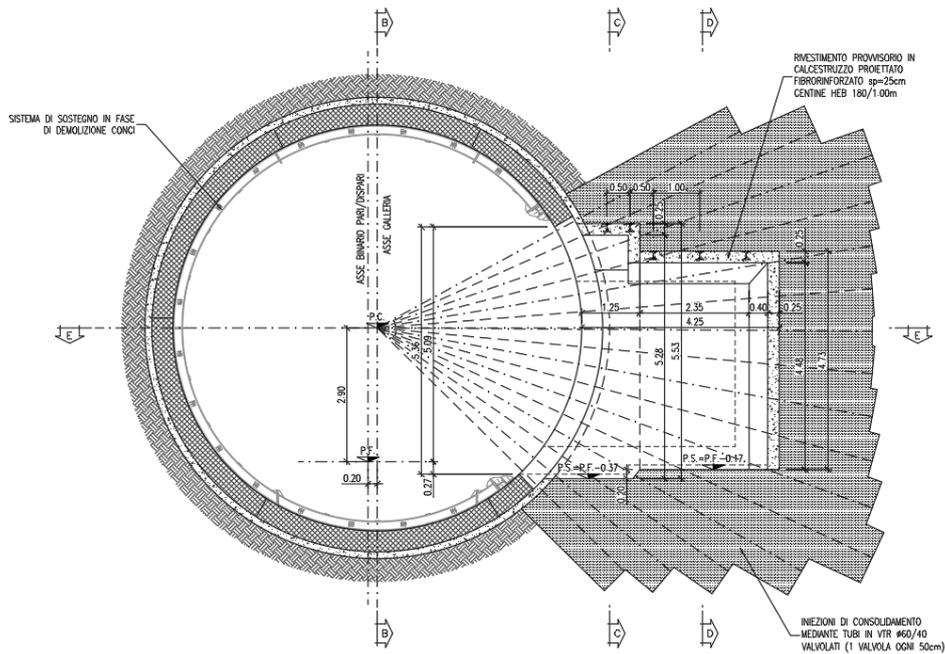


Figura 4.5 – Nicchie – Interventi di consolidamento e sostegno di prima fase.

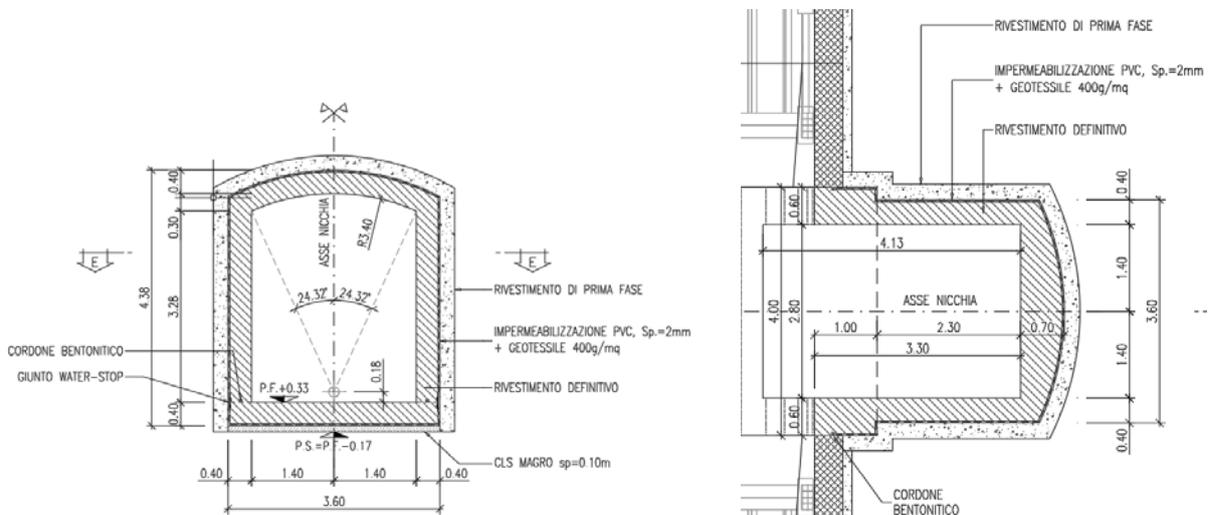


Figura 4.6 – Nicchie – Carpenteria rivestimento definitivo.

5. SISTEMA DI MONITORAGGIO

5.1. Premessa

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

- 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.

5.2. Definizione del sistema di monitoraggio

Il piano delle misure del sistema di monitoraggio da prevedere per la costruzione della galleria Lonato è costituito da:

- Misure di convergenza in galleria con sistema ottico.
- Misura della tensione nelle barre d'armatura con estensimetri a corda vibrante;
- Monitoraggio parametri macchina della TBM.
- 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 venti 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.
- 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 sugli edifici interferenti con capisaldi topografici da livellazione e con mire ottiche.

5.3. Fasi di controllo e misura

A priori vengono distinte due fasi di controllo e misura:

1. monitoraggio in corso d'opera;
2. monitoraggio in fase d'esercizio.

6. MONITORAGGIO INTERNO ALLA GALLERIA

Per il monitoraggio interno si prevedono misure in galleria, costituite da rilievi della convergenza con sistema ottico, e da misure di tensione nelle armature del rivestimento definitivo.

6.1. 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 supporto cementati nel rivestimento in conci, ad una distanza minima dalla coda della TBM, allo scopo di registrare per intero i valori deformativi dell'anello, in seguito alla sua messa in opera.

Queste misure permetteranno di verificare le ipotesi di progetto, la risposta del terreno di scavo ed il comportamento deformativo del rivestimento definitivo, consentendo una taratura ed una ottimizzazione delle modalità di conduzione della TBM.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
mira ottica misurazione di convergenza	5 mire ottiche, per 27 sezioni (135 mire); Stazioni di misura delle convergenze poste in corrispondenza delle sezioni complete di monitoraggio.	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno fino alla stabilizzazione del movimento registrato; • 1 lettura/mese per i tre mesi successivi alla stabilizzazione del movimento; • 1 lettura/3mesi fino al completamento della linea.

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

Tabella 7-1 – quantità e frequenze misure di convergenza

6.1.1. Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti

Per la Galleria Lonato verranno installate 5 mire ottiche (riflettori) per ogni stazione di misura delle convergenze, 3 in calotta e 2 sui piedritti. La stazione di misura delle convergenze è prevista in corrispondenza delle sezioni complete di monitoraggio.

Le misure verranno effettuate con le seguenti cadenze: La prima lettura ("zero") viene effettuata subito dopo l'installazione del concio strumentato e delle relative mire. Si effettua una lettura al giorno fino alla stabilizzazione del movimento registrato, una lettura al mese per i tre mesi successivi ed una lettura ogni tre mesi fino al completamento della linea.

6.1.2. 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).

6.1.3. 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 Direzioni Lavori entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo, sia su supporto magnetico che cartaceo.

¹ Prismi cardanici riflettenti o catadiottri

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.

6.2. Monitoraggio delle tensioni delle armature

Si prevede la misura delle tensioni sulle armature in fase di scavo ed eventualmente in fase di esercizio.

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 12 coppie di strumenti posizionati sulle armature metalliche alle estremità dei 6 conci costituenti l'anello. Si possono prevedere n° 27 sezioni strumentate.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
Estensimetri a corda vibrante sulle armature di rivestimento	28 estensimetri, per 27 sezioni (756 strumenti)	Frequenza in fase di scavo: Frequenza in esercizio: 1lett/mese. In assenza di variazioni la frequenza verrà opportunamente diminuita
* in presenza di misurazioni anomale, le frequenze andranno opportunamente incrementate		

Tabella 7-2 – quantità e frequenze estensimetri a corda vibrante

6.2.1. Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti

Per la Galleria Lonato verranno installate 14 coppie di strumenti per ogni stazione di misura delle convergenze, quattro estensimetri per ogni concio strumentato. Gli anelli da strumentare risultano 27, posti in corrispondenza alle sezioni complete di monitoraggio. La lettura di zero è da effettuare prima dell'installazione del concio.

L'accesso in galleria è previsto con frequenza mensile, pertanto i dati potranno essere scaricati con tale frequenza. Le letture si effettuano invece in automatico, con frequenza di 4 letture/giorno dal montaggio dell'anello strumentato, fino al primo scarico dati. Successivamente si prosegue con 1 lettura/giorno fino alla stabilizzazione del movimento registrato. In seguito le frequenze risultano di 1lettura/settimana e scarico dei dati con frequenza trimestrale fino al completamento della linea.

6.3. Diagnostica fresa e parametri da monitorare

Nell'ambito di tale monitoraggio, una serie di parametri fondamentali per la valutazione delle modalità con cui procede lo scavo vengono trasferite con cadenza oraria al sistema di monitoraggio generale che provvederà alla loro pubblicazione sulla piattaforma web utilizzata ed alla loro ulteriore elaborazione al fine di ottenere i grafici per l'interpretazione ingegneristica.

I parametri che vengono acquisiti, in parte recepiti direttamente ed in parte ottenuti per elaborazione dei precedenti, sono i seguenti:

- progressiva fronte di scavo;
- velocità di avanzamento;
- pressione al fronte;
- spinta complessiva al fronte;
- momento torcente fresa;
- volume estratto alla coclea;
- peso del terreno estratto al nastro;
- pressione di iniezione della miscela di intasamento a tergo dei conci;

- portata di iniezione della miscela di intasamento a tergo dei conci;
- densità del materiale in camera di scavo (valore calcolato in base ai sensori di pressione) ;
- volume della schiuma iniettata per condizionamento del terreno.

Si intende che per i dati qui sopra elencati verranno riportati i diagrammi relativi a tutti i sensori installati sulla fresa. L'insieme dei parametri rilevati e registrati nell'ambito del sistema di controllo complessivo della fresa che non rientrano fra quelli elencati saranno gestiti separatamente e con procedure diverse da quelle qui descritte.

Si prevede la seguente configurazione complessiva per i dati di monitoraggio sopra elencati:

- N. 1 valore di progressiva in funzione del tempo;
- N. 8 valori di pressione in camera di scavo (uno per ciascun sensore);
- N. 3 valori di pressione entro la coclea (uno per ciascun sensore);
- N. 8 valori di volume di schiuma iniettata (ogni valore sarà il cumulato durante la singola spinta);
- N. 6 valori di pressione uno per ciascuna delle 6 linee di iniezione (uno per ciascun sensore);
- N. 6 valori di volume di malta iniettata di ciascuna linea (ogni valore sarà il cumulato durante la singola spinta);
- N. 1 valore cumulato di volume di malta iniettata (ogni valore sarà il cumulato durante la singola spinta);
- N. 1 valori di peso reale per ciascuna bilancia (ogni valore sarà il cumulato durante la singola spinta);
- N. 1 valore di peso a cui viene sottratto il peso condizionamento per ciascuna bilancia (ogni valore sarà il cumulato durante la singola spinta);
- N. 1 valore di coppia;
- N. 1 valore di spinta;
- N. 1 valore della velocità di rotazione;
- N. 1 valore di velocità di avanzamento;
- N. 4 valori di estensione misurati sui pistoni di riferimento.

6.3.1. Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti

I sensori installati sulla fresa vengono letti con frequenza di pochi secondi ed integralmente registrati da parte della società Affidataria dello scavo delle gallerie.

La quota parte dei dati citata nel precedente vengono trasferiti con frequenza di 1 ora al server di elaborazione che in automatico, e pertanto nello stretto giro dei tempi tecnici di elaborazione, provvede ad inviarli alla piattaforma di monitoraggio che, ancora automaticamente, provvede alla pubblicazione.

7. 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.

7.1. 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 27 sezioni complete di monitoraggio, come si riporta sugli elaborati grafici di riferimento.

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 4.0-79.60m in funzione della copertura.

Per la misura degli spostamenti, nelle tre dimensioni, del terreno ai lati della galleria, si prevede l'installazione di 2 tubazioni estenso-inclinometriche per ognuna delle due gallerie. Le tubazioni, verranno installate a distanza di 2m dalla galleria e avranno base posta a 7,5 m 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 22.5-98.0 m in funzione della copertura. 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)	108 strumenti. Estenso-inclinometri in numero di 4 strumenti su ogni sezione, installati ai lati delle gallerie sulle sezioni complete, per 27 sezioni complete.	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno negli scavi quando il fronte si trova a distanza minore di $1.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura in fase di avvicinamento (z_0 è il dislivello tra il piano campagna e l'asse galleria). Le letture proseguono fino a quando il fronte si mantiene a distanza minore di $2.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura; • 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	54 strumenti. Estensimetri a barre in numero di 2 strumenti su ogni sezione, installati in asse alla galleria sulle sezioni complete, per 27 sezioni complete.	
piezometri galleria	108 strumenti. Estenso-inclinometri in numero di 4 strumenti su ogni sezione, installati ai lati delle gallerie sulle sezioni complete, per 27 sezioni complete. Piezometri accoppiati all'inclinometro	

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

Tabella 8-1 – quantità e frequenze misure estenso-inclinometriche e piezometriche

7.2. 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 $1.5 \cdot z_0$ in avvicinamento allo strumento di misura, considerando z_0 come il dislivello tra il piano campagna e l'asse galleria. Le letture proseguono fino a quando il fronte si mantiene a distanza minore di $2.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura. 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.

7.2.1. 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;

Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RO GN 020 0 003Rev.
AFoglio
26 di 40

- 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.

7.3. 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 di 20 m. Trasversalmente al tracciato l'interasse è variabile tra 2.5m/20m, e l'allineamento dei capisaldi si estende fino a dove i cedimenti attesi risultano superiori a 0.5 cm.

I capisaldi trasversali si posizionano sulle 27 sezioni complete di monitoraggio e su 10 sezioni di monitoraggio topografico, come riportato sugli elaborati grafici.:

Strumento	Zona d'installazione	Frequenza lettura *
capisaldi topografici galleria	Capisaldi posti in asse, ad interdistanza di 20m. Capisaldi posti lungo le sezioni trasversali complete e topografiche, ad interasse variabile di 2.5m/20m	<ul style="list-style-type: none"> • 2 lettura/giorno negli scavi quando il fronte si trova a distanza minore di $1.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura in fase di avvicinamento (z_0 è il dislivello tra il piano campagna e l'asse galleria). Le letture proseguono fino a quando il fronte si mantiene a distanza minore di $2.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura; • 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 8-2 – quantità e frequenze misure topografiche scarpata autostradale

I capisaldi topografici sulle sezioni si posizionano in funzione della copertura, come illustrato nei seguenti schemi tipologici:

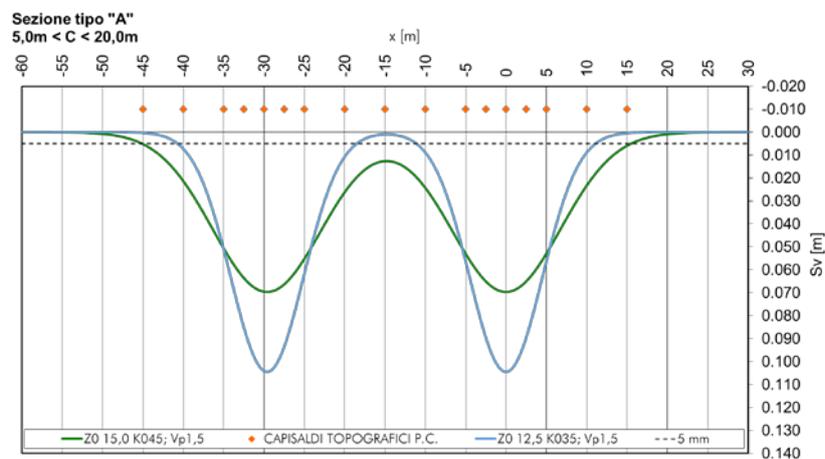


Figura 8-1: Sezione topografica tipo A

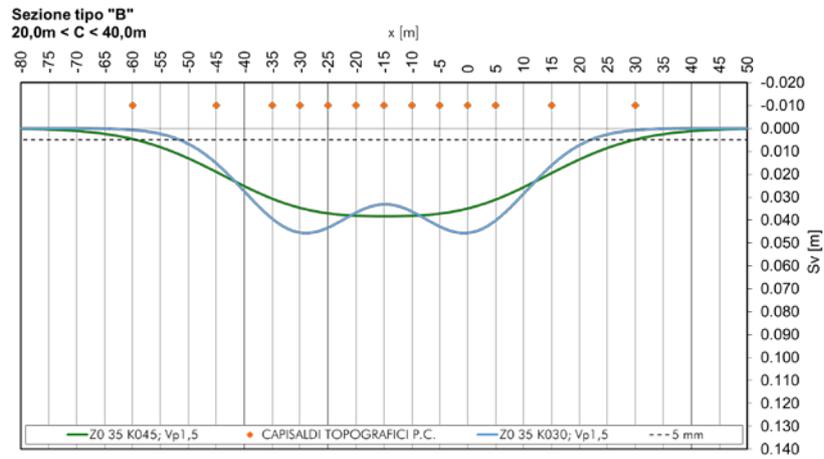


Figura 8-2: Sezione topografica tipo B

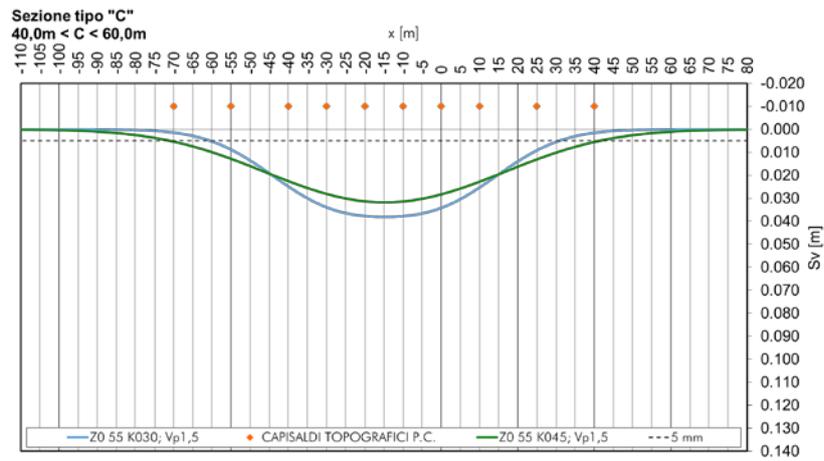


Figura 8-3: Sezione topografica tipo C

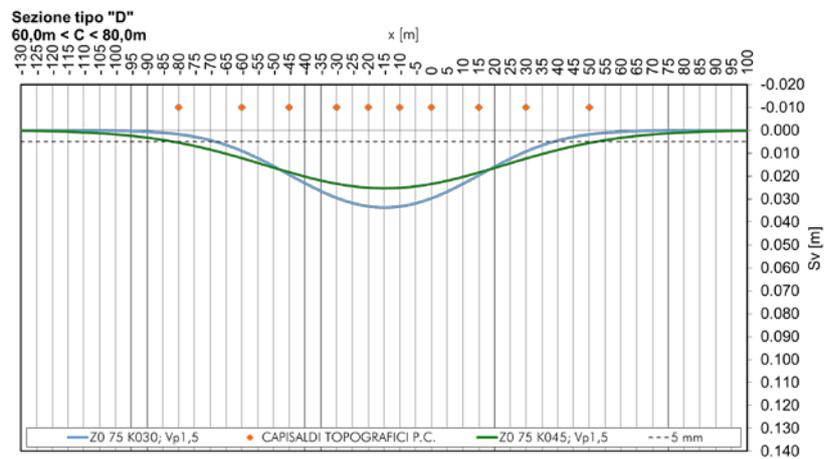


Figura 8-4: Sezione topografica tipo D

7.3.1. 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.

7.3.1.1. 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, si veda la figura seguente:



Figura 8-5: Proiezione delle misure sulla traccia di riferimento delle letture

7.3.1.2. 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, si veda la figura seguente:

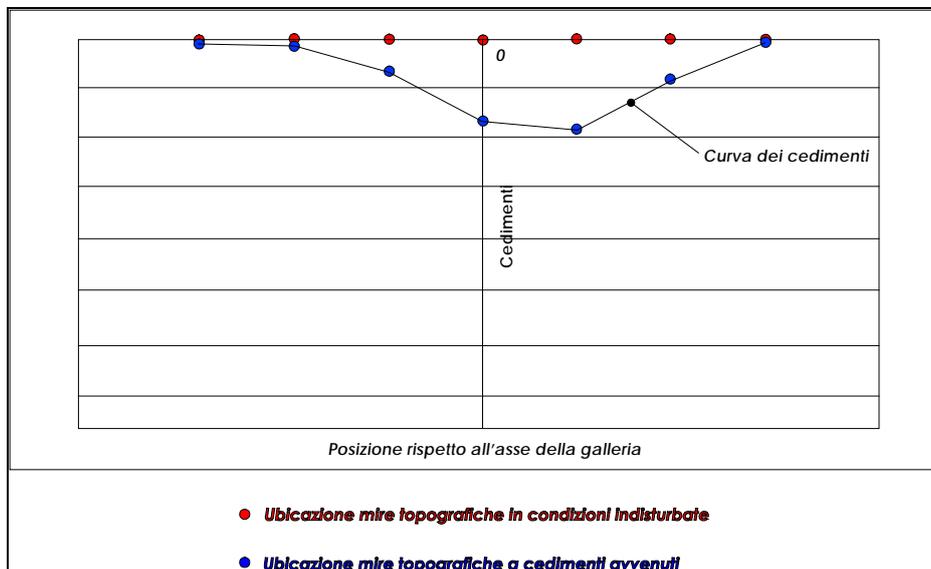


Figura 8-6: Piano di rappresentazione cedimenti del p.c.

7.3.1.3. 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, si veda la figura seguente:

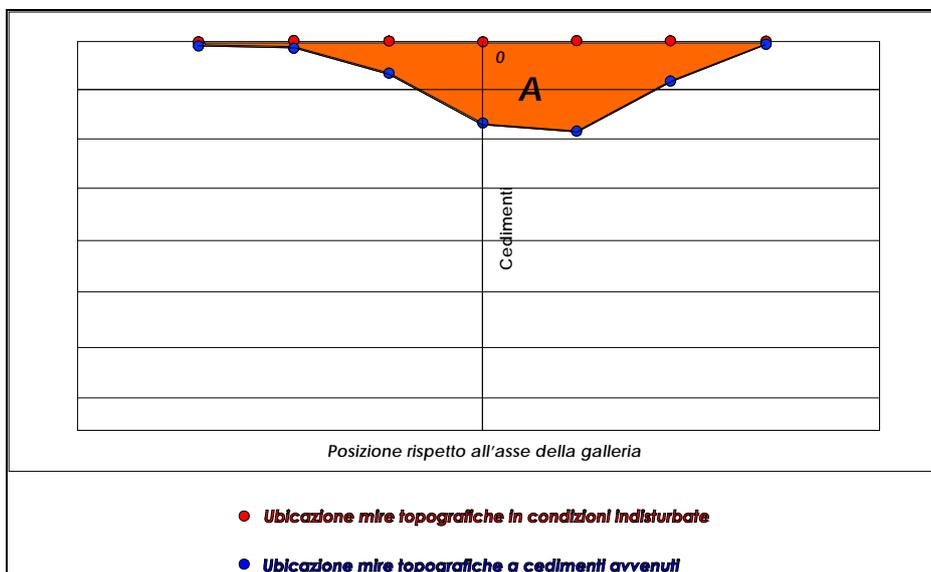


Figura 8-7: Area compresa tra i due profili

7.3.1.4. 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 prima canna,

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

La stima del volume perso andrà eseguita per lo scavo di entrambe le canne.

7.3.1.5. 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:

- rilievo dei valori di cedimento lungo i punti posti in asse galleria;
- calcolo del valore del coefficiente di proporzionalità fra il V_p e il valore del cedimento massimo corrispondenti alla sezione di monitoraggio precedente;
- 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 della fresa.

7.3.1.6. 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.

7.3.1.7. 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 manifestatesi per intero i cedimenti dovuti al passaggio della fresa.

7.3.1.8. 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.

7.3.1.9. 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.

7.4. Monitoraggio topografico dell'autostrada A4

L'Autostrada A4 è composta da una doppia carreggiata con tre corsie più corsia di emergenza per senso di marcia, di larghezza complessiva pari a 32.5 m sulla piattaforma. Nel tratto in esame l'autostrada è in trincea. Al margine Nord è presente una barriera stradale sul lato Milano, che progressivamente viene sostituita da un muro di sostegno in c.a. di altezza $H_{max} = 6$ m, con barriera antirumore in sommità andando in direzione Verona. Centralmente si trova il guard-rail spartitraffico che delimita le due carreggiate. Al margine Sud è presente la barriera stradale sul lato Milano, ed un muro di sostegno in direzione Verona, con $H_{max} = 4$ m. L'autostrada viene sotto attraversata dalla galleria, con angolo di incidenza pari a 9° e copertura variabile da 10.20 m a 14.20 m.

Si prevede il monitoraggio topografico dell'autostrada A4 mediante la posa di mire ottiche a distanze regolari (interasse 10 m). I guard-rail a Nord, centrale e a Sud dell'autostrada vengono monitorati con installazione di mire ottiche sugli elementi metallici. I muri di sostegno vengono monitorati con mire ottiche alla base ed in sommità per il controllo delle rotazioni.

Questi punti verranno rilevati con un teodolite durante le iniezioni di trattamento dal piano campagna, durante le eventuali iniezioni di sollevamento e quando il fronte si trova a distanza minore di 50 m dallo strumento di misura.

Viene inoltre installato un sistema di 11 inclinometri orizzontali (T-Shape) installati ortogonalmente alla direzione dell'A4, su un tratto centrale di lunghezza pari a circa 250 m, per il monitoraggio trasversale della pavimentazione autostradale.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
mire ottiche guard-rail e margini Autostrada	193 mire ottiche, poste ad interasse di 10 m lungo il guard rail centrale, il margine Nord ed il margine Sud. Doppio livello di strumenti sui muri di sostegno. Nei tratti compresi nel bacino di subsidenza dovuto agli scavi per la galleria.	<ul style="list-style-type: none"> • 2 letture/giorno negli scavi quando il fronte si trova a distanza minore di $1.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura in fase di avvicinamento (z_0 è il dislivello tra il piano campagna e l'asse galleria). Le letture proseguono fino a quando il fronte si mantiene a distanza minore di $2.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura; • 1 lettura/giorno nelle eventuali iniezioni di sollevamento; • 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	11 inclinometri orizzontali automatici installati ortogonalmente alla direzione dell'A4, sul tratto centrale di lunghezza circa 250m.	<ul style="list-style-type: none"> • 1 lettura/giorno negli scavi quando il fronte si trova a distanza minore di $1.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura in fase di avvicinamento (z_0 è il dislivello tra il piano campagna e l'asse galleria). Le letture proseguono fino a quando il fronte si mantiene a distanza minore di $2.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura; • 1 lettura/giorno nelle eventuali iniezioni di sollevamento; • 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 8-3 – Quantità e frequenze misure autostrada A4

7.5. Monitoraggio degli edifici interferenti

Si prevede il monitoraggio topografico degli edifici interferenti con la galleria lungo tutto il tracciato, compresi nel bacino di subsidenza. Si possono individuare tre macrozone urbanizzate, nel seguito descritte:

- zona compresa tra Autostrada A4 e Pk 117+250: la zona in esame comprende alcune abitazioni civili ed industriali di medie e grandi dimensioni ($B \times L > 20 \times 40m$), compresi nel bacino di subsidenza e con impronta sovrapposta a quella delle gallerie. Le coperture misurate al piano campagna risultano variabili da 13.0m a 16.0m. In questa zona gli strumenti sugli edifici si misurano in continuo durante il passaggio delle frese, sulla base dello studio degli effetti indotti che evidenzia rischi non trascurabili per gli stessi.
- zona compresa tra le pk. 117+250 e 119+400: la zona in esame comprende alcune abitazioni civili, compresi nel bacino di subsidenza e con talvolta sovrapposta a quella delle gallerie. Le coperture misurate al piano campagna risultano variabili da 16.0m a 80.0m. In questa zona gli strumenti sugli edifici si misurano esclusivamente prima e dopo il passaggio delle frese, sulla base dello studio degli effetti indotti che evidenzia rischi trascurabili per gli stessi.
- zona compresa tra autostrada e pk. 119+400 e imbocco Est: la zona in esame comprende alcune abitazioni civili ed industriali di medie e grandi dimensioni ($B \times L > 20 \times 40m$), compresi nel bacino di subsidenza e con impronta sovrapposta a quella delle gallerie. Le coperture misurate al piano campagna risultano variabili da 31.0 m a 18.0 m. In questa zona gli strumenti sugli edifici si misurano in continuo durante il passaggio delle frese, sulla base dello studio degli effetti indotti che evidenzia rischi non trascurabili per gli stessi. Alcuni edifici sono sottoposti esclusivamente alle misure prima e dopo il passaggio, sempre sulla base delle analisi sugli effetti indotti.

Si prevedono quattro tipologie di monitoraggio per gli edifici, nel seguito descritte:

- edificio da sottoporre a misura di zero e misura successiva al passaggio delle macchine di scavo: strumenti costituiti da capisaldi topografici fissati alla struttura sul livello p.c., ad interasse di 5.0m o in corrispondenza di tutti i pilastri;
- edificio da sottoporre a monitoraggio durante il passaggio delle macchine di scavo: strumenti al piano campagna costituiti da capisaldi topografici fissati alla struttura, ad interasse di 5.0m o in corrispondenza di tutti i pilastri; strumenti al primo piano costituiti da mire ottiche fissati alla struttura a quota 3.0~4.0m da p.c., con interasse di 15.0m o in corrispondenza di pilastri non consecutivi;
- edificio industriale con dimensioni $B \times L > 20 \times 40 m$ da sottoporre a misura di zero e misura successiva al passaggio delle macchine di scavo: strumenti costituiti da capisaldi topografici fissati alla struttura sul livello p.c., ad interasse di 10.0m o in corrispondenza di tutti i pilastri nelle zone influenzate dagli scavi, situate nel bacino di subsidenza. Interasse di 20.0m o in corrispondenza di pilastri non consecutivi nelle zone non influenzate dagli scavi, situate esternamente al bacino di subsidenza;
- edificio industriale con dimensioni $B \times L > 20 \times 40 m$ da sottoporre a monitoraggio durante il passaggio delle macchine di scavo: strumenti al piano campagna costituiti da capisaldi topografici fissati alla struttura, ad interasse di 10.0 m o in corrispondenza di tutti i pilastri nelle zone influenzate dagli scavi, situate nel bacino di subsidenza. Interasse di 20.0 m o in corrispondenza di pilastri non consecutivi nelle zone non influenzate dagli scavi, situate esternamente al bacino di subsidenza; strumenti al primo piano costituiti da mire ottiche fissati alla struttura a quota 3.0~4.0m da p.c., con interasse di 20.0m o in corrispondenza di pilastri non consecutivi.

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'inflexione sull'edificio e la distorsione angolare.

Strumento	Quantità e zona d'installazione	Frequenza lettura *
capisaldi topografici per livellazione edificio	<ul style="list-style-type: none"> interasse di 5m o in corrispondenza di tutti i pilastri lungo il perimetro per edifici; interasse di 10m o in corrispondenza di tutti i pilastri nelle zone influenzate dagli scavi, per edifici industriali con dimensioni BxL > 20x40; interasse di 20m o in corrispondenza di pilastri non adiacenti nelle zone non influenzate dagli scavi, per edifici industriali con dimensioni BxL > 20x40. 	<ul style="list-style-type: none"> 1 lettura/giorno negli scavi quando il fronte si trova a distanza minore di $1.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura in fase di avvicinamento (z_0 è il dislivello tra il piano campagna e l'asse galleria). Le letture proseguono con la stessa frequenza fino a quando il fronte si mantiene a distanza maggiore di $0.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura; 2 letture/giorno negli scavi quando il fronte si trova a distanza minore di $0.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura in fase di avvicinamento. Le letture proseguono con la stessa frequenza fino a quando il fronte si mantiene a distanza minore di $1.0 \cdot z_0$ dallo strumento di misura dopo averlo superato; 1 lettura/giorno negli scavi quando il fronte ha superato lo strumento e si trova a distanza maggiore di $1.0 \cdot z_0$ dallo stesso. Le letture proseguono con la stessa frequenza fino a quando il fronte si mantiene a distanza minore di $2.5 \cdot z_0$ dallo strumento di misura; 1 lettura/settimana dopo il passaggio della fresa, per il primo mese; 1 lettura/mese per i successivi tre mesi; 1 lettura/3 mesi fino a fine lavori
mire ottiche per controllo topografico edificio	<ul style="list-style-type: none"> interasse di 15m o in corrispondenza di i pilastri non consecutivi lungo il perimetro per edifici da monitorare durante il passaggio delle frese; interasse di 20m o in corrispondenza di pilastri non adiacenti, per edifici industriali con dimensioni BxL > 20x40, da monitorare durante il passaggio delle frese. 	

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

Tabella 8-4 – Quantità e frequenze misure topografiche Edificio

Nel seguito si riportano le caratteristiche di tutti gli edifici posti sulla linea, con i valori massimi attesi di spostamento, che derivano dalle analisi di subsidenza.

Codice edificio	Tipo Str. M/C	Destinazione d'uso	Edificio da sottoporre a misura di zero e misura successiva al passaggio delle macchine di scavo	Edificio da sottoporre a monitoraggio durante il passaggio delle macchine di scavo	Edificio industriale con dimensioni BxL > 20x40m	Condizione attesa $V_p=0.4\%$	Condizione cautelativa $V_p=1.0\%$	Condizione molto cautelativa $V_p=1.5\%$
						Ced max [mm]	Ced max [mm]	Ced max [mm]
L106-N-13	M	Residenziale o servizi		✓		20.0	50.5	76.0
L106-N-14	M	Residenziale o servizi		✓		17.0	42.0	63.0
L106-S-02	M	Baracca o magazzino		✓		6.0	15.0	23.0
L107-N-01	M	Industriale o artigianale		✓		14.0	35.5	53.5
L107-S-13	C	Industriale o artigianale		✓	✓	16.5	41.5	62.0
L107-S-14	C	Industriale o artigianale		✓	✓	12.5	31.5	47.0
L107-N-02	C	Industriale o artigianale		✓		17.0	42.5	63.5
L107-N-28	C	Industriale o artigianale	✓			11.0	27.0	40.5
L107-N-29	C	Residenziale o servizi	✓			10.5	26.0	39.5
L107-N-33	C	Industriale o artigianale	✓			10.5	26.0	39.0
L107-N-30	C	Industriale o artigianale	✓			10.5	26.0	39.0
L107-N-31	C	Residenziale o servizi	✓			10.5	26.0	38.5

Codice edificio	Tipo Str. M/C	Destinazione d'uso	Edificio da sottoporre a misura di zero e misura successiva al passaggio delle macchine di scavo	Edificio da sottoporre a monitoraggio durante il passaggio delle macchine di scavo	Edificio industriale con dimensioni BxL > 20x40m	Condizione attesa Vp=0.4%	Condizione cautelativa Vp=1.0%	Condizione molto cautelativa Vp=1.5%
						Ced max [mm]	Ced max [mm]	Ced max [mm]
L107-N-32	C	Residenziale o servizi	✓			10.5	26.0	38.5
L107-S-23	C	Residenziale o servizi	✓			1.5	4.0	6.0
L108-N-01	M	Residenziale o servizi	✓			8.5	20.5	31.0
L108-N-27	M	Baracca o magazzino	✓			8.5	21.0	31.5
L108-N-28	M	Baracca o magazzino	✓			8.5	21.0	32.0
L108-S-01	C	Residenziale o servizi	✓			4.5	11.0	17.0
L108-N-02	M	Residenziale o servizi	✓			2.0	5.0	7.5
L108-N-03-a	M	Baracca o magazzino	✓			8.5	21.5	32.5
L108-N-03-b	M	Baracca o magazzino	✓			10.0	25.5	38.0
L108-N-04	M	Residenziale o servizi	✓			10.0	24.5	36.5
L108-N-05	C	Residenziale o servizi	✓			11.0	27.0	40.5
L108-N-06	C	Residenziale o servizi	✓			11.0	27.0	40.5
L108-N-29	M	Baracca o magazzino	✓			11.0	27.0	40.5
L108-S-03	M	Residenziale o servizi	✓			4.5	11.5	17.5
L108-S-02	M	Residenziale o servizi	✓			11.0	27.0	40.5
L108-N-30	M	Baracca o magazzino	✓			10.5	26.5	40.0
L108-N-31	M	Baracca o magazzino	✓			5.0	13.0	19.5
L109-S-22	C	Residenziale o servizi	✓			3.5	8.5	12.5
L109-S-23	C	Residenziale o servizi	✓			10.5	26.0	38.5
L109-N-16	C	Residenziale o servizi	✓			10.5	26.5	39.5
L109-N-03	M	Residenziale o servizi		✓		11.0	28.0	42.0
L109-N-04	M	Residenziale o servizi	✓			1.0	2.0	3.0
L109-N-17	C	Industriale o artigianale		✓	✓	19.5	49.0	73.5
L109-S-28	C	Industriale o artigianale		✓	□	8.5	21.0	31.0
L109-S-24	C	Industriale o artigianale		✓	✓	18.5	46.0	68.5

Codice edificio	Tipo Str. M/C	Destinazione d'uso	Edificio da sottoporre a misura di zero e misura successiva al passaggio delle macchine di scavo	Edificio da sottoporre a monitoraggio durante il passaggio delle macchine di scavo	Edificio industriale con dimensioni BxL > 20x40m	Condizione attesa Vp=0.4%	Condizione cautelativa Vp=1.0%	Condizione molto cautelativa Vp=1.5%
						Ced max [mm]	Ced max [mm]	Ced max [mm]
L109-S-25	C	Industriale o artigianale		✓	✓	12.5	31.0	46.5
L109-N-09	C	Industriale o artigianale		✓	✓	19.5	48.5	73.0
L109-N-10	C	Industriale o artigianale		✓	✓	17.0	42.0	63.0
L109-N-11	C	Industriale o artigianale		✓	✓	12.0	30.5	45.5
L109-S-13	C	Industriale o artigianale		✓	✓	12.0	30.5	45.5
L109-S-12	C	Industriale o artigianale	✓		✓	0.0	0.0	0.0
L109-S-14	C	Industriale o artigianale		✓	✓	12.0	30.0	45.0
L109-S-26	C	Industriale o artigianale		✓	✓	12.0	29.5	44.5
L109-S-27	C	Industriale o artigianale	✓		✓	2.0	4.5	7.0
L109-N-13	C	Industriale o artigianale		✓	✓	15.0	37.5	56.5
L110-S-07	C	Residenziale o servizi		✓		8.5	20.5	31.0
L110-S-08	C	Residenziale o servizi	✓			1.5	4.5	6.5
L110-N-01	C	Industriale o artigianale		✓	✓	17.5	44.0	66.0
L110-S-16	M	Residenziale o servizi		✓		11.0	28.0	42.0
L110-S-19	C	Baracca o magazzino		✓		15.0	38.0	57.0

Tabella 8-5 – Monitoraggio edifici e cedimenti stimati

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 8-6 – 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 8-7 – 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.

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

Il rapporto d'inflexione 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 3.1).

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.

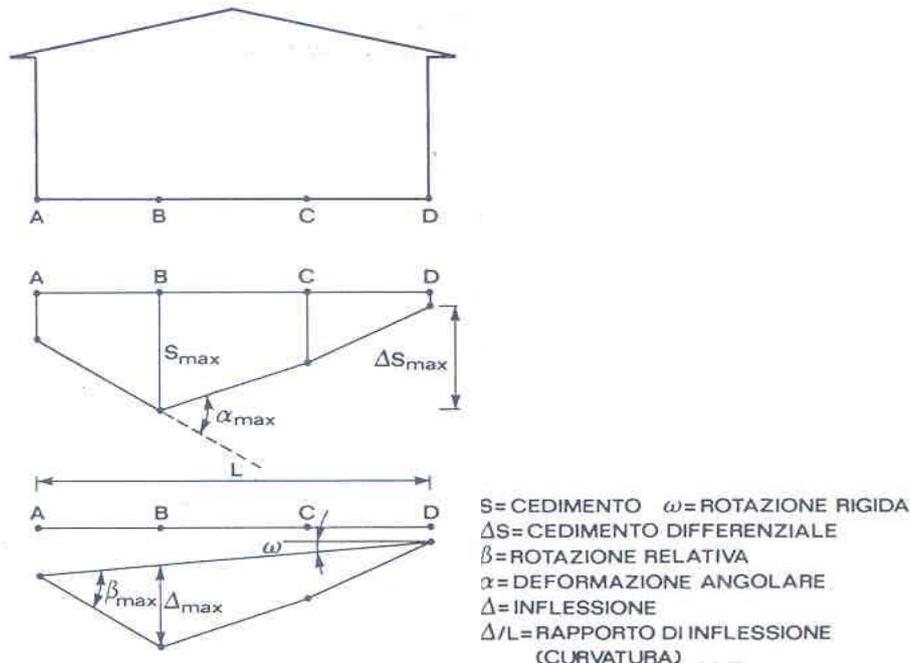


Figura 8-8: Piano di rappresentazione cedimenti del p.c.

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.

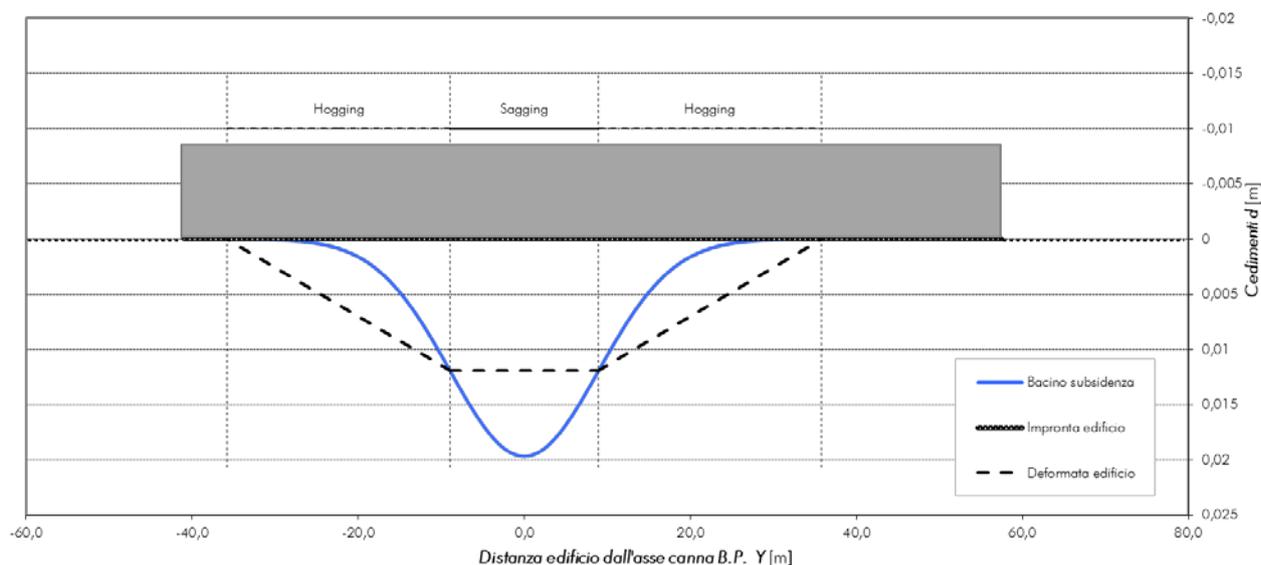


Figura 8-9: Zone a differente curvatura

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

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

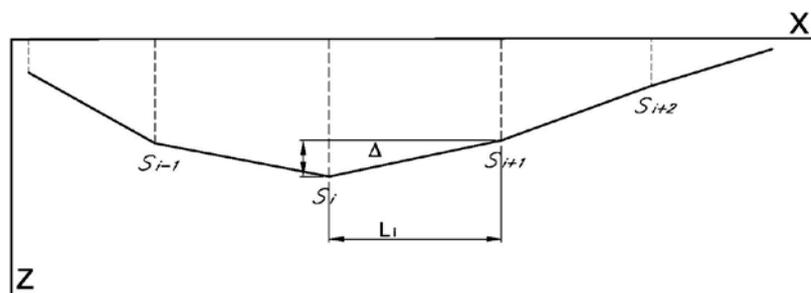


Figura 8-10: Schema per il calcolo della distorsione angolare

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

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

7.5.1.1. Rilievo cedimenti S - procedura

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

7.5.1.2. Definizione della deformata dell'edificio e calcolo dei valori d'inflessione Δ

- Rappresentazione su un piano cartesiano dei punti corrispondenti a i 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).

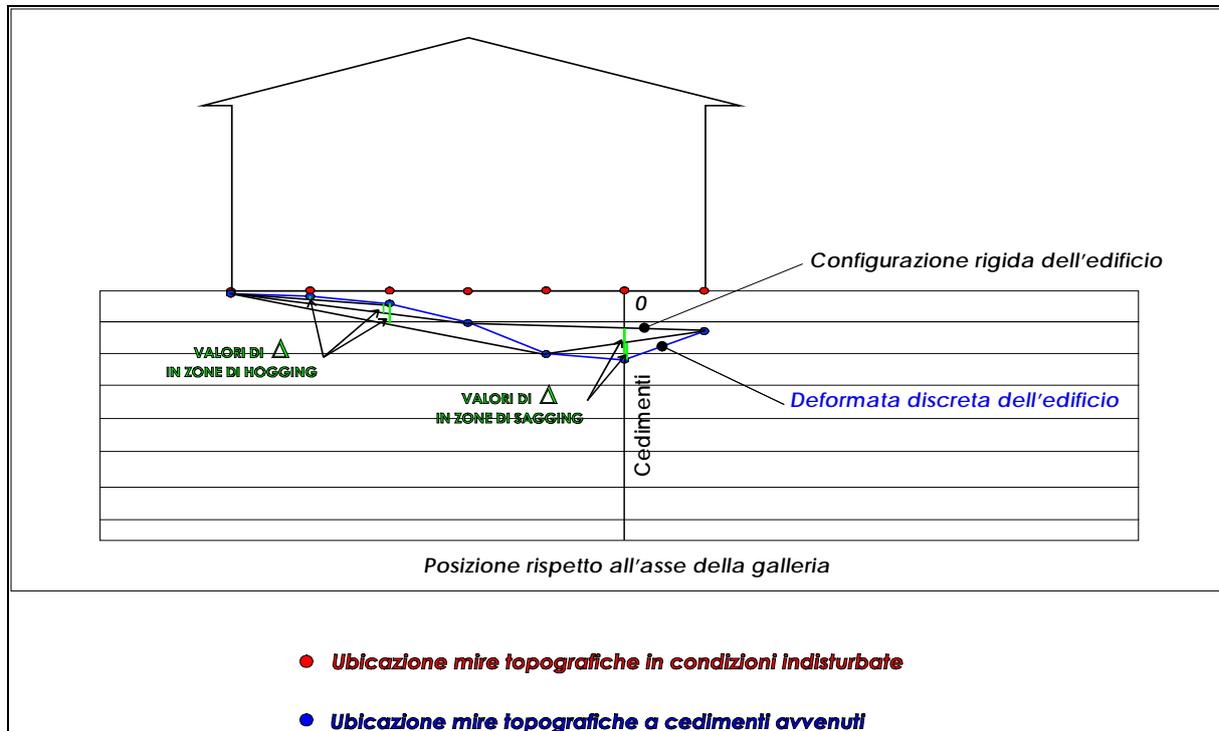


Figura 8-11: Piano di rappresentazione cedimenti dell'edificio

7.5.1.3. 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), si vedano le seguenti equazioni:

$$\frac{\Delta_{i_SAGGING}}{L_{i_SAGGING}} \text{ per zone di sagging}$$

$$\frac{\Delta_{i_HOGGING}}{L_{i_HOGGING}} \text{ per zone di hogging}$$

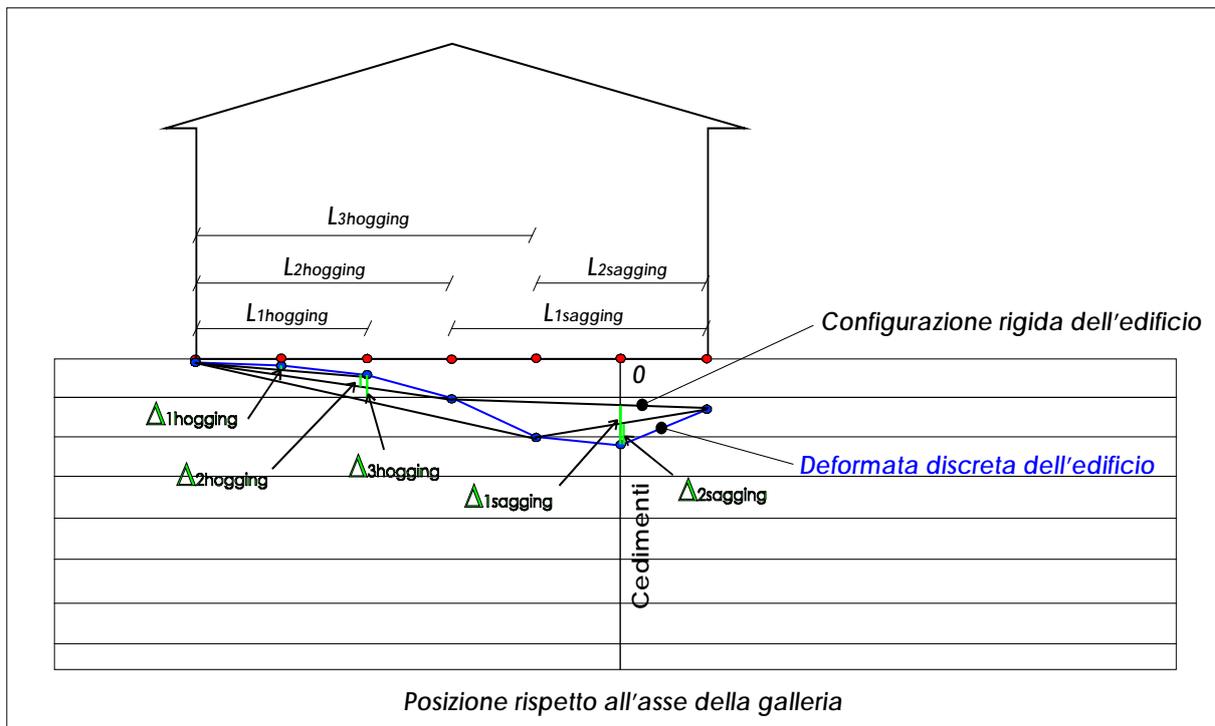


Figura 8-12: Valori di inflessione D e della corrispondente porzione di edificio L

7.5.1.4. 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:

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

8. CONCLUSIONI

Il sistema di monitoraggio da prevedere per la realizzazione della galleria Lonato 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. 116+200.00 e 116+700.00, per le parti poste nel bacino di subsidenza;
- edifici interferenti dislocati lungo il tracciato nel bacino di subsidenza.

Il piano delle misure è costituito da:

- Misure di convergenza in galleria con sistema ottico.
- Misura della tensione nelle barre d'armatura con estensimetri a corda vibrante.
- Monitoraggio parametri macchina della TBM.
- 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 venti 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.
- 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 sugli edifici interferenti con capisaldi topografici da livellazione e con mire ottiche.

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 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 modalità di conduzione della TBM-EPB, nell'incremento dei consolidamenti e dei supporti sulle paratie, nell'abbassamento dei livelli di falda.