

S.S.51 "ALEMAGNA"
VARIANTE DI LONGARONE

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

COD. VE407

PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE e PRGETTISTA:

Dott. Ing. Massim Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma A26031)

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:

MANDANTI:

PROGETTISTA:

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)*
 Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)*
 Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)*
 Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*



GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma A15138)

COORDINATORE ATTIVITA' DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Maria Antonietta Merendino (Ord. Ing. Prov. Roma A28481)



VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Ettore De La Grennelais De Cesbron

OPERE D'ARTE MAGGIORI
GALLERIA CASTELLAVAZZO

Relazione tecnica generale

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	VE407_P00GNO1GENRE01_A			
DPVE0407	D 21	CODICE ELAB.	P00GNO1GENRE01	A	-
D		-	-	-	-
C		-	-	-	-
B		-	-	-	-
A	EMISSIONE	SETT. 2021	F.SALUTE	G.PIAZZA	M.CAPASSO
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 Sanas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

INDICE

1	PREMESSA	3
2	RIFERIMENTI TECNICI E NORMATIVI	5
	2.1 Normative, raccomandazioni e linee guida	5
	2.2 Bibliografia	6
	2.2.1 Generali	6
	2.2.2 Stabilità del cavo della galleria	6
	2.2.3 Calcolo dei rivestimenti	7
3	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	8
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO,GEOTECNICO ED IDROGEOLOGICO	11
5	FASI COSTRUTTIVE.....	13
6	SAGOME TIPO ADOTATE	15
7	SEZIONI DI AVANZAMENTO	16
	7.1 Asse Principale - Sezione di avanzamento B0.....	16
	7.2 Asse Principale - Sezione di avanzamento C1.....	17
	7.3 Asse Principale - Sezione di avanzamento C2.....	18
	7.4 Piazzola di sosta - Sezione di avanzamento B0 (BO_PS).....	19
	7.5 Bypass e Galleria di emergenza - Sezione di avanzamento B0 (BO_BP)	19
	7.6 Galleria di emergenza - Sezione di avanzamento C1 (C1_BP)	20
8	INTERAZIONI CON GLI EDIFICI ED INFRASTRUTTURE ESISTENTI.....	22
9	VIBRAZIONI INDOTTE DALLE OPERAZIONI DI SCAVO.....	25
	9.1 Legislazione di riferimento	25
	9.2 Limiti ammissibili di sismicità.....	26
	9.3 Scavo con esplosivo – Distanze minime di rispetto dai siti sensibili	28
	9.4 Scavo con martello demolitore - Sismicità indotta ai siti sensibili	31
10	INTERFERENZE GALLERIE CON LA RETE FERROVIARIA PONTE NELLA ALPI - CALALZO.....	32
11	APPLICAZIONE DEL MONITORAGGIO ALLE SEZIONI	35
	11.1 Stazioni di monitoraggio strumentate	36
	11.2 Misure delle soglie di attenzione di allarme sul rivestimento di prima fase	39
	11.3 Valori di estrusione attesa sul fronte	39
12	MONITORAGGIO IN CORRISPONDENZA DEGLI EDIFICI.....	40
	1.1 Controlli topografici	41
	1.1.1 Misure delle soglie di attenzione di allarme sugli edifici - cedimenti.....	42
	1.2 Misure di controllo vibrometrico del piano campagna e degli edifici.....	42

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 Sanas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

1.2.1 *Misure delle soglie di attenzione di allarme sugli edifici - vibrazioni* 43

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	Relazione Tecnica Generale	

1 PREMESSA

Nella seguente relazione si sintetizzano le caratteristiche descrittive dell'opera, del suo inserimento nel territorio e delle principali problematiche realizzative, e si descrive brevemente il monitoraggio in corso d'opera e in fase di esercizio della galleria naturale "Castellavazzo" inserita nelle opere dell'intervento **VE407 S.S. 51 "Alemagna" – Variante di longarone**. L'intervento prevede l'adeguamento della **S.S.51** a **Tipo C1**.

La galleria è composta da **una fornice con traffico bidirezionale**, in dx in direzione **Cortina** e in sx direzione **Venezia** e presenta coperture massime, riferite in chiave di calotta, pari a circa **100 m**.

Come da Decreto Ministeriale 5-11-2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione di strade", la larghezza della piattaforma pavimentata della galleria è pari a **10.50 m** e non sono previsti allargamenti per la visibilità.

La galleria si sviluppa tra le progressive **9+315.00** e **10+860.00** e per una lunghezza complessiva di **1545 m**. La galleria risulta composta da un tratto in naturale, da un tratto in artificiale all'imbocco sud di **50 m** e da un becco di flauto di **5 m** all'imbocco nord. La lunghezza complessiva del tratto in naturale risulta essere pari a **1490 m**.

GALLERIA CASTELLAVAZZO			
	Progressiva sud	Progressiva nord	Lunghezza totale
GALLERIA PRINCIPALE	9.315,00	10.860,00	1.545,00
GALLERIA ARTIFICIALE IMBOCCO SUD	9.315,00	9.365,00	50,00
GALLERIA TRATTO IN NATURALE	9.365,00	10.855,00	1.490,00
GALLERIA ARTIFICIALE IMBOCCO NORD	10.855,00	10.860,00	5,00

Si prevede la realizzazione di una galleria di emergenza di **1392 m**. La galleria risulta composta da un tratto in naturale di **1332 m** e da due tratti in artificiale all'imbocco sud di **50 m** e di **10 m** all'imbocco nord, collegata alla galleria principale con 4 bypass.

La sezione dei bypass e della galleria di emergenza sono quelle previste dalle linee guida della Sicurezza delle Gallerie di Anas, **2.30 m** (altezza) x **2.40 m** (larghezza) liberi interni.

GALLERIA D'EMERGENZA			
	Progressiva sud	Progressiva nord	Lunghezza totale
GALLERIA EMERGENZA	0,00	1.392,00	1.392,00
GALLERIA ARTIFICIALE IMBOCCO SUD	0,00	50,00	50,00
GALLERIA TRATTO IN NATURALE	50,00	1.382,00	1.332,00
GALLERIA ARTIFICIALE IMBOCCO NORD	1.382,00	1.392,00	10,00

Per la caratterizzazione geomeccanica si rimanda alla *Relazione geotecnica*.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 GRUPPO FS ITALIANE
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

Per i risultati delle analisi deformative si rimanda alla *Relazione di calcolo*.

Per la descrizione dei parametri significativi per l'individuazione e la gestione delle soglie di attenzione e di allarme si rimanda alle *Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo*.

Per la descrizione di dettaglio del piano di monitoraggio si rimanda alla *Relazione di monitoraggio*.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

2 RIFERIMENTI TECNICI E NORMATIVI

2.1 Normative, raccomandazioni e linee guida

- ✓ DM 17/01/2018. Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni
- ✓ Circolare 21/01/2019 n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17/01/2018
- ✓ Decreto Ministeriale LL.PP. 09/01/1996 – Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- ✓ Decreto Ministeriale LL.PP. 16/01/1996 – Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.
- ✓ Circolare 15/10/1996 Ministero LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche di cui al decreto ministeriale 09/01/1996.
- ✓ Circolare 04/07/1996 Ministero LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche di cui al decreto ministeriale 16/01/1996.
- ✓ Decreto Ministeriale LL.PP. 11/03/1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- ✓ Circolare LL.PP. 24/09/1988 n.30483 – L.2.2.1974, n.64 - art.1 – Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/03/1988.
- ✓ Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modifiche e integrazioni.
- ✓ A.F.T.E.S. Groupe de Travail n. 7 – Tunnel support and lining. – "Recommendations for use of convergence – confinement method".
- ✓ Raccomandazioni AICAP 1993 "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce".
- ✓ ANAS, IT.PRL.05.18 – Rev.1.0 Capitolato Speciale di Appalto, Opere d'arte maggiori – Gallerie.
- ✓ ANAS, Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali secondo la normativa vigente, 2009.
- ✓ ANAS, IT.PRL.05.10 – Rev. 2.0 Rilievi, Indagini e Monitoraggio, 2020.
- ✓ ANAS, Linee guida monitoraggio geotecnico.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

2.2 Bibliografia

2.2.1 Generali

- ✓ Hoek E. – *Strength of jointed rock masses, 23° Rankine Lecture* –Géotechnique 33, 187-223 (1983).
- ✓ Hoek E. – *Strength of rock and rock masses* – ISRM News Journal, 2(2), 4-16 (1994).
- ✓ Hoek E. and Brown, E.T. – *Underground excavations in rock* – London, Inst. Min. Metall. (1980).
- ✓ Hoek E. and Brown, E.T. – *Empirical strength criterion for rock masses* – J. Geotech. Engng. Div., ASCE, 106 (GT9), 1013-1035 (1980).
- ✓ Hoek E. and Brown, E.T. – *The Hoek-Brown failure criterion – a 1988 update* – In Rock Engineering for Underground excavations, 15° Canadian Rock Mech. Symp., 31-38. Toronto, Dept. Civil Engineering (1988).
- ✓ Hoek E., Kaiser, P.K. and Bawden W.F. – *Support of underground excavations in hard rock* – Rotterdam, Balkema - (1995).
- ✓ Hoek E. and Brown, E.T. – *Practical estimates of rock mass strength* – Int. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts, 34(8), 1165-1186 (1997).
- ✓ Marinou P. and Hoek E.– GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation – Proceedings of the International Conference on Geotechnical & Geological Engineering, Melbourne, Australia (2000).
- ✓ Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. (2002): "Hoek-Brown failure criterion" – 2002 Edition.
Hoek E. (2004): "Numerical Modelling for Shallow Tunnels in Weak Rock". Rocscience, April 2004.
- ✓ Ribacchi R. - *Recenti orientamenti nella progettazione statica delle gallerie* - AGI - XVIII Convegno Nazionale di Geotecnica. Rimini (1993).

2.2.2 Stabilità del cavo della galleria

- ✓ Chern J.C., Shiao F.Y., and Yu C.W. – *An empirical safety criterion for tunnel construction* – Proc. Regional Symposium on Sedimentary Rock Engineering, Taipei, Taiwan, 222-227 (1998).
- ✓ Lombardi G. – *Funzione dei sostegni e rivestimenti quale consolidamento nelle opere sotterranee* – Seminario su "Consolidamento di terreni e rocce in posto nell'ingegneria civile", Stresa, 191-229 (1978).
- ✓ Lombardi G. e Amberg W. (1974). *Une méthode de calcul élasto-plastique de l'état de tension et de déformation autour d'une cavité souterraine. Congresso Internazionale ISRM, Denver, 1974.*
Lombardi G. e Amberg W. – *L'influence de la méthode de construction sur l'équilibre final d'un tunnel* – 4th Int. Cong. On Rock Mech., Vol. 1, Montreaux (Suisse), 475-484 (1979).
- ✓ Lombardi G. – *"Qualche aspetto particolare della statica delle cavità sotterranee."* – Riv. It. Geotecnica (1975).

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

- ✓ Panet M. e Guellec P. – *Contribution a l'étude du soutènement d'un tunnel à l'arrière du front de taille* – 3rd Int. Congress on Rock Mech., Vol.2, Denver, ISRM, 1163-1168 (1974).
- ✓ Panet M., Guenot A. (1982). *Analysis of convergence behind the face of a tunnel* – Tunnelling '82, Brighton, 197-204.
- ✓ Lunardi P. (2000). *The design and construction of tunnels using the approach based on the analysisi of controlled deformation in rocks and soils*. Tunnels & Tunnelling International, May 2000.

2.2.3 Calcolo dei rivestimenti

- ✓ A.F.T.E.S. – *Considerations on the usual methods of tunnel lining design* (1993).
- ✓ Lembo Fazio A. – *Interazione tra il terreno ed il sostegno di una galleria* – L'ingegnere e l'architetto 1 – 8 (1995).

3 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La galleria principale a **canna singola e traffico bidirezionale** si sviluppa tra le progressive **9+315.00** e **10+860.00** e per una lunghezza complessiva di **1545 m**.

La galleria risulta composta da un tratto in naturale, da un tratto in artificiale all'imbocco sud di **50 m** e da un becco di flauto di **5 m** all'imbocco nord. La lunghezza complessiva del tratto in naturale risulta essere pari a **1490 m**.

Procedendo nel verso delle progressive crescenti, il tracciato planimetrico si sviluppa in rettilineo per circa **1240 m** e poi segue con una curva circolare destrorsa di raggio **1050 m**, con relative clotoidi di parametro A pari a **350**.

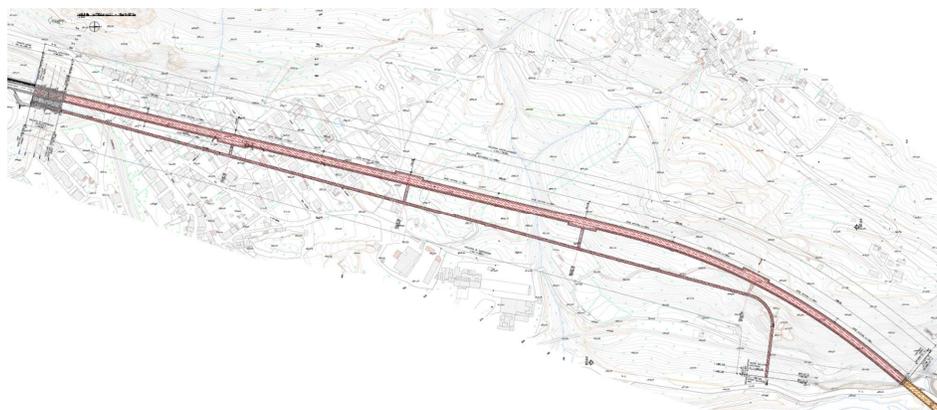


Figura - Planimetria della Galleria Castellavazzo, tavola VE407_P00GN01TRAPP01_A.

Il profilo altimetrico è caratterizzato per la quasi totalità dello sviluppo della galleria da una livelletta a pendenza costante pari al **1.01%**, nel tratto finale dopo un raccordo verticale convesso di raggio **12000 m** si ha una pendenza di **-0.35 %**.

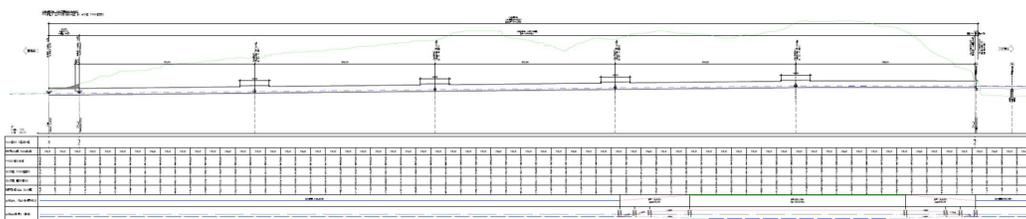


Figura – Profilo longitudinale della Galleria Castellavazzo, tavola VE407_P00GN01TRAPP01_A.

La piattaforma stradale "corrente" è larga complessivamente **10.50 m**. Ai margini della piattaforma saranno collocati gli elementi redirettivi in c.a.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	Relazione Tecnica Generale	

SEZIONE TIPO ASSE PRINCIPALE
TRATTO IN GALLERIA NATURALE/ARTIFICIALE (SEZIONE CORRENTE)
SCALA 1:100

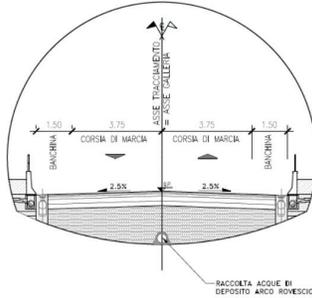


Figura Sezione tipo stradale della Galleria Castellavazzo.

La carpenteria della sagoma interna della galleria è una policentrica e presenta un raggio interno in chiave calotta pari a **6.45 m**, un piedritto verticale e un raggio interno dell'arco rovescio è pari a **14.00 m**.

Si prevede la realizzazione di una galleria di emergenza di **1392 m**. La galleria risulta composta da un tratto in naturale di **1332 m** e da due tratti in artificiale all'imbocco sud di **50 m** e di **10 m** all'imbocco nord, collegata alla galleria principale con 4 bypass pedonali:

- | | |
|------------|-----------|
| GN01_BPP01 | 9+657.00 |
| GN01_BPP02 | 9+957.00 |
| GN01_BPP03 | 10+257.00 |
| GN01_BPP04 | 10+557.00 |

La sezione dei bypass e della galleria di emergenza sono quelle previste dalle linee guida della Sicurezza delle Gallerie di Anas, **2.30 m** (altezza) x **2.40 m** (larghezza) liberi interni.

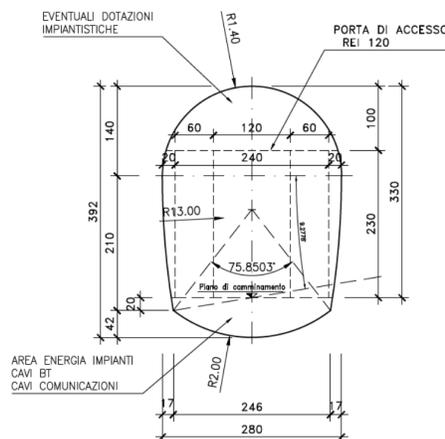


Figura Sezione tipo della Galleria d'emergenza.

Nella galleria principale sono state inserite quattro piazzole di sosta (2 per senso di marcia) di 45m in corrispondenza dei bypass pedonali.

	Progressiva	Lunghezza
Piazzola di sosta 1	9.657,00	45,00
Piazzola di sosta 2	9.957,00	45,00
Piazzola di sosta 3	10.257,00	45,00
Piazzola di sosta 4	10.557,00	45,00

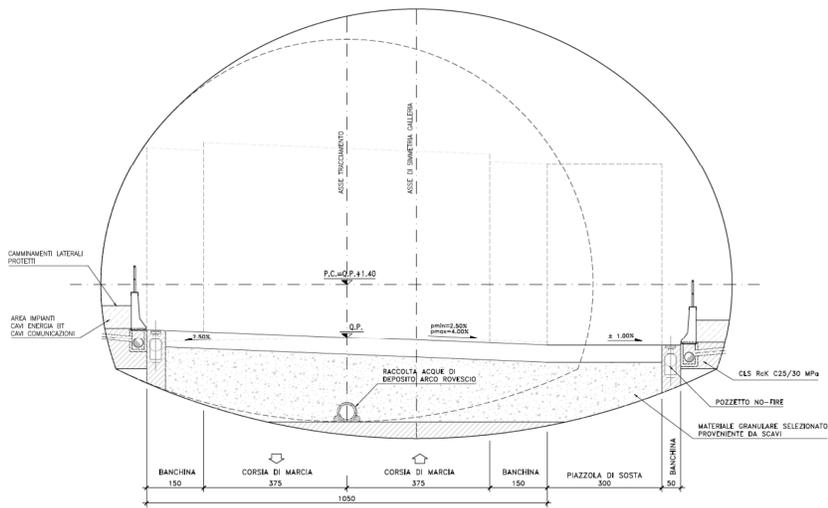


Figura Sezione tipo delle piazzole di sosta.

Le nicchie saranno ubicate ogni 150m.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOTECNICO ED IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista geologico, nella successione stratigrafica dell'area interessata dal tracciato si possono riconoscere le seguenti unità litologiche:

- **Detrito di versante.** Deposito caotico ad elementi eterometrici a spigoli vivi e arrotondati originato dai processi evolutivi dei versanti rocciosi e dallo smantellamento dei terrazzi fluviali sovrastanti.
- **Depositi alluvionali di alveo attuale.** Ghiaie grossolane e ciottoli, con lenti limo-sabbiose e sabbio-limose.
- **Depositi alluvionali terrazzati.** Ghiaie in matrice scarsamente sabbiosa con lenti di limo sabbiosa e sabbio-limosa, variamente ghiaiose, scarsamente argillose.
- **Depositi fluvio-glaciali.** Ghiaie grossolane e ciottoli con lenti limo sabbiose e sabbio-limose, scarsamente argillose, localmente cementate.
- **Calcere di Soccher.** Calcari micritici verdi e rossastri in strati sottili tabulari, fortemente selciferi, intercalati a biocalcareni gradate, sovente laminate e facies tipiche del Rosso Ammonitico.

Per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione Geologica (vedi elaborato VE407_T00GE00GEORE01A).

Le caratteristiche geotecniche dei terreni e delle rocce interessati dal tracciato sono state investigate con un'approfondita campagna di indagini geognostica, geofisica e geotecnica svolta nel corso del 2021 e 2022. La campagna di indagini è stata condotta su incarico ANAS dalla ditta Vicenzetto S.R.L., nel rispetto delle disposizioni, delle specifiche tecniche e del capitolato d'appalto ANAS, nonché delle raccomandazioni AGI 1977/1994 e hanno previsto:

- n° 27 sondaggi a carotaggio continuo, di cui n° 14 condizionati con tubo per prove Down-Hole e n° 13 condizioni a piezometro a tubo aperto;
- n° 2 sondaggi a distruzione di nucleo e carotaggio continuo, condizionati con piezometro a tubo aperto;
- n° 271 prove penetrometriche dinamiche S.T.P.;
- n° 34 pozzetti, dei quali n° 14 geognostici e n° 20 ambientali;
- n° 14 prove pressiometriche;
- n° 40 prove di permeabilità di cui n° 30 Léfranc e n° 10 Lugeon;
- n° 20 prove dilatometriche;
- n° 145 prelievi di campioni per la caratterizzazione geotecnica durante l'esecuzione dei sondaggi, di cui n° 2 indisturbati, n° 113 rimaneggiati e n° 30 litoidi;
- n° 27 prelievi di campioni a fini ambientali;
- n° 7 prelievi di campioni di acqua di falda;
- Analisi e prove geotecniche di laboratorio.

I terreni e le rocce che ricadono nel volume di terreno significativo ai fini geotecnici sono stati raggruppati in 2 classi, per ciascuna delle quali possono distinguersi i termini principali indicati nella tabella che segue.

Terreni sciolti	
FLG	Ghiaie e Sabbie , ghiaie con sabbia e sabbie con ghiaie, spesso da limose a debolmente limose, raramente con ciottoli, di origine fluvio-glaciale blandamente cementate. I grani presentano spesso spigoli arrotondati. Colore dall'avana al beige al biancastro, con rari segmenti giallastri. Rara presenza di sezioni più limose a profondità elevate.
Rocce lapidee	
Ca	Calcari e calcareniti , color grigio chiaro con patine e zone ossidate color avana, con discontinuità spesso ricementate. Presenta di fratture variamente orientate da sub-orizzontali a inclinate di circa 45°. Le discontinuità si presentano lisce e parzialmente ossidate. A zone l'ammasso risulta più fratturato.

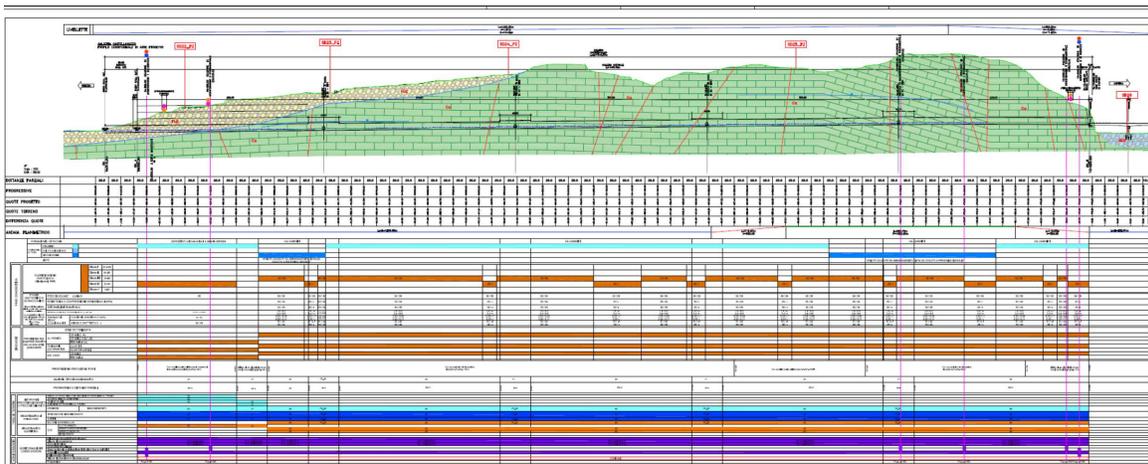


Figura Profilo geomeccanico della Galleria naturale Castellavazzo.

La posizione della falda è rappresentata sul profilo geomeccanico delle gallerie e presenta un massimo carico di circa 30 m sulla calotta.

Si rimanda alla relazione geotecnica per la descrizione delle indagini eseguite sulla galleria in esame e sul modello interpretativo geotecnico.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 Sanas GRUPPO FS ITALIANE
VE407	Relazione Tecnica Generale	

5 FASI COSTRUTTIVE

Gli scavi della galleria avverranno principalmente dall'imbocco sud. Per prima cosa verranno realizzate le paratie provvisorie di imbocco.

Una volta realizzata la dima e il concio d'attacco, comincerà lo scavo della galleria di emergenza.

Lo scavo della galleria d'emergenza avverrà con sfondi di **1 – 1.20 m** per campi di avanzamento paria a **6m**.

Lo scavo della galleria principale avverrà con sfondi di **1 – 1.20 m** per campi di avanzamento paria a **12m**.

La realizzazione dell'arco rovescio e delle murette avverrà ad una massima distanza di **36 m** (circa **3 diametri**).

Il getto del rivestimento definitivo avverrà ad una distanza massima di **72m** (circa **6 diametri**) e sarà ottimizzata in funzione della risposta deformativa del cavo evidenziata dal monitoraggio in corso d'opera.

In base alla reale risposta deformativa del cavo le distanze potranno essere ridotte.

Lo scavo della galleria principale con le stesse modalità sopra descritte potrà avvenire solo ad una distanza minima di 150m rispetto allo scavo della galleria di emergenza, in ogni caso il rivestimento definitivo della galleria di emergenza dovrà essere stato eseguito fino ad almeno 30 m in avanzamento rispetto al fronte della galleria principale.

Al termine degli scavo delle gallerie naturali saranno completate le gallerie artificiali di imbocco.

Per il controllo delle vibrazioni indotte sugli edifici ed infrastrutture prossime agli scavi sono state introdotte le seguenti limitazioni alle metodologie di scavo:

Per la galleria principale:

Metodologia di scavo	TRATTA		L
	DA Pr.	A Pr.	(m)
Con modalità scelte dall'impresa In presenza di interventi conservativi C.01.001.b	9365	9521	156,0
Divieto di uso di esplosivo ed uso mezzi meccanici C.01.002.b	9521	9569	48,0
Con uso esclusivo di microcariche ritardate C.01.002.a	9569	10299	730,0
Con modalità scelte dall'impresa C.01.001.a	10299	10504	205,0
Con uso esclusivo di microcariche ritardate C.01.002.a	10504	10754	250,0
Divieto di uso di esplosivo ed uso mezzi meccanici C.01.002.b	10754	10855	101,0
		Ltot (m)	1490,0

Per la galleria d'emergenza::

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 Sanas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

Metodologia di scavo	TRATTA		L
	DA Pr.	A Pr.	(m)
Con modalità scelte dall'impresa In presenza di interventi conservativi C.01.001.b	50	206	156,0
Divieto di uso di esplosivo ed uso mezzi meccanici C.01.002.b	206	254	48,0
Con uso esclusivo di microcariche ritardate C.01.002.a	254	1307	1053,0
Divieto di uso di esplosivo ed uso mezzi meccanici C.01.002.b	1307	1382	75,0
		Ltot (m)	1332,0

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

6 SAGOME TIPO ADOTATE

Per garantire le richieste distanze di visibilità non è risultato necessario prevedere allargamenti della piattaforma stradale; pertanto, la sagoma è unica (senza allargamenti).

Le sagome adottate sono rappresentate nei seguenti elaborati:

Galleria principale:	VE407_T00GN00TRAST01_A
Piazzola di sosta:	VE407_T00GN00TRAST02_A
Bypass pedonale e Galleria di emergenza:	VE407_T00GN00TRAST03_A

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

7 SEZIONI DI AVANZAMENTO

Nel presente capitolo verranno definiti gli interventi da adottare durante la realizzazione della galleria, necessari a garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dall'analisi del comportamento deformativo allo scavo (fase di diagnosi).

Le sezioni tipo applicate alla costruzione della galleria sono le seguenti:

- ✓ Galleria Principale - Sezione di avanzamento B0;
- ✓ Galleria Principale - Sezione di avanzamento C1;
- ✓ Galleria Principale - Sezione di avanzamento C2;
- ✓ Galleria Principale - Sezione di avanzamento Piazzola di sosta B0_PS
- ✓ Galleria d'Emergenza - Bypass - Sezione di avanzamento B0_BP;
- ✓ Galleria d'Emergenza - Sezione di avanzamento C1_BP.

A continuazione sono descritte le sezioni tipo di avanzamento, la successione delle fasi esecutive ed i campi di applicazione.

7.1 Asse Principale - Sezione di avanzamento B0

Tavola di riferimento: VE407_P00GN01OSTST01_A

Lunghezza campi di avanzamento=12m.

Si prevede l'applicazione della sezione di avanzamento B0 per tutto lo sviluppo della galleria naturale ad eccezione della zona in terreni sciolti o detensionata all'imbocco sud.

Sono previsti i seguenti principali interventi:

Per il rivestimento di prima fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ 2+2 drenaggi in avanzamento L=36.00 m con sovrapposizione minima 12.00 m di 60 mm di diametro e 4 mm di spessore (perforazione D=90 mm);
- ✓ scavo a piena sezione con sfondi di profondità massima di 1.20 m;
- ✓ spritz-beton fibrorinforzato al fronte sp=10 cm ogni fine campo e spessore 5 cm sul 10% degli sfondi;
- ✓ rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato sp=25 cm e da centine metalliche 2IPN180 con passo 1.20 m;
- ✓ 10/9 bulloni in acciaio ad ancoraggio continuo Superswellex L=6.00 m passo trasversale 2.00m passo longitudinale 1.20 m disposti a quinconce.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

Per il rivestimento definitivo fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ getto dell'arco rovescio di 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ getto delle murette armate da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- ✓ -rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo, di spessore variabile trasversalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta di 0.60 m eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 72.0 m (circa 6 diametri).

7.2 Asse Principale - Sezione di avanzamento C1

Tavola di riferimento: VE407_P00GN01OSTST02_A.

Lunghezza campi di avanzamento=12m.

Si prevede l'applicazione della sezione di avanzamento C1 nelle zone detensionate di imbocco.

Per il rivestimento di prima fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ 2+2 drenaggi in avanzamento L=36.00 m con sovrapposizione minima 12.00 m di 60 mm di diametro e 4 mm di spessore (perforazione D=90 mm);
- ✓ preconsolidamento al contorno del cavo con 40 tubi metallici acciaio S355 H di 114.3 mm di diametro e 10 mm di spessore (perforazione D=140 mm), valvolati (1valv/m) e iniettati di L=18.00 m con sovrapposizione 6.00 m;
- ✓ preconsolidamento al fronte con 50 chiodi al fronte in vetroresina cementati in foro di 60 mm di diametro e 10 mm di spessore (perforazione D=100 mm) L=21.00 m con sovrapposizione 9.00 m;
- ✓ scavo a piena sezione con sfondi di profondità massima di 1.00 m;
- ✓ spritz-beton fibrorinforzato al fronte sp=10 cm ogni fine campo e spessore 5 cm sul 30% degli sfondi;
- ✓ rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato sp=25 cm e da centine metalliche 2IPN180 con passo 1.00 m.

Per il rivestimento definitivo sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ getto dell'arco rovescio armato di 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ getto delle murette armate da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

- ✓ rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo armato, di spessore variabile trasversalmente e longitudinalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta variabile tra 0.60 m e 1.30 m da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 72.0 m (circa 6 diametri).

7.3 Asse Principale - Sezione di avanzamento C2

Tavola di riferimento: VE407_P00GN01OSTST03_A.

Lunghezza campi di avanzamento= 6m.

Si prevede l'applicazione della sezione di avanzamento C2 nella zona in terreni sciolti prevista all'imbocco sud.

Per il rivestimento di prima fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ 2+2 drenaggi in avanzamento L=36.00 m con sovrapposizione minima 12.00 m di 60 mm di diametro e 4 mm di spessore (perforazione D=90 mm);
- ✓ preconsolidamento al contorno del cavo con 40 tubi metallici acciaio S355 H di 114.3 mm di diametro e 10 mm di spessore (perforazione D=140 mm), valvolati (1valv/m) e iniettati di L=18.00 m con sovrapposizione 6.00 m;
- ✓ preconsolidamento al contorno del cavo con 71 colonne di jet grouting D=600mm, L=18.00 m con sovrapposizione 6.00 m;
- ✓ preconsolidamento al fronte con 36 colonne di micro jet grouting D=300mm armati con chiodi al fronte in vetroresina di 60 mm di diametro e 10 mm di spessore L=18.00 m con sovrapposizione 6.00 m;
- ✓ scavo a piena sezione con sfondi di profondità massima di 1.00 m;
- ✓ spritz-beton fibrorinforzato al fronte sp=10 cm ogni fine campo e spessore 5 cm sul 30% degli sfondi;
- ✓ rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato sp=25 cm e da centine metalliche 2IPN180 con passo 1.00 m.

Per il rivestimento definitivo sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ getto dell'arco rovescio armato di 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ getto delle murette armate da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo armato, di spessore variabile trasversalmente e longitudinalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta variabile tra 0.60 m e 1.30 m da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 72.0 m (circa 6 diametri).

7.4 Piazzola di sosta - Sezione di avanzamento B0 (BO_PS)

Tavola di riferimento: VE407_P00GN01OSTST04_A.

Lunghezza campi di avanzamento=12m.

Sono previsti i seguenti principali interventi:

Per il rivestimento di prima fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ 2+2 drenaggi in avanzamento L=36.00 m con sovrapposizione minima 12.00 m di 60 mm di diametro e 4 mm di spessore (perforazione D=90 mm);
- ✓ scavo a piena sezione con sfondi di profondità massima di 1.20 m;
- ✓ spritz-beton fibrorinforzato al fronte sp=10 cm ogni fine campo e spessore 5 cm sul 10% degli sfondi;
- ✓ rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato sp=25 cm e da centine metalliche 2IPN180 con passo 1.20 m;
- ✓ 10/9 bulloni in acciaio ad ancoraggio continuo Superswellex L=6.00 m passo trasversale 2.00m passo longitudinale 1.20 m disposti a quinconce.

Per il rivestimento definitivo fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ getto dell'arco rovescio di 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ getto delle murette armate da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- ✓ -rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo, di spessore variabile trasversalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta di 0.60 m eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 72.0 m (circa 6 diametri).

7.5 Bypass e Galleria di emergenza - Sezione di avanzamento B0 (BO_BP)

Tavola di riferimento: VE407_P00GN01OSTST05_A.

Lunghezza campi di avanzamento=6m.

Si prevede la realizzazione di quattro Bypass pedonali, distanziati 300 m, alle seguenti progressive riferite alla galleria principale:

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

GN01_BPP01	9+657.00
GN01_BPP02	9+957.00
GN01_BPP03	10+257.00
GN01_BPP04	10+557.00

Per il rivestimento di prima fase dei Bypass e della Galleria di Emergenza sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ 2+2 drenaggi in avanzamento L=12.00 m con sovrapposizione minima 6.00 m di 60 mm di diametro e 4 mm di spessore (perforazione D=90 mm);
- ✓ scavo a piena sezione con sfondi di profondità massima di 1.20 m;
- ✓ spritz-beton fibrorinforzato al fronte sp=10 cm ogni fine campo e spessore 5 cm sul 10% degli sfondi;
- ✓ rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato sp=25 cm e da centine metalliche 2IPN180 con passo 1.20 m;
- ✓ eventuali bulloni in acciaio ad ancoraggio continuo Superswellex L=6.00 m.

Per il rivestimento definitivo fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ getto dell'arco rovescio di 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 18.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ getto delle murette armate da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 18.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- ✓ -rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo, di spessore variabile trasversalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta di 0.60 m eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 6 diametri).

7.6 Galleria di emergenza - Sezione di avanzamento C1 (C1_BP)

Tavola di riferimento: VE407_P00GN01OSTST06_A.

Lunghezza campi di avanzamento=6m.

Si prevede l'applicazione della sezione di avanzamento C1 nelle zone detensionate di imbocco.

Per il rivestimento di prima fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ 2+2 drenaggi in avanzamento L=12.00 m con sovrapposizione minima 6.00 m di 60 mm di diametro e 4 mm di spessore (perforazione D=90 mm);

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

- ✓ preconsolidamento al contorno del cavo con 17 tubi metallici acciaio S355 H di 114.3 mm di diametro e 10 mm di spessore (perforazione D=140 mm), valvolati (1valv/m) e iniettati di L=10.00 m con sovrapposizione 4.00 m;
- ✓ preconsolidamento al fronte con 15 chiodi al fronte in vetroresina cementati in foro di 60 mm di diametro e 10 mm di spessore (perforazione D=100 mm) L=12.00 m con sovrapposizione 6.00 m;
- ✓ scavo a piena sezione con sfondi di profondità massima di 1.00 m;
- ✓ spritz-beton fibrorinforzato al fronte sp=10 cm ogni fine campo e spessore 5 cm sul 30% degli sfondi;
- ✓ rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato sp=25 cm e da centine metalliche 2IPN180 con passo 1.00 m.

Per il rivestimento definitivo fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ getto dell'arco rovescio di 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 18.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ getto delle murette armate da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 18.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- ✓ -rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo, di spessore variabile trasversalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta variabile tra 0.50 m e 0.90 m eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 6 diametri).

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

8 INTERAZIONI CON GLI EDIFICI ED INFRASTRUTTURE ESISTENTI

Il tracciato della galleria naturale Castellavazzo e della galleria d'emergenza si sviluppano in prossimità di diversi fabbricati e della linea ferroviaria, come si mostra nella figura seguente.

Come noto, i fenomeni di subsidenza che si sviluppano durante la costruzione possono causare danni ai manufatti situati nella zona di influenza dello scavo.

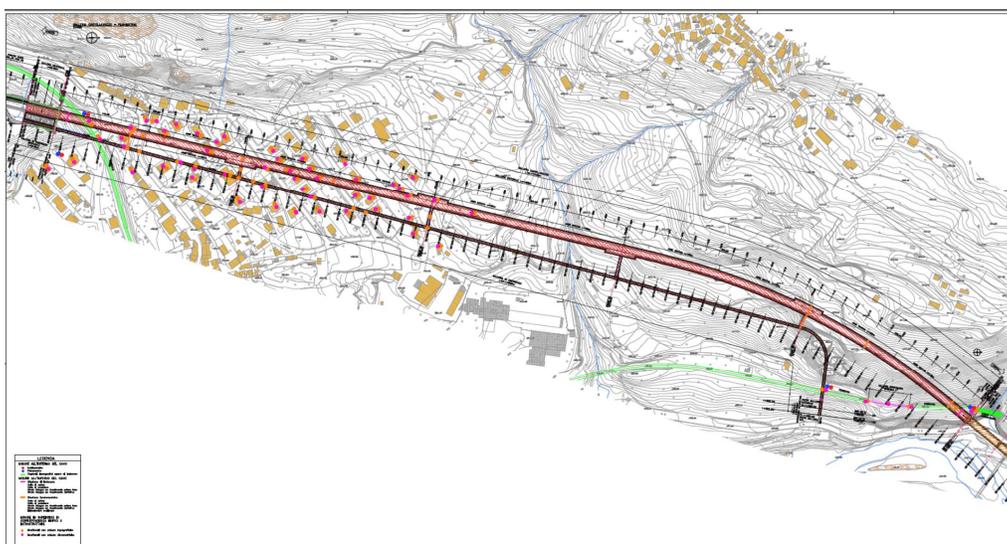


Figura: Interferenze Galleria Castellavazzo e galleria d'emergenza con edifici ed infrastrutture.

Le interferenze sono molte ed è stata prevista una ampia campagna di monitoraggio topografico e vibrometrico.

Le interferenze con la linea ferroviaria sono argomento di un capitolo a parte.

I fabbricati sono tutti caratterizzati dalle medesime caratteristiche costruttive, si tratta di edifici adibiti a civile abitazione a massimo quattro piani fuori terra, con struttura in cemento armato.

La galleria di emergenza, che presenta una area di scavo ridotta rispetto alla galleria principale (30 mq contro 160mq circa) sarà eseguita prima e sarà importante per ottimizzare la previsione della risposta deformativa della galleria principale.

Come descritto precedentemente, lo scavo della galleria principale dalla progressiva 9+480 si svilupperà in roccia calcarea e non darà luogo, pertanto, a fenomeni significativi di subsidenza in superficie.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

Il tratto iniziale, tra la progressiva di inizio del tratto in naturale 9+365 e la progressiva 9+569 che sarà scavato in terreni sciolti o al contatto con la formazione rocciosa, rappresenta il tratto critico per i cedimenti in superficie.

Fino alle progressiva 9+521, viste le basse coperture (10 - 40 m) è stata prevista una sezione di avanzamento (C2) con consolidamento al contorno, non solo con infilaggi metallici come nel tratto successivo (C1), ma anche con colonne in jet grouting con diametri di 600mm, per limitare gli effetti dello scavo in superficie, creando un arco di scarico.



Figura: Immagine edifici interferenti.

In successione, alla progressiva 9+400 la galleria principale sotto passa la linea ferroviaria, alla progressiva 9+440 la strada statale 51 e dopo si incontrano una serie di edifici.

Vengono individuati un gruppo di edifici, considerati critici, per materiali di scavo e basse coperture, che ricadono alla progressiva 9+480, dove come indicato nei capitoli precedenti è stata sviluppata anche una analisi agli elementi finiti.

Si riportano a continuazione le foto degli edifici e ne vengono riassunte le caratteristiche geometriche.



Figura: Foto fabbricato 1 - progressiva 9+480 (vista da sud).



Figura: Foto fabbricato 2 - progressiva 9+480 (vista da nord).

Fabbricato n.	Progressiva	Copertura di terreno sul cielo della galleria (m)	Distanza dello spigolo più sfavorito dall'asse della galleria (m)
1	9+480	25	0
2	9+480	25	0

Le verifiche effettuate hanno dato tutte esito positivo. Nella relazione di calcolo sono riportate in dettaglio.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

9 VIBRAZIONI INDOTTE DALLE OPERAZIONI DI SCAVO

Il presente capitolo analizza i risultati delle verifiche delle operazioni di realizzazione delle gallerie naturali, in termini di vibrazioni indotte sui manufatti disposti in prossimità dalle operazioni meccaniche di scavo.

Si rimanda per i dettagli alla relazione di calcolo.

Gli studi della risposta dell'ammasso alle vibrazioni prodotte hanno indotto alle limitazioni alle metodologie di scavo riportate nel capitolo 4.

9.1 Legislazione di riferimento

A causa della carenza legislativa italiana è usuale riferirsi alle normative dei paesi europei, in particolare alla normativa svizzera (Norma svizzera "Norm Sn 640312a, aprile 1992").

che risulta essere la più cautelativa.

Tutte le norme stabiliscono dei valori limite di velocità delle particelle in funzione di diversi parametri, al fine della salvaguardia delle strutture relativamente al primo livello di danno, il cosiddetto danno di tipo "cosmetico".

Esso consiste in una leggera fessurazione degli intonaci, che si manifesta in corrispondenza di giunzioni tra pareti, angoli delle porte o delle finestre, etc.

Il valore di soglia si riferisce al vettore velocità, che è funzione anch'esso del tipo di struttura, delle frequenze dell'onda e del numero di sismi ai quali il manufatto può essere assoggettato.

Questo, rende innovativa tale legislazione, perché è la prima ad assumere come parametro fondamentale ai fini della sicurezza il numero dei sismi, in modo da considerare, seppur sommariamente, gli effetti di fatica sulle strutture.

Lo standard svizzero prevede quattro classi di manufatti costituiti da diversi tipi e tipologie costruttive, sia in superficie sia in sotterraneo.

La classifica tecnica è riportata nelle tabelle seguenti, mentre per quanto riguarda il numero dei sismi i campi individuati sono appresso riportati:

- $1 < n < 1000$
- $1000 < n < 100000$
- $n > 100000$

i campi di frequenza sono i seguenti:

- $f \text{ (Hz)} < 30$
- $30 < f \text{ (Hz)} < 60$
- $f \text{ (Hz)} > 60$

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 Sanas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	Relazione Tecnica Generale	

NORMATIVA SVIZZERA

Tipo d'edificio	Numero sismi	Valore ammissibile della velocità (mm/s)		
		< 30 Hz	(30-60) Hz	> 60 Hz
Pochissimo sensibile (1)	Occasionali < 1000 Frequenti < 100000 Permanenti >10000	Valori fino a tre volte i corrispondenti limiti della classe (3)		
Poco sensibile (2)	Occasionali < 1000 Frequenti < 100000 Permanenti >10000	Valori fino a due volte i corrispondenti limiti della classe (3)		
Normale (3)	Occasionali < 1000 Frequenti < 100000 Permanenti >10000	15 6 3	20 8 4	30 12 6
Molto sensibile (4)	Occasionali < 1000 Frequenti < 100000 Permanenti >10000	Valori tra i corrispondenti della classe (3) e la metà		

Classe di costruzione	Costruzioni superficiali	Costruzioni profonde
(1) Pochissimo sensibile		Ponti in c.a. o in ferro fondazioni in c.a., cls, solide mura gallerie grandi vuoti, pozzi in roccia dura o roccia scedente ben consolidata fondazioni di macchine tubazioni robuste in superficie
(2) Poco sensibile	Strutture industriali in c.a., o in acciaio, senza intonaco silos, torri in muratura o in ferro	Gallerie, camere, pozzi in roccia tenera parcheggi sotterranei condutture (gas, acqua, etc.) muri a secco
(3) Normale	Abitazioni con struttura in c.a., in cls. o in pietra chiese in muratura con intonaco	Serbatoi condutture in ghisa strutture viarie in gallerie
(4) Molto sensibile	Monumenti, edifici protetti ristrutturazioni recenti negli edifici di classe 3 abitazioni con stucchi in gesso	Vecchie strutture in ghisa

Come è possibile evincere, la normativa svizzera identifica un notevole numero di strutture che ne rendono agevole l'uso e meno indeterminata la tipologia del manufatto.

9.2 Limiti ammissibili di sismicità

Sulla base di quanto sopra, è possibile proporre una tabella che fissa i valori di soglia del picco della velocità delle particelle in funzione della struttura considerata.

La frequenza delle vibrazioni dipende dalle caratteristiche dei materiali sia in corrispondenza del punto di esplosione che in corrispondenza della zona di rilevazione, e varia in funzione della distanza dal punto di scoppio.

La frequenza di dette vibrazioni risulta notevolmente elevata quando l'onda interessa formazioni di roccia compatta.

In via sperimentale è stato rilevato che la legge di variazione della frequenza principale, in funzione della distanza R, è di tipo logaritmico:

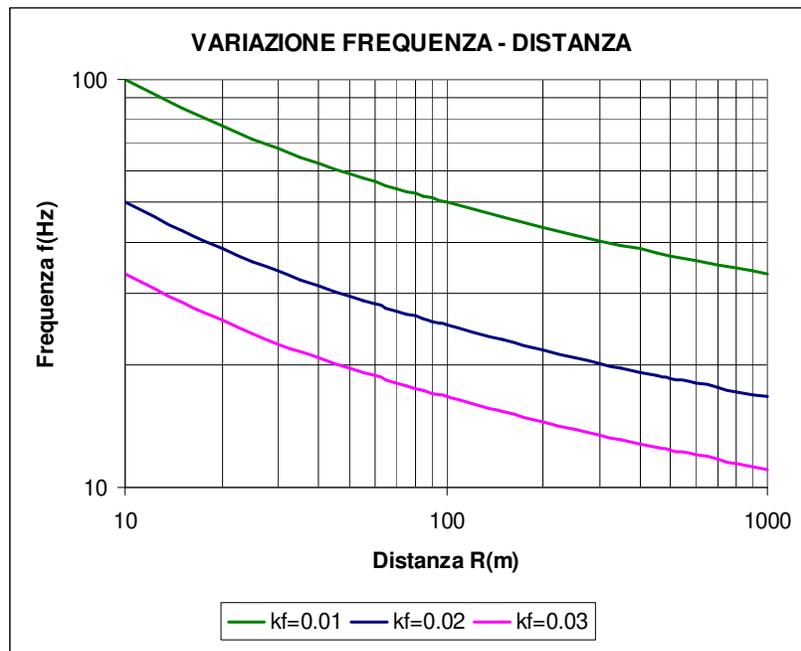
$$f(\text{Hz}) = kf (\log R)^{-1}$$

essendo kf un coefficiente dipendente dalle caratteristiche dei terreni. Nel caso di rocce dure e compatte si ha:

$$kf = 0.01 - 0.03$$

Alla formazioni calcaree di interesse, in via cautelativa, può essere attribuito un valore pari a 0.01-0.02.

Di seguito è diagrammato l'andamento della frequenza in funzione distanza R per diversi valori di kf :



Tenuto conto delle caratteristiche della roccia in posto, si può fare riferimento al seguente campo di frequenze:

- ✓ Frequenze > 60 Hz per distanze inferiori a 50 m;
- ✓ Frequenze comprese tra 30 e 60 Hz per distanze comprese tra 50 e 100 m;
- ✓ Frequenze < 30 Hz per distanze maggiori di 100 m.

Per quanto attiene le "Classi di costruzione", i fabbricati adibiti ad uso residenziale con strutture in c.a., acciaio o muratura sono classificati come strutture "Normali". Le gallerie, che risultano meno vulnerabili

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 Sanas GRUPPO FS ITALIANE
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

all'effetto dei sismi, potrebbero essere classificate come "poco sensibili" ma a favore di sicurezza vengono considerate come strutture "Normali", il ponte ferroviario viene considerato come struttura "Molto sensibile".

Facendo riferimento alla normativa svizzera, considerando un numero di sismi di poco superiore a 1000 e significativamente inferiore di 100000 nel caso di abbattimento della roccia con esplosivi, e di tipo "frequente" nel caso di abbattimento della roccia con martellone, si ottengono i seguenti Limiti ammissibili di sismicità:

Interferenza	Classe di costruzione	Metodologia di scavo (m)	Distanza (m)	vamm (mm/sec)
Ponte ferroviario Imbocco Nord	4	Demolitore	23,5	5
Ponte ferroviario Galleria	4	Demolitore	23,5	5
Ferrovia Imbocco Nord	3	Demolitore	23	10
Galleria ferroviaria	3	Microcariche	33	15
Galleria ferroviaria	3	Microcariche	65	10
Edifici	3	Microcariche	40-50	15
Edifici	3	Demolitore	20-40	10

9.3 Scavo con esplosivo – Distanze minime di rispetto dai siti sensibili

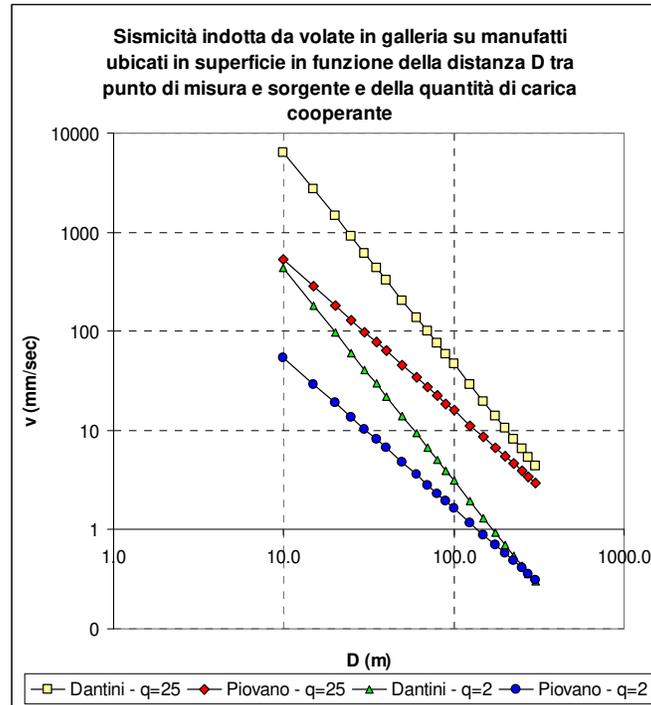
Sulla base delle precedenti relazioni si vogliono determinare:

- ✓ le distanze dai siti sensibili sopra le quali è possibile eseguire lo scavo della galleria con esplosivo senza alcuna limitazione di sorta circa la quantità massima di carica cooperante;
- ✓ le distanze dai siti sensibili sopra le quali è possibile eseguire lo scavo con esplosivo ma con microcariche ritardate limitando la quantità massima di carica cooperante;

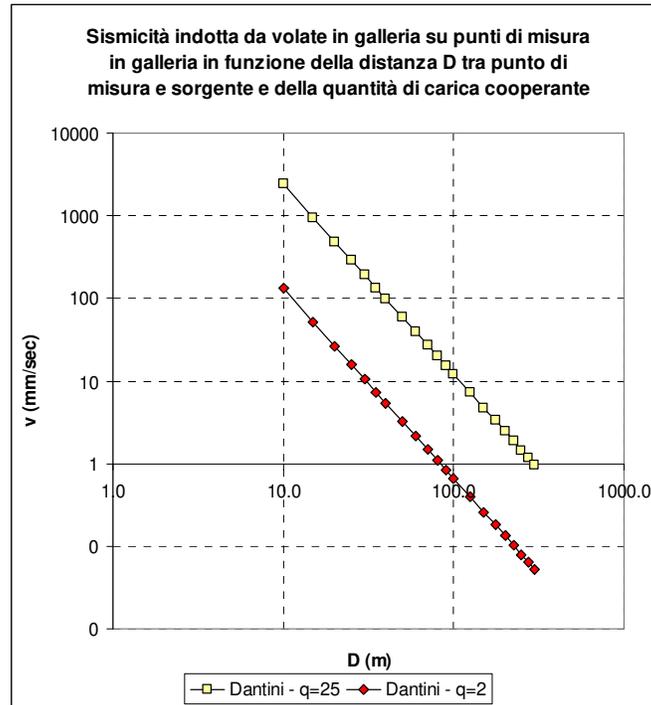
Al di sotto di queste ultime distanze sarà necessario scavare la galleria con mezzi meccanici, prevedendo, ove le condizioni dell'ammasso lo rendano necessario, un preventivo "disaccorpamento" delle masse con l'impiego di un quantità minima di esplosivo o con l'impiego di agenti espansivi, per indurre uno stato di fratturazione utile al successivo abbattimento con mezzi meccanici.

In tal senso, si è fatto riferimento a due quantità di carica cooperante, pari rispettivamente a 25 kg e 2 kg, le quali in prima approssimazione possono essere ritenute le quantità limiti corrispondenti alle possibilità di scavo con esplosivo senza limitazioni e con microcariche ritardate.

Il grafico seguente riporta la velocità indotta in funzione della distanza sorgente – punto di misura, per le quantità qc sopra riportate, ottenute utilizzando le relazioni (1) e (2):



Il grafico seguente riporta la velocità indotta in funzione della distanza sorgente – punto di misura, per le quantità q_c sopra riportate, ottenute utilizzando la relazione (3) relativa al caso di punto di misura ubicato in galleria:



E' possibile osservare quanto segue:

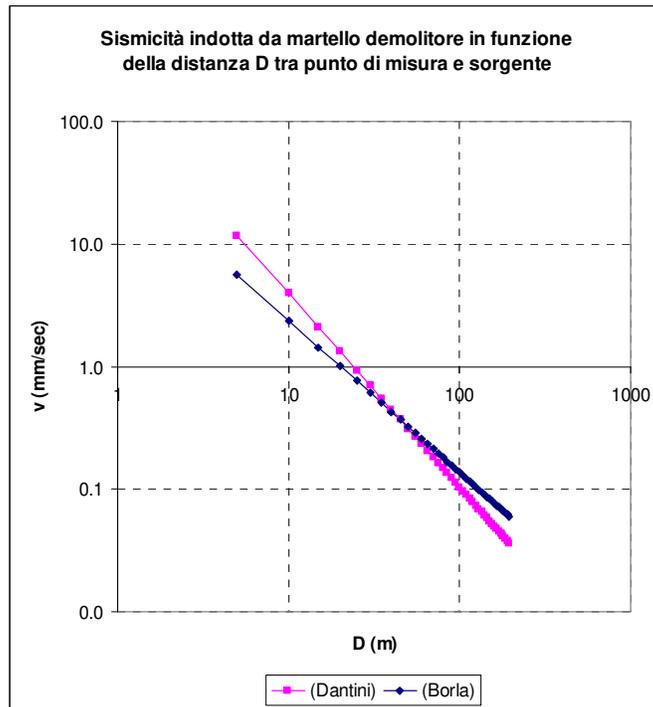
- ✓ L'espressione (1) risulta più vincolante della (2), in effetti, come riportato dall'autore, essa corrisponde ad un grado di affidabilità del 95%;
- ✓ Con riferimento ai siti sensibili ubicati in superficie (fabbricati), la distanza sopra la quale è possibile eseguire gli scavi con esplosivo senza limitazioni di sorta risulta pari a circa **200 m** utilizzando la (1) e circa 140 m utilizzando la (2) - velocità ammissibile di 10 mm/sec.;
- ✓ Sempre con riferimento agli stessi siti ubicati in superficie, la distanza sotto la quale non è sostanzialmente possibile eseguire gli scavi con esplosivo, anche con sistemi di microcariche ritardate e limitazione delle profondità di avanzamento, risulta pari a **50 m** utilizzando la (1) e circa 25 m utilizzando la (2) - velocità ammissibile di 15 mm/sec. Tutti i fabbricati disposti in prossimità della galleria sono comunque disposti a distanze maggiori.
- ✓ Con riferimento la galleria ferroviaria Gardona 1 , la distanza sopra la quale è possibile eseguire gli scavi con esplosivo senza limitazioni di sorta risulta pari a circa **100 m** - velocità ammissibile di 10 mm/sec.;
- ✓ Sempre con riferimento alla medesima galleria, la distanza sotto la quale non è sostanzialmente possibile eseguire gli scavi con esplosivo, anche con sistemi di microcariche ritardate e limitazione delle profondità di avanzamento, risulta pari a circa **25 m** - velocità ammissibile di 15 mm/sec.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

Ovviamente, i risultati sopra illustrati forniscono una stima verosimilmente cautelativa degli effetti indotti dagli scavi con esplosivo ai siti sensibili. Il monitoraggio vibrometrico permetterà di tarare con precisione le caratteristiche delle volate da eseguire per l'abbattimento della roccia nel rispetto dei limiti di sismicità precedentemente elencati.

9.4 Scavo con martello demolitore - Sismicità indotta ai siti sensibili

Il grafico seguente riporta le velocità indotte in funzione della distanza sorgente – punto di misura:



E' possibile osservare quanto segue:

- ✓ I risultati ottenuti utilizzando le due formule sono confrontabili;
- ✓ Le velocità indotte sulla ferrovia, disposto a distanza di circa 23 m nel punto più sfavorito, sono compatibili con i valori limiti assunti.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

10 INTERFERENZE GALLERIE CON LA RETE FERROVIARIA PONTE NELLA ALPI - CALALZO

La galleria principale e quella d'emergenza corrono parallele alla rete ferroviaria tratta Ponte nella Alpi - Calalzo.

Sono stati individuati e studiati 4 punti di interferenza tra le due infrastrutture in prossimità degli imbocchi.

- ✓ Interferenza 1: Asse Principale nuova S.S.51 – Rete ferroviaria all'aperto – Imbocco Sud;
- ✓ Interferenza 2: Galleria d'emergenza – Rete ferroviaria all'aperto – Imbocco Sud;
- ✓ Interferenza 3: Galleria d'emergenza – Rete ferroviaria all'aperto e in galleria (Gardona 1) – Imbocco Nord;
- ✓ Interferenza 4: Asse Principale nuova S.S.51 – Rete ferroviaria all'aperto, in galleria (Gardona 1) e su ponte – Imbocco Nord.

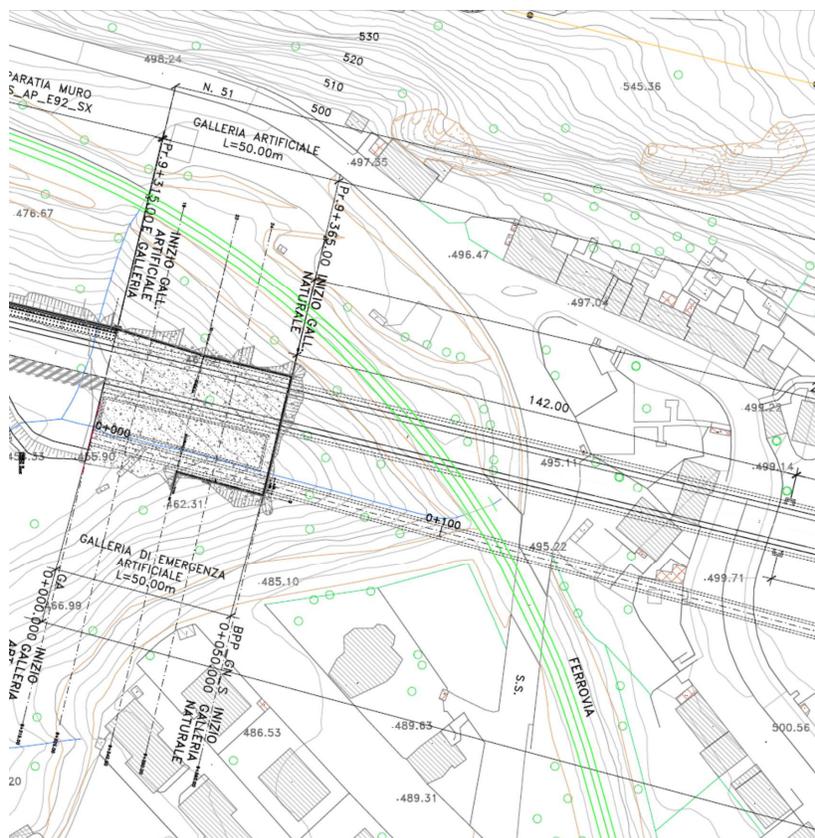


Figura: Planimetria Interferenza 1 e 2 SS51 – Tratta ferroviaria Ponte nella Alpi – Calalzo.

GALLERIA CASTELLAVAZZO
 PROFILO LONGITUDINALE IN ASSE PROGETTO

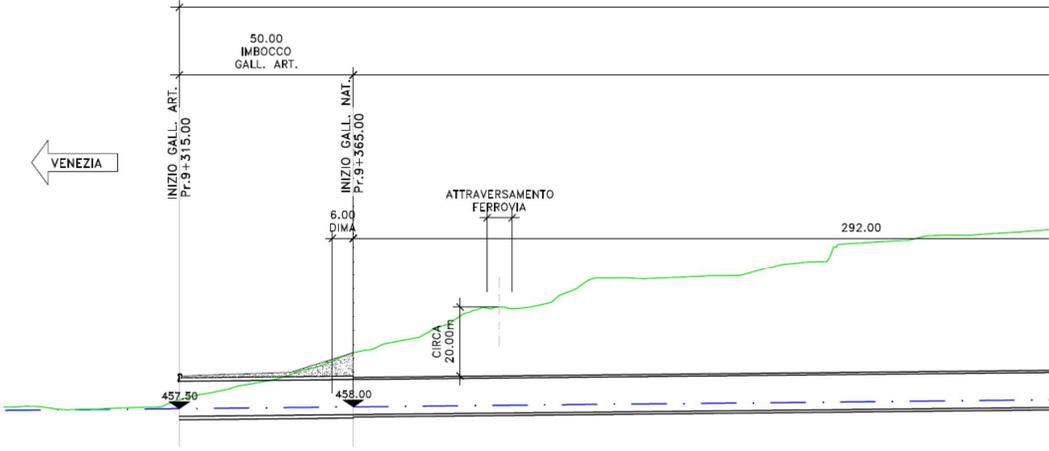


Figura: Profilo Interferenza 1 tra nuova SS51 – Tratta ferroviaria Ponte nella Alpi – Calazo.

GALLERIA CASTELLAVAZZO – GALLERIA DI EMERGENZA
 PROFILO LONGITUDINALE

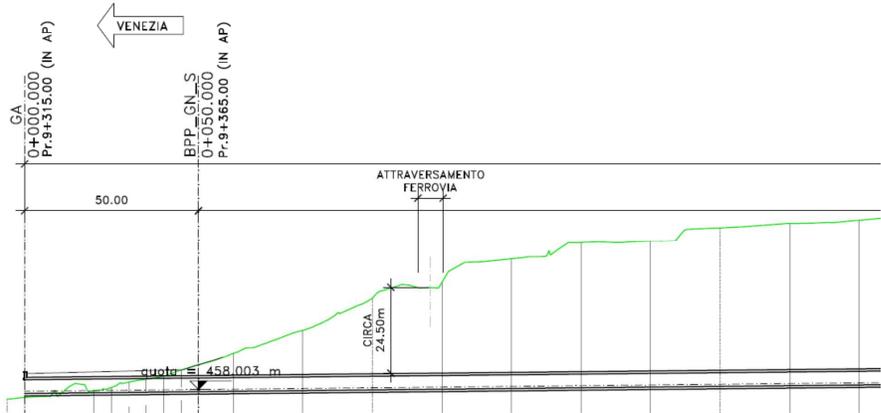


Figura: Profilo Interferenza 2 tra Galleria d'emergenza – Tratta ferroviaria Ponte nella Alpi – Calazo.

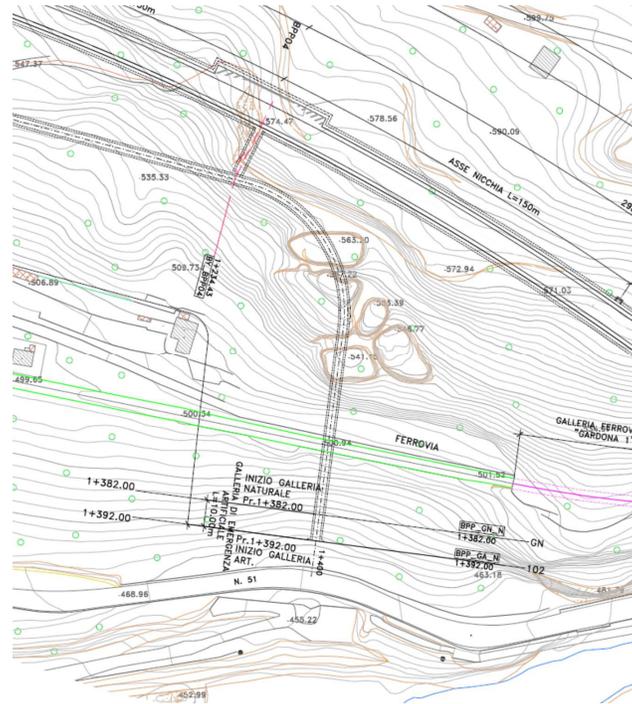


Figura: Planimetria Interferenza 3 – Galleria d'emergenza Imcco Nord – Tratta ferroviaria Ponte nella Alpi – Calazo.

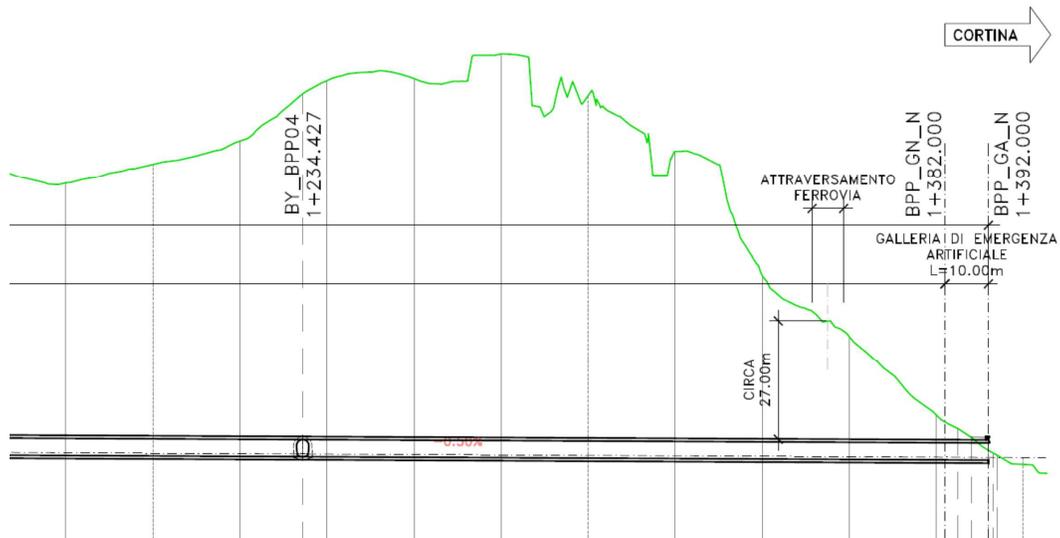


Figura: Profilo Interferenza 3 – Galleria d'emergenza Imcco Nord – Tratta ferroviaria Ponte nella Alpi – Calazo.

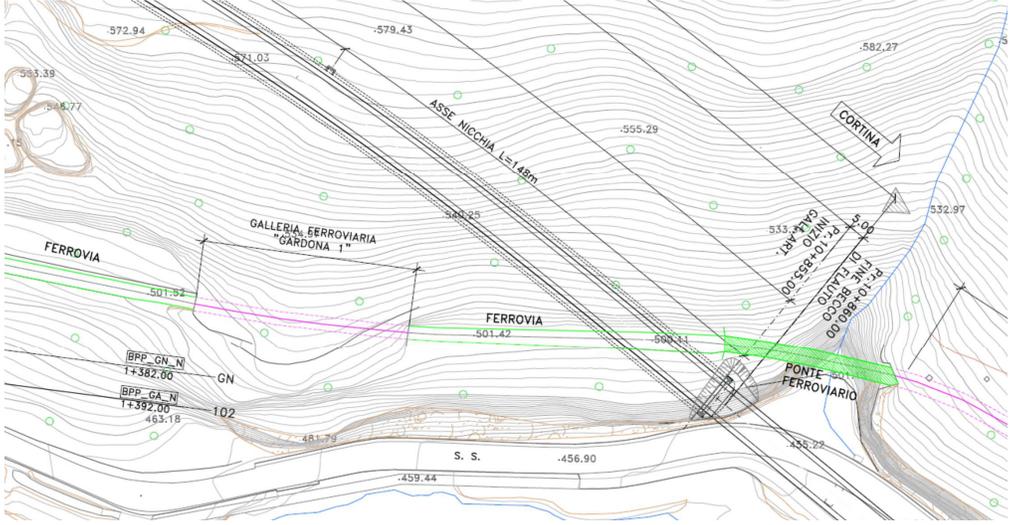


Figura: Planimetria Interferenza 4 – Galleria principale nuova S.S.51 Imbocco Nord – Tratta ferroviaria Ponte nella Alpi – Calzo.

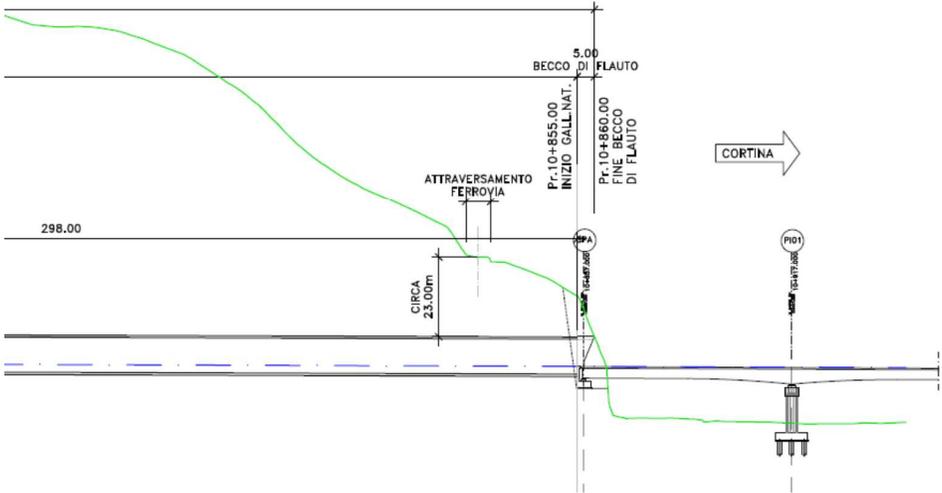


Figura: Profilo Interferenza 4 – Galleria principale nuova S.S.51 Imbocco Nord – Tratta ferroviaria Ponte nella Alpi – Calzo.

Nella relazione di calcolo, a cui si rimanda per maggiori dettagli, sono state verificate con esito positivo le quattro (4) interferenze con la linea ferroviaria.

11 APPLICAZIONE DEL MONITORAGGIO ALLE SEZIONI

Il monitoraggio in corso d’opera presenta un mezzo forte di controllo della coerenza progettuale e dell’applicabilità delle condizioni al contorno ipotizzate in fase di progettazione.

Esso permette di verificare le seguenti condizioni:

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

- ✓ verificare la rispondenza di quanto misurato in situ rispetto alle ipotesi di progetto;
- ✓ verificare e ottimizzare l'intensità degli interventi previsti (numero di consolidamenti al fronte, lunghezze delle sovrapposizioni, passo delle centine, ecc.) in relazione alla risposta deformativa del fronte e dello stato tensionale nei rivestimenti;
- ✓ verificare la corretta applicazione delle sezioni tipologiche previste in progetto;
- ✓ segnalare la necessità o possibilità di applicazioni di sezioni tipo differenti da quelle previste in progetto.

L'interpretazione dei dati di monitoraggio si basa principalmente sulla "corretta interpretazione" del comportamento tenso-deformativo al fronte e al contorno del cavo con una analisi completa di tutti i dati provenienti dal monitoraggio.

In altri termini valutando contemporaneamente il rilievo geologico, le misure di estrusione, di convergenza e di subsidenza si può valutare e ipotizzare il meccanismo di collasso dal cavo e i margini rispetto a tale situazione per poter eventualmente intervenire in una nuova taratura del progetto realizzato in opera.

Per meglio interpretare i dati di monitoraggio si è soliti stabilire dei "**valori di soglia**" che risultano essere dei valori di riferimento limite rispetto alle ipotesi progettuali.

Sono quindi introdotti i seguenti valori di soglia:

- ✓ **Soglia di attenzione.** Al superamento di tale soglia si eseguirà un'accurata verifica dell'esecuzione delle fasi costruttive previste e si valuterà tempestivamente se apportare leggere modifiche a tali lavorazioni, orientati dalla presenza o meno di eventuali segni premonitori di instabilità dell'evoluzione temporale delle misure, valutando la successiva stabilizzazione della risposta;
- ✓ **Soglia di allarme.** Al superamento di tale soglia si aumenterà opportunamente la prevista frequenza delle misure per verificare l'eventuale progressiva stabilizzazione della risposta.

Qualora le velocità di variazione delle grandezze misurate non si annullino in breve termine, le operazioni di scavo si arresteranno e si applicheranno tempestivamente dei provvedimenti atti a contrastare la tendenza al comportamento instabile del cavo.

11.1 Stazioni di monitoraggio strumentate

Il Capitolato Anas prevede:

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 an as GRUPPO FS ITALIANE
VE407	Relazione Tecnica Generale	

Tabella 10-1: Caratteristiche delle Stazioni

stazione	Posizione	Letture	Durata
Imbocchi	Per ogni imbocco	Giornaliera	Per tutta la durata del cantiere
Gallerie superficiali urbane	Ogni 100 m o meno	Giornaliera o inferiore	Per tutta la durata del cantiere
Gallerie superficiali extraurbane	Ogni 250 m o meno	Giornaliera o inferiore	Per tutta la durata del cantiere
Fondamentali	Ogni 1000 m o meno	Giornaliera (se significativa) o superiore	Fino al collaudo (Strumentazione esterna)
Principali	500 m o meno	Giornaliera o inferiore	Oltre il passaggio del fronte (≥ 5 diametri) o fino al getto del rivestimento definitivo
Secondarie	Ogni 50 m o meno	Ogni fase lavorativa o inferiore	Oltre il passaggio del fronte (3 diametri) o fino al getto del rivestimento definitivo
Monitoraggio al fronte	Ogni campo di lavoro	Ogni 10 m	Fino al getto del rivestimento definitivo
Rilievo del fronte di scavo (in terreni sciolti e lapidei)	Ogni 10 m	Ogni 10 m	-----

Caratteristiche Stazioni di monitoraggio in corso d'opera, Capitolato Speciale di Appalto, Anas

Tabella 10-2: Caratteristiche delle Stazioni

Stazione	Posizione	Letture (*)	Durata (*)
Imbocchi	Per ogni imbocco	Giornaliera	Per tutta la durata del cantiere
Gallerie superficiali urbane	100 m o meno	Giornaliera o inferiore	Fino al collaudo
Gallerie superficiali extraurbane	250 m o meno	Giornaliera o inferiore	Fino al collaudo
Fondamentali	1000 m o meno	Giornaliera (se significativa)	Fino al collaudo
Principali	500 m o meno	Giornaliera	Fino al collaudo
Monitoraggio conci prefabbricati	100 m o meno	Giornaliera o inferiore	

(*) Letture da effettuare, dopo il collaudo, con frequenza semestrale o inferiore, per la vita dell'opera

Caratteristiche Stazioni di monitoraggio in esercizio, Capitolato Speciale di Appalto, Anas

Nel caso in esame la galleria naturale ha lunghezza pari a **1490m**, pertanto, le stazioni di misura saranno articolate come segue:

- ✓ (2) Stazioni per gli imbocchi;
- ✓ (4) Stazioni fondamentali – coincidenti con le sezioni di calcolo.

Le progressive delle stazioni di monitoraggio per la galleria principale sono le seguenti:

- ✓ Stazione 1 di imbocco [progr.9+380.00](#)
- ✓ Stazione 2 fondamentale (calcolo) [progr.9+480.00](#)
- ✓ Stazione 3 fondamentale (calcolo) [progr.10+560.00](#)
- ✓ Stazione 4 fondamentale (calcolo) [progr.10+660.00](#)
- ✓ Stazione 5 fondamentale (calcolo) [progr.10+820.00](#)
- ✓ Stazione 6 di imbocco [progr.10+840.00](#)

Nel caso in esame la galleria d'emergenza ha lunghezza pari a **1332m**, pertanto, le stazioni di misura saranno articolate come segue:

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 Sanas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	Relazione Tecnica Generale	

- ✓ (2) Stazioni per gli imbocchi;
- ✓ (2) Stazioni fondamentali – coincidenti con le sezioni di calcolo.

Le progressive delle stazioni di monitoraggio per la galleria principale sono le seguenti:

- ✓ Stazione 7 di imbocco progr.0+050.00
- ✓ Stazione 8 fondamentale (calcolo) progr.0+165.00 (progr.9+480.00 dell'AP)
- ✓ Stazione 9 fondamentale (calcolo) progr.1+225.00 (progr.10+640.00 dell'AP)
- ✓ Stazione 10 di imbocco progr.1+370.00

Le misure effettuate si divideranno in:

- ✓ misure all'interno del cavo;
- ✓ misure all'esterno del cavo (per le stazioni di imbocco, strumenti piezometri ed inclinometri).

Nella tabella seguente si riportano le strumentazioni installate nelle varie stazioni di monitoraggio:

QUANTITA' STRUMENTAZIONI GALLERIA PRINCIPALE							
STRUMENTO	QUANTITA' SU STAZIONI N.						TOTALE
	1	2	3	4	5	6	
CC	2	2	2	2	2	2	12
CP	5	5	5	5	5	5	30
SG	6	6	6	6	6	6	36
SGC	16	16	16	16	16	16	96
Estensimetro multibase		3	3	3	3		12
Inclinometro esterno	1					1	2
Piezometro esterno	1					1	2

QUANTITA' STRUMENTAZIONI GALLERIE DI EMERGENZA					
STRUMENTO	QUANTITA' SU STAZIONI N.				TOTALE
	7	8	9	10	
CC	2	2	2	2	8
CP	5	5	5	5	20
SG	6	6	6	6	24
SGC	16	16	16	16	64
Estensimetro multibase		3	3		6
Inclinometro esterno	1			1	2
Piezometro esterno	1			1	2

Con:

- CC Celle di carico al piede della centina rivestimento prima fase;
- CP sono le Celle di pressione radiale su rivestimento prima fase;
- SG Strain Gauges su rivestimento prima fase;
- SGC Strain Gauges su rivestimento definitivo.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	Relazione Tecnica Generale	

11.2 Misure delle soglie di attenzione di allarme sul rivestimento di prima fase

I valori di soglia di attenzione e di allarme risultano così definiti per una deformata C_{ATTESA} ottenuta con calcoli svolti in condizioni drenate:

- soglia di attenzione: **1.2 C_{ATTESA}**
- soglia di allarme: **1.3 $S_{ATTENZIONE}$**

I valori della deformata sono stati considerati per la fase di calcolo al getto dell'arco rovescio e risultano:

Sezione Tipo	H	Range teorico	Soglia di attenzione	Soglia di allarme
(m)	Copertura	Conv. (mm)	Conv. (mm)	Conv. (mm)
B0	100,0	10,0	12,0	15,6
C1-C2	30,0	40,0	48,0	62,4
B0_PS	100,0	20,0	24,0	31,2
B0_BP	90,0	5,0	6,0	7,8
C1_BP	30,0	20,0	24,0	31,2

11.3 Valori di estrusione attesa sul fronte

Il criterio di definizione dei valori di soglia delle estrusioni non può essere basato direttamente sui risultati delle analisi numeriche alle differenze finite perché queste ultime sono sviluppate nel piano della sezione trasversale della galleria.

Si fa quindi riferimento a dei risultati di analisi numeriche tridimensionali svolte in casi confrontabili con quelli in esame, da cui si evince che il valore di estrusione del fronte è prossima al 60% della massima convergenza diametrale verticale del contorno, in presenza di pririvestimento e in assenza di consolidamento del fronte.

L'esperienza ricavata da misure di estrusione al variare della lunghezza dei tubi in VTR (Lunardi, 2000) indica che in presenza di efficaci consolidamenti, l'estrusione è circa il 25% di quella del fronte non sostenuto u_f .

Quindi otteniamo:

$$C_{ESTRUSIONE\ ATTESA} = 0,60 \times 0,25 \times u_f = 0,15 u_f$$

I valori di soglia di attenzione e di allarme per le misure di estrusione dei fronti risultano quindi così definiti:

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

- soglia di attenzione = **1.2 C**ESTRUSIONE ATTESA
- soglia di allarme= **1.3 S**ATTENZIONE

Si presentano in forma grafica i valori del vettore di spostamento del cavo non sostenuto per le differenti Sezioni di scavo della galleria.

Sezione Tipo	H	Range teorico	Soglia di attenzione	Soglia di allarme
(m)	Copertura	Estrusione. (mm)	Estrusione. (mm)	Estrusione. (mm)
B0	100,0	1,5	1,8	2,3
C1-C2	30,0	6,0	7,2	9,4
B0_PS	100,0	3,0	3,6	4,7
B0_BP	90,0	0,8	0,9	1,2
C1_BP	90,0	3,0	3,6	4,7

Per maggiori dettagli si rimanda alle relazione del piano di monitoraggio.

12 MONITORAGGIO IN CORRISPONDENZA DEGLI EDIFICI

Il tracciato della galleria naturale Castellavazzo e della galleria d'emergenza si sviluppano in prossimità di diversi fabbricati e della linea ferroviaria Ponte nelle Alpi – Calalzo.

Come noto, i fenomeni di subsidenza e le vibrazioni che si sviluppano durante la costruzione possono causare danni ai manufatti situati nella zona di influenza dello scavo.



Figura: Interferenze Galleria Castellavazzo e galleria d'emergenza con edifici ed infrastrutture

Le interferenze sono molte ed è stata prevista una ampia campagna di monitoraggio topografico e vibrometrico.

I fabbricati sono tutti caratterizzati dalle medesime caratteristiche costruttive, si tratta di edifici adibiti a civile abitazione a massimo quattro piani fuori terra, con struttura in cemento armato.

1.1 Controlli topografici

Il piano di monitoraggio prevede la predisposizione di controlli della situazione deformativa sui manufatti esistenti con punti di livellazione opportunamente disposti per i diversi edifici ed infrastrutture individuate nella tavola VE407_P00GN01MOGPP01_A di cui si riporta uno stralcio.

I punti "critici" sono localizzati nella prima parte del tracciato, dove il materiale di scavo è composto da terreni sciolti e le coperture sono basse.



Figura: Immagine edifici interferenti (stralcio tratta iniziale).

In superficie si prevede la posa in opera di "capisaldi" per livellazioni topografiche e al di sopra della galleria per "vertici" per misure topografiche (mire ottiche).

L'istallazione dovrà avvenire prima dell'inizio dei lavori nell'area o dell'avvicinarsi del fronte di scavo a distanze significative, al fine di acquisire un numero di dati rilevante per la corretta definizione della situazione "ante-operam".

Le misure di cedimento al piano campagna (livellazioni superficiali) consistono nel rilievo della quota di picchetti posizionati su allineamenti ubicati perpendicolarmente e longitudinalmente all'asse della galleria.

1.1.1 Misure delle soglie di attenzione di allarme sugli edifici - cedimenti

I valori di soglia di attenzione e di allarme per gli spostamenti indotti dagli scavi della galleria risultano così definiti per un cedimento atteso C_{atteso} ottenuta dai calcoli eseguiti:

- soglia di attenzione: $1.2 C_{\text{ATTESO}}$
- soglia di allarme: $1.3 S_{\text{ATTENZIONE}}$

Cedimento massimo atteso C_{atteso} (mm)	Soglia di attenzione (mm)	Soglia di allarme (mm)
14,0	16,8	21,8

1.2 Misure di controllo vibrometrico del piano campagna e degli edifici

In fase di avviamento dei lavori, vista la presenza di edifici che sovrastano la galleria naturale, sarà effettuata una campagna di monitoraggio atta al Controllo delle Vibrazioni indotte mediante l'utilizzo di **Geofoni Triassiali**.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone		 Sanas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	<i>Relazione Tecnica Generale</i>	

Modalità di scavo	Velocità ammisibile atteso $V_{min,amm}$	Soglia di attenzione (mm/s)	Soglia di allarme (mm/s)
Abbattimento con esplosivi	5	6	8
Abbattimento con martellone	3	3	4

Per maggiori dettagli si rimanda alle relazione del piano di monitoraggio.