

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO

Lotto 2: Taormina (e) - Giampilieri (e)

Galleria Quali - Relazione geotecnica e di calcolo della galleria naturale

SCALA:

-

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

RS2S 02 D 07 RB GN0900 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
B	Consegna al CSLLPP	A. Corbo A. Duzi Nulli	Gen 2018	M. Ricci	Gen 2018	P. Carlesimo	Gen 2018	A.Sciotti Gen 2018

ITALFERR S.P.A.
U.O. GALLERIE
Cott. Ing. Alessandra Sciotti
Ordine degli Ingegneri di Roma
n° 139/16

File:

n. Elab.: 1668

INDICE

1	PREMESSA.....	5
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO.....	5
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	6
4.2	DOCUMENTI CORRELATI.....	7
4.3	DOCUMENTI SUPERATI.....	8
5	ALLEGATI.....	8
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO.....	8
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	9
7.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO.....	9
7.2	INTERFERENZE LUNGO IL TRACCIATO.....	9
8	FASE CONOSCITIVA.....	10
8.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	10
8.2	INDAGINI GEOTECNICHE.....	10
8.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	12
8.3.1	FDN/GLD/TAM/MMF – Argilloscisti/Filladi.....	13
8.3.1.1	Caratteristiche fisiche.....	13
8.3.1.2	Caratteristiche meccaniche.....	15
8.3.1.3	Riepilogo dei parametri geotecnici.....	20
8.3.2	VEPI/VEP2 – Metarentiti/arenarie.....	21
8.3.2.1	Caratteristiche fisiche.....	21
8.3.2.2	Caratteristiche meccaniche.....	22
8.3.2.3	Riepilogo dei parametri geotecnici.....	24
8.3.3	ACS/(MED)/(RSA)/(MAI)– Calcari marnosi.....	25
8.3.3.1	Caratteristiche fisiche.....	25
8.3.3.2	Caratteristiche meccaniche.....	26
8.3.3.3	Riepilogo dei parametri geotecnici.....	27
8.3.4	ALD/DOA/GCM – Calcari/dolomie.....	28
8.3.4.1	Caratteristiche fisiche.....	28

8.3.4.2	<i>Caratteristiche meccaniche</i>	29
8.3.4.3	<i>Riepilogo dei parametri geotecnici</i>	31
8.3.5	<i>Definizione degli intervalli dei parametri geotecnici delle unità interessate dalle opere</i>	31
8.3.6	<i>Il regime idraulico</i>	31
8.3.6.1	<i>Complesso metamorfico (FDN, VEPI)</i>	31
8.3.6.2	<i>Complesso conglomeratico-ghiaioso (LLM)</i>	32
8.3.6.3	<i>Complesso detritico-colluviale (b2)</i>	32
8.3.7	<i>Lo stato tensionale in sito</i>	32
9	FASE DI DIAGNOSI	33
9.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO	33
9.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO	34
9.2.1	<i>Analisi con il metodo delle linee caratteristiche</i>	34
9.2.1.1	<i>Metodo di analisi</i>	34
9.2.1.2	<i>Sezioni analizzate</i>	35
9.2.1.3	<i>Risultati delle analisi</i>	35
9.2.2	<i>Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo</i>	37
10	FASE DI TERAPIA	38
10.1	DEFINIZIONE DELLE SEZIONI TIPO	38
10.1.1	<i>Sezione tipo A1</i>	38
10.1.2	<i>Sezione tipo A2</i>	39
10.1.3	<i>Sezione tipo B1</i>	39
10.1.4	<i>Sezione tipo B2</i>	40
10.1.5	<i>Sezione tipo C2</i>	40
10.1.6	<i>Sezione tipo C2v</i>	41
10.2	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI	41
10.3	ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO	44
10.3.1	<i>Criteri di verifica</i>	44
10.3.2	<i>Sezione A1</i>	49
10.3.2.1	<i>Stabilità del fronte e del cavo</i>	49
10.3.2.2	<i>Interazione opera-terreno</i>	50

10.3.3	Sezione A2	51
10.3.3.1	Stabilità del fronte e del cavo.....	51
10.3.3.2	Interazione opera-terreno	52
10.3.4	Sezione B1_ACS	54
10.3.4.1	Stabilità del fronte e del cavo.....	54
10.3.4.2	Interazione opera-terreno	55
10.3.5	Sezione B1_MMF	56
10.3.5.1	Stabilità del fronte e del cavo.....	56
10.3.5.2	Interazione opera-terreno	57
10.3.6	Sezione B1_VEPI	59
10.3.6.1	Stabilità del fronte e del cavo.....	59
10.3.6.2	Interazione opera-terreno	60
10.3.7	Sezione C2v	61
10.3.7.1	Stabilità del fronte e del cavo.....	61
10.3.7.2	Interazione opera-terreno	62
11	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO	64
11.1	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA.....	64
11.2	CRITERI GENERALI PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO	64
12	CONCLUSIONI.....	65

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 5 di 65

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto definitivo del Raddoppio della Tratta Giampilieri-Fiumefreddo sulla Diretrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo.

La linea esistente è rappresentata da una infrastruttura a semplice binario caratterizzata da un itinerario in gran parte costiero e prevalentemente all'aperto, con alcune brevi gallerie, che si colloca in una strettissima fascia di territorio compreso tra i rilievi che si protraggono verso il mare, l'autostrada A18, la viabilità statale e gli insediamenti turistici costieri.

La soluzione di progetto prevede la realizzazione di una nuova linea a doppio binario dell'estensione di circa 42,2 km che si sviluppa a maggior distanza dalla costa, prevalentemente in galleria. La nuova linea si allaccia alla linea esistente alla progressiva 276+822, prima dell'attuale stazione di Fiumefreddo, e alla progressiva 319+756, immediatamente prima dell'esistente stazione di Giampilieri.

È previsto inoltre un collegamento intermedio mediante l'interconnessione di Letojanni, che consente la suddivisione dell'opera in due fasi funzionali: la prima, tra Fiumefreddo e Taormina, di estensione pari a circa 13,9 km, che si allaccia alla linea storica con l'interconnessione di Letojanni; la seconda, tra Taormina e Giampilieri, lunga circa 28,3 km.

Pertanto, la tratta in oggetto è suddivisa in due lotti:

- Lotto 1: Fiumefreddo – Taormina (sino al km 13+900);
- Lotto 2: Taormina – Giampilieri (dal km 13+900 al km 42+200).

Per l'inquadramento generale su caratteristiche e requisiti funzionali delle opere in sotterraneo si rimanda alla "Relazione tecnica delle opere in sotterraneo" (Rif. [1]).

2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione si affrontano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle galleria Quali, afferente il Lotto 2. La galleria Quali è una galleria lunga circa 4200 m, a doppia canna realizzata con metodo di scavo tradizionale.

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [15]), 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. [13]) 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 § 8.3;

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 (§ 9);

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 (§ 10). Le

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 6 di 65

soluzioni progettuali sono state analizzate per verificarne l'adeguatezza: nel § 10.3 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 (§ 11). Nel piano di monitoraggio sono individuate le 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. Nel capitolo 11.2 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.

3 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Per i riferimenti normativi si rimanda a quanto indicato al paragrafo 3 della relazione tecnica delle opere in sotterraneo (Rif. [1]).

4 **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

4.1 **Documenti Referenziati**

- Rif. [1] U.O. Gallerie, documento RS2S02D07RHGN000001B “Relazione tecnica delle opere in sotterraneo” datato Gennaio 2018;
- Rif. [2] U.O. Gallerie, doc. RS2S01D07F5GN0100001B “Galleria Calatabiano - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2018;
- Rif. [3] U.O. Gallerie, doc. RS2S01D07F5GN0200001B “Galleria Taormina - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2018;
- Rif. [4] U.O. Gallerie, doc. RS2S01D07F5GN0300001B “Galleria di Interconnessione - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2018;
- Rif. [5] U.O. Gallerie, doc. RS2S02D07F5GN0200001B “Galleria Taormina - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2018;
- Rif. [6] U.O. Gallerie, doc. RS2S02D07F5GN0400001B “Galleria Letojanni - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2018;
- Rif. [7] U.O. Gallerie, doc. RS2S0D07F5GN0500001B “Galleria Forza d'Agrò - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2018;
- Rif. [8] U.O. Gallerie, doc. RS2S02D07F5GN0600001B “Galleria Sciglio - Profilo geotecnico Tav 1 di 2” datato Gennaio 2018;
- Rif. [9] U.O. Gallerie, doc. RS2S02D07F5GN0600002B “Galleria Sciglio - Profilo geotecnico Tav 1 di 2” datato Gennaio 2018;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 7 di 65

- Rif. [10] U.O. Gallerie, doc. RS2S02D07F5GN0700001B “Gallerie Nizza e Ali - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2018;
- Rif. [11] U.O. Gallerie, doc. RS2S0D07F5GN0900001B “Galleria Quali - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2018;
- Rif. [12] U.O. Gallerie, doc. RS2S0D07F5GN1000001B “Galleria Scaletta - Profilo geotecnico” datato Gennaio 2018;
- Rif. [13] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, Elaborati Specialistici.

4.2 Documenti Correlati

- Rif. [14] AGI, “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”, 1977;
- Rif. [15] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- Rif. [16] 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. [17] Bernaud D., Rousset G. (1992). La « nouvelle méthode implicite » pour l’étude du dimensionnement des tunnels – Revue Francaise de Géotechnique, N° 60;
- Rif. [18] 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. [19] Burland J.B., Wroth C.P. (1974). Settlements of buildings and associated damage. SOA Review Conf. Settlement of Structures, Cambridge, Pentech Press, London;
- Rif. [20] Burland J.B. (1997). Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavation. Earthquake Geotechnical Engineering, Ishihara (ed.). Balkema, Rotterdam;
- Rif. [21] Boscarding M.D., Cording E.G. (1989). Building response to excavation-induced settlement. Jnl. Geo. Engrg. ASCE, 115;
- Rif. [22] Hoek E., Brown E.T. (1997), “Practical estimates of rock mass strength”, Intl. J. Rock Mech. & Geomechanics Abstracts, 1165-1186;
- Rif. [23] Hoek E., Carranza-Torres C., Cortkum B. (2002), “Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 Edition”;
- Rif. [24] Tamez E. (1984) “Estabilidad de tuneles excavados en suelos” - Mexican Engineering Academy;
- Rif. [25] Hoek E., Diederichs M. S. (2006), “Empirical Estimation of rock mass Modulus”, Intl. J. Rock Mech. & Mining Sciences 43 (2006), 203-215;
- Rif. [26] 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. [27] Terzaghi, K. & Peck, R.B. 1948. Soil Mechanics in Engineering Practice, 1st Edition, John Wiley and Sons, New York;
- Rif. [28] Marinos P. & Hoek E. 2001. Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as Flysch, Bull. Engg. Geol. 60, 85-92;
- Rif. [29] Atkinson, J. H. 2000. Non-linear soil stiffness in routine design. 40th Rankine Lecture Géotechnique, 50(5): 487-508;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampileri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 8 di 65

Rif. [30] Stokoe K.H. II, Santamarina J.C. 2000. Seismic-wave-based testing in geotechnical engineering, GEOENG 2000, Melbourne, Australia, 19-24 Nov., CD-Rom.

4.3 Documenti Superati

Non sono presenti documenti superati.

5 ALLEGATI

Il documento è corredato dai seguenti allegati:

All. [1] “Analisi con i metodi delle curve caratteristiche per le fasi di diagnosi e terapia”.

6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

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

Rif. [31] U.O. Gallerie, documento RS 2S02D07SPGN0000001B “Caratteristiche dei materiali – Note generali” datato Gennaio 2018;

Rif. [32] U.O. Gallerie, documento RS2S02D07BBGN0000008B “Gallerie di linea a singolo binario - Scavo tradizionale - Sezione tipo A1 - Carpenteria, scavo e consolidamenti” datato Gennaio 2018;

Rif. [33] U.O. Gallerie, documento RS2S02D07BBGN0000009B “Gallerie di linea a singolo binario - Scavo tradizionale - Sezione tipo A2 - Carpenteria, scavo e consolidamenti” datato Gennaio 2018;

Rif. [34] U.O. Gallerie, documento RS2S02D07BBGN0000010B “Gallerie di linea a singolo binario - Scavo tradizionale - Sezione tipo B1 - Carpenteria, scavo e consolidamenti” datato Gennaio 2018;

Rif. [35] U.O. Gallerie, documento RS2S02D07BBGN0000011B “Gallerie di linea a singolo binario - Scavo tradizionale - Sezione tipo B2 - Carpenteria, scavo e consolidamenti” datato Gennaio 2018;

Rif. [36] U.O. Gallerie, documento RS2S02D07BBGN0000012B “Gallerie di linea a singolo binario - Scavo tradizionale - Sezione tipo C2 - Carpenteria, scavo e consolidamenti” datato Gennaio 2018;

Rif. [37] U.O. Gallerie, documento RS2S02D07BBGN0000014B “Gallerie di linea a singolo binario - Scavo tradizionale - Sezione tipo C2v - Carpenteria, scavo e consolidamenti” datato Gennaio 2018.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampileri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 9 di 65

7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

7.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

La galleria Quali è lunga complessivamente 4187,58 m, di cui 28 m in artificiale. Fatta eccezione per un breve tratto iniziale in prossimità dell'imbocco lato Catania, è a doppia canna singolo binario. Nella tratta iniziale in corrispondenza dell'imbocco lato Catania è previsto un camerone lungo 199 m per gestire la transizione dalla configurazione a singola canna.

Di seguito sono elencate le progressive di riferimento dell'opera in progetto (binario pari):

- da pk 34+755,0 a pk 34+772,0 (L=17,0) galleria artificiale;
- da pk 34+772,0 a pk 34+970,7 (L=198,70 m) camerone di transizione;
- da pk 34+970,7 a pk 38+932,0 (L=3961,3m) galleria naturale;
- da pk 38+932,0 a pk 38+942,6 (L=10,6) galleria artificiale.

Procedendo in direzione Messina, l'andamento altimetrico risulta monopendente in discesa prima al 2‰ e poi al 4‰. Le coperture sono generalmente elevate, con valori massimi fino a 170 m.

In progetto è prevista un'ulteriore opera in sotterraneo a servizio dell'impianto di ventilazione per la sconnessione fumi del camerone all'imbocco lato Catania della Galleria Quali. Si tratta di un condotto che collega il camerone con una centrale di ventilazione esterna; è lungo circa 135 m e garantisce una superficie libera di circa 9,75 mq.

Per ulteriori dettagli sulla descrizione del tracciato e delle opere si rimanda alla "Relazione tecnica delle opere in sotterraneo" (Rif. [1]).

7.2 Interferenze lungo il tracciato

La gallerie presenta coperture elevate lungo l'intero tracciato e non si registrano interferenze.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampileri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 10 di 65

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 sottterraneo.

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

8.1 Inquadramento geologico

In questo paragrafo si descrivono le principali caratteristiche litologiche, stratigrafiche e strutturali delle formazioni attraversate dalla Galleria Quali in progetto. Per eventuali approfondimenti sullo studio geologico si rimanda agli specifici elaborati progettuali (da Rif. [14] a Rif. [26]).

La Galleria Quali è ubicato nel settore settentrionale della tratta in progetto e mostra una quota del piano ferro variabile tra i 26.5 e i 40.8 s.l.m.. Il tracciato interessa, nel settore Sud-occidentale, le metareniti e metaconglomerati del Verrucano peloritano di Alì (**VEP1**). Tali litotipi poggiano, attraverso un sovrascorrimento a basso angolo, sui calcari dolomitici delle Dolomie evaporitiche di Casello (**ALD**). Come descritto in precedenza, il contatto tettonico è marcato da una fascia cataclastica con spessore di alcune decine di metri, in corrispondenza della quale i litotipi del substrato carbonatico e metamorfico risultano completamente destrutturati e fortemente alterati. Il tracciato intercetta diverse formazioni dell'Unità tettonica di Alì, rappresentate dal Verrucano peloritano di Alì (**VEP1**) di origine metamorfica e dai calcari marnosi delle Dolomie evaporitiche di Casello (**ALD**) e Calcilutiti di Casello (**ACS**). Tali unità presentano complessi rapporti stratigrafico-strutturali e, infatti, sono messe a contatto da numerosi sovrascorrimenti e faglie dirette di varia estensione ed importanza. Nel settore Nord-orientale, grazie ad una faglia sub-verticale all'altezza del km 35+928, la galleria impegna per circa 1+700 m i le Metamorfiti di Alì (**MMF**), per poi passare nuovamente al Verrucano peloritano di Alì (**VEP1**). Tali litotipi sono variamente dislocati da numerose faglie dirette ad alto angolo e, in generale, costituiscono una estesa anticlinale coricata connessa al sovrascorrimento nella porzione centro-meridionale del tracciato.

Per eventuali approfondimenti sullo studio geologico si rimanda agli specifici elaborati progettuali (Rif. [13]).

8.2 Indagini geotecniche

Ai fini della caratterizzazione geotecnica delle formazioni interessate dalle opere all'aperto e in sottterraneo, sono stati utilizzati i dati provenienti dalle diverse campagne di indagini geognostiche, sia pregresse (2003; 2005; 2006; 2013-2014) che riferite all'attuale fase progettuale (2017).

L'ubicazione dei sondaggi è rappresentata sui profili geotecnici di progetto (da Rif. [2] a Rif. [12]); le relative stratigrafie ed i risultati delle prove eseguite sono allegati agli elaborati specialistici (Rif. [13]).

Nel corso del complesso *iter* progettuale sino ad oggi espletato, complessivamente nel Lotto 1 sono state eseguite le seguenti indagini in sito:

- n. 82 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo di cui n. 23 non attrezzati, n. 51 strumentati con piezometro e n. 8 attrezzati per sismica in foro;

- n. 163 prove penetrometriche dinamiche standard (SPT);
- n. 28 prove pressiometriche e n. 8 dilatometriche nei fori di sondaggio;
- n. 110 prove di permeabilità tipo Lefranc e Lugeon;
- n. 26 stendimenti sismici a rifrazione;
- n. 2 tomografie elettriche;
- n. 3 prove MASW;
- n. 2 stendimenti sismici MASW/Re.Mi.

Il numero totale dei campioni prelevati nel settore di intervento del Lotto 1 e sottoposti a prove di laboratorio è di 239, di cui 34 campioni indisturbati di terreno, 162 rimaneggiati e 43 campioni di roccia. Su tali campioni sono state compiute le seguenti prove:

- prove di taglio (TD);
- prove triassiali (CIU, CID, UU);
- prove di resistenza a compressione monoassiale;
- prove di carico puntuale (Point Load);
- misure della velocità sonora V_p e V_s .

Nel Lotto 2, invece, complessivamente sono state eseguite le seguenti indagini in sito:

- n. 127 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo di cui n. 8 non attrezzati, n. 103 strumentati con piezometro e n. 16 attrezzati per sismica in foro;
- n. 417 prove penetrometriche dinamiche standard (SPT);
- n. 38 prove pressiometriche e n. 31 dilatometriche nei fori di sondaggio;
- n. 199 prove di permeabilità tipo Lefranc e Lugeon;
- n. 50 stendimenti sismici a rifrazione;
- n. 3 tomografie elettriche;
- n. 4 prove MASW;
- n. 3 stendimenti sismici MASW/Re.Mi.

Il numero totale dei campioni prelevati nel settore di intervento del Lotto 2 e sottoposti a prove di laboratorio è di 267, di cui 24 campioni indisturbati di terreno, 187 rimaneggiati e 56 campioni di roccia. Su tali campioni sono state compiute le seguenti prove:

- prove di taglio (TD);
- prove triassiali (CIU, CID, UU);

- prove di resistenza a compressione monoassiale;
- prove di carico puntuale (Point Load);
- misure della velocità sonica V_p e V_s .

L'insieme delle indagini sopra elencate, riferite sia al Lotto 1 che al Lotto 2, sono risultate funzionali alla caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce coinvolti dalle opere in progetto e comuni ad entrambi i lotti.

8.3 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

La caratterizzazione geotecnica per la progettazione definitiva di opere in sotterraneo è finalizzata all'individuazione delle problematiche geotecniche che la natura e le caratteristiche dei terreni pongono nella definizione delle soluzioni progettuali, all'individuazione delle criticità associate alle condizioni idrauliche del sottosuolo, all'esame delle condizioni di stabilità generale dell'area, prima e dopo la realizzazione delle opere in progetto.

L'analisi e l'interpretazione di tutti i dati e le informazioni ad oggi disponibili, sia in riferimento al Lotto 1 che al Lotto 2, hanno portato ad individuare formazioni assimilabili dal punto di vista geotecnico, nel seguito definite "Unità geotecniche". Tali unità sono riportate in Tabella 1 con riferimento al tratto di interesse della Galleria Quali del Lotto 2 (in parentesi sono riportate le formazioni afferenti il Lotto 1 relative alla medesima unità geotecnica).

Il modello geotecnico del sottosuolo, sintesi della fase di caratterizzazione, è illustrato nelle tavole dei profili geotecnici (da Rif. [2] a Rif. [12]).

Tabella 1 – Unità geotecniche - Galleria Quali – Lotto 2
(in parentesi sono riportate le formazioni afferenti il Lotto 1)

Unità geotecnica	Descrizione
FDN/GLD/TAM/MMF	Argilloscisti/Filladi
VEP1/VEP2	Metareniti/arenarie
ACS/(MED)/(RSA)/(MAI)	Calcari marnosi
ALD/DOA/GCM	Calcari/dolomie

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 13 di 65

8.3.1 FDN/GLD/TAM/MMF – Argilloscisti/Filladi

L'unità geotecnica degli argilloscisti/filladi "FDN/GLD/TAM/MMF" raggruppa le filladi dei Metamorfiti di Mandanici (FDN), gli argilloscisti degli Epimetamorfiti del Vallone Letojanni (GLD), gli argilloscisti degli Epimetamorfiti di Longi-Taormina (TAM) e le metareniti e metasiltiti dei Metamorfiti di Alì (MMF).

Tali formazioni sono caratterizzate da struttura scistosa con presenza di lenti e livelli di quarzo (Figura 1), e generalmente risultano molto alterate nella porzione superficiale a causa delle azioni meccaniche indotte dalla tettonica.



Figura 1 – Sondaggio S15D, dettaglio della microstruttura scistosa con quarzo

8.3.1.1 Caratteristiche fisiche

Ai fini di individuare le componenti granulometriche dell'unità per il possibile riutilizzo dei materiali di smarino delle gallerie in progetto, si riportano le analisi granulometriche condotte sui campioni prelevati, le quali mostrano una prevalenza di sabbia (45%) e ghiaia (28%), (Figura 2), con un contributo inferiore di limo (21%) ed argilla (5%) (Figura 2).

Tale materiale, oltre ad essere caratterizzato dalla medesima composizione petrografica di quella della zona costiera di Sant'Alessio Siculo, come riportato in Relazione Geologica (Rif. [13]) in riferimento allo studio meteorologico-idraulico condotto, presenta un'alta percentuale di componente sabbiosa-ghiaiosa che lo rende potenzialmente compatibile con l'eventuale ripascimento del litorale costiero.

In Figura 3 è riportato, il peso di volume del materiale.

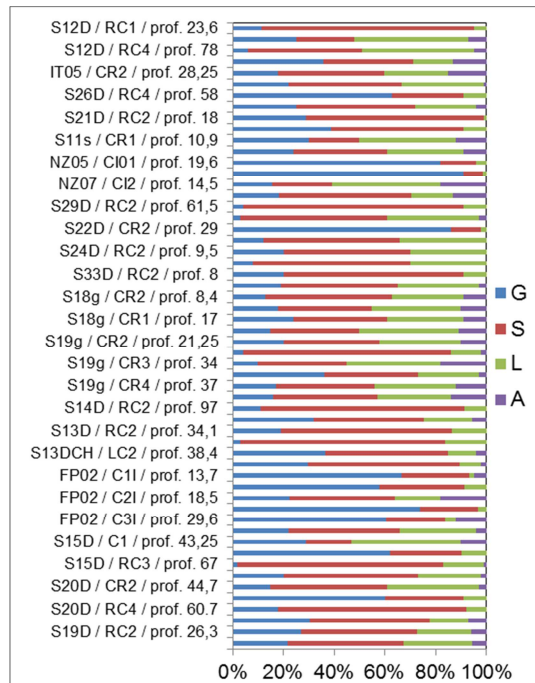


Figura 2 - FDN/GLD/TAM/MMF: analisi granulometrica

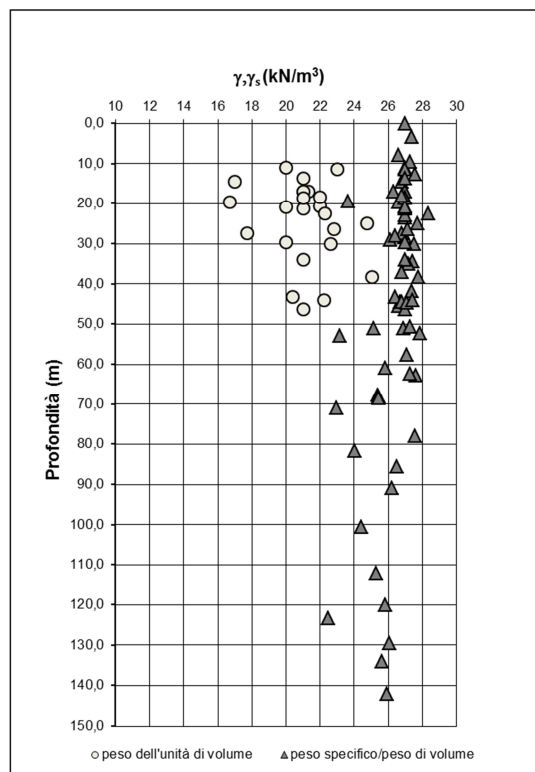


Figura 3 - Formazione FDN/GLD/TAM/MMF: peso di volume γ

8.3.1.2 Caratteristiche meccaniche

Per la caratterizzazione di tale unità geotecnicamente omogenea i parametri meccanici sono stati ricavati da un esame complessivo di tutte le prove in sito e in laboratorio disponibili.

Riguardo le prove di laboratorio su campioni litoidi, si hanno a disposizione prove di compressione monoassiale, prove di velocità ultrasonica e *point load test*, i cui risultati sono riportati in Figura 4. In rosso, sono evidenziati gli intervalli di valori di riferimento scelti per la caratterizzazione geotecnica.

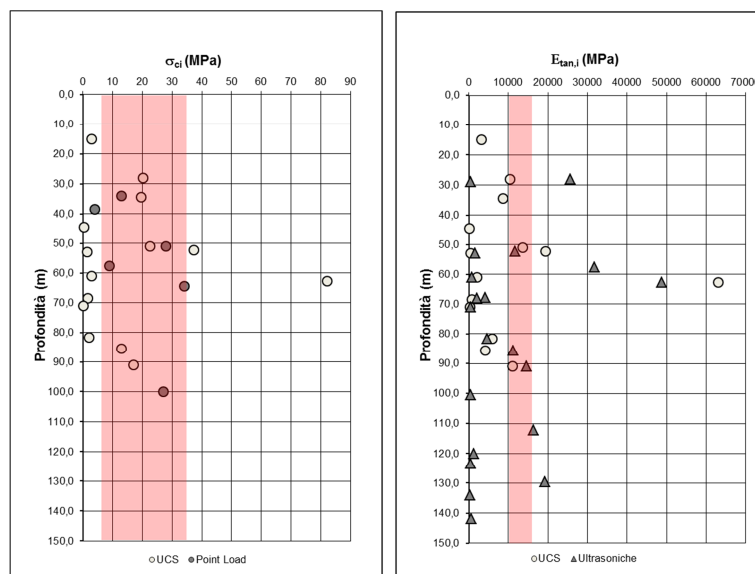


Figura 4 - Formazione FDN/GLD/TAM/MMF: σ_{ci} e $E_{tan,i}$ della matrice

Le caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso sono state espresse attraverso il criterio generalizzato proposto da Hoek e Brown (1988), assegnando l'indice m_i in funzione del materiale ed il fattore di disturbo D in relazione alle metodologie realizzative dell'opera e alla natura dell'ammasso.

Il criterio di resistenza dell'ammasso è dato dall'espressione seguente:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a$$

dove:

- σ'_1 tensione principale efficace maggiore a rottura;
- σ'_3 tensione principale efficace minore a rottura;
- σ_c resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.

Al fine di definire le caratteristiche geomeccaniche e il relativo stato di fratturazione di tale unità, sono stati analizzati i risultati di numerosi rilievi geostrutturali appositamente condotti in tutto il settore di intervento.

Tutti i dati raccolti hanno così permesso di caratterizzare l'ammasso investigato nella tratta di interesse della Galleria Quali e di definire due *ranges* di variazione del Geological Strength Index (GSI) in funzione della progressiva chilometrica, nell'intervallo 10 ÷ 20 il primo, e nell'intervallo 30 ÷ 45 il secondo, con i quali è stato

inoltre possibile valutare la rigidezza d'ammasso a partire da quella della roccia intatta mediante metodi empirici noti in letteratura (Rif. [25]).

Prove di taglio diretto e triassiali sono state eseguite sui campioni a disposizione, i cui risultati in termini di coesione efficace ed angolo d'attrito sono riportati in Figura 5. Tali valori sono da riferirsi alla frazione alterata dalla tettonica e sono stati considerati, come estremo limite inferiore, nella definizione della resistenza attritiva d'ammasso.

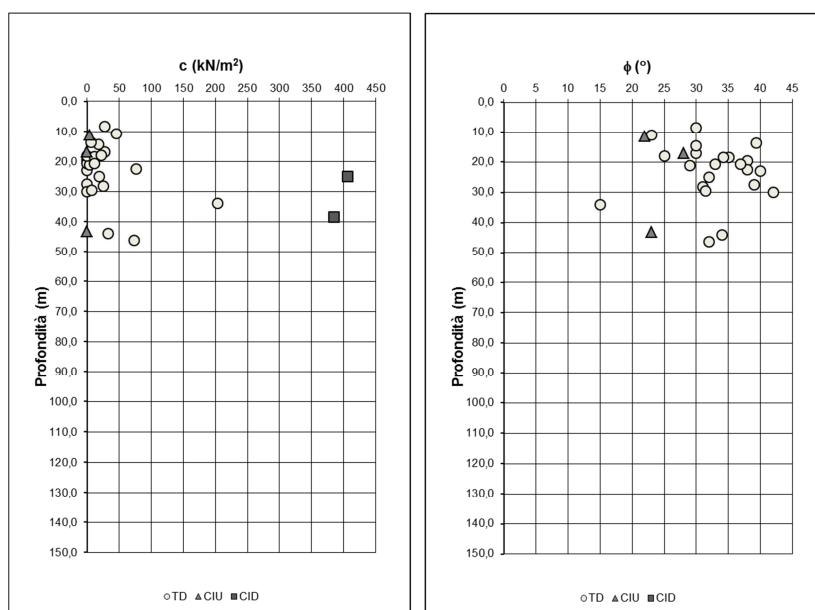


Figura 5 – Formazione FDN/GLD/TAM/MMF: coesione drenata ed angolo di attrito

Inoltre, per quanto concerne le caratteristiche di rigidezza dell'ammasso, sono state condotte prove pressiometriche e dilatometriche, oltre alle indagini geofisiche in foro ed in superficie.

Nel grafico che segue sono riportati i moduli di rigidezza ricavati dalle prove pressiometriche e dilatometriche nei fori di sondaggio T1÷T5, S12D÷S14D, S19D÷S22D, S26D, S28D, S29D, S31D, S33D, S34D, NS11, NS14, sia in riferimento alla fase di carico (E_m ed E_d rispettivamente) che ai cicli di carico-scarico (E_y).

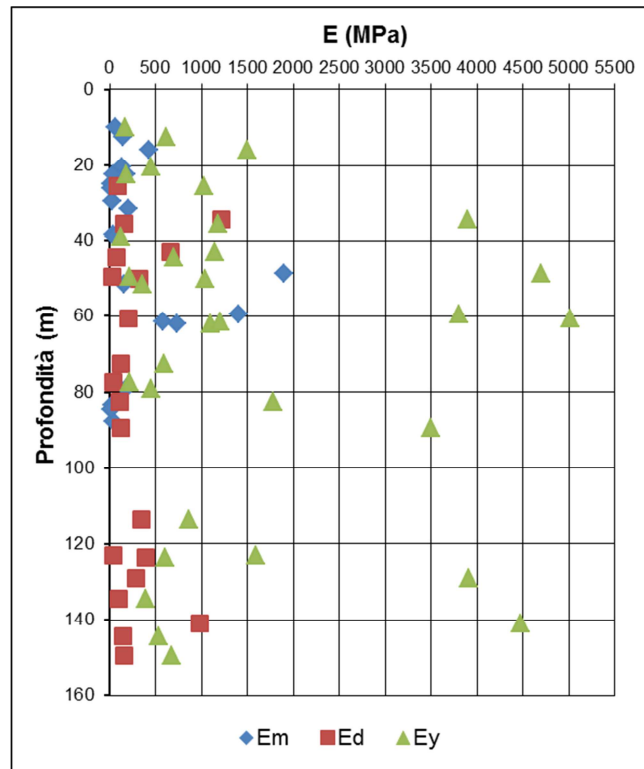


Figura 6 - Formazione FDN/GLD/TAM/MMF: moduli pressiometrici e dilatometrici

I moduli di rigidezza derivati dall'interpretazione delle prospezioni geofisiche sono stati ottenuti a partire dai moduli a piccole deformazioni E_0 , assumendo un rapporto E/E_0 pari a 0,15 in considerazione delle deformazioni di taglio attese per l'opera in progetto (Rif. [29]). Tali moduli sono quindi riportati nel grafico che segue sia in riferimento alla prova *cross-hole* S13D che alle prove *down-hole* FP02-SN02-SN04-IT04 ed alla sismica tomografica n.29 (solo la parte evidenziata in rosso è relativa alle formazioni in oggetto, come da profilo stratigrafico).

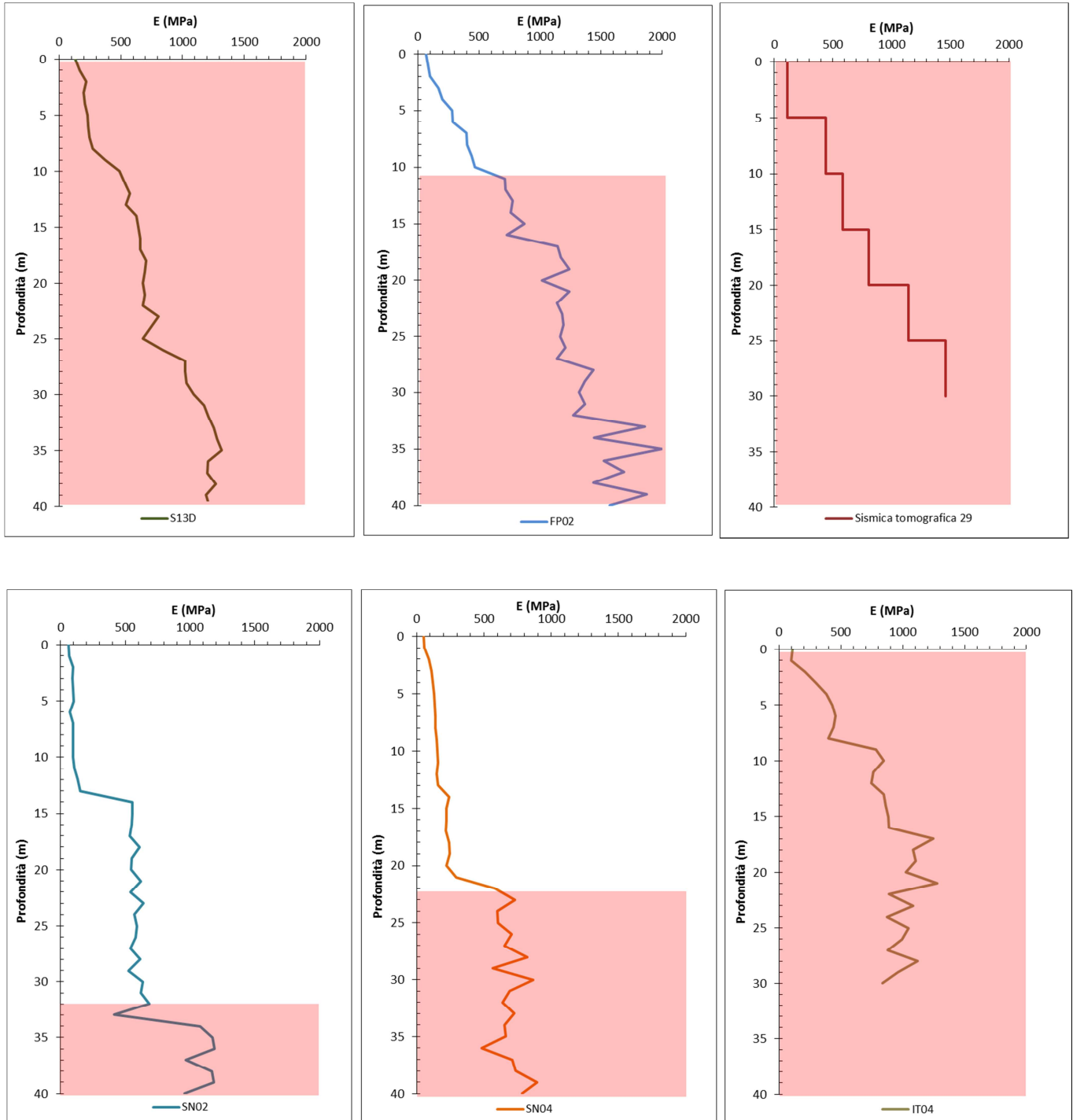


Figura 7 - Formazione FDN/GLD/TAM/MMF: moduli elastici stimati dall'interpretazione delle indagini geofisiche

Le risultanze delle indagini in foro ed in laboratorio sono state opportunamente valutate tenendo in considerazione le differenti tipologie di prove condotte, i differenti volumi di materiale coinvolti ed il corrispondente effetto scala

sulla definizione del modulo di rigidità della formazione. Tali moduli sono quindi stati confrontati con i valori dei moduli desunti dalle indagini geofisiche per definire gli intervalli dei moduli operativi di rigidità.

Inoltre, le velocità di propagazione delle onde di taglio $V_{s,sito}$ ottenute dalle indagini sismiche in sito sono state confrontate con le $V_{s,lab}$ ricavate dai provini di laboratorio mediante prove ultrasoniche. Tale confronto è stato utile per comprendere il grado di disturbo e, quindi, la qualità dei campioni prelevati, in modo da poter interpretare al meglio anche i dati ricavati dalle corrispondenti prove a compressione monoassiale condotte sui provini a disposizione.

Generalmente in roccia il rapporto tra $V_{s,lab}$ e $V_{s,sito}$ risulta maggiore di 0,9-1,0 (Rif. [30]), mentre un congruo numero di prove di laboratorio (evidenziato in rosso in figura Figura 8) ha evidenziato valori di gran lunga inferiori.

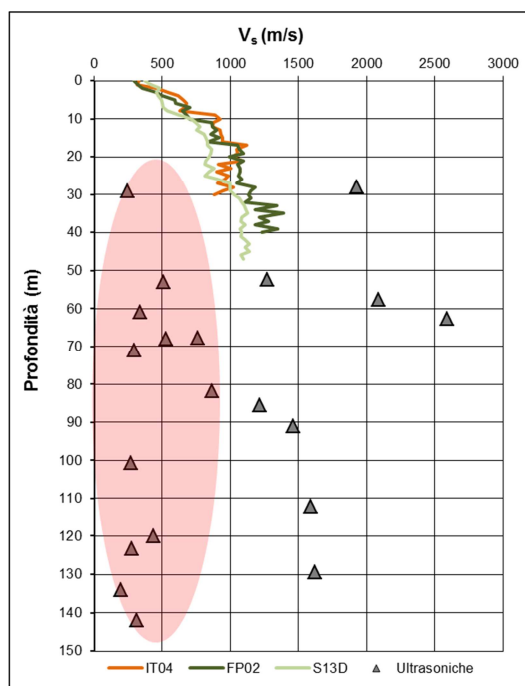


Figura 8 - Formazione FDN/GLD/TAM/MMF: confronto tra $V_{s,sito}$ e $V_{s,lab}$

È nota, difatti, la difficoltà di campionamento dei materiali scistosi i quali risultano generalmente troppo resistenti per adottare campionatori con fustella. Allo stesso tempo, se semplicemente carotati, manifestano un immediato detensionamento della microstruttura scistosa a seguito dell'estrazione della carota. Tale allentamento della tessitura, insieme all'eventuale presenza di inclusi e lenti di quarzo, può influenzare fortemente i risultati delle prove condotte in laboratorio (Figura 9).



Figura 9 - Formazione FDN/GLD/TAM/MMF: prova triassale – dettaglio della tessitura scistosa a seguito della rottura del provino S13DCH-LC2

Dal confronto, quindi, tra $V_{s,sito}$ e $V_{s,lab}$ sono stati individuati i campioni di laboratorio caratterizzati dal minor disturbo di campionamento, ai fini dell'interpretazione delle prove di laboratorio per la scelta dei *ranges* dei parametri geotecnici.

8.3.1.3 Riepilogo dei parametri geotecnici

Per l'unità geotecnica "FDN/GLD/TAM/MMF" gli intervalli dei parametri geotecnici definiti per la verifica delle opere afferenti la galleria Quali sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 2 - Galleria Quali – Riepilogo parametri geotecnici - FDN/GLD/TAM/(MMF)

Unità geotecnica	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	E_i (MPa)	σ_{cm} (MPa)	E (MPa)
FDN/GLD/TAM/MMF	24-28	15-35	10-20	10	10000-15000	0,6-2,2	260-520
			30-45				550-2150

8.3.2 VEP1/VEP2 – Metareniti/arenarie

L'unità delle metareniti/arenarie "VEP1/VEP2" raggruppa l'alternanza di metareniti e metasiltiti del Verrucano peloritano di Alì (VEP1) e l'alternanza di arenarie e siltiti del Verrucano peloritano di Taormina (VEP2). L'unità risulta spesso molto alterata nella porzione superficiale a causa delle azioni meccaniche indotte dalla tettonica (Figura 10).



Figura 10 – Sondaggio S35D, cassetta da 55 a 60 m dal p.c.

8.3.2.1 Caratteristiche fisiche

In Figura 11 è riportato il peso di volume del materiale.

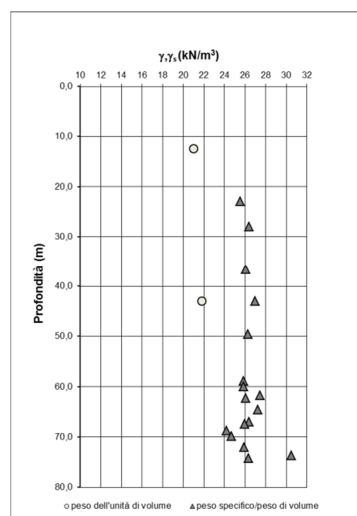


Figura 11 – Formazione VEP1/VEP2: peso di volume γ

8.3.2.2 Caratteristiche meccaniche

Per la caratterizzazione di tale unità geotecnicamente omogenea i parametri meccanici sono stati ricavati da un esame complessivo di tutte le prove in sito e in laboratorio disponibili.

Riguardo le prove di laboratorio su campioni litoidi, si hanno a disposizione prove di compressione monoassiale e prove di velocità ultrasonica e *point load test*, i cui risultati sono riportati in Figura 12. In rosso, sono evidenziati gli intervalli di valori di riferimento scelti per la caratterizzazione geotecnica.

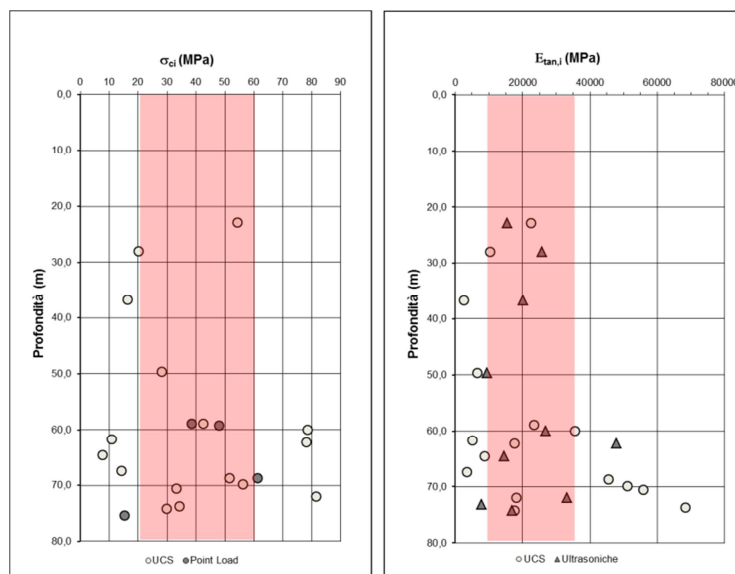


Figura 12 - Formazione VEP1/VEP2: σ_{ci} e $E_{tan,i}$ della matrice

Le caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso sono state espresse attraverso il criterio generalizzato proposto da Hoek e Brown (1988), assegnando l'indice m_i in funzione del materiale ed il fattore di disturbo D in relazione alle metodologie realizzative dell'opera e alla natura dell'ammasso.

Il criterio di resistenza dell'ammasso è dato dall'espressione seguente:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a$$

dove:

- σ'_1 tensione principale efficace maggiore a rottura;
- σ'_3 tensione principale efficace minore a rottura;
- σ_c resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.

Al fine di definire le caratteristiche geomeccaniche e il relativo stato di fratturazione di tale unità, sono stati analizzati i risultati di numerosi rilievi geostrutturali appositamente condotti in tutto il settore di intervento.

Tutti i dati raccolti hanno così permesso di caratterizzare l'ammasso investigato nella tratta di interesse della Galleria Quali e di definire due *ranges* di variazione del Geological Strength Index (GSI) in funzione della progressiva chilometrica, il primo nell'intervallo $20 \div 35$ ed il secondo nell'intervallo $35 \div 50$ con il quale è stato

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 23 di 65

inoltre possibile valutare la rigidezza d'ammasso a partire da quella della roccia intatta mediante metodi empirici noti in letteratura (Rif. [25]).

Inoltre, per quanto concerne le caratteristiche di rigidezza dell'ammasso, sono state condotte prove pressiometriche e dilatometriche, oltre alle indagini geofisiche in superficie.

Nel grafico che segue sono riportati i moduli di rigidezza ricavati dalle prove pressiometriche e dilatometriche nei fori di sondaggio S27D ed S33D, sia in riferimento alla fase di carico (E_m ed E_d rispettivamente) che ai cicli di carico-scarico (E_y).

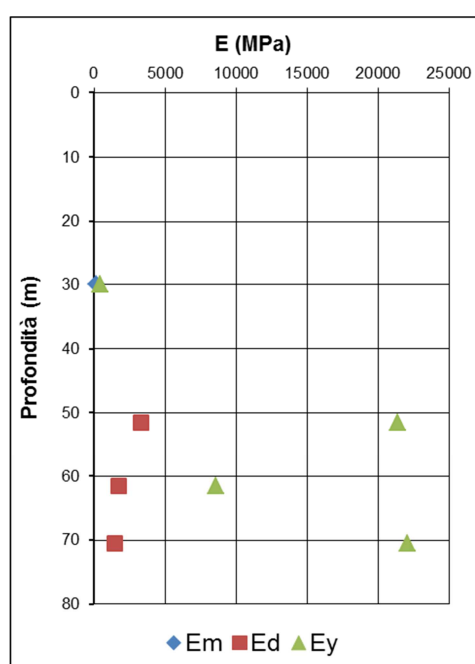


Figura 13 - Formazione VEP1/VEP2: moduli pressiometrici e dilatometrici

I moduli di rigidezza derivati dall'interpretazione delle prospezioni geofisiche sono stati ottenuti a partire dai moduli a piccole deformazioni E_0 , assumendo un rapporto E/E_0 pari a 0,15 in considerazione delle deformazioni di taglio attese per l'opera in progetto (Rif. [29]). Tali moduli sono quindi riportati nel grafico che segue in riferimento alle sismiche tomografiche n.46 e n.47.

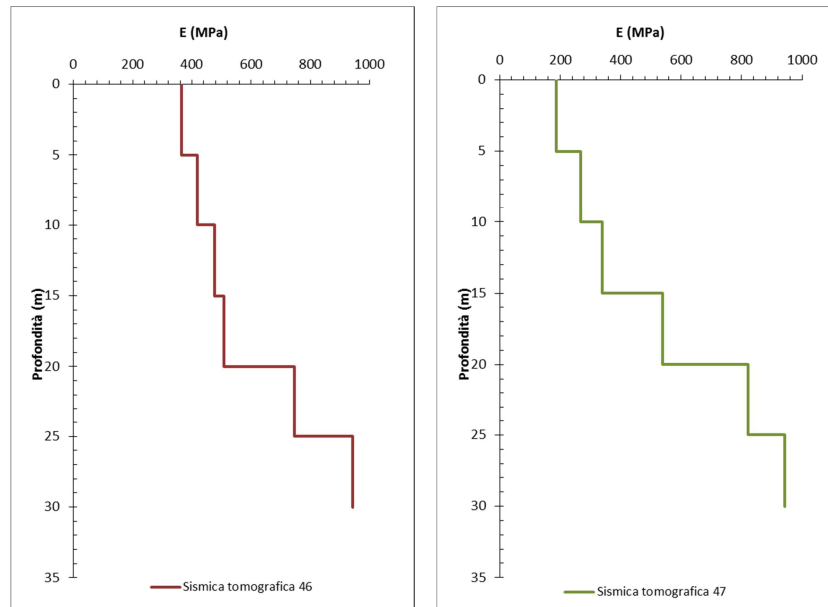


Figura 14 – Formazione VEP1/VEP2: moduli elastici stimati dall’interpretazione delle indagini geofisiche

Le risultanze delle indagini in foro ed in laboratorio sono state opportunamente valutate tenendo in considerazione le differenti tipologie di prove condotte, i differenti volumi di materiale coinvolti ed il corrispondente effetto scala sulla definizione del modulo di rigidità della formazione. Tali moduli sono quindi stati confrontati con i valori dei moduli desunti dalle indagini geofisiche per definire gli intervalli dei moduli operativi di rigidità.

8.3.2.3 Riepilogo dei parametri geotecnici

Per l’unità geotecnica “VEP1/VEP2” gli intervalli dei parametri geotecnici definiti per la verifica delle opere afferenti la galleria Quali sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 3 - Galleria Quali – Riepilogo parametri geotecnici - VEP1/VEP2

Unità geotecnica	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	E_i (MPa)	σ_{cm} (MPa)	E (MPa)
VEP1/VEP2	26-28	20-60	20-35	17	10000-35000	0,8-4,4	250-1400
			35-50			1,5-7,3	400-3200

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 25 di 65

8.3.3 ACS/(MED)/(RSA)/(MAI)– *Calcarei marnosi*

L'unità dei calcari marnosi "ACS/(MED)/(RSA)/(MAI)" raggruppa i calcari alternati a marne dei Calcilutiti di Casello (ACS), del Medolo (MED), del Rosso Ammonitico (RSA) e della Maiolica (MAI) (Figura 15).



Figura 15 – Sondaggio S15bisg, cassetta da 10 a 15 m dal p.c.

8.3.3.1 Caratteristiche fisiche

In Figura 16 è riportato il peso di volume del materiale.

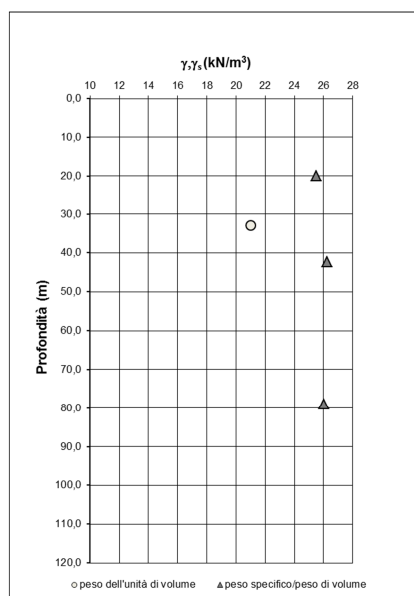


Figura 16 – Formazione (ACS)/MED/RSA/MAI: peso di volume γ

8.3.3.2 Caratteristiche meccaniche

Per la caratterizzazione di tale unità geotecnicamente omogenea i parametri meccanici sono stati ricavati da un esame complessivo di tutte le prove in sito e in laboratorio disponibili.

Riguardo le prove di laboratorio su campioni litoidi, si hanno a disposizione prove di compressione monoassiale e prove di velocità ultrasonica, i cui risultati sono riportati in Figura 17. In rosso, sono evidenziati gli intervalli di valori di riferimento scelti per la caratterizzazione geotecnica.

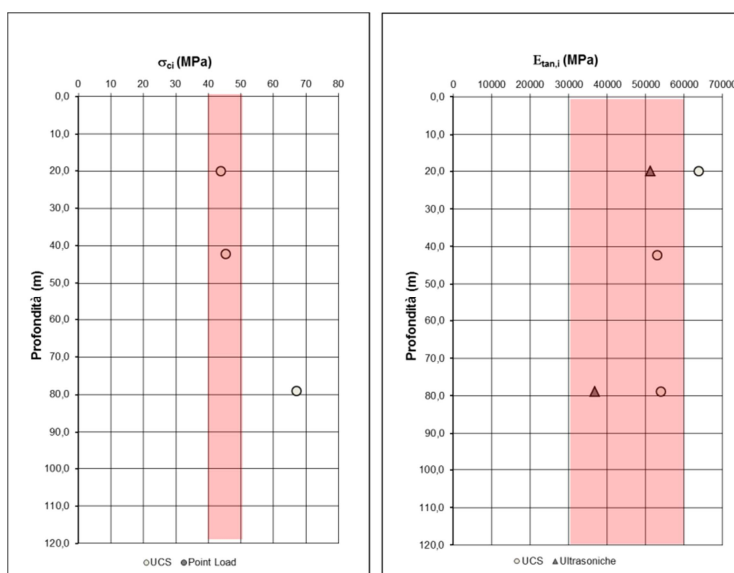


Figura 17 - Formazione ACS/(MED)/(RSA)/(MAI): σ_{ci} e $E_{tan,i}$ della matrice

Le caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso sono state espresse attraverso il criterio generalizzato proposto da Hoek e Brown (1988), assegnando l'indice m_i in funzione del materiale ed il fattore di disturbo D in relazione alle metodologie realizzative dell'opera e alla natura dell'ammasso.

Il criterio di resistenza dell'ammasso è dato dall'espressione seguente:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a$$

dove:

- σ'_1 tensione principale efficace maggiore a rottura;
- σ'_3 tensione principale efficace minore a rottura;
- σ_c resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.

Al fine di definire le caratteristiche geomeccaniche e il relativo stato di fratturazione di tale unità, sono stati analizzati i risultati di numerosi rilievi geostrutturali appositamente condotti in tutto il settore di intervento.

Tutti i dati raccolti hanno così permesso di caratterizzare l'ammasso investigato nella tratta di interesse della Galleria Quali e di definire un *range* di variazione del Geological Strength Index (GSI) in funzione della

progressiva chilometrica, nell'intervallo 20 ÷ 35, con il quale è stato inoltre possibile valutare la rigidezza d'ammasso a partire da quella della roccia intatta mediante metodi empirici noti in letteratura (Rif. [25]).

Inoltre, per quanto concerne le caratteristiche di rigidezza dell'ammasso, sono state condotte indagini geofisiche in superficie. I moduli di rigidezza derivati dall'interpretazione delle prospezioni geofisiche sono stati ottenuti a partire dai moduli a piccole deformazioni E_0 , assumendo un rapporto E/E_0 pari a 0,15 in considerazione delle deformazioni di taglio attese per l'opera in progetto (Rif. [29]). Tali moduli sono quindi riportati nei grafici che seguono in riferimento alle sismiche tomografiche n.14 e n.15 (solo le parti evidenziate in rosso sono relative alle formazioni in oggetto, come da profilo stratigrafico).

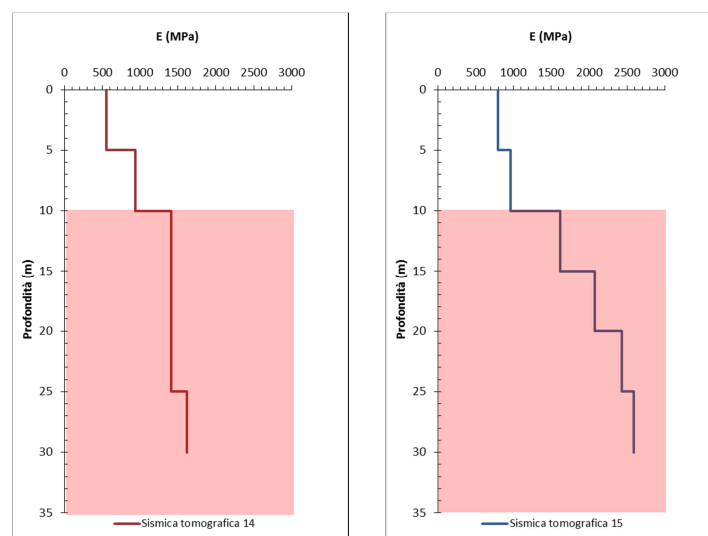


Figura 18 - Formazione ACS/(MED)/(RSA)/(MAI): moduli elastici stimati dall'interpretazione delle indagini geofisiche

Le risultanze delle indagini in foro ed in laboratorio sono state opportunamente valutate tenendo in considerazione le differenti tipologie di prove condotte, i differenti volumi di materiale coinvolti ed il corrispondente effetto scala sulla definizione del modulo di rigidezza della formazione. Tali moduli sono quindi stati confrontati con i valori dei moduli desunti dalle indagini geofisiche per definire gli intervalli dei moduli operativi di rigidezza.

8.3.3.3 Riepilogo dei parametri geotecnici

Per l'unità geotecnica "ACS/(MED)/(RSA)/(MAI)" gli intervalli dei parametri geotecnici definiti per la verifica delle opere afferenti la galleria Quali sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 4 - Galleria Quali – Riepilogo parametri geotecnici - ACS/(MED)/(RSA)/(MAI)

Unità geotecnica	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	E_i (MPa)	σ_{cm} (MPa)	E (MPa)
ACS/(MED)/(RSA)/(MAI)	25-27	20-35	20-35	9	30000-60000	1,4-2,6	760-2400

8.3.4 ALD/DOA/GCM – Calcari/dolomie

L'unità dei calcari/dolomie "ALD/DOA/GCM " raggruppa l'alternanza di dolomie e calcari delle Dolomie evaporitiche di Casello (ALD), i Calcari e dolomie di Taormina (DOA) ed i Calcari di Mazzarò (GCM) (Figura 19).



Figura 19 – Sondaggio S27D, cassetta da 25 a 30 m dal p.c.

8.3.4.1 Caratteristiche fisiche

In Figura 20 è riportato il peso di volume del materiale.

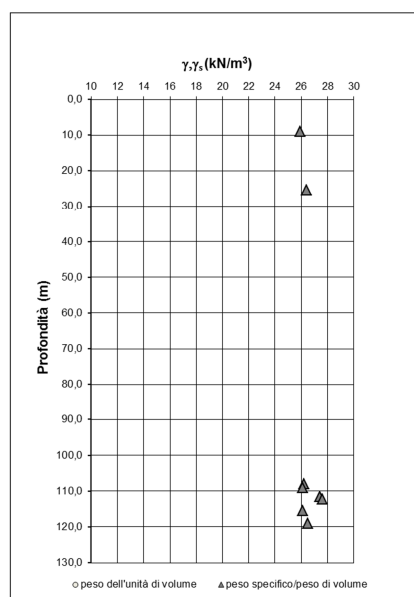


Figura 20 – Formazione ALD/DOA/GCM : peso di volume γ

8.3.4.2 Caratteristiche meccaniche

Per la caratterizzazione di tale unità geotecnicamente omogenea i parametri meccanici sono stati ricavati da un esame complessivo di tutte le prove in sito e in laboratorio disponibili.

Riguardo le prove di laboratorio su campioni litoidi, si hanno a disposizione prove di compressione monoassiale e prove di velocità ultrasonica, i cui risultati sono riportati in Figura 21. In rosso, sono evidenziati gli intervalli di valori di riferimento scelti per la caratterizzazione geotecnica.

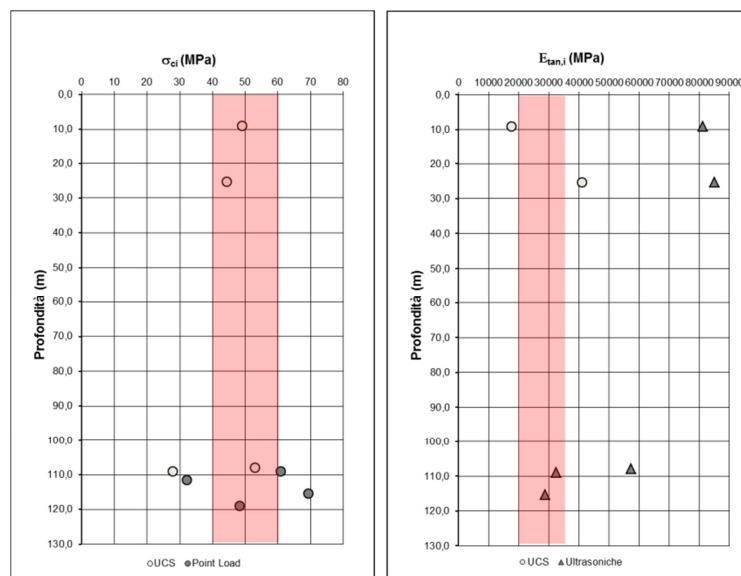


Figura 21 - Formazione ALD/DOA/GCM : σ_{ci} e $E_{tan,i}$ della matrice

Le caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso sono state espresse attraverso il criterio generalizzato proposto da Hoek e Brown (1988), assegnando l'indice m_i in funzione del materiale ed il fattore di disturbo D in relazione alle metodologie realizzative dell'opera e alla natura dell'ammasso.

Il criterio di resistenza dell'ammasso è dato dall'espressione seguente:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a$$

dove:

- σ'_1 tensione principale efficace maggiore a rottura;
- σ'_3 tensione principale efficace minore a rottura;
- σ_c resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.

Al fine di definire le caratteristiche geomeccaniche e il relativo stato di fratturazione di tale unità, sono stati analizzati i risultati di numerosi rilievi geostrutturali appositamente condotti in tutto il settore di intervento.

Tutti i dati raccolti hanno così permesso di caratterizzare l'ammasso investigato nella tratta di interesse della Galleria Taormina e di definire un *range* di variazione del Geological Strength Index (GSI) in funzione della

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 30 di 65

progressiva chilometrica, nell'intervallo 10 ÷ 25, con il quale è stato inoltre possibile valutare la rigidezza d'ammasso a partire da quella della roccia intatta mediante metodi empirici noti in letteratura (Rif. [25]).

Inoltre, per quanto concerne le caratteristiche di rigidezza dell'ammasso, sono state condotte prove pressiometriche, oltre alle indagini geofisiche in superficie.

Dalla prova pressiometrica T7 a 99 e 105 m dal p.c., sono stati ricavati moduli di rigidezza in riferimento alla fase di carico (E_m) pari a 43 e 106 MPa, il cui valore, molto basso, può essere correlato in parte al forte grado di alterazione e fratturazione del tratto indagato ma probabilmente, anche al metodo di indagine non adatto al materiale litoide.

I moduli di rigidezza derivati dall'interpretazione delle prospezioni geofisiche sono stati ottenuti a partire dai moduli a piccole deformazioni E_0 , assumendo un rapporto E/E_0 pari a 0,15 in considerazione delle deformazioni di taglio attese per l'opera in progetto (Rif. [29]). Tali moduli sono quindi riportati nel grafico che segue in riferimento alla sismica tomografica n.38 (solo le parti evidenziate in rosso sono relative alle formazioni in oggetto, come da profilo stratigrafico).

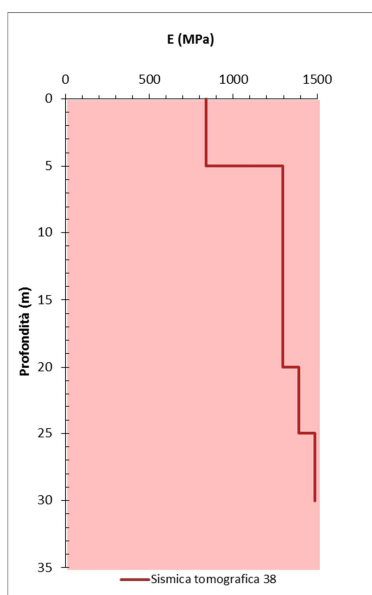


Figura 22 – Formazione (ALD)//DOA/GCM: moduli elastici stimati dall'interpretazione delle indagini geofisiche

Le risultanze delle indagini in foro ed in laboratorio sono state opportunamente valutate tenendo in considerazione le differenti tipologie di prove condotte, i differenti volumi di materiale coinvolti ed il corrispondente effetto scala sulla definizione del modulo di rigidezza della formazione. Tali moduli sono quindi stati confrontati con i valori dei moduli desunti dalle indagini geofisiche per definire gli intervalli dei moduli operativi di rigidezza.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 31 di 65

8.3.4.3 Riepilogo dei parametri geotecnici

Per l'unità geotecnica "ALD/DOA/GCM" gli intervalli dei parametri geotecnici definiti per la verifica delle opere afferenti la galleria Quali sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 5 - Galleria Quali – Riepilogo parametri geotecnici - ALD/DOA/GCM

Unità geotecnica	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	E_i (MPa)	σ_{cm} (MPa)	E (MPa)
ALD/DOA/GCM	26-28	40-60	10-25	12	20000-35000	1,7-4,9	520-1500

8.3.5 *Definizione degli intervalli dei parametri geotecnici delle unità interessate dalle opere*

Di seguito si riportano gli intervalli dei principali parametri fisico-meccanici delle unità interessate dalle opere afferenti le Gallerie Quali.

Tabella 6 - Galleria Quali – Riepilogo parametri geotecnici

Unità geotecnica	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	GSI	m_i	E_i (MPa)	c (KPa)	ϕ (°)	σ_{cm} (MPa)	E (MPa)
VEP1/VEP2	26-28	20-60	20-35	17	10000-35000	-	-	0,8-4,4	250-1400
			35-50			-	-	1,5-7,3	400-3200
FDN/GLD/TAM/MMF	24-28	15-35	10-20	10	10000-15000	-	-	0,6-2,2	260-520
			30-45			-	-	1,3-4,6	550-2150
ACS/(MED)/(RSA)/(MAI)	25-27	20-35	20-35	9	30000-60000	-	-	1,4-2,6	760-2400
ALD/DOA/GCM	26-28	40-60	10-25	12	20000-35000	-	-	1,7-4,9	520-1500

8.3.6 *Il regime idraulico*

L'approfondimento idrogeologico realizzato per il presente studio ha consentito di definire le principali caratteristiche dell'area e lo schema di deflusso idrico sotterraneo relativo all'opera in progetto. Il modello idrogeologico così sviluppato è stato quindi integrato, ove possibile, con ulteriori dati provenienti dal monitoraggio piezometrico delle strumentazioni appositamente installate nei fori di sondaggio e dalle numerose prove di permeabilità condotte in fase di perforazione.

Nei settori relativi all'opera sono stati individuati i seguenti complessi idrogeologici, distinti sulla base delle differenti caratteristiche di permeabilità e del tipo di circolazione idrica che li caratterizza.

8.3.6.1 Complesso metamorfico (FDN, VEP1).

Costituiscono acquiferi fessurati di scarsa trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche di scarsa rilevanza, generalmente discontinue e frazionate, contenute nelle porzioni più alterate e fessurate

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 32 di 65

dell'ammasso. La permeabilità, principalmente per fessurazione, è generalmente bassa. A tale complesso si può quindi attribuire un coefficiente di permeabilità k variabile tra $1 \cdot 10^{-8}$ e $1 \cdot 10^{-6}$ m/s.

8.3.6.2 Complesso conglomeratico-ghiaioso (LLM).

Costituiscono acquiferi misti di discreta trasmissività, piuttosto eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche di modesta rilevanza, sia frazionate che a deflusso unitario. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è generalmente alta. A tale complesso si può attribuire, quindi, un coefficiente di permeabilità k variabile tra $1 \cdot 10^{-5}$ e $1 \cdot 10^{-4}$ m/s.

8.3.6.3 Complesso detritico-colluviale (b2).

Costituiscono acquiferi porosi di scarsa trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono privi di corpi idrici sotterranei di importanza significativa, a meno di piccole falde a carattere stagionale. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è generalmente alta. Al complesso in questione si può attribuire, quindi, un coefficiente di permeabilità k variabile tra $1 \cdot 10^{-5}$ e $1 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Per l'andamento della quota di falda si rimanda al "Profilo geotecnico - Galleria Quali" (Rif. [11]) e alla "Relazione geologica ed idrogeologica" (Rif. [13]).

8.3.7 *Lo stato tensionale in situ*

Come noto, lo stato tensionale in un qualunque punto di un terreno o roccia dipende dal peso proprio del materiale, dalla sua storia tensionale, dalla posizione della falda e dai carichi esterni.

Nelle analisi riportate nei successivi paragrafi sono indicati i valori del coefficiente di spinta a riposo assunti per ogni unità geotecnicamente omogenea.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 33 di 65

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. [15]), 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. [15]) 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.

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 tensionali 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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 34 di 65

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 il metodo delle linee caratteristiche.

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

9.2.1 Analisi con il metodo delle linee caratteristiche

9.2.1.1 Metodo di analisi

Il metodo delle linee caratteristiche (o convergenza-confinamento) è un metodo di calcolo che consente l'analisi 3D semplificata dello scavo di gallerie in relazione alle proprietà meccaniche dell'ammasso attraversato, alle caratteristiche geometriche dell'opera, agli interventi previsti di precontenimento e contenimento, e all'installazione dei rivestimenti provvisori e definitivi.

Il comportamento delle strutture di rivestimento e dell'ammasso vengono studiati separatamente: la curva caratteristica del cavo (o curva di convergenza) rappresenta l'evoluzione della convergenza radiale del cavo al diminuire della tensione radiale agente sul contorno del profilo di scavo, espressa in funzione del tasso di deconfinamento λ con cui viene simulato l'effetto dello scavo in avanzamento; la curva caratteristica dei sostegni (o curva di confinamento) rappresenta l'evoluzione della loro convergenza radiale al crescere della pressione radiale agente sugli stessi. L'intersezione tra la curva di convergenza e la curva di confinamento individua il punto di equilibrio rappresentativo dello stato finale della galleria rivestita.

Le ipotesi alla base del metodo sono le seguenti:

- simmetria cilindrica e stato piano di deformazione;
- ammasso omogeneo ed isotropo;
- stato tensionale iniziale isotropo.

L'ideale campo di applicazione è pertanto costituito da gallerie profonde a sezione circolare.

Le analisi contenute in questo documento sono state svolte col codice di calcolo GV4 (versione 4H del 2003).

Per l'ammasso si utilizza un modello costitutivo elasto-plastico, con criterio di resistenza di Mohr-Coulomb e con eventuale decadimento dei parametri di resistenza dai valori di picco ai valori residui.

Ove necessario, per la definizione del comportamento deformativo della galleria in funzione della distanza dal fronte, si utilizza il Nuovo Metodo Implicito (NMI) (Rif. [16], Rif. [17]), che consente di ottenere risultati affidabili

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 35 di 65

sia in termini di convergenze, sia in termini di carichi di lavoro sui sostegni. Per il calcolo della convergenza al fronte si utilizzano le soluzioni analitiche per cavità sferiche.

Per le analisi di seguito riportate, relative alla fase di diagnosi, e finalizzate quindi alla sola valutazione del comportamento deformativo dell'ammasso per la determinazione della categoria di comportamento, non viene presa in considerazione l'interazione con i sostegni, per cui la soluzione del problema è ridotta alla valutazione della sola curva caratteristica del fronte (e del cavo) in assenza di interventi.

9.2.1.2 Sezioni analizzate

Sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica di cui al precedente paragrafo § 8.3, sono state definite le seguenti sezioni di analisi.

Tabella 7 Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: dati di input

Sez di calcolo	Unità	pk [m]	H [m]	σ_0 [MPa]	p_{w0} [MPa]	p_{wR} [MPa]	R_w [m]	γ [kN/m ³]	c'_k [MPa]	φ'_k [°]	E_k [MPa]
D1	VEP1	34+486	37.6	1.01	-	-	-	27.0	0.085	35.0	850.0
D2	VEP1	34+958	95.8	2.59	-	-	-	27.0	0.265	36.0	1530.0
D3	VEP1	35+048	104.9	2.83	-	-	-	27.0	0.290	35.0	1530.0
D4	ACS	35+222	109.9	2.86	-	-	-	26.0	0.170	24.0	1700.0
D5	ALD	35+780	109.9	2.97	0.6	0.0	49.0	27.0	0.270	35.0	1000.0
D6	MMF	36+582	164.9	4.12				25.0	0.380	33.0	1130.0
D7	MMF	37+047	114.9	2.87				25.0	0.145	25.0	320.0
D8	VEP1	37+790	164.9	4.45				27.0	0.340	29.0	1200.0

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria

σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo

p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate

p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo

R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso

φ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso

E_k = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Per la sezione D5, nei calcari e dolomie (ALD) è stata definita una distribuzione di pressione neutre che prevede un opportuno abbattimento al contorno del cavo per effetto dello scavo. Per le altre sezioni, considerata la bassa permeabilità degli ammassi rocciosi, la presenza di acqua è stata trascurata

9.2.1.3 Risultati delle analisi

I risultati delle analisi sono stati esaminati alla luce di due aspetti:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 36 di 65

- confronto tra la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso σ_c e la pressione critica al fronte $p_c = (3\sigma_o - 2\sigma_c) / (1 + 2K_p)$, che individua il passaggio dal comportamento elastico a quello plastico,
- sviluppo dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione nella sezione al fronte e al contorno del cavo,

prendendo a riferimento per la definizione della categoria di comportamento i seguenti due criteri:

σ_c / p_c	Classe di comportamento
$\geq 1,2$	A
$< 1,2$ e $\geq 0,8$	A/B
$< 0,8$ e $\geq 0,2$	B/C
$< 0,2$	C

Tabella 8 Criterio 1

u_F / R_{eq}	R_{plF} / R_{eq}	Classe di comportamento
$\leq 0,5 \%$	$\leq 1,5$	B
$> 0,5 \%$	$> 1,5$	C
u_F = convergenza al fronte R_{plF} = raggio plastico al fronte R_{eq} = raggio di scavo equivalente della galleria		

Tabella 9 Criterio 2

Sulla base di queste valutazioni quantitative, unitamente all'analisi critica dei risultati ottenuti rispetto all'affidabilità dei dati di ingresso in termini di parametri di ammasso (rigidezza e resistenza) e condizioni idrauliche al contorno, in relazione ad eventuali variabilità attese lungo il tracciato della galleria e alle possibili conseguenze per comportamenti imprevedibili, è stata definita la categoria di comportamento del fronte di scavo da cui deriva l'individuazione degli eventuali necessari interventi di precontenimento e contenimento.

I risultati delle analisi sono riassunti nella tabella seguente; i tabulati di calcolo con la rappresentazione delle curve caratteristiche sono invece riportati integralmente in All. [1].

Tabella 10 Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: risultati delle analisi

Sezione di calcolo	σ_c [MPa]	p_c [MPa]	σ_c / p_c [-]	u_F [m]	u_F / R_{eq} [%]	R_{PF} [m]	R_{PF} / R_{eq} [-]	Categoria
D1	0.33	0.29	1.14	0.010	0.20	9.50	1.25	A
D2	1.04	0.65	1.59	0.016	0.32	11.72	1.20	A
D3	1.11	0.75	1.49	0.009	0.18	5.95	1.21	A
D4	0.52	1.31	0.40	0.021	0.43	8.51	1.74	B
D5	1.04	0.81	1.27	0.016	0.32	6.16	1.26	A
D6	1.40	1.23	1.14	0.020	0.40	6.23	1.27	B
D7	0.46	1.30	0.35	0.121	2.47	8.66	1.77	C
D8	1.15	1.63	0.71	0.027	0.55	6.94	1.42	B

$\sigma_c = (2c \cos \varphi) / (1 - \sin \varphi)$ = resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso (parametri di picco)
 $p_c = (3\sigma_o - 2\sigma_c) / (1 + 2K_p)$ = pressione critica al fronte (con K_p coefficiente di spinta passiva)
 u_F = convergenza al fronte (soluzione cavità sferica)
 R_{PF} = raggio plastico al fronte
 u_∞ = convergenza finale del cavo
 R_p = raggio plastico finale al contorno del cavo
 R_{eq} = raggio di scavo equivalente della galleria: per D1 pari a 7.57 m, per D2 pari a 9.76 m, pari a 4.9 m per le restanti

9.2.2 Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo

Sulla base dei risultati delle analisi sopra descritte, il tracciato è stato suddiviso in tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo, rappresentate in forma sintetica sul profilo geotecnico della galleria (Rif. [11]).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 38 di 65

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 6 diverse sezioni tipo, intese come complesso di modalità operative, fasi di lavoro, interventi di stabilizzazione, drenaggi e relative tecnologie esecutive, denominate A1, A2, B1 B2, C2e C2v.

Per ciascuna sezione tipo è prevista l'installazione a ridosso del fronte di scavo di un rivestimento provvisorio costituito da spritz-beton 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 tubi microfessurati, 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 definite, 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 Letojanni" (Rif. [6]).

10.1.1 Sezione tipo A1

La A1 è una sezione cilindrica che prevede solo interventi di contenimento al contorno tramite centine e spritz-beton e può essere impiegata solo nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione A1, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- scavo a piena sezione per sfondi di dimensioni massime 2,80 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,15 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN140 con passo 1,40 m \pm 20%;
- arco rovescio (spessore 0,60 m) e murette in calcestruzzo non armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri;
- calotta (spessore 0,60 m) in calcestruzzo non armato gettata ad una distanza non vincolata dal fronte.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 39 di 65

10.1.2 Sezione tipo A2

La A2 è una sezione cilindrica che prevede solo interventi di contenimento del cavo tramite centine e spritz-beton e bullonatura radiale; può essere impiegata solo nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile (categoria A).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione A2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- scavo a piena sezione per sfondi di dimensioni massime 2,40 m;
- chiodatura radiale mediante 9/10 chiodi ad ancoraggio continuo Ø24 disposti in raggiere alternate, lunghezza 4,50 m, interasse longitudinale 1,20 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,15 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN140 con passo 1,20 m \pm 20%;
- arco rovescio (spessore 0,70 m) e murette in calcestruzzo non armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri;
- calotta (spessore 0,60 m) in calcestruzzo non armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

10.1.3 Sezione tipo B1

La B1 è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e presostegno al contorno. Può essere impiegata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile a breve termine (categoria B).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione B1, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 20 elementi strutturali in VTR, L=13,5 m (sovrapposizione minima 5,0 m) \pm 20% cementati in foro con miscele cementizie;
- presostegno al contorno (entro un angolo di 120° in calotta) realizzato mediante 21 tubi in acciaio valvolati, L=12,0 m (sovrapposizione minima 3,5 m, interasse 0,4 m) \pm 20%;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,5 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,20 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN160 con passo 1,0 m \pm 20%;
- arco rovescio (spessore 0,80 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta (spessore variabile da 0,50 m a 1,15 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 40 di 65

10.1.4 Sezione tipo B2

La B2 è una sezione cilindrica che prevede interventi di precontenimento del fronte. Può essere impiegata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte stabile a breve termine (categoria B).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione B2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 50 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 8,0 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele cementizie;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 12,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,0 m $\pm 20\%$;
- arco rovescio (spessore 0,90 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1,5 diametri;
- calotta (spessore 0,80 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 4 diametri.

10.1.5 Sezione tipo C2

La C2 è una sezione cilindrica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno. Deve essere applicata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C2, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 40 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 10,0 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 51 elementi strutturali in VTR, L=16,0 m (sovrapposizione minima 6,0 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 8+8 elementi strutturali in VTR al piede centina;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento di lunghezza pari a 10,0 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN200 con passo 1,0 m $\pm 20\%$;
- arco rovescio (spessore 1,00 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta (spessore 0,90 m) in calcestruzzo armato gettata ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 41 di 65

10.1.6 Sezione tipo C2v

La C2v è una sezione tronco-conica che prevede interventi di precontenimento del fronte e del contorno e interventi di presostegno al contorno. Deve essere applicata nelle tratte con comportamento del nucleo-fronte instabile (categoria C).

Sono di seguito elencati i principali elementi caratterizzanti la sezione C2v, ordinati secondo le fasi esecutive previste:

- precontenimento del fronte realizzato mediante 30 elementi strutturali in VTR, L=20,0 m (sovrapposizione minima 11,5 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele cementizie;
- precontenimento al contorno realizzato mediante 41 elementi strutturali in VTR, L=17,00 m (sovrapposizione minima 8,5 m) $\pm 20\%$ cementati in foro con miscele espansive e ulteriori 5+5 elementi strutturali in VTR al piede centina;
- presostegno al contorno (entro un angolo di 120° in calotta) realizzato mediante 23 tubi in acciaio valvolati, L=14,00 m (sovrapposizione minima 5,5 m, interasse 0,40 m) $\pm 20\%$;
- scavo a piena sezione per singoli sfondi di 1,0 m secondo campi di avanzamento tronco-conici di lunghezza pari a 8,5 m;
- rivestimento provvisorio (ad ogni sfondo) composto da 0,25 m di spritz-beton fibrorinforzato e doppie centine IPN180 con passo 1,0 m $\pm 20\%$;
- arco rovescio (spessore 0,90 m) e murette in calcestruzzo armato gettati ad una distanza massima dal fronte pari a 1 diametro;
- calotta (spessore variabile da 0,55 m a 1,30 m) in calcestruzzo armato 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 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. [31]).

Interventi di presostegno

Acciaio per infilaggi al contorno	
Tipo	<i>S 355</i>
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 510 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} = 338.0 \text{ MPa}$

Interventi di precontenimento

Elementi in vetroresina strutturali tubolari	
Resistenza a trazione caratteristica	$f_{tk} = 450 \text{ MPa}$

Elementi in vetroresina strutturali a 3 piatti	
Resistenza a trazione caratteristica	$f_{tk} = 900 \text{ MPa}$

Rivestimento provvisorio

Calcestruzzo proiettato (fibrorinforzato)	
Classe di resistenza	<i>C 25/30</i>
Resistenza cilindrica a compressione caratteristica (a 28 giorni di maturazione)	$f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$
Resistenza cilindrica a compressione di calcolo	$f_{cd} = 16,67 \text{ MPa}$
Modulo elastico (a 28 giorni di maturazione)	$E_{cm} = 31475 \text{ MPa}$

Acciaio per centine	
Tipo	<i>S 275</i>
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 430 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 275 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} = 261,9 \text{ MPa}$

Rivestimenti definitivi

Calcestruzzo armato	
Classe di resistenza di calcolo	<i>C 25/30</i>
Resistenza cilindrica a compressione caratteristica (a 28 giorni di maturazione)	$f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$
Resistenza cilindrica a compressione di calcolo	$f_{cd} = 14,16 \text{ MPa}$
Modulo elastico (a 28 giorni di maturazione)	$E_{cm} = 31475 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio	$\sigma_c = 10,00 \text{ MPa}$

Acciaio per barre di armatura	
Tipo	<i>B450C</i>
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} = 391,30 \text{ MPa}$
Tensione massima in condizioni di esercizio	$\sigma_s = 337,50 \text{ MPa}$

Calcestruzzo non armato	
Classe di resistenza di calcolo	C 25/30
Tensione massima di compressione	$\sigma_{c,max} = 6,225 \text{ MPa}$
Tensione massima tangenziale	$\tau_c = 0,376 \text{ MPa}$

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.

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 il metodo delle linee caratteristiche (§ 9.2.1).

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 e secondo il metodo delle linee caratteristiche.

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.

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:

$$K_p = \frac{1 + \operatorname{sen} \varphi}{1 - \operatorname{sen} \varphi}$$

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

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

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

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).

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;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 46 di 65

- 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);
- 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 la verifica degli stati limite di esercizio (SLE) del rivestimento definitivo in calcestruzzo armato, le analisi numeriche sono condotte con i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici, adottando le pertinenti combinazioni dei carichi per la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio, secondo quanto previsto dal DM 14/01/2008 e Circolare n.617.

Nelle analisi di interazione con modelli numerici bidimensionali l'effetto dei consolidamenti del fronte di scavo viene tenuto in conto in modo indiretto, nella definizione della percentuale di rilascio delle forze di scavo in corrispondenza del fronte.

Per gli interventi di precontenimento al contorno l'effetto dei consolidamenti viene tenuto in conto direttamente nei modelli numerici e simulato come un arco di materiale al contorno dello scavo avente proprietà meccaniche migliori rispetto a quelle iniziali del terreno. In particolare, nella regione consolidata sono incrementati i valori di coesione e di modulo elastico, mantenendo immutato l'angolo d'attrito del materiale naturale.

Per le verifiche degli interventi di contenimento radiale con chiodi ad aderenza continua, con riferimento alla configurazione di equilibrio a breve termine ottenuta dall'analisi di interazione, sono state effettuate le verifiche strutturali di resistenza a trazione e sfilamento degli elementi, da inquadrare come verifiche SLU di tipo STR secondo i coefficienti parziali previsti dall'Approccio 1 - Combinazione 1. L'azione (N) ottenuta dal calcolo, amplificata di 1.3, è confrontata con la resistenza a trazione e a sfilamento, valutate con i parametri caratteristici.

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:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 47 di 65

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 PLAXIS 2017), 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 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 rigidità 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 rigidità 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 rigidità assiale dello spritz-beton;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 48 di 65

- $E_{cent} \cdot A_{cent}$ 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):

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

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

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

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 $F=10^6$). 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.

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.

Nel seguito sono riportate le verifiche degli interventi previsti per le diverse sezioni tipo di scavo e consolidamento, nelle condizioni ritenute significative ai fini del dimensionamento. Per la verifica delle sezioni tipo non presenti nel presente documento, si rimanda alle relazioni geotecniche e di calcolo delle altre gallerie in progetto, in cui tali sezioni sono state verificate in condizioni ritenute più gravose.

10.3.2 Sezione A1

10.3.2.1 Stabilità del fronte e del cavo

Nel seguito sono riassunti i dati di input utilizzati per l'analisi di stabilità del fronte della sezione tipo A1 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche, con riferimento alla pk 35+048 (sezione D3 in fase di diagnosi). Tale verifica è finalizzata a confermare che pur applicando i coefficienti parziali previsti per questo stato limite ultimo di tipo GEO (si utilizza l'Approccio 1- Combinazione 2 (A2+M2+R2), con R2 =1), non si rendono necessari interventi preventivi di stabilizzazione.

Tabella 11 - Sezione A1 - stabilità del fronte: dati di input

Sez. di calcolo	Unità	R_{eq} [m]	H [m]	σ_0 [MPa]	p_{w0} [MPa]	p_{wR} [MPa]	R_w [m]	γ [kN/m ³]	c'_d [MPa]	ϕ'_d [°]	E_d [MPa]
A1	VEP1	4.5	104.5	2.82	-	-	-	27	0.232	29.3	1530.0

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria

σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo

p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate

p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo

R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

c'_d = valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso

ϕ'_d = valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso

E_d = valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 50 di 65

Tabella 12. Sezione A1 - stabilità del fronte: risultati

Sezione di calcolo	u_F [m]	R_{PF} [m]
A1	0.011	6.23

Le analisi evidenziano che, anche con l'applicazione dei coefficienti parziali corrispondenti alla combinazione A2+M2+R2, l'entità degli spostamenti e delle plasticizzazioni sono di poco maggiori rispetto a quelli ottenuti in fase di diagnosi con i valori caratteristici dei parametri e coefficienti unitari sulle azioni e sono comunque tali da poter ritenere il nucleo-fronte stabile.

10.3.2.2 Interazione opera-terreno

Nel seguito sono riassunti i dati di input utilizzati per l'analisi di interazione della sezione tipo A1 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche. Sono riportate anche le caratteristiche dei rivestimenti provvisori e definitivi.

Tabella 13 - Sezione A1 – analisi di interazione: dati di input

Sez di calcolo	R_{eq} (m)	Unità	pk [m]	H [m]	h_w [m]	σ_0 [MPa]	p_{w0} [MPa]	p_{wR} [MPa]	R_w [m]	γ [kN/m ³]	c'_{kp} [MPa]	ϕ'_{kp} [°]	E_k [MPa]
A1	4.5	VEP1	35+048	104.5	44.5	2.82	0.45	0.45	4.5	27.0	0.290	35.0	1530.0

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria

σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo

p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate

p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo

R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

c'_{kp} = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso

ϕ'_{kp} = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso

E_k = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Tabella 14 - Sezione A1 – analisi di interazione: caratteristiche dei rivestimenti

Tipo di priverimento	Centine + Spritz beton
Spessore dello spritz [m]	0.15
Centine	2 IPN140
Passo delle centine [m]	1.40

Tipo di rivestimento	calcestruzzo
Spessore [m]	0.60

Il metodo consente di determinare il carico agente sui sostegni valutando l'intersezione tra la curva caratteristica del sostegno e la curva caratteristica del cavo, rappresentativa della condizione di equilibrio.

Si ottiene un carico agente sul rivestimento di prima fase pari a 4.83 MPa per lo spritz beton e 29.64 MPa per le centine. Sul rivestimento definitivo si ottiene un carico agente pari a 3.50 MPa.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 51 di 65

Si esegue la verifica SLU confrontando il carico agente (con coefficiente parziale 1,3) e la resistenza disponibile.

Le verifiche sono dunque le seguenti:

- Spritz beton $(4.83 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 6.27 \text{ MPa} < 16.67 \text{ MPa}$ verifica soddisfatta
- Centine $(29.64 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 38.53 \text{ MPa} < 261.9 \text{ MPa}$ verifica soddisfatta
- Rivestimento definitivo $(3.50 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 4.56 \text{ MPa} < 6.22 \text{ MPa}$ verifica soddisfatta

Per la resistenza disponibile del rivestimento definitivo si è fatto riferimento al calcestruzzo non armato.

10.3.3 Sezione A2

10.3.3.1 Stabilità del fronte e del cavo

Nel seguito sono riassunti i dati di input utilizzati per l'analisi di stabilità del fronte della sezione tipo A2 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche, con riferimento alla pk 35+780 (sezione D5 in fase di diagnosi). Tale verifica è finalizzata a confermare che pur applicando i coefficienti parziali previsti per questo stato limite ultimo di tipo GEO (si utilizza l'Approccio 1- Combinazione 2 (A2+M2+R2), con $R2 = 1$), non si rendono necessari interventi preventivi di stabilizzazione.

Tabella 15 - Sezione A2 - stabilità del fronte: dati di input

Sez. di calcolo	Unità	R_{eq} [m]	H [m]	σ_o [MPa]	p_{w0} [MPa]	p_{wR} [MPa]	R_w [m]	γ [kN/m ³]	c'_d [MPa]	ϕ'_d [°]	E_d [MPa]
A2	ALD	4.5	109.5	2.96	0.5	0.0	45.47	27	0.216	29.3	1000.0

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria
 σ_o = tensione totale iniziale al livello del cavo
 p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate
 p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo
 R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}
 γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_d = valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_d = valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso
 E_d = valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso

Tabella 16. Sezione A2 - stabilità del fronte: risultati

Sezione di calcolo	u_F [m]	R_{PF} [m]
A2	0.022	6.60

Le analisi evidenziano che, anche con l'applicazione dei coefficienti parziali corrispondenti alla combinazione A2+M2+R2, l'entità degli spostamenti e delle plasticizzazioni sono di poco maggiori rispetto a quelli ottenuti in

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 52 di 65

fase di diagnosi con i valori caratteristici dei parametri e coefficienti unitari sulle azioni e sono comunque tali da poter ritenere il nucleo-fronte stabile.

10.3.3.2 Interazione opera-terreno

Nel seguito sono riassunti i dati di input utilizzati per l'analisi di interazione della sezione tipo A2 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche. Sono riportate anche le caratteristiche dei sostegni provvisori e definitivi.

Tabella 17 – Sezione A2 – analisi di interazione: dati di input

Sez di calcolo	R _{eq} (m)	Unità	pk [m]	H [m]	h _w [m]	σ _o [MPa]	p _{w0} [MPa]	p _{wR} [MPa]	R _w [m]	γ [kN/m ³]	c' _{kp} [MPa]	φ' _{kp} [°]	E _k [MPa]
A2	4.5	ALD	35+780	109.5	49.5	2.96	0.50	0.50	4.5	27.0	0.270	35.0	1000.0

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria
s₀ = tensione totale iniziale al livello del cavo
p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate
p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo
R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}
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
E_k = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Tabella 18 - Sezione A2 – analisi di interazione: caratteristiche dei rivestimenti

Tipo di priverivestimento	Centine + Spritz beton	Tipo di intervento	Chiodatura radiale
Spessore dello spritz [m]	0.15	Chiodi	Ø24 / L=4.5 m
Centine	2 IPN140	Tipo di rivestimento	Anello di calcestruzzo
Passo delle centine [m]	1.20	Spessore dell'anello [m]	0.60

Per la verifica dell'intervento di chiodatura si riporta in Figura 23 l'andamento delle tensioni tangenziali agenti all'interfaccia elemento strutturale/roccia. Lungo tutto lo sviluppo del bullone radiale tali tensioni risultano ben inferiori rispetto alla tensione limite di aderenza del materiale definita pari a 0,3 MPa. pertanto si ritiene la verifica soddisfatta.

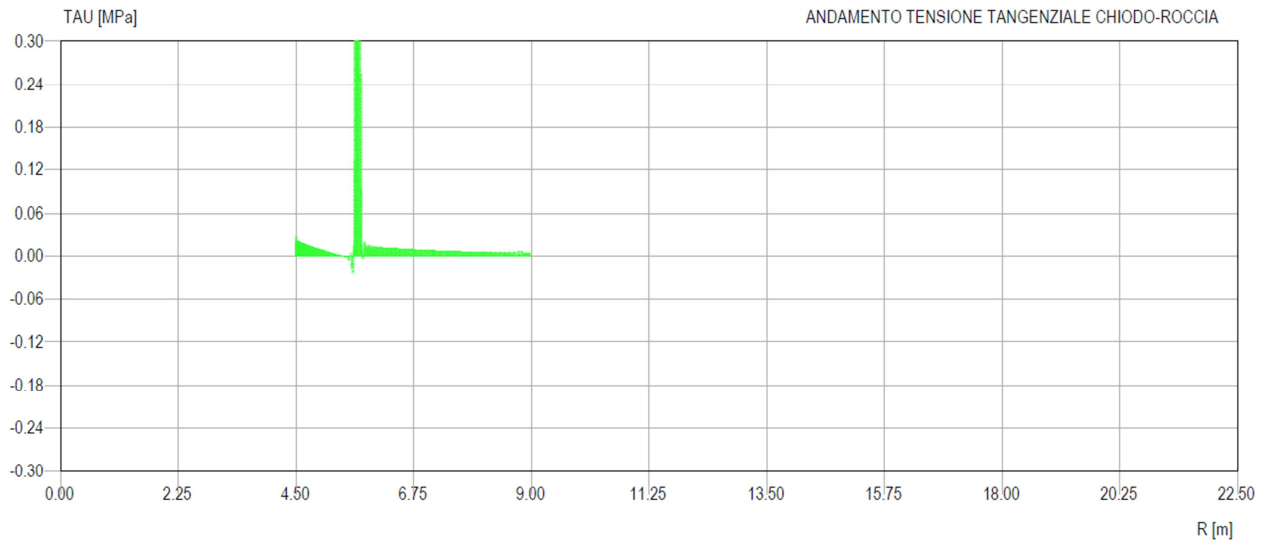


Figura 23 – Andamento delle tensioni lungo lo sviluppo dei bulloni radiali

Il metodo consente di determinare il carico agente sui sostegni valutando l'intersezione tra la curva caratteristica del sostegno e la curva caratteristica del cavo, rappresentativa della condizione di equilibrio.

Si ottiene un carico agente sul rivestimento di prima fase pari a 9.70 MPa per lo spritz beton e 59.57 MPa per le centine. Sul rivestimento definitivo si ottiene un carico agente pari a 4.65 MPa.

Si esegue la verifica SLU confrontando il carico agente (con coefficiente parziale 1,3) e la resistenza disponibile.

Le verifiche sono dunque le seguenti:

- | | | |
|---------------------------|---|----------------------|
| • Spritz beton | $(9.70 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 12.61 \text{ MPa} < 16.67 \text{ MPa}$ | verifica soddisfatta |
| • Centine | $(59.57 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 77.44 \text{ MPa} < 261.9 \text{ MPa}$ | verifica soddisfatta |
| • Rivestimento definitivo | $(4.65 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 6.05 \text{ MPa} < 6.22 \text{ MPa}$ | verifica soddisfatta |

Per la resistenza disponibile del rivestimento definitivo si è fatto riferimento al calcestruzzo non armato.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 54 di 65

10.3.4 Sezione B1_ACS

10.3.4.1 Stabilità del fronte e del cavo

Nel seguito sono riassunti i dati di input utilizzati per l'analisi di stabilità del fronte della sezione tipo B1 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche, con riferimento alla pk 35+222 (sezione D4 in fase di diagnosi).

Tabella 19 – Sezione B1 - stabilità del fronte: dati di input

Sez. di calcolo	Unità	R_{eq} [m]	H [m]	σ_0 [MPa]	p_{w0} [MPa]	p_{wR} [MPa]	R_w [m]	γ [kN/m ³]	c'_d [MPa]	ϕ'_d [°]	E_d [MPa]
B1	ACS	4.8	109.8	2.85	-	-	-	26	0.136	19.6	1700.0

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria
 σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo
 p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate
 p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo
 R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}
 γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_d = valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_d = valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso
 E_d = valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso

Di seguito i calcoli dell'incremento di coesione equivalente al fronte indotto dagli interventi di consolidamento in VTR con effetto sulla curva caratteristica del fronte.

Tabella 20 – Sezione B1 – calcolo dell'incremento di coesione al fronte per effetto del consolidamento al fronte

n_{VTR}	L_A	ϕ_{perf}	τ_{bk}	σ_{3A}^{VTR}	A_{VTR}	f_{tk}	σ_{3B}^{VTR}	σ_3	$\Delta c'_k$
[-]	[m]	[m]	[kPa]	[kPa]	[m ²]	[MPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
20	5	0.1	250	109	7.200E-04	1000	200	109	84

n_{VTR} = numero di VTR al fronte
 L_A = lunghezza minima di sovrapposizione del VTR
 ϕ_{perf} = diametro di perforazione
 τ_{bk} = tensione di aderenza all'interfaccia col terreno
 σ_{3A}^{VTR} = resistenza a sfilamento dell'elemento strutturale in VTR
 A_{VTR} = area del VTR
 f_{tk} = resistenza a trazione del VTR
 σ_{3B}^{VTR} = resistenza a rottura dell'elemento strutturale in VTR
 σ_3 = tensione minima resistente al fronte
 $\Delta c'_k$ = coesione caratteristica equivalente indotta dall'intervento di consolidamento del fronte

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 55 di 65

Tabella 21 - Sezione B1 - stabilità del fronte: risultati

Sezione di calcolo	u_F [m]	R_{PF} [m]
B1	0.024	9.13

L'entità degli spostamenti e delle plasticizzazioni al fronte evidenziate dall'analisi sono tali da poter ritenere soddisfatta la verifica di stabilità del fronte.

10.3.4.2 Interazione opera-terreno

Nel seguito sono riassunti i dati di input utilizzati per l'analisi di interazione della sezione tipo B1 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche. Sono riportate anche le caratteristiche dei rivestimenti provvisori e definitivi.

Tabella 22 - Sezione B1 – analisi di interazione: dati di input

Sez di calcolo	R_{eq} (m)	Unità	pk [m]	H [m]	h_w [m]	σ_0 [MPa]	p_{w0} [MPa]	p_{wR} [MPa]	R_w [m]	γ [kN/m ³]	c'_{kp} [MPa]	φ'_{kp} [°]	E_k [MPa]
B1	4.8	ACS	35+222	109.8	34.8	2.85	0.35	0.35	4.8	26.0	0.170	24.0	1700.0

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria
 σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo
 p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate
 p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo
 R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}
 γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 φ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso
 E_k = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Tabella 23 - Sezione B1 – analisi di interazione: caratteristiche dei rivestimenti

Tipo di priverimento	Centine + Spritz beton
Spessore dello spritz [m]	0.20
Centine	2 IPN160
Passo delle centine [m]	1.0

Tipo di rivestimento	calcestruzzo
Spessore [m]	0.80

Il metodo consente di determinare il carico agente sui sostegni valutando l'intersezione tra la curva caratteristica del sostegno e la curva caratteristica del cavo, rappresentativa della condizione di equilibrio.

Si ottiene un carico agente sul rivestimento di prima fase pari a 10.37 MPa per lo spritz beton e 63.05 MPa per le centine. Sul rivestimento definitivo si ottiene un carico agente pari a 4.29 MPa.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 56 di 65

Si esegue la verifica SLU confrontando il carico agente (con coefficiente parziale 1,3) e la resistenza disponibile.

Le verifiche sono dunque le seguenti:

- Spritz beton $(10.37 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 13.48 \text{ MPa} < 16.67 \text{ MPa}$ verifica soddisfatta
- Centine $(63.05 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 81.96 \text{ MPa} < 261.9 \text{ MPa}$ verifica soddisfatta
- Rivestimento definitivo $(4.29 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 5.58 \text{ MPa} < 14.17 \text{ MPa}$ verifica soddisfatta

10.3.5 Sezione B1_MMF

10.3.5.1 Stabilità del fronte e del cavo

Nel seguito sono riassunti i dati di input utilizzati per l'analisi di stabilità del fronte della sezione tipo B1 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche, con riferimento alla pk 36+582 (sezione D6 in fase di diagnosi).

Tabella 24 – Sezione B1 - stabilità del fronte: dati di input

Sez. di calcolo	Unità	R_{eq} [m]	H [m]	σ_0 [MPa]	p_{w0} [MPa]	p_{wR} [MPa]	R_w [m]	γ [kN/m ³]	c'_d [MPa]	ϕ'_d [°]	E_d [MPa]
B1	MMF	4.8	164.8	4.12	-	-	-	25	0.304	27.5	1130.0

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria

σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo

p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate

p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo

R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

c'_d = valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso

ϕ'_d = valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso

E_d = valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso

Di seguito i calcoli dell'incremento di coesione equivalente al fronte indotto dagli interventi di consolidamento in VTR con effetto sulla curva caratteristica del fronte.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 57 di 65

Tabella 25 – Sezione B1 – calcolo dell’incremento di coesione al fronte per effetto del consolidamento al fronte

n_{VTR}	L_A	ϕ_{perf}	τ_{bk}	σ_{3A}^{VTR}	A_{VTR}	f_{tk}	σ_{3B}^{VTR}	σ_3	$\Delta C'_k$
[-]	[m]	[m]	[kPa]	[kPa]	[m ²]	[MPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
20	5	0.1	300	131	7.200E-04	1000	200	131	120

n_{VTR} = numero di VTR al fronte
 L_A = lunghezza minima di sovrapposizione del VTR
 ϕ_{perf} = diametro di perforazione
 τ_{bk} = tensione di aderenza all’interfaccia col terreno
 σ_{3A}^{VTR} = resistenza a sfilamento dell’elemento strutturale in VTR
 A_{VTR} = area del VTR
 f_{tk} = resistenza a trazione del VTR
 σ_{3B}^{VTR} = resistenza a rottura dell’elemento strutturale in VTR
 σ_3 = tensione minima resistente al fronte
 $\Delta C'_k$ = coesione caratteristica equivalente indotta dall’intervento di consolidamento del fronte

Tabella 26 - Sezione B1 - stabilità del fronte: risultati

Sezione di calcolo	u_F [m]	R_{PF} [m]
B1	0.023	6.61

L’entità degli spostamenti e delle plasticizzazioni al fronte evidenziate dall’analisi sono tali da poter ritenere soddisfatta la verifica di stabilità del fronte.

10.3.5.2 Interazione opera-terreno

Nel seguito sono riassunti i dati di input utilizzati per l’analisi di interazione della sezione tipo B1 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche. Sono riportate anche le caratteristiche dei rivestimenti provvisori e definitivi.

Tabella 27 - Sezione B1 – analisi di interazione: dati di input

Sez di calcolo	R_{eq} (m)	Unità	pk [m]	H [m]	h_w [m]	σ_0 [MPa]	p_{w0} [MPa]	p_{wR} [MPa]	R_w [m]	γ [kN/m ³]	c'_{kp} [MPa]	ϕ'_{kp} [°]	E_k [MPa]
B1	4.8	MMF	36+582	164.8	69.8	4.12	0.70	0.70	4.8	25.0	0.380	33.0	1130.0

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria
 σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo
 p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate
 p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo
 R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}
 γ = peso dell’unità di volume dell’ammasso

c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso

φ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso

E_k = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Tabella 28 - Sezione B1 – analisi di interazione: caratteristiche dei rivestimenti

Tipo di priverivestimento	Centine + Spritz beton
Spessore dello spritz [m]	0.20
Centine	2 IPN160
Passo delle centine [m]	1.0

Tipo di rivestimento	calcestruzzo
Spessore [m]	0.80

Il metodo consente di determinare il carico agente sui sostegni valutando l'intersezione tra la curva caratteristica del sostegno e la curva caratteristica del cavo, rappresentativa della condizione di equilibrio.

Si ottiene un carico agente sul rivestimento di prima fase pari a 10.32 MPa per lo spritz beton e 62.71 MPa per le centine. Sul rivestimento definitivo si ottiene un carico agente pari a 5.53 MPa.

Si esegue la verifica SLU confrontando il carico agente (con coefficiente parziale 1,3) e la resistenza disponibile.

Le verifiche sono dunque le seguenti:

- Spritz beton $(10.32 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 13.41 \text{ MPa} < 16.67 \text{ MPa}$ verifica soddisfatta
- Centine $(62.71 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 81.52 \text{ MPa} < 261.9 \text{ MPa}$ verifica soddisfatta
- Rivestimento definitivo $(5.53 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 7.19 \text{ MPa} < 14.17 \text{ MPa}$ verifica soddisfatta

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampileri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 59 di 65

10.3.6 Sezione B1_VEP1

10.3.6.1 Stabilità del fronte e del cavo

Nel seguito sono riassunti i dati di input utilizzati per l'analisi di stabilità del fronte della sezione tipo B1 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche, con riferimento alla pk 37+790 (sezione D8 in fase di diagnosi).

Tabella 29 – Sezione B1 - stabilità del fronte: dati di input

Sez. di calcolo	Unità	R_{eq} [m]	H [m]	σ_0 [MPa]	p_{w0} [MPa]	p_{wR} [MPa]	R_w [m]	γ [kN/m ³]	c'_d [MPa]	ϕ'_d [°]	E_d [MPa]
B1	VEP1	4.8	164.8	4.45	-	-	-	27	0.272	23.9	1200.0

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria
 σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo
 p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate
 p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo
 R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}
 γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_d = valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_d = valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso
 E_d = valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso

Di seguito i calcoli dell'incremento di coesione equivalente al fronte indotto dagli interventi di consolidamento in VTR con effetto sulla curva caratteristica del fronte.

Tabella 30 – Sezione B1 – calcolo dell'incremento di coesione al fronte per effetto del consolidamento al fronte

n_{VTR}	L_A	ϕ_{perf}	τ_{bk}	σ_{3A}^{VTR}	A_{VTR}	f_{tk}	σ_{3B}^{VTR}	σ_3	$\Delta c'_k$
[-]	[m]	[m]	[kPa]	[kPa]	[m ²]	[MPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
20	5	0.1	300	131	7.200E-04	1000	200	131	111

n_{VTR} = numero di VTR al fronte
 L_A = lunghezza minima di sovrapposizione del VTR
 ϕ_{perf} = diametro di perforazione
 τ_{bk} = tensione di aderenza all'interfaccia col terreno
 σ_{3A}^{VTR} = resistenza a sfilamento dell'elemento strutturale in VTR
 A_{VTR} = area del VTR
 f_{tk} = resistenza a trazione del VTR
 σ_{3B}^{VTR} = resistenza a rottura dell'elemento strutturale in VTR
 σ_3 = tensione minima resistente al fronte
 $\Delta c'_k$ = coesione caratteristica equivalente indotta dall'intervento di consolidamento del fronte

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 60 di 65

Tabella 31 - Sezione B1 - stabilità del fronte: risultati

Sezione di calcolo	u_F [m]	R_{PF} [m]
B1	0.034	7.56

L'entità degli spostamenti e delle plasticizzazioni al fronte evidenziate dall'analisi sono tali da poter ritenere soddisfatta la verifica di stabilità del fronte.

10.3.6.2 Interazione opera-terreno

Nel seguito sono riassunti i dati di input utilizzati per l'analisi di interazione della sezione tipo B1 eseguita con il metodo delle linee caratteristiche. Sono riportate anche le caratteristiche dei rivestimenti provvisori e definitivi.

Tabella 32 - Sezione B1 – analisi di interazione: dati di input

Sez di calcolo	R_{eq} (m)	Unità	pk [m]	H [m]	h_w [m]	σ_o [MPa]	p_{w0} [MPa]	p_{wR} [MPa]	R_w [m]	γ [kN/m ³]	c'_{kp} [MPa]	ϕ'_{kp} [°]	E_k [MPa]
B1	4.8	VEP1	37+790	164.8	59.8	4.45	0.60	0.60	4.8	27.0	0.340	29.0	1200.0

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria
 σ_o = tensione totale iniziale al livello del cavo
 p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate
 p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo
 R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}
 γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 ϕ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso
 E_k = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Tabella 33 - Sezione B1 – analisi di interazione: caratteristiche dei rivestimenti

Tipo di priverimento	Centine + Spritz beton
Spessore dello spritz [m]	0.20
Centine	2 IPN160
Passo delle centine [m]	1.0

Tipo di rivestimento	calcestruzzo
Spessore [m]	0.80

Il metodo consente di determinare il carico agente sui sostegni valutando l'intersezione tra la curva caratteristica del sostegno e la curva caratteristica del cavo, rappresentativa della condizione di equilibrio.

Si ottiene un carico agente sul rivestimento di prima fase pari a 12.06 MPa per lo spritz beton e 73.33 MPa per le centine. Sul rivestimento definitivo si ottiene un carico agente pari a 5.80 MPa.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 61 di 65

Si esegue la verifica SLU confrontando il carico agente (con coefficiente parziale 1,3) e la resistenza disponibile.

Le verifiche sono dunque le seguenti:

- Spritz beton $(12.06 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 15.68 \text{ MPa} < 16.67 \text{ MPa}$ verifica soddisfatta
- Centine $(73.33 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 95.33 \text{ MPa} < 261.9 \text{ MPa}$ verifica soddisfatta
- Rivestimento definitivo $(5.80 \cdot 1.3) \text{ MPa} = 7.54 \text{ MPa} < 14.17 \text{ MPa}$ verifica soddisfatta

Le verifiche condotte sulla sezione B1 nelle diverse condizioni geotecniche dimostrano la necessità di armatura per il rivestimento definitivo. E' stata definita un'incidenza totale di armatura pari a 50 kg/m^3 per la calotta e 60 kg/m^3 per l'arco rovescio.

Per ciò che concerne la verifica dell'intervento di presostegno al contorno, si rimanda alla relazione geotecnica e di calcolo della galleria Taormina del Lotto 2, in cui l'analisi di interazione della sezione B1 è stata eseguita in condizioni ritenute più gravose.

10.3.7 Sezione C2v

10.3.7.1 Stabilità del fronte e del cavo

Nel seguito sono riassunti i dati di input utilizzati per l'analisi di stabilità del fronte della sezione tipo C2v eseguita con il metodo delle linee caratteristiche, con riferimento alla pk 37+047 (sezione D7 in fase di diagnosi).

Tabella 34 – Sezione C2v - stabilità del fronte: dati di input

Sez. di calcolo	Unità	R_{eq} [m]	H [m]	σ_0 [MPa]	p_{w0} [MPa]	p_{wR} [MPa]	R_w [m]	γ [kN/m ³]	c'_d [MPa]	ϕ'_d [°]	E_d [MPa]
C2v	MMF	4.8	114.8	2.87	-	-	-	25	0.116	20.5	320.0

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria

σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo

p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate

p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo

R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

c'_d = valore di progetto della coesione efficace dell'ammasso

ϕ'_d = valore di progetto dell'angolo di attrito dell'ammasso

E_d = valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 62 di 65

Di seguito i calcoli dell'incremento di coesione equivalente al fronte indotto dagli interventi di consolidamento in VTR con effetto sulla curva caratteristica del fronte.

Tabella 35 – Sezione C2v – calcolo dell'incremento di coesione al fronte per effetto del consolidamento al fronte

n_{VTR}	L_A	ϕ_{perf}	τ_{bk}	σ_{3A}^{VTR}	A_{VTR}	f_{tk}	σ_{3B}^{VTR}	σ_3	$\Delta C'_k$
[-]	[m]	[m]	[kPa]	[kPa]	[m ²]	[MPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
30	11.5	0.1	200	295	7.200E-04	1000	294	294	231

n_{VTR} = numero di VTR al fronte

L_A = lunghezza minima di sovrapposizione del VTR

ϕ_{perf} = diametro di perforazione

τ_{bk} = tensione di aderenza all'interfaccia col terreno

σ_{3A}^{VTR} = resistenza a sfilamento dell'elemento strutturale in VTR

A_{VTR} = area del VTR

f_{tk} = resistenza a trazione del VTR

σ_{3B}^{VTR} = resistenza a rottura dell'elemento strutturale in VTR

σ_3 = tensione minima resistente al fronte

$\Delta C'_k$ = coesione caratteristica equivalente indotta dall'intervento di consolidamento del fronte

Tabella 36 - Sezione C2v - stabilità del fronte: risultati

Sezione di calcolo	u_F [m]	R_{PF} [m]
C2v	0.078	7.60

L'entità degli spostamenti e delle plasticizzazioni al fronte evidenziate dall'analisi sono tali da poter ritenere soddisfatta la verifica di stabilità del fronte.

10.3.7.2 Interazione opera-terreno

Nel seguito sono riassunti i dati di input utilizzati per l'analisi di interazione della sezione tipo C2v eseguita con il metodo delle linee caratteristiche. Sono riportate anche le caratteristiche dei rivestimenti provvisori e definitivi.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 63 di 65

Tabella 37 - Sezione C2v – analisi di interazione: dati di input

Sez di calcolo	R _{eq} (m)	Unità	pk [m]	H [m]	h _w [m]	σ _o [MPa]	p _{w0} [MPa]	p _{wR} [MPa]	R _w [m]	γ [kN/m ³]	c' _{kp} [MPa]	φ' _{kp} [°]	E _k [MPa]
C2v	4.8	MMF	37+047	114.8	34.8	2.87	0.35	0.35	4.8	25.0	0.145	25.0	320.0

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria
 σ_o = tensione totale iniziale al livello del cavo
 p_{w0} = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate
 p_{wR} = pressione interstiziale sul profilo di scavo
 R_w = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce p_{w0}
 γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_k = valore caratteristico della coesione efficace dell'ammasso
 φ'_k = valore caratteristico dell'angolo di attrito dell'ammasso
 E_k = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

Tabella 38 - Sezione C2v – analisi di interazione: caratteristiche dei rivestimenti

Tipo di priverivestimento	Centine + Spritz beton
Spessore dello spritz [m]	0.25
Centine	2 IPN180
Passo delle centine [m]	1.0

Tipo di rivestimento	calcestruzzo
Spessore [m]	0.90

Il metodo consente di determinare il carico agente sui sostegni valutando l'intersezione tra la curva caratteristica del sostegno e la curva caratteristica del cavo, rappresentativa della condizione di equilibrio.

Si ottiene un carico agente sul rivestimento di prima fase pari a 12.06 MPa per lo spritz beton e 72.36 MPa per le centine. Sul rivestimento definitivo si ottiene un carico agente pari a 5.44 MPa.

Si esegue la verifica SLU confrontando il carico agente (con coefficiente parziale 1,3) e la resistenza disponibile.

Le verifiche sono dunque le seguenti:

- Spritz beton (15.68*1.3) MPa = 15.68 MPa < 16.67 MPa verifica soddisfatta
- Centine (72.36*1.3) MPa = 94.07 MPa < 261.9 MPa verifica soddisfatta
- Rivestimento definitivo (5.44*1.3) MPa = 7.07 MPa < 14.17 MPa verifica soddisfatta

Per il rivestimento definitivo la verifica dimostra la necessità di armatura. E' stata definita un'incidenza totale di armatura pari a 50 kg/m³ sia per la calotta, sia per l'arco rovescio.

Per ciò che concerne la verifica dell'intervento di presostegno al contorno, si rimanda alla relazione geotecnica e di calcolo della galleria di Interconnessione, in cui l'analisi di interazione della sezione C2v è stata eseguita in condizioni ritenute più gravose.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 64 di 65

11 FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO

11.1 Monitoraggio in corso d'opera

Nella fase realizzativa dovrà essere posto in opera un adeguato programma di monitoraggio, volto a verificare gli effetti indotti dalla realizzazione delle opere in sotterraneo e a gestire l'applicazione delle sezioni di scavo e consolidamento previste, ottimizzandole nell'ambito delle variabilità indicate in progetto.

Per il dettaglio di quanto previsto nel programma di monitoraggio si rimanda al paragrafo 12 della relazione tecnica delle opere in sotterraneo (Rif. [1]) e a quanto indicato sul profilo geotecnico della galleria (Rif. [11]).

11.2 Criteri generali per l'applicazione delle sezioni tipo

In corso d'opera, i rilievi del fronte e i dati di monitoraggio della risposta deformativa del fronte e del cavo, correlati alle fasi di avanzamento, sono confrontati con le previsioni progettuali per consentire la verifica e la messa a punto del progetto con i criteri di seguito descritti:

1. Le condizioni geologiche e geotecniche rilevabili al fronte corrispondono con quanto previsto in progetto e la risposta deformativa rientra nel campo dei valori attesi: la previsione progettuale è confermata, si procede con la sezione tipo prevalente prevista per la tratta.
2. La risposta deformativa non rientra nel campo di accettabilità definito in progetto: la sezione tipo prevista per la tratta è ottimizzata secondo le definite variabilità, che consistono in: aumento/diminuzione ($\pm 20\%$) degli interventi di preconsolidamento, diminuzione/aumento dell'interasse delle centine ($\pm 20\%$ del passo medio), diminuzione/aumento delle distanze del rivestimento definitivo dal fronte di scavo.
3. Le condizioni geologiche e geotecniche osservate sono sensibilmente differenti da quelle ipotizzate e la risposta deformativa non rientra nel campo di accettabilità definito in progetto: si passa ad una diversa sezione tipo, tra quelle definite in progetto come eventuali per quella tratta.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)					
	GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE	COMMESSA RS2S	LOTTO 02 D 07	CODIFICA RB	DOCUMENTO GN0900 001	REV. B	FOGLIO 65 di 65

12 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione della galleria Quali, inclusa nel lotto 2 del raddoppio ferroviario della Tratta Giampilieri – Fiumefreddo della Diretrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo.

La progettazione delle opere in sotterraneo, è stata condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [15]), articolandosi nelle seguenti fasi:

- fase conoscitiva: è finalizzata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico in cui deve essere realizzata l'opera;
- 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;
- 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.
- fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa. Nel piano di monitoraggio sono individuate le 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.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO
Lotto 2: Taormina (e) – Giampilieri (e)

GALLERIA QUALI - RELAZIONE GEOTECNICA E DI
CALCOLO DELLA GALLERIA NATURALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
RS2S	02 D 07	RB	GN0900 001	B	1

ALLEGATO 1

TITOLO	Analisi con il metodo delle curve caratteristiche per le fasi di diagnosi e terapia
TIPO DI DOCUMENTO:	Documento - Formato A4
CODIFICA:	-
PAGINE:	54
DATA:	Gennaio 2018
SORGENTE:	U.O. Gallerie Italferr S.p.A.
NOTE:	-

1 DIAGNOSI

1.1 Sez. D1

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013

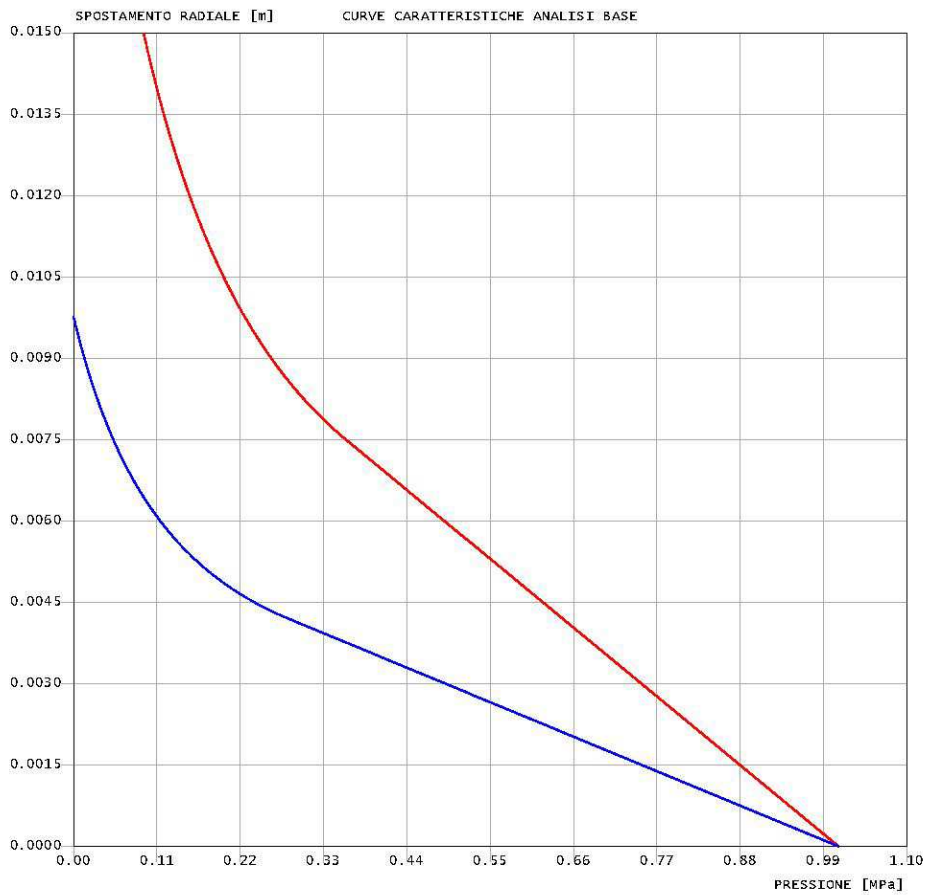


quali
Diagnosi
Sez_D1 Camerone_1

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.00
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.00

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Diagnosi
Sez_D1 Camerone_1

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	7.57000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	1.01000
Modulo di Young [MPa]	850.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	7.57000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	7.57000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.08500
Angolo attrito picco [deg]	35.00000
Coesione residua [MPa] .....	.08500
Angolo attrito residuo [MPa]	35.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.024762
Raggio plastico galleria [m]	12.702182
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.009776
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.002464
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.007181
Raggio plastico fronte sferico [m]	9.498038

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.024762
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	12.702182

1.2 Sez. D2

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013

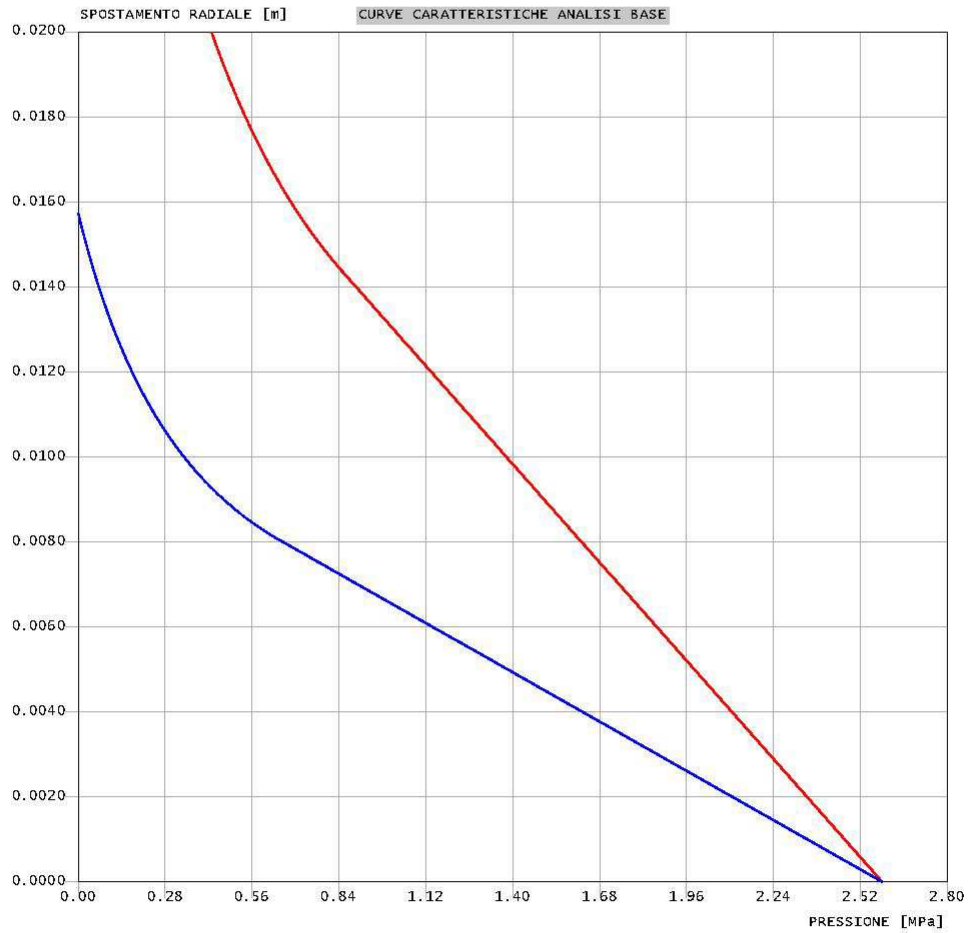


Quali
Diagnosi
Sez_D2 Camerone_2

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.00
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.00

— GALLERIA B. T.
— GALLERIA L. T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Diagnosi
Sez_D2 Camerone_2

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 9.76000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa]	2.59000
Modulo di Young [MPa]	1530.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	9.76000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	9.76000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.26500
Angolo attrito picco [deg]	36.00000
Coesione residua [MPa] .....	.26500
Angolo attrito residuo [MPa]	36.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.038482
Raggio plastico galleria [m]	14.941699
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.015742
Spostamento radiale fronte (corre]. Ns) [m] .....	.003878
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.011160
Raggio plastico fronte sferico [m]	11.715365

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.038482
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	14.941699

1.3 Sez. D3

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013

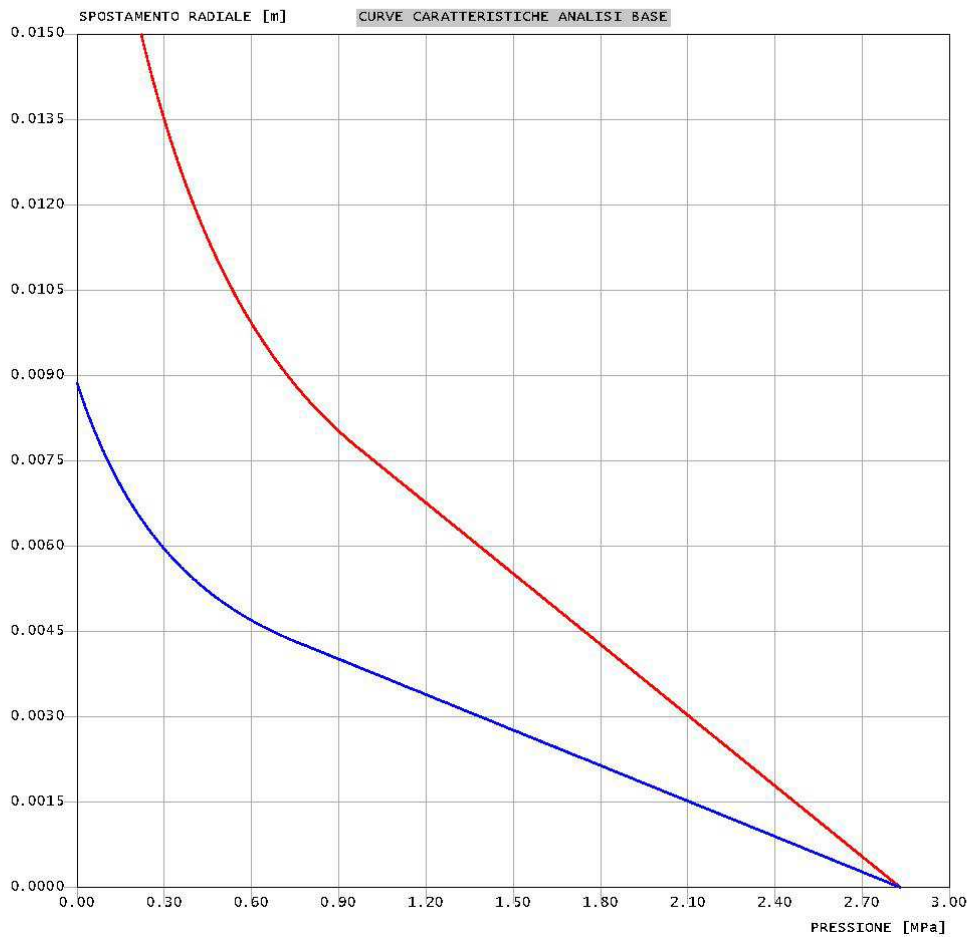


Quali
Diagnosi
Sez_D3

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.00
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.00

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Diagnosi
Sez_D3

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 4.90000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa]	2.83000
Modulo di Young [MPa]	1530.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	4.90000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.90000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.29000
Angolo attrito picco [deg]	35.00000
Coesione residua [MPa] .....	.29000
Angolo attrito residuo [MPa]	35.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.021927
Raggio plastico galleria [m]	7.696662
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.008874
Spostamento radiale fronte (corre]. Ns) [m] .....	.002182
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.006359
Raggio plastico fronte sferico [m]	5.949384

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.021927
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	7.696662

1.4 Sez. D4

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013

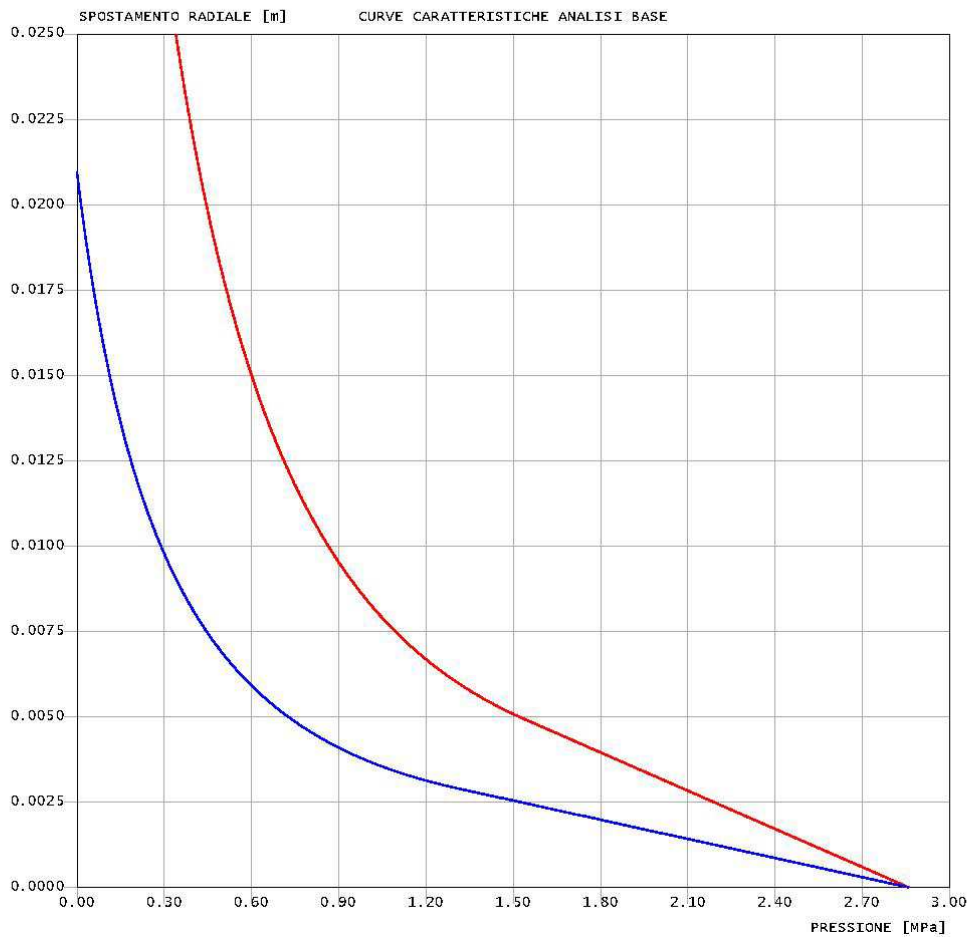


Quali
Diagnosi
Sez_D4

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.00
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.00

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Diagnosi
Sez_D4

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.90000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	2.86000
Modulo di Young [MPa]	1700.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	4.90000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.90000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.17000
Angolo attrito picco [deg]	24.00000
Coesione residua [MPa] .....	.17000
Angolo attrito residuo [MPa]	24.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.068882
Raggio plastico galleria [m]	16.082954
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.020953
Spostamento radiale fronte (corre]. Ns) [m] .....	.006854
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.019976
Raggio plastico fronte sferico [m]	8.509232

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.068882
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	16.082954

1.5 Sez. D5

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013



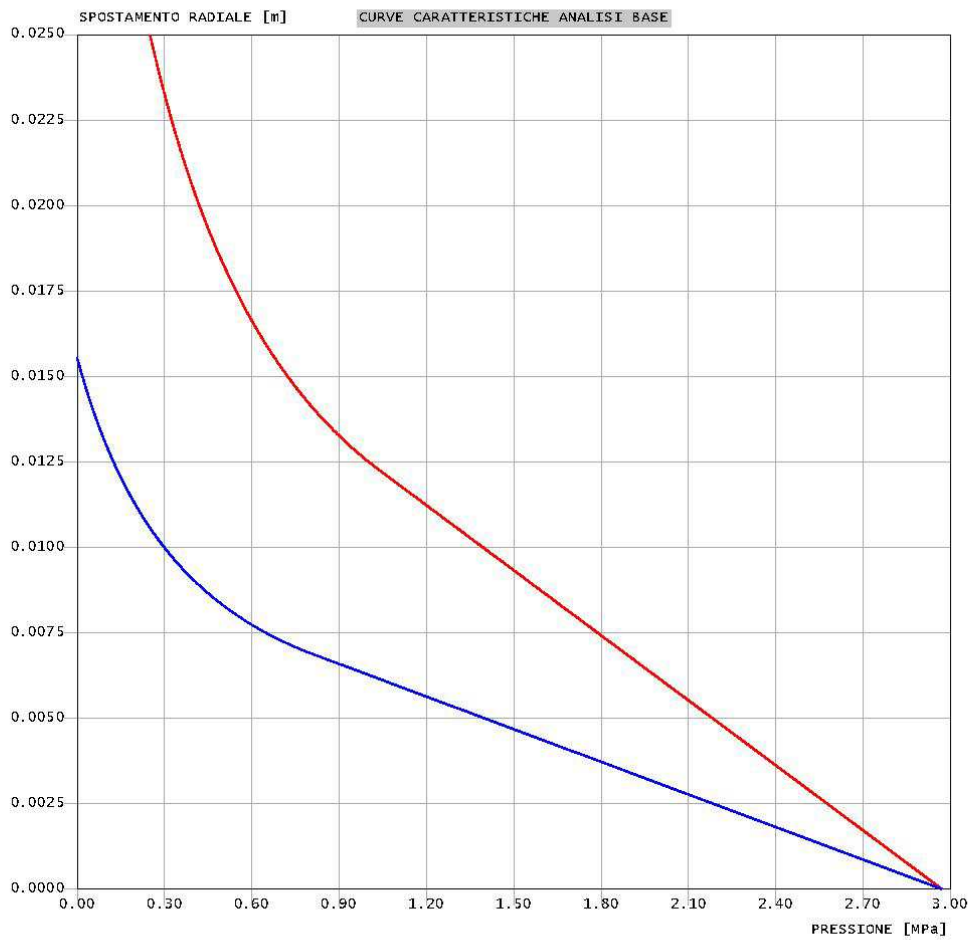
Quali
Diagnosi
Sez_D5

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.00

Pressione Rivestimento [MPa]: 0.00

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Diagnosi
Sez_D5

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 4.90000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa]	2.97000
Modulo di Young [MPa]	1000.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.45000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	49.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.90000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.27000
Angolo attrito picco [deg]	35.00000
Coesione residua [MPa] .....	.27000
Angolo attrito residuo [MPa]	35.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.040927
Raggio plastico galleria [m]	8.388034
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.015552
Spostamento radiale fronte (corre]. Ns) [m] .....	.004072
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.011869
Raggio plastico fronte sferico [m]	6.130508

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.040927
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	8.388034
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...	11.982119
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..	355.654433
Galleria non sostenuta instabile a lungo termine	

1.6 Sez. D6

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013

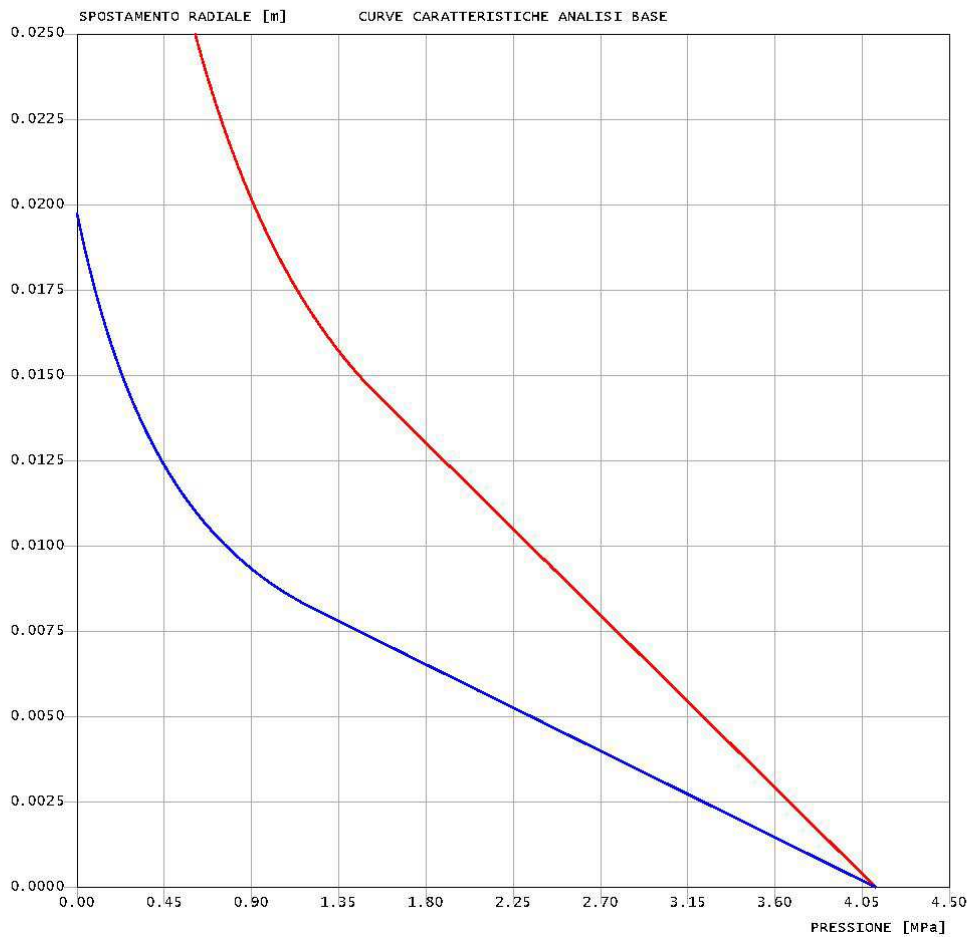


Quali
Diagnosi
Sez_D6

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.00
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.00

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Diagnosi
Sez_D6

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 4.90000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa]	4.12000
Modulo di Young [MPa]	1130.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	4.90000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.90000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.38000
Angolo attrito picco [deg]	33.00000
Coesione residua [MPa] .....	.38000
Angolo attrito residuo [MPa]	33.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.050700
Raggio plastico galleria [m]	8.462247
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.019755
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.005045
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.014703
Raggio plastico fronte sferico [m]	6.227234

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.050700
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	8.462247

1.7 Sez. D7

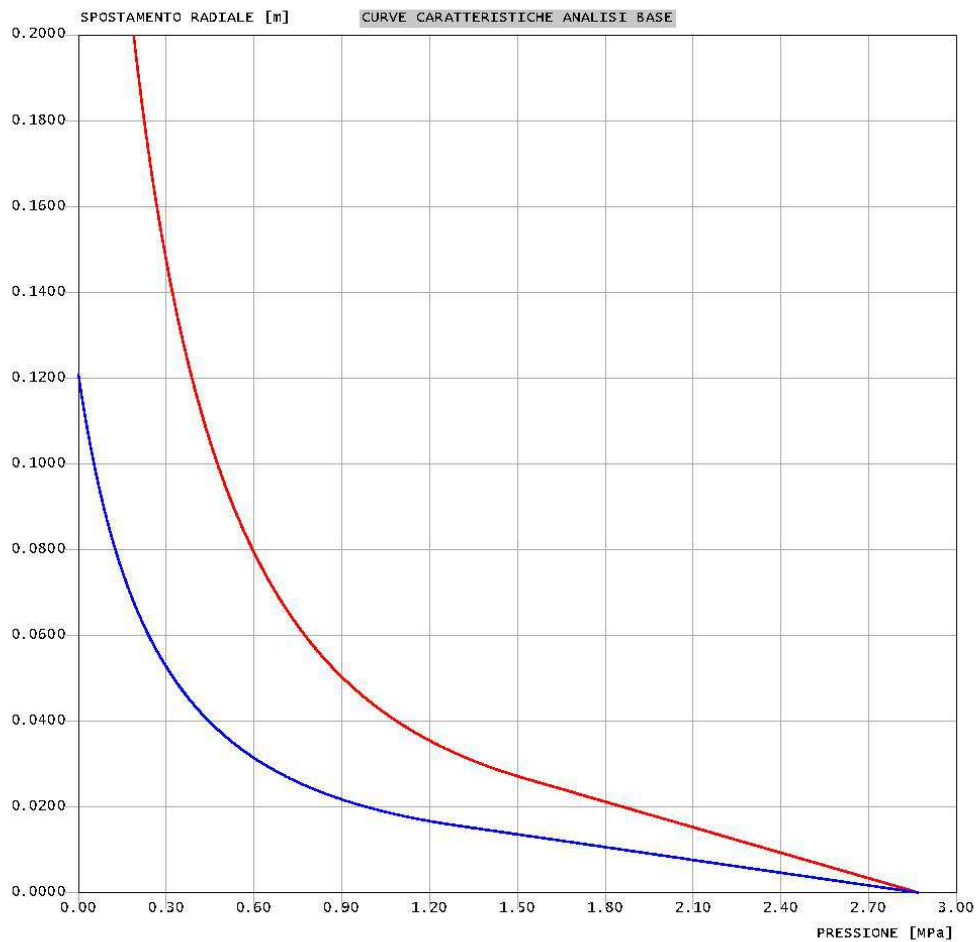
Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013



Quali
Diagnosi
sez_D7

criterio di resistenza: MOHR COULOMB
Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.00
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.00

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Diagnosi
Sez_D7

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.90000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	2.87000
Modulo di Young [MPa]	320.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	4.90000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.90000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.14500
Angolo attrito picco [deg]	25.00000
Coesione residua [MPa] .....	.14500
Angolo attrito residuo [MPa]	25.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.402652
Raggio plastico galleria [m]	16.747667
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.121010
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.040064
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.116769
Raggio plastico fronte sferico [m]	8.661492

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.402652
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	16.747667

1.8 Sez. D8

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013

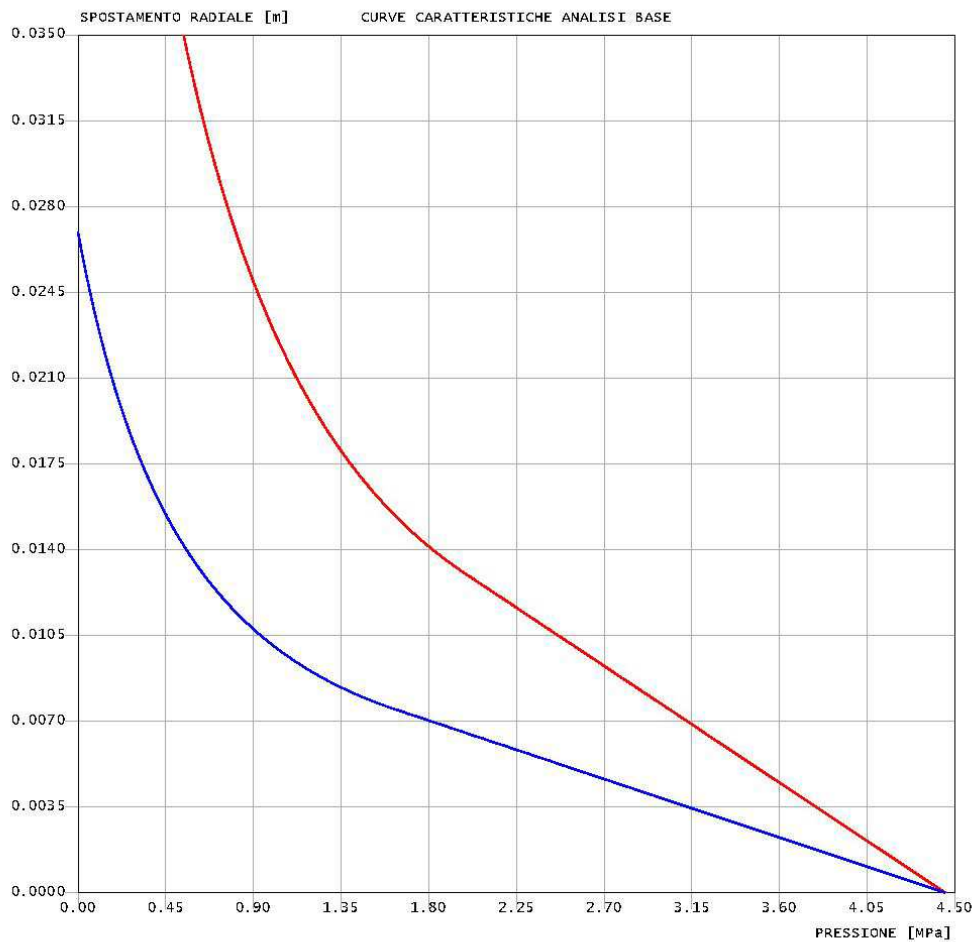


Quali
Diagnosi
sez_D8

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.00
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.00

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
 REVISIONE 1.01-2013

Quali
 Diagnosi
 Sez_D8

- TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.90000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	4.45000
Modulo di Young [MPa]	1200.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	4.90000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.90000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.34000
Angolo attrito picco [deg]	29.00000
Coesione residua [MPa] .....	.34000
Angolo attrito residuo [MPa]	29.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.075607
Raggio plastico galleria [m]	10.616660
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.026958
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.007523
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.021926
Raggio plastico fronte sferico [m]	6.944392

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.075607
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	10.616660

2 TERAPIA

2.1 Sez A1

2.1.1 Fronte

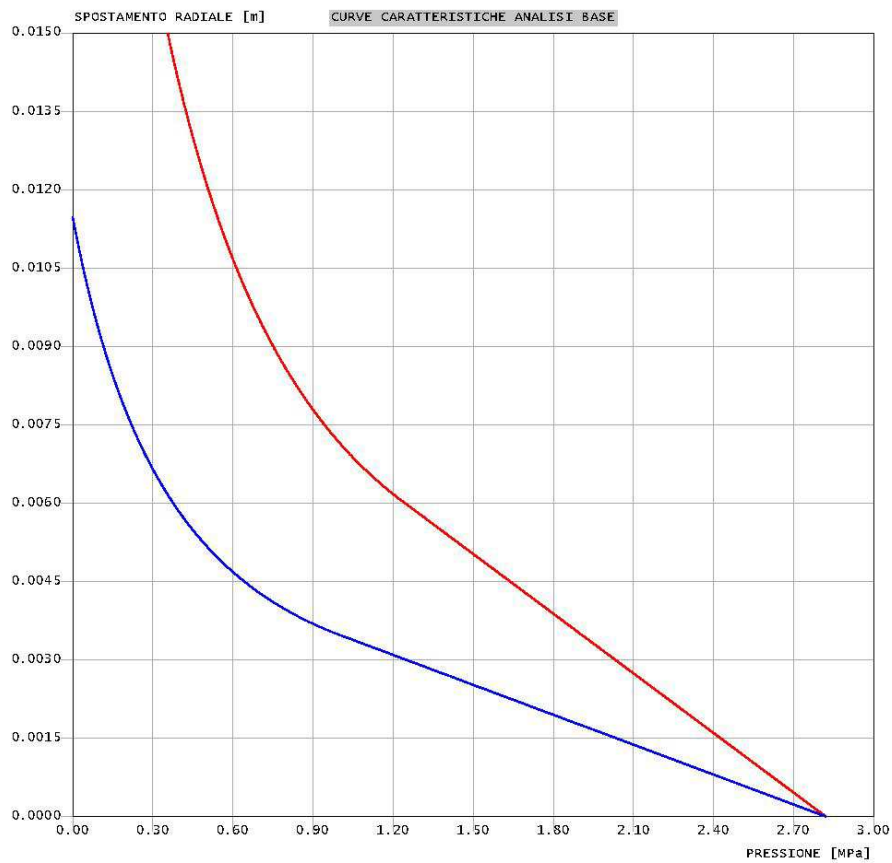
Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013



Quali
Terapia Fronte
Sez_A1

criterio di resistenza: MOHR COULOMB
Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.00
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.00

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
#####   ##   ##   ##   ##
#####   #####   #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Terapia Fronte
Sez_A1

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.50000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	2.82000
Modulo di Young [MPa]	1530.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa] ..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	4.50000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa] ..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.50000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.23200
Angolo attrito picco [deg]	29.30000
Coesione residua [MPa] .....	.23200
Angolo attrito residuo [MPa]	29.30000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.031637
Raggio plastico galleria [m]	9.315571
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.011487
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.003148
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.009175
Raggio plastico fronte sferico [m]	6.230045

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.031637
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	9.315571

2.1.2 Rivestimento

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013

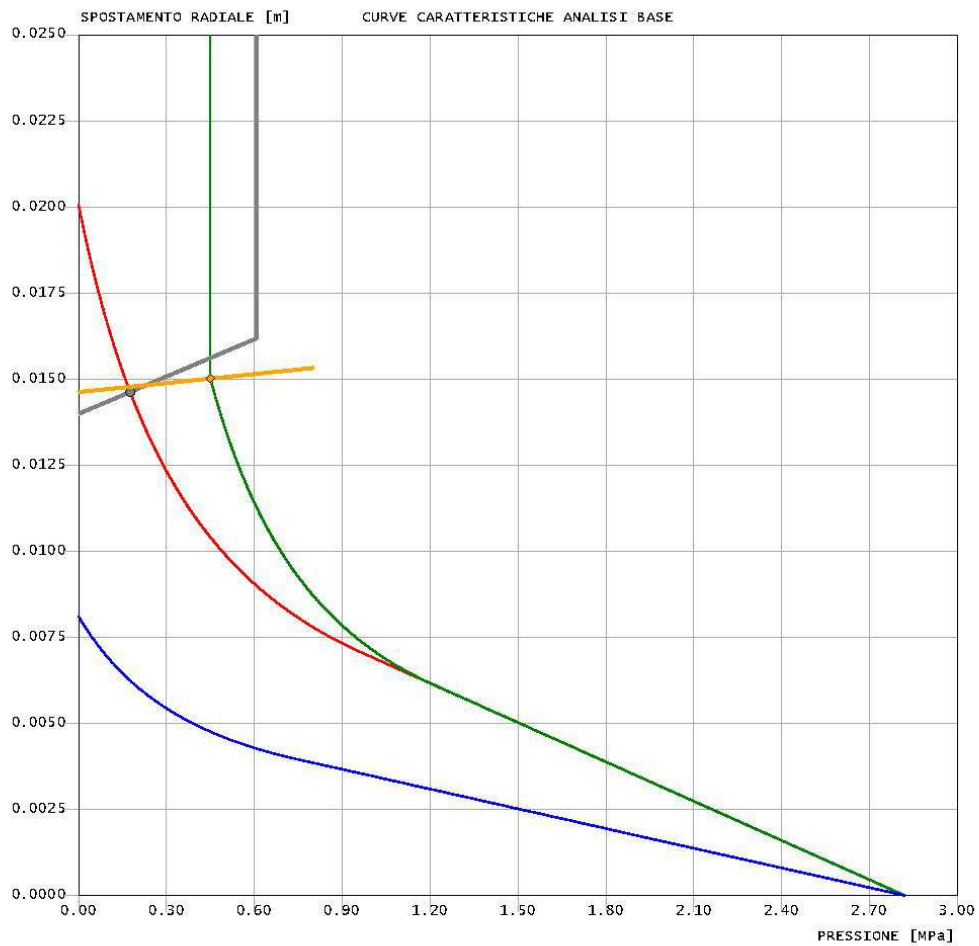


Quali
Terapia
Sez_A1_Rivestimento

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.18
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.45

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
###      #####  ##  ##  ##
###      #####  ##  ##  ##
###      #####  ##  ##  ##
#####
#####      ##  ##  ##  ##
#####      #####  #####
#####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Terapia
Sez_A1_Rivestimento

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.50000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	2.82000
Modulo di Young [MPa]	1530.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.45000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	*****
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.45000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.50000
RESISTENZA ROCCIA -----	
Coesione picco [MPa] .....	.29000
Angolo attrito picco [deg]	35.00000
Coesione residua [MPa] .....	.29000
Angolo attrito residuo [MPa]	35.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
RESISTENZA ROCCIA (CREEP A LUNGO TERMINE) -----	
Coesione picco [MPa] .....	.29000
Angolo attrito picco [deg]	35.00000
Coesione residua [MPa] .....	.29000
Angolo attrito residuo [MPa]	35.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
PRERIVESTIMENTO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	2.90000
Coefficiente riduzione rigidezza	1.00000
Forma del prerivestimento	CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE -----	
Spessore spritz [m] .....	.15000
Modulo Young spritz [MPa]	31476.00000
Coefficiente di Poisson spritz .....	.20000
Sezione centina [m2] .....	.00183
Altezza sezione centina [m2] .....	.14000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.07000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] ..	.00000573
Passo centine [m] .....	.70000
Modulo Young ferro centine [MPa]	210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa]	16.67000
Resistenza ferro centine [MPa]	261.90000
RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	45.00000
Spessore CLS [m] .....	.60000
Modulo Young CLS [MPa]	31476.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.20000
Resistenza compressione CLS [MPa]	6.25000
Opzione calcolo rivestimento	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	

[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]
 Gioco radiale posa in opera rivestimento [m]00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa]000000
 Spostamento radiale galleria [m]020082
 Raggio plastico galleria [m] 7.084766
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
 Spostamento radiale fronte sferico [m]008115
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]001998
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]005824
 Raggio plastico fronte sferico [m] 5.463720

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .01465
 LAMBDA : .93776

Trasformazione Omotetica

U [m] : .01822
 LAMBDA : .98301

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] : .01399
 LAMBDA : .92683

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .01153
 LAMBDA : .87366

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .01302
 LAMBDA : .90846

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] : .01992
 LAMBDA : .99864

Trasformazione Omotetica

U [m] : .02008
 LAMBDA : 1.00000

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] : .01463
 LAMBDA : .99955

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] : .01256
 LAMBDA : .99923

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] : .01380
 LAMBDA : .99944

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa]000000
 Spost. radiale galleria fine calcolo [m]020082
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 7.084766
 Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa]000000
 Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ... 344.415450
 Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] .. 30.012275
 Galleria non sostenuta instabile a lungo termine

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m] 6.19547
 Pressione punto di equilibrio [MPa]17640
 Spostamento punto di equilibrio [m]01463
 Spostamento galleria alla messa in opera [m]01399
 Convergenza radiale prerivestimento [m]00064
 Tasso di deconfinamento alla messa in opera926828
 SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)
 Tensione spritz [MPa] 4.82536
 Tensione centine [MPa] 29.63959
 Coefficiente di sicurezza spritz 3.45466
 Coefficiente di sicurezza centine 8.83615

Pressione rottura spritz [MPa] .....	.60589
Pressione rottura centine [MPa]	1.54972
Rigidezza spritz [MPa]	1120.61550
Rigidezza centinatura [MPa]	122.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	6.66417
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.45009
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.01502
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.01463
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00039
Tensione CLS [MPa]	3.50485
Coefficiente di sicurezza CLS	1.78324
Pressione rottura CLS [MPa] .....	.80262
Rigidezza anello CLS [MPa]	5015.65156
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.999552

2.2 Sez. A2

2.2.1 Fronte

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013



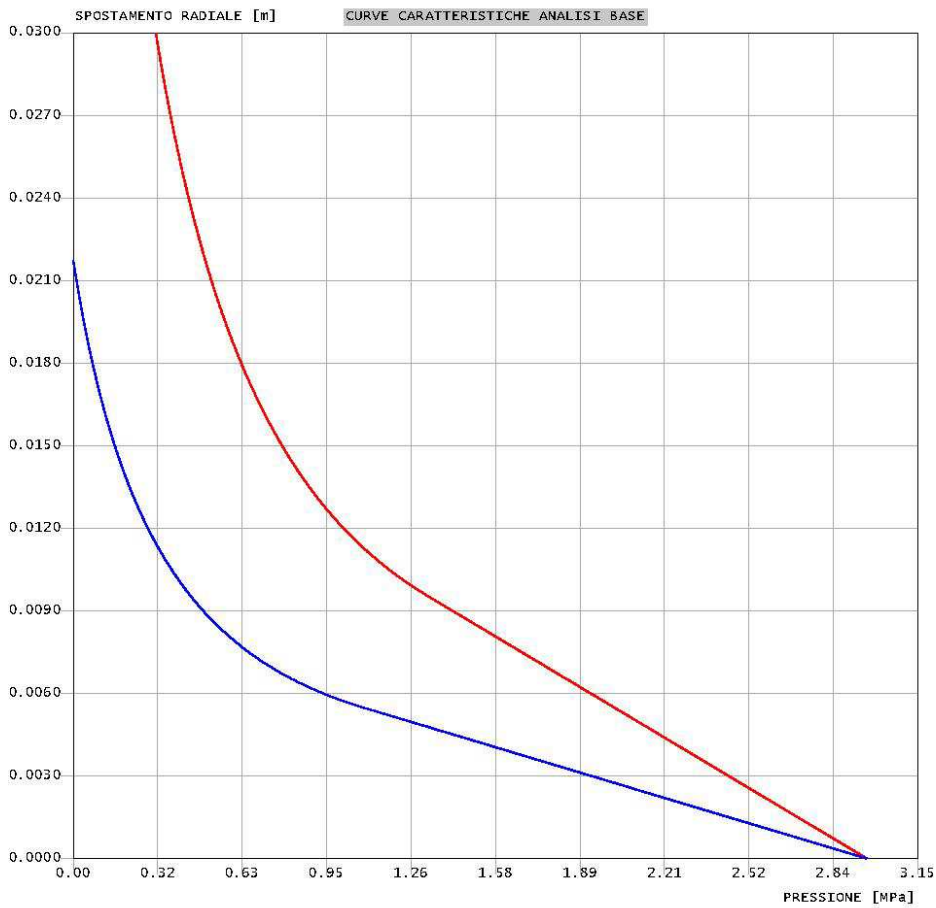
Quali
Terapia
Sez_A2_Fronte

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.00

Pressione Rivestimento [MPa]: 0.00

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```
#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ## ## ## ##
#####
###
```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Terapia
Sez_A2_Fronte

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

DATI ANALISI

R galleria [m]	4.50000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	2.96000
Modulo di Young [MPa]	1000.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.60000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa] ..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	45.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa] ..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.50000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.21600
Angolo attrito picco [deg]	29.30000
Coesione residua [MPa] .....	.21600
Angolo attrito residuo [deg]	29.30000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000

RISULTATO ANALISI FRONTE DI SCAVO

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.071815
Raggio plastico galleria [m]	11.408863
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.021754
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.007146
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.020826
Raggio plastico fronte sferico [m]	6.597880

RISULTATO ANALISI GALLERIA

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.071815
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	11.408863
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...	8.012276
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..	311.310005
Galleria non sostenuta instabile a lungo termine	

2.2.2 Consolidamenti e rivestimenti

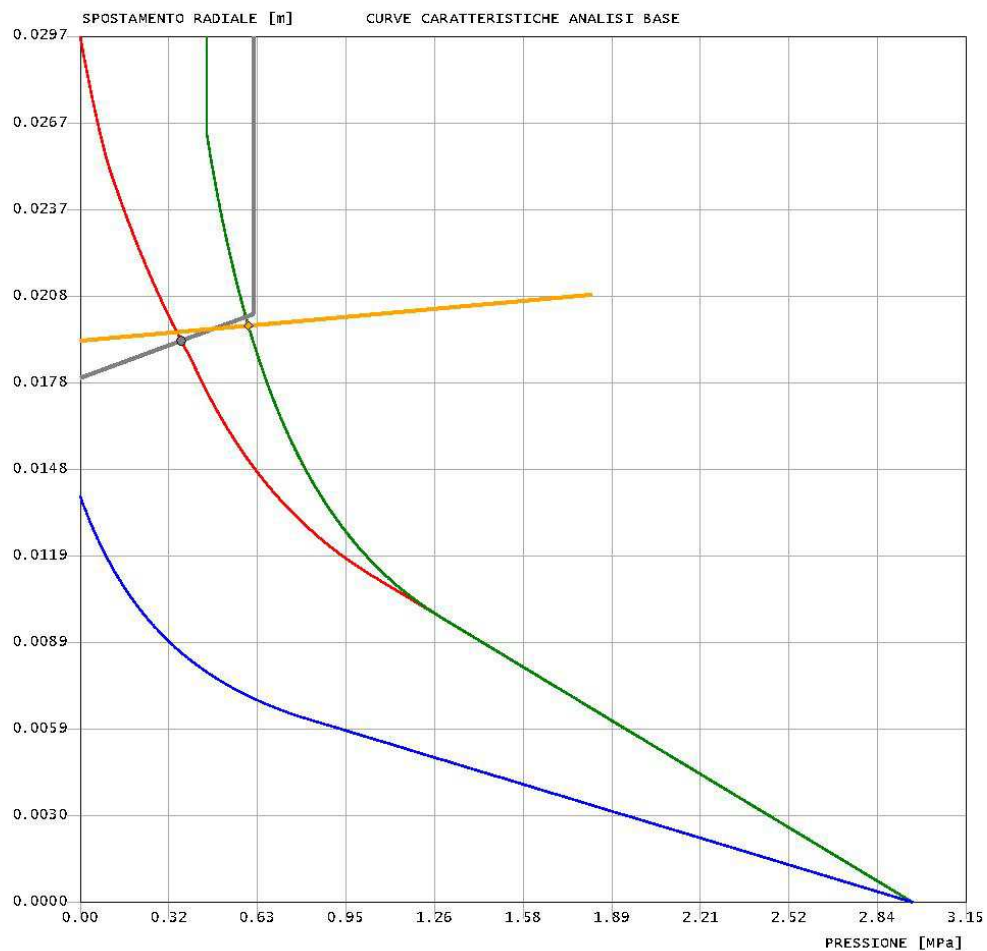
Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013



Quali
Terapia
Sez_A2_Rivestimento

criterio di resistenza: MOHR COULOMB
Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.36
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.60

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



 #####
 ###
 ###
 ### ##### ## ## ##
 ### ##### ## ## ##
 ### ##### ## ## ##
 ##### ## ## ## ##
 ##### ## ## ## ##
 ##### ##

CALCOLO GALLERIE CON METODO
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
 REVISIONE 1.01-2013

Quali
 Terapia
 Sez_A2_Rivestimento

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione ometetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione ometetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] 4.50000

PARAMETRI GEOTECNICI -----

Tensione originaria [MPa]	2.96000
Modulo di Young [MPa]	1000.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.45000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	1000000.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.45000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.50000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.27000
Angolo attrito picco [deg]	35.00000
Coesione residua [MPa] .....	.27000
Angolo attrito residuo [MPa]	35.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
RESISTENZA ROCCIA (CREEP A LUNGO TERMINE)	
Coesione picco [MPa] .....	.27000
Angolo attrito picco [deg]	35.00000
Coesione residua [MPa] .....	.27000
Angolo attrito residuo [MPa]	35.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
PRERIVESTIMENTO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	1.20000
Coefficiente riduzione rigidezza	1.00000
Forma del prerivestimento	CIRCOLARE CHIUSO
BARRE AD ADERENZA CONTINUA -----	
Modulo di Young [MPa]	210000.00000
Resistenza a trazione [MPa]	391.30000
Tensione tesatura iniziale [MPa] .....	.00000
Lunghezza [m]	4.50000
Sezione reagente [m2] .....	.00045
Spaziatura circonferenziale [deg]	19.40000
Spaziatura longitudinale [MPa]	1.20000
Coesione interfaccia barra-roccia [MPa] .....	.30000
Angolo attrito interfaccia barra-roccia [deg]	32.00000
Perimetro sezione sfilamento [m] .....	.16000
Opzione dispositivo di ripartizione	1
[0 dispositivo di ripartizione assente]	
Distanza dal fronte attivazione barre [m]	1.30000
SPRITZ-BETON E CENTINE	
Spessore spritz [m] .....	.15000
Modulo Young spritz [MPa]	31476.00000
Coefficiente di Poisson spritz .....	.20000
Sezione centina [m2] .....	.00183
Altezza sezione centina [m2] .....	.14000

Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.07000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] .	.00000573
Passo centine [m] .....	.60000
Modulo Young ferro centine [MPa]	210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa]	16.67000
Resistenza ferro centine [MPa]	261.90000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	40.00000
Spessore CLS [m] .....	.60000
Modulo Young CLS [MPa]	31476.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.20000
Resistenza compressione CLS [MPa]	14.17000
Opzione calcolo rivestimento	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]	
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.029684
Raggio plastico galleria [m]	6.889103
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.013922
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.003500
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.010202
Raggio plastico fronte sferico [m]	5.582087

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.02011
LAMBDA :	.88833
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.02617
LAMBDA :	.94939
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico	
U [m] :	.01798
LAMBDA :	.85613
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.01133
LAMBDA :	.65678
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.01543
LAMBDA :	.80465

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.03479
LAMBDA :	.99839
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.03518
LAMBDA :	1.00000
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico	
U [m] :	.01930
LAMBDA :	.99963
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.01389
LAMBDA :	.99912
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.01714
LAMBDA :	.99950

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DELLE BARRE PASSIVE -----

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.02047
LAMBDA :	.89304
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.02664

LAMBDA : .95296

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico
 U [m] : .01807
 LAMBDA : .86666

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
 U [m] : .01152
 LAMBDA : .68189

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
 U [m] : .01556
 LAMBDA : .81894

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa]000000
 Spost. radiale galleria fine calcolo [m]029684
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] 6.889103
 Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa]000000
 Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ... 526.921017
 Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] .. 29.629026
 Galleria non sostenuta instabile a lungo termine

PRERIVESTIMENTO -----
 Raggio plastico punto di equilibrio [m] 5.73307
 Pressione punto di equilibrio [MPa]35914
 Spostamento punto di equilibrio [m]01925
 Spostamento galleria alla messa in opera [m]01798
 Convergenza radiale prerivestimento [m]00128
 Tasso di deconfinamento alla messa in opera856132

BARRE AD ADERENZA CONTINUA -----
 Fattore di sicurezza rottura a trazione 9.00204
 Fattore di sicurezza sfilamento 2.72440
 Spostamento galleria alla messa in opera [m]01862
 Convergenza radiale barre [m]01107
 Tasso di deconfinamento alla messa in opera866658
 SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)
 Tensione spritz [MPa] 9.69849
 Tensione centine [MPa] 59.57255
 Coefficiente di sicurezza spritz 1.71882
 Coefficiente di sicurezza centine 4.39632
 Pressione rottura spritz [MPa]61581
 Pressione rottura centine [MPa] 1.57508
 Rigidezza spritz [MPa] 1120.61550
 Rigidezza centinatura [MPa] 142.33333

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----
 Raggio plastico punto di equilibrio [m] 6.14968
 Pressione punto di equilibrio [MPa]59778
 Spostamento punto di equilibrio [MPa]01977
 Spostamento galleria alla messa in opera [m]01925
 Convergenza radiale rivestimento [m]00052
 Tensione CLS [MPa] 4.65492
 Coefficiente di sicurezza CLS 3.04409
 Pressione rottura CLS [MPa] 1.81969
 Rigidezza anello CLS [MPa] 5015.65156
 Tasso di deconfinamento alla messa in opera999633

2.3 Sez. B1_ACS

2.3.1 Fronte

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013

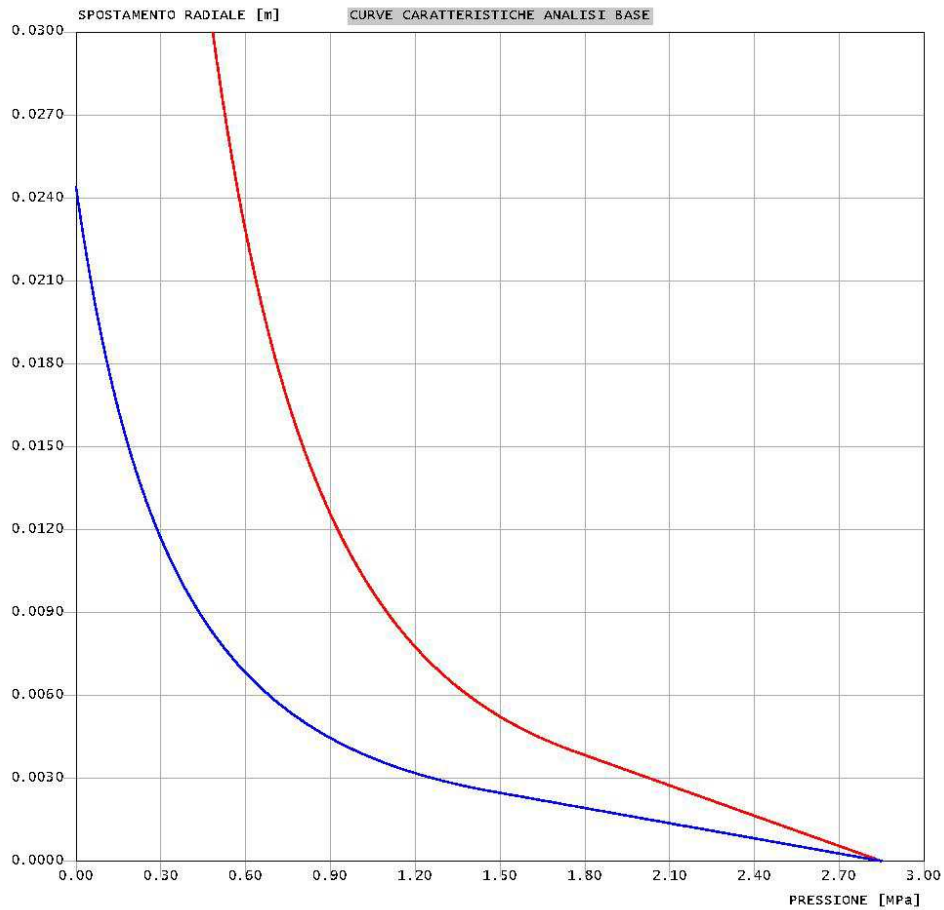


Quali
Terapia
Sez_B1_ACS_Fronte

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.00
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.00

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ##### ## ## ## ## ##
##### ##### ## ## ## ##
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Terapia
Sez_B1_ACS_Fronte

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione ometetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione ometetica)

D A T I A N A L I S I

```

R galleria [m] ..... 4.80000

PARAMETRI GEOTECNICI -----
Tensione originaria [MPa] ..... 2.85000
Modulo di Young [MPa] ..... 1700.00000
Coefficiente di Poisson ..... .30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . .00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. .00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] ..... 4.80000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] ..... 4.80000
RESISTENZA ROCCIA
Coesione picco [MPa] ..... .13600
Angolo attrito picco [deg] ..... 19.60000
Coesione residua [MPa] ..... .13600
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 19.60000
Angolo dilatanza [deg] ..... .00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] ..... .00000
Modulo di softening H [MPa] ..... .00000
FRONTE DI SCAVO RINFORZATO
Consolidamento generico del fronte
Incremento coesione picco [MPa] ..... .06700
Pressione sul fronte di scavo [MPa] ..... .00000
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato
Coesione picco [MPa] ..... .20300
Coesione residua [MPa] ..... .13600

```

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

```

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] ..... .000000
Spostamento radiale galleria [m] ..... .160489
Raggio plastico galleria [m] ..... 26.596309
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .024404
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .015969
Spostamento radiale fronte (trasf. ometet.) [m] ... .046542
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 9.128082

```

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

```

Pressione fine calcolo [MPa] ..... .000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .160489
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 26.596309

```


2.3.2 Rivestimento

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013

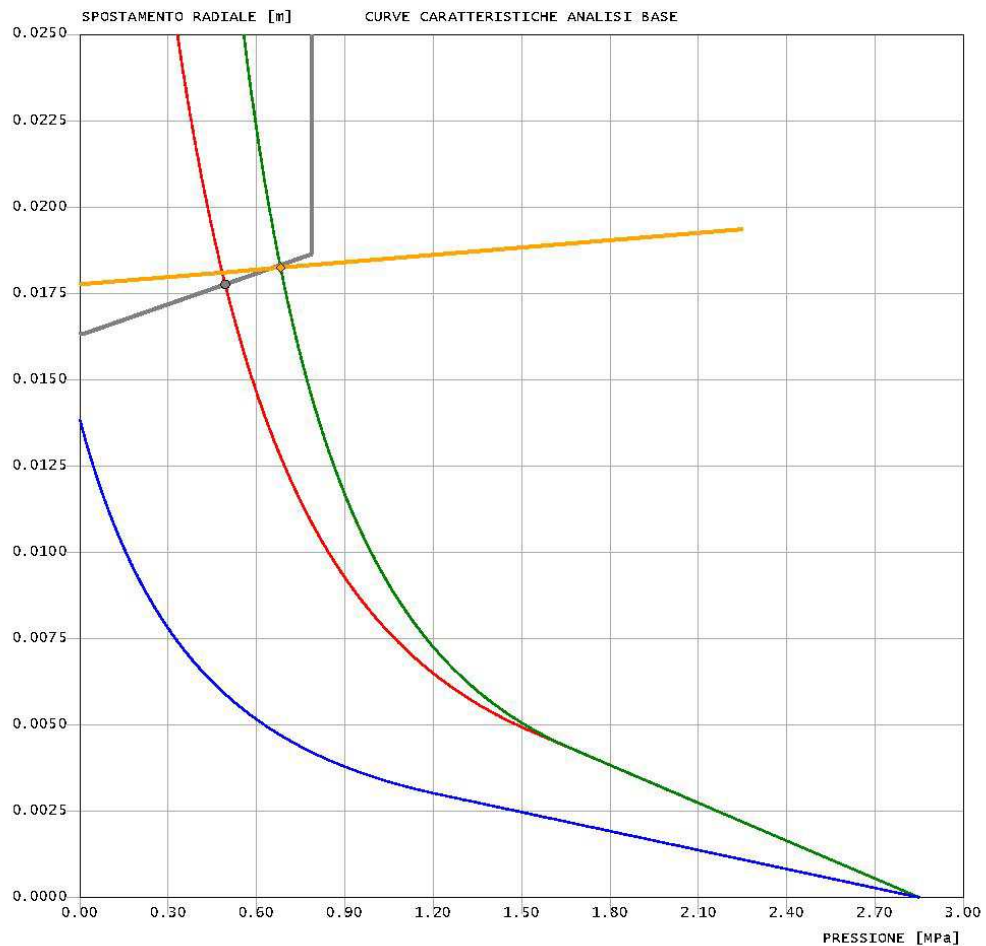


Quali
Terapia
Sez_81_ACS_Rivestimento

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.49
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.68

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	14.00000
Spessore CLS [m] .....	.80000
Modulo Young CLS [MPa]	31476.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.20000
Resistenza compressione CLS [MPa]	14.17000
Opzione calcolo rivestimento	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]	
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.069287
Raggio plastico galleria [m]	16.013035
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.013866
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.006894
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.020093
Raggio plastico fronte sferico [m]	7.340034

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.02100
LAMBDA :	.85589

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.03592
LAMBDA :	.93291

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] :	.01632
LAMBDA :	.81088

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.01037
LAMBDA :	.71271

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.02193
LAMBDA :	.86301

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.05600
LAMBDA :	.98101

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.06539
LAMBDA :	.99507

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] :	.01779
LAMBDA :	.99522

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.01246
LAMBDA :	.99274

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.02303
LAMBDA :	.99654

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.069287
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	16.013035
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...	257.079648
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..	126.099822
Galleria non sostenuta instabile a lungo termine	

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m]	8.54596
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.49399
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.01776
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.01632

Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00144
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.810883
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa]	10.37248
Tensione centine [MPa]	63.04645
Coefficiente di sicurezza spritz	1.60714
Coefficiente di sicurezza centine	4.15408
Pressione rottura spritz [MPa] .....	.77637
Pressione rottura centine [MPa]	2.00674
Rigidezza spritz [MPa]	1409.57009
Rigidezza centinatura [MPa]	199.50000
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	9.06755
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.68179
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.01825
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.01776
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00048
Tensione CLS [MPa]	4.29368
Coefficiente di sicurezza CLS	3.30020
Pressione rottura CLS [MPa]	2.25006
Rigidezza anello CLS [MPa]	6495.63679
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.995223

2.4 Sez. B1_MMF

2.4.1 Fronte

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013

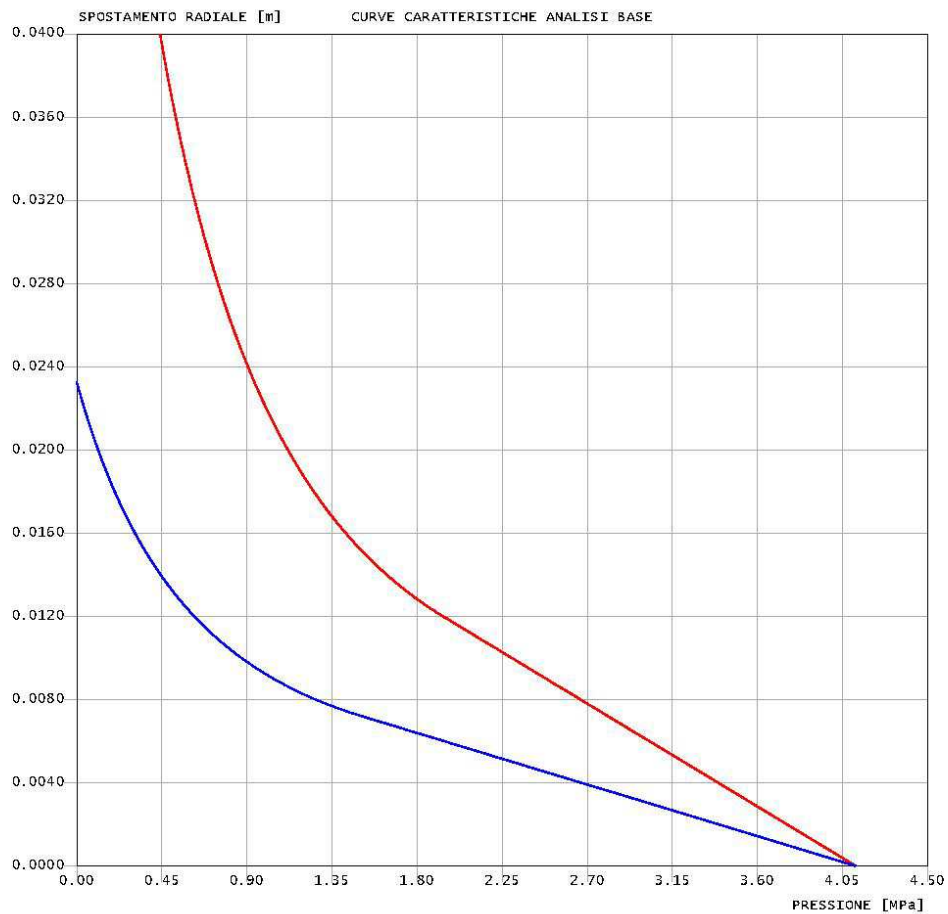


Quali
Terapia
Sez_B1_MMF_Fronte

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.00
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.00

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```
#####
#####
###
###
##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
#####
##
```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Terapia
Sez_B1_MMF_Fronte

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.80000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	4.12000
Modulo di Young [MPa]	1130.00000
Coefficiente di Poisson	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3]	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa]	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	4.80000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.80000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa]	.30400
Angolo attrito picco [deg]	27.50000
Coesione residua [MPa]	.30400
Angolo attrito residuo [MPa]	27.50000
Angolo dilatanza [deg]	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa]	.00000
Modulo di softening H [MPa]	.00000
FRONTE DI SCAVO RINFORZATO	
Consolidamento generico del fronte	
Incremento coesione picco [MPa]	.09600
Pressione sul fronte di scavo [MPa]	.00000
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa]	.40000
Coesione residua [MPa]	.30400

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa]	.000000
Spostamento radiale galleria [m]	.083871
Raggio plastico galleria [m]	11.397346
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m]	.023270
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]	.008345
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]	.024323
Raggio plastico fronte sferico [m]	6.608688

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa]	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m]	.083871
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	11.397346

2.4.2 Rivestimento

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013

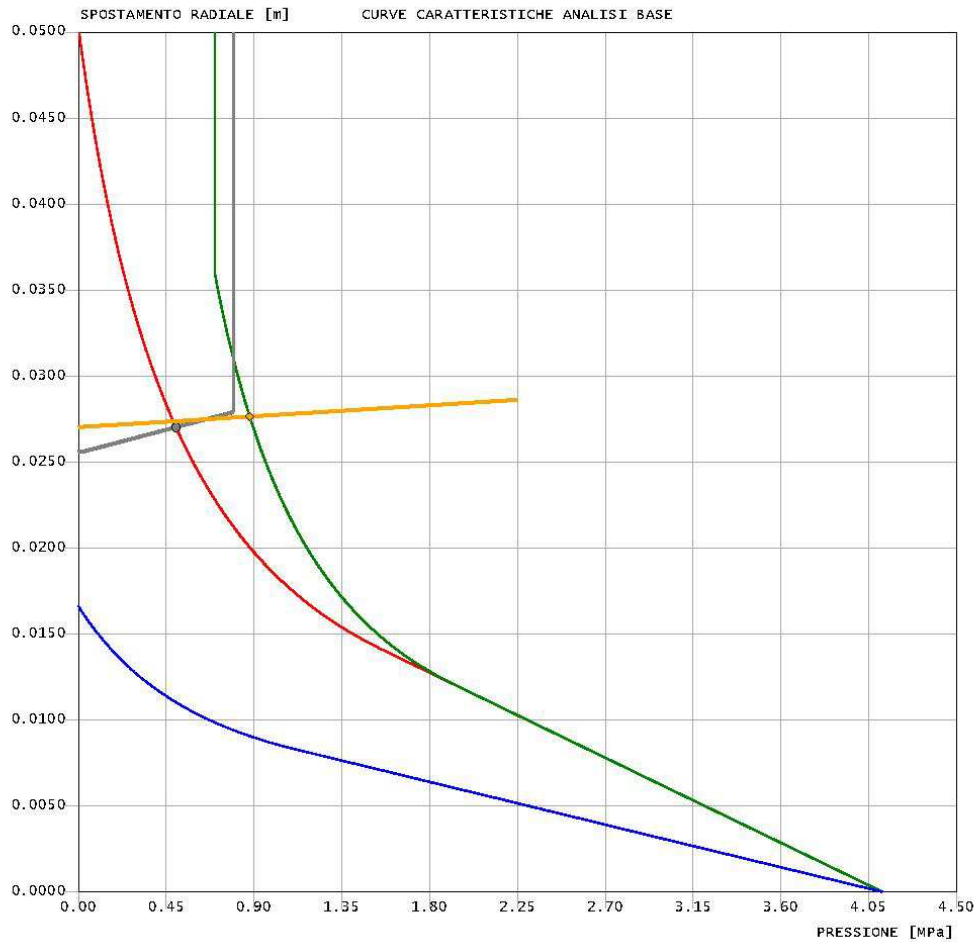


Quali
Terapia
Sez_B1_MMF_Rivestimento

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.50
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.88

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```
#####
#####
###
###
###   #####  ##  ##  ##
###   #####  ##  ##  ##
###   #####  ##  ##  ##
#####   #####  ##  ##  ##
#####   #####  #####
#####
```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Terapia
Sez_B1_MMF_Rivestimento

- TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.80000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	4.12000
Modulo di Young [MPa]	1130.00000
Coefficiente di Poisson	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3]	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa]	.70000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	1000000.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]	.70000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.80000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa]	.38000
Angolo attrito picco [deg]	33.00000
Coesione residua [MPa]	.38000
Angolo attrito residuo [MPa]	33.00000
Angolo dilatanza [deg]	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa]	.00000
Modulo di softening H [MPa]	.00000
RESISTENZA ROCCIA (CREEP A LUNGO TERMINE)	
Coesione picco [MPa]	.38000
Angolo attrito picco [deg]	33.00000
Coesione residua [MPa]	.38000
Angolo attrito residuo [MPa]	33.00000
Angolo dilatanza [deg]	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa]	.00000
Modulo di softening H [MPa]	.00000
FRONTE DI SCAVO RINFORZATO	
Consolidamento generico del fronte	
Incremento coesione picco [MPa]	.12000
Pressione sul fronte di scavo [MPa]	.00000
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa]	.50000
Coesione residua [MPa]	.38000
PRERIVESTIMENTO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	2.00000
Coefficiente riduzione rigidezza	1.00000
Forma del prerivestimento	CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE	
Spessore spritz [m]	.20000
Modulo Young spritz [MPa]	31476.00000
Coefficiente di Poisson spritz	.20000
Sezione centina [m2]	.00228
Altezza sezione centina [m2]	.16000
Posizione baricentro sezione centina [m]	.08000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4]	.00000935
Passo centine [m]	.50000
Modulo Young ferro centine [MPa]	210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa]	16.67000
Resistenza ferro centine [MPa]	261.90000
RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----	

Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	14.00000
Spessore CLS [m] .....	.80000
Modulo Young CLS [MPa]	31476.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.20000
Resistenza compressione CLS [MPa]	14.17000
Opzione calcolo rivestimento	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]	
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.050306
Raggio plastico galleria [m]	8.362499
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.016623
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.006665
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.014589
Raggio plastico fronte sferico [m]	5.803015

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.02997
LAMBDA :	.90419

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.04155
LAMBDA :	.97006

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] :	.02560
LAMBDA :	.86397

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.01996
LAMBDA :	.78521

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.02437
LAMBDA :	.85005

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.04655
LAMBDA :	.98852

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.05015
LAMBDA :	.99957

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] :	.02700
LAMBDA :	.99403

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.02204
LAMBDA :	.99058

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.02590
LAMBDA :	.99342

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.050306
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	8.362499
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...	773.213193
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..	32.994675
Galleria non sostenuta instabile a lungo termine	

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m]	6.40219
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.50020
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.02703
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.02560

Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00143
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.863970
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa]	10.31702
Tensione centine [MPa]	62.70933
Coefficiente di sicurezza spritz	1.61578
Coefficiente di sicurezza centine	4.17641
Pressione rottura spritz [MPa] .....	.77637
Pressione rottura centine [MPa]	2.00674
Rigidezza spritz [MPa]	1409.57009
Rigidezza centinatura [MPa]	199.50000
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	6.91083
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.87801
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.02765
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.02703
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00062
Tensione CLS [MPa]	5.52940
Coefficiente di sicurezza CLS	2.56267
Pressione rottura CLS [MPa]	2.25006
Rigidezza anello CLS [MPa]	6495.63679
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.994031

2.5 Sez. B1_VEP1

2.5.1 Fronte

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013



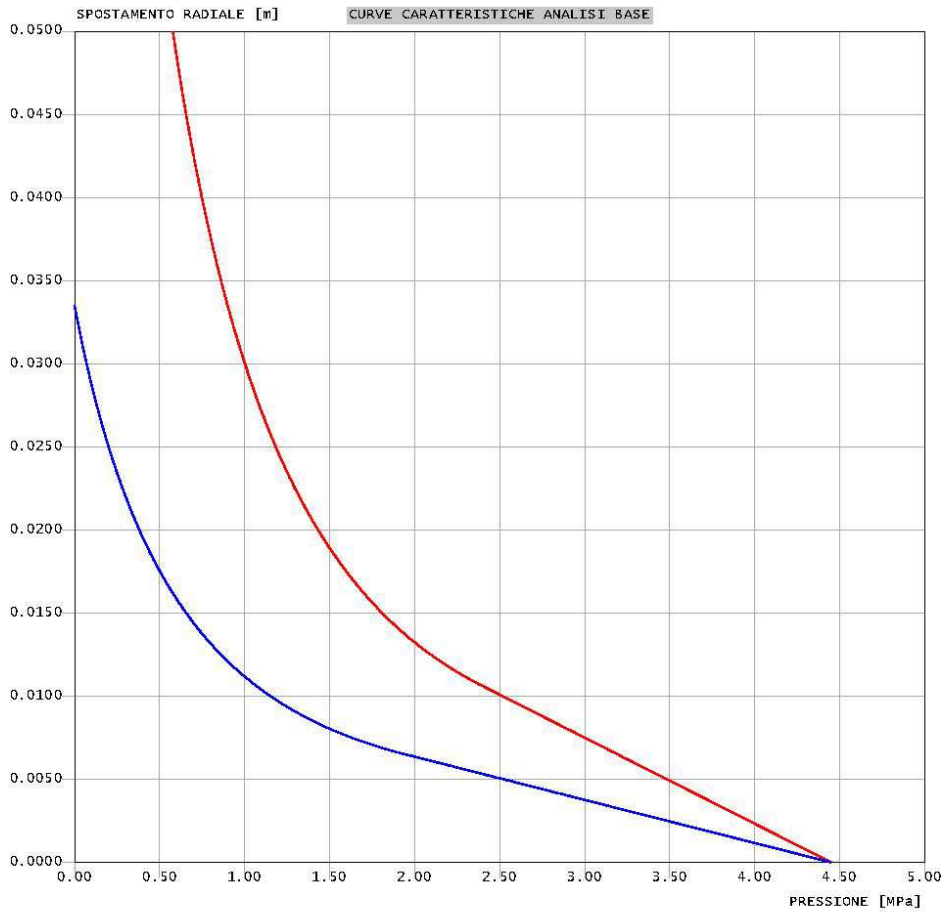
Quali
Terapia
Sez_B1_VEP1_Fronte

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.00

Pressione Rivestimento [MPa]: 0.00

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Terapia
Sez_B1_VEP1_Fronte

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.80000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	4.45000
Modulo di Young [MPa]	1200.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	4.80000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.80000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.27200
Angolo attrito picco [deg]	23.90000
Coesione residua [MPa] .....	.27200
Angolo attrito residuo [deg]	23.90000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
FRONTE DI SCAVO RINFORZATO	
Consolidamento generico del fronte	
Incremento coesione picco [MPa] .....	.08900
Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	.00000
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa] .....	.36100
Coesione residua [MPa] .....	.27200

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.145164
Raggio plastico galleria [m]	15.626676
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.033514
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.014444
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.042098
Raggio plastico fronte sferico [m]	7.563741

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.145164
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	15.626676

2.5.2 Rivestimento

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013

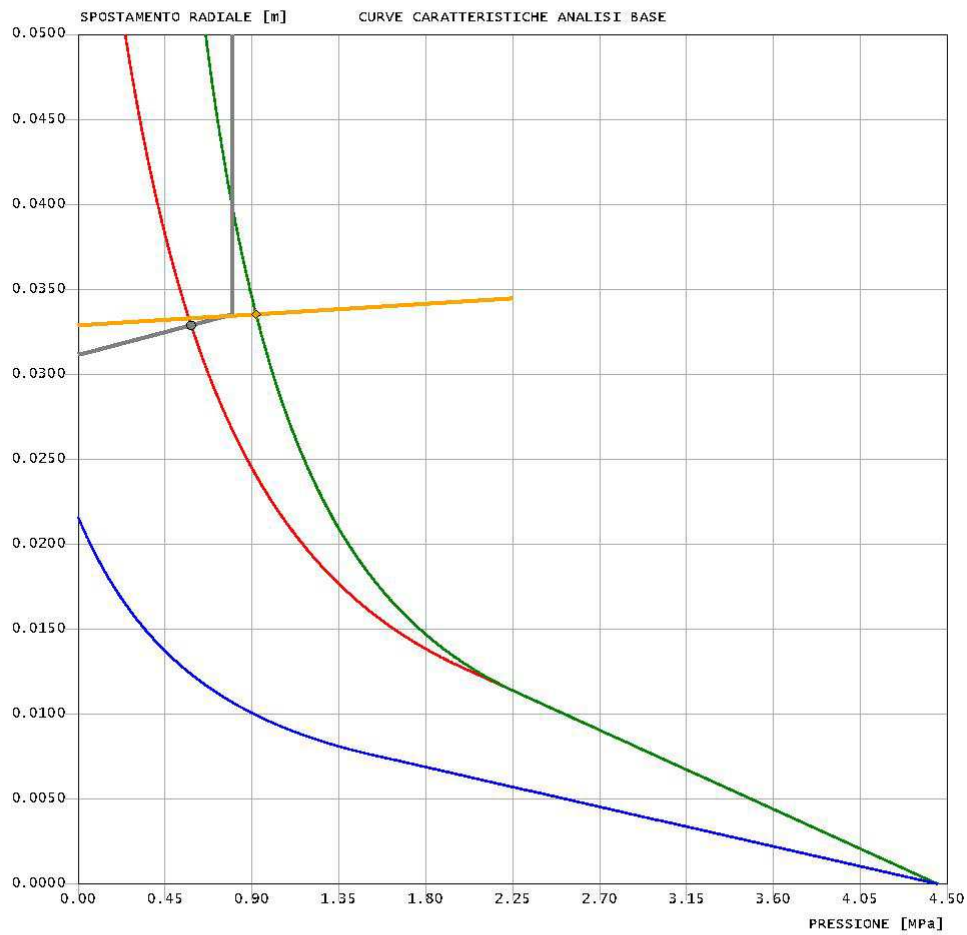


Quali
Terapia
sez_81_VEP1_Rivestimento

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.59
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.92

— GALLERIA S. T.
— GALLERIA L. T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### ##### #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Terapia
Sez_B1_VEP1_Rivestimento

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.80000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	4.45000
Modulo di Young [MPa]	1200.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.60000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	1000000.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.60000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.80000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.34000
Angolo attrito picco [deg]	29.00000
Coesione residua [MPa] .....	.34000
Angolo attrito residuo [MPa]	29.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
RESISTENZA ROCCIA (CREEP A LUNGO TERMINE)	
Coesione picco [MPa] .....	.34000
Angolo attrito picco [deg]	29.00000
Coesione residua [MPa] .....	.34000
Angolo attrito residuo [MPa]	29.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
FRONTE DI SCAVO RINFORZATO	
Consolidamento generico del fronte	
Incremento coesione picco [MPa] .....	.11100
Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	.00000
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa] .....	.45100
Coesione residua [MPa] .....	.34000
PRERIVESTIMENTO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	2.00000
Coefficiente riduzione rigidezza	1.00000
Forma del prerivestimento	CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE	
Spessore spritz [m] .....	.20000
Modulo Young spritz [MPa]	31476.00000
Coefficiente di Poisson spritz .....	.20000
Sezione centina [m2] .....	.00228
Altezza sezione centina [m2] .....	.16000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.08000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] ..	.00000935
Passo centine [m] .....	.50000
Modulo Young ferro centine [MPa]	210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa]	16.67000
Resistenza ferro centine [MPa]	261.90000
RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	14.00000

Spessore CLS [m] .....	.80000
Modulo Young CLS [MPa]	31476.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.20000
Resistenza compressione CLS [MPa]	14.17000
Opzione calcolo rivestimento	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]	
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.075469
Raggio plastico galleria [m]	10.550483
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.021609
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.007509
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.021886
Raggio plastico fronte sferico [m]	6.382227

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.03972
LAMBDA :	.90606

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.05711
LAMBDA :	.96487

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] :	.03121
LAMBDA :	.85713

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.02210
LAMBDA :	.76913

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.03138
LAMBDA :	.85832

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot

U [m] :	.06739
LAMBDA :	.98669

Trasformazione Omotetica

U [m] :	.07464
LAMBDA :	.99875

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico

U [m] :	.03286
LAMBDA :	.99349

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns

U [m] :	.02460
LAMBDA :	.98948

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica

U [m] :	.03301
LAMBDA :	.99354

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.075469
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	10.550483
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...	624.876151
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..	57.008634
Galleria non sostenuta instabile a lungo termine	

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m]	7.29663
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.58511
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.03289
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.03121
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00168

Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.857132
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa]	12.06465
Tensione centine [MPa]	73.33186
Coefficiente di sicurezza spritz	1.38172
Coefficiente di sicurezza centine	3.57144
Pressione rottura spritz [MPa] .....	.77637
Pressione rottura centine [MPa]	2.00674
Rigidezza spritz [MPa]	1409.57009
Rigidezza centinatura [MPa]	199.50000
RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----	
Raggio plastico punto di equilibrio [m]	7.75075
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.92137
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.03354
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.03289
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00065
Tensione CLS [MPa]	5.80244
Coefficiente di sicurezza CLS	2.44208
Pressione rottura CLS [MPa]	2.25006
Rigidezza anello CLS [MPa]	6495.63679
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.993488

2.6 Sez C2v

2.6.1 Fronte

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013

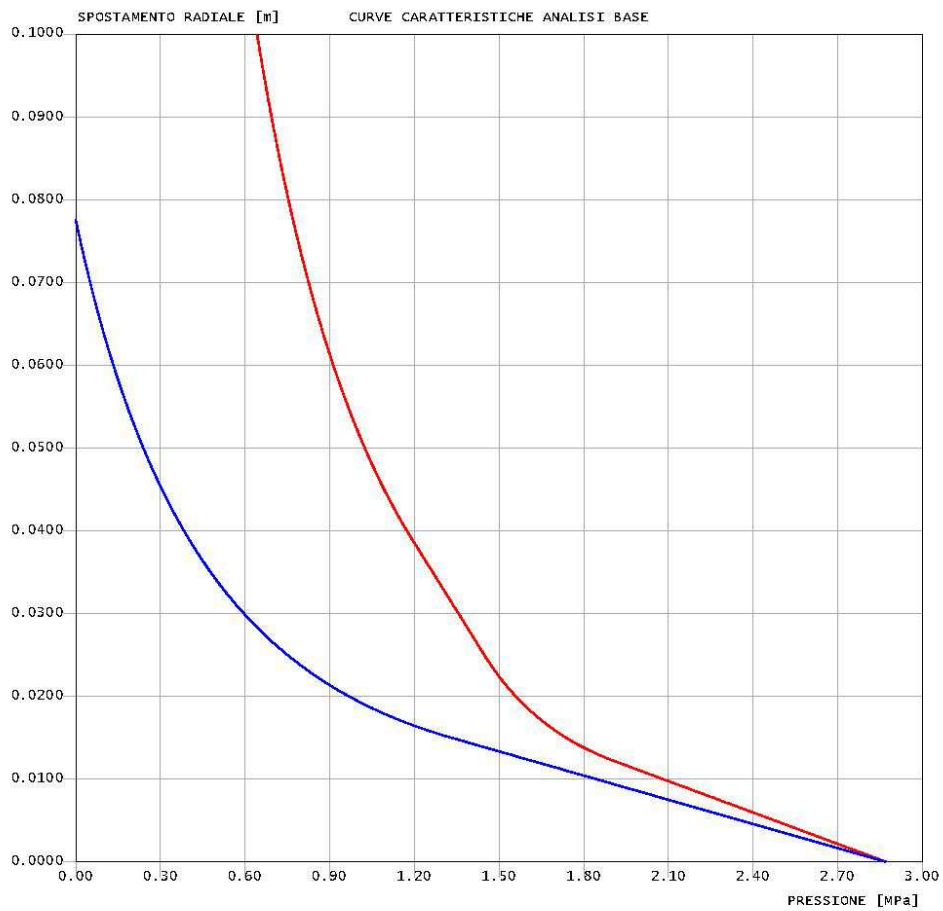


Quali
Terapia
Sez_C2v_Fronte

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.00
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.00

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
CONVERGENZA-CONFINAMENTO
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
REVISIONE 1.01-2013

Quali
Terapia
Sez_C2v_Fronte

- TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.80000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	2.87000
Modulo di Young [MPa]	320.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	4.80000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.80000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.11600
Angolo attrito picco [deg]	20.50000
Coesione residua [MPa] .....	.11600
Angolo attrito residuo [MPa]	20.50000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
FRONTE DI SCAVO RINFORZATO	
Consolidamento generico del fronte	
Incremento coesione picco [MPa] .....	.18500
Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	.00000
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa] .....	.30100
Coesione residua [MPa] .....	.11600
INIEZIONI O JET-GROUTING	
Spessore corona trattata [m]	1.50000
Modulo terreno trattato [MPa]	640.00000
Coefficiente di Poisson terreno trattato .....	.00000
Coesione picco terreno trattato [MPa] .....	.17343
Angolo attrito picco terreno trattato [deg]	20.50000
Coesione residua terreno trattato [MPa] .....	.17343
Angolo attrito residuo terreno trattato [MPa]	20.50000
Angolo dilatanza terreno trattato [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.773129
Raggio plastico galleria [m]	24.923739
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.077584
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.096191
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.280355
Raggio plastico fronte sferico [m]	7.599997

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.773129
Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	24.923739
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...	.966743
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..	27.967852
CORONA DI ROCCIA CONSOLIDATA MEDIANTE GROUTING -----	
fattore di sicurezza	1.00000

2.6.2 Rivestimento

Gv4s.1.01 - Calcolo Gallerie - Licenza: Italferr SpA
by Sialtec Engineering srl, Bergamo, Italy, www.sialtec.it, 2003-2013

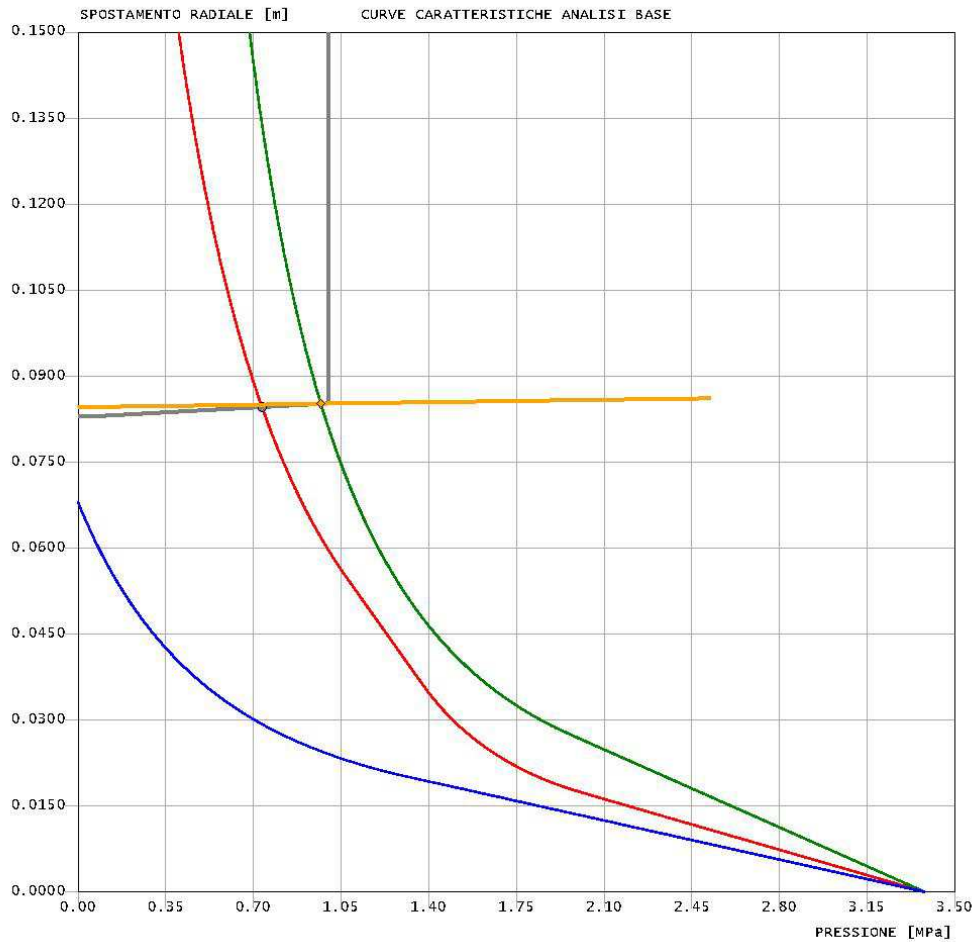


Quali
Terapia
Sez_C2v_Rivestimento

criterio di resistenza: MOHR COULOMB

Pressione Prerivestimento [MPa]: 0.73
Pressione Rivestimento [MPa]: 0.97

— GALLERIA B.T.
— GALLERIA L.T.
— FRONTE SFERICO
— PRERIVESTIMENTO
— RIVESTIMENTO



```

#####
#####
###
###
###   #####  ##  ##  ##
###   #####  ##  ##  ##
###   #####  ##  ##  ##
#####
#####  ##  ##  ##  ##  ##  ##  ##
#####  #####  #####
###

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4s
 REVISIONE 1.01-2013

Quali
 Terapia
 Sez_C2v_Rivestimento

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m]	4.80000
PARAMETRI GEOTECNICI -----	
Tensione originaria [MPa]	3.38000
Modulo di Young [MPa]	320.00000
Coefficiente di Poisson .....	.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..	.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..	.35000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..	.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m]	100000.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..	.35000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m]	4.80000
RESISTENZA ROCCIA	
Coesione picco [MPa] .....	.14500
Angolo attrito picco [deg]	25.00000
Coesione residua [MPa] .....	.14500
Angolo attrito residuo [MPa]	25.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
RESISTENZA ROCCIA (CREEP A LUNGO TERMINE)	
Coesione picco [MPa] .....	.14500
Angolo attrito picco [deg]	25.00000
Coesione residua [MPa] .....	.14500
Angolo attrito residuo [MPa]	25.00000
Angolo dilatanza [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
FRONTE DI SCAVO RINFORZATO	
Consolidamento generico del fronte	
Incremento coesione picco [MPa] .....	.23100
Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	.00000
Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
Coesione picco [MPa] .....	.37600
Coesione residua [MPa] .....	.14500
INIEZIONI O JET-GROUTING	
Spessore corona trattata [m]	1.50000
Modulo terreno trattato [MPa]	640.00000
Coefficiente di Poisson terreno trattato .....	.00000
Coesione picco terreno trattato [MPa] .....	.21756
Angolo attrito picco terreno trattato [deg]	25.00000
Coesione residua terreno trattato [MPa] .....	.21756
Angolo attrito residuo terreno trattato [MPa]	25.00000
Angolo dilatanza terreno trattato [deg] .....	.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	.00000
Modulo di softening H [MPa] .....	.00000
PRERIVESTIMENTO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	2.00000
Coefficiente riduzione rigidezza	1.00000
Forma del prerivestimento	CIRCOLARE CHIUSO
SPRITZ-BETON E CENTINE	
Spessore spritz [m] .....	.25000
Modulo Young spritz [MPa]	31476.00000

Coefficiente di Poisson spritz .....	.20000
Sezione centina [m2] .....	.00279
Altezza sezione centina [m2] .....	.18000
Posizione baricentro sezione centina [m] .....	.09000
Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] .	.00001450
Passo centine [m] .....	.50000
Modulo Young ferro centine [MPa]	210000.00000
Resistenza compressione spritz [MPa]	16.67000
Resistenza ferro centine [MPa]	261.90000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----	
Distanza dal fronte alla messa in opera [m]	10.00000
Spessore CLS [m] .....	.90000
Modulo Young CLS [MPa]	31476.00000
Coefficiente di Poisson CLS .....	.20000
Resistenza compressione CLS [MPa]	14.17000
Opzione calcolo rivestimento	0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]	
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]	
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....	.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale galleria [m] .....	.472023
Raggio plastico galleria [m]	16.671290
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....	.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] .....	.068036
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....	.059444
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...	.173253
Raggio plastico fronte sferico [m]	6.700650

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL PRERIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.18138
LAMBDA :	.89094
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.34618
LAMBDA :	.96005
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico	
U [m] :	.09031
LAMBDA :	.77869
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.08320
LAMBDA :	.76225
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.18422
LAMBDA :	.89294

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot	
U [m] :	.39915
LAMBDA :	.97186
Trasformazione Omotetica	
U [m] :	.51221
LAMBDA :	.99013
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione vuoto sferico	
U [m] :	.09192
LAMBDA :	.98555
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns	
U [m] :	.08493
LAMBDA :	.98448
Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica	
U [m] :	.18502
LAMBDA :	.99301

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....	.472023

Raggio plastico galleria fine calcolo [m]	16.671290
Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....	.000000
Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...	1367.945392
Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..	129.105050
Galleria non sostenuta instabile a lungo termine	

CORONA DI ROCCIA CONSOLIDATA MEDIANTE GROUTING -----

fattore di sicurezza	1.00000
----------------------------	---------

PRERIVESTIMENTO -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m]	7.59169
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.73449
Spostamento punto di equilibrio [m] .....	.08461
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.08295
Convergenza radiale prerivestimento [m] .....	.00165
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.778689
SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)	
Tensione spritz [MPa]	12.06214
Tensione centine [MPa]	72.35783
Coefficiente di sicurezza spritz	1.38201
Coefficiente di sicurezza centine	3.61951
Pressione rottura spritz [MPa] .....	.96187
Pressione rottura centine [MPa]	2.51915
Rigidezza spritz [MPa]	1775.81351
Rigidezza centinatura [MPa]	244.12500

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----

Raggio plastico punto di equilibrio [m]	7.89303
Pressione punto di equilibrio [MPa] .....	.96945
Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....	.08519
Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....	.08461
Convergenza radiale rivestimento [m] .....	.00059
Tensione CLS [MPa]	5.43902
Coefficiente di sicurezza CLS	2.60525
Pressione rottura CLS [MPa]	2.52565
Rigidezza anello CLS [MPa]	7519.32101
Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....	.985550