

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. L. LACOPO

Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche



PROGETTO ESECUTIVO

**ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO
3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO**

RELAZIONE

GALLERIA NATURALE

GN05 - GALLERIA PONTE

Relazione geotecnica e di calcolo

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO Ing. M. FERRONI		-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I F 2 R 3 2 E Z Z C L G N 0 5 0 0 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE	E. Chimenti	29/06/21	L. Repetto	30/06/21	M. Nuti	30/06/21	IL PROGETTISTA Ing. P. Cucino
B	REVISIONE A SEGUITO RDV	E. Chimenti	29/10/21	L. Repetto	30/10/21	M. Nuti	30/10/21	
								ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO Dotting. PAOLO CUCINO ISCRIZIONE ALBO N° 2216
								31/10/21

File: IF2R.3.2.E.ZZ.CL.GN.05.0.0.001.B

n. Elab.:

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 2 di 68

1	PREMESSA.....	4
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO.....	5
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
3.1	LEGGI E NORMATIVE COGENTI	6
3.2	NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI	6
3.3	PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF)	6
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI	7
4.2	DOCUMENTI CORRELATI	9
4.3	DOCUMENTI SUPERATI.....	10
5	ALLEGATI.....	11
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO.....	12
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA	13
7.1	INTERFERENZE LUNGO IL TRACCIATO.....	14
8	FASE CONOSCITIVA	15
8.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	15
8.2	INDAGINI	16
8.2.1	Indagini geotecniche.....	16
8.2.2	Prove di laboratorio.....	17
8.2.3	Indagini geofisiche	18
8.2.4	Depositi alluvionali terrazzati – bn1	19

APPALTATORE:	TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO						
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO						
Mandatario:	Mandante:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
SYSTRA S.A.	SWS Engineering S.p.A.	SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	3 di 68
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo								

8.2.5	<i>Definizione degli intervalli dei parametri geotecnici</i>	24
8.3	IL REGIME IDRAULICO	24
8.4	RISCHI POTENZIALI	25
9	FASE DI DIAGNOSI	27
9.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO	27
9.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO	28
9.2.1	<i>Analisi con il metodo dell'equilibrio limite</i>	29
9.2.2	<i>Metodo del tasso di deconfinamento</i>	31
10	FASE DI TERAPIA	32
10.1	DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO	32
10.1.1	<i>Sezione tipo C1</i>	32
10.1.2	<i>Sezione tipo C1bis</i>	33
10.1.3	<i>Sezione tipo C3</i>	34
10.2	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI	34
10.3	ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO	37
10.3.1	<i>Criteri di verifica</i>	38
10.3.2	<i>Sezioni analizzate</i>	46
10.3.3	<i>Sezione C1</i>	47
10.3.4	<i>Sezione C1bis</i>	67
11	CONCLUSIONI	68

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: Mandante: SYSTRA S.A. SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 4 di 68

1 **PREMESSA**

La presente relazione è parte integrante del progetto esecutivo per il raddoppio della linea Cancellò-Benevento sull'itinerario Napoli-Bari ed in particolare si riferisce al 3° sublotto funzionale, dall'impianto del PC di San Lorenzo (km 39+050) fino all'impianto di Vitulano (km 46+950 km), facente parte del II lotto funzionale della linea compreso tra la Stazione di Frasso Telesino/Dugenta (km 16+500 km) e Vitulano (km 46+950,00).

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: Mandante: SYSTRA S.A. SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 5 di 68

2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione si affrontano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione della galleria Ponte facente parte della tratta ferroviaria Frasso Telesino – Vitulano. Per l'inquadramento generale su caratteristiche e requisiti funzionali delle opere in sotterraneo si rimanda alla Relazione tecnica (Rif. [13]).

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [55]), si è articolata nelle seguenti fasi:

1. fase conoscitiva: è finalizzata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico in cui sarà realizzata la galleria; i risultati dello studio geologico sono descritti nella specifica Relazione Geologica e Idrogeologica (Rif. [14]) a cui si rimanda per l'illustrazione del modello geologico; la sintesi dello studio geotecnico con la definizione del modello geotecnico di sottosuolo e dei parametri di progetto è illustrata nel capitolo 8;
2. fase di diagnosi: si esegue la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione per la determinazione delle categorie di comportamento;
3. fase di terapia: sulla base dei risultati delle precedenti fasi progettuali, si individuano le modalità di scavo e gli interventi di stabilizzazione idonei (sezioni tipo) per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza. Le soluzioni progettuali sono state analizzate per verificarne l'adeguatezza: nel capitolo 10 sono illustrati metodi e risultati delle analisi condotte per la verifica della stabilità globale della cavità, per il dimensionamento/verifica degli interventi di stabilizzazione e dei rivestimenti, nelle diverse fasi costruttive e in condizioni di esercizio, e per la valutazione dei risentimenti attesi in superficie.
4. fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa. All'interno degli elaborati associati a tale attività sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso al procedere dello scavo, verificare la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le soluzioni progettuali nell'ambito delle variabilità previste in progetto. Sono, inoltre, descritti i criteri generali per l'applicazione delle sezioni tipo e la gestione delle variabilità in funzione dei risultati del monitoraggio in corso d'opera.

La progettazione è stata sviluppata nel rispetto della normativa vigente.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 6 di 68

3 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

3.1 **LEGGI E NORMATIVE COGENTI**

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 14/01/2008, “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°617 del 02/02/2009, “Istruzioni per l’applicazione delle “nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al DM 14/01/2008”;
- Rif. [3] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;
- Rif. [4] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1303/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente “la sicurezza nelle gallerie ferroviarie” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Rif. [5] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1300/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le “persone a mobilità ridotta” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Rif. [6] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1299/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.

3.2 **NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI**

- Rif. [7] SIG, “Linee guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997;
- Rif. [8] ITA, “Guidelines for the design of tunnels”, 1988;
- Rif. [9] AGI, “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”, 1977.

3.3 **PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF)**

- Rif. [10] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 A “Manuale di Progettazione delle opere civili ” datato Dic 2016;
- Rif. [11] RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 A “Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili” datato Dic 2016;
- Rif. [12] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA,0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” datato Dicembre 2015.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 7 di 68

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

4.1 DOCUMENTI REFERENZIATI

- Rif. [13] U.O. Gallerie, documento IF2R.2.2.E.ZZ.RG.GN.00.0.0.001 “Relazione tecnica delle opere in sotterraneo” ;
- Rif. [14] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.RH.GE.00.0.1.002 “Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica” ;
- Rif. [15] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.1.001 “Carta geologica e Profilo geologico Tav.1” ;
- Rif. [16] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.1.002 “Carta geologica e Profilo geologico Tav.2” ;
- Rif. [17] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.1.003 “Carta geologica e Profilo geologico Tav.3” ;
- Rif. [18] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.1.004 “Carta geologica e Profilo geologico Tav.4” ;
- Rif. [19] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.1.005 “Carta geologica e Profilo geologico Tav.5” ;
- Rif. [20] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.1.006 “Carta geologica e Profilo geologico Tav.6” ;
- Rif. [21] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.1.007 “Carta geologica e Profilo geologico Tav.7” ;
- Rif. [22] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.1.008 “Carta geologica e Profilo geologico Tav.8” ;
- Rif. [23] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.1.009 “Carta geologica e Profilo geologico Tav.9” ;
- Rif. [24] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.1.010 “Carta geologica e Profilo geologico Tav.10” ;
- Rif. [25] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.1.011 “Carta geologica e Profilo geologico Tav.11” ;
- Rif. [26] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.1.012 “Carta geologica e Profilo geologico Tav.12” ;
- Rif. [27] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.3.001 “Carta geomorfologica - Tav.1” ;
- Rif. [28] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.3.002 “Carta geomorfologica - Tav.2” ;

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 8 di 68

- Rif. [29] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.3.003 “Carta geomorfologica - Tav.3” ;
- Rif. [30] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.3.004 “Carta geomorfologica - Tav.4” ;
- Rif. [31] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.3.005 “Carta geomorfologica - Tav.5” ;
- Rif. [32] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.3.006 “Carta geomorfologica - Tav.6” ;
- Rif. [33] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.3.007 “Carta geomorfologica - Tav.7” ;
- Rif. [34] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.3.008 “Carta geomorfologica - Tav.8” ;
- Rif. [35] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.3.009 “Carta geomorfologica - Tav.9” ;
- Rif. [36] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.3.010 “Carta geomorfologica - Tav.10” ;
- Rif. [37] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.3.011 “Carta geomorfologica - Tav.11” ;
- Rif. [38] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.3.012 “Carta geomorfologica - Tav.12” ;
- Rif. [39] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.2.001 “Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico - Tav.1” ;
- Rif. [40] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.2.002 “Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico - Tav.2” ;
- Rif. [41] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.2.003 “Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico - Tav.3” ;
- Rif. [42] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.2.004 “Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico - Tav.4” ;
- Rif. [43] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.2.005 “Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico - Tav.5” ;
- Rif. [44] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.2.006 “Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico - Tav.6” ;
- Rif. [45] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.2.007 “Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico - Tav.7” ;
- Rif. [46] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.2.008 “Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico - Tav.8” ;

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 9 di 68

- Rif. [47] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.2.009 “Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico - Tav.9” ;
- Rif. [48] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.2.010 “Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico - Tav.10” ;
- Rif. [49] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.2.011 “Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico - Tav.11” ;
- Rif. [50] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.N6.GE.00.0.2.012 “Carta idrogeologica e Profilo idrogeologico - Tav.12” ;
- Rif. [51] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.SG.GE.00.0.1.001 “Documentazione sui sondaggi e prove in foro” ;
- Rif. [52] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.IG.GE.00.0.1.001 “Documentazione indagini geofisiche” ;
- Rif. [53] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.PR.GE.00.0.1.001 “Documentazione sulle prove geotecniche di laboratorio” ;
- Rif. [54] U.O. Geologia, documento IF2R.0.2.E.ZZ.RH.GE.00.0.1.001 “Piano delle Indagini geognostiche integrative”.

4.2 DOCUMENTI CORRELATI

- Rif. [55] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- Rif. [56] Bernaud D., Benamar I., Rousset G. (1994). La “nouvelle méthode implicite” pour le calcul des tunnel dans les milieux élastoplastiques et viscoplastiques – Revue Francaise de Géotechnique, N° 68;
- Rif. [57] Bernaud D., Rousset G. (1992). La « nouvelle méthode implicite » pour l’étude du dimensionnement des tunnels – Revue Francaise de Géotechnique, N° 60;
- Rif. [58] Peck R.B. (1969). Deep excavations and tunnelling in soft ground. SOA Report 7th Int. Conf. SMFE Mexico City, State of the Art Volume;
- Rif. [59] Burland J.B., Wroth C.P. (1974). Settlements of buildings and associated damage. SOA Review Conf. Settlement of Structures, Cambridge, Pentech Press, London;
- Rif. [60] Burland J.B. (1997). Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavation. Earthquake Geotechnical Engineering, Ishihara (ed.). Balkema, Rotterdam.
- Rif. [61] Boscarding M.D., Cording E.G. (1989). Building response to excavation-induced settlement. Jnl. Geo. Engrg. ASCE, 115;
- Rif. [62] Hoek E., Brown E.T. (1997), “Practical estimates of rock mass strength”, Intl. J. Rock Mech. & Geomechanics Abstracts, 1165-1186;
- Rif. [63] Hoek E., Carranza-Torres C., Cortkum B. (2002), “Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 Edition”;

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE: Mandatario: Mandante: SYSTRA S.A. SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.													
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF2R</td> <td>3.2.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>GN.05.0.0.001</td> <td>B</td> <td>10 di 68</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	10 di 68
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	10 di 68								

- Rif. [64] Tamez E. (1984) “Estabilidad de tuneles excavados en suelos” - Mexican Engineering Academy;
- Rif. [65] Hoek E., Diederichs M. S. (2006), “Empirical Estimation of rock mass Modulus”, Intl. J. Rock Mech. & Mining Sciences 43 (2006), 203-215;
- Rif. [66] Broms B.B., Bennermark H. (1967), “Stability of clay at vertical openings”, J. Soil Mechanics and Foundations, Div. Am. Soc. Civ. Eng., 93: 71-94;
- Rif. [67] Terzaghi, K. & Peck, R.B. 1948. Soil Mechanics in Engineering Practice, 1st Edition, John Wiley and Sons, New York;
- Rif. [68] Marinos P. & Hoek E. 2001. Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as Flysch, Bull. Engg. Geol. 60, 85-92;
- Rif. [69] U.O. Gallerie, Progetto Definitivo. Itinerario Napoli–Bari. Raddoppio Tratta Apice - Orsara. I Lotto Funzionale Apice – Hirpinia.. Documento IF0G01D07RBGN0200001A. “Galleria Melito. Relazione geotecnica e di calcolo” datato dic. 2017.

4.3 DOCUMENTI SUPERATI

Non sono presenti documenti superati.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: Mandante: SYSTRA S.A. SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 11 di 68

5 ALLEGATI

Il documento è corredato dai seguenti allegati:

- All. [1] “Sezione tipo C1: risultati delle verifiche”;
- All. [2] “Sezione tipo C1+sisma: risultati delle verifiche”;
- All. [3] Analisi GV4.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 12 di 68

6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

I contenuti della presente relazione sono completati dai seguenti elaborati di progetto:

- Rif. [70] U.O. Gallerie, documento IF0H32D07SPGN0000001 “Caratteristiche dei materiali – Note generali”;
- Rif. [71] U.O. Gallerie, documento IF0H32D07RBGN0700001 “Galleria Ponte - Relazione geotecnica e di calcolo”;
- Rif. [72] U.O. Gallerie, documento IF0H32D07RBGA0000005 “Galleria Ponte - Uscita di emergenza pk 45+105 km - Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco”;
- Rif. [73] U.O. Gallerie, documento IF0H32D07F5GN0000001 “Profilo geotecnico – Galleria Ponte, Galleria Reventa, Galleria Ponte”;
- Rif. [74] U.O. Gallerie, documento IF0H32D07F6GN0000001 “Profilo geotecnico – Galleria Ponte – Finestra costruttiva/uscita di emergenza pk 44+294,87 e Uscta di emergenza pk 45+105,57 km”;
- Rif. [75] U.O. Gallerie, documento IF2R22EZZBBGN0000004 “Uscita/accesso carrabile - Finestra costruttiva -Sezione tipo B1 – Carpenteria, scavo e consolidamenti”;
- Rif. [76] U.O. Gallerie, documento IF2R22EZZBBGN0000006 “Uscita/accesso carrabile - Finestra costruttiva -Sezione tipo B2 – Carpenteria, scavo e consolidamenti”;
- Rif. [77] U.O. Gallerie, documento IF2R22EZZBBGN0000008 “Uscita/accesso carrabile - Finestra costruttiva -Sezione tipo C1 – Carpenteria, scavo e consolidamenti”;
- Rif. [78] U.O. Gallerie, documento IF2R22EZZBBGN0000009 “Uscita/accesso carrabile - Finestra costruttiva -Sezione tipo C1bis – Carpenteria, scavo e consolidamenti”;
- Rif. [79] U.O. Gallerie, documento IF2R22EZZBBGN0000010 “Uscita/accesso carrabile - Finestra costruttiva -Sezione tipo C1m – Carpenteria, scavo e consolidamenti”;
- Rif. [80] U.O. Gallerie, documento IF2R22EZZBBGN0000011 “Uscita/accesso carrabile - Finestra costruttiva -Sezione tipo C2 – Carpenteria, scavo e consolidamenti”;
- Rif. [81] U.O. Gallerie, documento IF2R22EZZBBGN0000012 “Uscita/accesso carrabile - Finestra costruttiva -Sezione tipo C2p – Carpenteria, scavo e consolidamenti”;
- Rif. [82] U.O. Gallerie, documento IF2R22EZZBBGN0000013 “Uscita/accesso carrabile - Finestra costruttiva -Sezione tipo C2v – Carpenteria, scavo e consolidamenti”;
- Rif. [83] U.O. Gallerie, documento IF2R22EZZBBGN0000006 “Uscita/accesso carrabile - Finestra costruttiva -Sezione tipo B3 – Carpenteria, scavo e consolidamenti”;
- Rif. [84] U.O. Gallerie, documento IF0H32D07CLGN0000001 “Relazione sulla valutazione delle subsidenze e verifica degli effetti indotti sulle interferenze in superficie”;

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 13 di 68

7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Ubicata fra le progressive di tracciato (b.d.) km 41+767.67 (imbocco lato Canello) e km 42+234.30 (imbocco lato Benevento), la galleria Ponte presenta una lunghezza complessiva in sotterraneo di circa 466.63 m.

La galleria naturale va da pk 41+859.48 a pk 42+195.65. Partendo dall'imbocco lato Canello, posto ad una quota di 88 m s.l.m., il tracciato procede in salita con pendenza pari al 2,25‰ fino alla pk 41+960 km dove si ha un incremento di pendenza ed il tracciato procede in salita con pendenza del 11,79 ‰, fino all'imbocco lato Benevento, posto ad una quota pari a circa 92 m s.l.m. La copertura massima è di circa 25 metri.

La velocità di tracciato del Lotto 3 è di 180 km/h fatta eccezione per il tratto da pk 45+800 km al D.I. Vitulano nel quale è pari a 160 km/h. Le sezioni geometrico-funzionali di progetto sono in accordo con le sezioni tipo del Manuale di Progettazione RFI per $160 < v \leq 200$ km/h sia per il tratto in naturale sia per il tratto in artificiale realizzato con geometria policentrica (Figura 7-1) (cfr. Tavole 26 e 27 del Manuale di Progettazione RFI).

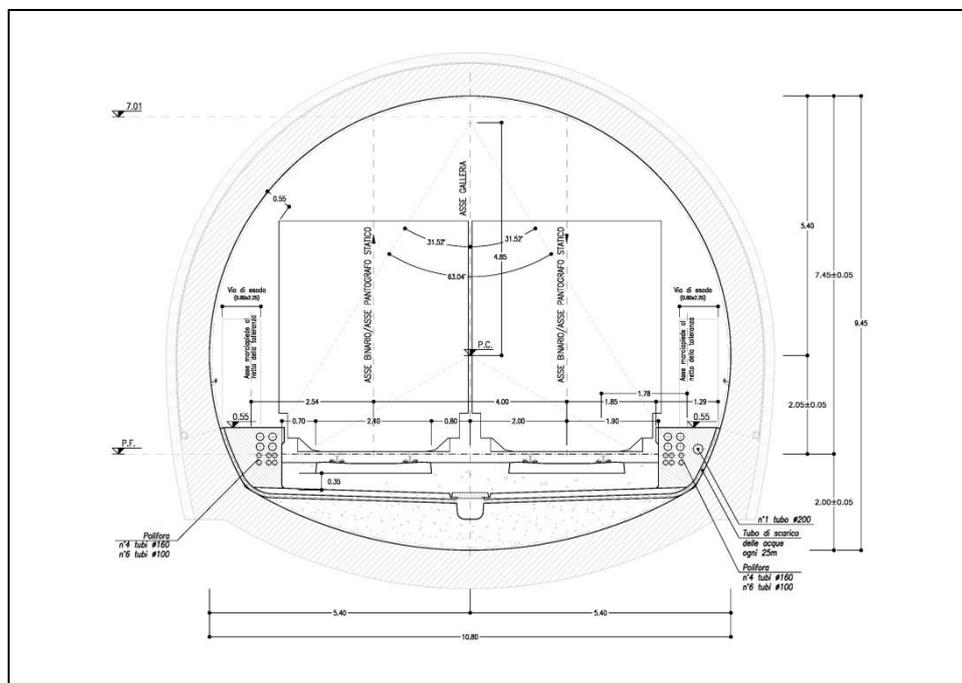


Figura 7-1: Sezione di intradosso galleria di linea (tratto in naturale)

In prossimità dell'imbocco lato Benevento, tra le pk 42+107 e 42+184,60, la galleria attraversa un versante che è stato soggetto nel tempo ad attività di cava per estrazione di inerti per costruzione; è inoltre presente un'incisione che riduce sensibilmente la copertura della galleria naturale. Per la realizzazione della galleria di linea in questo tratto si prevede di eseguire un intervento di consolidamento del terreno dall'alto, mediante colonne in jet-grouting, e di mettere in opera un

APPALTATORE:  Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: Mandante: SYSTRA S.A. SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 14 di 68

riempimento dell'incisione e della cava, con terreno di idonee caratteristiche geotecniche, per ripristinare la morfologia originaria del versante. L'intervento di consolidamento del terreno ed i riempimenti sono propedeutici allo scavo della galleria di linea.

Per raggiungere la quota di lancio delle perforazioni per il jet-grouting dovranno essere eseguiti degli scavi di sbancamento.

7.1 INTERFERENZE LUNGO IL TRACCIATO

In prossimità dell'imbocco lato Canello la galleria artificiale interferisce con la SP Vitulanese. Sempre in prossimità dell'imbocco, nel tratto tra le pk 41+800 e 42+000 km, la galleria naturale sottoattraversa alcuni edifici di civile abitazione del comune di Torrecuso, distanti mediamente oltre 30 m dall'asse galleria nel tratto in naturale e con coperture massime dell'ordine dei 25 m.

Per ulteriori dettagli sulla descrizione del tracciato e delle opere si rimanda alla "Relazione tecnica delle opere in sotterraneo" (Rif. [13]).

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 15 di 68

8 FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dall'opera in sotterraneo.

Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica.

8.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di studio si colloca nella porzione nord-occidentale della regione Campania, più precisamente nel territorio dei comuni di Benevento, Ponte e Torrecuso, in provincia di Benevento (BN). Il tracciato progettuale impegna settori di territorio posti a quote comprese tra 70 m s.l.m. e 180 m s.l.m. circa. Dal punto di vista morfologico, l'area di studio è contraddistinta dalla valle del Fiume Calore che, con i suoi depositi alluvionali, separa i rilievi del Taburno-Camposauro a Sud, da quelli del Matese a Nord. La porzione di catena Appenninica interessata dal tracciato è costituita da una spessa unità tettonica meso-cenozoica derivante dalla deformazione di domini paleogeografici di natura bacinale, nota in letteratura come Unità tettonica del Fortore. Su tale unità poggiano, in discordanza stratigrafica, spesse sequenze sin-orogene tardo-mioceniche, costituite da terreni prevalentemente arenaceo-marnosi e conglomeratico-sabbiosi di scarpata e base scarpata. I suddetti depositi sono ricoperti, infine, da estesi depositi quaternari di origine vulcanica, alluvionale e detritico-colluviale.

La galleria Ponte attraversa un rilievo costituito dall'unità denominata "Depositi continentali" (bn). Tali depositi affiorano alla base dei rilievi montuosi o in corrispondenza dei principali corsi d'acqua ed hanno origine alluvionale; sono costituiti da tre differenti litofacies a dominante ghiaioso-sabbiosa (bn1), sabbioso-limosa (bn2 e bc2).

In particolare, nella zona di interesse è prevalente la litofacies più grossolana (bn1), costituita da ghiaie poligeniche ed eterometriche, con locali ciottoli, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa, da scarsa ad abbondante, sciolta o moderatamente cementata; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, a struttura indistinta, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie; localmente sono presenti lenti e/o livelli di conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa.

Possono essere presenti in maniera sporadica e non continua anche le altre litofacies dei depositi alluvionali terrazzati: la litofacies sabbioso-limosa (bn2), formata da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi e la litofacies pelitica (bn3), costituita da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi; entrambe le litofacies possono presentare inclusi piroclastici e ghiaie.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 16 di 68

8.2 INDAGINI

Le campagne geotecniche relative al II lotto funzionale della tratta tra la Stazione di Frasso Telesino/Dugenta (km 16+500 km) e Vitulano (km 46+950,00) sono di seguito elencate (2° e 3° sublotto):

- Campagna indagini 1984-1985 (*Concessione delle prestazioni integrate occorrenti per la progettazione definitiva del raddoppio e potenziamento della linea Caserta - Foggia e per la progettazione esecutiva e la realizzazione delle opere occorrenti per una prima fase di raddoppio e potenziamento della suddetta linea*);
- Campagna indagini 2007-2009 (*Progettazione preliminare per il "Raddoppio tratta Cancello - Benevento; Il lotto funzionale Frasso Telesino - Vitulano"*);
- Campagna indagini 2015 (*Indagini propedeutiche alla progettazione definitiva per il " Raddoppio tratta Cancello - Benevento; Il lotto funzionale Frasso Telesino - Vitulano"*).
- Campagna indagini 2017 (*Progettazione definitiva per il " Raddoppio tratta Cancello - Benevento; Il lotto funzionale Frasso Telesino - Vitulano"*).
- Campagna indagini integrative 2018-2019 (*Progettazione definitiva per il " Raddoppio tratta Cancello - Benevento; Il lotto funzionale Frasso Telesino - Vitulano"*).
- Campagna indagini integrative per il PE (Rif. [54]).

8.2.1 Indagini geotecniche

Di seguito si ricapitolano le indagini eseguite in riferimento al 3° sublotto funzionale, dall'impianto del PC di San Lorenzo (km 39+050) fino all'impianto di Vitulano (km 46+950 km). Il complesso delle indagini ha consentito la caratterizzazione delle unità geotecniche coinvolte dal progetto.

Relativamente al **3° lotto funzionale San Lorenzo – Vitulano** sono state realizzate le seguenti indagini:

- n. 41 sondaggi a carotaggio continuo di cui n. 16 non attrezzati, n. 20 attrezzati con piezometro, n. 3 strumentati con inclinometro n. 2 attrezzato per sismica in foro;
- n. 2 sondaggi a distruzione attrezzati con piezometro;
- n. 3 prospezioni sismiche MASW;
- n. 4 indagini tomografiche elettriche;
- n. 18 stendimenti sismici a rifrazione in onde P e S.

Nelle tabelle seguenti si riportano i principali dati relativi ai soli sondaggi presi in considerazione per la caratterizzazione geotecnica dei **depositi alluvionali terrazzati (bn)**.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO												
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO												
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF2R</td> <td>3.2.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>GN.05.0.0.001</td> <td>B</td> <td>17 di 68</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	17 di 68
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	17 di 68								

Sigla	Campagna indagine	Tipologia indagine e strumentazione	Quota m s.l.m.	Profondità	Campioni	SPT	km
S44	1984-1985	Sondaggio non attrezzato	151,9	50,0	1	0	45+032,09

Tabella 8-1: Sondaggi geognostici realizzati nell'ambito della campagna indagini 1984-1985.

Sigla	Campagna indagine	Tipologia indagine e strumentazione	Quota m s.l.m.	Profondità	Campioni	SPT	km
IF15V34	2017	Sondaggio attrezzato con piezometro	82,0	40,0	5	13	41+177,61
IF15G35	2017	Sondaggio attrezzato con piezometro	98,6	25,0	3	2	41+803,53
IF15V37	2017	Sondaggio attrezzato con piezometro	88,1	40,0	5	6	42+603,44
IF15F45	2017	Sondaggio attrezzato con piezometro	149,5	40,0	3	10	45+174,46

Tabella 8-2: Sondaggi geognostici realizzati nell'ambito della campagna indagini 2017.

Di seguito si riportano i sondaggi nei quali sono state eseguite prove di permeabilità, relative alla campagna d'indagine 2017.

Sondaggio	Tipologia	Profondità (m da p.c.)
IF15G35	Lefranc	7,0 – 8,0
IF15F45	Lefranc	6,0 - 7,5

Tabella 8-3: Prove di permeabilità

8.2.2 Prove di laboratorio

Nel complesso sono state eseguite le seguenti analisi di laboratorio:

- Analisi granulometria per setacciatura e sedimentazione;
- Peso di volume;
- Peso specifico;
- Determinazione del contenuto naturale d'acqua;
- Limiti di ritiro, di plasticità e di liquidità;
- Determinazione delle sostanze organiche.

Sono state inoltre condotte le seguenti prove di caratterizzazione meccanica:

- Prove di compressione triassiale (CID, CIU e UU);
- Prova di taglio diretto;

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 18 di 68

- Prova ad espansione laterale libera (ELL);
- Prova di compressione monoassiale e triassiale su roccia con misura delle deformazioni;
- Misura della velocità sonica VP e VS.
- Prova edometrica;
- Prova di rigonfiamento in cella edometrica;
- Prova di rigonfiamento a deformazione assiale impedita con misura della pressione di rigonfiamento in cella edometrica;
- Prova di rigonfiamento del tipo Huder – Amberg;
- Point Load Test.

I risultati delle indagini geotecniche, in situ e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e delle rocce interessate dall'opera in sottterraneo lungo il suo tracciato.

Lo scavo della galleria naturale Ponte interessa per tutto il suo sviluppo la litofacies ghiaioso-sabbiosa (bn1) dei depositi alluvionali terrazzati.

8.2.3 Indagini geofisiche

Le prove sismiche di superficie che hanno interessato i depositi alluvionali (bn) sono di seguito elencate.

Sigla	Tipologia indagine	Lunghezza (m)	km
Area D16	Prospezione sismica MASW	70	34+855,61
Area D17bis	Prospezione sismica MASW	70	36+856,70
L5	Stendimento sismico a rifrazione	180	34+243,93
L7	Stendimento sismico a rifrazione	235	34+371,92
L8	Stendimento sismico a rifrazione	120	36+740,41
L9	Stendimento sismico a rifrazione	141	36+592,25
L10	Stendimento sismico a rifrazione	80	36+626,03
L11	Stendimento sismico a rifrazione	96	36+480,35
L12	Stendimento sismico a rifrazione	90	36+550,65

Tabella 8-4: Indagini sismiche realizzate nell'ambito della campagna indagini 2015

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 19 di 68

Sigla	Tipologia indagine	Lunghezza (m)	km
MASW 3	Prospezione sismica MASW	70	31+654,01
MASW 4	Prospezione sismica MASW	70	36+976,57
MASW 6	Prospezione sismica MASW	70	41+160,86
S4	Stendimento sismico a rifrazione	96	34+747,91
S5	Stendimento sismico a rifrazione	96	34+797,47
S22	Stendimento sismico a rifrazione	72	41+728,46
S21	Stendimento sismico a rifrazione	72	41+760,61

Tabella 8-5: Indagini sismiche realizzate nell'ambito della campagna indagini 2017

8.2.4 Depositi alluvionali terrazzati – bn1

8.2.4.1 Caratteristiche fisiche

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi mostrano la prevalenza di ghiaia e subordinatamente di sabbia (Figura 8-1). Mediamente si ottiene: ghiaia 47%, sabbia 25%, limo 21% e argilla 7%; i terreni sono classificabili (AGI) come ghiaia con sabbia e ghiaia con sabbia limosa.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 20 di 68

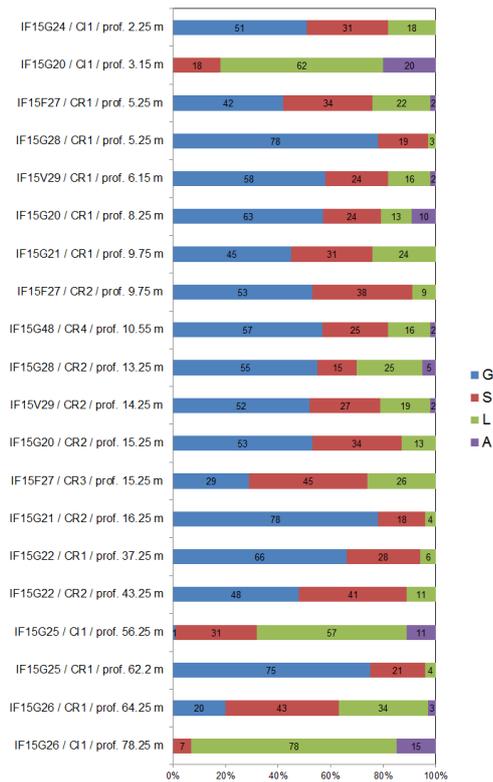


Figura 8-1: Analisi granulometrica

Nella Figura 8-2 è riportato il grafico relativo alla variazione del passante al setaccio 200 ASTM (0,074 mm) con la profondità; la percentuale di passante è generalmente inferiore al 35%.

Il contenuto d'acqua naturale risulta compreso tra il 10% ed il 25% nei primi metri di profondità dal piano campagna, mentre per profondità superiori il valore varia tra 15% e 20%.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO												
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF2R</td> <td>3.2.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>GN.05.0.0.001</td> <td>B</td> <td>21 di 68</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	21 di 68
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	21 di 68								

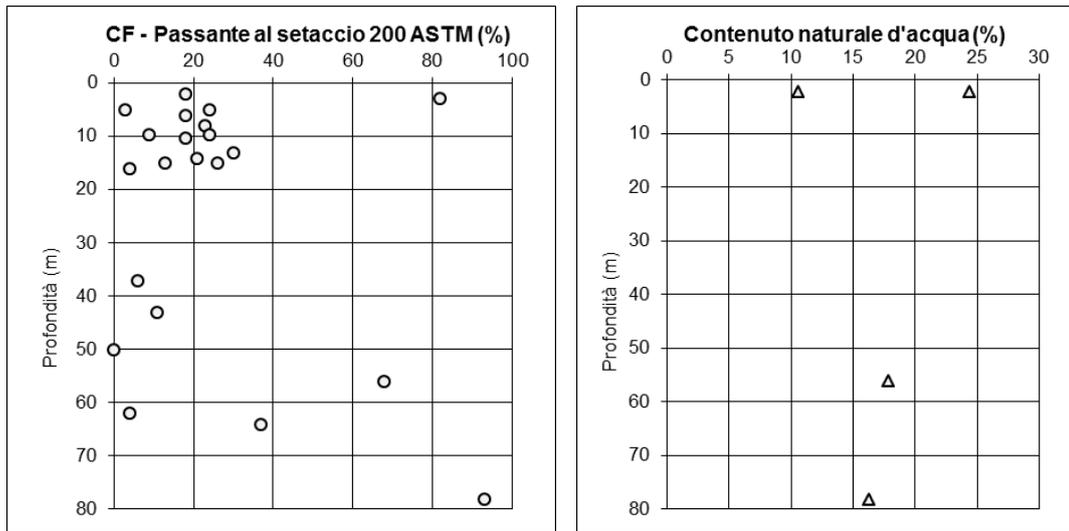


Figura 8-2: Passante al Setaccio 200 ASTM e contenuto d'acqua

Il peso dell'unità di volume è variabile tra $18,5 \div 22,5 \text{ KN/m}^3$ (Figura 8-3), mentre il peso di volume del materiale secco varia tra $16 \text{ e } 19 \text{ KN/m}^3$. Il peso specifico è variabile tra $25,6 \div 26,6 \text{ KN/m}^3$.

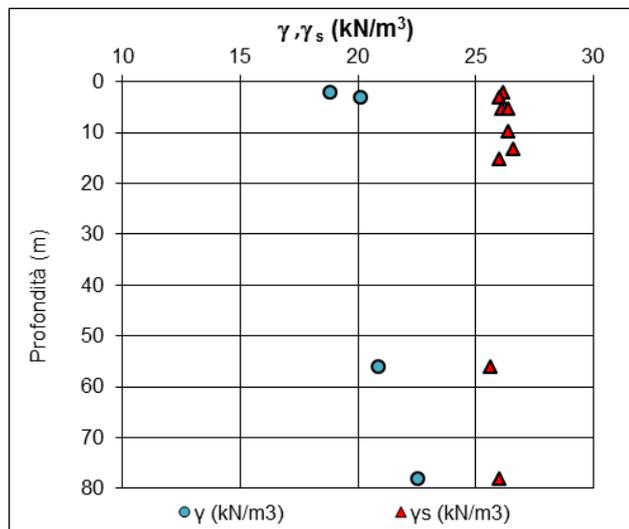


Figura 8-3: Peso dell'unità di volume γ e peso specifico γ_s

8.2.4.2 Caratteristiche meccaniche

I depositi alluvionali terrazzati interessati dalle opere in progetto possono presentarsi mediamente cementati, come testimoniato dalle caratteristiche geomorfologiche dei rilievi collinari dell'area di interesse, che presentano pendenze elevate (Figura 8-4).

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 22 di 68



Figura 8-4: Affioramento G43 (pk 41+830 km) di depositi alluvionali terrazzati (bn1)

I parametri di resistenza, data la componente prevalentemente granulare del materiale, sono stati ricavati da prove SPT. Di seguito si rappresentano gli andamenti dell'angolo d'attrito con la profondità, relativamente alla formulazione API (American Petroleum Institute, 1987), scelta per interpretare le prove SPT.

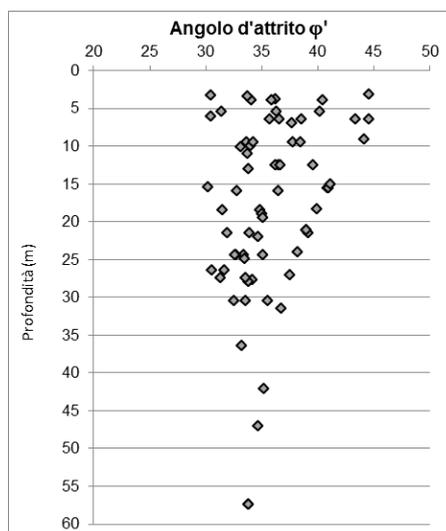


Figura 8-5: Interpretazione prove in situ SPT

L'angolo d'attrito varia tra 30° e 45°, con un valore medio pari a 37°.

Prove di taglio diretto e di compressione triassiale eseguite su campioni indisturbati hanno consentito di definire un valore di coesione efficace compreso tra 10 ÷ 37 kPa ed un angolo d'attrito tra i 24°÷33°.

I parametri di deformabilità sono stati determinati da prove in sito down-hole. Sono stati identificati tre intervalli di valori del modulo E in funzione della profondità:

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 23 di 68

- da 0 m a 15 m si definisce il range 50 ÷ 140 MPa;
- da 15 m a 40 m si definisce il range 140 ÷ 390 MPa;
- per profondità maggiori di 40 m si attribuisce un modulo operativo pari a 390 MPa.

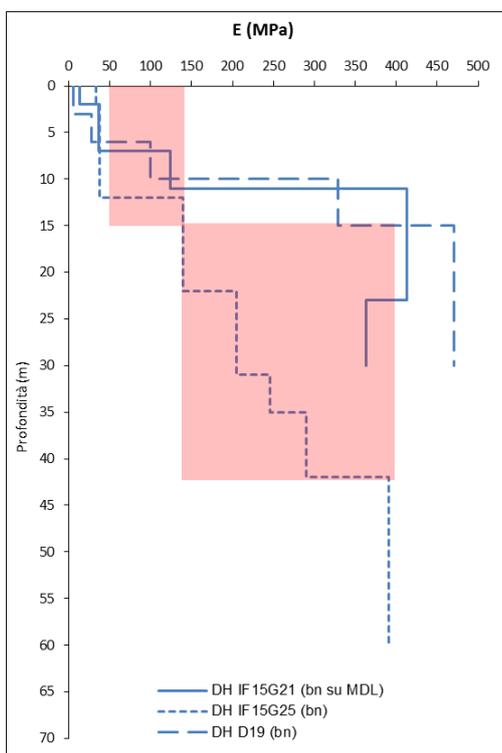


Figura 8-6: Andamento del modulo elastico con la profondità

8.2.4.3 Permeabilità

Sono state eseguite prove di permeabilità nei fori di sondaggio (Lefranc): si è ricavato un coefficiente di permeabilità medio k pari a 10^{-6} m/s (Figura 8-7).

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 24 di 68

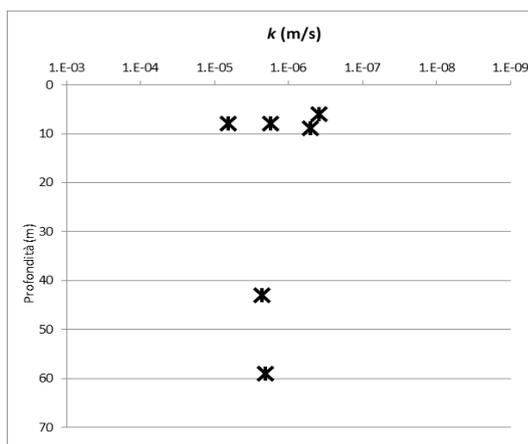


Figura 8-7: Coefficiente di permeabilità

8.2.5 Definizione degli intervalli dei parametri geotecnici

Di seguito si riportano gli intervalli dei principali parametri fisico-meccanici delle unità interessate dallo scavo dell'uscita di emergenza, ottenuti dalla caratterizzazione geotecnica.

Unità	Copertura	γ (kN/m ³)	Φ' (°)	c (kPa)	E (MPa)
Depositi alluvionali bn1	0-15	20	33-40	10	50-140
	15-40	20	33-40	10-37	140-390
	>40	20	33-40	10-37	390

Tabella 8-6: Parametri geotecnici

8.3 IL REGIME IDRAULICO

Nella piana alluvionale del Fiume Calore è presente un'estesa falda alimentata dal corso d'acqua, caratterizzata da una superficie piezometrica che, nel rilievo interessato dalla realizzazione della galleria Ponte, risulta ben al di sotto del piano ferro di progetto.

Le letture piezometriche eseguite nei fori di sondaggio, mostrano un andamento della quota piezometrica generalmente costante. Le prime letture risalgono al 28 Marzo 2017, le ultime al 25 Gennaio 2018: in questo intervallo temporale non si registrano variazioni delle quote di falda, a meno di modeste oscillazioni dell'ordine delle decine di cm. Le misure piezometriche eseguite finora nell'ambito delle attività per il progetto esecutivo confermano sostanzialmente il quadro prima descritto.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 25 di 68

8.4 RISCHI POTENZIALI

Di seguito si descrivono le principali criticità emerse dalla fase conoscitiva, che potrebbero avere ripercussioni nella fase realizzativa della galleria.

Instabilità del fronte e del cavo

Potenziali rischi di instabilità del fronte e del cavo possono interessare le tratte di galleria a basse coperture, che riguardano soprattutto le zone prossime agli imbocchi.

Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere preesistenti

La galleria Ponte sottoattraversa, tra la pk 41+800 km e 42+000 km, alcuni edifici di civile abitazione o edifici destinati a piccole attività. Sono stati censiti n.9 edifici (con numerazione da n.14 a n.22). Si sono distinti edifici situati in adiacenza al tratto in naturale della galleria (edifici n. 18-19-20-21-22) con copertura massima di circa 25 m in calotta ed edifici in adiacenza al tratto in artificiale (edifici n. 14-15-16 e 17).

Presenza di gas

Il tracciato ferroviario del Lotto 3 San Lorenzo-Vitulano dista circa 13 km dall'abitato di Telese in cui sono presenti numerosi sinkhole, la cui genesi è da imputare soprattutto alla presenza di un reticolo carsico sotterraneo molto sviluppato, strettamente connesso ad oscillazioni del livello di base della falda e a fenomeni speleogenetici ipercarsici per miscelazione di acque ricche di CO₂ e H₂S e tracce di metano (Corniello & De Riso, 1986).

Alla luce di questo e delle formazioni attraversate dalle gallerie previste in progetto, si richiede una particolare attenzione volta alla problematica inerente alla possibilità di intercettare gas naturali nel corso delle fasi di scavo delle opere in sottoterraneo.

Le analisi per la determinazione del rischio gas sono state condotte per fasi di approfondimento successivo.

Preliminarmente, è stata condotta un'analisi bibliografica e storica volta a verificare, in relazione alle differenti unità geologiche individuate e direttamente interessate dal progetto, l'eventuale presenza di termini geologici favorevoli alla presenza di gas. Successivamente sono state condotte indagini di approfondimento (Rif. [14]). In particolare, sono stati eseguiti:

- rilievi di gas a bocca foro durante la perforazione dei sondaggi;
- monitoraggio dell'aria realizzata mediante analizzatore di gas a bocca foro in corrispondenza delle verticali di sondaggio;
- analisi gascromatografica su campioni di acqua prelevati da piezometro.

I risultati derivanti dallo studio suddetto hanno confermato la presenza di gas nelle formazioni interessate dallo scavo della galleria.

Il documento redatto dalle regioni Emilia-Romagna e Toscana "Lavori in sottoterraneo. Scavo in terreni grisutosi. Grisù 3a ed.", seppur riferito al solo problema metano, può essere un valido riferimento tecnico in merito al problema dello scavo di gallerie in presenza di gas. Questo

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 26 di 68

documento, sviluppato nel corso e con i riscontri diretti degli scavi effettuati nell'appennino Tosco Emiliano, durante la realizzazione delle gallerie dell'alta velocità ferroviaria Bologna Firenze, e la variante di valico autostradale, sempre tra Bologna e Firenze, può essere considerato come "Linea guida per buone pratiche di lavoro nelle costruzioni in sotterraneo".

In tale Nota, l'eventualità di rinvenire metano in galleria è differenziata in diverse classi, in base al numero ed al peso attribuito ai parametri che concorrono a caratterizzare la formazione interessata dallo scavo della galleria.

In funzione dei risultati derivanti dall'analisi bibliografica e storica e dalle indagini di approfondimento, è stato possibile associare alla galleria Ponte una classe di rischio gas 1a come definita in Tabella 8-7

classe 1a	Gallerie/tratti per le quali tutti gli elementi portano a prevedere come remota la possibilità di flussi di grisù, in base all'assenza di indizi derivanti dalle indagini preliminari (studi e ricerche, analisi della storicità, sondaggi), alle informazioni ottenute nello scavo della porzione d'opera già realizzata, alle considerazioni geologiche e strutturali
------------------	---

Tabella 8-7: Classificazione delle gallerie sul rischio metano secondo la Nota Interregionale n. 28 "Lavori in sotterraneo. Scavo in terreni grisutosi. Grisù 3ª edizione" (NIR 28)

La Nota Interregionale, definendo tipologie di impianti, macchinari, attrezzature e procedure, può costituire un utile riferimento anche per la gestione del rischio gas in fase realizzativa.

Per le misure di sicurezza da adottare in fase di scavo e per gli interventi atti a mitigare il rischio di presenza di gas nella fase di realizzazione delle gallerie, si rimanda al *Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC)*.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 27 di 68

9 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS (Rif. [55]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

I risultati dell'analisi del comportamento deformativo consentono di individuare gli interventi di precontenimento e/o di contenimento più idonei a garantire condizioni di stabilità della galleria in fase di scavo e a lungo termine.

9.1 CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO

Secondo l'approccio ADECO-RS (Rif. [55]) la previsione dell'evoluzione dello stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi, che forniscono indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine. Dati sperimentali e analisi teoriche hanno dimostrato che il comportamento della cavità è significativamente condizionato, oltre che dalle caratteristiche geometriche della galleria stessa e dai carichi litostatici, anche dalle caratteristiche di resistenza e di rigidità del nucleo d'avanzamento, inteso come il volume di terreno a monte del fronte di scavo. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tensio-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento, a cui consegue l'evoluzione verso condizioni di instabilità del fronte e del cavo. Se, invece, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, il nucleo stesso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato e quindi configurazioni di stabilità.

Sulla base di tali considerazioni, il comportamento del nucleo-fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto alle seguenti tre categorie:

Categoria A: nucleo-fronte stabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità non supera le caratteristiche di resistenza dell'ammasso; in tal caso le deformazioni sono prevalentemente elastiche, di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente con la distanza dal fronte. Il fronte di scavo e il cavo sono stabili e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di stabilizzazione, se non localizzati e in misura ridotta. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

APPALTATORE:  Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: Mandatario: Mandante: SYSTRA S.A. SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF2R</td> <td>3.2.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>GN.05.0.0.001</td> <td>B</td> <td>28 di 68</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	28 di 68
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	28 di 68													
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo																		

Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità, a seguito delle operazioni di scavo, raggiunge la resistenza dell'ammasso. I fenomeni deformativi tensioni sono di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi una eventuale riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri residui. La risposta tensio-deformativa può essere opportunamente controllata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso perché mantenga un comportamento stabile. Nel caso non si prevedano interventi, lo stato tensio-deformativo può evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in fase di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

Categoria C: nucleo-fronte instabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui, superata la resistenza del terreno, i fenomeni deformativi evolvono molto rapidamente in campo plastico, producendo la progressiva instabilità del fronte di scavo e un incremento dell'estensione della zona dell'ammasso decompressa ed plasticizzata al contorno della cavità, con rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale. L'espansione della fascia di materiale decompresso al contorno del cavo deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo, mediante interventi di preconsolidamento in avanzamento, che consentono di creare artificialmente l'effetto arco per far evolvere la risposta tensio-deformativa verso configurazioni di stabilità.

9.2 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO

La valutazione del comportamento deformativo del fronte è stata condotta utilizzando metodi di analisi della stabilità del fronte all'equilibrio limite.

Le analisi nella fase di diagnosi sono state condotte con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici e delle azioni.

Per prima cosa si calcolano i coefficienti di sicurezza nelle condizioni intrinseche, quindi nelle seguenti condizioni:

- parametri di resistenza nominali dei terreni
- senza interventi

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 29 di 68

Successivamente si calcola la stabilità considerando la presenza degli interventi, secondo quanto prescrivono le NTC

- Parametri di resistenza M2
- Presenza degli interventi

9.2.1 Analisi con il metodo dell'equilibrio limite

In condizione di galleria superficiale la valutazione della stabilità del fronte di scavo può essere condotta mediante l'impiego di metodi analitici semplificati all'equilibrio limite. In particolare si fa riferimento alle teorie di Tamez e Cornejo (1985) che ipotizzano che esistano dei prismi di terreno in distacco secondo sezioni longitudinali, giungendo a definire un coefficiente di sicurezza FSF nei confronti della stabilità del fronte di scavo.

Tali metodi consentono inoltre di tenere in conto degli interventi di preconsolidamento assumendo per il terreno trattato caratteristiche meccaniche incrementate rispetto a quelle del terreno naturale.

9.2.1.1 Metodo di analisi

Il metodo dell'equilibrio limite proposto da Tamez tiene conto della riduzione dello stato di confinamento triassiale del nucleo di terreno oltre il fronte per mezzo di un meccanismo di rottura del tipo effetto volta, con il quale il volume di terreno gravante sulla corona della galleria è definito da un paraboloide, approssimato mediante tre solidi prismatici, come illustrato nelle figure seguenti. In questo modo si determinano le massime tensioni tangenziali che si possono sviluppare sulle facce di ogni prisma senza che avvengano scorrimenti (forze resistenti) e le forze di massa di ogni prisma (forze agenti). Il rapporto tra i momenti delle forze resistenti e delle forze agenti fornisce un coefficiente di sicurezza, denominato FSF (face security factor).

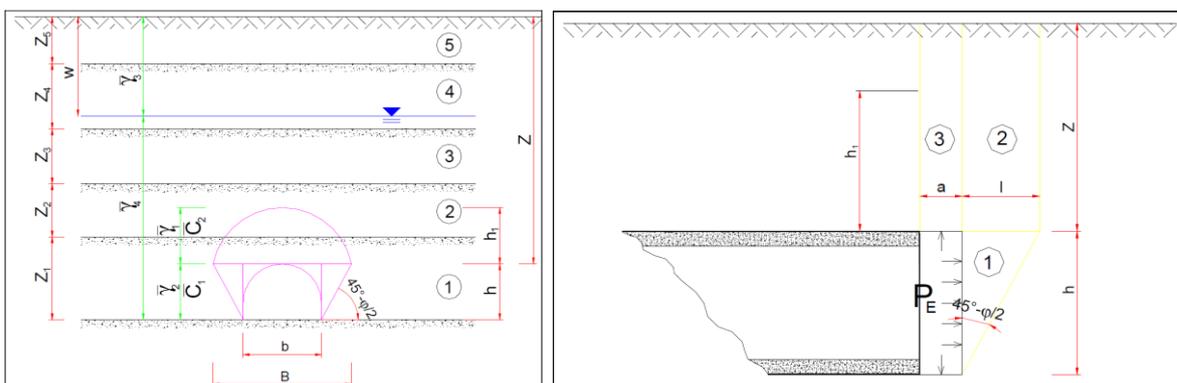


Figura 9-1: Schema proposto da Tamez

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 30 di 68

In questo modo si determinano le massime tensioni tangenziali che si possono sviluppare sulle facce di ogni prisma senza che avvengano scorrimenti (forze resistenti) e le forze di massa di ogni prisma (forze agenti). Il rapporto tra i momenti delle forze resistenti e delle forze agenti fornisce un coefficiente di sicurezza, denominato FSF (face security factor).

Nel caso di presenza di trattamenti di rinforzo del fronte (VTR, Jet-grouting ecc.) posti in opera in avanzamento, il loro effetto stabilizzante può utilmente essere tenuto in conto incrementando la resistenza coesiva dell'ammasso.

Infatti la chiodatura esercita un'azione di contenimento passivo del fronte, rappresentabile, nel caso di impiego di elementi strutturali in VTR, da una tensione di confinamento σ_{3VTR} fittizia, funzione dei parametri tecnici del trattamento secondo le equazioni:

$$\sigma_{3VTR_A} = \frac{\tau_A \cdot L_A \cdot 2p_A}{A_i}$$

$$\sigma_{3VTR_B} = \frac{\sigma_T \cdot A_T}{A_i}$$

$$\sigma_{3VTR} = \text{minimo} (\sigma_{3VTR_A}, \sigma_{3VTR_B})$$

dove:

τ_a = tensione di aderenza ammasso-fondazione

L_A = lunghezza di ancoraggio dell'elemento di rinforzo (a fine campo)

$2p_A$ = perimetro della sezione reagente a sfilamento

σ_t = resistenza a trazione dell'elemento di rinforzo

A_i = area di influenza di un elemento strutturale

A_t = sezione dell'elemento resistente a trazione

L'effetto di σ_{3VTR} può essere considerato come incremento di coesione dell'ammasso:

$$\Delta\sigma_C^{\text{Fronte}} = \frac{\sigma_3^{VTR}}{2} * \sqrt{K_p}$$

Se il fronte di scavo è rinforzato con trattamenti colonnari in jet-grouting, allora i parametri di coesione sono migliorati specificando un incremento della coesione di picco pari alla differenza tra la coesione dell'ammasso non trattato e quella dell'ammasso trattato; quest'ultima è valutata come media pesata della coesione originaria del terreno e di quella del trattamento

$$\Delta C = C_{\text{ammasso trattato}} - C_{\text{ammasso}} = \frac{c_{jet} \cdot A_{jet} + c_{ammasso} \cdot A_{ammasso}}{A_{tot}} - c_{ammasso}$$

dove:

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 31 di 68

C_{jet} = coesione dei trattamenti colonnari in jet grouting

c ammasso = coesione dell'ammasso senza trattamenti

A_{jet} , $A_{ammasso}$, A_{tot} = sono le aree, rispettivamente, dei trattamenti colonnari, della sezione di scavo al netto dei trattamenti e della sezione di scavo.

Talvolta la stabilità del solo prisma 3 gravante sulla zona di galleria non ancora sostenuta dal rivestimento, può risultare più critica rispetto all'insieme dei tre prismi; è definito in tal senso un secondo coefficiente di sicurezza FS_3 , per cui ai fini della stabilità del fronte si assume il coefficiente di sicurezza minimo tra i due.

$$FSF = \frac{(A+B+C)}{D}$$

$$A = \left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1+a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \times \frac{h_1}{b}$$

$$B = \left[\frac{2\tau_{m3}}{(1+a/l) \times \sqrt{K_A}} \right] \times \frac{h_1}{h}$$

$$C = \left[\frac{3.4C_1}{(1+a/l)^2 \times \sqrt{K_A}} \right]$$

$$D = \left[1 + \frac{2h}{3Z(1+a/l)^2} \right] \times (\gamma Z - P_E)$$

$$FS_3 = \frac{2\tau_{m3}}{(\gamma Z - P_E)} \times \frac{h_1}{b} \times \left(1 + \frac{b}{a} \right)$$

9.2.1.2 Definizione della categoria di comportamento

Il fronte di scavo viene considerato stabile per valori di $FSF > 1.5$. Per valori di FSF superiori a 2 il sostegno del fronte può considerarsi non necessario (Rif. [64]).

9.2.2 Metodo del tasso di deconfinamento

9.2.2.1 Metodo di analisi

I tassi di deconfinamento sono stati calcolati mediante analisi assialsimmetrica e curva caratteristica analitica tramite il software di calcolo GV4.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 32 di 68

10 FASE DI TERAPIA

Nel presente capitolo sono definiti gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento allo scavo (fase di diagnosi - § 9). Sono descritte le caratteristiche principali delle sezioni tipo di avanzamento, il loro campo di applicazione e la successione delle fasi esecutive.

10.1 DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO

Dall'analisi del tracciato plano-altimetrico e in funzione della lunghezza dell'opera in sotterraneo in progetto e del contesto geologico-idrogeologico e geotecnico attraversato, è stato scelto il metodo di scavo tradizionale a piena sezione.

In funzione delle caratteristiche geotecniche delle formazioni attraversate e del loro comportamento allo scavo, sono state definite una serie di diverse sezioni tipo, intese come complesso di modalità operative, fasi di lavoro, interventi di stabilizzazione, drenaggi e relative tecnologie esecutive.

Per ciascuna sezione tipo è prevista l'installazione a ridosso del fronte di scavo di un rivestimento provvisorio costituito da spritz-beton (ev. fibrorinforzato) e centine metalliche ed infine il getto dei rivestimenti definitivi di arco rovescio e calotta. La gestione delle acque in sotterraneo è garantita dall'installazione di 3+3 drenaggi in avanzamento, dall'impermeabilizzazione a tergo dei rivestimenti definitivi di calotta e da un tubo microfessurato, al piede dell'impermeabilizzazione, di presidio per eventuale drenaggio delle acque presenti nelle formazioni attraversate.

Nei paragrafi a seguire si riporta una sintetica descrizione delle sezioni tipo che sono previste in utilizzo per la galleria in esame, che trovano completa rappresentazione negli elaborati grafici di progetto.

Per la distribuzione delle tratte di applicazione delle diverse sezioni tipo si rimanda invece al "Profilo geotecnico – Galleria Ponte".

10.1.1 Sezione tipo C1

La C1 è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno, con campi di avanzamento da 12 m; ne è prevista l'applicazione nell'attraversamento dei depositi alluvionali (bn1) con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C) nel tratto di galleria naturale privo di preesistenze in superficie.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C1, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 33 di 68

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30 microtrattamenti in jet-grouting Ø300 armati con elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m). L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del ±20%;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 61 colonne in jet-grouting Ø600, L=16,5 m (sovrapposizione minima 4,5 m) e ulteriori 8+8 colonne al piede centina. L'incidenza del preconsolidamento potrà avere una variabilità del ±20%;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 12,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN220 con passo 1,0 m;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore variabile da 0,60 m a 1,35 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

Il jet-grouting dovrà essere eseguito adottando parametri e procedure tali da garantire il diametro delle colonne previste in progetto ed i parametri di resistenza e deformabilità del terreno trattato.

10.1.2 Sezione tipo C1bis

La C1bis è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno, con campi di avanzamento da 6 m; ne è prevista l'applicazione nel tratto di sottoattraversamento di preesistenze in superficie (edifici di civile abitazione).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C1bis, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 50 microtrattamenti in jet-grouting Ø300 armati con elementi strutturali in VTR, L=17,0 m (sovrapposizione minima 11,0 m). L'incidenza del preconsolidamento (numero o lunghezza degli elementi) potrà avere una variabilità del ±20%;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 65 colonne in jet-grouting Ø600, L=15,0 m (sovrapposizione minima 9,0 m) e ulteriori 8+8 colonne al piede centina. L'incidenza del preconsolidamento potrà avere una variabilità del ±20%;
- presostegno al contorno (entro un angolo di 120° in calotta) realizzato mediante 33 tubi in acciaio valvolati, L=9,5 m (sovrapposizione minima 3,5 m, interasse 0,4 m);

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 34 di 68

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento troncoconici di lunghezza pari a 6,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN220 con passo 1,0 m;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 0,5 diametri;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore variabile da 0,60 m a 1,35 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 2 diametri.

Il jet-grouting dovrà essere eseguito adottando parametri e procedure tali da garantire il diametro delle colonne previste in progetto ed i parametri di resistenza e deformabilità del terreno trattato.

10.1.3 Sezione tipo C3

La Sezione C3 è una sezione cilindrica che prevede interventi di precontenimento del fronte e presostegno al contorno, con campi di avanzamento da 10 m; è adottata nel tratto della galleria Ponte in prossimità dell'imbocco lato Benevento.

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C3, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN220 con passo 1,0 m;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta in calcestruzzo armato (spessore 1,0 m) gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

10.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei diversi materiali impiegati nelle opere in progetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni del DM 14/01/2008 e della Circolare n.617/2009.

Con riferimento ai rivestimenti provvisori e definitivi, si sottolinea che la classe di resistenza dei calcestruzzi riportata nelle tabelle che seguono è quella utilizzata ai fini della sola modellazione

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 35 di 68

numerica e delle verifiche strutturali (per i rivestimenti definitivi si rimanda alle indicazioni del Capitolato).

Per le caratteristiche dei materiali da adottare per la realizzazione delle opere si rimanda all'elaborato "Caratteristiche dei materiali – Note generali" (Rif. [70]).

Interventi di pre-sostegno

Acciaio per infilaggi al contorno	
Tipo	S 355
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} = 510$ MPa
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 355$ MPa
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} \geq 338$ MPa

Interventi di precontenimento

Elementi in vetroresina	
Resistenza a trazione caratteristica	$f_{tk} = 450$ MPa
Resistenza a taglio caratteristica	$t = 85$ MPa

Elementi in vetroresina strutturali a 3 piatti	
Resistenza a trazione caratteristica	$f_{tk} = 1000$ MPa
Resistenza a taglio caratteristica	$t = 120$ MPa

Rivestimento provvisorio

Calcestruzzo proiettato (fibrorinforzato)	
Classe di resistenza	C 25/30
Resistenza cilindrica a compressione caratteristica (a 28 giorni di maturazione)	$f_{ck} = 25$ MPa
Resistenza cilindrica a compressione di calcolo	$f_{cd} = 16.6$ MPa
Modulo elastico (a 28 giorni di maturazione)	$E_{cm} = 29961$ MPa

APPALTATORE:	TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO						
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO						
Mandatario:	Mandante:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
SYSTRA S.A.	SWS Engineering S.p.A.	SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	36 di 68
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo								

Acciaio per centine	
Tipo	S 275
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 430$ MPa
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 275$ MPa
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yk} \geq 261.9$ MPa

Rivestimenti definitivi

Calcestruzzo armato classe esposizione XC2, X0	
Classe di resistenza di calcolo	C 25/30
Resistenza cilindrica a compressione caratteristica (a 28 giorni di maturazione)	$f_{ck} \geq 25$ MPa
Resistenza cilindrica a compressione di calcolo	$f_{cd} \geq 14.16$ MPa
Modulo elastico (a 28 giorni di maturazione)	$E_{cm} \geq 31475$ MPa
Tensione massima di compressione in esercizio	$\sigma_c = 10.0$ MPa

Calcestruzzo armato classe esposizione XA1	
Classe di resistenza di calcolo	C 30/37
Resistenza cilindrica a compressione caratteristica (a 28 giorni di maturazione)	$f_{ck} \geq 30$ MPa
Resistenza cilindrica a compressione di calcolo	$f_{cd} \geq 17.00$ MPa
Modulo elastico (a 28 giorni di maturazione)	$E_{cm} \geq 32836$ MPa
Tensione massima di compressione in esercizio	$\sigma_c = 12$ MPa

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 37 di 68

Acciaio per barre di armatura	
Tipo	<i>B450C</i>
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540$ MPa
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450$ MPa
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} \geq 391.3$ MPa
Tensione massima in condizioni di esercizio	$\sigma_s = 337.5$ MPa

Calcestruzzo non armato classe esposizione XC2, X0	
Classe di resistenza di calcolo	C 25/30
Tensione massima di compressione	$\sigma_{c,max} = 6.25$ MPa
Tensione massima tangenziale	$\tau_c = 0.377$ MPa

Calcestruzzo non armato classe esposizione XA1	
Classe di resistenza di calcolo	C 30/37
Tensione massima di compressione	$\sigma_{c,max} = 7.50$ MPa
Tensione massima tangenziale	$\tau_c = 0.426$ MPa

Per la galleria in esame, gli archi rovesci e le murette, non protetti da impermeabilizzazione, saranno associati alla classe di esposizione XA1, mentre le calotte (protette dall'impermeabilizzazione) risultano afferenti alla classe di esposizione XC2.

10.3 ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO

Le soluzioni progettuali descritte nel capitolo precedente sono state analizzate per verificarne adeguatezza ed efficacia, con riferimento al modello geotecnico illustrato nel § 8 e nel rispetto delle indicazioni della normativa vigente.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 38 di 68

10.3.1 Criteri di verifica

Le analisi di stabilità del fronte di scavo, analogamente a quanto già fatto in fase di diagnosi per la valutazione del comportamento del fronte in assenza di interventi, sono state condotte secondo i metodi presentati nella fase di diagnosi (§ 9), in funzione dell'entità della copertura esistente in corrispondenza della sezione analizzata.

Le analisi di interazione, in grado di simulare il comportamento del sistema opera-terreno nelle diverse fasi costruttive fino alla configurazione finale ed in condizioni di esercizio, sono state condotte mediante modelli numerici agli elementi finiti (software PLAXIS 2D).

Per ciascuna sezione tipo oggetto di verifica, le sezioni di analisi sono state definite individuando le condizioni (stratigrafiche e di copertura) più gravose nell'ambito della relativa tratta di applicazione.

10.3.1.1 Stabilità del fronte e del cavo

Le analisi di stabilità del fronte e del cavo sono mirate alla valutazione dello sviluppo di possibili meccanismi di collasso, con o senza propagazione verso la superficie, o di deformazioni e spostamenti elevati al contorno ed in superficie. Trattandosi di una verifica per uno stato limite ultimo di tipo GEO, si è utilizzato l'Approccio 1- Combinazione 2 (A2+M2+R2), con R2 =1.

La verifica della stabilità del fronte è condotta applicando i coefficienti parziali sui parametri di resistenza dell'ammasso e valutando il risultato della verifica in funzione della formulazione del particolare metodo di calcolo adottato (si può fare riferimento ad esempio, al fattore di stabilità, o alla pressione di equilibrio sul fronte, o al coefficiente di sicurezza globale o a sviluppo di elevate deformazioni/plasticizzazioni al fronte).

Gli interventi di consolidamento del fronte, realizzati mediante elementi strutturali in VTR, sono simulati mediante un incremento di coesione equivalente del fronte (Δc) valutato attraverso il calcolo della pressione equivalente al fronte (σ_3) determinata sulla base del valore più basso tra resistenza a trazione e resistenza a sfilamento dei singoli elementi, secondo le seguenti relazioni:

$$\Delta c = \frac{1}{2} \sqrt{K_p} \cdot \sigma_3^{VTR}$$

con:

$$K_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

$$\sigma_3^{VTR} = \min(\sigma_{3,A}^{VTR}, \sigma_{3,B}^{VTR})$$

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 39 di 68

$$\sigma_{3,A}^{VTR} = \frac{\tau_{bk} \cdot L_A \cdot p_A}{A_i}$$

$$\sigma_{3,B}^{VTR} = \frac{f_{tk} \cdot A_T}{A_i}$$

dove:

τ_{bk} = tensione di aderenza all'interfaccia con il terreno,

L_A = lunghezza utile dell'elemento,

p_A = perimetro dell'interfaccia con il terreno,

f_{tk} = resistenza a trazione dell'elemento in VTR,

A_T = sezione resistente a trazione dell'elemento in VTR

A_i = area di influenza del singolo elemento di consolidamento.

Le valutazioni relative all'effetto dei consolidamenti sono condotte a partire dai parametri geotecnici caratteristici e adottando coefficienti parziali unitari sulle resistenze dei materiali; agli incrementi di coesione equivalente calcolati come sopra descritto può quindi essere applicato lo stesso coefficiente parziale previsto per la coesione dell'ammasso.

Per evidenziare l'effetto dei consolidamenti ai fini della stabilità del fronte, i risultati delle verifiche sono presentati per confronto con i corrispondenti risultati delle analisi svolte in fase di diagnosi (con valori caratteristici delle azioni e delle resistenze ed in assenza di interventi di consolidamento)

10.3.1.2 Interazione opera-terreno

Il comportamento del sistema opera-terreno è analizzato nelle diverse fasi costruttive, fino alla configurazione finale, e in condizioni di esercizio. Le analisi sono mirate alla previsione del comportamento deformativo al contorno dello scavo e dei carichi attesi sui sostegni provvisori e sui rivestimenti definitivi, e, nel caso delle gallerie superficiali, alla valutazione degli effetti indotti al piano campagna. Le analisi consentono, pertanto, di verificare:

- stati limite ultimi per raggiungimento della resistenza del terreno/ammasso roccioso interessato dallo scavo (stato limite ultimo di tipo GEO), con lo sviluppo di fenomeni di instabilità del fronte o di deformazioni e spostamenti elevati al contorno ed in superficie;
- stati limite ultimi relativi al raggiungimento delle resistenze degli elementi strutturali che costituiscono gli interventi di stabilizzazione, del rivestimento di prima fase e del rivestimento definitivo (stato limite ultimo di tipo STR);

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 40 di 68

- stati limite di esercizio connessi alla funzionalità delle strutture presenti a piano campagna.

Per le verifiche di stati limite ultimi STR, le analisi di interazione opera – terreno sono condotte con i valori caratteristici dei parametri geotecnici e applicando i coefficienti parziali amplificativi delle azioni all'effetto delle azioni (le sollecitazioni negli elementi strutturali). Ciò significa adottare la Combinazione 1 dell'Approccio 1 (A1+M1+R1), nella quale i coefficienti sui parametri di resistenza (M1) e sulla resistenza globale del sistema (R1) sono unitari, mentre le azioni permanenti e le azioni variabili sono amplificate mediante i coefficienti del gruppo A1.

Pertanto, con la combinazione dei carichi fondamentale si procede secondo questo schema:

- verifiche SLU interventi di stabilizzazione: $\gamma_E = 1,3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni N, M, T;
- verifiche SLU rivestimento di prima fase: $\gamma_E = 1,3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni N, M, T;
- verifiche SLU rivestimento definitivo: $\gamma_E = 1,3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni N, M, T.

Per gli interventi di presostegno le verifiche strutturali sugli elementi metallici al contorno sono condotte calcolando tali elementi come travi incastrate ai due estremi, rappresentati da un lato dall'ultima centina installata e dall'altro dal fronte stesso. La luce di calcolo si definisce come:

$$L = \delta + a + \lambda$$

dove:

δ = interasse centine;

a = distanza massima dell'ultima centina dal fronte di scavo;

λ = lunghezza fittizia per tener conto dell'effetto di appoggio "cedevole" al fronte (0,5 ÷ 0,7 m).

Detta $P_{v,k}$ la pressione verticale caratteristica attesa in corrispondenza della calotta, e detto i l'interasse tra i tubi, il momento flettente caratteristico agente sul singolo elemento può calcolarsi come:

$$M_{Sk} = \frac{1}{12} \cdot P_{v,k} \cdot i \cdot L^2$$

In questo caso le verifiche sono condotte secondo l'Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1), con R1=1, come definito in precedenza.

Nelle analisi di interazione con modelli numerici bidimensionali (eseguite con il codice di calcolo Rocscience Phase2), lo scavo della galleria viene simulato rilasciando in modo uniforme un sistema di forze equivalenti applicate sul contorno del profilo di scavo, tenendo conto della variazione del tasso di confinamento in funzione della distanza della sezione di calcolo dal fronte; in questo modo il problema tridimensionale dello scavo della galleria viene ricondotto ad un

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 41 di 68

problema piano, con la possibilità di valutare le azioni sulle strutture di rivestimento al progredire degli avanzamenti.

Nel caso di sezioni con campo di avanzamento tronco-conico, per la definizione della geometria della sezione di scavo si fa riferimento alla sezione media. Congruentemente, i rivestimenti definitivi di calotta (a carpenteria variabile) sono verificati secondo lo spessore medio.

Le strutture di rivestimento provvisorio della galleria vengono simulate con elementi beam elastico-lineari, con proprietà di rigidezza ed inerzia definite considerando la sola sezione di spritz-beton, trascurando il contributo delle centine. In fase di verifica degli elementi strutturali, le sollecitazioni ottenute dalla modellazione (previa applicazione dei coefficienti parziali di Normativa), vengono gestite ripartendo lo sforzo normale (N) tra centine e spritz-beton in base alle rigidezze assiali relative, mentre il taglio (T) e il momento flettente (M) vengono assegnati interamente alle centine.

Lo spritz-beton viene verificato a semplice compressione secondo la seguente disuguaglianza (in accordo con la relazione 2.2.1 del D.M. 14/01/2008):

$$\sigma_{sb,d,max} = \frac{N_{Sd, sb}}{A_{sb}} \leq f_{cd}$$

dove:

- $N_{Sd, sb}$ rappresenta lo sforzo normale di calcolo sullo spritz-beton:

$$N_{Sd, sb} = N_{Sd} \frac{E_{sb} \cdot A_{sb}}{E_{sb} \cdot A_{sb} + E_{cent} \cdot A_{cent}} ;$$

- N_{Sd} rappresenta lo sforzo normale di calcolo;
- A_{sb} rappresenta l'area resistente dello spritz-beton;
- $E_{sb} \cdot A_{sb}$ rappresenta la rigidezza assiale dello spritz-beton;
- $E_{cent} \cdot A_{cent}$ rappresenta la rigidezza assiale della centina.

La verifica delle centine a taglio e pressoflessione (per tutte le classi di sezione, tenendo in conto eventuali instabilità locali) può essere condotta confrontando la tensione ideale calcolata a partire dalle tensioni indotte da ciascuna caratteristica della sollecitazione, con la resistenza di calcolo dell'acciaio, come di seguito specificato (cfr D.M. 14/01/2008 nel § 4.2.4.1.2):

$$\sigma_{cent,d,max} = \frac{N_{Sd, cent}}{A_{cent}} + \frac{M_{Sd}}{W_{cent}}$$

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 42 di 68

$$\tau_{cent,d} = \frac{V_{Sd}}{A_{V,cent}}$$

$$\sigma_{id,cent,d} = \sqrt{\sigma_{cent,d,max}^2 + 3 \tau_{cent,d}^2} \leq f_{yd}$$

dove:

- $N_{Sd,cent}$ rappresenta lo sforzo normale di calcolo sulla centina:

$$N_{Sd,cent} = N_{Sd} \frac{E_{cent} \cdot A_{cent}}{E_{sb} \cdot A_{sb} + E_{cent} \cdot A_{cent}} ;$$

- N_{Sd} rappresenta lo sforzo normale di calcolo;
- A_{cent} rappresenta l'area resistente della centina;
- $E_{sb} \cdot A_{sb}$ rappresenta la rigidezza assiale dello spritz-beton;
- $E_{cent} \cdot A_{cent}$ rappresenta la rigidezza assiale della centina;
- W_{cent} rappresenta il modulo resistente elastico della centina;
- M_{Sd} e V_{Sd} rappresentano il momento flettente e il taglio di calcolo;
- $A_{V,cent}$ rappresenta l'area resistente a taglio della centina.

La verifica dello spritz-beton e delle centine è stata effettuata nella fase di installazione del rivestimento di prima fase, nella fase di installazione dell'arco rovescio e in quella di installazione del rivestimento definitivo di calotta.

Le strutture di rivestimento definitivo della galleria sono simulate con elementi di volume assegnando un legame costitutivo elastico-lineare. Per ottenere le sollecitazioni su quest'ultimi, sono introdotti nel modello degli elementi beam in linea d'asse ai rivestimenti definitivi caratterizzati da rigidezza molto bassa (modulo elastico degli elementi diviso per un fattore di scala $F=10^{-3}$). A causa della loro bassa rigidezza essi si deformano come il rivestimento definitivo senza interferire con il campo di sforzi e deformazioni agente all'interno dell'elemento di volume del rivestimento. Le sollecitazioni in output sono moltiplicate per lo stesso fattore di scala F per ottenere le sollecitazioni di verifica strutturale.

Per le verifiche del rivestimento definitivo in calcestruzzo non armato si fa riferimento a quanto prescritto nel § 4.1.11.1 del DM 14/01/2008.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 43 di 68

Nella fase di verifica del rivestimento definitivo si considera la perdita di funzionalità degli interventi di stabilizzazione e miglioramento e del rivestimento di prima fase.

Le verifiche SLE del rivestimento definitivo sono finalizzate a prevenire la formazione di un quadro fessurativo tale da compromettere la durabilità dell'opera. A tal fine la Normativa (DM 14/01/2008 par.4.1.2.1.3. e Circolare n.617/2009) stabilisce un limite massimo all'ampiezza delle fessure (SLE di fessurazione) ed al contempo, impone il rispetto di opportuni limiti tensionali sia nell'acciaio che nel calcestruzzo (SLE di tensione).

Considerando l'armatura come poco sensibile, secondo quanto riportato in tabella 4.1.IV del DM 14/01/2008, si ottiene che:

- per la calotta e i piedritti, con classe di esposizione del cls XC2 e quindi condizione ambientale ordinaria, l'apertura delle fessure in combinazione frequente deve essere non superiore a w_3 e combinazione quasi permanente non superiore w_2 ;
- per l'arco rovescio, con classe di esposizione del cls XA1 e quindi condizione ambientale debolmente aggressiva, l'apertura delle fessure sia in combinazione frequente che in combinazione quasi permanente deve essere non superiore a w_1 .

L'apertura limite di verifica risulta, pertanto:

- $w_{lim} = w_2 = 0,3 \text{ mm}$ per la calotta e i piedritti
- $w_{lim} = w_1 = 0,2 \text{ mm}$ per l'arco rovescio, con momento che tende le fibre inferiori

Le verifiche SLU del rivestimento definitivo prevedono il confronto tra le caratteristiche di sollecitazione di progetto e le resistenze di progetto definite dai punti M_{Rd} , N_{Rd} che individuano il dominio resistente nel piano M, N.

Per la verifica a taglio, il valore resistente di progetto (V_{Rsd}) è ottenuto in accordo con la normativa vigente (DM 14/01/2008 par.4.1.2.1.3. e Circolare n.617/2009).

10.3.1.3 Analisi sismica pseudostatica

Le condizioni sismiche sono analizzate attraverso simulazioni numeriche che simulano l'effetto di ovalizzazione sulle sezioni trasversali delle gallerie. Questo metodo è applicabile non solo per ottenere soluzioni in forma chiusa per forme circolari, ma anche per acquisire le sollecitazioni che agiscono sul rivestimento di gallerie caratterizzate da geometrie complesse e condizioni di terreno non omogenee.

L'approccio utilizzato per esaminare l'effetto delle azioni sismiche sulla stabilità della galleria è il metodo della deformazione di taglio in campo libero [Wang, 1993, Power et al. 1998; Hashash et al. 2001], che rappresenta la condizione più conservativa. Questo approccio presuppone che la deformazione della struttura sia uguale alla deformazione del terreno in campo libero sotto i terremoti di progetto.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 44 di 68

La metodologia di progettazione applica una deformazione al suolo in modo da deformare le strutture sotterranee e ottenere le sollecitazioni che agiscono nel rivestimento finale in caso di un evento sismico.

Il punto di partenza è dato dalla conoscenza della Peak Ground Acceleration (PGA, qui a_g), che è data dalle norme locali o da studi specifici.

In riferimento alla sezione oggetto di analisi sismica si riportano sinteticamente i valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica:

V_N (anni)	75
Classe d'uso	III
C_U	1,5
V_R (anni)	112,5
P_{VR} (%)	10
T_R (anni)	1068
a_g/g	0,3365
F_0	2,348
Categoria di sottosuolo	C
Coeff. Amplificazione stratigrafica S_S	1,23
Categoria topografica	T1
Coeff. Amplificazione topografica S_T	1
a_{max}/g	0,413

Figura 10-1: Parametri per la definizione dell'azione sismica per la sezione di scavo C1

Il metodo proposto è basato sulla stima delle deformazioni $\gamma(z)$ indotte dal sisma nel sottosuolo, valutando in maniera statica la distribuzione delle accelerazioni, delle tensioni tangenziali e quindi della deformazione ad una generica profondità z , tenendo in conto il decadimento del modulo di taglio.

La valutazione del livello di deformazione indotta dal sisma in condizioni pseudo-statiche e del corrispondente modulo di deformazione al taglio mobilitato è stata condotta adottando un modello iperbolico in accordo alla formulazione di Hardin & Drnevich (Rif. [48]) riportata di seguito: Il valore della tensione tangenziale corrispondente al livello di deformazione corrente è pari a:

$$G/G_{max} = 1/(1+\gamma_h)$$

$$\gamma_h = \gamma/\gamma_{ref} * [k1+a*exp(-bx(\gamma/\gamma_{ref}))]$$

$$\tau = G_{max} \cdot (1 / (1+\gamma_r)) \cdot \gamma < \tau_{max} \quad (2)$$

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 45 di 68

Dove:

$\gamma_{ref} = \tau_{max} / G_{max}$ deformazione di riferimento;

G_{max} = modulo di deformazione al taglio iniziale

G = livello di scorrimento corrente

k1, a, b = parametri di forma del modello adottato

τ_{max} = resistenza al taglio a rottura, pari a:

$$\tau_{max} = \left\{ \left[\frac{1 + K_0}{2} \sigma'_v \sin \varphi' + c' \cos \varphi' \right]^2 - \left[\frac{1 - K_0}{2} \sigma'_v \right]^2 \right\}^{1/2}$$

Il valore della tensione tangenziale massima indotta dal sisma alla profondità z viene valutata attraverso la seguente relazione, basata sull'equilibrio di una colonna di terreno sottoposta ad un'accelerazione sismica $a_{max,s}$ (in cui le forze di inerzia sono bilanciate dalla risultante delle tensioni tangenziali alla base):

$$\tau_{max, sis}(z) = r_d(z) \cdot a_{max,s} / g \cdot \sigma_v(z)$$

dove:

- $r_d(z)$ fattore di attenuazione con la profondità assunto pari a $r_d(z) = 1 - 0,015 \cdot z$ (Iwasaki et al., 1978), che tiene in conto del sincronismo del moto sismico;
- $a_{max,s}$ accelerazione massima a piano campagna;
- $\sigma_v(z)$ tensione geostatica verticale totale.

Il livello di deformazione indotto dal sisma è quello associato al valore di $\tau_{max, sis}$ letto nel legame costitutivo (2).

Data la geometria del modello di calcolo il massimo spostamento orizzontale da imporre agli estremi del modello è pari a:

$$\Delta x_{max} = \gamma \cdot h_{mod} / 2$$

Dove h_{mod} è l'altezza del modello e Δx_{max} è lo spostamento orizzontale applicato al modello.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 46 di 68

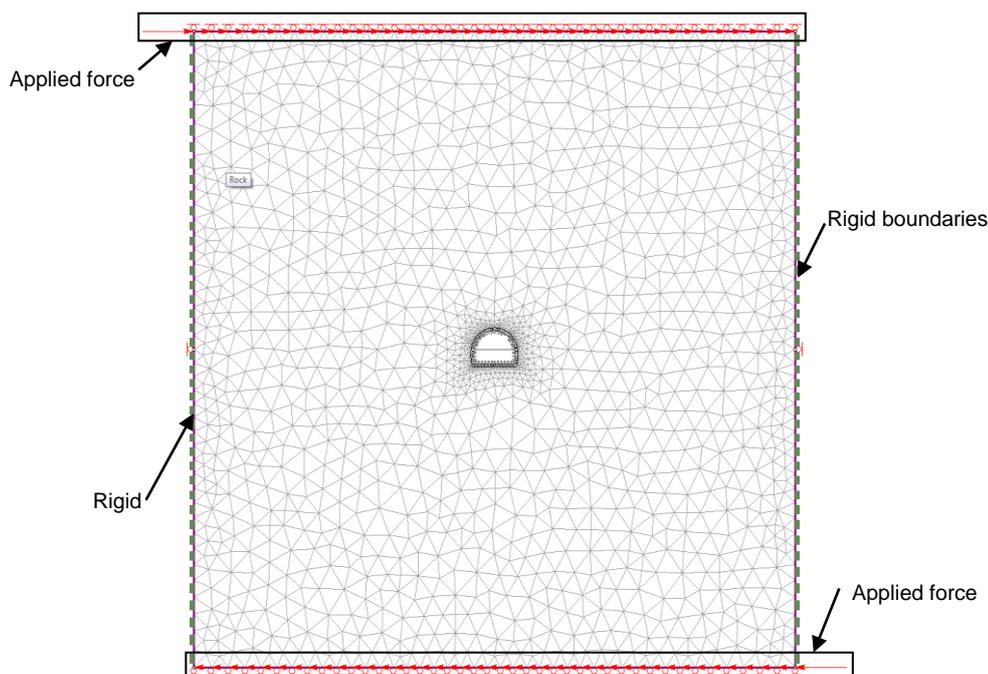


Figura 10-1 : Numerical model for the application of the Free-Field Shear Deformations Method

Con questa metodologia è possibile trovare le sollecitazioni, dovute alle deformazioni di ovalizzazione, che agiscono nel tunnel per i casi dei terremoti di progetto.

10.3.1.4 Risentimenti in superficie

La verifica di stati limite di esercizio connessi alla funzionalità delle strutture presenti a piano campagna richiede la valutazione degli effetti indotti dallo scavo della galleria sulle interferenze presenti lungo il tracciato; tale analisi è stata condotta sulla base di modelli empirici (Rif. [58]).

Per la stima degli effetti prodotti sulle interferenze a piano campagna dalla realizzazione della galleria si rimanda all'elaborato IF0H22D07CLGN0000001A "Relazione sulla valutazione delle subsidenze e verifica degli effetti indotti sulle interferenze in superficie".

10.3.2 Sezioni analizzate

Sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica di cui al precedente paragrafo, in funzione delle condizioni idrauliche previste e della distribuzione delle diverse classi di copertura lungo il tracciato, sono state analizzate le seguenti sezioni tipo:

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 47 di 68

Sezione Tipo	Copertura [m]	Formazione	Analisi stabilità al fronte	Interazione opera-terreno
C1	15	bn	✓	✓
C1bis (**)	15	bn	(*)	(*)
C3	-	-	(*)	(*)

(*) Le sezioni C1bis e C3 hanno le medesime caratteristiche strutturali del rivestimento provvisorio e definitivo della sezione C1 nella sua configurazione media, per cui per i calcoli dell'interazione opera-terreno si rimanda ai successivi paragrafi.
(**) Per la sezione C1bis è stata eseguita la verifica del presostegno al contorno.

Tabella 10-1: Sezioni analizzate

10.3.3 Sezione C1

10.3.3.1 Analisi di stabilità

Per la valutazione della stabilità al fronte della sezione C1 si è fatto riferimento alle caratteristiche geomeccaniche riportate nella tabella seguente.

Sez. di calcolo	Unità	H [m]	γ [kN/m ³]	c'_{kp} [MPa]	φ'_{kp} [°]
C1	bn	15	20.0	0.008	29.6

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria
 γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_{kp} = valore caratteristico della coesione efficace di picco dell'ammasso
 φ'_{kp} = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso

L'analisi in condizioni intrinseche attraverso il metodo di Tamez mostra un fattore di sicurezza pari a 0.15 per il fronte.

APPALTATORE:	TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo		COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 48 di 68

CONDIZIONI INTRINSECHE					
Larghezza della galleria (m)			b=		14,4
Altezza della galleria (m)			h=		10,7
Area di scavo (m2)			A=		130,8
Lunghezza di avanzamento non sostenuta (m)			a=		1,00
Profondità della falda da p.c. (m)			h _w =		25,7
Pressione di contrasto (kPa)			P _e =		0
MATERIALE (TERR=0 / ROCCIA=1)			mat=		0
Modulo deformabilità terreno originale [MPa]			E=		
Coefficiente di spinta laterale a riposo ("="=au			ko		-
Copertura	m	15			
id	Peso di	Potenza			Falda
strato	volume	strato	c'	φ	[1=si;
(dal basso)	[kN/m3]	[m]	[kPa]	[kPa]	0=no]
6					0
5					0
4					0
3					0
2					0
1	20	15	8,0	29,6	0
mat.al fronte	20	10,7	8,0	29,6	
Stabilità intrinseca	fronte			FSF	0,15
	calotta			FS3	0,86
Tipologia galleria		superficiale		z/h<1,5	
Larghezza solido di Terzaghi			[m]		26,86

Tabella 10-2: Sez. C1 Risultati delle analisi di stabilità del fronte di scavo (in condizioni intrinseche)

La verifica della condizione di stabilità in condizioni di progetto, attuando gli interventi di consolidamento previsti attraverso l'approccio $A2+M2+R2=1$ mostra un fattore di sicurezza pari a $2.24 > R2$. La stabilità del fronte risulta verificata con riferimento allo sfondo massimo previsto.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 49 di 68

CONDIZIONI INTRINSECHE					
Larghezza della galleria (m)		b=			14,4
Altezza della galleria (m)		h=			10,7
Area di scavo (m ²)		A=			130,8
Lunghezza di avanzamento non sostenuta (m)		a=			1,00
Profondità della falda da p.c. (m)		h _w =			25,7
Pressione di contrasto (kPa)		P _e =			0
MATERIALE (TERR=0 / ROCCIA=1)		mat=			0
Modulo deformabilità terreno originale [MPa]		E=			
Coefficiente di spinta laterale a riposo ("="=au)		ko			-
Copertura	m	15			
id	Peso di	Potenza			Falda
strato	volume	strato	c'	φ	[1=si;
(dal basso)	[kN/m ³]	[m]	[kPa]	[kPa]	0=no]
6					0
5					0
4					0
3					0
2					0
1	20	15	8,0	29,6	0
mat.al fronte	20	10,7	136,0	29,6	
Stabilità intrinseca		fronte		FSF	2,24
		calotta		FS3	0,86
Tipologia galleria		superficiale		z/h<1,5	
Larghezza solido di Terzaghi		[m]			26,86

Tabella 10-3: Sez. C1 Risultati delle analisi di stabilità del fronte di scavo (con interventi)

Nella tabella successiva si riportano in forma sintetica i risultati ottenuti in termini di coefficiente di sicurezza e categoria di comportamento atteso per il nucleo-fronte.

Sez. di calcolo	C	Parametri equivalenti al fronte			FSF (Condizioni intrinseche)	FSF (con interventi)
		$\gamma_{d,eq}$	$C'_{d,eq}$	$\varphi'_{d,eq}$		
		[m]	[kN/m ³]	[°]		
C1	15	20.0	136	29.6	0.15	2.24

Tabella 10-4: Risultati delle analisi di stabilità del fronte di scavo -sez.C1

10.3.3.2 Interazione opera-terreno

La tabella seguente riassume i dati di input che caratterizzano la sezione geotecnica considerata per le analisi numeriche avente piano campagna orizzontale e riportata nella figura seguente. Il calcolo è stato condotto nel breve termine con carico idraulico a quota fondo scavo per effetto del

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 50 di 68

drenaggio. Nella condizione di lungo termine il rivestimento è stato verificato in ipotesi di ripristino della falda.

Stratigrafia di calcolo		C	Falda	γ	c'_k	ϕ'_k	E'	ν'	k_0	k
Formazione	Profondità da p.c.									
[-]	[m]	[m]	[m da p.c.]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]	[-]	[m/s]
bna (0-40m)	0 40	15	50	20	10	35	50+8.6z	0.25	0.70	10 ⁻⁶
bn (>40m)	>40			20	10	35	390	0.25	0.70	10 ⁻⁶
C = copertura (rispetto alla calotta)			E' = modulo elastico							
γ = peso per unità di volume			ν' = coefficiente di Poisson							
c'_k = coesione drenata			K_0 = coefficiente di spinta a riposo							
ϕ'_k = angolo di attrito interno			k = coefficiente di permeabilità							

Tabella 10-5: Definizione della stratigrafia di calcolo

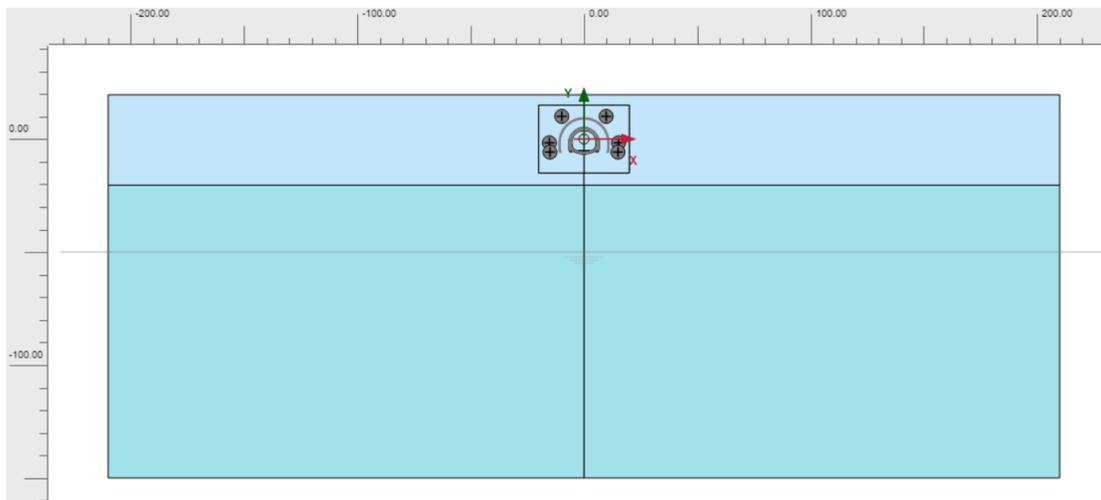


Figura 10-2: Sezione C1. – Modello di calcolo - Geometria

10.3.3.2.1 Fasi e percentuali di rilascio

La fasistica di calcolo adottata nell'analisi di interazione opera-terreno riproduce le principali fasi realizzative ed i differenti interventi costruttivi, schematizzando le principali condizioni di carico degli elementi strutturali. Nella tabella successiva è schematizzata la successione di tali fasi. Al termine del processo di scavo è stata simulata la fase di lungo termine in cui sono disattivati i

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 51 di 68

rivestimenti provvisori e sono state ripristinate le condizioni idrostatiche originarie. Le fasi descritte sono illustrate negli Allegati alla presente relazione.

I tassi di deconfinamento sono stati calcolati mediante analisi assialsimmetrica e curva caratteristica analitica. Nell'analisi assialsimmetrica è stato inserito il consolidamento del fronte simulato mediante un incremento di coesione caratteristica equivalente $\Delta c'_k$ applicata al fronte di scavo.

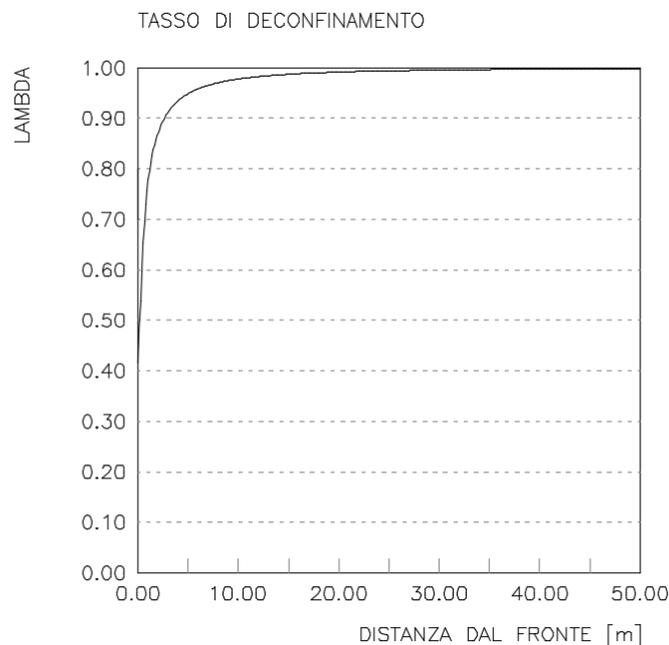


Figura 10-3: Tassi di deconfinamento tramite GV4

Fase	Descrizione	Rilascio forze di scavo
0	Geostatica	
1	Esecuzione consolidamenti al contorno dello scavo	
2	Rilascio a cavo libero in corrispondenza del fronte	0,31
3	Esecuzione dello sfondo elementare di 1 m	0,78
4	Installazione del rivestimento di prima fase (scarico a 13 m dal fronte)	0,93
5	Installazione dell'arco rovescio (scarico a 39 m dal fronte)	0,95
6	Installazione del rivestimento definitivo di calotta (scarico completo)	1,00

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 52 di 68

Fase	Descrizione	Rilascio forze di scavo
7	Condizione a lungo termine (decadimento del rivestimento di prima fase e dei consolidamenti al contorno)	1,00

Tabella 10-6: Fasi di calcolo per la sezione C1

10.3.3.2.2 Esame dei risultati

Sono di seguito descritti i principali risultati delle fasi di calcolo:

FASE 1

In questa fase viene simulata l'esecuzione del consolidamento previsto al contorno dello scavo utilizzando una fascia di terreno consolidato con parametri migliorati. Non si registrano spostamenti né in calotta, né ai piedritti, né in corrispondenza dell'arco rovescio.

FASE 2

Viene simulato il rilascio a cavo libero in corrispondenza del fronte di scavo e viene abbattuta la falda.

FASE 4

Viene simulato lo scavo alla posizione di installazione del sostegno di prima fase.

FASE 5

Viene simulata l'installazione dell'arco rovescio.

FASE 6

Viene simulata l'installazione della calotta con rilascio completo delle forze di scavo.

FASE 7

Viene simulata la condizione di lungo termine, con decadimento delle proprietà del sostegno di prima fase, e con la risalita della falda.

Per ciascuna fase vengono evidenziate per punti rappresentativi i risultati principali in termini di quadro deformativo e tensionale nella zona del cavo, distinguendo tra la zona di calotta, dei piedritti e dell'arco rovescio.

Nelle tabelle seguenti sono riportati sinteticamente i risultati nei punti rappresentativi.

APPALTATORE:	TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO				
PROGETTAZIONE:	Mandataria: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO				
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 53 di 68

	Fase	Utot[m]	Ux[m]	Uy[m]	σ_1 [kPa]	σ_3 [kPa]
pedritto sx	Initial	0	0	0	-432	-302.4
	1	0	0	0	-432.0	-302.4
	2	0.0015	0.0013	0.0008	-1279.9	-216.2
	3	0.0038	0.0036	0.0014	-2442.6	-84.4
	4	0.0053	0.0027	-0.0046	-2162.7	-58.8
	5	0.0054	0.0026	-0.0047	-2166.6	-59.9
	6	0.0077	0.0024	-0.0074	-2154.0	-74.1
	7	0.007	0.0025	-0.0065	-527.3	-132.5

Tabella 10-7: Fasi di calcolo– Risultati dell'analisi per punti rappresentativi (1/4)

	Fase	Utot[m]	Ux[m]	Uy[m]	σ_1 [kPa]	σ_3 [kPa]
pedritto dx	Initial	0	0	0	-432	-302.4
	1	0	0	0	-432.0	-302.4
	2	0.0015	-0.0013	0.0008	-1279.9	-216.2
	3	0.0038	-0.0036	0.0014	-2453.5	-84.5
	4	0.0048	-0.0025	-0.0041	-2184.9	-58.7
	5	0.0049	-0.0025	-0.0043	-2190.1	-60
	6	0.0072	-0.0022	-0.0069	-2181.0	-75.9
	7	0.0064	-0.0023	-0.006	-510.9	-128.0

Tabella 10-8: Fasi di calcolo– Risultati dell'analisi per punti rappresentativi (2/4)

	Fase	Utot[m]	Ux[m]	Uy[m]	σ_1 [kPa]	σ_3 [kPa]
calotta	Initial	0	0	0	-292	-204.4
	1	0	0	0	-292	-204.4
	2	0.0024	0	-0.0024	-883.1	-225.9
	3	0.0064	0	-0.0064	-1933.9	-126.8
	4	0.0038	-0.0001	-0.0038	-2087.1	-114.5
	5	0.004	-0.0001	-0.004	-2094.4	-112.6
	6	0.007	-0.0001	-0.007	-2132.1	-102.8
	7	0.0051	-0.0001	-0.0051	-682.1	-174.3

Tabella 10-9: Fasi di calcolo– Risultati dell'analisi per punti rappresentativi (3/4)

	Fase	Utot[m]	Ux[m]	Uy[m]	σ_1 [kPa]	σ_3 [kPa]
AR	Initial	0	0	0	-526.0	-368.2
	1	0	0	0	-526.0	-368.2
	2	0.0057	0	0.0057	-378.4	-325.8
	3	0.0145	0	0.0145	-306.0	-157.5

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO												
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO												
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF2R</td> <td>3.2.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>GN.05.0.0.001</td> <td>B</td> <td>54 di 68</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	54 di 68
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	54 di 68								

AR	Fase	Utot[m]	Ux[m]	Uy[m]	σ_1 [kPa]	σ_3 [kPa]
	4	0.0035	0.0001	0.0035	-219.0	-86.0
	5	0.0035	0.0001	0.0035	-218.1	-80.0
	6	0.0014	0.0001	0.0014	-223.5	-82.0
	7	0.0016	0.0001	0.0016	-229.3	-106.7

Tabella 10-10: Fasi di calcolo– Risultati dell’analisi per punti rappresentativi (4/4)

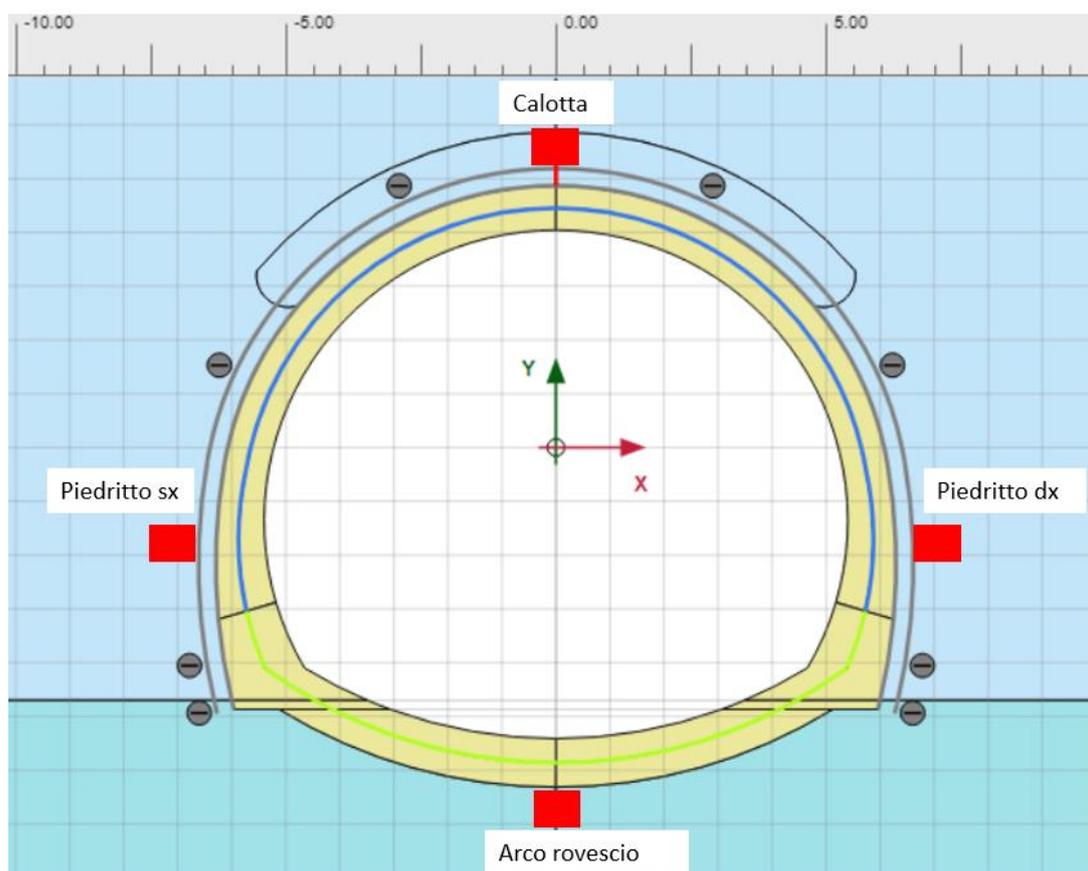


Figura 10-4: Sezione C1 – Modello di calcolo – Punti di controllo rappresentativi

10.3.3.2.3 Verifiche strutturali del rivestimento di prima fase

Le verifiche strutturali sul rivestimento di prima fase sono state eseguite per le fasi di calcolo 4,5 e 6. Le caratteristiche del rivestimento provvisorio sono:

- Spessore dello spritz beton [m] 0.30 m

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 55 di 68

- Tipologia profilati 2 IPN220 accoppiate
- Interasse longitudinale profilato 1.0m +/- 20%

Le caratteristiche del rivestimento provvisorio utilizzate nel modello di calcolo sono riportate nella seguente tabella (simulate tramite elementi tipo trave):

Caratteristiche	Spritz beton/Centine
Spessore dello spritz beton [m]	0.30
Area resistente dello spritz beton A_{sb} [m ²]	0.30
Tipologia profilati	IPN220
Interasse longitudinale profilato [m]	1.0 +/-20%
Rigidezza assiale centina [kN/m]	9.443E6
Rigidezza flessionale centina [kNm ² /m]	70.82E3

Tabella 10-11: Definizione delle caratteristiche del rivestimento di prima fase – sez. C1

In allegato è riportato il dettaglio delle verifiche condotte per ciascun nodo. Nel seguito si riportano sinteticamente le risultanze generali per la componente centina e spritz beton (con numerazione che segue l'andamento del profilo dalla base sx sino alla base di appoggio dx lungo l'intero profilo della centina), con un dettaglio del comportamento per punti rappresentativi.

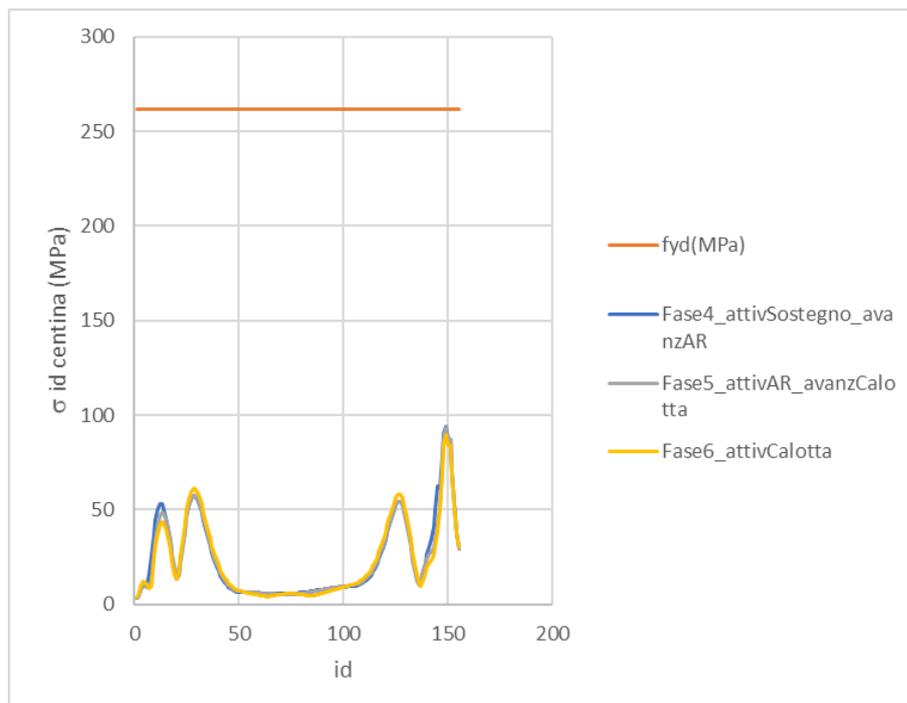


Figura 10-5: Verifiche centine (verifica con passo massimo centine)

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 56 di 68

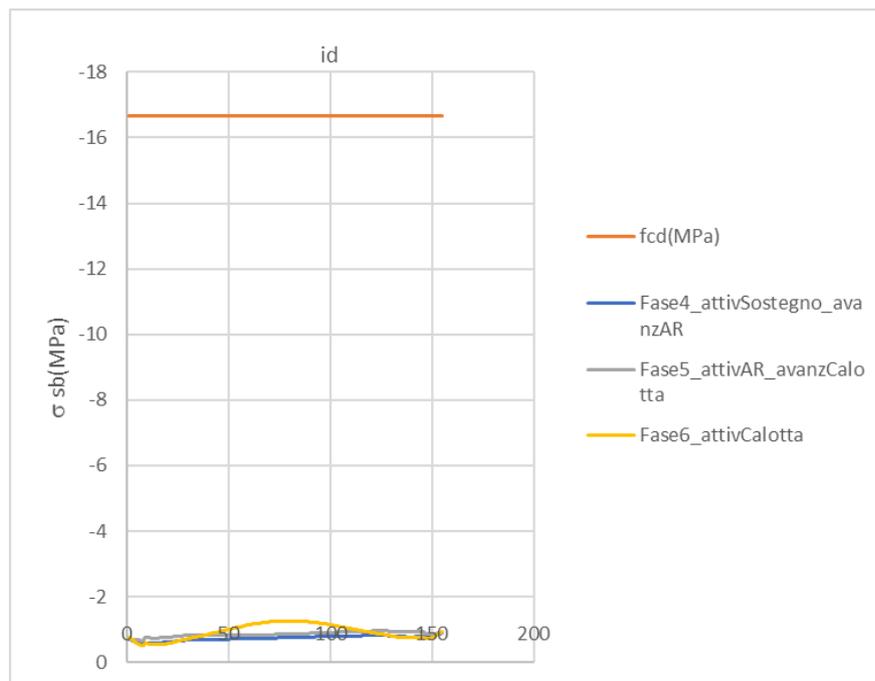


Figura 10-6: Verifiche spritz beton (verifica con passo massimo centine)

I risultati nei punti rappresentativi per la sintesi del comportamento sono riportati nella tabella seguente:

	nodo	11741	13281	16930	17563	15114
Fase		CAL 1	CAL 2	CAL 3	CAL 4	CAL 5
Fase4_attivSostegno_avanzAR	N[kN/m]	-158.6	-186.8	-202.3	-219.8	-210.5
	M[kNm/m]	-21.8	8.9	1.5	7.9	-13.6
	T[kN/m]	-4.0	-8.2	0.2	6.0	-10.8
	Ux [m]	0.0034	0.0004	-0.0001	-0.0005	-0.0033
	Uy [m]	-0.0047	-0.0043	-0.0038	-0.0039	-0.0041
	U [m]	0.0058	0.0043	0.0038	0.0039	0.0053
Fase5_attivAR_avanzCalotta	N[kN/m]	-200.3	-223.0	-231.4	-255.8	-251.7
	M[kNm/m]	-18.7	9.2	1.1	8.2	-10.6
	T[kN/m]	-10.9	-8.2	0.2	6.0	-3.3
	Ux [m]	0.0033	0.0004	-0.0001	-0.0005	-0.0032
	Uy [m]	-0.0048	-0.0045	-0.0040	-0.0040	-0.0043
	U [m]	0.0059	0.0045	0.0040	0.0041	0.0054

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 57 di 68

	nodo	11741	13281	16930	17563	15114
Fase		CAL 1	CAL 2	CAL 3	CAL 4	CAL 5
Fase6_attivCalotta	N[kN/m]	-149.0	-223.4	-341.3	-259.5	-204.1
	M[kNm/m]	-16.9	10.2	-0.6	9.1	-9.0
	T[kN/m]	-10.5	-8.8	0.2	6.5	-4.2
	Ux [m]	0.0031	0.0002	-0.0002	-0.0003	-0.0029
	Uy [m]	-0.0075	-0.0072	-0.0070	-0.0067	-0.0069
	U [m]	0.0081	0.0072	0.0070	0.0067	0.0075

Tabella 10-12: Fasi di calcolo– Risultati dell’analisi per punti rappresentativi del rivestimento di prima fase della sezione C1

10.3.3.2.4 Verifiche strutturali del rivestimento definitivo

Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche del rivestimento definitivo, simulato come un arco di materiale elastico al contorno dello scavo con rigidezze definite in corrispondenza alla classe di calcestruzzo. Per ottenere risultati di sollecitazioni più precisi e omogenei lungo tutto il rivestimento della galleria, elementi tipo trave sono posizionati lungo l’asse medio del rivestimento definitivo con i seguenti parametri:

- Spessore dell’elemento trave uguale allo spessore medio del rivestimento definitivo
- Rigidezza uguale alla rigidezza del calcestruzzo ridotta da un fattore di 10^{-3}

Tipo di rivestimento	Rivestimento definitivo	EI [kNm ² /m]	EA [kN/m]
Spessore simulato del rivestimento definitivo di arco rovescio [m]	1.00	2740	32.80E3
Spessore simulato del rivestimento definitivo di chiave calotta [m]	0.95	2250	29.90E3

Tabella 10-13: Definizione delle caratteristiche dei rivestimenti definitivi – sez. C1

Per le condizioni in esame le caratteristiche associate alla verifica sono di seguito associate:

- calotta in calcestruzzo C25/30; spessore 0.95m, armatura simmetrica 1+1 ϕ 20/20 trasversale e ϕ 12/40/40 a taglio.
- murette e arco rovescio in calcestruzzo C30/37; spessore 1.00m, armatura superiore ϕ 26/20 e armatura inferiore ϕ 20/20 trasversale e ϕ 12/40/40 a taglio.

Le verifiche del rivestimento definitivo per l’arco rovescio sono state condotte considerando una resistenza Rck pari a 30MPa, in accordo con quanto richiesto dal Capitolato delle Opere Civili RTI DTC SI SP IFS A.

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 58 di 68

Le verifiche sono espone in forma grafica per ogni nodo della mesh negli allegati alla presente relazione. Le verifiche risultano soddisfatte.

Per il caso in esame risulta dimensionante la fase 7, in cui, a favore di sicurezza, sono stati rimossi gli interventi di pre-consolidamento ed è stato ripristinato il carico idraulico in modo da simulare le condizioni a lungo termine.

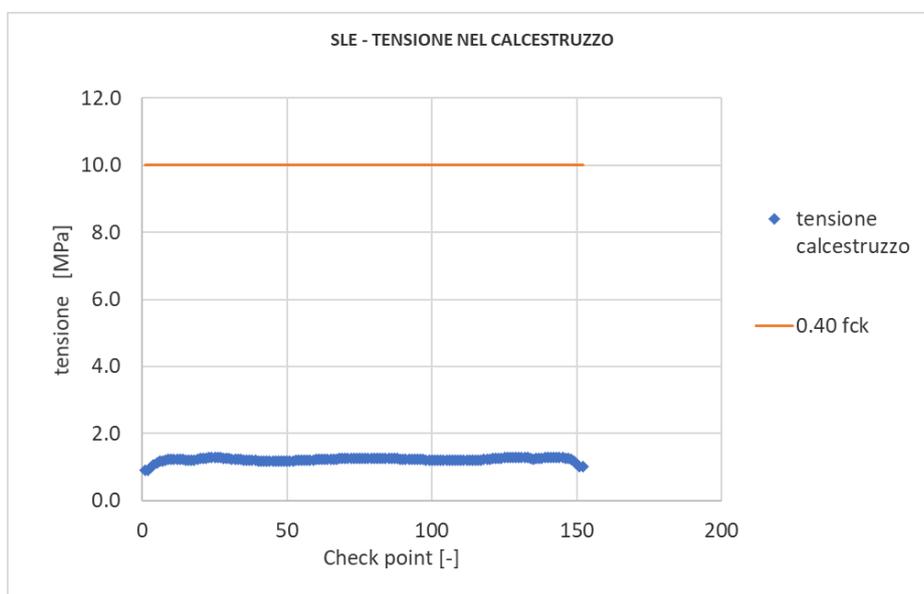


Figura 10-7: Verifica SLE – calotta - Tensioni sul calcestruzzo

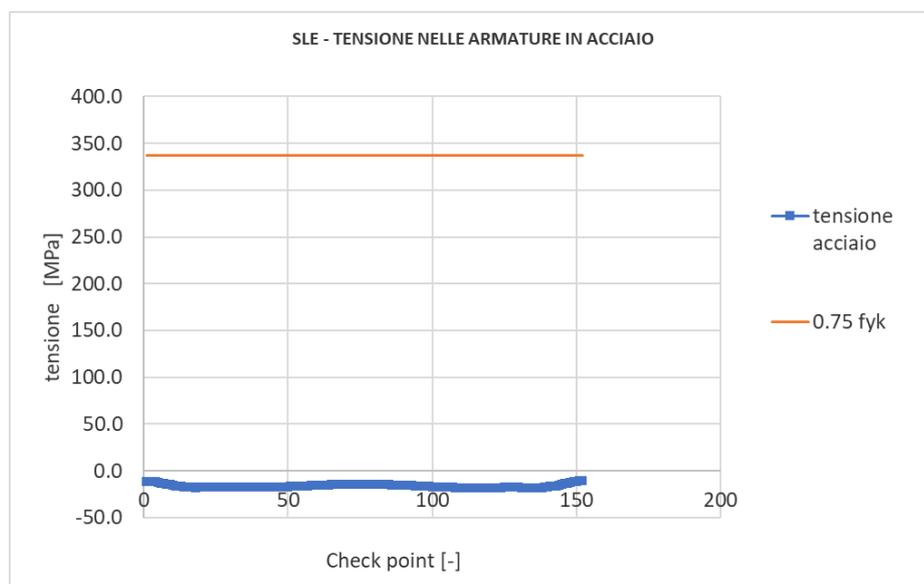


Figura 10-8: Verifica SLE– calotta - Tensioni sull'acciaio

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 59 di 68

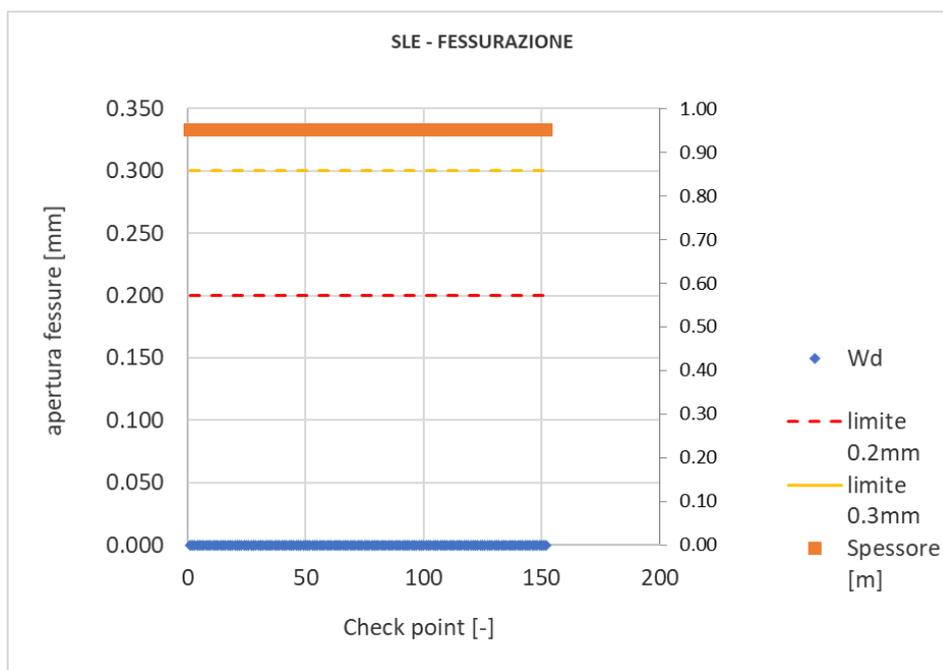


Figura 10-9: Verifica SLE– calotta - Verifica a fessurazione

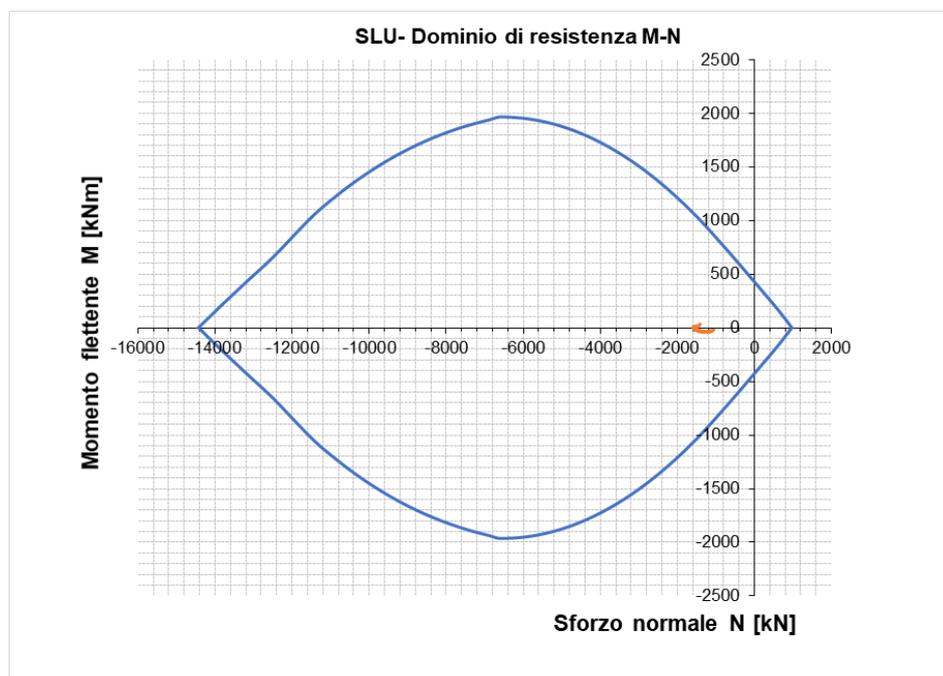


Figura 10-10: Verifica SLU– calotta - Diagramma di interazione per pressoflessione

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 60 di 68

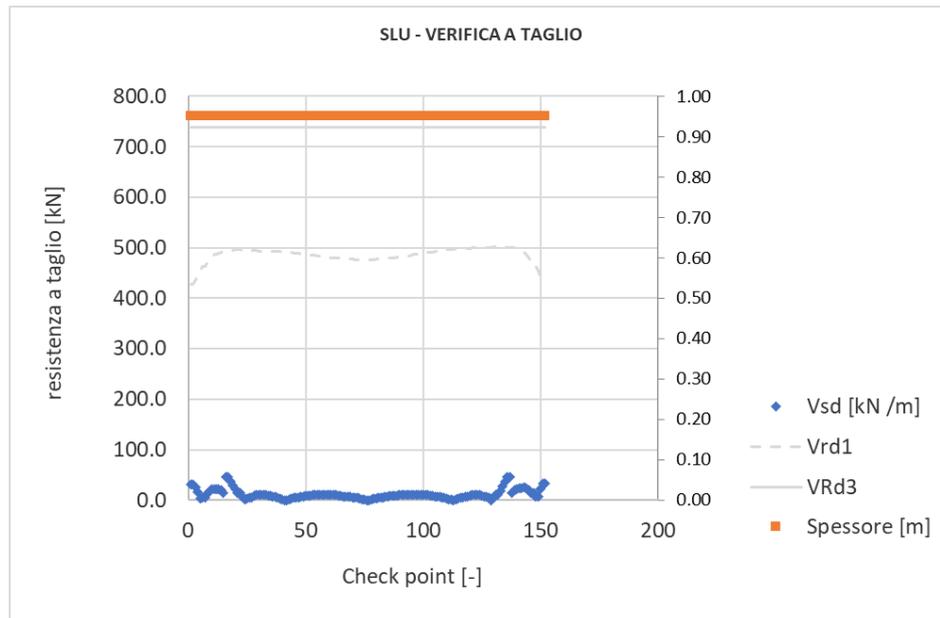


Figura 10-11: Verifica SLU– calotta - Resistenza a taglio

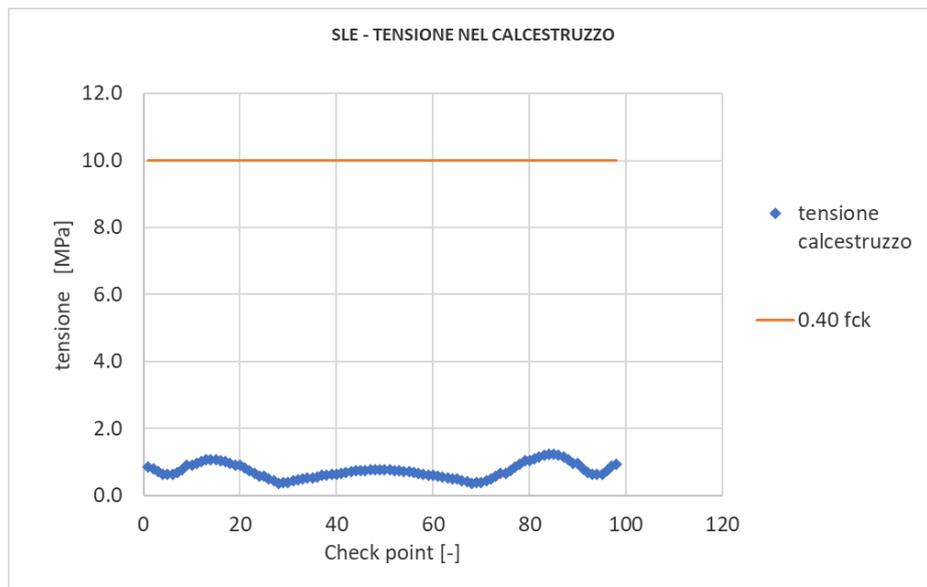


Figura 10-12: Verifica SLE – arco rovescio e piedritti - Tensioni sul calcestruzzo

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 61 di 68

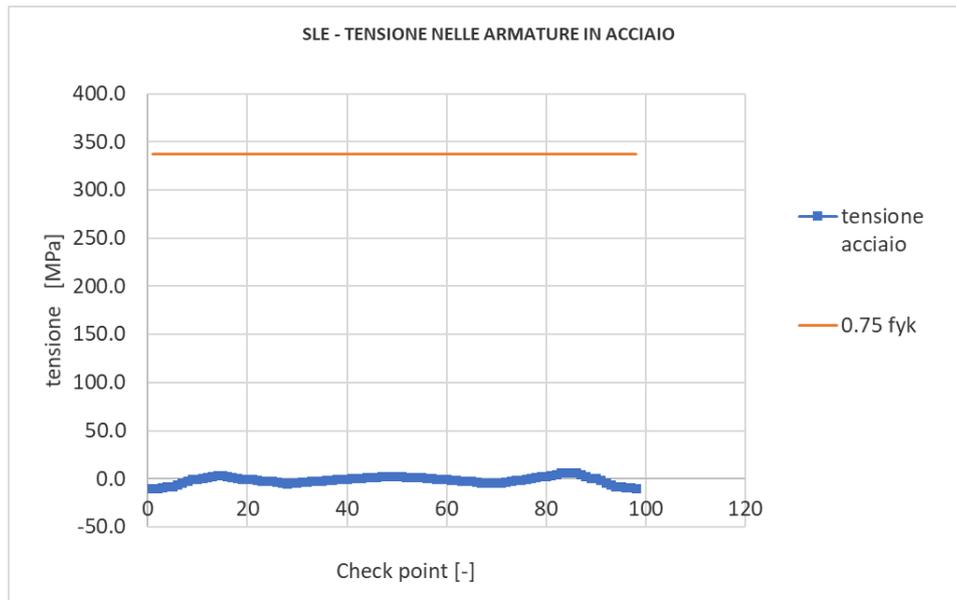


Figura 10-13: Verifica SLE– arco rovescio e piedritti - Tensioni sull'acciaio

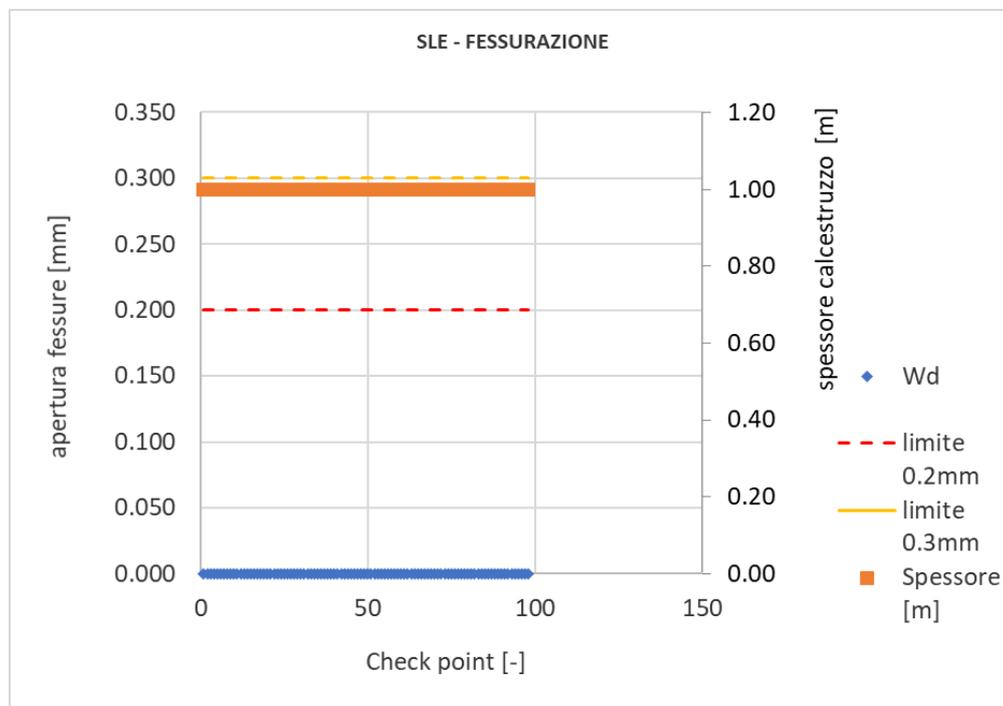


Figura 10-14: Verifica SLE– arco rovescio e piedritti - Verifica a fessurazione

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO												
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO												
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF2R</td> <td>3.2.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>GN.05.0.0.001</td> <td>B</td> <td>62 di 68</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	62 di 68
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	62 di 68								

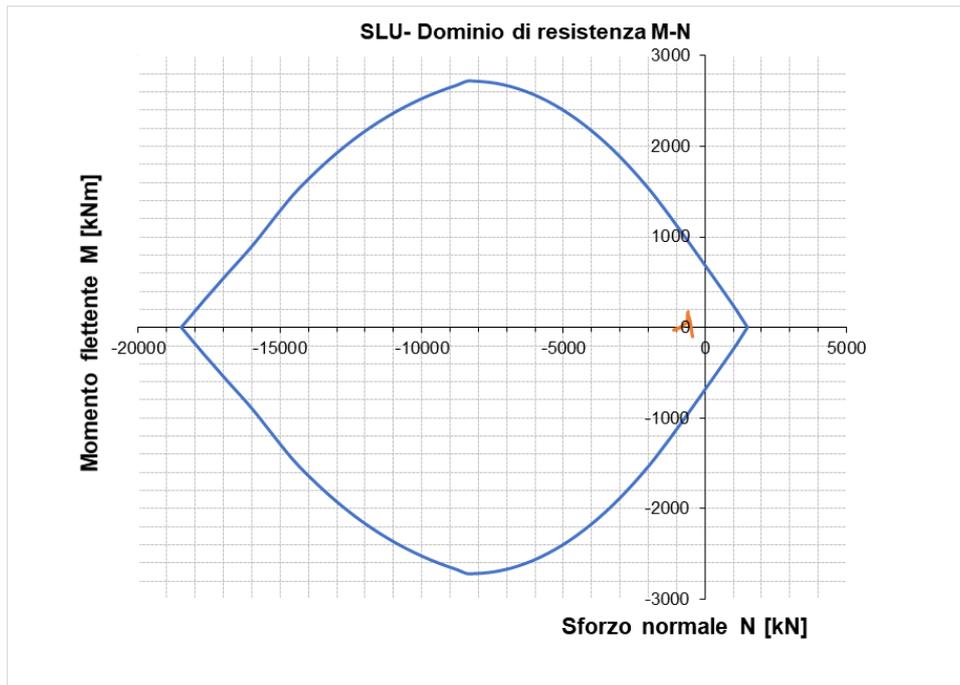


Figura 10-15: Verifica SLU– arco rovescio e piedritti - Diagramma di interazione per pressoflessione

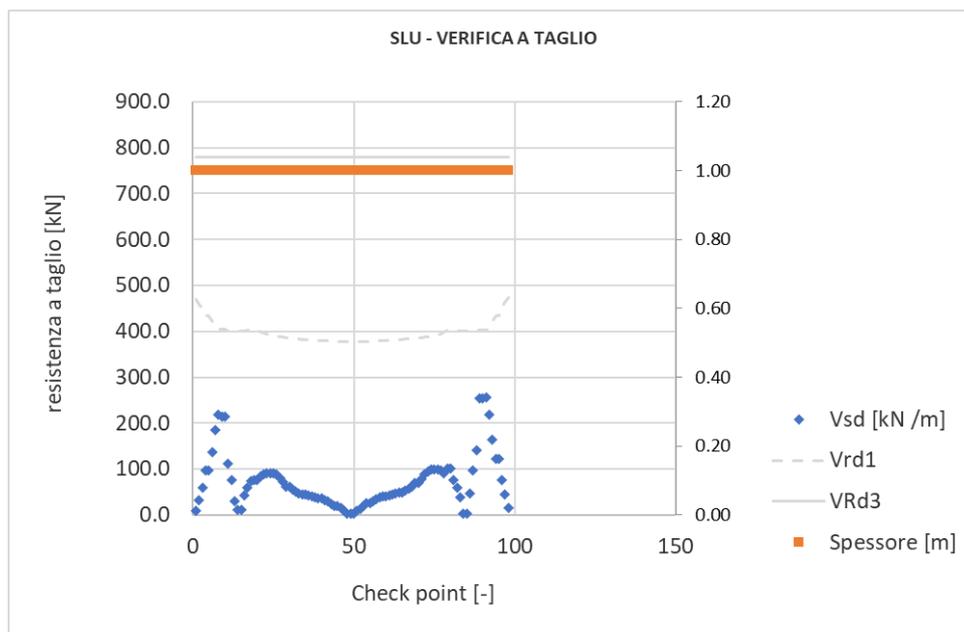


Figura 10-16: Verifica SLU– arco rovescio e piedritti - Resistenza a taglio

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO												
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF2R</td> <td>3.2.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>GN.05.0.0.001</td> <td>B</td> <td>63 di 68</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	63 di 68
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	63 di 68								

10.3.3.2.5 Esame dei risultati con azione sismica

In questo paragrafo si riportano i risultati ottenuti con l'applicazione dell'azione sismica per la sezione C1.

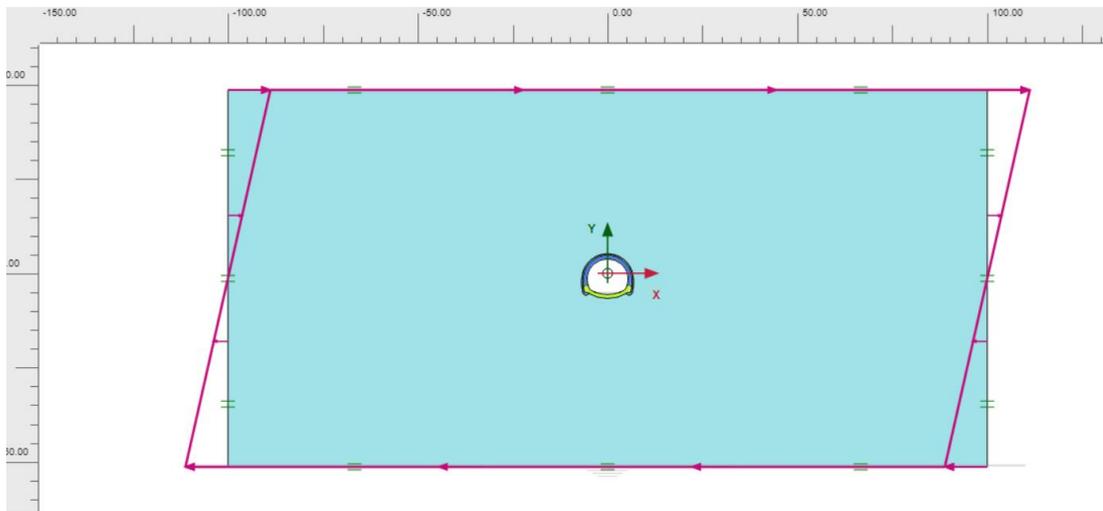


Figura 10-17: Applicazione dell'azione sismica alla sezione C1

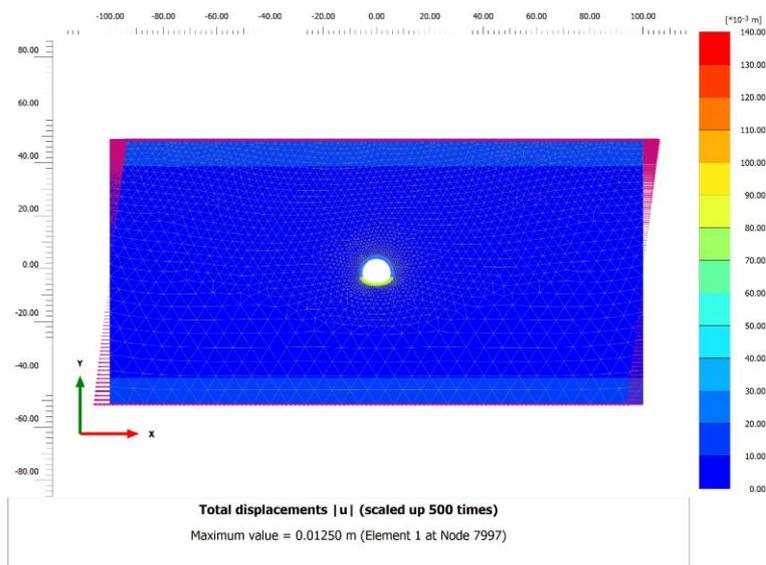


Figura 10-18: Spostamenti Totali [m]

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO												
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF2R</td> <td>3.2.E.ZZ</td> <td>CL</td> <td>GN.05.0.0.001</td> <td>B</td> <td>64 di 68</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	64 di 68
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF2R	3.2.E.ZZ	CL	GN.05.0.0.001	B	64 di 68								

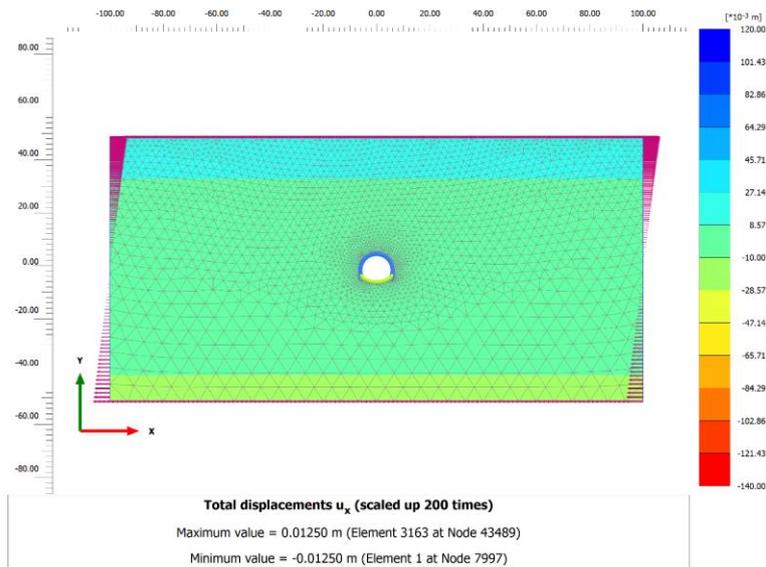


Figura 10-19: Spostamenti Orizzontali [m]

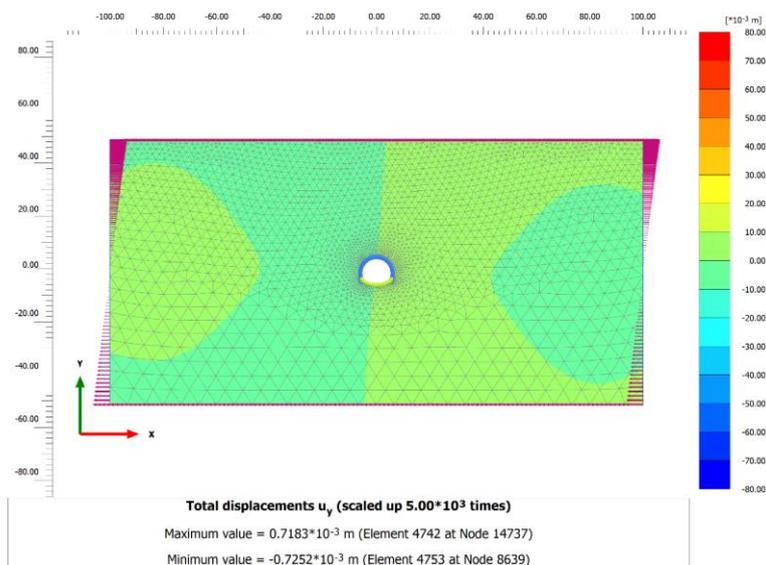


Figura 10-20: Spostamenti Verticali [m]

APPALTATORE:	TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo		COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 65 di 68

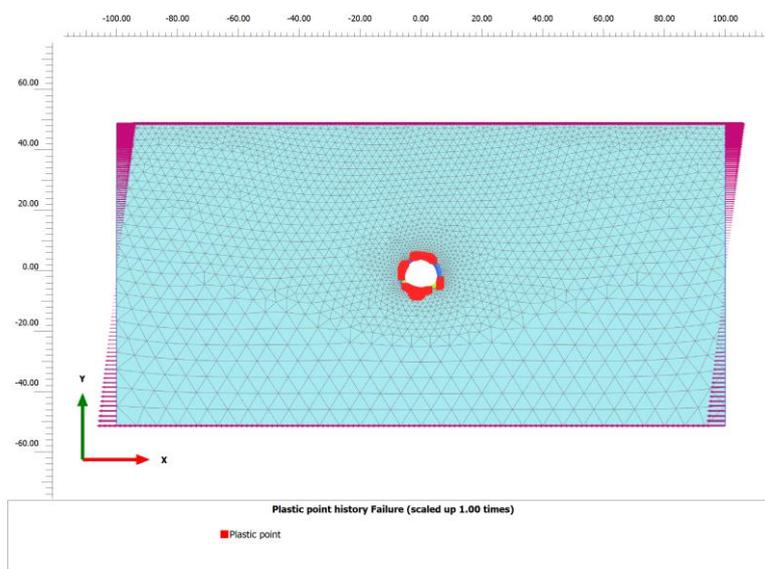


Figura 10-21: Zone Plastiche

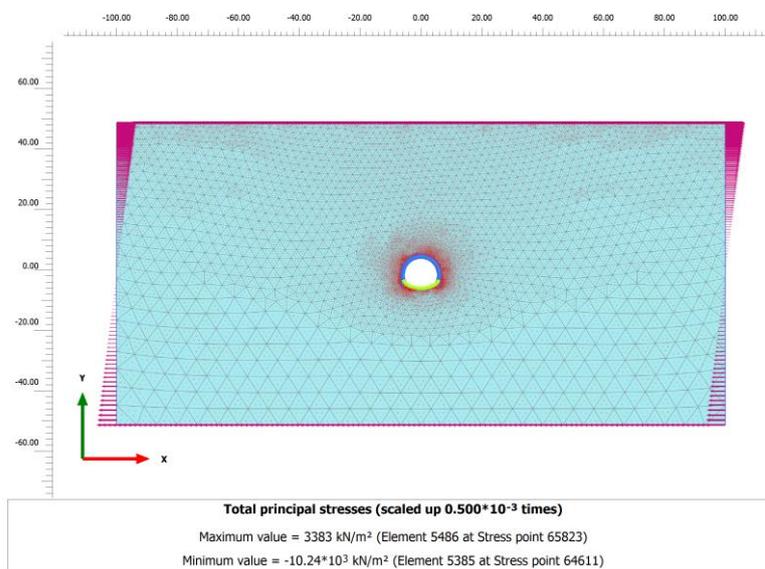


Figura 10-22: Tensore degli sforzi

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 66 di 68

10.3.3.2.6 Verifiche del rivestimento definitivo C1+azione sismica

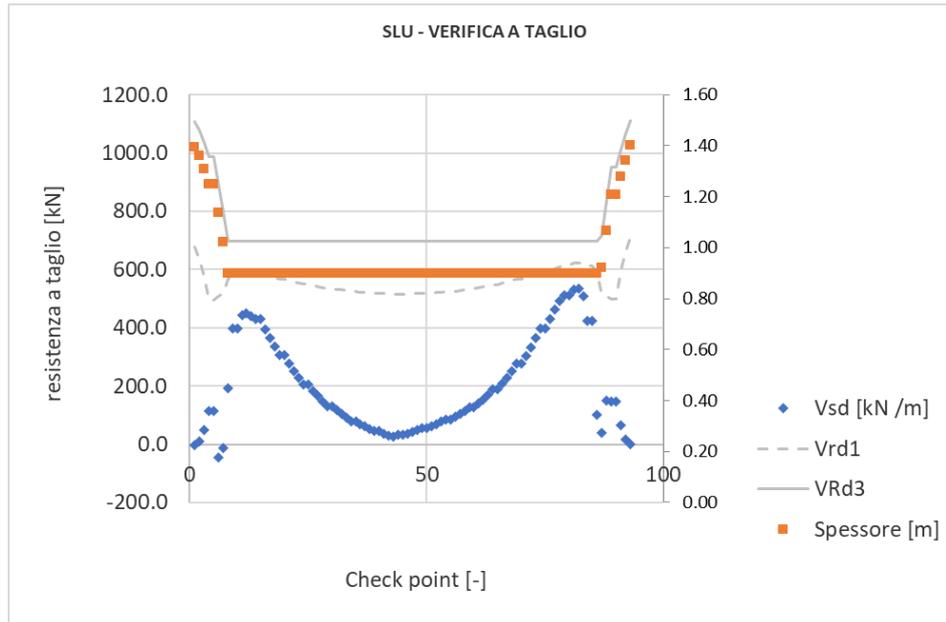


Figura 10-23: Verifica SLU resistenza al taglio

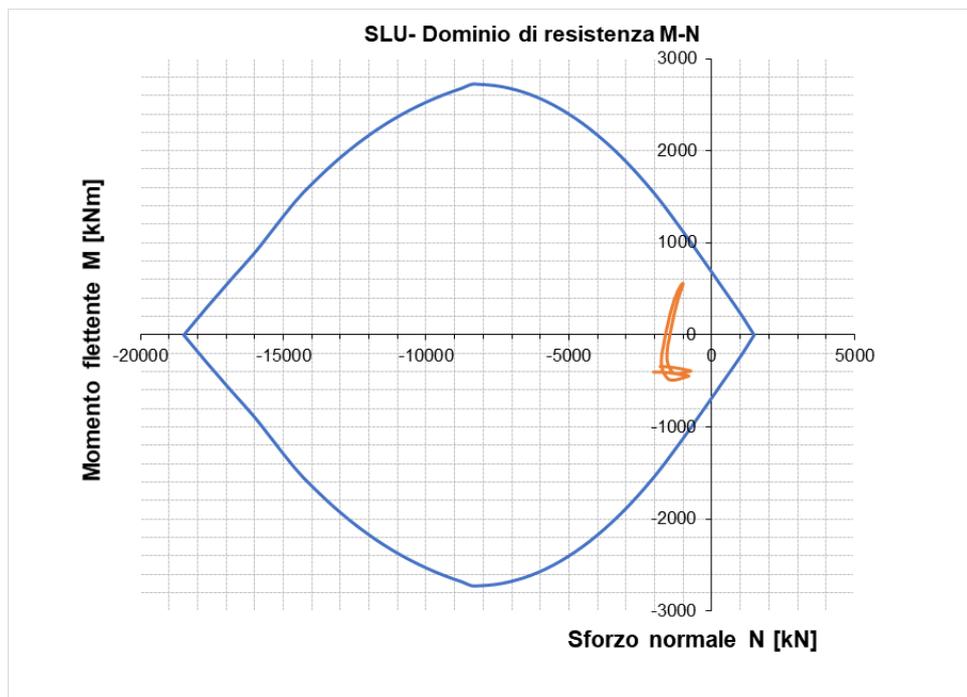


Figura 10-24: Verifica SLU. Diagramma di interazione per pressoflessione

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 67 di 68

10.3.4 Sezione C1bis

10.3.4.1 Verifica del pre-sostegno

L'intervento di pre-sostegno è costituito da 33 tubi in acciaio 127 mm e spessore 10.0 mm, ad interasse trasversale di 0.40 m, di lunghezza $L=9.5$ m (con sovrapposizione minima di 3.5 m).

La verifica degli infilaggi dell'intervento di pre-sostegno è effettuata allo SLU, tramite il momento di progetto, amplificato per il coefficiente parziale pari a 1.3. Si è considerata una copertura di 20m nella formazione bn.

La verifica è effettuata tramite il confronto tra momento sollecitante e resistente: il momento resistente plastico è dato dalla tensione resistente di progetto f_{yd} per il modulo di resistenza plastico W_{pl} . Essendo il momento resistente M_{Rd} non inferiore al momento sollecitante di progetto M_{sd} , le verifiche risultano soddisfatte. I valori sono riportati nella seguente tabella.

Tipologia profilati	Φ 139.7
Interasse trasversale [m]	0.4
Modulo resistente plastico [m ³]	1.69E-4
Interasse centine [m]	1
Distanza massima centina – fronte a [m]	0.4
Lunghezza fittizia appoggio cedevole λ [m]	0.7
Luce di calcolo [m]	2.1
Pressione verticale caratteristiche $p_{v,k}$ [kPa]	146
Momento di progetto M_{sd} [kNm]	30.6
Resistenza di progetto f_{yd} [MPa]	338.1
Momento resistente M_{Rd} [kNm]	57.13

Tabella 10-14: Verifica dei tubi di acciaio al contorno

APPALTATORE: TELESE S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO SAN LORENZO – VITULANO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
GN05 – GALLERIA PONTE Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GN.05.0.0.001	REV. B	FOGLIO 68 di 68

11 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione della galleria Ponte, inclusa nel raddoppio ferroviario della linea Canello-Benevento sull'itinerario Napoli-Bari, ed in particolare nel 3° sublotto funzionale, dall'impianto del PC di San Lorenzo (km 39+050) fino all'impianto di Vitulano (km 46+950 km), facente parte del II lotto funzionale della tratta compreso tra la Stazione di Frasso Telesino/Dugenta (km 16+500 km) e Vitulano (km 46+950,00).

La progettazione delle opere in sotterraneo, è stata condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [55]), articolandosi nelle seguenti fasi:

1. Fase conoscitiva (cap. 8): questa fase è stata dedicata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico di inserimento in cui sarà realizzata la galleria, considerati anche i dati relativi alle precedenti fasi progettuali, ed ha portato alla definizione del modello geotecnico di sottosuolo utilizzato per le successive fasi del progetto.
2. Fase di diagnosi (cap. 9): in questa fase è stata eseguita la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione, per la determinazione delle categorie di comportamento; sulla base delle analisi condotte l'intero tracciato della galleria è stato suddiviso in tratte omogenee distinguendo tratte con comportamento del nucleo-fronte di scavo di categoria C (instabile), tratte con comportamento di categoria B (stabile a breve termine) e tratte con comportamento di categoria A (stabile).
3. Fase di terapia (cap. 10): sulla base dei risultati delle precedenti fasi progettuali, per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza sono state individuate 3 sezioni tipo di intervento denominate C1, C1bis e C3. Tali soluzioni progettuali sono state analizzate verificandone adeguatezza ed efficacia in tutte le fasi costruttive previste ed in condizioni di esercizio.

Il progetto sarà completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa, nel quale sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso e della galleria al procedere dello scavo, verificarne la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le sezioni tipo individuate nell'ambito delle variabilità previste.