

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA**

U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A)

**GALLERIA TRINACRIA
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO**

SCALA:

-

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

RS3U 40 D 07 CL GA0000 003 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/ Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	ROCKSOIL	Gennaio 2020	S. Vagnozzi	Gennaio 2020	A. Barreca	Gennaio 2020	A. S. Vagnozzi Febbraio 2020 ITALFERR S.P.A. U.O. GALLERIE Dott. Ing. Alessandra Piccoli C.O. n. 01/10/2018 C.O. n. 01/10/2018 n° 19846
B	EMISSIONE ESECUTIVA	ROCKSOIL <i>Q. Bonam</i>	Febbraio 2020	S. Vagnozzi <i>SV</i>	Febbraio 2020	A. Barreca <i>AB</i>	Febbraio 2020	

File: RS3U40D07CLGA0000003B.doc

n. Elab.: 07_94

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 2 di 329

INDICE

1	PREMESSA	5
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO	5
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
5	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO	5
6	DESCRIZIONE DELL’OPERA	6
6.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO.....	6
7	FASE CONOSCITIVA	7
7.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	7
7.2	INDAGINI GEOTECNICHE	8
7.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	9
7.3.1	<i>Caratterizzazione geotecnica imbocco lato Palermo</i>	<i>10</i>
7.3.2	<i>Caratterizzazione geotecnica imbocco lato Catania.....</i>	<i>24</i>
7.3.3	<i>Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi</i>	<i>24</i>
7.3.4	<i>Il regime idraulico.....</i>	<i>25</i>
7.4	CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA	25
8	SOLUZIONI PROGETTUALI	28
8.1	IMBOCCO TRINACRIA LATO PALERMO.....	28
8.1.1	<i>Opere di sostegno.....</i>	<i>28</i>
8.1.2	<i>Galleria artificiale</i>	<i>28</i>
8.2	IMBOCCO TRINACRIA LATO CATANIA	29
8.2.1	<i>Opere di sostegno.....</i>	<i>29</i>
8.2.2	<i>Galleria artificiale</i>	<i>29</i>
9	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI	30

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>3 di 329</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	3 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	3 di 329								

10	CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE.....	32
10.1	OPERE DI SOSTEGNO.....	32
10.1.1	<i>Azioni</i>	32
10.1.2	<i>Approcci progettuali e metodi di verifica</i>	32
10.1.3	<i>Tiranti di ancoraggio</i>	34
10.1.4	<i>Stabilità globale</i>	35
10.2	GALLERIE ARTIFICIALI	36
10.2.1	<i>Azioni</i>	36
10.2.2	<i>Approcci progettuali e metodi di verifica</i>	36
11	VERIFICA DELLE OPERE DELL'IMBOCCO TRINACRIA LATO OVEST	40
11.1	OPERE DI SOSTEGNO.....	40
11.1.1	<i>Sezione 1: paratia frontale H=35m</i>	42
11.1.1.1	<i>GEOMETRIA E PARAMETRI GEOTECNICI DEL MODELLO</i>	42
11.1.1.2	<i>FASI DI CALCOLO</i>	44
11.1.1.3	<i>RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE</i>	44
11.1.2	<i>Sezione 2 – paratia di pali laterale H=31 m</i>	59
11.1.2.1	<i>GEOMETRIA E PARAMETRI GEOTECNICI DEL MODELLO</i>	59
11.1.2.2	<i>FASI DI CALCOLO</i>	61
11.1.2.3	<i>RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE</i>	61
11.1.3	<i>Sezione 3 – paratia di pali laterale H=23 m</i>	77
11.1.3.1	<i>GEOMETRIA E PARAMETRI GEOTECNICI DEL MODELLO</i>	78
11.1.3.2	<i>FASI DI CALCOLO</i>	80
11.1.3.3	<i>RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE</i>	80
11.2	GALLERIA ARTIFICIALE	93
11.2.1	<i>Risultati e verifiche strutturali</i>	133

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40</p>	<p>CODIFICA D 07 CL</p>	<p>DOCUMENTO GA 00 00 003</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 4 di 329</p>

11.2.1.1	SEZIONE 1 – CONCIO D’ATTACCO	148
11.2.1.2	SEZIONE 2 – GALLERIA ARTIFICIALE.....	172
12	VERIFICHE DELLE OPERE DELL’IMBOCCO TRINACRIA LATO EST.....	197
12.1	OPERE DI SOSTEGNO.....	197
12.1.1	Sezione 1 – paratia di pali laterale H=31 m.....	198
12.1.1.1	GEOMETRIA E PARAMETRI GEOTECNICI DEL MODELLO	199
12.1.1.2	FASI DI CALCOLO.....	200
12.1.1.3	RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE.....	200
12.1.2	Sezione 2 – paratia di pali laterale H=23 m.....	216
12.1.2.1	GEOMETRIA E PARAMETRI GEOTECNICI DEL MODELLO	217
12.1.2.2	FASI DI CALCOLO.....	219
12.1.2.3	RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE.....	219
12.2	GALLERIA ARTIFICIALE	235
12.2.1	Risultati e verifiche strutturali	279
12.2.1.1	SEZIONE 1 – CONCIO D’ATTACCO	294
12.2.1.2	SEZIONE 2 – GALLERIA ARTIFICIALE.....	316
13	MONITORAGGIO	328
14	CONCLUSIONI.....	329

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 5 di 329

1 PREMESSA

All'interno del presente elaborato vengono analizzate le tematiche progettuali e gli aspetti tecnici relativi alla fase di progettazione definitiva dei lavori riguardanti le opere in sotterraneo del nuovo collegamento Palermo-Catania della Diretrice ferroviaria Messina - Palermo-Catania.

La tratta in esame è la Caltanissetta Xirbi – Nuova Enna, Lotti 4a, la cui estensione è di 27522.85 m, compresa tra le stazioni di Caltanissetta Xirbi, sita al km 0+000 (coincidente con la pk 157+130 della linea storica Palermo Catania), e Enna, sita al km 27+522.853 (coincidente con la pk 173+530 della linea storica Palermo Catania).

L'intervento è realizzato in variante di tracciato rispetto alla linea esistente, con la quale presenta interconnessioni negli attuali impianti di Caltanissetta Xirbi (4a).

2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione si illustrano le soluzioni progettuali relative alle opere di imbocco della galleria Trinacria facente parte del nuovo collegamento Palermo-Catania, tratta Caltanissetta Xirbi – Nuova Enna.

Per l'inquadramento generale delle opere in sotterraneo si rimanda al documento “Relazione tecnica delle opere in sotterraneo” (Rif. [5]).

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018, Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°7 del 21/01/2019, Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al DM 14/01/2018”.
- Rif. [3] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 C “Manuale di progettazione delle Opere Civili” del XXX;

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Rif. [4] Italfer - Dossier dati e requisiti di base;
- Rif. [5] U.O. Gallerie, RS3U40D07RHGN0000001B “Relazione tecnica delle opere in sotterraneo” Gennaio 2020;
- Rif. [6] U.O. Gallerie, documento RS3U40D07CLGN0300001A “Galleria Trinacria - Relazione geotecnica e di calcolo” Gennaio 2020;
- Rif. [7] U.O. Geologia – “Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica” Gennaio 2020;

5 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

N°	Descrizione elaborato	scala	CODIFICA ELABORATO																					
			COMMESSA			LOTTO		FASE	ENTE		TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA						PROGR.	REV.					
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
ELABORATI GENERALI																								
07_1	Relazione tecnica delle opere in sotterraneo	-	R	S	3	U	4	0	D	0	7	R	H	G	N	0	0	0	0	0	1	B		
07_2	Caratteristiche dei materiali - Note generali	-	R	S	3	U	4	0	D	0	7	S	P	G	N	0	0	0	0	0	0	1	A	
07_3	Computo metrico estimativo	-	R	S	3	U	4	0	D	0	7	C	E	G	N	0	0	0	0	0	0	1	A	
07_4	Analisi e descrizione voci aggiuntive	-	R	S	3	U	4	0	D	0	7	A	P	G	N	0	0	0	0	0	0	1	A	
07_5	Schema WBS	-	R	S	3	U	4	0	D	0	7	S	P	G	N	0	0	0	0	0	0	1	A	
GALLERIA TRINACRIA																								
07_94	Relazione geotecnica e di calcolo	-	R	S	3	U	4	0	D	0	7	C	L	G	N	0	3	0	0	0	0	1	A	
07_95	Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	-	R	S	3	U	4	0	D	0	7	C	L	G	A	0	0	0	0	0	0	3	A	
07_96	Profilo Geotecnico - Tav. 1 di 2	1:5000/500	R	S	3	U	4	0	D	0	7	F	5	G	N	0	3	0	0	0	0	1	B	
07_97	Profilo Geotecnico - Tav. 2 di 2	1:5000/500	R	S	3	U	4	0	D	0	7	F	5	G	N	0	3	0	0	0	0	2	B	
07_98	Planimetria ubicazione nicchie - Tav. 1 di 3	1:1000	R	S	3	U	4	0	D	0	7	P	7	G	N	0	3	0	0	0	0	1	A	
07_99	Planimetria ubicazione nicchie - Tav. 2 di 3	1:1000	R	S	3	U	4	0	D	0	7	P	7	G	N	0	3	0	0	0	0	2	A	
07_100	Planimetria ubicazione nicchie - Tav. 3 di 3	1:1000	R	S	3	U	4	0	D	0	7	P	7	G	N	0	3	0	0	0	0	3	A	
GALLERIA TRINACRIA - IMBOCCO LATO PALERMO																								
07_101	Fase provvisoria - Planimetria e profilo longitudinale	1:200	R	S	3	U	4	0	D	0	7	L	9	G	I	0	5	0	0	0	0	1	A	
07_102	Fase provvisoria - Sezioni caratteristiche	1:200	R	S	3	U	4	0	D	0	7	W	9	G	I	0	5	0	0	0	0	0	1	A
07_103	Fase provvisoria - Sviluppata delle opere di imbocco e particolari costruttivi	varie	R	S	3	U	4	0	D	0	7	B	Z	G	I	0	5	0	0	0	0	1	A	
07_104	Sistemazione definitiva - Planimetria e profilo longitudinale	1:200	R	S	3	U	4	0	D	0	7	L	9	G	A	0	7	0	0	0	0	1	B	
07_105	Sistemazione definitiva - Sezioni caratteristiche	1:200	R	S	3	U	4	0	D	0	7	W	9	G	A	0	7	0	0	0	0	1	B	
07_106	Dima e concio d'attacco - Scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	U	4	0	D	0	7	B	B	G	I	0	5	0	0	0	0	1	A	
07_107	Galleria artificiale policentrica - Carpenteria	1:50	R	S	3	U	4	0	D	0	7	B	B	G	A	0	7	0	0	0	0	1	A	
07_108	Portale di imbocco - Carpenteria	1:50	R	S	3	U	4	0	D	0	7	B	B	G	A	0	7	0	0	0	0	2	A	
GALLERIA TRINACRIA - IMBOCCO LATO CATANIA																								
07_109	Fase provvisoria - Planimetria e profilo longitudinale	1:200	R	S	3	U	4	0	D	0	7	L	9	G	I	0	6	0	0	0	0	1	A	
07_110	Fase provvisoria - Sezioni caratteristiche	1:200	R	S	3	U	4	0	D	0	7	W	9	G	I	0	6	0	0	0	0	0	1	A
07_111	Fase provvisoria - Sviluppata delle opere di imbocco e particolari costruttivi	varie	R	S	3	U	4	0	D	0	7	B	Z	G	I	0	6	0	0	0	0	1	A	
07_112	Sistemazione definitiva - Planimetria e profilo longitudinale	1:200	R	S	3	U	4	0	D	0	7	L	9	G	A	0	8	0	0	0	0	1	B	
07_113	Sistemazione definitiva - Sezioni caratteristiche	1:200	R	S	3	U	4	0	D	0	7	W	9	G	A	0	8	0	0	0	0	1	B	
07_114	Dima e concio d'attacco - Scavo e consolidamenti	1:50	R	S	3	U	4	0	D	0	7	B	B	G	I	0	6	0	0	0	0	1	A	
07_115	Galleria artificiale policentrica - Carpenteria	1:50	R	S	3	U	4	0	D	0	7	B	B	G	A	0	8	0	0	0	0	1	A	
07_116	Muri in c.a. - Carpenteria	1:50	R	S	3	U	4	0	D	0	7	B	B	G	A	0	8	0	0	0	0	3	A	

6 DESCRIZIONE DELL'OPERA

6.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

La lunghezza totale del tracciato della tratta Caltanissetta Xirbi-Enna, è di circa 27.522 km, e si sviluppa in sotterraneo per una lunghezza complessiva di circa 19.65 km, mediante 3 gallerie naturali denominate: Montestretto, Salso, Trinacria.

Le gallerie Salso e Trinacria sono progettate nella configurazione meccanizzata tramite l'uso di TBM-EPB, mentre la galleria Montestretto è progettata nella configurazione tradizionale. La velocità di tracciato è di 200 km/h. In galleria si ha una pendenza longitudinale massima pari a 15 %, una sopraelevazione in curva massima pari a 145 mm e raggio di curvatura minimo di 1300 m

La galleria Trinacria è costituita da un tratto in naturale di 13399.60 m e da un tratto in artificiale in corrispondenza dell'imbocco lato Palermo di lunghezza complessiva pari a 49.4 m. L'opera interessa 4 tbm provenienti da imbocchi lato Catania e lato Palermo. Nel lato Catania, la partenza si concretizza previa realizzazione tramite allarghi da realizzare in tradizionale per accogliere il tratto contenente il doppio binario. Essa pertanto un tratto di lunghezza complessiva pari a 13449 m, dal km 13+427.00 al km

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 7 di 329

28+876.00. Partendo dall'imbocco lato Palermo, posto ad una quota di 341.03 m s.l.m., il tracciato procede in salita con pendenza del 3‰, fino a raggiungere l'imbocco lato Catania, posto ad una quota di circa 449 m s.l.m.. Il tracciato prevede il passaggio in punti a basse coperture, in corrispondenza delle progressive km 15+410 circa, km 15+950 e km 25+650. Lo scavo viene effettuato all'interno delle litologie incontrate con metodo meccanizzato. La copertura massima è di circa 500 metri.

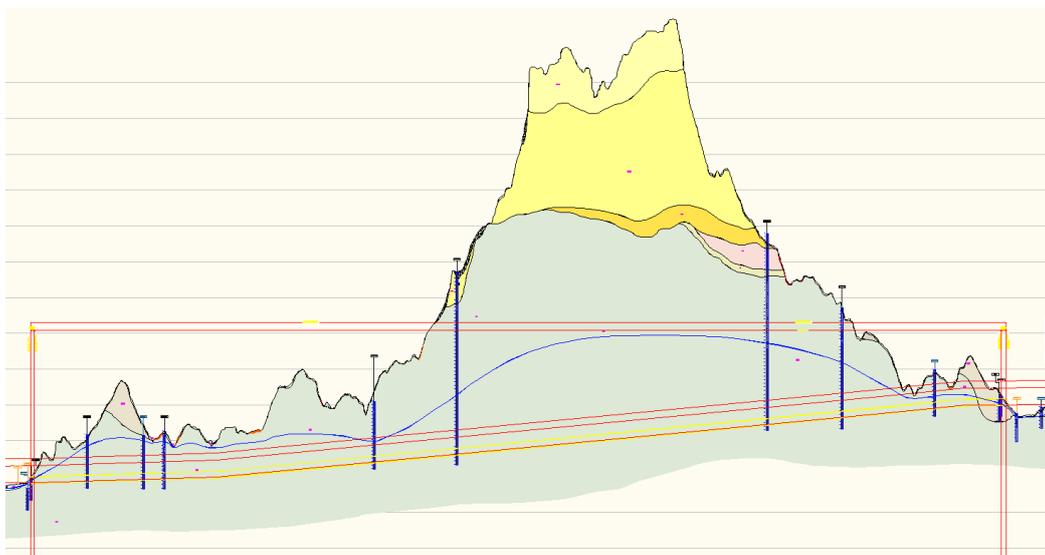


Figura 1 - Profilo galleria Trinacria

7 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 del mezzo interessato dall'opera. Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica con specifico riferimento al volume significativo interessato dalle opere di imbocco lato Palermo e lato Catania della galleria naturale Trinacria.

7.1 Inquadramento geologico

Assetto geologico

Imbocco lato Palermo

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 8 di 329

La galleria artificiale è impostata nei litotipi argilloso-marnosi dell'unità TRV, che lungo il versante risultano ricoperti da una coltre eluvio-colluviale di spessore variabile tra 1 e 5-6 m ca. (il foro 4a-GN3-S11 ha attraversato una coltre di 5 m di spessore).

Imbocco lato Catania

I sondaggi hanno attraversato una sequenza di sabbie fini \pm limose e limi sabbiosi, riferibili al membro arenaceo della formazione di Terravecchia (TRVa).

Una coltre eluvio-colluviale di spessore compreso fra 1 e 3 m copre il versante in maniera uniforme.

Assetto geomorfologico

Imbocco lato Palermo

Dal punto di vista geomorfologico non sono presenti elementi di particolare criticità per le opere in progetto. L'imbocco si colloca al piede del versante, in un settore localmente interessato da processi di soliflusso a carico dello strato di terreno agrario e/o della coltre eluvio-colluviale.

Imbocco lato Catania

L'imbocco è posizionato in un settore di pendio a morfologia regolare, dove non si riscontrano dissesti. Non vi sono quindi criticità geomorfologiche di rilievo.

Per una dettagliata descrizione del modello geologico del sito si rimanda al documento "Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica" (Rif. [7]).

7.2 Indagini geotecniche

In corrispondenza dell'imbocco lato Palermo della presente galleria sono stati eseguiti i sondaggi:

- 4S7
- 4a-GN3-S11

Nelle indagini precedentemente dichiarate, sono state eseguite le seguenti prove in situ e in laboratorio:

4S7:

- Profondità di indagine 30 m;
- Log stratigrafico;
- Prove SPT (8);
- Prove di permeabilità (2);
- Piezometro;
- Pocket Penetrometer (3);
- Curve Granulometriche (3);
- Prove di taglio diretto (2)
- Prove di compressione edometrica (1);

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 9 di 329

- Prove di espansione libera laterale (1);

4a-GN3-S11:

- Profondità di indagine 30 m;
- Log stratigrafico;
- Prova Down-Hole.
- Campioni indisturbati (2);
- Campioni rimaneggiati (3);
- Prove S.P.T. (8);
- Prove di permeabilità Lefranc (2);
- Piezometro Tubo Aperto.

In corrispondenza dell'imbocco lato Catania della presente galleria sono stati eseguiti i sondaggi:

- 4SD1
- 4a-GN3-S19

Nelle indagini precedentemente dichiarate, sono state eseguite le seguenti prove in situ e in laboratorio:

4a-GN3-S19:

- Profondità di indagine 35 m;
- Log stratigrafico;
- Prova di permeabilità Lefranc (2);
- Prova dilatometrica (2);
- Piezometro Casagrande;
- Campioni indisturbati (7);
- Campioni rimaneggiati (4);
- Curve granulometriche;
- Prova di Taglio Diretto (6);
- Prova di Compressione Edometrica (2);
- Prova triassiale TXCD (2);
- 7 Pocket Penetrometer;

7.3 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

I risultati delle indagini geotecniche, in situ e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico, rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce interessati dalle opere di imbocco.

Il modello geotecnico complessivo dell'opera in sotterraneo è rappresentato nell'elaborato "Galleria Trinacria – Profilo Geotecnico" (Rif.).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

7.3.1 Caratterizzazione geotecnica imbocco lato Palermo

L'imbocco lato Palermo della galleria Trinacria prevede lo scavo nella litologia del TRV.

Di seguito vengono riportati i grafici che risultano dalle elaborazioni delle prove e delle indagini geotecniche di laboratorio ed in situ.

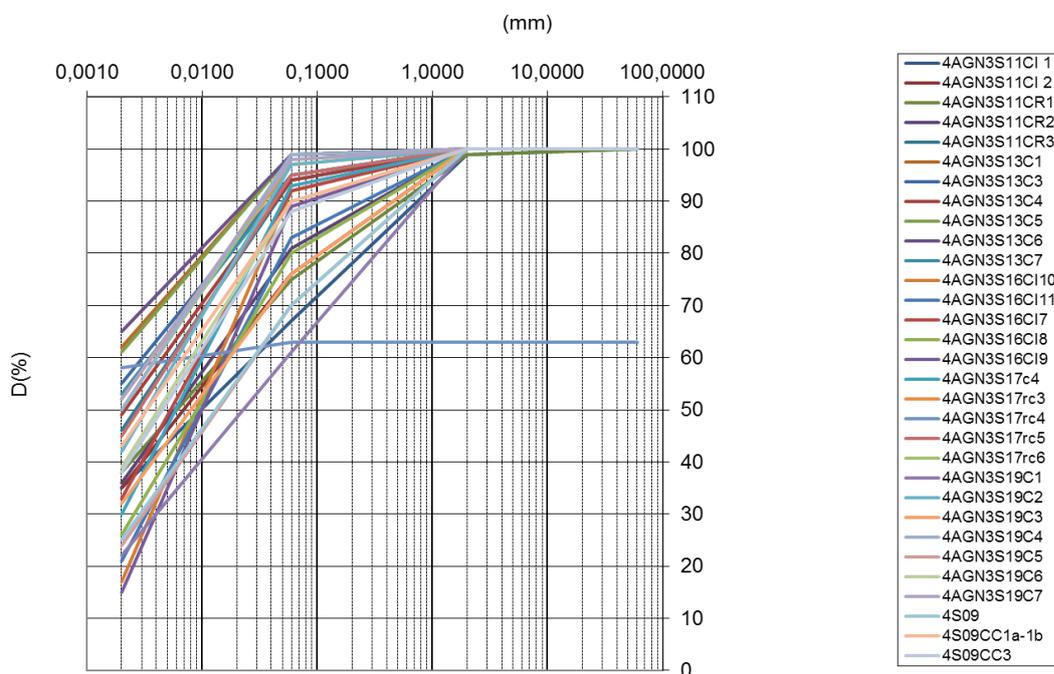


Figura 2: Galleria Trinacria - Parametri generali - TRV - curve di distribuzione granulometrica

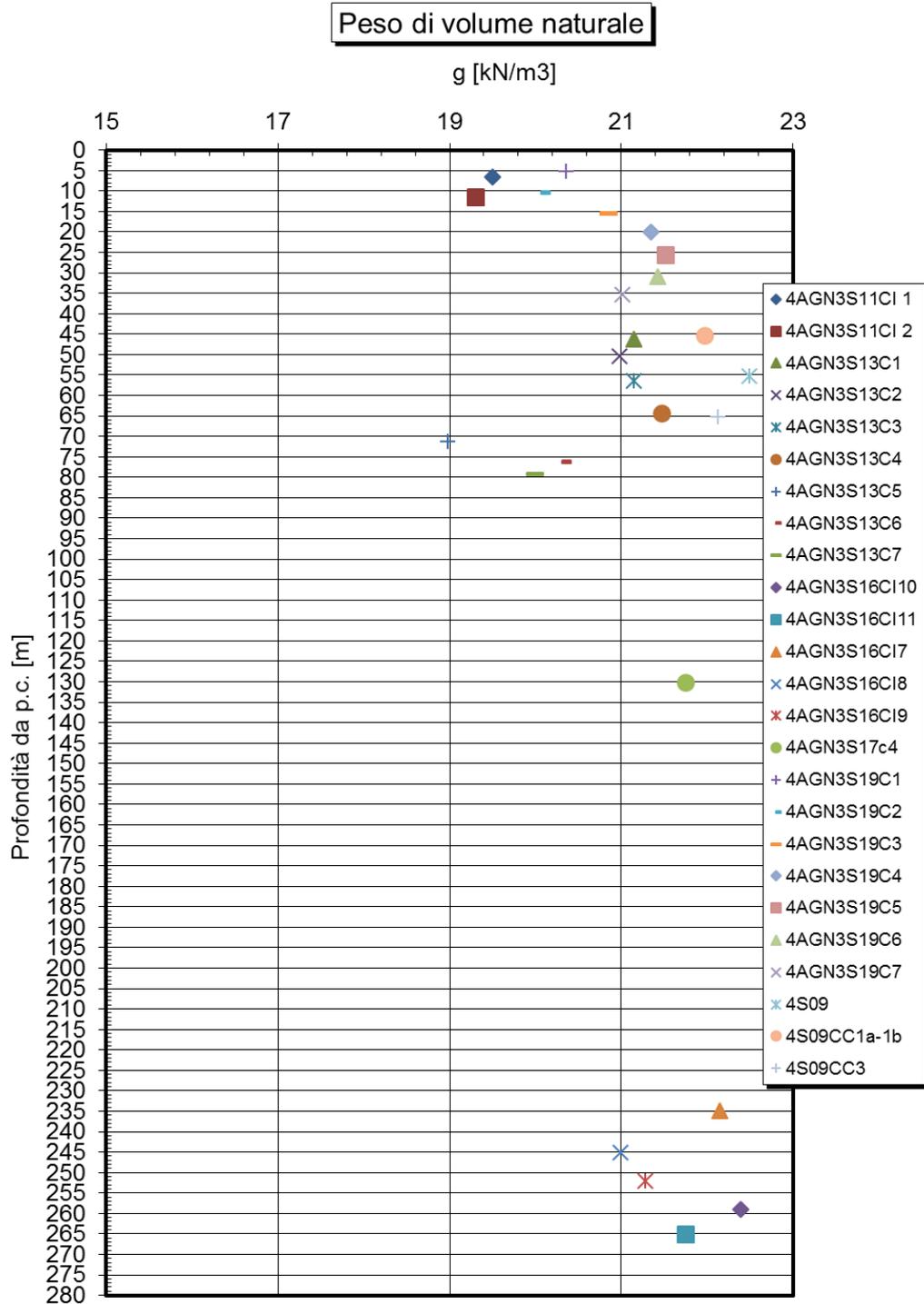


Figura 3: Galleria Trinacria - Parametri generali - TRV - peso dell'unità di volume

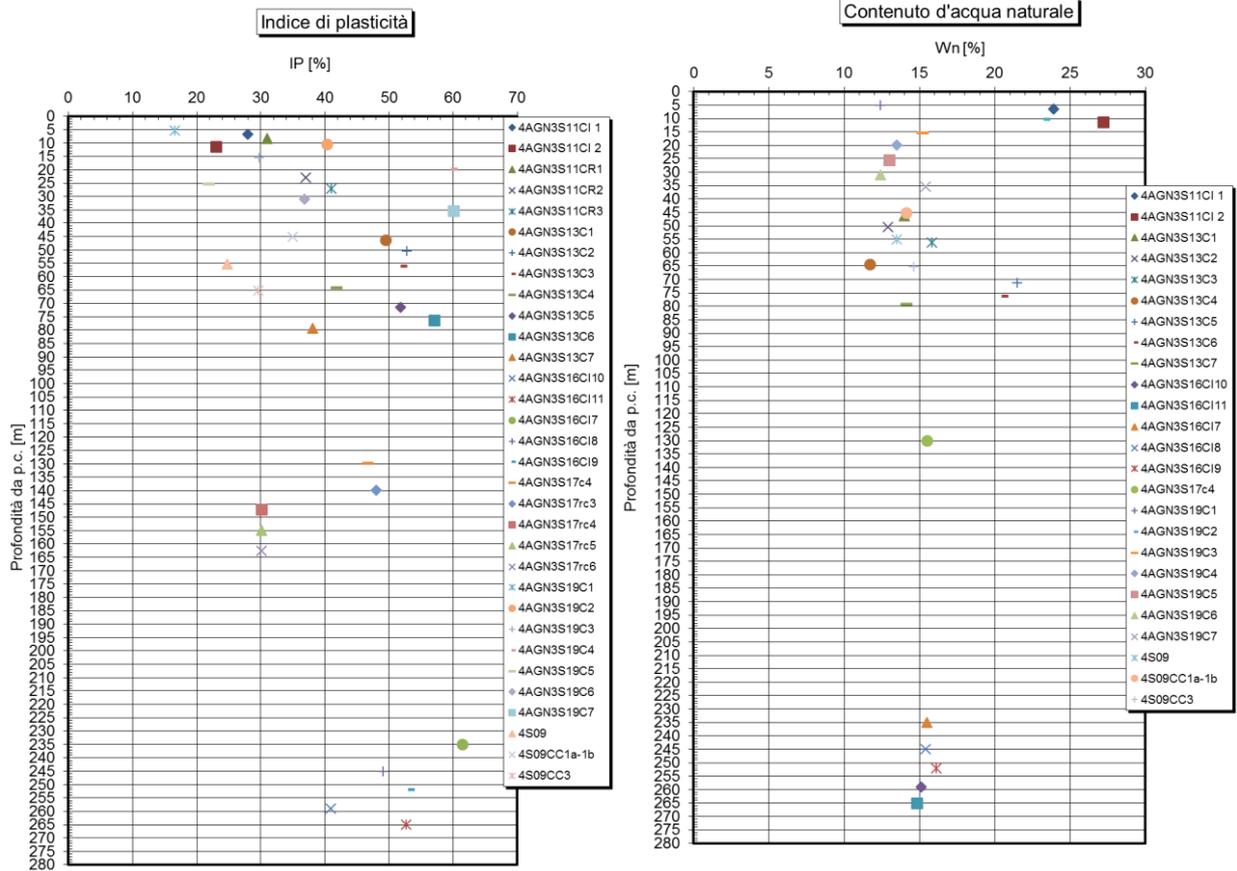


Figura 4: Galleria Trinacria - Parametri generali - TRV - contenuto naturale d'acqua e indice di plasticità

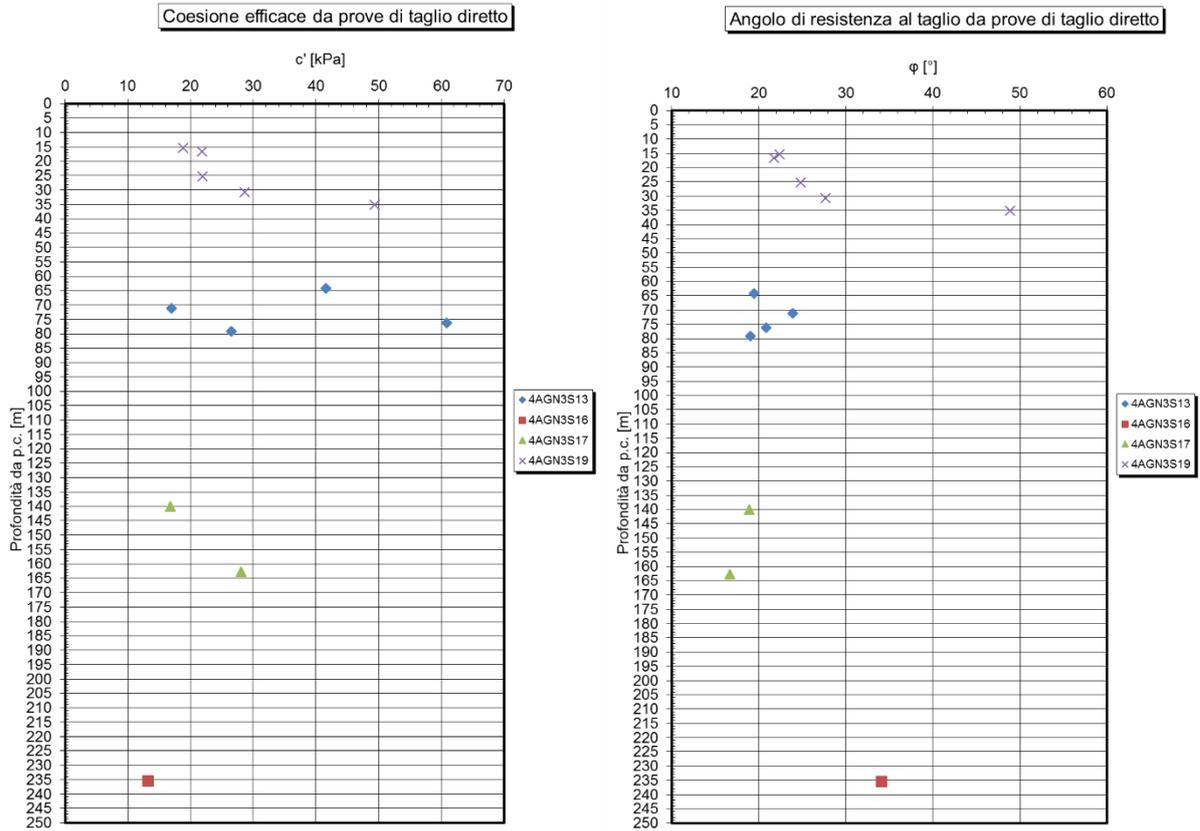


Figura 5: Galleria Trinacria - TRV – coesione e angolo di resistenza al taglio da prove di taglio diretto

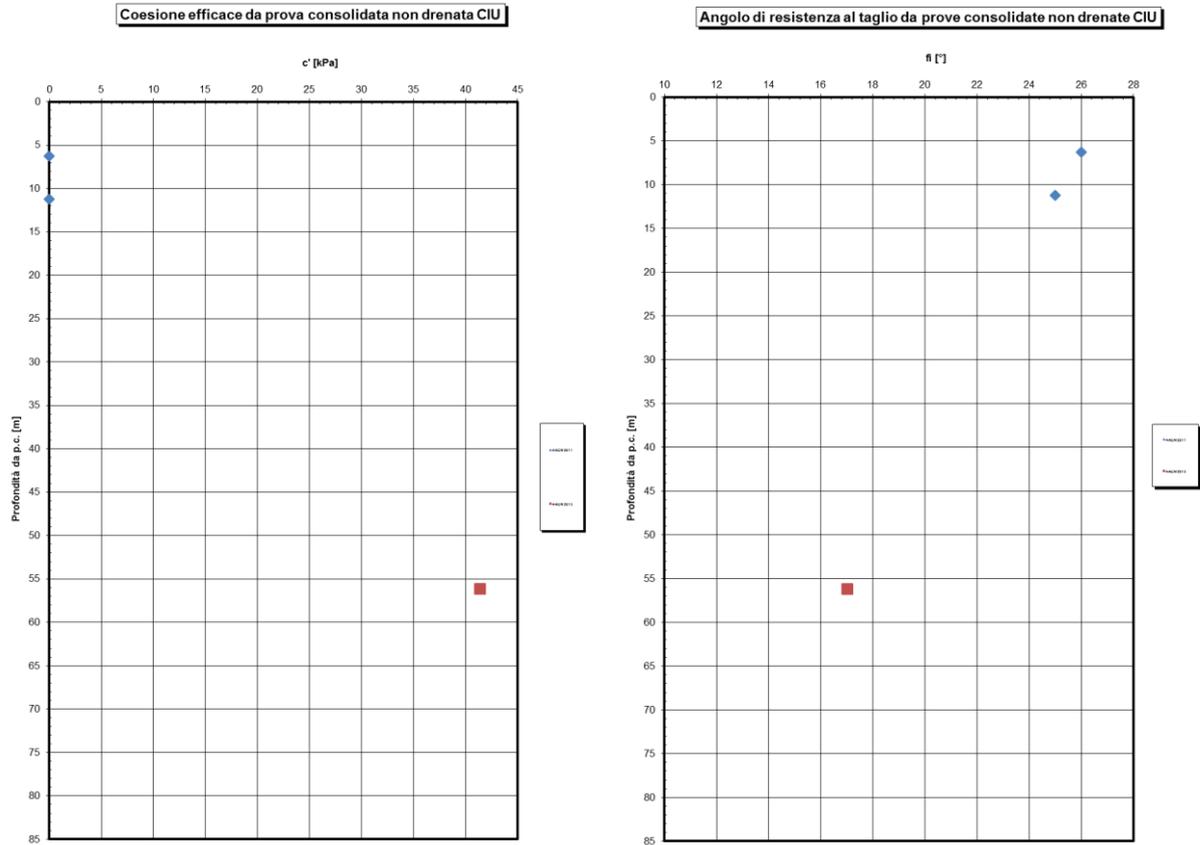


Figura 6: Parametri generali - TRV – resistenza al taglio non drenata da prove triassiali CIU

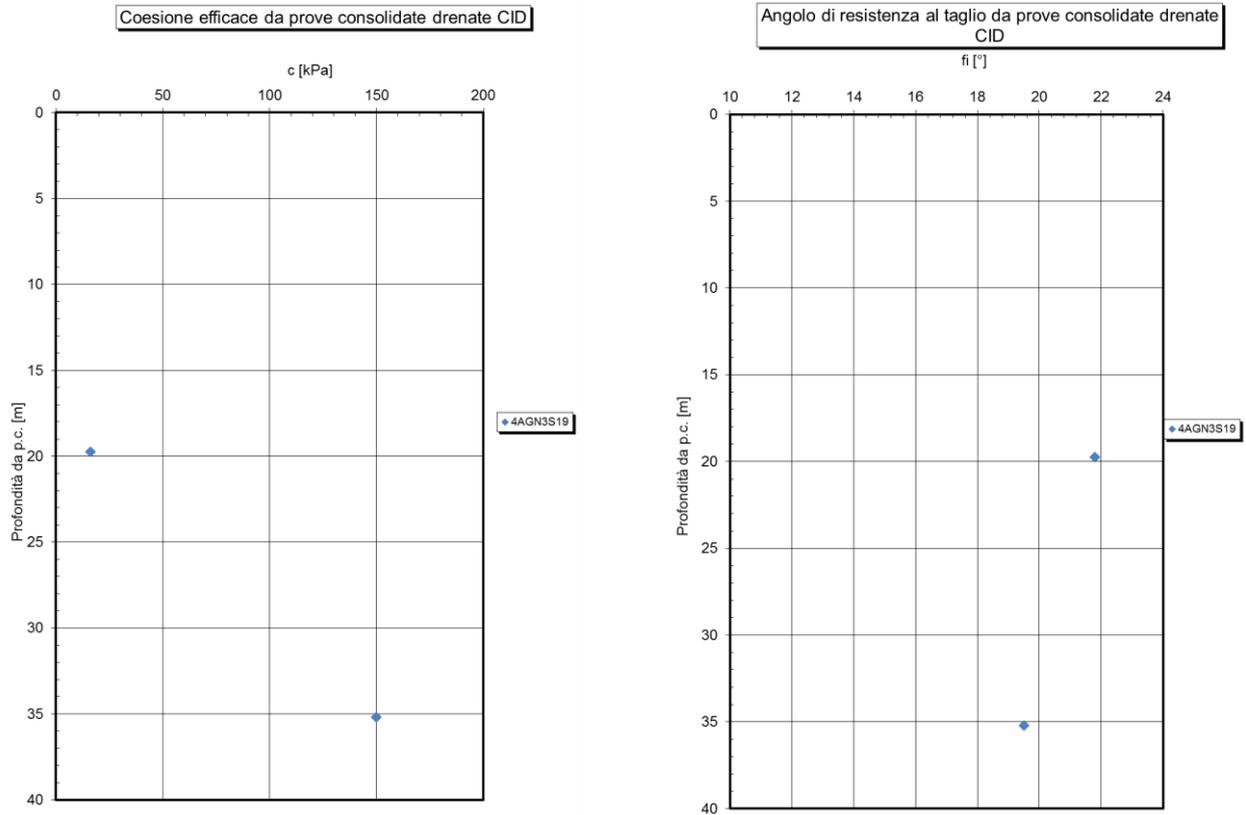


Figura 7: Galleria Trinacria - TRV – coesione e angolo di resistenza al taglio da prove triassiali CID

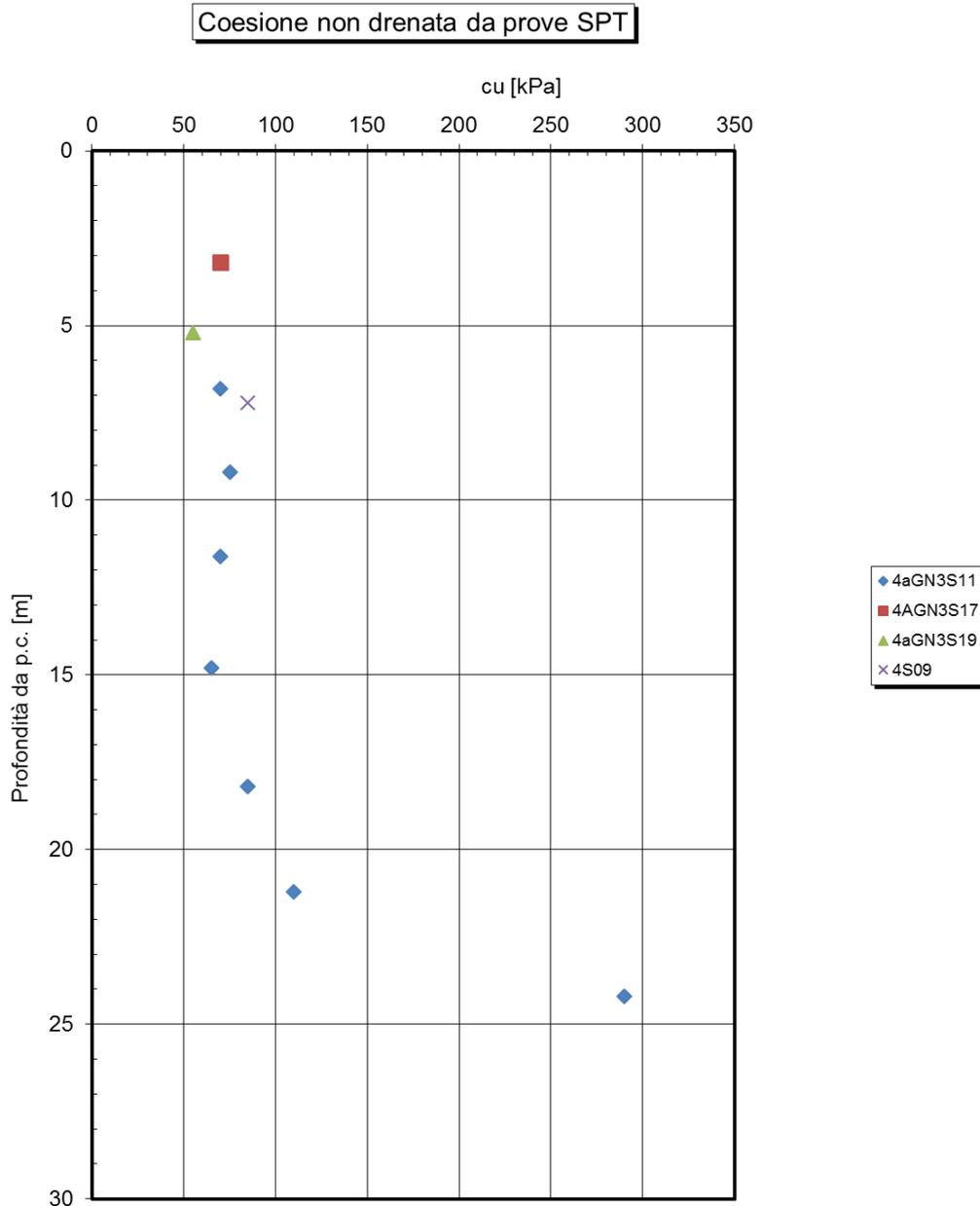


Figura 8: Galleria Trinacria - TRV – coesione non drenata da prove SPT

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

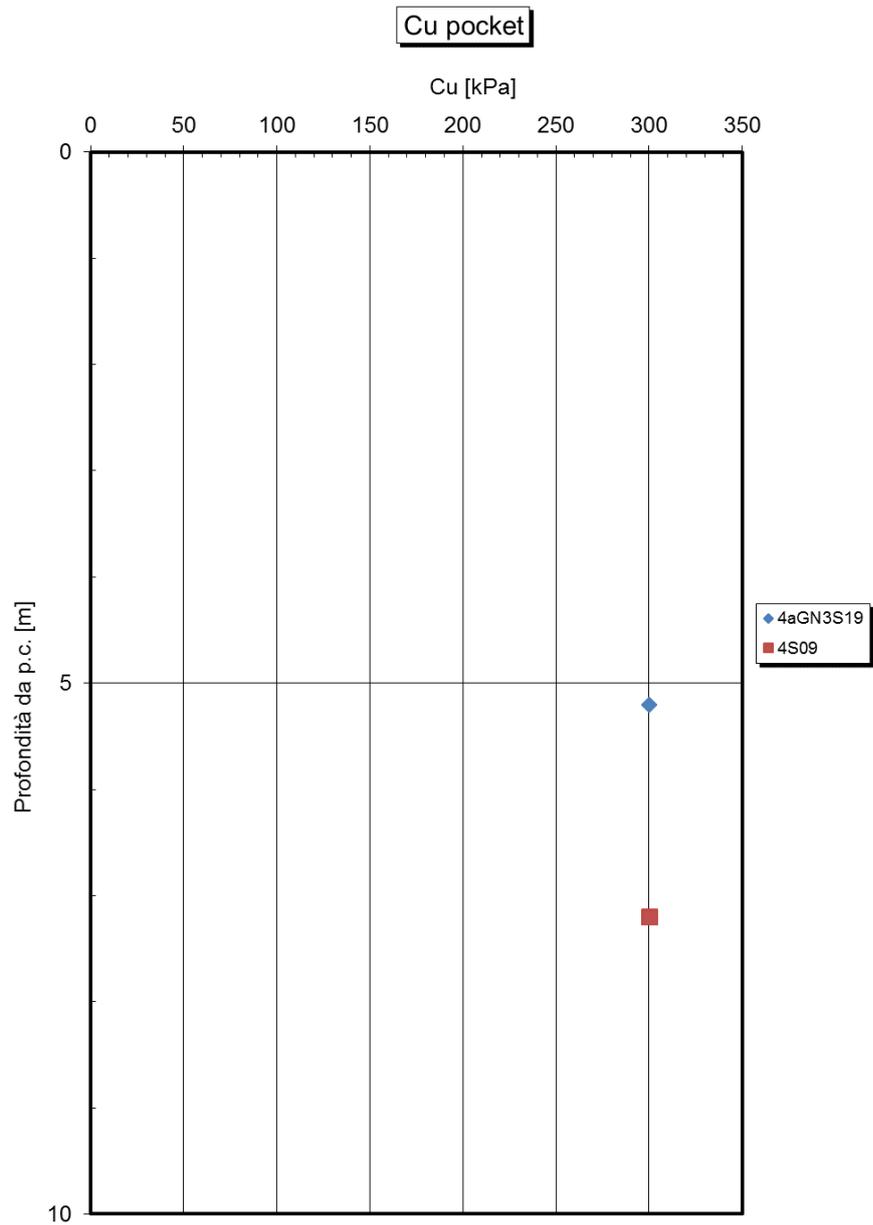


Figura 9: Galleria Trinacria - TRV – coesione non drenata da pocket

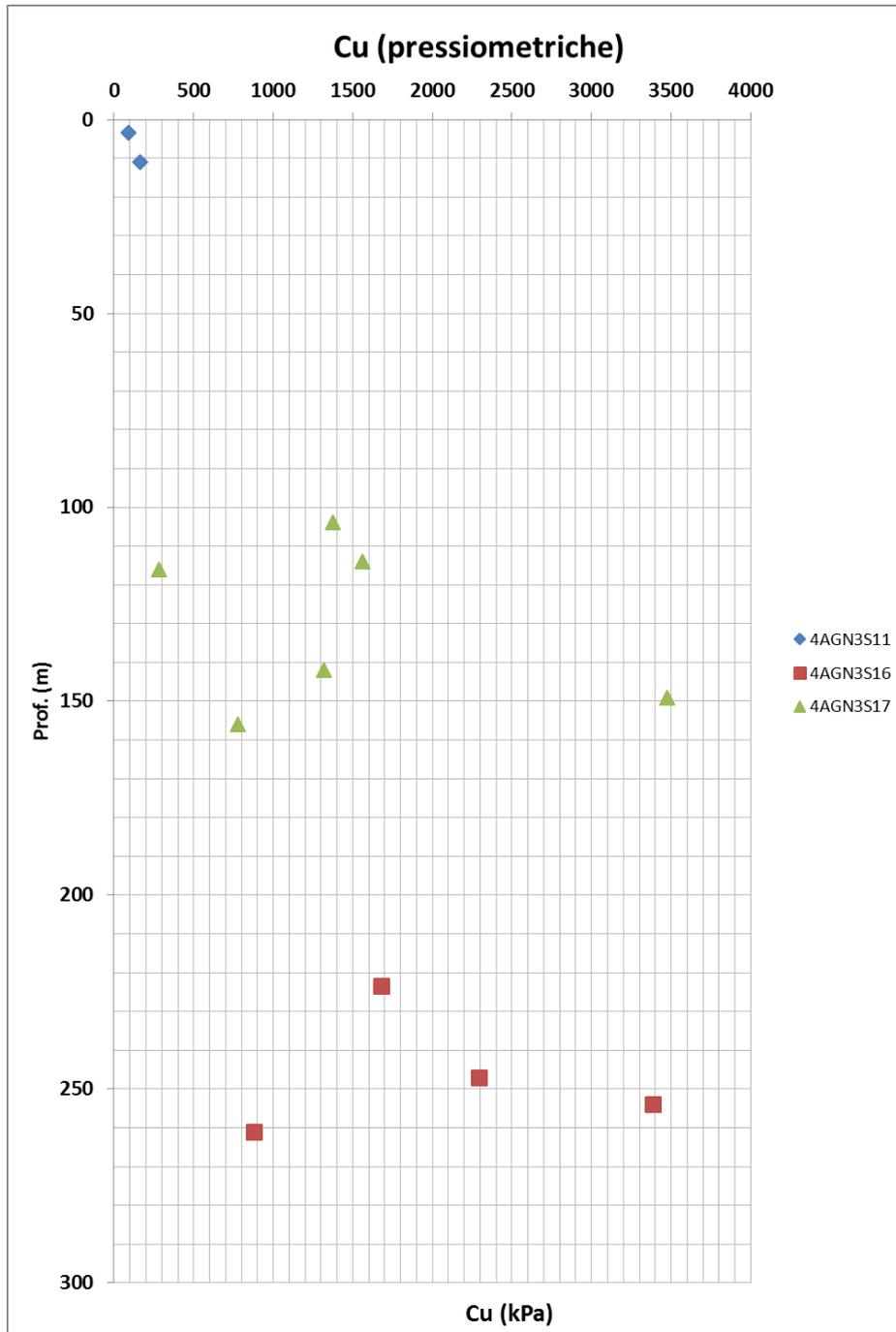


Figura 10: Galleria trinacria - TRV – coesione non drenata da pressiometriche

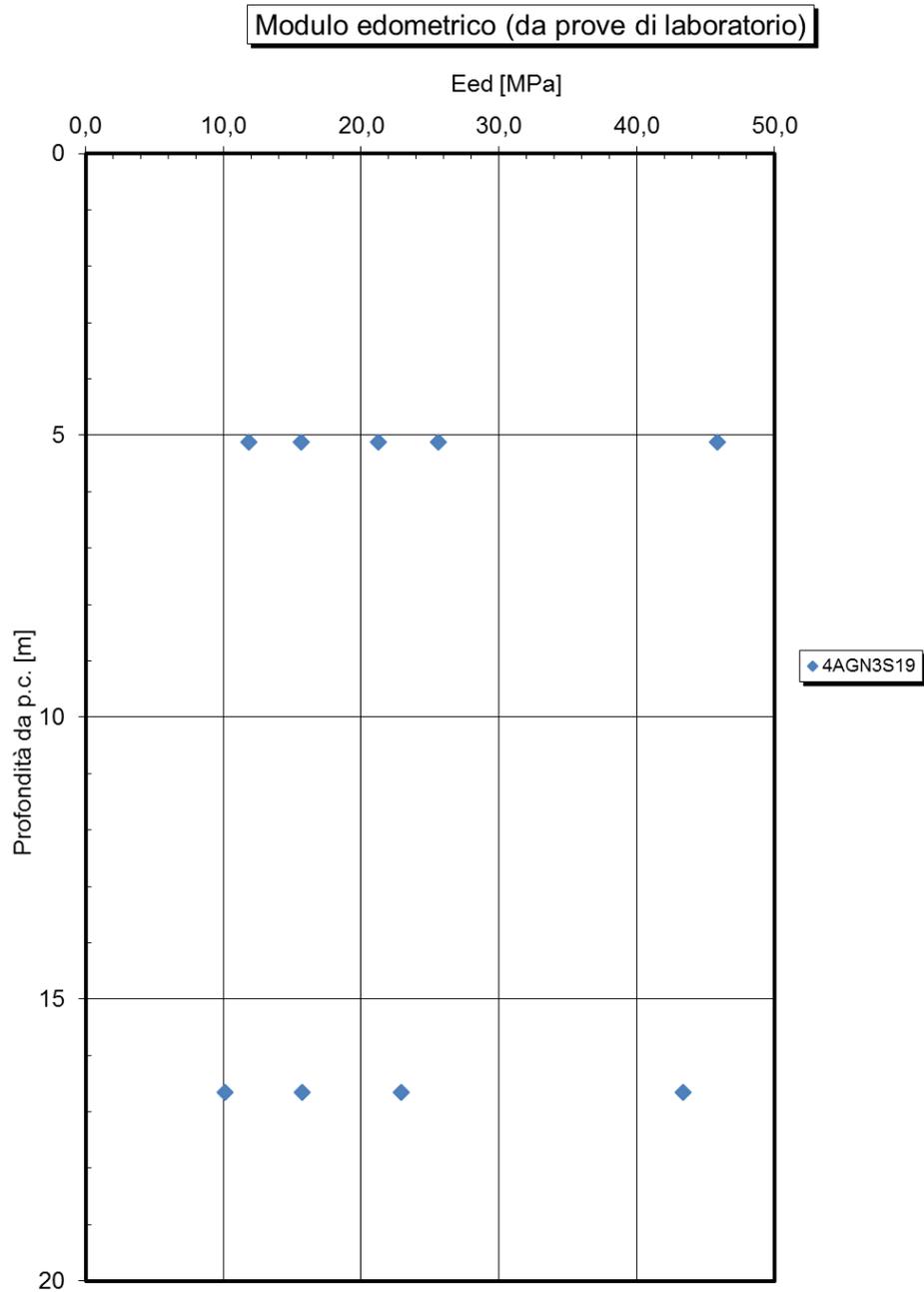


Figura 11: Galleria Trinacria - TRV – modulo edometrico da prove edometriche

GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA
E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	20 di 329

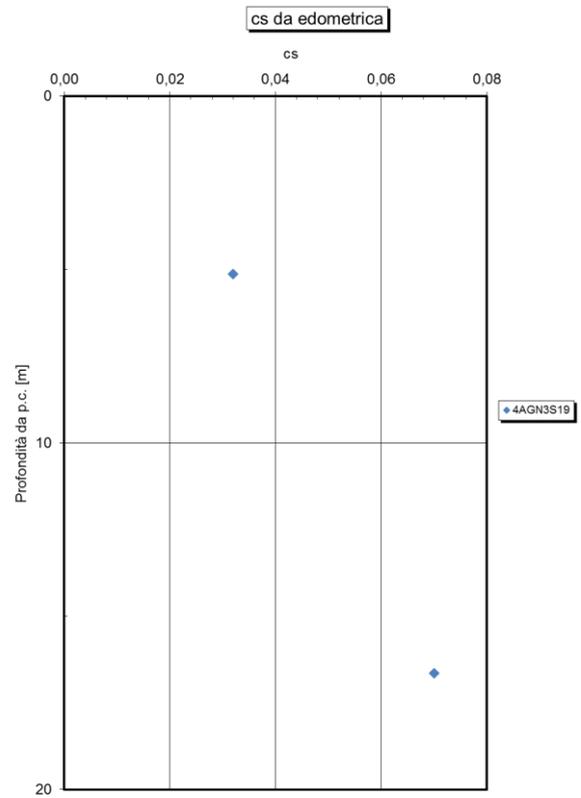
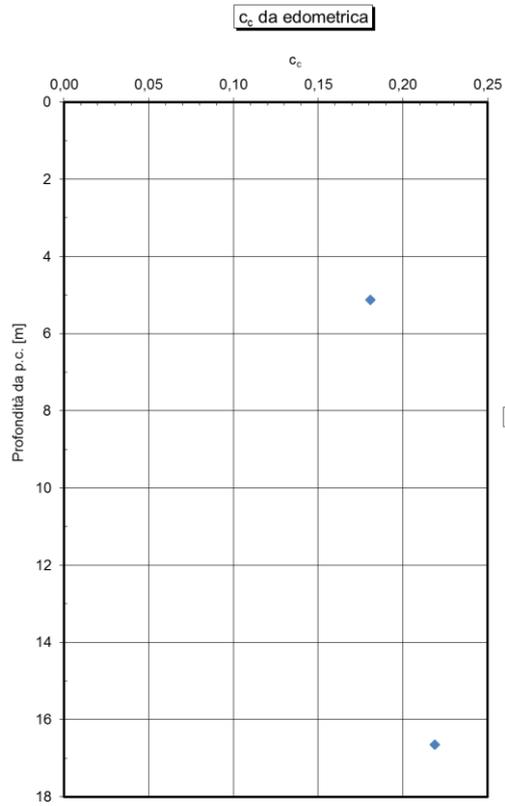


Figura 12: Galleria Trinacria - TRV – coefficienti cc e cs da prove edometriche

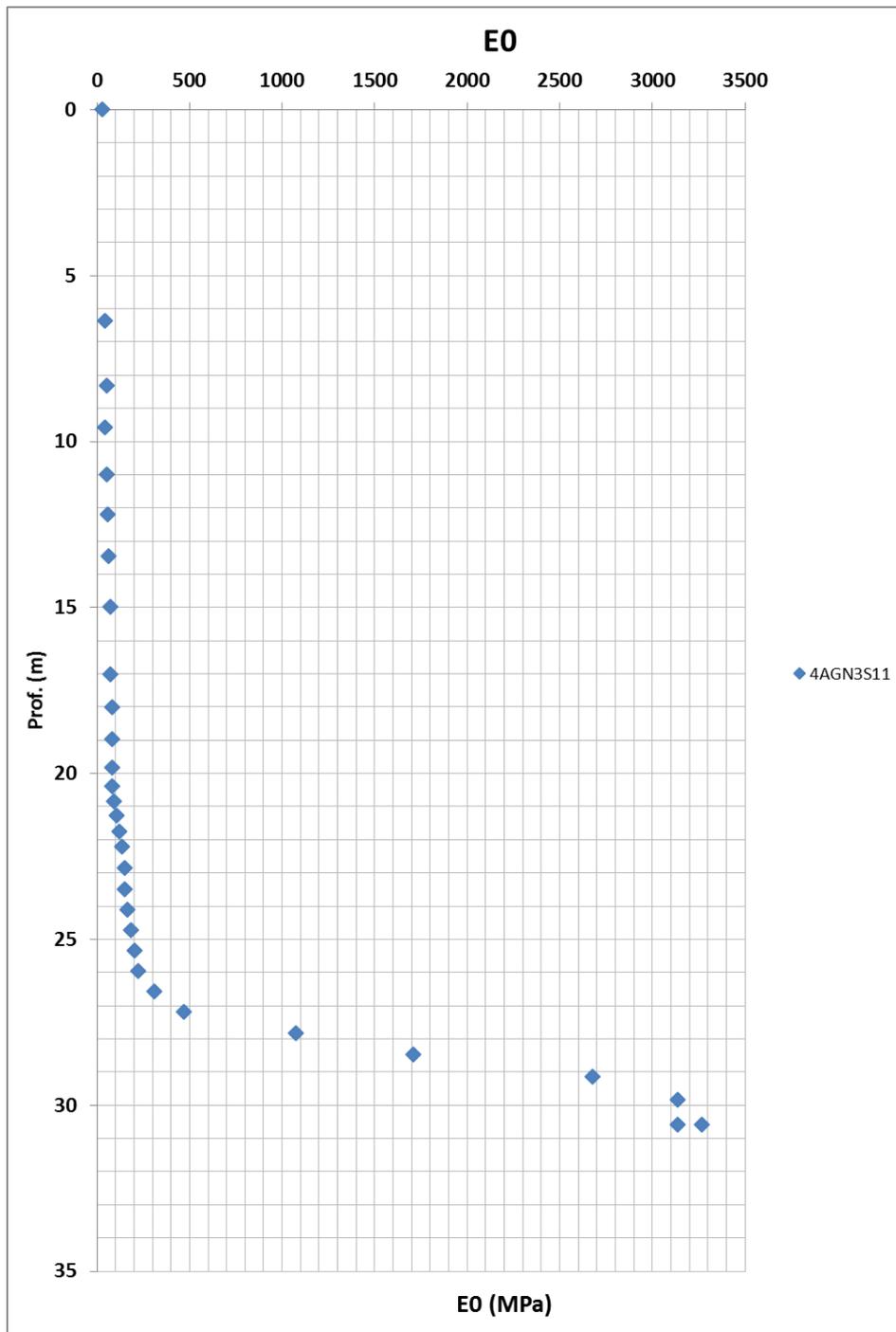


Figura 13: Galleria Trinacria - TRV – modulo di Young da sismiche

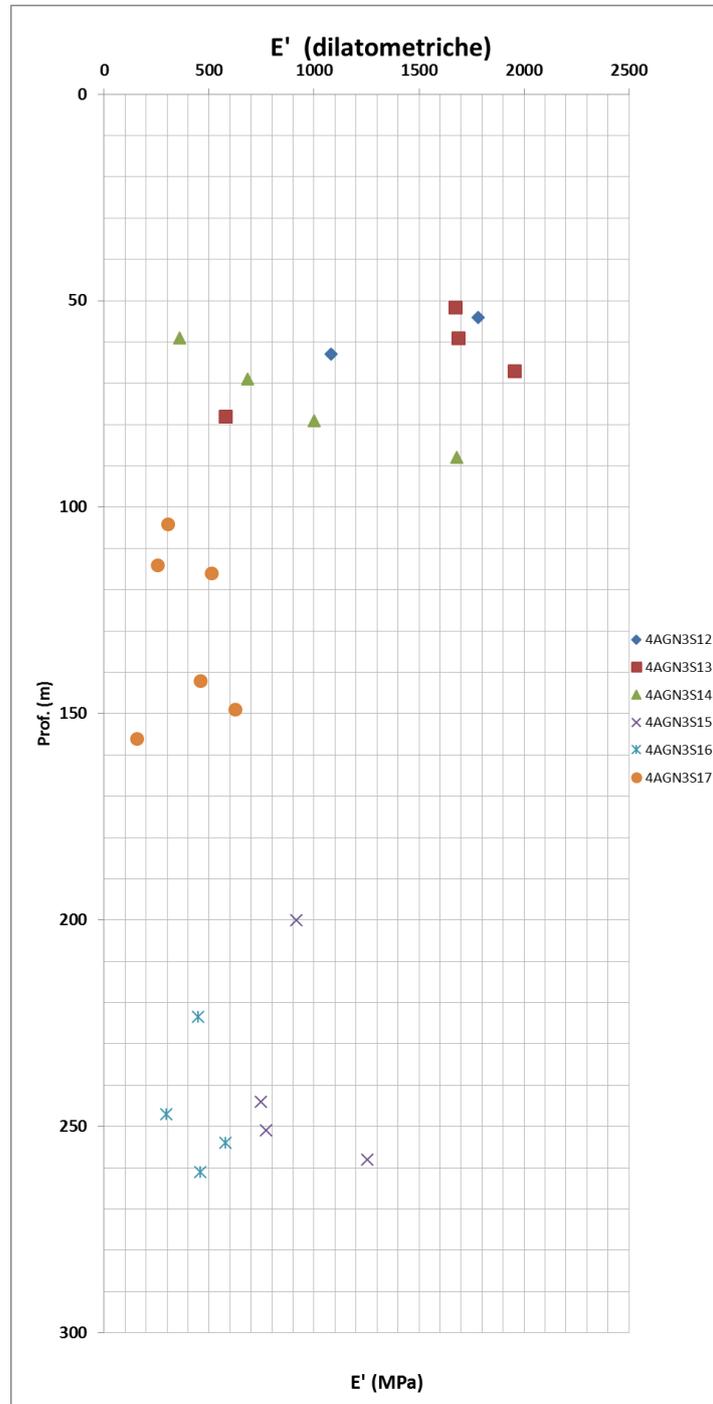


Figura 14: Galleria Trinacria - TRV – modulo di Young da dilatometriche

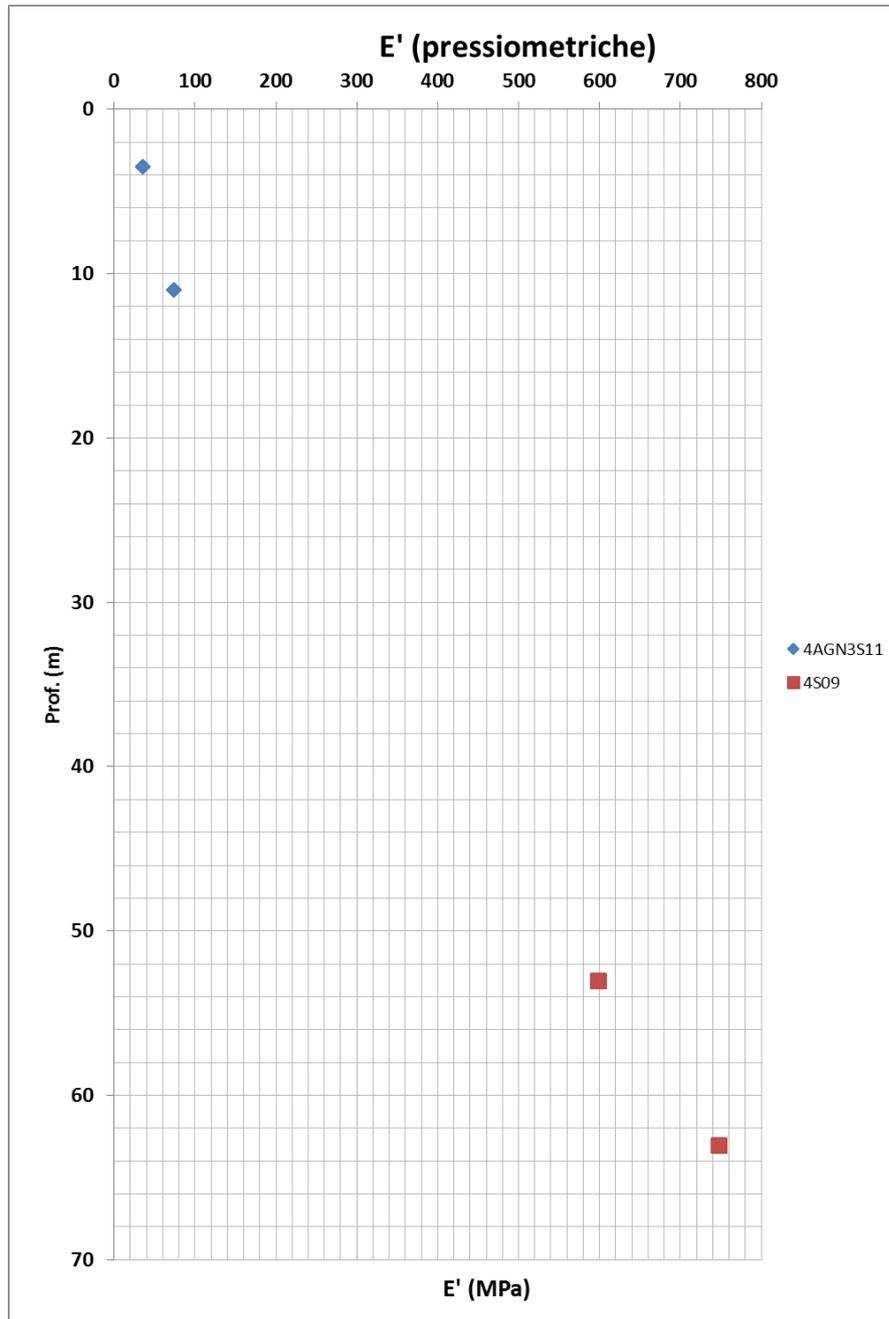


Figura 15: Galleria Trinacria - TRV – modulo di Young da pressiometriche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 1 – Parametri derivanti dalla caratterizzazione geotecnica – Galleria Trinacria - TRV

COPERTURA	FORMAZIONE	γ	GSI	m_i	σ_m	ν	E	c'	Cu	φ'
--		[kN/m ³]			[MPa]		[MPa]	[kPa]	[kPa]	[°]
IMBOCCO	TRV	21	-	-	-	0.3	50-150	15	85.05	22

7.3.2 Caratterizzazione geotecnica imbocco lato Catania

Si rimanda a quanto riportato per l'imbocco lato Palermo per ciò che riguarda stratigrafia, grafici delle risultanze della caratterizzazione geotecnica e tabella riassuntiva dei parametri di calcolo.

7.3.3 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi

Seguono le tabelle riassuntive dei parametri geotecnici utilizzati per le analisi. Si presentano due differenti stratificazioni per l'imbocco lato Palermo introdotte che si differenziano per le profondità degli strati e dei moduli elastici associati a questi.

Tabella 2 – Parametri geotecnici caratteristici – Galleria Trinacria – Imbocco lato Palermo

Profondità	FORMAZIONE	γ	ν	E	c'_{M1}	φ'_{M1}
[m]	-	[kN/m ³]	[-]	[MPa]	[kPa]	[°]
0-10	TRV	21	0.3	67	15	22
10-20	TRV	21	0.3	102	15	22
20-30	TRV	21	0.3	135	15	22

Tabella 3 – Parametri geotecnici caratteristici – Galleria Trinacria – Imbocco lato Palermo

Profondità	FORMAZIONE	γ	ν	E	c'_{M1}	φ'_{M1}
[m]	-	[kN/m ³]	[-]	[MPa]	[kPa]	[°]
0-20	TRV	21	0.3	83	15	22
20-30	TRV	21	0.3	135	15	22
30-40	TRV	21	0.3	150	15	22

Tabella 4 – Parametri geotecnici caratteristici – Galleria Trinacria – Imbocco lato Catania

Profondità	FORMAZIONE	γ	ν	E	c'_{M1}	φ'_{M1}
[m]	-	[kN/m ³]	[-]	[MPa]	[kPa]	[°]
0-10	TRV	21	0.3	67	15	22
10-20	TRV	21	0.3	102	15	22

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

20-30	TRV	21	0.3	135	15	22
-------	-----	----	-----	-----	----	----

7.3.4 Il regime idraulico

Dai risultati derivanti dalle informazioni piezometriche presenti in corrispondenza dei sondaggi in corrispondenza dell'imbocco lato Palermo (vedasi paragrafo precedente per la nomenclatura di tali indagini) gli studi idrogeologici hanno fornito una profondità di falda rispetto al p.c. di circa 4.2 m.

Per quanto riguarda l'imbocco lato Catania, osservando le informazioni piezometriche delle indagini inerenti l'imbocco in questione, il livello di falda è posto ad una profondità da p.c. di 4.2 m circa.

7.4 Caratteristiche del sito e definizione dell'azione sismica

Le opere in progetto per l'imbocco Trinacria lato Palermo si trovano nel Comune di Fontanamurata, in un sito con le seguenti coordinate geografiche: Latitudine 37.5506, Longitudine 14.1905.

Le opere in progetto per l'imbocco Trinacria lato Catania si trovano nel Comune di Vallelunga Pratameno, in un sito con le seguenti coordinate geografiche: Latitudine 37.5717, Longitudine 14.3395.

Alle strutture di sostegno, trattandosi di opere provvisoriale, si attribuisce una vita nominale $V_N = 10$ anni (cfr. § 2.4 del D.M. 17/01/2018) e, per la definizione dell'azione sismica, un periodo di riferimento, $V_R = 35$ anni (cfr. tab. C2.4.I della Circolare 7/19).

Per la galleria artificiale si definisce una vita nominale $V_N = 75$ anni e una classe d'uso III a cui corrisponde il coefficiente $C_u = 1.5$ (§ 2.4.2, DM 17/01/2018). Di conseguenza il periodo di riferimento per la definizione dell'azione sismica risulta pari a $V_R = V_N \cdot C_u = 112.5$.

Con riferimento alla probabilità di superamento dell'azione sismica, P_{VR} , attribuita allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), nel periodo V_R dell'opera in progetto, si determina il periodo di ritorno T_R del sisma di progetto:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale è stato valutato con approccio semplificato (cfr. § 3.2.2 del DM 17/01/2018) basato sulla classificazione del sottosuolo sulla base dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, poiché le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.3.II del DM 17/01/2018.

Per quanto riguarda il valore di $V_{s,eq}$ afferente all'imbocco Trinacria lato Ovest e lato Est si è fatto riferimento all'indagine MASW 4aV04 che consente di calcolare una $V_{s,eq}$ pari a 265 m/s, quindi si ha una categoria di suolo C.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Pertanto, tenendo conto dei fattori locali del sito, l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito è valutata con la relazione (cfr. cap. 7 DM 17/01/2018):

$$a_{\max} = S_s \cdot S_T \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)$$

dove:

a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido;

S_s è il fattore di amplificazione stratigrafica del terreno, funzione della categoria del sottosuolo di fondazione e dei parametri sismici F_0 e a_g/g (Tabella 3.2.IV del D.M. 17/01/2018);

S_T è il fattore di amplificazione che tiene conto delle condizioni topografiche, il cui valore dipende dalla categoria topografica e dall'ubicazione dell'opera (Tabella 3.2.V del D.M. 17/01/2018).

I valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica per le opere d'imbocco sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 5 - Parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto

	Imbocco lato Palermo		Imbocco lato Catania	
	Strutture di sostegno	Galleria artificiale	Strutture di sostegno	Galleria artificiale
Coord. Geografiche	Lat 37.5506, Lon 14.1905	Lat 37.5506, Lon 14.1905	Lat 37.5717, Lon 14.3395	Lat 37.5717, Lon 14.3395
Coord. Geografiche imbocco di riferimento	Lat 37.5717, Lon 14.3395	Lat 37.5717, Lon 14.3395	Lat 37.5717, Lon 14.3395	Lat 37.5717, Lon 14.3395
T_R	332	1068	332	1068
a_g/g	0.079	0.117	0.079	0.117
F_0	2.556	2.637	2.556	2.637
Categoria sottosuolo	C	C	C	C
S_s	1.5	1.5	1.5	1.5
Categoria topografica	T1	T1	T1	T1

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40</p>	<p>CODIFICA D 07 CL</p>	<p>DOCUMENTO GA 00 00 003</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 27 di 329</p>

S_T	1.0	1.0	1.0	1.0
a_{max}/g	0.119	0.176	0.119	0.176

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 28 di 329

8 SOLUZIONI PROGETTUALI

8.1 Imbocco Trinacria lato Palermo

8.1.1 Opere di sostegno

L'imbocco Trinacria lato Palermo comprende paratie tirantate su più ordini realizzate con pali di diametro 1000 mm e interasse pari a 1.2 m. L'altezza massima di scavo (valutata con riferimento al piazzale di imbocco avente quota assoluta di 341 m.s.l.m.) è di circa 15 m; le altre altezze valutate come dimensionanti al fine del calcolo sono 16 e 13 m.

I tiranti saranno disposti su più ordini a passo variabile (al fine di rispettare il passo dei pali della paratia). Tali tiranti si comporranno di più trefoli (da 3 a 5 a seconda dell'ordine) con un diametro del bulbo variabile da 16 cm a 20cm. La lunghezza massima del bulbo sarà di circa 12 m. La lunghezza libera è valutata in base all'inclinazione del tirante (10° per quelli posizionati nella la parte frontale e una parte del lato sinistro, 20° per i rimanenti), alla sua distanza dal piede della paratia e al valore di accelerazione massima in situ.

In corrispondenza dell'imbocco delle gallerie TBM verrà eseguito un tampone a tergo della paratia costituito da pali plastici (la cui geometria viene meglio descritta negli elaborati grafici) avente larghezza trasversale all'asse della galleria pari a circa 16 m, estensione dall'imbocco di circa 16 m e profondità massima di 23.50 m, al fine di favorire le operazioni di scavo delle TBM. La parte di paratia in cui è presente l'imbocco non presenta tiranti a trefoli.

L'esecuzione dei tamponi con pali plastici avviene precedentemente alla realizzazione delle paratie di pali, tramite la realizzazione di piste apposite per la gestione delle aree interessate a tergo della futura paratia di pali.

Le strutture di sostegno verranno realizzate tramite l'esecuzione di pali trivellati di lunghezza variabile e successivamente per fasi di ribasso si eseguirà l'installazione degli ordini di tiranti attivi, che verranno opportunamente pretirati secondo le esigenze progettuali descritte negli allegati di calcolo.

8.1.2 Galleria artificiale

In corrispondenza degli imbocchi della galleria Trinacria vengono realizzati dei conchi di attacco aventi spessore costante di 0.45 m e raggio interno di 4.05 m. Questi sono realizzati all'interno di dime (spessore calotta di 0.90 m e spessore piedritti di 1.60 m) e su selle (spessore in asse di 1.70 m).

Le gallerie artificiali sono realizzate su una sella avente spessore in asse di 1.70 m, lo spessore della calotta è di 0.90 m, mentre lo spessore del piedritto è di 1.50 m.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 29 di 329

8.2 Imbocco Trinacria lato Catania

8.2.1 Opere di sostegno

L'imbocco Trinacria lato Catania comprende paratie tirantate su più ordini realizzate con pali di diametro 1000 mm e interasse pari a 1.2 m. L'altezza massima di scavo (valutata con riferimento al piazzale di imbocco avente quota assoluta di 450 m.s.l.m.) è di circa 14 m, mentre l'altra altezza valutata come dimensionante al fine del calcolo è 10 m.

I tiranti saranno disposti su più ordini a passo variabile (al fine di rispettare il passo dei pali della paratia). Tali tiranti si comporranno di più trefoli (da 3 a 5 a seconda dell'ordine) con un diametro del bulbo variabile da 16 cm a 20cm. La lunghezza massima del bulbo sarà di circa 12 m. La lunghezza libera è valutata in base all'inclinazione del tirante (10° per quelli posizionati nella la parte frontale e una parte del lato sinistro, 20° per i rimanenti), alla sua distanza dal piede della paratia e al valore di accelerazione massima in situ.

Le strutture di sostegno verranno realizzate tramite l'esecuzione di pali trivellati di lunghezza variabile e successivamente per fasi di ribasso si eseguirà l'installazione degli ordini di tiranti attivi, che verranno opportunamente pretirati secondo le esigenze progettuali descritte negli allegati di calcolo.

8.2.2 Galleria artificiale

In corrispondenza degli imbocchi della galleria Trinacria vengono realizzati dei conci di attacco aventi spessore in calotta di 0.90 m, in corrispondenza dell'arco rovescio di 1.10 m e in piedritto 1.15 m. Questi sono realizzati all'interno di dime aventi spessore calotta di 0.80 m, spessore piedritti di 1.20 m e in corrispondenza dell'arco rovescio 1.10 m.

Le gallerie artificiali sono realizzate come scatolari aventi spessore in asse arco rovescio di 2.00 m, lo spessore della calotta è di 1.60 m, mentre lo spessore del piedritto è di 2.00 m.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

9 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei diversi materiali impiegati nelle opere in progetto, con l'indicazione dei valori adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni del DM 17/01/2018 e del "Manuale di progettazione delle opere civili" RFI DTC SI MA IFS 001 C.

Strutture di sostegno provvisionali

Calcestruzzo pali paratia	
Classe di resistenza	C25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 16.6 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3} = 31475.81 \text{ MPa}$

Acciaio per tubi e profilati	
Tipo	S 355 JR / S 275 JR
Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 510 / 430 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento di calcolo	cfr. 4.2.4 a 4.2.8 del D.M. 17/01/18

Acciaio armonico per tiranti	
Tipo	Trefoli da 0,6''
Tensione di rottura caratteristica	$f_{ptk} \geq 1860 \text{ MPa}$
Tensione elastica all'1% di deformazione	$f_{p(1)k} \geq 1670 \text{ MPa}$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Calcestruzzo pali plastici	
Resistenza a compressione	$R_{ck}=3$
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0.85 f_{ck}/1.5 = 1.411 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3} = 22318 \text{ MPa}$

Galleria artificiale

Calcestruzzo armato	
Classe di resistenza	C25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0.85 f_{ck}/1.5 = 16.6 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3} = 31475.81 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio (DM 17/01/2018 Rif. [1]).	$\sigma_c = 0.6f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$ combinazione caratteristica (rara) $\sigma_c = 0.45f_{ck} = 11.205 \text{ MPa}$ combinazione quasi permanente

Acciaio per barre di armatura	
Tipo	B450C
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 391.3 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio (DM 17/01/2018 Rif. [1]).	$\sigma_{lim} = 0.8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 32 di 329

10 CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE

Le verifiche sono state condotte in accordo con le prescrizioni e le indicazioni del DM 17/01/2018 e della Circolare n.7/19 (Rif. [1]- Rif. [2]).

10.1 Opere di sostegno

10.1.1 Azioni

Le azioni considerate per la verifica delle strutture di sostegno dell'imbocco sono le seguenti:

- **azioni permanenti:** peso proprio degli elementi strutturali, spinta del terreno a monte e a valle dell'opera, carico fittizio simulante l'inclinazione del pendio a monte dell'opera opportunamente discretizzato in modo da simulare fedelmente il reale andamento del profilo topografico del pendio.
- **azioni variabili:** carico variabile sul piano campagna a monte della struttura di sostegno, Q_{IM} , atto a schematizzare nella fase costruttiva l'eventuale presenza di sovraccarichi di varia natura connessi alla realizzazione delle opere.
- **azione sismica:** l'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo è definita nel paragrafo 8.4.

10.1.2 Approcci progettuali e metodi di verifica

Le verifiche delle strutture di sostegno sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite ultimi (SLU):

- collasso del complesso opera-terreno;
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi,
- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

Per le strutture di sostegno flessibili si adotta l'Approccio Progettuale 1 con le due combinazioni di coefficienti parziali (tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I del DM 17/01/2018):

- combinazione 1: $A1 + M1 + R1$
- combinazione 2: $A2 + M2 + R1$.

Il dimensionamento geotecnico dell'opera è stato condotto con la verifica di stati limite ultimi GEO, applicando la Combinazione 2 ($A2+M2+R1$). Per le verifiche di stati limite ultimi STR l'analisi è stata condotta con la combinazione 1 ($A1+M1+R1$), applicando i coefficienti parziali $A1$ ($\gamma = 1,3$) all'effetto

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 33 di 329

delle azioni. A tale scopo, nelle analisi, i valori caratteristici dei carichi variabili sfavorevoli sono stati amplificati di un coefficiente pari a $1,5/1,3= 1,15$.

Al fine di rispettare le richieste della Normativa in merito al modello geometrico di riferimento (§6.5.2.2 DM 17/01/2018) nel caso di opere in cui la funzione di sostegno è affidata alla resistenza del volume di terreno a valle dell'opera, la quota di valle è diminuita della quantità prevista, per opere vincolate:

$$\Delta h = \min (0.5; 10\% \Delta t)$$

in cui Δt è la differenza di quota tra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo.

Il corretto dimensionamento nei confronti degli SLU assicura che gli spostamenti dell'opera siano compatibili con le esigenze di funzionalità della stessa; pertanto, trattandosi di opere provvisorie, in assenza di fabbricati o altre opere da salvaguardare a ridosso delle stesse, non si ritengono necessarie ulteriori valutazioni di verifica nei confronti degli SLE.

Per le verifiche di stabilità globale è stato applicato l'Approccio 1- Combinazione 2 (A2+M2+R2 – tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I del DM 17/01/2018).

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), con riferimento alla configurazione finale dell'opera di sostegno. Per le verifiche in condizioni sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono pari all'unità. Si adotta il metodo pseudostatico, calcolando il coefficiente sismico orizzontale secondo le prescrizioni della normativa (DM 17/01/2018):

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right)$$

dove:

- a_{max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito,
- α è il coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 del DM 17/01/2018);
- β è il coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 del DM 17/01/2018).

Per la definizione dell'azione sismica si rimanda al paragrafo 7.4. L'effetto del sisma sulle strutture di sostegno è ottenuto applicando un incremento di spinta (cfr § 7.11.6.3.1 del D.M. 17/01/2018 e § C7.11.6.3 della Circolare 7/19) del terreno valutato secondo la teoria di Mononobe-Okabe, agente direttamente sulla paratia secondo una distribuzione uniforme sull'intera altezza dell'opera.

$$\Delta S_E = \left[\frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot (K_{aE} - K_a) \right] / H,$$

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 34 di 329

dove: γ rappresenta il peso dell'unità di volume della formazione con la quale l'opera interagisce, H rappresenta l'altezza totale dell'opera (comprensiva del tratto infisso), K_{aE} e K_a rappresentano i coefficienti di spinta attiva in condizioni sismiche e statiche rispettivamente.

Per la valutazione della spinta passiva si assume $\alpha=1$ (§7.11.6.3 del DM 17/01/2018). Il coefficiente sismico verticale, k_v , si assume pari a 0 (§7.11.6.3 del DM 17/01/2018).

I coefficienti di spinta attiva sono determinati attraverso la relazione di Mononobe (1929) e Okabe (1926). I coefficienti di spinta passiva sono determinati attraverso la relazione di Lancellotta (2007). L'angolo di attrito terreno/struttura, δ , si assume pari a 2/3 della resistenza al taglio del terreno naturale.

Le verifiche sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo PARATIE (versione 14 plus).

Le verifiche di stabilità globale sono state condotte con il codice di calcolo SLOPE/W (versione 2007).

10.1.3 Tiranti di ancoraggio

Gli Stati Limite Ultimi per questa tipologia di opere si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e del raggiungimento della resistenza dei materiali strutturali da cui sono composti.

Per il dimensionamento geotecnico, deve risultare verificata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

con specifico riferimento allo stato limite di sfilamento della fondazione dell'ancoraggio. La verifica di tale condizione è da effettuarsi con riferimento alla combinazione A1+M1+R3, utilizzando per i coefficienti A1 ed M1 i valori riportati nelle Tab. 6.2.I e Tab 6.2.II del DM 17/01/2018 e per le resistenze i valori riportati in Tab. 6.6.I del DM17/01/2018.

La verifica a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio si esegue confrontando la massima azione di progetto (E_d) con la resistenza di progetto R_{ad} , determinata applicando alla resistenza caratteristica R_{sk} i coefficienti parziali γ_R riportati nella tabella precedente, in funzione del tipo di ancoraggio.

Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio è stato determinato utilizzando metodi analitici, pertanto il valore di questa deve essere assunto come il minore dei valori derivanti dall'applicazione dei fattori di correlazione ξ_{a3} e ξ_{a4} riportati in Tab. 6.6.II del DM 17/01/2018, in funzione del numero di verticali di indagine che consentono la completa identificazione del modello geotecnico del sottosuolo per il terreno interessato dalle fondazioni degli ancoraggi.

Nella valutazione analitica della resistenza allo sfilamento degli ancoraggi, inoltre, si fa riferimento ai coefficienti parziali di sicurezza del terreno M1 (pertanto non vengono ridotte le caratteristiche dei terreni in cui le fondazioni degli ancoraggi verranno realizzate).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

La lunghezza libera del tirante, in assenza di evento sismico è definita dall'intersezione con un piano inclinato di $(45^\circ - \varphi/2)$ sulla verticale, parallelo al piano passante per il piede della paratia e da esso distante 0.20 h.

In presenza di evento sismico, con i tiranti attivi, secondo quanto proposto dal DM 17/01/2018 al § 7.11.6.4, la lunghezza libera da considerare è:

$$L_E = L_L \times (1 + 1.5 \times a_{\max}/g)$$

dove:

L_E : lunghezza libera in condizioni sismiche

L_L : lunghezza libera in condizioni statiche

10.1.4 Stabilità globale

In accordo con le indicazioni del DM 17/01/2018 § 6.8.2, le verifiche di sicurezza SLU sono state condotte secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2), in cui A2 sono i coefficienti moltiplicativi delle azioni e M2 e R2 sono i coefficienti riduttivi dei parametri di resistenza dei materiali e della resistenza globale del sistema. Il rapporto tra R_d ed E_d dovrà risultare sempre maggiore o uguale a $\gamma_R = 1.1$ in condizioni statiche per assicurare che la verifica di sicurezza richiesta da normativa sia rispettata.

Per le verifiche sismiche si applicano gli stessi criteri ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§7.11.1 e § 7.11.4 del DM 17/01/2018) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.2$. (§ 7.11.4 del DM 17/01/2018).

Per la valutazione della superficie di scorrimento critica (ed in generale di tutte le superfici di scorrimento) è stato utilizzato il metodo di Morgenstern & Price.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi SLV, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_h = k_h \cdot W \quad \text{ed} \quad F_v = k_v \cdot W$$

con k_h e k_v pari rispettivamente ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max}/g \quad \text{e} \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

in cui:

- β_s : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- a_{\max} : accelerazione orizzontale massima attesa al sito (cfr. §7.4).
- g: accelerazione di gravità.

Il valore di β_s è assunto pari a 0.38 coerentemente con le indicazioni del §7.11.4 delle DM 17/01/2018.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 36 di 329

10.2 Gallerie artificiali

10.2.1 Azioni

Per le gallerie artificiali si individuano le seguenti azioni:

- **azioni permanenti:** peso proprio della struttura (P.P), spinte del terreno sui fianchi della galleria (SP_{sx} e SP_{dx}), carico verticale P.cop (rappresentato dal terreno di ricoprimento);
- **azioni variabili:** carico variabile Q_1 pari a 20 kN/m² (legato ai mezzi di cantiere), spinte sui fianchi della galleria (SQ_{1sx} e SQ_{1dx}) generate dal carico Q_1 .
- **azione sismica:** l'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo è definita nel paragrafo 7.4. I carichi considerati sono: incremento di spinta del terreno sui fianchi della galleria ($\pm \Delta Sh$), variazione del peso del terreno di ritombamento ($\pm \Delta Sv$), effetti inerziali della struttura della galleria nelle direzioni orizzontale e verticale (Ih e Iv).

Sulla base della definizione dei carichi di cui sopra, in accordo a quanto prescritto dal DM 17/01/2018, sono state individuate le combinazioni di carico per le verifiche di stati limite ultimi e di esercizio in condizioni statiche e in condizioni sismiche:

- combinazione fondamentale (SLU)
- combinazione caratteristica (SLE): il coefficiente di combinazione per il carico variabile Q_1 è pari a 1
- combinazione frequente (SLE): il coefficiente di combinazione per il carico variabile Q_1 è pari a 0.8
- combinazione quasi permanente (SLE): il coefficiente di combinazione per il carico variabile Q_1 è pari a 0
- combinazione sismica (SLV, SLD): il coefficiente di combinazione per il carico variabile Q_1 è pari a 0.2.

10.2.2 Approcci progettuali e metodi di verifica

Le verifiche delle gallerie artificiali sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite:

- stati limite ultimi (SLU):
 - instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
 - raggiungimento della resistenza strutturale
- stati limite di esercizio in condizioni statiche (SLE):
 - controllo dello stato tensionale e fessurativo degli elementi strutturali.

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV) e allo stato limite di danno (SLD). Per tali verifiche i coefficienti parziali sulle azioni sono pari all'unità.

CARICHI ELEMENTARI	SLU : COMBINAZIONI DI CARICO STATICHE						
	SLU-1	SLU-2	SLU-3	SLU-4	SLU-5	SLU-6	SLU-7
PP	1.3	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0
Pcop	1.3	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0
SP.sx	1.3	1.0	1.3	1.3	1.3	1.0	1.0
SP.dx	1.3	1.0	1.3	1.0	1.0	1.3	1.3
Qd.sx	1.5	1.5	0.0	1.5	0.0	1.5	0.0
Qd.dx	1.5	1.5	0.0	1.5	0.0	1.5	0.0
SQ.sx	1.5	0.0	1.5	1.5	1.5	0.0	0.0
SQ.dx	1.5	0.0	1.5	0.0	0.0	1.5	1.5

CARICHI ELEMENTARI	COMBINAZIONI SLE				
	CARATT.	FREQUENTE			QUASI P.
		SLE - C	SLE-F1	SLE-F2	
PP	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Pcop	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SP.sx	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SP.dx	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Qd.sx	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0
Qd.dx	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0
SQ.sx	1.0	0.0	0.8	0.0	0.0
SQ.dx	1.0	0.0	0.0	0.8	0.0

CARICHI ELEMENTARI	SLV : COMBINAZIONI DI CARICO SISMICHE															
	SLV - 1	SLV - 2	SLV - 3	SLV - 4	SLV - 5	SLV - 6	SLV - 7	SLV - 8	SLV - 9	SLV - 10	SLV - 11	SLV - 12	SLV - 13	SLV - 14	SLV - 15	SLV - 16
PP	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Pcop	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SP.sx	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SP.dx	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Qd.sx	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Qd.dx	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
SQ.sx	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
SQ.dx	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
ΔS.h	1.0	-1.0	1.0	-1.0	0.3	-0.3	0.3	-0.3	1.0	-1.0	1.0	-1.0	0.3	-0.3	0.3	-0.3
ΔS.v	-0.3	0.3	0.3	0.3	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-0.3	-0.3	0.3	0.3	-1.0	-1.0	1.0	1.0
I.h	1.0	-1.0	1.0	-1.0	0.3	-0.3	0.3	-0.3	-1.0	1.0	-1.0	1.0	-0.3	0.3	-0.3	0.3
I.v	-0.3	-0.3	0.3	0.3	-1.0	-1.0	1.0	1.0	0.3	0.3	-0.3	-0.3	1.0	1.0	-1.0	-1.0
ΔS.h sx	1.0	0.0	1.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0
ΔS.h dx	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.3	0.0	0.3

CARICHI ELEMENTARI	SLE : combinazioni per SAP2000				
	CARATT.	FREQUENTE			QUASI P.
		SLE - C	SLE-F1	SLE-F2	
PP	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Pcop	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
SP.sx	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

SP.dx	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Qd_sx	20.0	16.0	0.0	0.0	0.0
Qd_dx	20.0	16.0	0.0	0.0	0.0
SQ.sx	10.0	0.0	8.0	0.0	0.0
SQ.dx	10.0	0.0	0.0	8.0	0.0

CARICHI ELEMENTARI	SLU : Combinazioni per SAP2000						
	SLU-1	SLU-2	SLU-3	SLU-4	SLU-5	SLU-6	SLU-7
PP	1.3	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0
Pcop	26.0	26.0	20.0	26.0	20.0	26.0	20.0
SP.sx	13.0	10.0	13.0	13.0	13.0	10.0	10.0
SP.dx	13.0	10.0	13.0	10.0	10.0	13.0	13.0
Qd_sx	30.0	30.0	0.0	30.0	0.0	30.0	0.0
Qd_dx	30.0	30.0	0.0	30.0	0.0	30.0	0.0
SQ.sx	15.0	0.0	15.0	15.0	15.0	0.0	0.0
SQ.dx	15.0	0.0	15.0	0.0	0.0	15.0	15.0

CARICHI ELEMENTARI	SLV : combinazioni per SAP2000															
	SLV - 1	SLV - 2	SLV - 3	SLV - 4	SLV - 5	SLV - 6	SLV - 7	SLV - 8	SLV - 9	SLV - 10	SLV - 11	SLV - 12	SLV - 13	SLV - 14	SLV - 15	SLV - 16
PP	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Pcop	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
SP.sx	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
SP.dx	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Qd_sx	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Qd_dx	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
SQ.sx	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
SQ.dx	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
ΔS.h sx	1.0	0.0	1.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0
ΔS.h dx	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.3	0.0	0.3
ΔS.v	-0.3	0.3	0.3	0.3	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-0.3	-0.3	0.3	0.3	-1.0	-1.0	1.0	1.0
I.h	1.0	-1.0	1.0	-1.0	0.3	-0.3	0.3	-0.3	-1.0	1.0	-1.0	1.0	-0.3	0.3	-0.3	0.3
I.v	-0.3	-0.3	0.3	0.3	-1.0	-1.0	1.0	1.0	0.3	0.3	-0.3	-0.3	1.0	1.0	-1.0	-1.0

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 39 di 329

Per la verifica agli stati limite in condizioni sismiche (SLV e SLD) si è adottato il metodo pseudostatico, calcolando i coefficienti sismici orizzontale e verticale in analogia con quanto indicato dalla normativa (DM 17/1/2018) per i muri di sostegno:

$$k_h = \beta_m \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right)$$

$$k_v = \pm \frac{1}{2} \cdot k_h$$

dove:

- a_{\max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito,
- β_m è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima assunto pari a 1.

Per il calcolo delle sollecitazioni si è adottato il metodo delle reazioni iperstatiche attraverso una modellazione numerica ad elementi finiti monodimensionali. Si è utilizzato il codice di calcolo SAP2000 (versione 15). Si considera una sezione di galleria di lunghezza unitaria definendo per la struttura un modello costituito da conci monodimensionali (elementi beam). Gli spessori delle diverse aste sono variabili secondo l'elemento strutturale considerato (calotta, piedritto, arco rovescio). L'interazione tra il terreno e la struttura è simulata attraverso elementi elastici radiali: la rigidezza di tali supporti è calcolata secondo le seguenti formulazioni:

$$k = \frac{E'}{R_{eq} \cdot (1+\nu)} \cdot i \quad (\text{per i tratti curvilinei})$$

$$k = \frac{E'}{B \cdot (1-\nu^2)} \cdot i \quad (\text{per tratti rettilinei})$$

dove:

- R_{eq} è il raggio di curvatura equivalente dell'anello;
- B è la lunghezza del tratto rettilineo di carpenteria;
- i è l'interasse tra le bielle;
- ν ed E' il coefficiente di Poisson ed il modulo elastico del mezzo al contorno rispettivamente;

11 VERIFICA DELLE OPERE DELL'IMBOCCO TRINACRIA LATO OVEST

11.1 Opere di sostegno

Sono state verificate le seguenti sezioni:

- sez. 1: paratia frontale H=35m;
- sez. 2: paratia di pali laterale H=31 m;
- sez. 3: paratia di pali laterale H=23m.

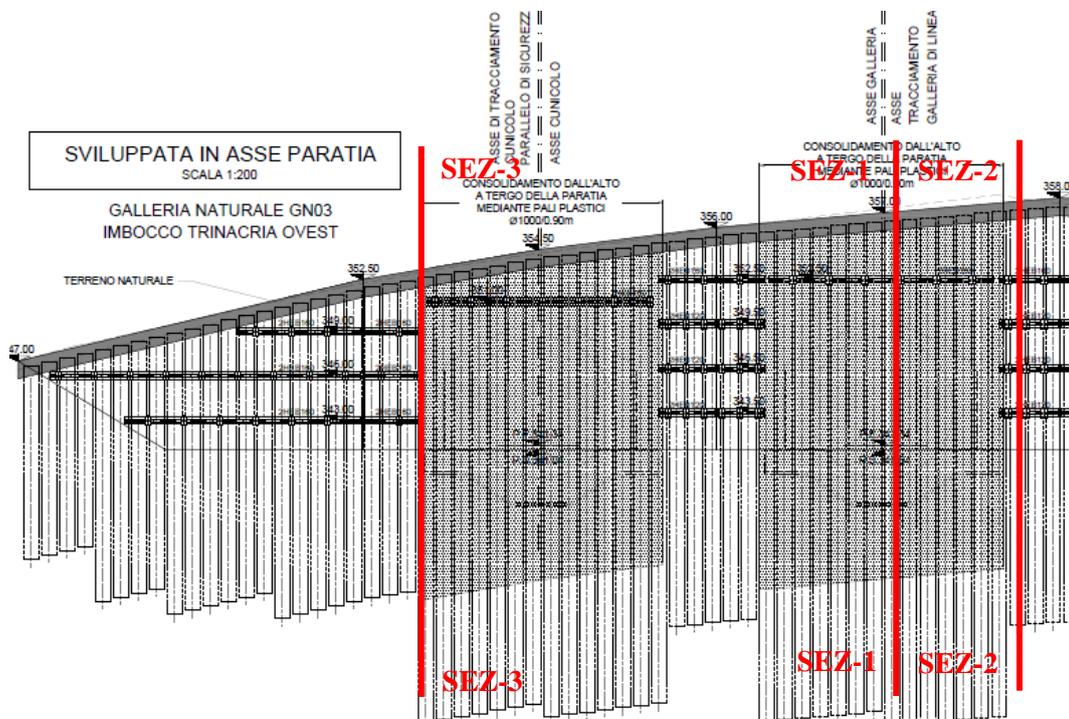


Figura 16: Sviluppata paratia con indicazione sezioni di calcolo

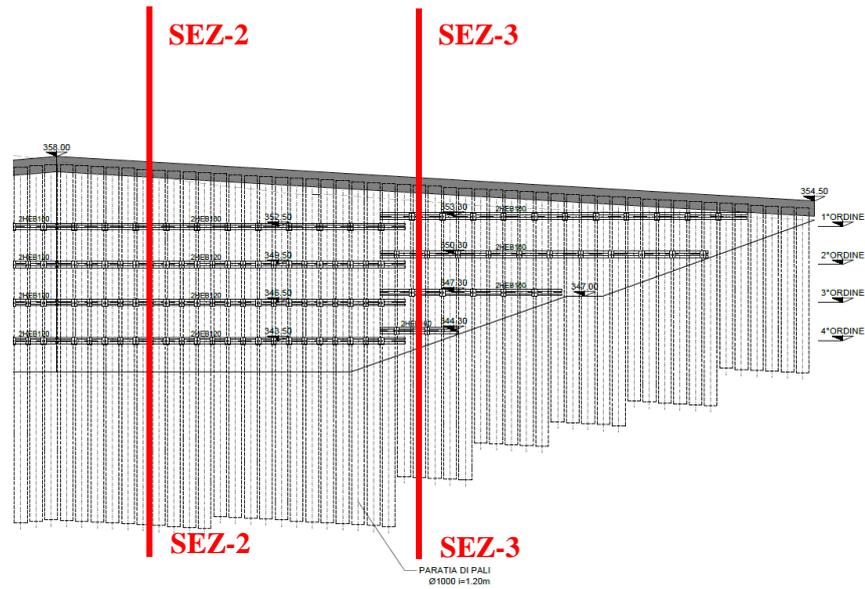


Figura 17: Sviluppata paratia con indicazione sezioni di calcolo

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

11.1.1 Sezione 1: paratia frontale H=35m

Sono di seguito descritti il modello geotecnico e le principali caratteristiche dell'opera strutturale adottate nelle analisi di verifica.

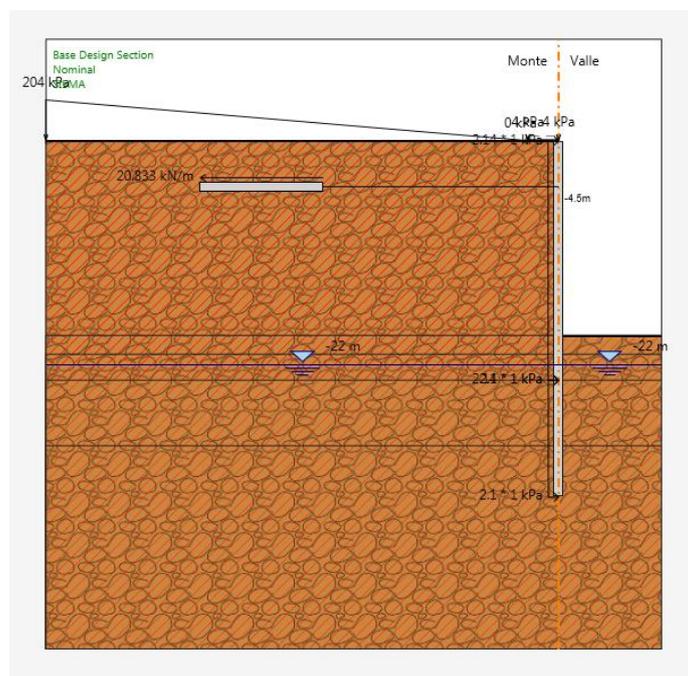


Figura 18: Sezione 1 – paratia frontale H=35m

11.1.1.1 Geometria e parametri geotecnici del modello

Tabella 6 – Sezione 1 – Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo

Tipologia struttura di sostegno	Pali $\Phi 1000$ mm ad interasse 1.2 m, calcestruzzo C25/30
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 35$ m
Altezza di scavo	$H = 21$ m
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% (18-0)] = 0.5$ m
Ordini di tiranti (n°)	1
Passo orizzontale tiranti	2.4
Passo verticale dei tiranti	-
Inclinazione del piano campagna a monte	Inferiore a 10° (categoria topografica T1)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Inclinazione del piano campagna a valle	0°
Sovraccarichi permanenti a monte	Variabili per simulare il versante (da 0 a 204 kPa)
Sovraccarichi permanenti a valle	nessuno
Sovraccarichi variabili a monte	q = 20 kPa
Sovraccarichi variabili a valle	nessuno

Tabella 7 – Sezione 1 – Parametri geotecnici di calcolo - TRV

Terreno	Gruppo coeff. parziali	Condizione	γ	c_d	ϕ'_d	δ_{attiva}	$\delta_{passiva}$	E'	E'_{ur}	k_o	K_{ah}	K_{ph}
			(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(°)	(°)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
TRV	M1	SLU	21	15	22	15	15	83-135-150	83-135-150	0.63	0.392	2.879
		SLV					0				0.4077	2.1124
	M2	SLU		12	18	12	12			0.69	0.4649	2.3135
		SLV				0					-	
γ = peso dell'unità di volume												
c'_d = coesione efficace (valore di calcolo)												
ϕ'_d = angolo di resistenza al taglio (valore di calcolo)												
δ = angolo d'attrito struttura/terreno												
E' = modulo di Young												
E'_{ur} = modulo di Young (scarico/ricarico)												
k_o = coefficiente di spinta a riposo												
K_a = coefficiente di spinta attiva												
K_p = coefficiente di resistenza passiva												

Tabella 8 – Sezione 1 – Parametri geotecnici di calcolo - Tampone

Terreno	Gruppo coeff. parziali	Condizione	γ	c_d	ϕ'_d	δ_{attiva}	$\delta_{passiva}$	E'	E'_{ur}	k_o	K_{ah}	K_{ph}
			(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(°)	(°)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
TAMPONE PALI PLASTICI	M1	SLU	21	623	49	32	32	22318	22318	0.24	0.1141	22.6468
		SLV					0				0.1219	6.9998
	M2	SLU		498	42	28	28			0.33	0.1576	11.9918
		SLV				0					-	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

γ = peso dell'unità di volume
c'_d = coesione efficace (valore di calcolo)
ϕ'_d = angolo di resistenza al taglio (valore di calcolo)
δ = angolo d'attrito struttura/terreno
E' = modulo di Young
E'_{ur} = modulo di Young (scarico/ricarico)
k_o = coefficiente di spinta a riposo
K_a = coefficiente di spinta attiva
K_p = coefficiente di resistenza passiva

Tabella 9 – Sezione 1 – Parametri per il calcolo dell'azione sismica

Terreno	Condizione	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	a_g/g	S	a_{max}/g	α	u_s	β	K_h
		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	(-)	(-)
TRV	SLV	C	T1	0.0794	1.50	0.1191	0.410	0.175	0.45	0.0218

α = coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 del DM 17/01/2018)
 u_s = spostamento ammissibile
 β = coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 del DM 17/01/2018)
 k_h = coefficiente sismico

11.1.1.2 Fasi di calcolo

L'analisi è articolata nelle seguenti fasi:

- Condizione geostatica e carico permanente del versante lato monte, esecuzione del tamponamento a tergo;
- Esecuzione della paratia di pali;
- Successivi step di scavo;
- Scavo fino alla quota relativa al fondo scavo;
- Scavo fino alla quota relativa alla base della sella;
- Applicazione dell'azione sismica in corrispondenza della quota di fondo scavo;

11.1.1.3 Risultati delle analisi e verifiche

I risultati delle analisi sono di seguito descritti ed illustrati.

1) Verifica del complesso opera-terreno

La verifica è finalizzata a garantire il corretto dimensionamento dell'opera con particolare riferimento alla profondità di infissione della paratia, sia in condizioni statiche (SLU) che sismiche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

(SLV). A tale scopo, nei prospetti che seguono, sono riportati gli output in termini di deformata dell'opera.

Per entrambi gli stati limite considerati, la profondità di infissione dell'opera di sostegno garantisce uno spostamento nullo al piede.

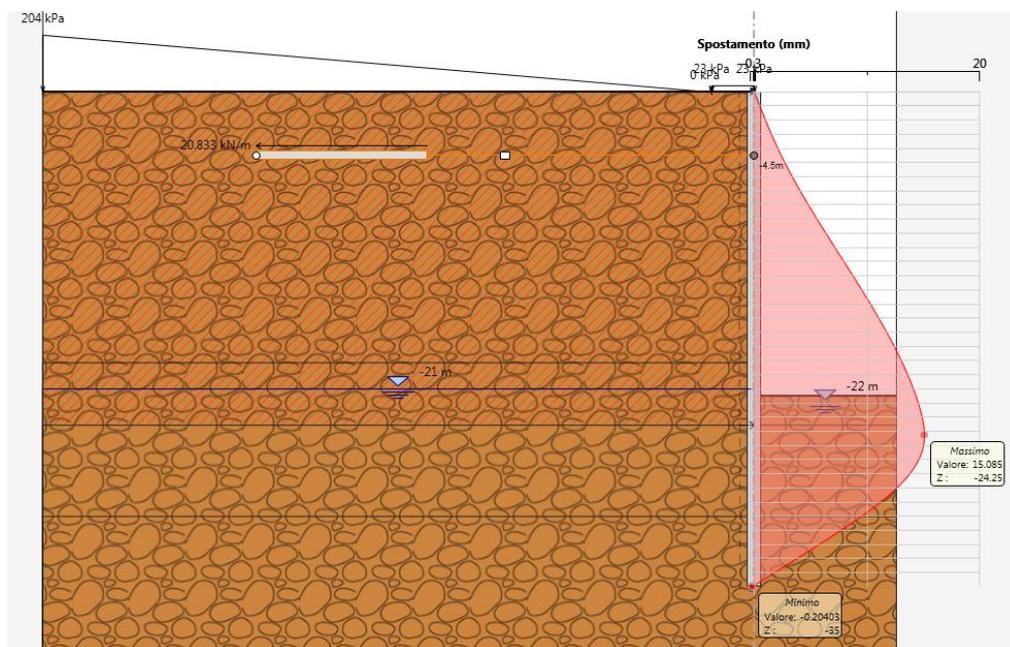


Figura 19 – Sezione 1 – inviluppo della deformata dell'opera (SLU) nei vari step di calcolo

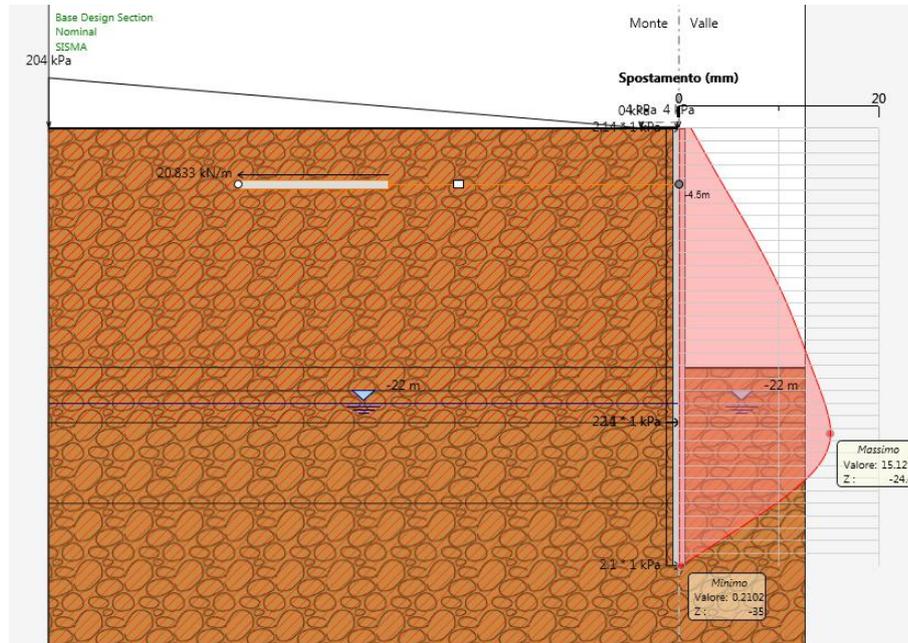


Figura 20 – Sezione 1 – inviluppo della deformata dell'opera (SLV) nei vari step di calcolo

2) Verifica collasso complesso opera- terreno

Per la verifica di collasso del complesso opera-terreno è stato definito un modello di calcolo all'interno del quale sono state imposte delle proprietà geomeccaniche dei terreni ridotte con i coefficienti parziali M2. Nel modello sono state imposte le stesse fasi esecutive riportate precedentemente.

La convergenza di tale calcolo indica che la lunghezza assunta per i pali è sufficiente affinché non si inneschi un movimento di rotazione intorno al piede del palo stesso.

3) Verifica dei tiranti

Nei prospetti che seguono, per ciascun ordine di tiranti, sono riportate le principali caratteristiche geometriche e strutturali e gli inviluppi dell'azione assiale in combinazione statica e sismica.

Si sottolinea che la lunghezza libera del tirante è da intendersi comprensiva dell'incremento valutato in condizioni sismiche secondo la formulazione proposta dal D.M. 17/01/2018 nel §7.11.6.4 in funzione della massima accelerazione sismica di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 10 – Sezione 2 – caratteristiche geometriche dei tiranti

Ordine tirante	i	Quota da testa paratia	L _{libera min statica}	L _{libera min sismica}	n° trefoli	L _{libera di progetto}	L _{fondazione}	L _{totale}	T _{iniz}
[-]	[°]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[m]	[m]	[kN]
I	0	4	19.3	22.8	3	23	12	35	50

Tabella 11 – Sezione 2 – caratteristiche meccaniche dei tiranti

Altezza totale della paratia	H _{paratia}	35	m
Spessore della paratia (Φ perforazione)	S _{paratia}	1.0	m
Altezza massima di scavo	H _{scavo}	21.5	m
Altezza di infissione della paratia	H _{infissione}	13.5	m
Profondità della falda da testa paratia	Z _{falda}	4.2	m

N° ordini di tiranti	n° tiranti	1	-
Tipologia tiranti	Temporanei		
Coefficiente parziale per resistenza a sfilamento	γ _R	1.2	-
Area del singolo trefolo	A _{trefolo}	1.39	cm ²
Diametro del singolo trefolo	Φ _{trefolo}	15.2	mm
Tensione caratteristica di rottura	f _{ptk}	1860	N/mm ²
Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale	f _{p(1)k}	1670	N/mm ²
Coefficiente parziale condizioni permanenti e transitorie	γ _S	1.15	-
Tensione di calcolo acciaio (condizioni permanenti e transitorie)	f _{yd}	1452.17	N/mm ²
Coefficiente parziale condizioni eccezionali	γ _S	1.00	-
Tensione di calcolo acciaio (condizioni eccezionali)	f _{yd}	1670	N/mm ²
Forza di trazione a rottura dell'acciaio (singolo trefolo)	F _{pk}	232.13	kN/trefolo
Verifica rapporto di duttilità f _{ptk} / f _{p(1)k} ≥ 1,1	f _{ptk} / f _{p(1)k}	1.11	-
Resistenza di progetto del singolo trefolo (condizioni ordinarie)	R _{ad}	201.85	kN/trefolo
Resistenza di progetto del singolo trefolo (condizioni eccezionali)	R _{ad}	232.13	kN/trefolo
Tensione limite (in esercizio e in fase di tesatura)	σ _{spi}	1395	N/mm ²
Trazione limite per il singolo trefolo	N _{q,amm}	193.91	kN/trefolo
Numero di verticali di indagine	n° sondaggi	1	-
Fattore di correlazione per la resistenza caratteristica	ξ _{a3}	1.8	-
Resistenza cubica caratteristica della malta	R _{ck}	30	MPa
Resistenza a trazione semplice della malta	f _{ctm}	2.56	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza della malta	γ _C	1.5	-
Tensione limite di aderenza trefoli-malta	τ _{tm}	1.2	MPa
Tasso nominale di esercizio del singolo trefolo	S _{e,es}	1336	MPa

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tiro massimo iniziale del sigolo trefolo	T ₀	120	kN/trefolo
--	----------------	-----	------------

Verifica a sfilamento della fondazione dei tiranti

Per la verifica a sfilamento della fondazione dei tiranti, in considerazione della tecnologia realizzativa e delle caratteristiche geotecniche del mezzo al contorno, la resistenza caratteristica a sfilamento all'interfaccia bulbo di ancoraggio – terreno è stata valutata secondo le indicazioni di Bustamante e Doix (1985) e Viggiani (1999).

La resistenza a sfilamento di progetto è determinata attraverso la seguente relazione:

$$N_{R,ad} = \frac{N_{R,ak}}{\gamma_{Ra,p}} = \frac{\pi \cdot D_p \cdot \alpha \cdot \tau_{ak} \cdot L_a}{\gamma_{Ra,p} \cdot \xi}$$

dove:

- $N_{R,ad}$ è la resistenza a sfilamento di progetto dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno;
- D_p è il diametro di perforazione della fondazione del tirante;
- α è un coefficiente correttivo che tiene conto della tecnologia realizzativa dell'ancoraggio e del contesto geotecnico (Viggiani, '99);
- τ_{ak} è la tensione resistente a sfilamento caratteristica dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno;
- L_a è la lunghezza della fondazione del tirante;
- $\gamma_{Ra,p}$ è il coefficiente parziale per la resistenza degli ancoraggi (R3); a favore di sicurezza si considera il valore del coefficiente parziale relativo agli ancoraggi permanenti;
- ξ è un fattore di correlazione che dipende dal numero di profili di indagine geotecnica

disponibili per la determinazione della resistenza caratteristica τ_{ak} .

La verifica viene condotta nel rispetto della seguente disuguaglianza:

$$N_{R,ad} \geq N_{S,d}$$

dove $N_{S,d}$ rappresenta il valore dell'azione sollecitante sui tiranti.

Nella tabella che segue è riassunto il calcolo per la determinazione di $N_{R,ad}$ per le verifiche dei diversi ordini di tiranti e l'esito della verifica, che risulta sempre soddisfatta.

Tabella 12 – Sezione 2 – verifiche Geotecniche della fondazione dei tiranti – condizioni statiche

Ordine Tirante	D_p	α	τ_{ak}	L_a	$\gamma_{Ra,p}$	ξ	$N_{R,ad}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[mm]	[-]	[kPa]	[m]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLU	73.9	6.80

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 13 – Sezione 2 – verifiche Geotecniche della fondazione dei tiranti – condizioni sismiche

Ordine Tirante	D_p	α	τ_{ak}	L_a	$V_{Ra,p}$	ξ	$N_{R,ad}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[mm]	[-]	[kPa]	[m]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLV	62.4	8.05

Verifica strutturale dei tiranti

La resistenza a trazione di calcolo dei tiranti è valutata secondo la seguente relazione:

$$N_{R,pd} = \frac{f_{p(1)k} \cdot A_{tr} \cdot n_{tr}}{\gamma_s}$$

dove

$f_{p(1)k}$ è la resistenza elastica dell'acciaio armonico alla deformazione dell'1%;

A_{tr} è l'area del singolo trefolo;

n_{tr} è il numero di trefoli per tirante;

γ_s è il coefficiente parziale dell'acciaio.

La verifica viene condotta nel rispetto della seguente disuguaglianza:

$$N_{R,pd} \geq N_{S,d}$$

Nella tabella che segue è riassunto il calcolo per la determinazione di $N_{R,pd}$ per le verifiche strutturali dei differenti ordini di tiranti e l'esito della verifica, che risulta sempre soddisfatta.

Tabella 14 – Sezione 2 – Verifiche strutturali dell'armatura dei tiranti – condizioni statiche

Ordine Tirante	$f_{p(1)k}$	A_{tr}	n_{tr}	γ_s	$N_{R,pd}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[MPa]	[mm ²]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	1670	139	3	1.15	605.6	Inviluppo SLU	73.85	8.20

Tabella 15 – Sezione 2 - Verifiche strutturali dell'armatura dei tiranti – condizioni sismiche

Ordine Tirante	$f_{p(1)k}$	A_{tr}	n_{tr}	γ_s	$N_{R,pd}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[MPa]	[mm ²]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	1670	139	3	1.15	605.6	Inviluppo SLU	73.85	8.20

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

1	1670	139	3	1.15	605.6	Inviluppo SLV	62.40	9.70
---	------	-----	---	------	-------	---------------	-------	------

Infine, nel rispetto della gerarchia delle resistenze, è necessario verificare che la resistenza caratteristica al limite di snervamento del tratto libero sia sempre maggiore della resistenza caratteristica a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio. Dal confronto tra i risultati, esposti nella tabella precedente, emerge che tale verifica è sempre soddisfatta essendo $R_d/E_d > 1$.

4) Verifica stabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno

Le verifiche di stabilità globale sono state condotte con il metodo dell'equilibrio limite mediante il software Slope/W (Geostudio 2007).

Il calcolo è stato condotto analizzando superfici di scorrimento secondo la formulazione di Morgenstern & Price.

L'analisi viene effettuata con parametri abbattuti secondo i coefficienti di normativa M2 in condizioni statiche, mentre in condizioni sismiche si utilizzano i coefficienti M1.

Il valore del sovraccarico in fase statica è di 20 kPa, mentre in fase sismica deve essere moltiplicato per il fattore $Q=0.20$, quindi si ottiene un valore di 4 kPa.

Il valore di profondità della falda in corrispondenza dell'asse della galleria in corrispondenza dell'imbocco Trinacria Ovest viene dedotto dalle letture piezometriche disponibili in corrispondenza dell'imbocco lato Palermo, in questo caso si valuta una profondità di falda di circa 12 m.

La paratia è stata simulata come un elemento estremamente rigido. I tiranti sono stati simulati all'interno del modello in modo da non contribuire alla stabilità globale (valori di carico applicato, bar capacity e shear capacity nulli).

Le azioni sismiche pseudo-statiche sono state sintetizzate nella seguente tabella:

Tabella 16: Sezione 1 – parametri sismici

SUOLO	TOPOGRAFIA	PARAMETRI SISMICI						
		a_g	S_s	S_T	$a_{g,max}$	β	k_h	k_v
		(g)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
C	T1	0.078	1.5	1.0	0.1191	0.38	0.04446	0.02223

I risultati delle analisi, espressi in termini di rapporto tra R_d ed E_d , sono riportati nella tabella seguente.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 17: Sezione 1 – sintesi dei risultati delle analisi di stabilità

<i>Combinazione</i>	<i>R_d/E_d</i>
“SLU” - globale	1.267
“SLV” - globale	1.288

Nelle figure seguenti sono rappresentate le superfici di scorrimento critiche a cui corrisponde il minor grado di sovrarresistenza (per le verifiche sismiche si riporta il caso più sfavorevole per la direzione del coefficiente sismico verticale, cfr. 11).

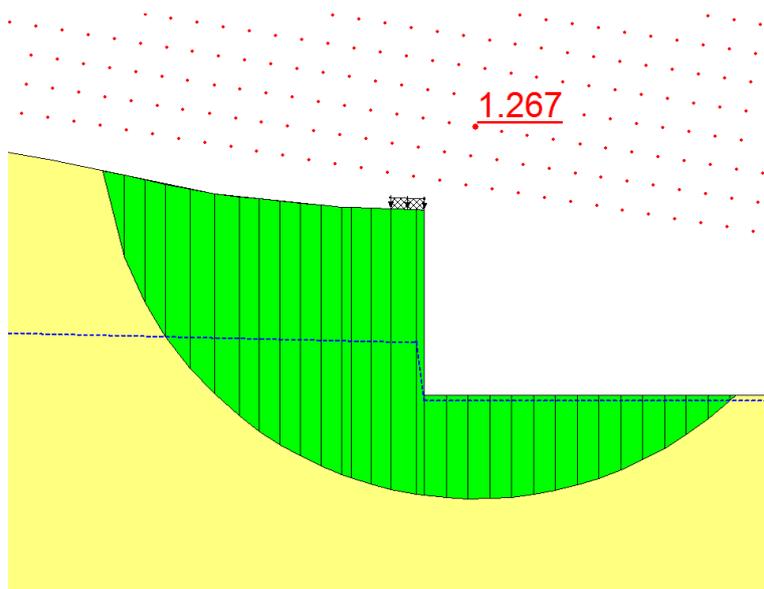


Figura 21 – Sezione 1 – superficie di scorrimento critica – condizioni statiche globali

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

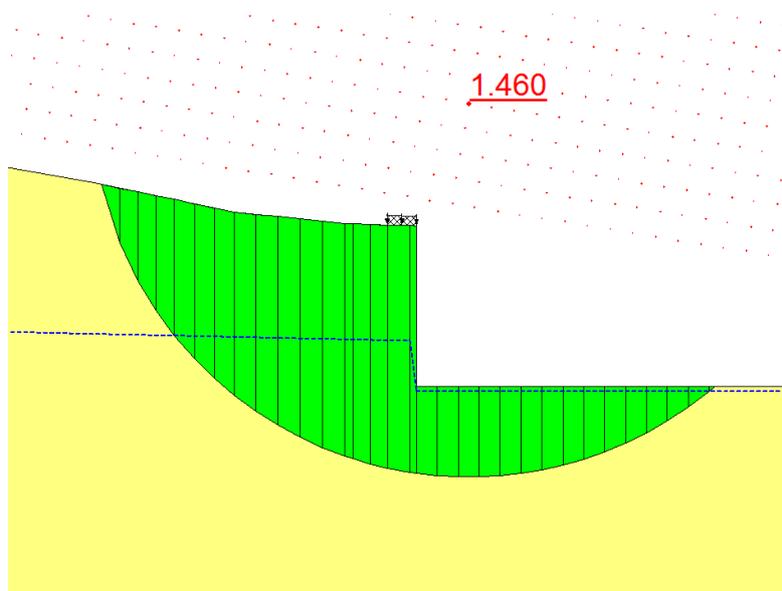


Figura 22 – Sezione 1 – superficie di scorrimento critica – condizioni sismiche globali

5) Verifica resistenza strutturale dei pali della paratia

Nei prospetti che seguono, per le combinazioni STR statica e sismica, si riportano gli andamenti delle caratteristiche della sollecitazione sulla paratia di pali per tutte le fasi di calcolo ed i valori delle sollecitazioni massime, utilizzate per le verifiche strutturali.

Tabella 18 – Sezione 1 – Sollecitazioni SLU, SLE, e SLV

<i>Condizione</i>	<i>Fase di calcolo</i>	<i>Soll. Max.</i>	<i>Quota</i>	M_{Sd}	T_{Sd}	N_{Sd}
<i>[-]</i>	<i>[-]</i>	<i>[-]</i>	<i>[m]</i>	<i>[kNm/m]</i>	<i>[kN/m]</i>	<i>[kN/m]</i>
SLU	Inviluppo	Momento	-26.1	647.76	11.77	512.47
	Inviluppo	Taglio	-23.55	340.29	317.89	462.40
SLE	Inviluppo	Momento	-26.1	458.12	1.40	509.53
SLV	Sisma_STR	Momento	-25.95	250.90	192.56	462.40
	Sisma_STR	Taglio	-23.55	498.28	9.05	512.47

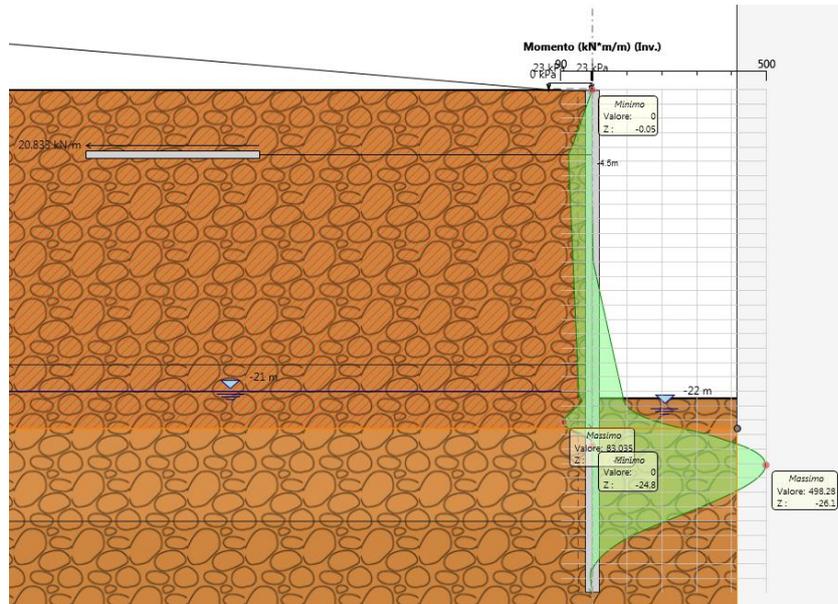


Figura 23 – Sezione 1 – momento flettente statico agente nei pali (SLE)

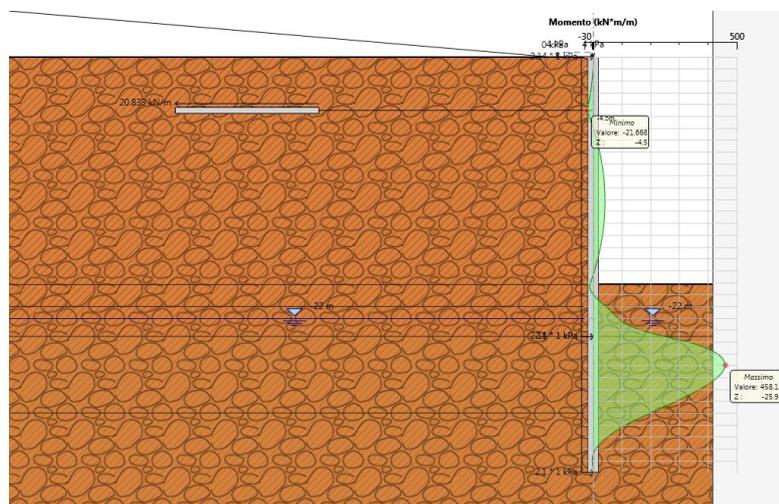


Figura 24 – Sezione 1 – momento flettente sismico agente nei pali (SLV)

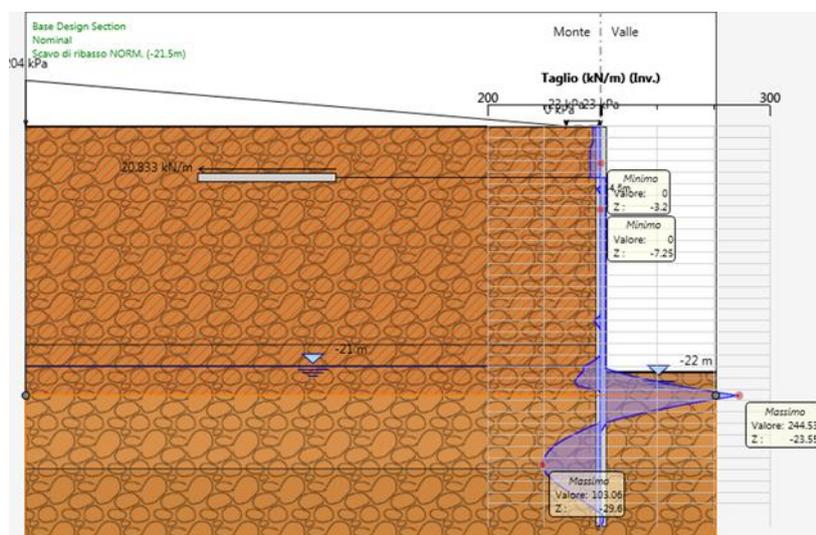


Figura 25 – Sezione 1 – taglio statico agente nei pali (SLE)

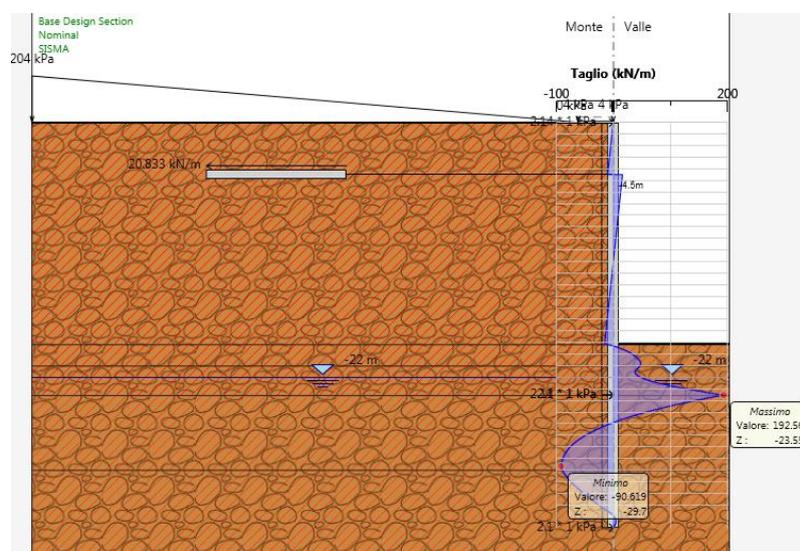


Figura 26 – Sezione 1 – taglio sismico agente nei pali (SLV)

Le sollecitazioni più gravose sono quelle derivanti dall'analisi statica SLU. I valori di taglio e momento flettente esposti nella tabella precedente devono essere moltiplicati per l'interasse tra i pali così da ottenere la sollecitazione agente sul singolo palo.

Tabella 19 – Sezione 1 – materiali strutturali e geometria di verifica

MATERIALI

GEOMETRIA

Calcestruzzo			Acciaio		
R_{ck}	30	Mpa	f_{yk}	450	Mpa
f_{ck}	25	Mpa	E_s	200000	Mpa
E_{cm}	31000	Mpa	γ_c	1.15	-
γ_c	1.5	-	f_{yd}	391.3	Mpa
α_{cc}	0.85	-	ϵ_{uk}	75	‰
f_{cd}	14.1	Mpa			
f_{ctm}	2.6	MPa			
ν	0.5	-			
ϵ_{c2}	2	‰			
ϵ_{cu2}	3.5	‰			
α_e	15.0	-			
k_t	0.4	-			
k_1	0.8	-	Valori limite		
k_2	0.5	-	$0,45 f_{ck}$	11.2	Mpa
k_3	1.68	-	$0,8 f_{yk}$	360	Mpa
k_4	0.425	-	$W_{k,lim}$	0.3	mm

Sezione trasversale			
D	100	cm	
d	91.8	cm	
Armatura longitudinale			
n_{barre}	Φ	c	A_{sI}
	mm	mm	cm ²
20	20	72	62.83
	0	164	0.00
Armatura a taglio			
tipo	Φ	passo	c
	mm	cm	mm
Spirale	12	30	30

Tabella 20 – Sezione 1 – verifica combinazione Mmax e Tmax

VERIFICA A TAGLIO - SLU					
α	90	°	M_{Ed}	408.35	kNm
A_{sw}	226.2	mm ²	N_{ed}	462.40	kN
r	500.0	mm	V_{ed}	381.47	kN
r_s	470.0	mm	M_{Rd}	1089	kNm
α	0.6	rad			
A_{tot}	785398.2	mm ²	V_{Rd}	405.2	kN
A	672942.9	mm ²	FS	1.06	-
b	842.0	mm	<i>Non necessita di armatura a taglio</i>		
h	932.8	mm			
d	799.2	mm	cot θ	2.5	-
γ_c	1.5	-			
σ_{cp}	0.6	kPa	V_{Rsd}	530.5	kN

ρ_l	0.9	%	FS	1.39	-
k	1.5	-	V_{Rcd}	1473.5	kN
v_{min}	0.3	-	FS	3.86	-
α_c	1.0	-			

VERIFICA A TAGLIO - SLV					
α	90	°	M_{Ed}	301.08	kNm
A_{sw}	226.2	mm ²	N_{ed}	462.40	kN
r	500.0	mm	V_{ed}	231.07	kN
r_s	470.0	mm	M_{Rd}	1141	kNm
α	0.6	rad			
A_{tot}	785398.2	mm ²	V_{Rd}	405.2	kN
A	672942.9	mm ²	FS	1.75	-
b	842.0	mm	<i>Non necessita di armatura a taglio</i>		
h	932.8	mm			
d	799.2	mm	cot θ	2.5	-
γ_c	1.5	-			
σ_{cp}	0.6	kPa	V_{Rsd}	530.5	kN
ρ_l	0.9	%	FS	2.30	-
k	1.5	-	V_{Rcd}	1473.4	kN
v_{min}	0.3	-	FS	6.38	-
α_c	1.0	-			

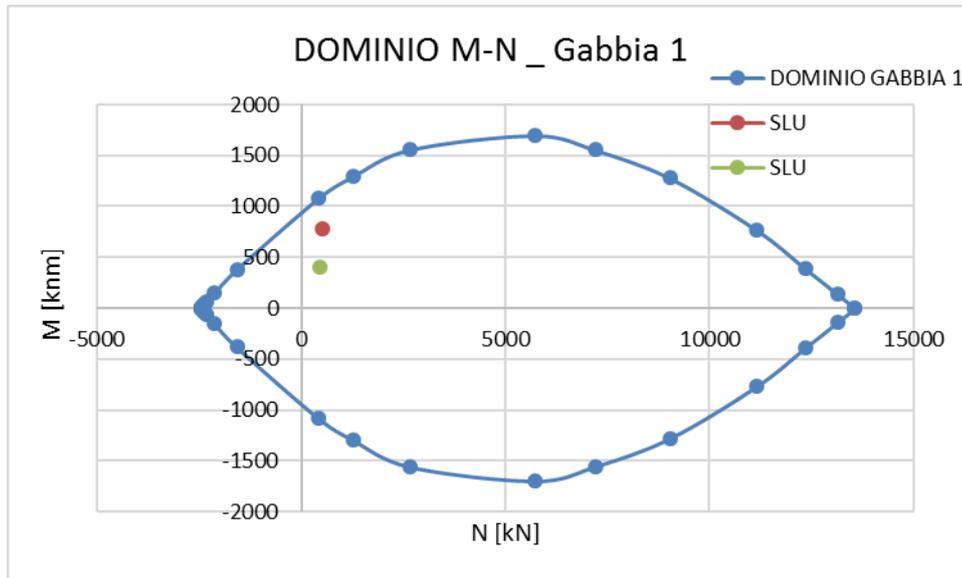


Figura 27 – Dominio M-N - SLU

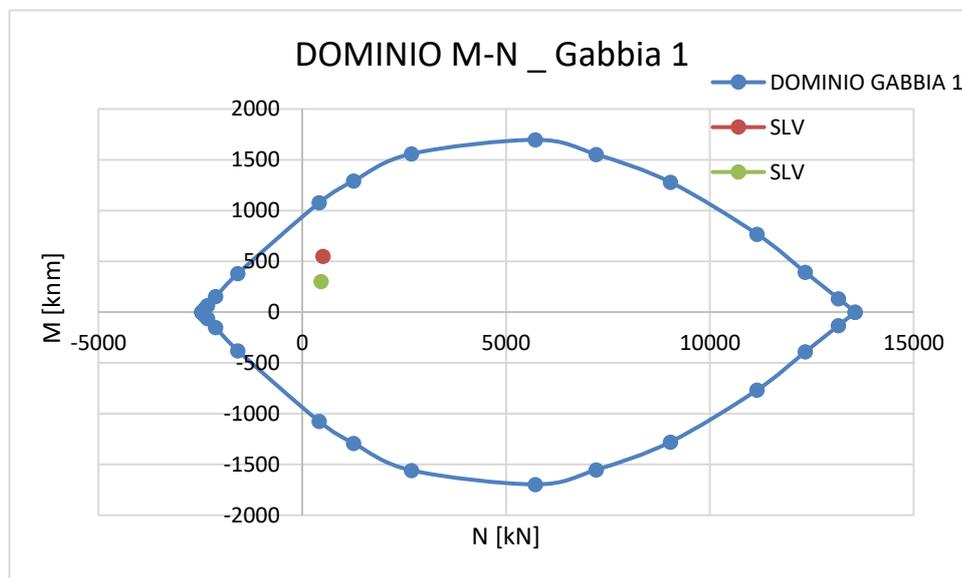


Figura 28 – Dominio M-N - SLV

Le verifiche strutturali sono pertanto tutte soddisfatte. Per la sezione in esame l'incidenza è di 72.4 kg/m³.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

6) Verifica resistenza strutturale delle travi di ripartizione

Le caratteristiche della sollecitazione sono determinate modellando gli elementi strutturali oggetto di verifica alla stregua di travi continue su più appoggi; la luce delle campate è data dall'interasse dei tiranti ed il carico, uniformemente distribuito, è determinato ripartendo le reazioni offerte dagli ancoraggi, ottenute del modello di calcolo dell'opera di sostegno. Definito $N_{s,d}$ il massimo tiro di calcolo corrispondente all' i -esimo ordine di tiranti, il suddetto carico è così calcolato: $q_{sd} = N_{s,d}/l$ (con l interasse tiranti).

Secondo tale modello le massime azioni di calcolo sull'elemento strutturale saranno:

$$M_{s,d} = \frac{1}{10} q_{sd} l^2$$

$$T_{s,d} = 0.6 q_{sd} l$$

Le travi di ripartizione costituite da profili metallici accoppiati HEB 140.

Tabella 21 – Caratteristiche trave di ripartizione – I ordine

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato				
	T paratie	passo	Tipo	fyk	$\gamma M0$	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]
STATICO	23.67	2.4	S275R	275	1.05	261.90	HEB140	215.6	245.4	42.96	13.1
SISMICO	26						2				

Tabella 22 – Verifiche trave di ripartizione – I ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γA	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	6.8	14.2	1.3	8.9	18.5	56.5	64.3	56.5	197.8	7.25	10.71
SISMICO	7.5	15.6	1.0	7.5	15.6	56.5	64.3	64.3	197.8	8.58	12.68

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

11.1.2 Sezione 2 – paratia di pali laterale H=31 m

Sono di seguito descritte le principali caratteristiche della struttura e del modello geotecnico per le analisi di verifica.

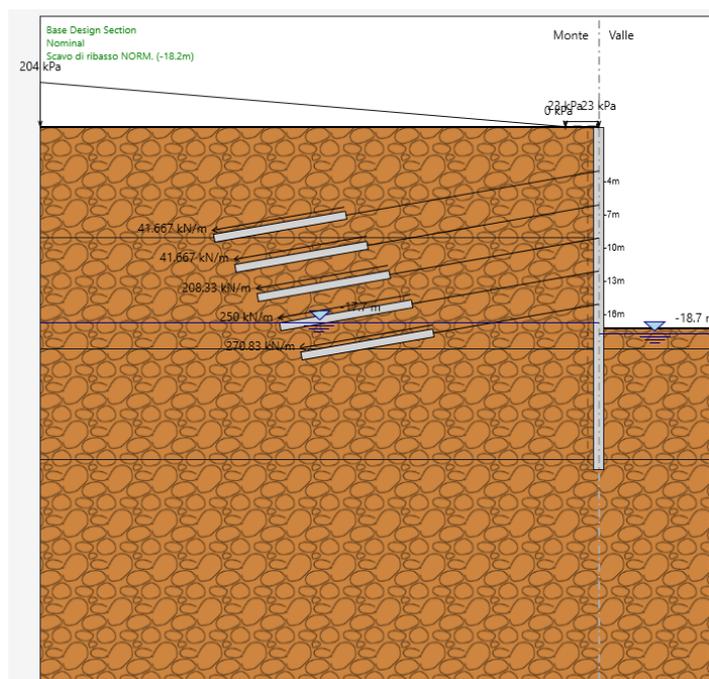


Figura 29 – Sezione 2 – paratia frontale H=31m

11.1.2.1 Geometria e parametri geotecnici del modello

Tabella 23 – Sezione 2 – Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo

Tipologia struttura di sostegno	Pali $\Phi 1000$ mm ad interasse 1.2 m, calcestruzzo C25/30 Travi di ripartizione: coppia di HEB 120/140/160 in acciaio S275R Tiranti a trefoli (3/4/5) in acciaio armonico
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 31$ m
Altezza di scavo	$H = 18$ m
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% (16-13)] = 0.2$ m
Ordini di tiranti (n°)	5
Passo orizzontale tiranti	2.4/1.2

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Passo verticale dei tiranti	3 m
Inclinazione del piano campagna a monte	Inferiore a 10° (categoria topografica T1)
Inclinazione del piano campagna a valle	0°
Sovraccarichi permanenti a monte	Variabili per simulare il versante (da 0 a 204 kPa)
Sovraccarichi permanenti a valle	nessuno
Sovraccarichi variabili a monte	q = 20 kPa
Sovraccarichi variabili a valle	nessuno

Tabella 24 – Sezione 2 – Parametri geotecnici di calcolo - TRV

Terreno	Gruppo coeff. parziali	Condizione	γ	c_d	φ'_d	δ_{attiva}	$\delta_{passiva}$	E'	E'_{ur}	k_o	K_{ah}	K_{ph}
			(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(°)	(°)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
TRV	M1	SLU	21	15	22	18	18	67-102-135	67-102-135	0.63	0.392	2.879
		SLV					0				0.4217	2.1019
	M2	SLU		15	15	0.69	0.4649			2.3135		
		SLV		0	-							
<i>γ = peso dell'unità di volume</i>												
<i>c'_d = coesione efficace (valore di calcolo)</i>												
<i>φ'_d = angolo di resistenza al taglio (valore di calcolo)</i>												
<i>δ = angolo d'attrito struttura/terreno</i>												
<i>E' = modulo di Young</i>												
<i>E'_{ur} = modulo di Young (scarico/ricarico)</i>												
<i>k_o = coefficiente di spinta a riposo</i>												
<i>K_a = coefficiente di spinta attiva</i>												
<i>K_p = coefficiente di resistenza passiva</i>												

Tabella 25 – Sezione 2 – Parametri per il calcolo dell'azione sismica

Terreno	Condizione	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	a_g/g	S	a_{max}/g	α	u_s	β	K_h
		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	(-)	(-)
TRV	SLV	C	T1	0.0794	1.50	0.1191	0.498	0.155	0.46	0.0274

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 61 di 329

α = coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 del DM 17/01/2018)
 u_s = spostamento ammissibile
 β = coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 del DM 17/01/2018)
 k_h = coefficiente sismico

11.1.2.2 Fasi di calcolo

L'analisi è articolata nelle seguenti fasi:

- a. Condizione geostatica e carico permanente del versante lato monte;
- b. Esecuzione della paratia di pali;
- c. Successivi step di scavo e di installazione dei tiranti a trefoli;
- d. Scavo fino alla quota relativa al fondo scavo;
- e. Applicazione dell'azione sismica in corrispondenza della quota di fondo scavo;

11.1.2.3 Risultati delle analisi e verifiche

I risultati delle analisi sono di seguito descritti ed illustrati.

1) Verifica del complesso opera-terreno

La verifica è finalizzata a garantire il corretto dimensionamento dell'opera con particolare riferimento alla profondità di infissione della paratia, sia in condizioni statiche (SLU) che sismiche (SLV). A tale scopo, nei prospetti che seguono, sono riportati gli output in termini di deformata dell'opera.

Per entrambi gli stati limite considerati, la profondità di infissione dell'opera di sostegno garantisce uno spostamento nullo al piede.

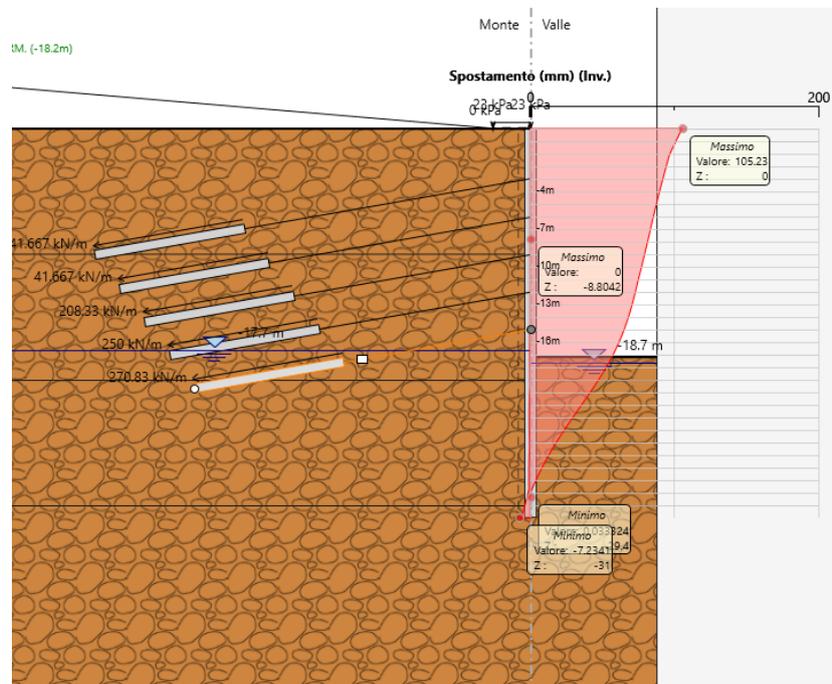


Figura 30 – Sezione 2 – inviluppo della deformata dell'opera (SLU) nei vari step di calcolo

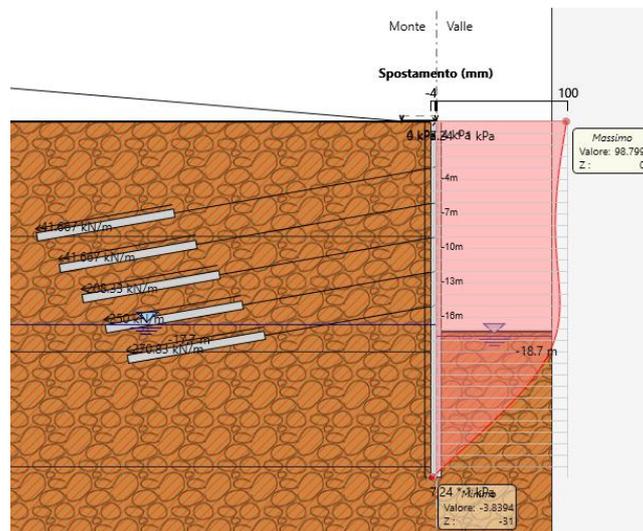


Figura 31 – Sezione 2 – inviluppo della deformata dell'opera (SLV) nei vari step di calcolo

2) Verifica collasso complesso opera- terreno

Per la verifica di collasso del complesso opera-terreno è stato definito un modello di calcolo all'interno del quale sono state imposte delle proprietà geomeccaniche dei terreni ridotte con i coefficienti parziali M2. Nel modello sono state imposte le stesse fasi esecutive riportate precedentemente.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

La convergenza di tale calcolo indica che la lunghezza assunta per i pali è sufficiente affinché non si inneschi un movimento di rotazione intorno al piede del palo stesso.

3) Verifica stabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno

Le verifiche di stabilità globale sono state condotte con il metodo dell'equilibrio limite mediante il software Slope/W (Geostudio 2007).

Il calcolo è stato condotto analizzando superfici di scorrimento secondo la formulazione di Morgenstern & Price.

L'analisi viene effettuata con parametri abbattuti secondo i coefficienti di normativa M2 in condizioni statiche, mentre in condizioni sismiche si utilizzano i coefficienti M1.

Il valore del sovraccarico in fase statica è di 20 kPa, mentre in fase sismica deve essere moltiplicato per il fattore $Q=0.20$, quindi si ottiene un valore di 4 kPa.

Il valore di profondità della falda in corrispondenza dell'asse della galleria in corrispondenza dell'imbocco Trinacria Ovest viene dedotto dalle letture piezometriche disponibili in corrispondenza dell'imbocco lato Palermo, in questo caso si valuta una profondità di falda di circa 12 m.

La paratia è stata simulata come un elemento estremamente rigido. I tiranti sono stati simulati all'interno del modello in modo da non contribuire alla stabilità globale (valori di carico applicato, bar capacity e shear capacity nulli).

Le azioni sismiche pseudo-statiche sono state sintetizzate nella seguente tabella:

Tabella 26: Sezione 2 – parametri sismici

<i>SUOLO</i>	<i>TOPOGRAFIA</i>	<i>PARAMETRI SISMICI</i>						
		<i>ag</i>	<i>S_s</i>	<i>S_T</i>	<i>a_{g,max}</i>	<i>β</i>	<i>k_h</i>	<i>k_v</i>
		(g)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
C	T1	0.078	1.5	1.0	0.1191	0.38	0.04446	0.02223

I risultati delle analisi, espressi in termini di rapporto tra R_d ed E_d , sono riportati nella tabella seguente.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 27: Sezione 2 – sintesi dei risultati delle analisi di stabilità

<i>Combinazione</i>	<i>R_d/E_d</i>
“SLU” - globale	1.195
“SLV” - globale	1.285

Nelle figure seguenti sono rappresentate le superfici di scorrimento critiche a cui corrisponde il minor grado di sovrarresistenza (per le verifiche sismiche si riporta il caso più sfavorevole per la direzione del coefficiente sismico verticale, cfr. 11).

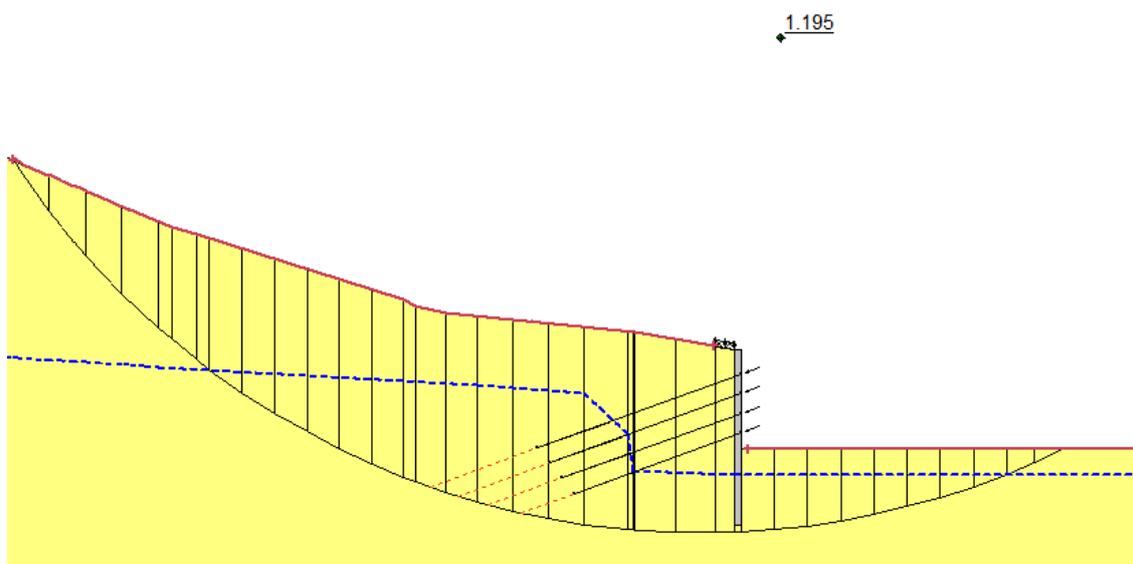


Figura 32 – Sezione 2 – superficie di scorrimento critica – condizioni statiche globali

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

1.285

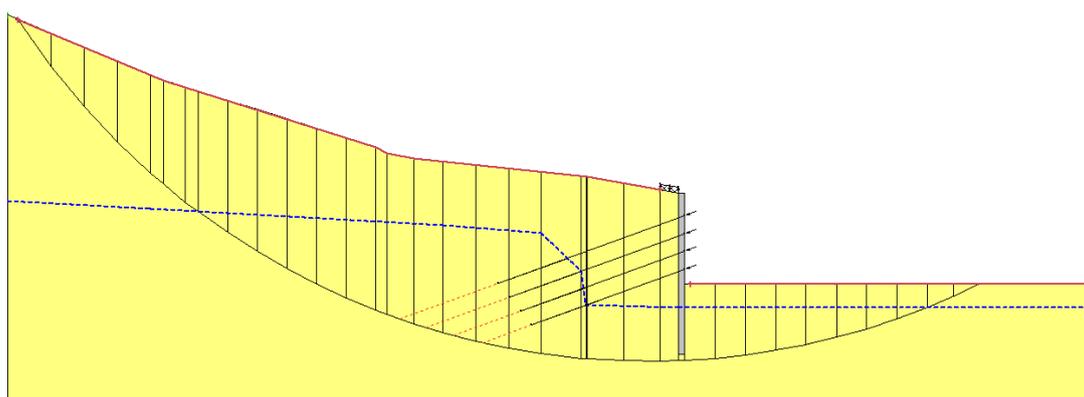


Figura 33 – Sezione 2 – superficie di scorrimento critica – condizioni sismiche globali

4) Verifica dei tiranti

Nei prospetti che seguono, per ciascun ordine di tiranti, sono riportate le principali caratteristiche geometriche e strutturali e gli involuppi dell'azione assiale in combinazione statica e sismica.

Si sottolinea che la lunghezza libera del tirante è da intendersi comprensiva dell'incremento valutato in condizioni sismiche secondo la formulazione proposta dal D.M. 17/01/2018 nel §7.11.6.4 in funzione della massima accelerazione sismica di progetto.

Tabella 28 – Sezione 2 – caratteristiche geometriche dei tiranti

Ordine tirante	i	Quota da testa paratia	L _{libera min statica}	L _{libera min sismica}	n° trefoli	L _{libera di progetto}	L _{fondazione}	L _{totale}	T _{iniz}
[-]	[°]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[m]	[m]	[kN]
I	10	4	19.3	22.8	3	23	12	35	100
II	10	7	17.6	20.7	4	21	12	33	100
III	10	10	15.9	18.7	5	19	12	31	250
IV	10	13	14.1	16.6	5	17	12	29	300
V	10	16	12.4	14.6	5	15	12	27	325

Tabella 29 – Sezione 2 – caratteristiche meccaniche dei tiranti

Altezza totale della paratia	H _{paratia}	31	m
Spessore della paratia (Φ perforazione)	S _{paratia}	1.0	m

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Altezza massima di scavo	H_{scavo}	18	m
Altezza di infissione della paratia	$H_{infissione}$	13	m
Profondità della falda da testa paratia	Z_{falda}	4.2	m

N° ordini di tiranti	$n^{\circ}_{tiranti}$	5	-
Tipologia tiranti		Temporanei	
Coefficiente parziale per resistenza a sfilamento	γ_R	1.2	-
Area del singolo trefolo	$A_{trefolo}$	1.39	cm ²
Diametro del singolo trefolo	$\varphi_{trefolo}$	15.2	mm
Tensione caratteristica di rottura	f_{ptk}	1860	N/mm ²
Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale	$f_{p(1)k}$	1670	N/mm ²
Coefficiente parziale condizioni permanenti e transitorie	γ_S	1.15	-
Tensione di calcolo acciaio (condizioni permanenti e transitorie)	f_{yd}	1452.17	N/mm ²
Coefficiente parziale condizioni eccezionali	γ_S	1.00	-
Tensione di calcolo acciaio (condizioni eccezionali)	f_{yd}	1670	N/mm ²
Forza di trazione a rottura dell'acciaio (singolo trefolo)	F_{pk}	232.13	kN/trefolo
Verifica rapporto di duttilità $f_{ptk}/f_{p(1)k} \geq 1,1$	$f_{ptk}/f_{p(1)k}$	1.11	-
Resistenza di progetto del singolo trefolo (condizioni ordinarie)	R_{ad}	201.85	kN/trefolo
Resistenza di progetto del singolo trefolo (condizioni eccezionali)	R_{ad}	232.13	kN/trefolo
Tensione limite (in esercizio e in fase di tesatura)	σ_{spi}	1395	N/mm ²
Trazione limite per il singolo trefolo	$N_{q,amm}$	193.91	kN/trefolo
Numero di verticali di indagine	$n^{\circ}_{sondaggi}$	1	-
Fattore di correlazione per la resistenza caratteristica	ξ_{a3}	1.8	-
Resistenza cubica caratteristica della malta	R_{ck}	30	MPa
Resistenza a trazione semplice della malta	f_{ctm}	2.56	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza della malta	γ_C	1.5	-
Tensione limite di aderenza trefoli-malta	τ_{tm}	1.2	MPa
Tasso nominale di esercizio del singolo trefolo	$S_{e,es}$	1336	MPa
Tiro massimo iniziale del sigolo trefolo	T_0	120	kN/trefolo

Verifica a sfilamento della fondazione dei tiranti

Per la verifica a sfilamento della fondazione dei tiranti, in considerazione della tecnologia realizzativa e delle caratteristiche geotecniche del mezzo al contorno, la resistenza caratteristica a sfilamento all'interfaccia bulbo di ancoraggio – terreno è stata valutata secondo le indicazioni di Bustamante e Doix (1985) e Viggiani (1999).

La resistenza a sfilamento di progetto è determinata attraverso la seguente relazione:

$$N_{R,ad} = \frac{N_{R,ak}}{\gamma_{Ra,p}} = \frac{\pi \cdot D_p \cdot \alpha \cdot \tau_{ak} \cdot L_a}{\gamma_{Ra,p} \cdot \xi}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

dove:

- $N_{R,ad}$ è la resistenza a sfilamento di progetto dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno;
- D_p è il diametro di perforazione della fondazione del tirante;
- α è un coefficiente correttivo che tiene conto della tecnologia realizzativa dell'ancoraggio e del contesto geotecnico (Viggiani, '99);
- τ_{ak} è la tensione resistente a sfilamento caratteristica dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno;
- L_a è la lunghezza della fondazione del tirante;
- $\gamma_{Ra,p}$ è il coefficiente parziale per la resistenza degli ancoraggi (R3); a favore di sicurezza si considera il valore del coefficiente parziale relativo agli ancoraggi permanenti;
- ξ è un fattore di correlazione che dipende dal numero di profili di indagine geotecnica disponibili per la determinazione della resistenza caratteristica τ_{ak} .

La verifica viene condotta nel rispetto della seguente disuguaglianza:

$$N_{R,ad} \geq N_{S,d}$$

dove $N_{S,d}$ rappresenta il valore dell'azione sollecitante sui tiranti.

Nella tabella che segue è riassunto il calcolo per la determinazione di $N_{R,ad}$ per le verifiche dei diversi ordini di tiranti e l'esito della verifica, che risulta sempre soddisfatta.

Tabella 30 – Sezione 2 – verifiche Geotecniche della fondazione dei tiranti – condizioni statiche

Ordine Tirante	D_p	α	τ_{ak}	L_a	$\gamma_{Ra,p}$	ξ	$N_{R,ad}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[mm]	[-]	[kPa]	[m]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLU	450.2	1.12
2	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLU	490.4	1.02
3	180	1.2	150	12	1.2	1.8	628.0	Inviluppo SLU	592.6	1.06
4	180	1.2	150	12	1.2	1.8	628.0	Inviluppo SLU	593.9	1.06
5	180	1.2	150	12	1.2	1.8	628.0	Inviluppo SLU	466.3	1.35

Tabella 31 – Sezione 2 – verifiche Geotecniche della fondazione dei tiranti – condizioni sismiche

Ordine Tirante	D_p	α	τ_{ak}	L_a	$\gamma_{Ra,p}$	ξ	$N_{R,ad}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[mm]	[-]	[kPa]	[m]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLV	348.2	1.44
2	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLV	399.6	1.26
3	180	1.2	150	12	1.2	1.8	628.0	Inviluppo SLV	517.7	1.21
4	180	1.2	150	12	1.2	1.8	628.0	Inviluppo SLV	573.0	1.10
5	180	1.2	150	12	1.2	1.8	628.0	Inviluppo SLV	546.1	1.15

Verifica strutturale dei tiranti

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

La resistenza a trazione di calcolo dei tiranti è valutata secondo la seguente relazione:

$$N_{R,pd} = \frac{f_{p(1)k} \cdot A_{tr} \cdot n_{tr}}{\gamma_s}$$

dove

$f_{p(1)k}$ è la resistenza elastica dell'acciaio armonico alla deformazione dell'1%;

A_{tr} è l'area del singolo trefolo;

n_{tr} è il numero di trefoli per tirante;

γ_s è il coefficiente parziale dell'acciaio.

La verifica viene condotta nel rispetto della seguente disuguaglianza:

$$N_{R,pd} \geq N_{S,d}$$

Nella tabella che segue è riassunto il calcolo per la determinazione di $N_{R,pd}$ per le verifiche strutturali dei differenti ordini di tiranti e l'esito della verifica, che risulta sempre soddisfatta.

Tabella 32 – Sezione 2 – Verifiche strutturali dell'armatura dei tiranti – condizioni statiche

Ordine Tirante	$f_{p(1)k}$	A_{tr}	n_{tr}	γ_s	$N_{R,pd}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[MPa]	[mm ²]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	1670	139	3	1.15	605.6	Inviluppo SLU	450.3	1.34
2	1670	139	4	1.15	807.4	Inviluppo SLU	490.4	1.65
3	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLU	592.6	1.70
4	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLU	593.89	1.70
5	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLU	466.25	2.16

Tabella 33 – Sezione 2 - Verifiche strutturali dell'armatura dei tiranti – condizioni sismiche

Ordine Tirante	$f_{p(1)k}$	A_{tr}	n_{tr}	γ_s	$N_{R,pd}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[MPa]	[mm ²]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	1670	139	3	1.15	605.6	Inviluppo SLV	348.2	1.74
2	1670	139	4	1.15	807.4	Inviluppo SLV	399.6	2.02
3	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLV	517.7	1.95
4	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLV	573.0	1.76
5	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLV	466.3	1.85

Infine, nel rispetto della gerarchia delle resistenze, è necessario verificare che la resistenza caratteristica al limite di snervamento del tratto libero sia sempre maggiore della resistenza

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

caratteristica a sfilamento della fondazione dell’ancoraggio. Dal confronto tra i risultati, esposti nella tabella precedente, emerge che tale verifica è sempre soddisfatta essendo $R_d/E_d > 1$.

5) Verifica resistenza strutturale dei pali della paratia

Nei prospetti che seguono, per le combinazioni STR statica e sismica, si riportano gli andamenti delle caratteristiche della sollecitazione sulla paratia di pali per tutte le fasi di calcolo ed i valori delle sollecitazioni massime, utilizzate per le verifiche strutturali.

Tabella 34 – Sezione 2 – Sollecitazioni SLU, SLE, e SLV

<i>Condizione</i> [-]	<i>Fase di calcolo</i> [-]	<i>Soll. Max.</i> [-]	<i>Quota</i> [m]	M_{Sd} [kNm/m]	T_{Sd} [kN/m]	N_{Sd} [kN/m]
SLU	Inviluppo	Momento	-16.50	1355.25	335.92	323.98
	Inviluppo	Taglio	-13.00	726.18	459.81	255.25
SLE	Inviluppo	Momento	-16.50	1463.50	2.37	385.83
SLV	Sisma_STR	Momento	-19.65	633.98	487.72	314.16
	Sisma_STR	Taglio	-16.00	1042.50	258.40	166.90

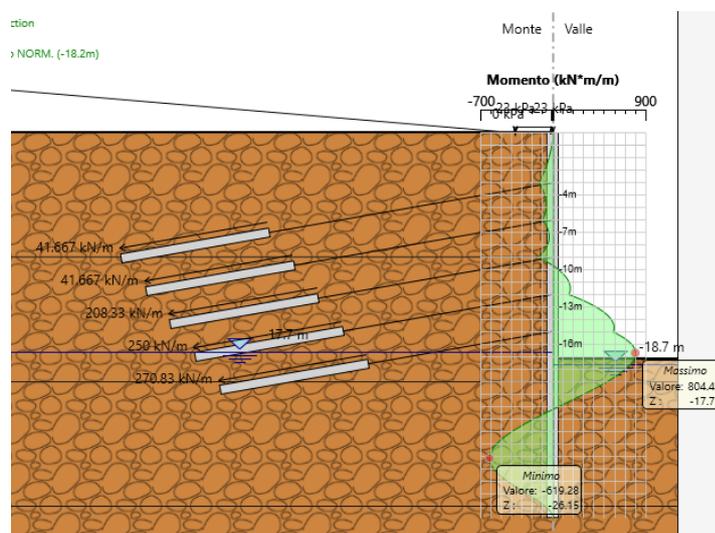


Figura 34 – Sezione 2 – momento flettente statico agente nei pali (SLE)

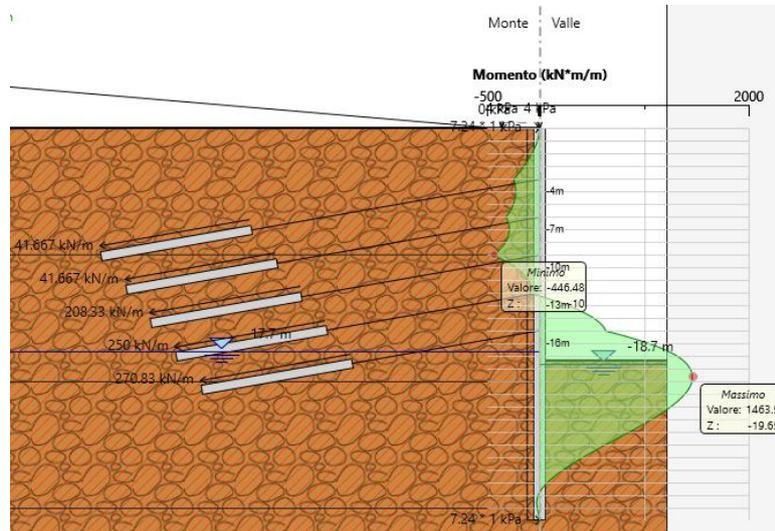


Figura 35 – Sezione 2 – momento flettente sismico agente nei pali (SLV)

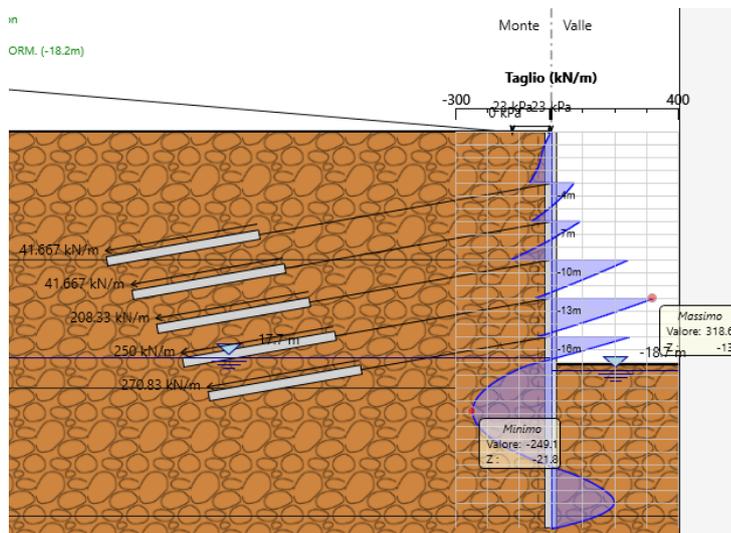
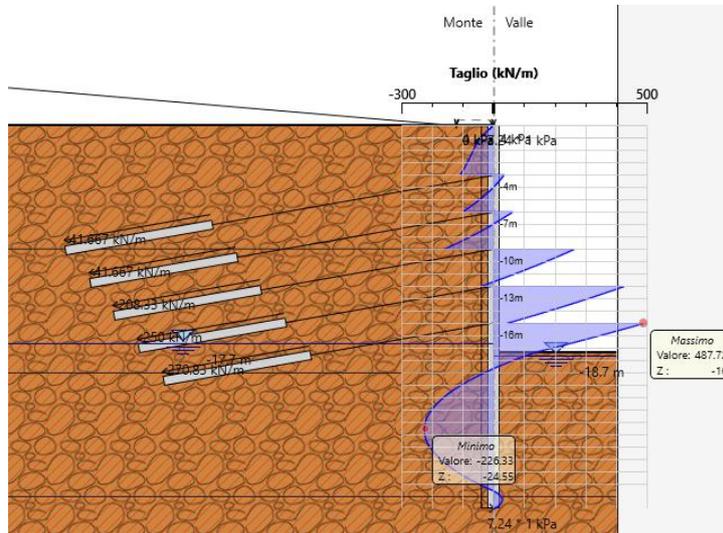


Figura 36 – Sezione 2 – taglio statico agente nei pali (SLE)


Figura 37 – Sezione 2 – taglio sismico agente nei pali (SLV)

Le sollecitazioni più gravose sono quelle derivanti dall'analisi sismica. I valori di taglio e momento flettente esposti nella tabella precedente devono essere moltiplicati per l'interasse tra i pali così da ottenere la sollecitazione agente sul singolo palo.

Tabella 35 – Sezione 2 – materiali strutturali e geometria di verifica

MATERIALI					
Calcestruzzo			Acciaio		
R_{ck}	30	Mpa	f_{yk}	450	Mpa
f_{ck}	25	Mpa	E_s	200000	Mpa
E_{cm}	31000	Mpa	γ_c	1.15	-
γ_c	1.5	-	f_{yd}	391.3	Mpa
α_{cc}	0.85	-	ϵ_{uk}	75	‰
f_{cd}	14.1	Mpa			
f_{ctm}	2.6	MPa			
ν	0.5	-			
ϵ_{c2}	2	‰			
ϵ_{cu2}	3.5	‰			
α_e	15.0	-			
k_t	0.4	-			
k_1	0.8	-	Valori limite		

GEOMETRIA			
Sezione trasversale			
D	100	cm	
d	91.2	cm	
Armatura longitudinale			
n_{barre}	Φ	c	A_{sl}
	mm	mm	cm ²
32	26	75	169.90
	0	173	0.00
Armatura a taglio			
tipo	Φ	passo	c
	mm	cm	mm
Spirale	12	20	63

k ₂	0.5	-	0,45 f _{ck}	11.2	Mpa
k ₃	1.63	-	0,8 f _{yk}	360	Mpa
k ₄	0.425	-	W _{k,lim}	0.3	mm

Tabella 36 – Sezione 2 – verifica combinazione Mmax e Tmax

VERIFICA A TAGLIO - SLU					
α	90	°	M _{Ed}	871.42	kNm
A _{sw}	226.2	mm ²	N _{ed}	255.25	kN
r	500.0	mm	V _{ed}	551.77	kN
r _s	437.0	mm	M _{Rd}	2321	kNm
α	0.6	rad			
A _{tot}	785398.2	mm ²	V _{Rd}	507.6	kN
A	655793.4	mm ²	FS	0.92	-
b	842.7	mm	<i>Necessita di armatura a taglio</i>		
h	932.0	mm			
d	778.2	mm	cotθ	2.5	-
γ _c	1.5	-			
σ _{cp}	0.3	kPa	V _{Rsd}	774.9	kN
ρ _l	2.6	%	FS	1.40	-
k	1.5	-	V _{Rcd}	1435.9	kN
v _{min}	0.3	-	FS	2.60	-
α _c	1.0	-			

VERIFICA A TAGLIO - SLV					
α	90	°	M _{Ed}	760.78	kNm
A _{sw}	226.2	mm ²	N _{ed}	314.16	kN
r	500.0	mm	V _{ed}	585.26	kN
r _s	437.0	mm	M _{Rd}	2334	kNm
α	0.6	rad			
A _{tot}	785398.2	mm ²	V _{Rd}	507.6	kN
A	655793.4	mm ²	FS	0.87	-
b	842.7	mm	<i>Necessita di armatura a taglio</i>		

h	932.0	mm			
d	778.2	mm	cotθ	2.5	-
γ _c	1.5	-			
σ _{cp}	0.3	kPa	V _{Rsd}	774.9	kN
ρ _l	2.6	%	FS	1.32	-
k	1.5	-	V _{Rcd}	1435.9	kN
v _{min}	0.3	-	FS	2.45	-
α _c	1.0	-			

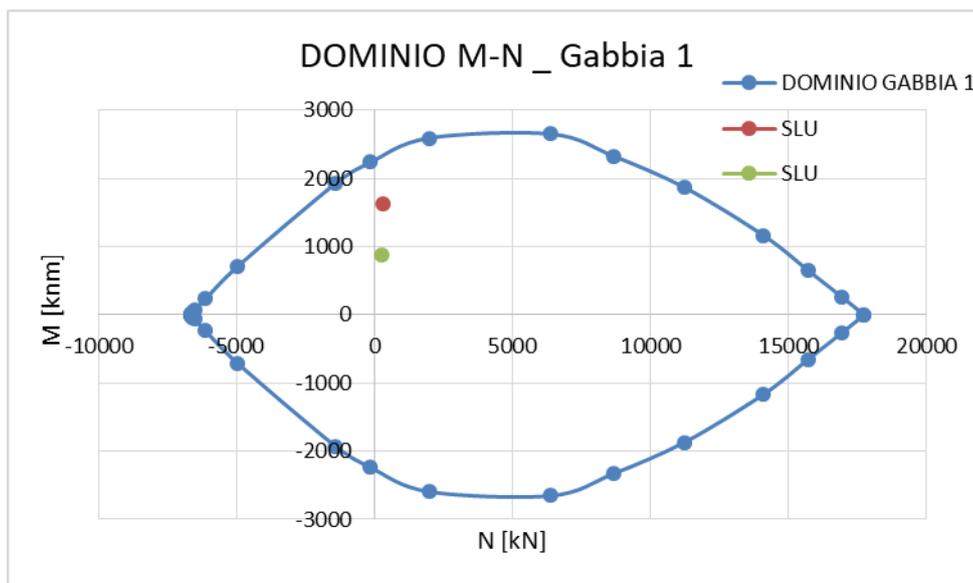


Figura 38 – Dominio M-N - SLU

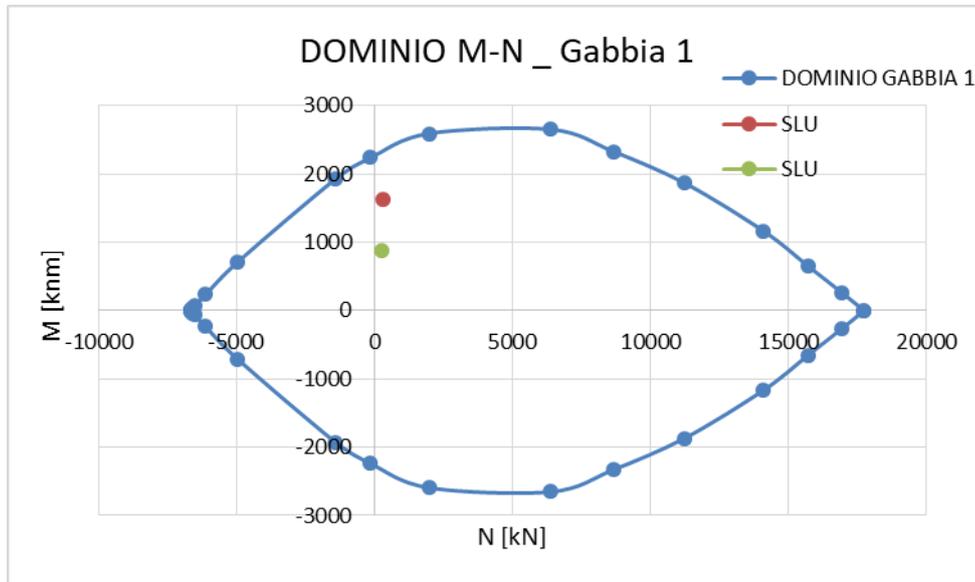


Figura 39 – Dominio M-N - SLV

Le verifiche strutturali sono pertanto tutte soddisfatte. Per la sezione in esame l'incidenza è di 209.5 kg/m³.

6) Verifica resistenza strutturale delle travi di ripartizione

Le caratteristiche della sollecitazione sono determinate modellando gli elementi strutturali oggetto di verifica alla stregua di travi continue su più appoggi; la luce delle campate è data dall'interasse dei tiranti ed il carico, uniformemente distribuito, è determinato ripartendo le reazioni offerte dagli ancoraggi, ottenute del modello di calcolo dell'opera di sostegno. Definito $N_{s,d}$ il massimo tiro di calcolo corrispondente all'*i*-esimo ordine di tiranti, il suddetto carico è così calcolato: $q_{sd} = N_{s,d}/l$ (con *l* interasse tiranti).

Secondo tale modello le massime azioni di calcolo sull'elemento strutturale saranno:

$$M_{s,d} = \frac{1}{10} q_{sd} l^2$$

$$T_{s,d} = 0.6 q_{sd} l$$

Le travi di ripartizione costituite da profili metallici accoppiati HEB 140 per i primi 3 ordini, da profili metallici accoppiati HEB 160 per l'ultimo ordine.

Tabella 37 – Caratteristiche trave di ripartizione – I ordine

A1+M1	Dati da Paratie	Tipo acciaio	Profilato
-------	-----------------	--------------	-----------

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

	T paratie	passo	Tipo	fyk	$\gamma M0$	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]
STATICO	144.31	2.4	S275R	275	1.05	261.90	HEB140	215.6	245.4	42.96	13.1
SISMICO	145.1						2				

Tabella 38 – Verifiche trave di ripartizione – I ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γA	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	41.6	86.6	1.3	54.0	112.6	56.5	64.3	56.5	197.8	1.05	1.76
SISMICO	41.8	87.1	1.0	41.8	87.1	56.5	64.3	64.3	197.8	1.54	2.27

Tabella 39 – Caratteristiche trave di ripartizione – II ordine

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato				
	T paratie	passo	Tipo	fyk	$\gamma M0$	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]
STATICO	157.19	2.4	S275R	275	1.05	261.90	HEB160	311.5	354.0	54.25	17.6
SISMICO	166.5						2				

Tabella 40 – Verifiche trave di ripartizione – II ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γA	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	45.3	94.3	1.3	58.9	122.6	81.6	92.7	92.7	266.0	1.58	2.17
SISMICO	48.0	99.9	1.0	48.0	99.9	81.6	92.7	92.7	266.0	1.93	2.66

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 41 – Caratteristiche trave di ripartizione – III ordine

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato				
	T paratie	passo	Tipo	fyk	$\gamma M0$	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]			[cm3]	[cm3]	[cm2]
STATICO	379.88	1.2	S275R	275	1.05	261.90	HEB120	144.1	165.2	34.01	11.0
SISMICO	431.44						2				

Tabella 42 – Verifiche trave di ripartizione – III ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γA	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	27.4	114.0	1.3	35.6	148.2	37.7	43.3	37.7	165.8	1.06	1.12
SISMICO	31.1	129.4	1.0	31.1	129.4	37.7	43.3	37.7	165.8	1.21	1.28

Tabella 43 – Caratteristiche trave di ripartizione – IV ordine

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato				
	T paratie	passo	Tipo	fyk	$\gamma M0$	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]			[cm3]	[cm3]	[cm2]
STATICO	380.70	1.2	S275R	275	1.05	261.90	HEB120	144.1	165.2	34.01	11.0
SISMICO	477.46						2				

Tabella 44 – Verifiche trave di ripartizione – IV ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γA	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	27.4	114.2	1.3	35.6	148.5	37.7	43.3	37.7	165.8	1.06	1.12
SISMICO	34.4	143.2	1.0	34.4	143.2	37.7	43.3	37.7	165.8	1.10	1.16

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 45 – Caratteristiche trave di ripartizione – V ordine

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato				
	T paratie	passo	Tipo	fyk	γ_{M0}	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]			[cm3]	[cm3]	[cm2]
STATICO	298.88	1.2	S275R	275	1.05	261.90	HEB120	144.1	165.2	34.01	11.0
SISMICO	455.06						2				

Tabella 46 – Verifiche trave di ripartizione – V ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γ_A	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	21.5	89.7	1.3	28.0	116.6	37.7	43.3	37.7	165.8	1.35	1.42
SISMICO	32.8	136.5	1.0	32.8	136.5	37.7	43.3	37.7	165.8	1.15	1.21

Tutte le verifiche sono soddisfatte.

11.1.3 Sezione 3 – paratia di pali laterale H=23 m

Sono di seguito descritte le principali caratteristiche della struttura e del modello geotecnico per le analisi di verifica.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

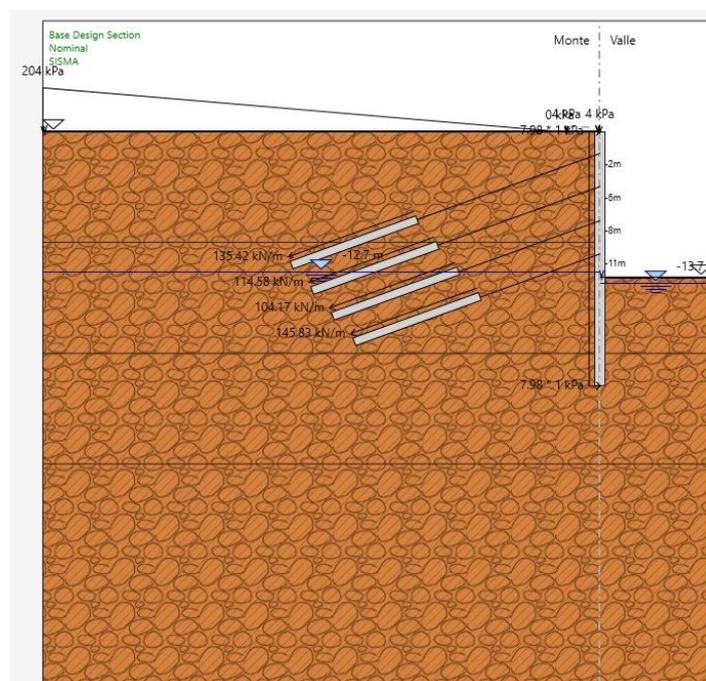


Figura 40 – Sezione 3 – paratia frontale H=23m

11.1.3.1 Geometria e parametri geotecnici del modello

Per la descrizione del modello geotecnico per la sezione di imbocco si rimanda al paragrafo 8.3.

Nella figura precedente si riporta la geometria della sezione a scavo ultimato, con 4 ordini di tiranti e il complesso di carichi considerati agenti a tergo dell'opera.

Tabella 47 – Sezione 3 – Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo

Tipologia struttura di sostegno	Pali $\Phi 1000$ mm ad interasse 1.2 m, calcestruzzo C25/30 Travi di ripartizione: coppia di HEB 160 in acciaio S275R Tiranti a trefoli (4/5) in acciaio armonico
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 23$ m
Altezza di scavo	$H = 13$ m
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% (12-8)] = 0.2$ m
Ordini di tiranti (n°)	4

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Passo orizzontale tiranti	2.4
Passo verticale dei tiranti	3 m
Inclinazione del piano campagna a monte	Inferiore a 10° (categoria topografica T1)
Inclinazione del piano campagna a valle	0°
Sovraccarichi permanenti a monte	Variabili per simulare il versante (da 0 a 204 kPa)
Sovraccarichi permanenti a valle	nessuno
Sovraccarichi variabili a monte	q = 20 kPa
Sovraccarichi variabili a valle	nessuno

Tabella 48 – Sezione 3 – Parametri geotecnici di calcolo - TRV

Terreno	Gruppo coeff. parziali	Condizione	γ	c_d	φ'_d	δ_{attiva}	$\delta_{passiva}$	E'	E'_{ur}	k_o	K_{ah}	K_{ph}
			(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(°)	(°)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
TRV	M1	SLU	21	15	22	18	18	67-102-135	67-102-135	0.63	0.392	2.879
		SLV					0				0.4217	2.1019
	M2	SLU		12	18	15	15			0.69	0.4649	2.3135
		SLV				0					-	
γ = peso dell'unità di volume												
c'_d = coesione efficace (valore di calcolo)												
φ'_d = angolo di resistenza al taglio (valore di calcolo)												
δ = angolo d'attrito struttura/terreno												
E' = modulo di Young												
E'_{ur} = modulo di Young (scarico/ricarico)												
k_o = coefficiente di spinta a riposo												
K_a = coefficiente di spinta attiva												
K_p = coefficiente di resistenza passiva												

Tabella 49 – Sezione 3 – Parametri per il calcolo dell'azione sismica

Terreno	Condizione	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	a_g/g	S	a_{max}/g	α	u_s	β	K_h
		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	(-)	(-)
TRV	SLV	C	T1	0.0794	1.50	0.1191	0.674	0.115	0.50	0.04030

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 80 di 329

α = coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 del DM 17/01/2018)
 u_s = spostamento ammissibile
 β = coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 del DM 17/01/2018)
 k_h = coefficiente sismico

11.1.3.2 Fasi di calcolo

L'analisi è articolata nelle seguenti fasi:

- a. Condizione geostatica e carico permanente del versante lato monte;
- b. Esecuzione della paratia di pali;
- c. Successivi step di scavo e di installazione dei tiranti a trefoli;
- d. Scavo fino alla quota relativa al fondo scavo;
- e. Applicazione dell'azione sismica in corrispondenza della quota di fondo scavo;

11.1.3.3 Risultati delle analisi e verifiche

I risultati delle analisi sono di seguito descritti ed illustrati.

1) Verifica del complesso opera-terreno

La verifica è finalizzata a garantire il corretto dimensionamento dell'opera con particolare riferimento alla profondità di infissione della paratia, sia in condizioni statiche (SLU) che sismiche (SLV). A tale scopo, nei prospetti che seguono, sono riportati gli output in termini di deformata dell'opera.

Per entrambi gli stati limite considerati, la profondità di infissione dell'opera di sostegno garantisce uno spostamento nullo al piede.

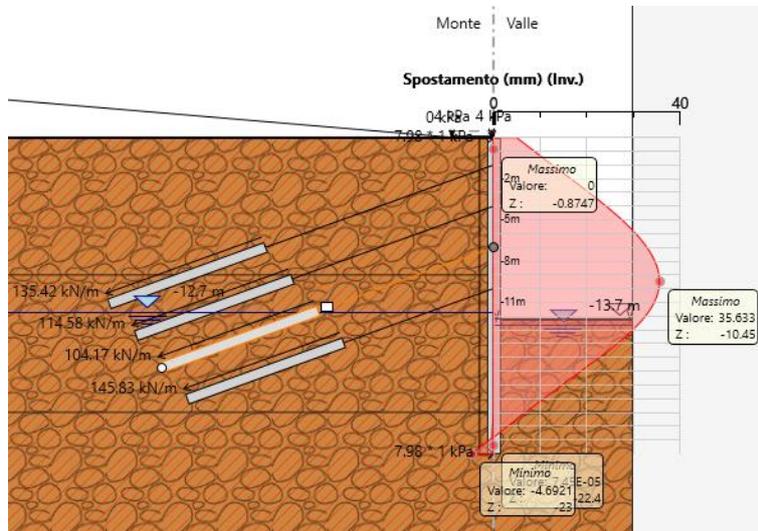


Figura 41 – Sezione 3 – inviluppo della deformati dell'opera (SLU) nei vari step di calcolo

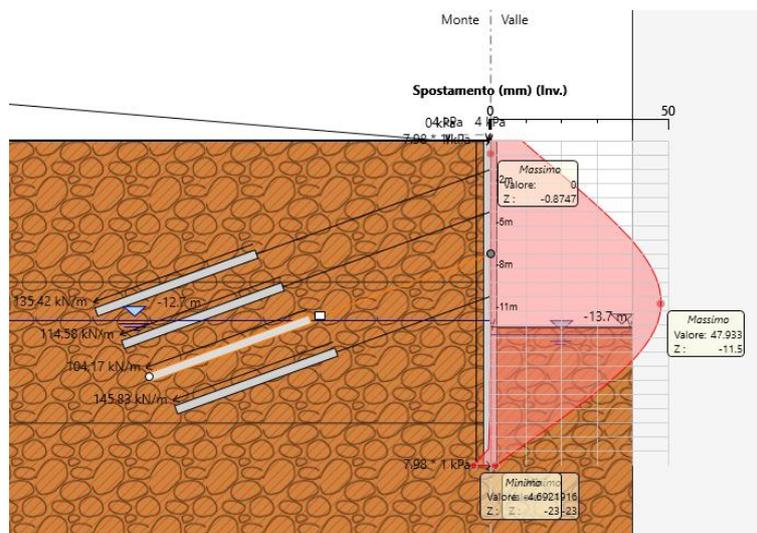


Figura 42 – Sezione 3 – inviluppo della deformati dell'opera (SLV) nei vari step di calcolo

2) Verifica collasso complesso opera- terreno

Per la verifica di collasso del complesso opera-terreno è stato definito un modello di calcolo all'interno del quale sono state imposte delle proprietà geomeccaniche dei terreni ridotte con i coefficienti parziali M2. Nel modello sono state imposte le stesse fasi esecutive riportate precedentemente.

La convergenza di tale calcolo indica che la lunghezza assunta per i pali è sufficiente affinché non si inneschi un movimento di rotazione intorno al piede del palo stesso.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

3) Verifica dei tiranti

Nei prospetti che seguono, per ciascun ordine di tiranti, sono riportate le principali caratteristiche geometriche e strutturali e gli involucri dell'azione assiale in combinazione statica e sismica.

Si sottolinea che la lunghezza libera del tirante è da intendersi comprensiva dell'incremento valutato in condizioni sismiche secondo la formulazione proposta dal D.M. 17/01/2018 nel §7.11.6.4 in funzione della massima accelerazione sismica di progetto.

Tabella 50 – Sezione 3 – caratteristiche geometriche dei tiranti

Ordine tirante	i	Quota da testa paratia	L _{libera min statica}	L _{libera min sismica}	n° trefoli	L _{libera di progetto}	L _{fondazione}	L _{totale}	T _{iniz}
[-]	[°]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[m]	[m]	[kN]
I	20	2	14.8	17.5	4	17.5	12	29.5	325
II	20	5	13.1	15.4	4	15.5	12	27.5	275
III	20	8	11.4	13.4	5	13.5	12	25.5	250
IV	20	11	9.6	11.4	5	11.5	12	23.5	350

Tabella 51 – Sezione 3 – caratteristiche meccaniche dei tiranti

Altezza totale della paratia	H _{paratia}	23	m
Spessore della paratia (Φ perforazione)	S _{paratia}	1.0	m
Altezza massima di scavo	H _{scavo}	13	m
Altezza di infissione della paratia	H _{infissione}	10	m
Profondità della falda da testa paratia	Z _{falda}	4.2	m

N° ordini di tiranti	n° tiranti	4	-
Tipologia tiranti	Temporanei		
Coefficiente parziale per resistenza a sfilamento	γ _R	1.2	-
Area del singolo trefolo	A _{trefolo}	1.39	cm ²
Diametro del singolo trefolo	Φ _{trefolo}	15.2	mm
Tensione caratteristica di rottura	f _{ptk}	1860	N/mm ²
Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale	f _{p(1)k}	1670	N/mm ²
Coefficiente parziale condizioni permanenti e transitorie	γ _S	1.15	-
Tensione di calcolo acciaio (condizioni permanenti e transitorie)	f _{yd}	1452.17	N/mm ²
Coefficiente parziale condizioni eccezionali	γ _S	1.00	-
Tensione di calcolo acciaio (condizioni eccezionali)	f _{yd}	1670	N/mm ²
Forza di trazione a rottura dell'acciaio (singolo trefolo)	F _{pk}	232.13	kN/trefolo
Verifica rapporto di duttilità f _{ptk} / f _{p(1)k} ≥ 1,1	f _{ptk} / f _{p(1)k}	1.11	-

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

<i>Resistenza di progetto del singolo trefolo (condizioni ordinarie)</i>	R_{ad}	201.85	kN/trefolo
<i>Resistenza di progetto del singolo trefolo (condizioni eccezionali)</i>	R_{ad}	232.13	kN/trefolo
<i>Tensione limite (in esercizio e in fase di tesatura)</i>	σ_{spi}	1395	N/mm ²
<i>Trazione limite per il singolo trefolo</i>	$N_{q,amm}$	193.91	kN/trefolo
<i>Numero di verticali di indagine</i>	$n^{\circ}_{sondaggi}$	1	-
<i>Fattore di correlazione per la resistenza caratteristica</i>	ξ_{a3}	1.8	-
<i>Resistenza cubica caratteristica della malta</i>	R_{ck}	30	MPa
<i>Resistenza a trazione semplice della malta</i>	f_{ctm}	2.56	MPa
<i>Coefficiente parziale di sicurezza della malta</i>	γ_c	1.5	-
<i>Tensione limite di aderenza trefoli-malta</i>	τ_{tm}	1.2	MPa
<i>Tasso nominale di esercizio del singolo trefolo</i>	$S_{e,es}$	1336	MPa
<i>Tiro massimo iniziale del sigolo trefolo</i>	T_0	120	kN/trefolo

Verifica a sfilamento della fondazione dei tiranti

Per la verifica a sfilamento della fondazione dei tiranti, in considerazione della tecnologia realizzativa e delle caratteristiche geotecniche del mezzo al contorno, la resistenza caratteristica a sfilamento all'interfaccia bulbo di ancoraggio – terreno è stata valutata secondo le indicazioni di Bustamante e Doix (1985) e Viggiani (1999).

La resistenza a sfilamento di progetto è determinata attraverso la seguente relazione:

$$N_{R,ad} = \frac{N_{R,ak}}{\gamma_{Ra,p}} = \frac{\pi \cdot D_p \cdot \alpha \cdot \tau_{ak} \cdot L_a}{\gamma_{Ra,p} \cdot \xi}$$

dove:

- $N_{R,ad}$ è la resistenza a sfilamento di progetto dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno;
- D_p è il diametro di perforazione della fondazione del tirante;
- α è un coefficiente correttivo che tiene conto della tecnologia realizzativa dell'ancoraggio e del contesto geotecnico (Viggiani, '99);
- τ_{ak} è la tensione resistente a sfilamento caratteristica dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno;
- L_a è la lunghezza della fondazione del tirante;
- $\gamma_{Ra,p}$ è il coefficiente parziale per la resistenza degli ancoraggi (R3); a favore di sicurezza si considera il valore del coefficiente parziale relativo agli ancoraggi permanenti;
- ξ è un fattore di correlazione che dipende dal numero di profili di indagine geotecnica disponibili per la determinazione della resistenza caratteristica τ_{ak} .

La verifica viene condotta nel rispetto della seguente disuguaglianza:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

$$N_{R,ad} \geq N_{S,d}$$

dove $N_{S,d}$ rappresenta il valore dell'azione sollecitante sui tiranti.

Nella tabella che segue è riassunto il calcolo per la determinazione di $N_{R,ad}$ per le verifiche dei diversi ordini di tiranti e l'esito della verifica, che risulta sempre soddisfatta.

Tabella 52 – Sezione 3 – verifiche Geotecniche della fondazione dei tiranti – condizioni statiche

Ordine Tirante	D_p	α	τ_{ok}	L_a	$\gamma_{Ra,p}$	ξ	$N_{R,ad}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[mm]	[-]	[kPa]	[m]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLU	493.1	1.02
2	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLU	484.1	1.04
3	180	1.2	150	12	1.2	1.8	565.2	Inviluppo SLU	538.1	1.05
4	180	1.2	150	12	1.2	1.8	565.2	Inviluooo SLU	456.3	1.24

Tabella 53 – Sezione 3 – verifiche Geotecniche della fondazione dei tiranti – condizioni sismiche

Ordine Tirante	D_p	α	τ_{ok}	L_a	$\gamma_{Ra,p}$	ξ	$N_{R,ad}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[mm]	[-]	[kPa]	[m]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLV	403.8	1.24
2	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLV	408.7	1.23
3	180	1.2	150	12	1.2	1.8	565.2	Inviluppo SLV	478.8	1.18
4	180	1.2	150	12	1.2	1.8	565.2	Inviluppo SLV	452.6	1.25

Verifica strutturale dei tiranti

La resistenza a trazione di calcolo dei tiranti è valutata secondo la seguente relazione:

$$N_{R,pd} = \frac{f_{p(1)k} \cdot A_{tr} \cdot n_{tr}}{\gamma_S}$$

dove

$f_{p(1)k}$ è la resistenza elastica dell'acciaio armonico alla deformazione dell'1%;

A_{tr} è l'area del singolo trefolo;

n_{tr} è il numero di trefoli per tirante;

γ_S è il coefficiente parziale dell'acciaio.

La verifica viene condotta nel rispetto della seguente disuguaglianza:

$$N_{R,pd} \geq N_{S,d}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Nella tabella che segue è riassunto il calcolo per la determinazione di $N_{R,pd}$ per le verifiche strutturali dei differenti ordini di tiranti e l'esito della verifica, che risulta sempre soddisfatta.

Tabella 54 – Sezione 3 – Verifiche strutturali dell'armatura dei tiranti – condizioni statiche

<i>Ordine Tirante</i>	$f_{p(l)k}$	A_{tr}	n_{tr}	γ_s	$N_{R,pd}$	<i>Condiz.</i>	$N_{S,d}$	R_d / E_d
<i>[-]</i>	<i>[MPa]</i>	<i>[mm²]</i>	<i>[-]</i>	<i>[-]</i>	<i>kN</i>	<i>[-]</i>	<i>[kN]</i>	<i>[-]</i>
1	1670	139	4	1.15	807.4	Inviluppo SLU	493.05	1.64
2	1670	139	4	1.15	807.4	Inviluppo SLU	484.07	1.67
3	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLU	538.14	1.88
4	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLU	456.3	2.21

Tabella 55 – Sezione 3 – Verifiche strutturali dell'armatura dei tiranti – condizioni sismiche

<i>Ordine Tirante</i>	$f_{p(l)k}$	A_{tr}	n_{tr}	γ_s	$N_{R,pd}$	<i>Condiz.</i>	$N_{S,d}$	R_d / E_d
<i>[-]</i>	<i>[MPa]</i>	<i>[mm²]</i>	<i>[-]</i>	<i>[-]</i>	<i>kN</i>	<i>[-]</i>	<i>[kN]</i>	<i>[-]</i>
1	1670	139	4	1.15	807.4	Inviluppo SLV	403.8	2.00
2	1670	139	4	1.15	807.4	Inviluppo SLV	408.7	1.98
3	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLV	478.75	2.11
4	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLV	452.57	2.23

Infine, nel rispetto della gerarchia delle resistenze, è necessario verificare che la resistenza caratteristica al limite di snervamento del tratto libero sia sempre maggiore della resistenza caratteristica a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio. Dal confronto tra i risultati, esposti nella tabella precedente, emerge che tale verifica è sempre soddisfatta essendo $R_d / E_d > 1$.

4) Verifica resistenza strutturale dei pali della paratia

Nei prospetti che seguono, per le combinazioni STR statica e sismica, si riportano gli andamenti delle caratteristiche della sollecitazione sulla paratia di pali per tutte le fasi di calcolo ed i valori delle sollecitazioni massime, utilizzate per le verifiche strutturali.

Tabella 56 – Sezione 3 – Sollecitazioni SLU, SLE, e SLV

<i>Condizione</i>	<i>Fase di calcolo</i>	<i>Soll. Max.</i>	<i>Quota</i>	M_{Sd}	T_{Sd}	N_{Sd}
<i>[-]</i>	<i>[-]</i>	<i>[-]</i>	<i>[m]</i>	<i>[kNm/m]</i>	<i>[kN/m]</i>	<i>[kN/m]</i>
SLU	Inviluppo	Momento	-11.05	1923.48	226.43	216.97

	Inviluppo	Taglio	-14.95	964.66	393.21	293.54
SLE	Inviluppo	Momento	-11.05	1479.6	174.18	216.9662
SLV	Sisma_STR	Momento	1550.16	4.86	247.40	1550.16
	Sisma_STR	Taglio	933.94	293.58	157.08	933.94

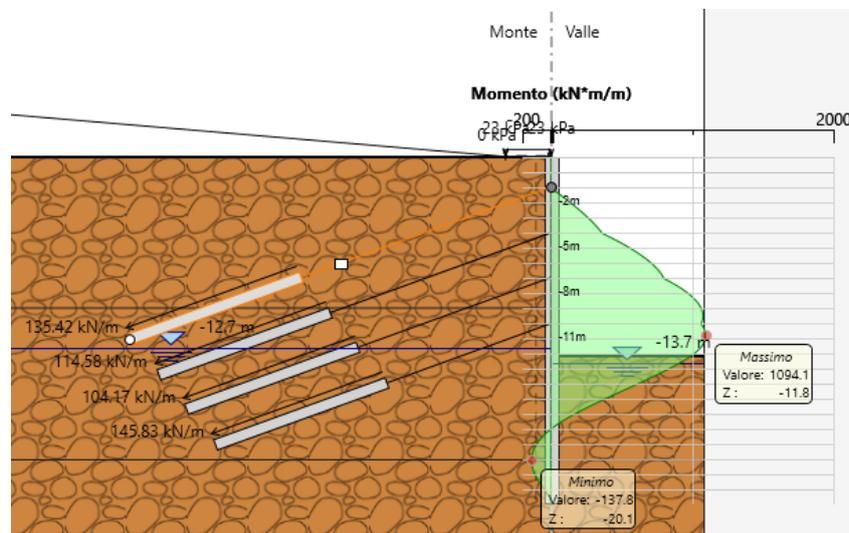


Figura 43 – Sezione 3 – momento flettente statico agente nei pali (SLE)

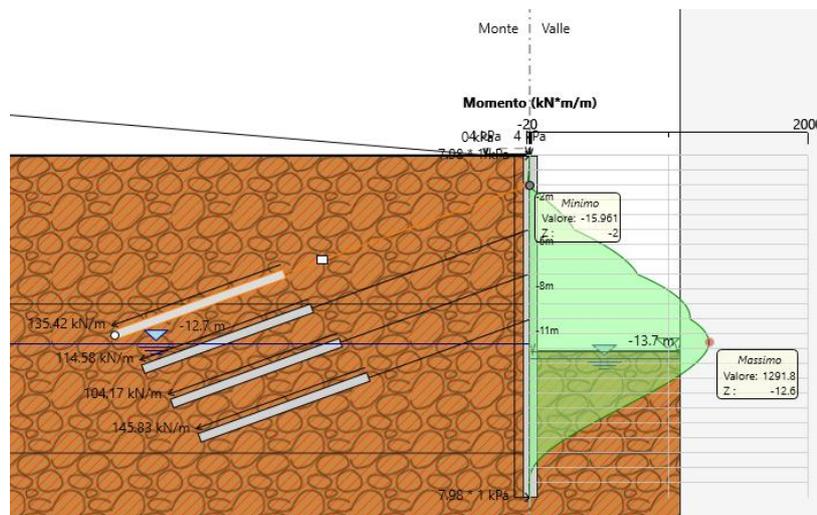
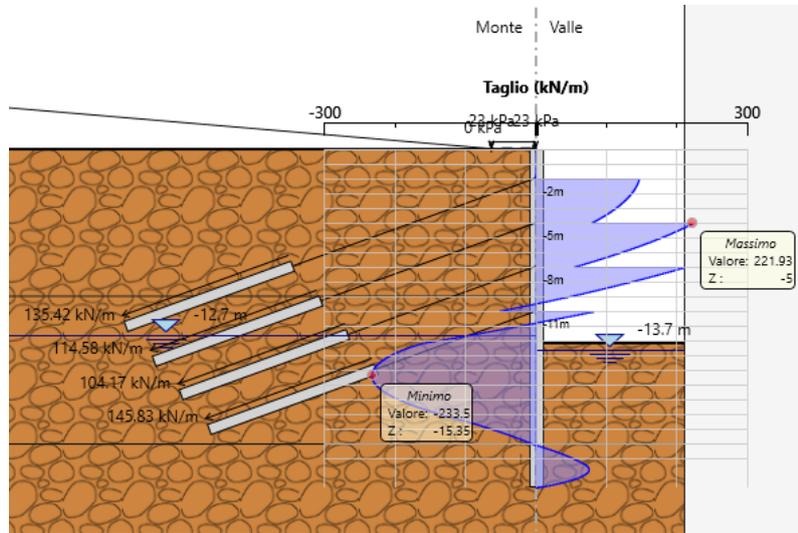
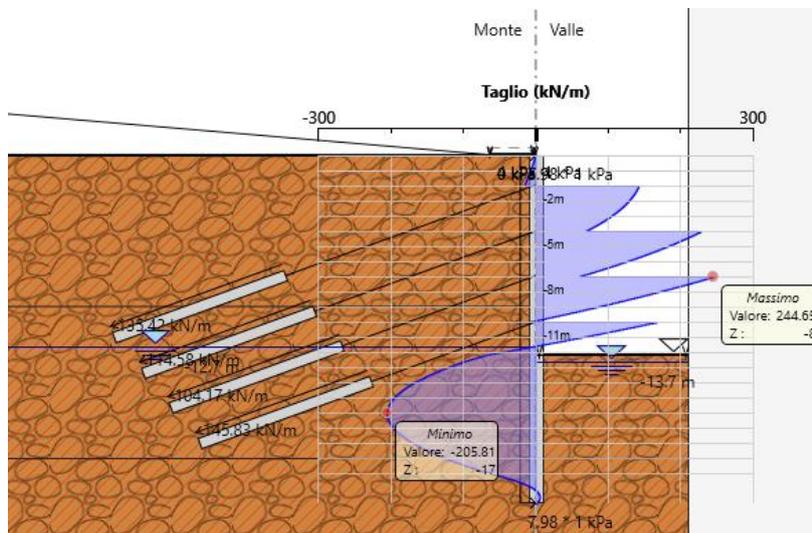


Figura 44 – Sezione 3 – momento flettente sismico agente nei pali (SLV)


Figura 45 – Sezione 3 – taglio statico agente nei pali (SLE)

Figura 46 – Sezione 3 – taglio sismico agente nei pali (SLV)

Le sollecitazioni più gravose sono quelle derivanti dall'analisi statica SLU. I valori di taglio e momento flettente esposti nella tabella precedente devono essere moltiplicati per l'interasse tra i pali così da ottenere la sollecitazione agente sul singolo palo.

Tabella 57 – Sezione 3 – materiali strutturali e geometria di verifica
MATERIALI
GEOMETRIA

Calcestruzzo			Acciaio		
R_{ck}	30	Mpa	f_{yk}	450	Mpa
f_{ck}	25	Mpa	E_s	200000	Mpa
E_{cm}	31000	Mpa	γ_c	1.15	-
γ_c	1.5	-	f_{yd}	391.3	Mpa
α_{cc}	0.85	-	ϵ_{uk}	75	‰
f_{cd}	14.1	Mpa			
f_{ctm}	2.6	MPa			
ν	0.5	-			
ϵ_{c2}	2	‰			
ϵ_{cu2}	3.5	‰			
α_e	15.0	-			
k_t	0.4	-			
k_1	0.8	-	Valori limite		
k_2	0.5	-	$0,45 f_{ck}$	11.2	Mpa
k_3	1.61	-	$0,8 f_{yk}$	360	Mpa
k_4	0.425	-	$W_{k,lim}$	0.3	mm

Sezione trasversale			
D	100	cm	
d	90.8	cm	
Armatura longitudinale			
n_{barre}	Φ	c	A_{sl}
	mm	mm	cm ²
30	30	77	212.06
	0	179	0.00
Armatura a taglio			
tipo	Φ	passo	c
	mm	cm	mm
Spirale	12	30	65

Tabella 58 – Sezione 3 – verifica combinazione Mmax e Tmax

VERIFICA A TAGLIO - SLU					
α	90	°	M_{Ed}	964.66	kNm
A_{sw}	226.2	mm ²	N_{Ed}	293.54	kN
r	500.0	mm	V_{Ed}	393.21	kN
r_s	435.0	mm	M_{Rd}	2787	kNm
α	0.6	rad			
A_{tot}	785398.2	mm ²	V_{Rd}	548.4	kN
A	654734.4	mm ²	FS	1.39	-
b	842.7	mm	<i>Non necessita di armatura a taglio</i>		
h	932.0	mm			
d	776.9	mm	cot θ	2.5	-
γ_c	1.5	-			
σ_{cp}	0.4	kPa	V_{Rsd}	515.8	kN

ρ_l	3.2	%	FS	1.31	-
k	1.5	-	V_{Rcd}	1433.6	kN
v_{min}	0.3	-	FS	3.65	-
α_c	1.0	-			

VERIFICA A TAGLIO - SLV					
α	90	°	M_{Ed}	933.94	kNm
A_{sw}	226.2	mm ²	N_{ed}	157.08	kN
r	500.0	mm	V_{ed}	293.58	kN
r_s	435.0	mm	M_{Rd}	2761	kNm
α	0.6	rad			
A_{tot}	785398.2	mm ²	V_{Rd}	548.4	kN
A	654734.4	mm ²	FS	1.87	-
b	842.7	mm	<i>Non necessita di armatura a taglio</i>		
h	932.0	mm			
d	776.9	mm	cot θ	2.5	-
γ_c	1.5	-			
σ_{cp}	0.4	kPa	V_{Rsd}	515.8	kN
ρ_l	3.2	%	FS	1.76	-
k	1.5	-	V_{Rcd}	1433.5	kN
v_{min}	0.3	-	FS	4.88	-
α_c	1.0	-			

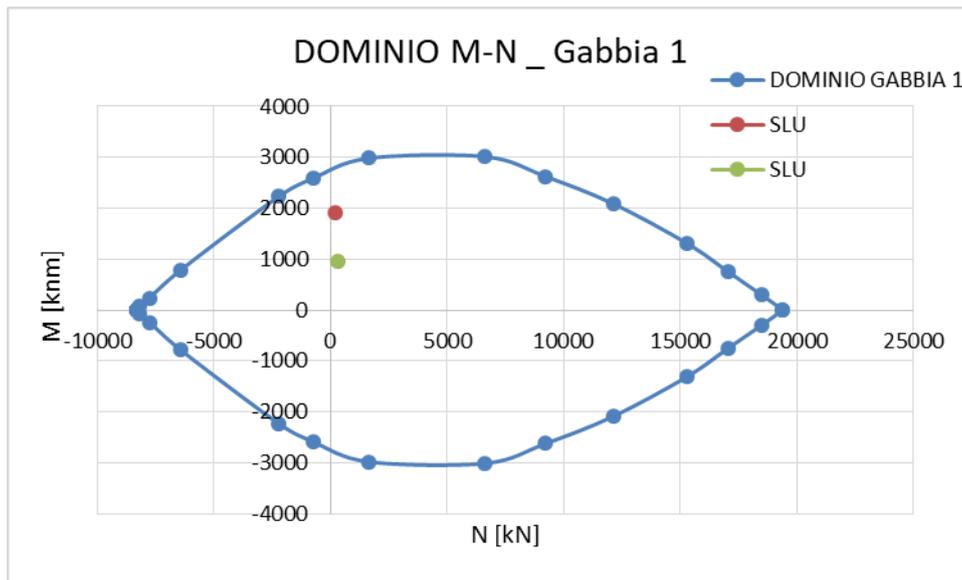


Figura 47 – Dominio M-N - SLU

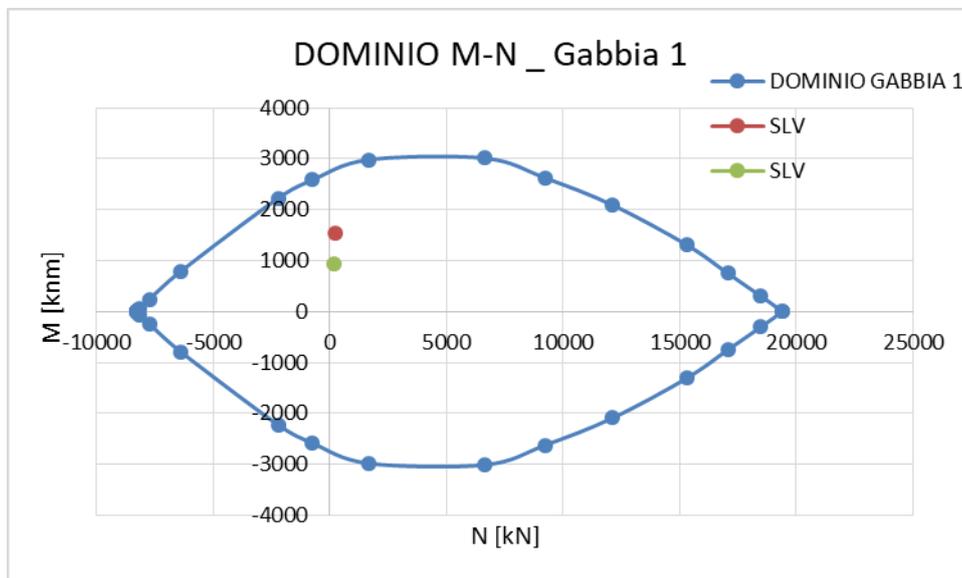


Figura 48 – Dominio M-N - SLV

Le verifiche strutturali sono pertanto tutte soddisfatte. Per la sezione in esame l'incidenza è di 258.0 kg/m³.

5) Verifica resistenza strutturale delle travi di ripartizione

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Le caratteristiche della sollecitazione sono determinate modellando gli elementi strutturali oggetto di verifica alla stregua di travi continue su più appoggi; la luce delle campate è data dall'interesse dei tiranti ed il carico, uniformemente distribuito, è determinato ripartendo le reazioni offerte dagli ancoraggi, ottenute del modello di calcolo dell'opera di sostegno. Definito $N_{s,d}$ il massimo tiro di calcolo corrispondente all'i-esimo ordine di tiranti, il suddetto carico è così calcolato: $q_{sd}=N_{s,d}/l$ (con l interesse tiranti).

Secondo tale modello le massime azioni di calcolo sull'elemento strutturale saranno:

$$M_{s,d} = \frac{1}{10} q_{sd} l^2$$

$$T_{s,d} = 0.6 q_{sd} l$$

Le travi di ripartizione costituite da profili metallici accoppiati HEB 140.

Tabella 59 – Caratteristiche trave di ripartizione – I ordine

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato				
	T paratie	passo	Tipo	fyk	$\gamma M0$	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]
STATICO	158.03	2.4	S275R	275	1.05	261.90	HEB160	311.5	354	54.25	17.6
SISMICO	168.25						2				

Tabella 60 – Verifiche trave di ripartizione – I ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γA	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	42.1	87.8	1.3	54.8	114.1	81.6	92.7	92.7	266.0	1.69	2.33
SISMICO	54.3	113.1	1.0	54.3	113.1	81.6	92.7	92.7	266.0	1.71	2.35

Tabella 61 – Caratteristiche trave di ripartizione – II ordine

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato				
	T paratie	passo	Tipo	fyk	$\gamma M0$	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]
STATICO	155.15	2.4	S275R	275	1.05	261.90	HEB160	311.5	354	54.25	17.6

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

STATICO	146.25	2.4	S275R	275	1.05	261.90	HEB160	311.5	354	54.25	17.6
SISMICO	188.57						2				

Tabella 66 – Verifiche trave di ripartizione – IV ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γ_A	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	42.1	87.8	1.3	54.8	114.1	81.6	92.7	92.7	266.0	1.69	2.33
SISMICO	54.3	113.1	1.0	54.3	113.1	81.6	92.7	92.7	266.0	1.71	2.35

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

11.2 Galleria artificiale

Si riporta in seguito la planimetria dell'imbocco con l'indicazione delle sezioni di studio effettuate sia per il dimensionamento delle opere che per le verifiche.

Le sezioni sono tutte trasversali all'asse della galleria. La sezione 1 è rappresentativa del dimensionamento del concio d'attacco sotto dima, la 2 della galleria artificiale, mentre la sezione 3 è considerata rappresentativa dei ritombamenti sull'imbocco.

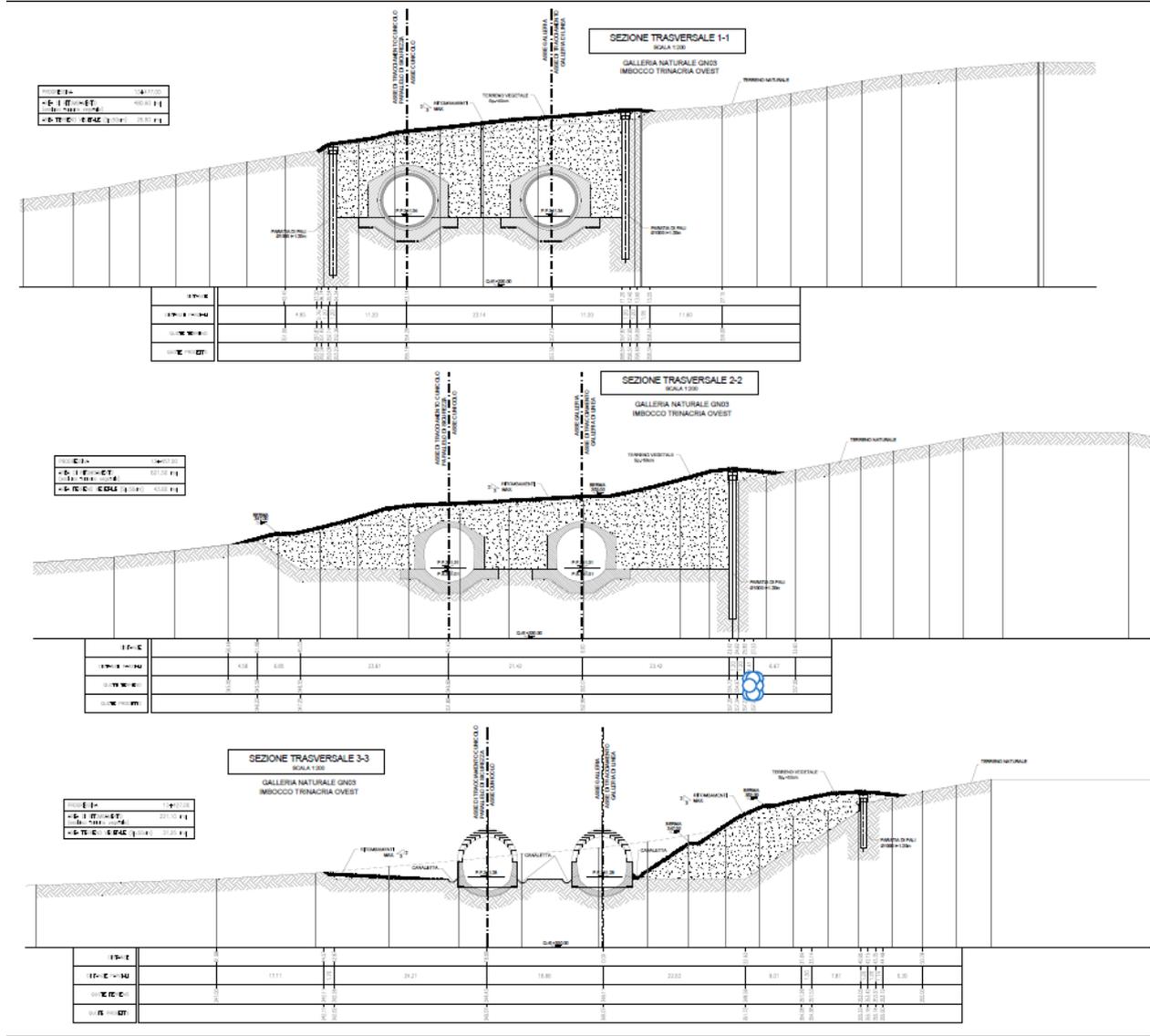
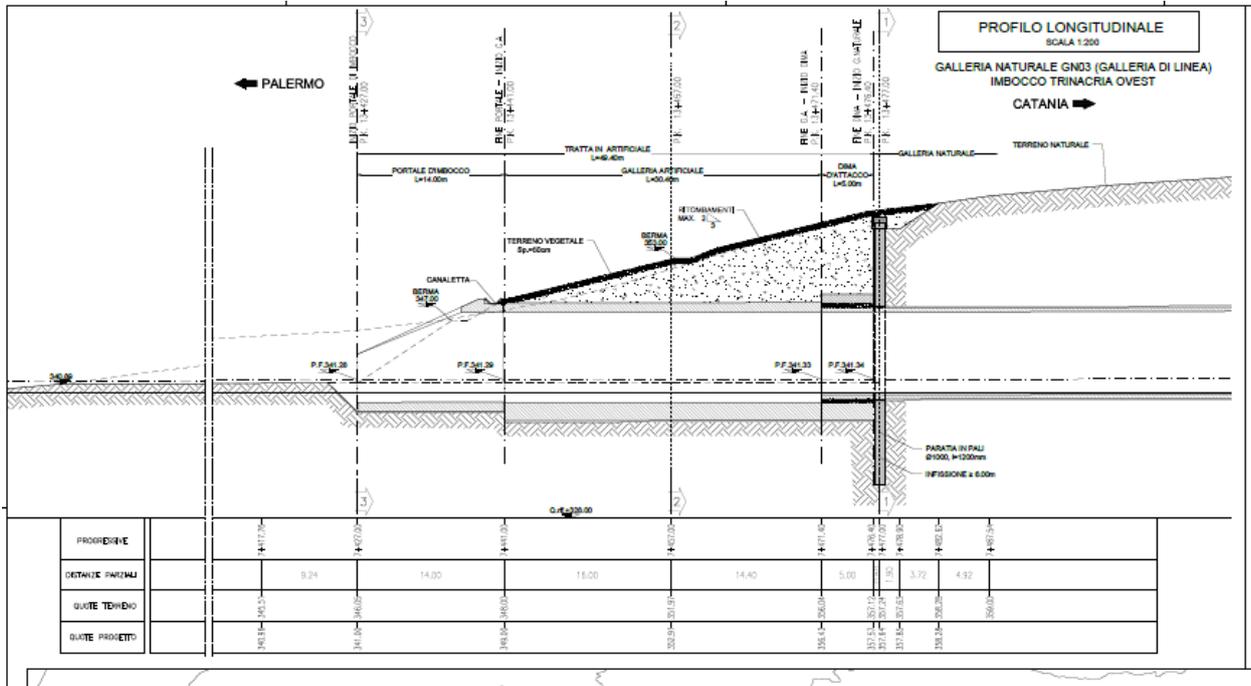


Figura 50 – Sezioni trasversali di calcolo delle opere di imbocco



	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 97 di 329

CONCIO Sezione 1

- Spessore rivestimento definitivo in c.a.: Calotta / Piedritti= 120 cm
- Spessore rivestimento definitivo in c.a.: Reni = 220cm
- Spessore rivestimento definitivo in c.a.: Piedritti = 160 cm
- Spessore rivestimento definitivo in c.a.: Arco rovescio= 170 cm

GALLERIA ARTIFICIALE Sezione 2

- Spessore rivestimento definitivo in c.a.: Calotta = 90 cm
- Spessore rivestimento definitivo in c.a.: Reni = 210cm
- Spessore rivestimento definitivo in c.a.: Piedritti = 150 cm
- Spessore rivestimento definitivo in c.a.: Arco rovescio= 170 cm

Per la verifica della galleria artificiale è stata presa in considerazione la sezione caratterizzata dalla massima altezza di ritombamento. Di seguito è fornita una descrizione delle principali caratteristiche geometriche e uno schema del modello di calcolo.

La sezione 1 del concio d'attacco presenta le seguenti dimensioni:

- Calotta: 1m*1.2m;
- Reni: 1m*2.2 m
- Piedritto: 1m* 1.6 m
- Attacco muretta-piedritto: 1m* 2.5m
- Attacco muretta-arco rovescio: 1m*1.7m
- Arco rovescio: 1m*1.7m

La sezione 2 della galleria presenta le seguenti dimensioni:

- Calotta: 1m*0.9m;
- Reni: 1m*2.1 m
- Piedritto: 1m* 1.5 m
- Attacco muretta-piedritto: 1m* 1.8 m
- Attacco muretta-arco rovescio: 1m*1.7m

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

- Arco rovescio: 1m*1.7m

La sezione 1 del concio d'attacco presenta altezze di ricoprimento a partire dalla quota in corrispondenza della muretta e arrivando fino al piano campagna:

SEZIONE 1

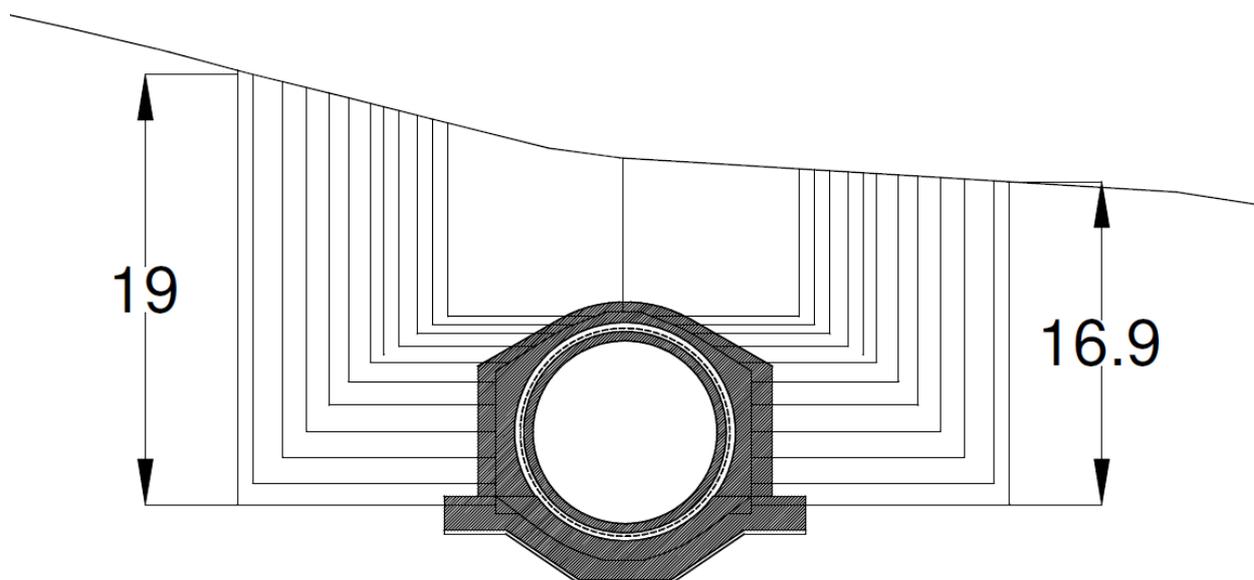


Figura 52 – Sezione con le relative altezze di ritombamento

Tabella 67 – Altezze di ricoprimento

ALTEZZE DI RICOPRIMENTO	(m)
H1	19
H2	17
H3	13

H4	10.8
H5	9.8
H6	8.75
H7	8
H8	7.4
H9	6.8
H10	6.2
H11	6.6
H12	6.9
H13	7.9
H14	8.2
H15	8.9
H16	9.9
H17	10.9
H18	11.9
H19	12.9
H20	12.5
H21	13.9
H22	16.9

La sezione 2 della galleria presenta altezze di ricoprimento a partire dalla quota in corrispondenza della muretta e arrivando fino al piano campagna:

SEZIONE 2

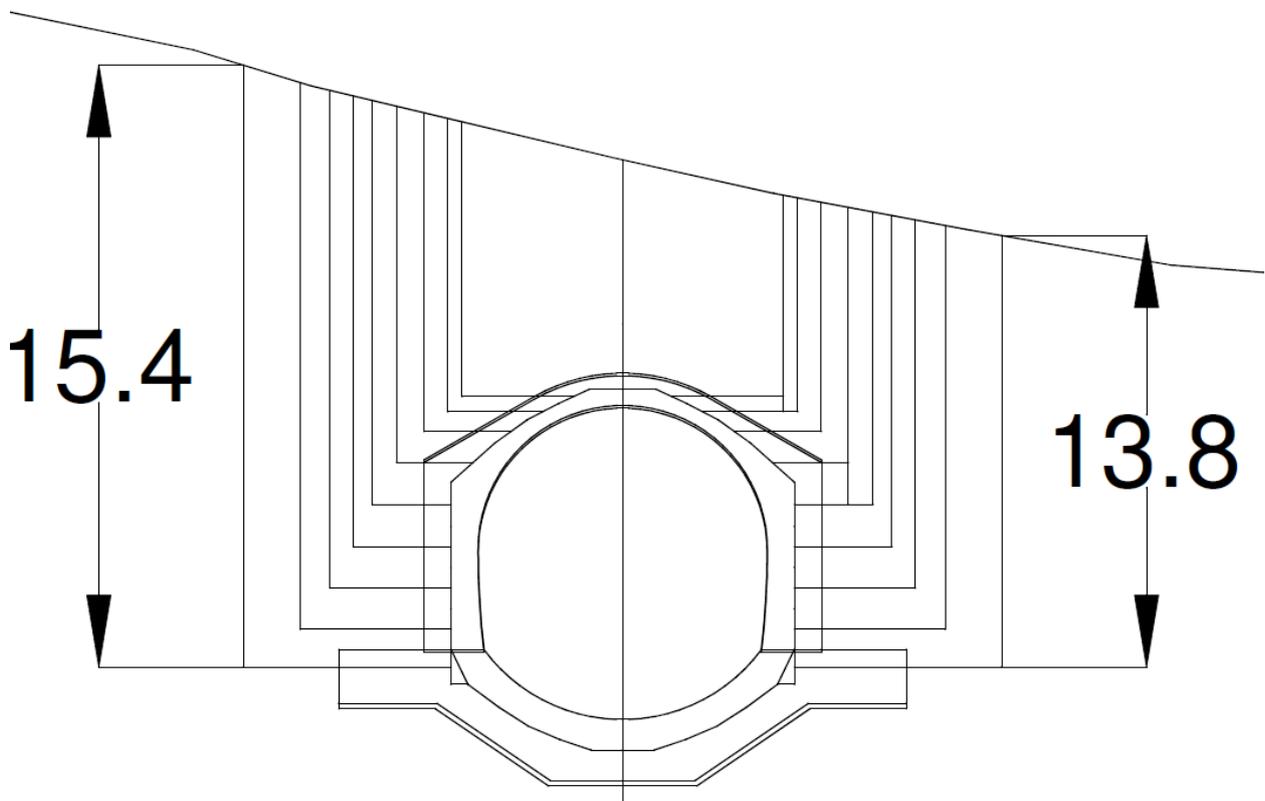


Figura 53 – Sezione con le relative altezze di ritombamento

Tabella 68 – Altezze di ricoprimento

ALTEZZE DI RICOPRIMENTO	(m)
H1	15.4
H2	12.8
H3	10.4
H4	9.4

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

H5	8.4
H6	7.4
H7	6.4
H8	6
H9	5.6
H10	5.3
H11	5
H12	5.5
H13	6.9
H14	7.2
H15	8.2
H16	9.2
H17	10.9
H18	11.2
H19	12.5
H20	13.8

Per la verifica strutturale è stato implementato un modello agli elementi finti mediante il programma SAP2000. Si è considerata una sezione di galleria di lunghezza unitaria, definendo per la struttura un modello costituito da conci monodimensionali (elementi beam). Gli spessori delle diverse aste sono variabili secondo l'elemento strutturale considerato (calotta, piedritti e arco rovescio).

Nel modello di calcolo è stata implementata la sezione di calcolo corrispondente alle condizioni più gravose sia in termini di copertura, sia in termini di caratteristiche geologiche – geotecniche.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 102 di 329

CONCIO D'ATTACCO

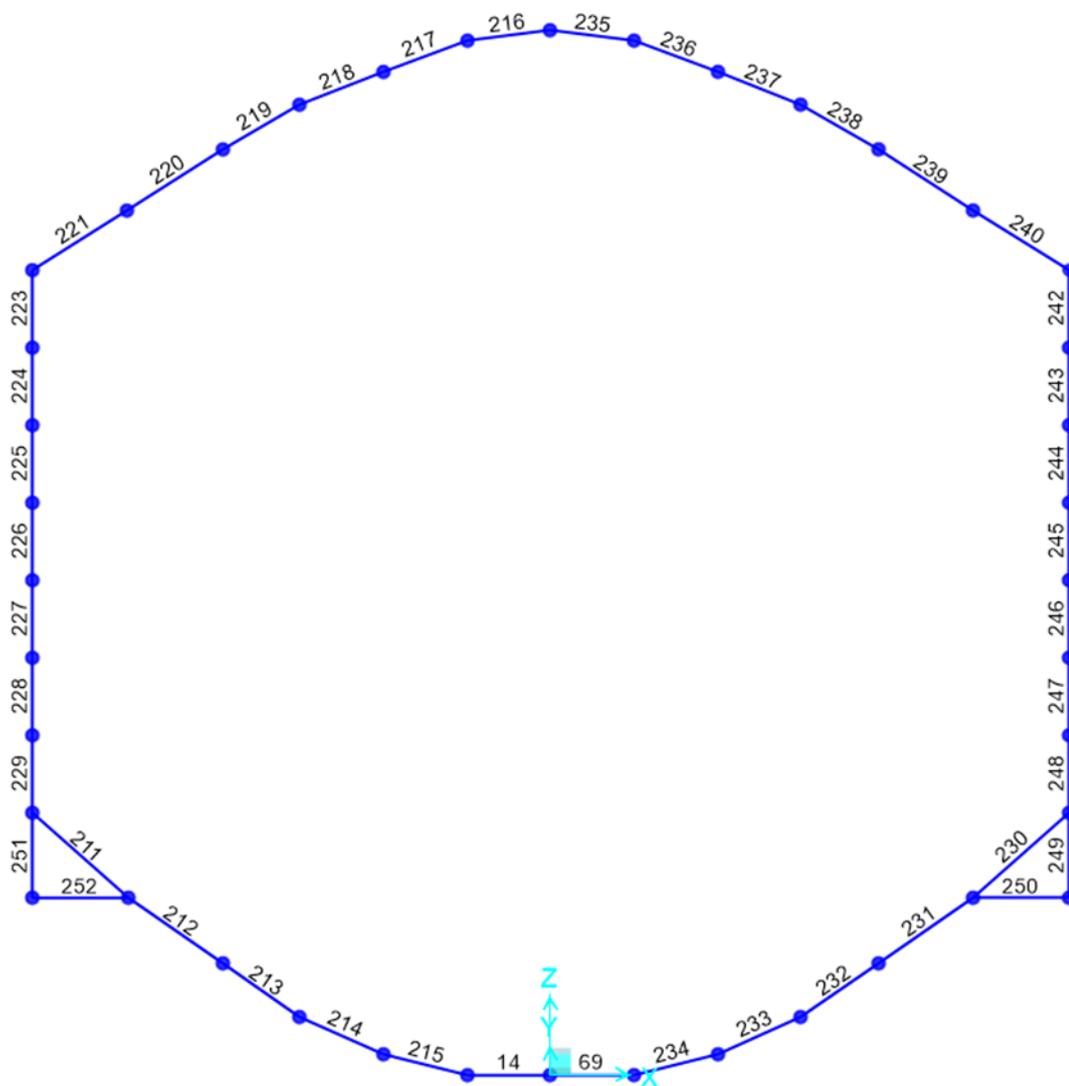


Figura 54 – Schema degli elementi di calcolo agli elementi finiti del concio di attacco

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 103 di 329

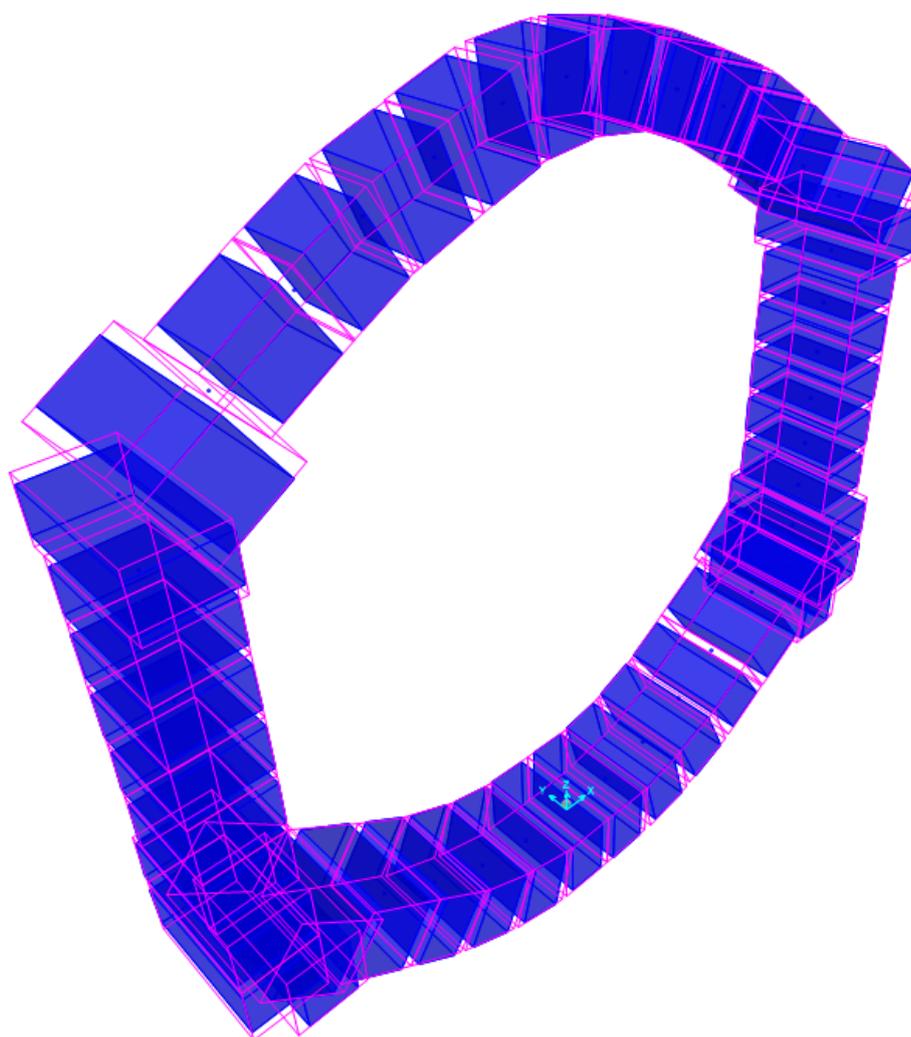


Figura 55 – Schema tridimensionale del modello

L'interazione tra il terreno e la struttura è simulata attraverso un vincolo elasto-plastico (elementi link frame), assegnato ai vari elementi "frame", lungo il loro sviluppo. Il vincolo applicato è di tipo non lineare in quanto rappresenta la capacità del terreno di dare una reazione solo se soggetto a compressione.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

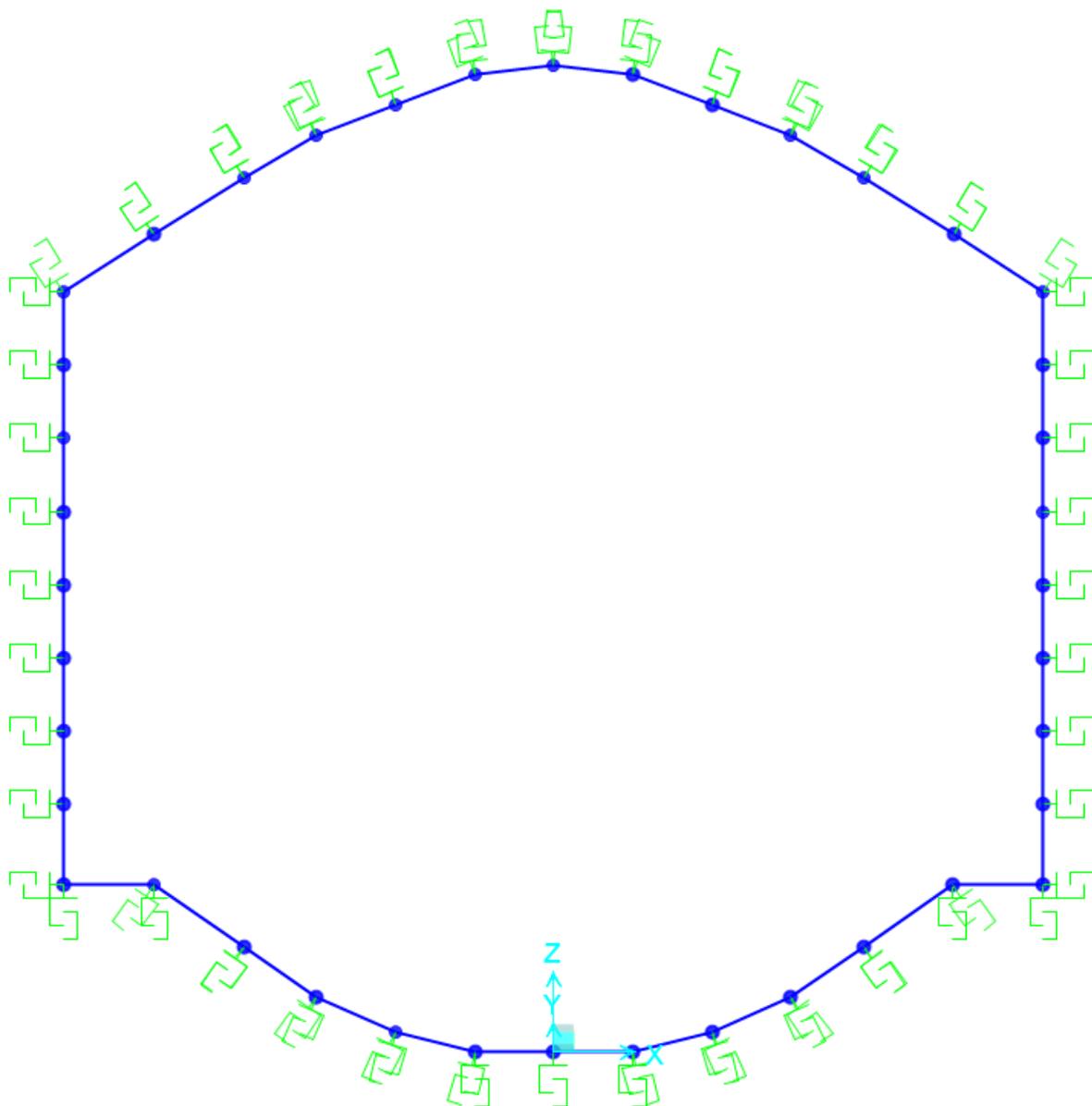


Figura 56 – Schema con le molle di calcolo

Le molle sono calcolate con la seguente formulazione:

✓ per i tratti curvilinei di rivestimento

$$K_n = \frac{E}{(1+\nu) \times R}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

✓ per i tratti rettilinei del rivestimento

$$k_n = \frac{E}{B \cdot (1 - \nu^2) \cdot I_w}$$

dove ;

- R_{eq} è il raggio di curvatura del tratto di carpenteria curvilineo considerato;
- B è la lunghezza del tratto di carpenterie
- i è l'interasse delle bielle
- ν ed E il coefficiente di Poisson ed il modulo elastico del mezzo al contorno delle aste (terreno di fondazione, terreno di ricoprimento).

I carichi applicati al modello di calcolo sono di seguito riassunti.

Tabella 69 – Carichi applicati al modello di calcolo

1	PP	Dead Load (Peso della struttura)
2	Pcop	Peso in copertura
3	SP.sx	Spinta del terreno a riposo sui fianchi della galleria, da sinistra
4	SP.dx	Spinta del terreno a riposo sui fianchi della galleria, da destra
5	Qd_sx	Carichi variabili in copertura da sinistra
6	Qd_dx	Carichi variabili in copertura da destra
7	SQ.sx	Incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura, da sinistra
8	SQ.dx	Incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura, da destra
9	$\Delta S, h_{sx}$	Incremento di spinta sismica orizzontale del terreno sui fianchi (th.di

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>106 di 329</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	106 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	106 di 329								

		Wood), da sinistra
10	$\Delta S, h \text{ dx}$	Incremento di spinta sismica orizzontale del terreno sui fianchi (th.di Wood), da destra
11	$\Delta S, v$	Azione sismica verticale
12	I.h	Inerzia orizzontale
13	I.v	Inerzia verticale

- Peso proprio della struttura (P.P); computato in automatico dal programma di calcolo (DEAD LOAD);
- Carico verticale P.cop (rappresentato dal terreno di ricoprimento)

$$\text{Ritomb vert} = \gamma * H_{\text{rit}} = 20 \text{ kN/m}^3 * H$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

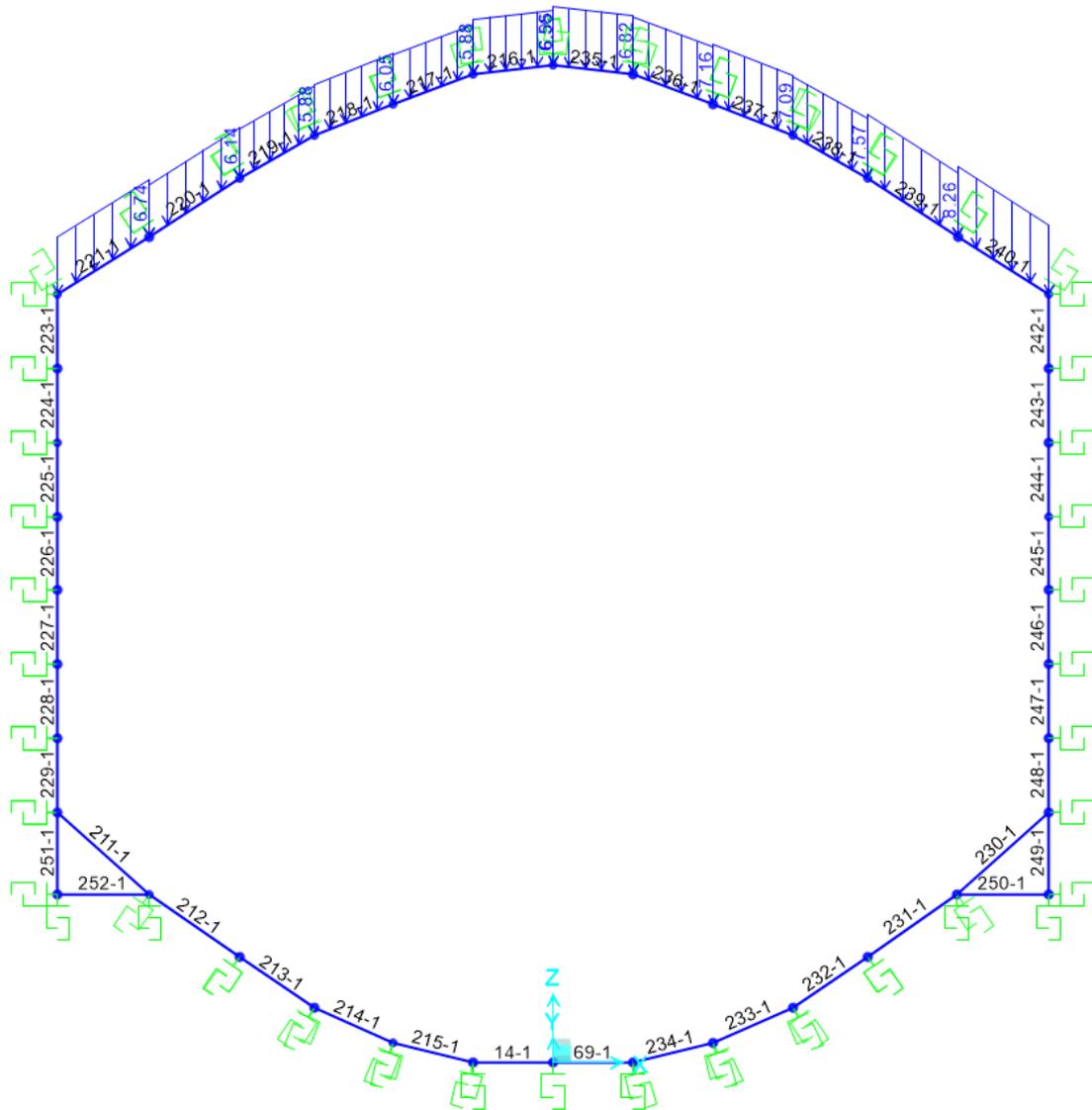


Figura 57 – Carico applicato: peso in copertura

Spinte del terreno sui fianchi della galleria; la spinta è valutata considerando in peso del terreno pari a 20 kN/m³, un angolo di attrito di 30° e un coefficiente di spinta a riposo sul lato destro pari a 0.6 sul lato sinistro pari a 0.4. Il carico è stato assegnato variabile con la profondità sui due lati della struttura come mostra la figura seguente:

$$\text{Spinta del terreno} = K_0 \cdot \gamma \cdot Z_{rit}$$

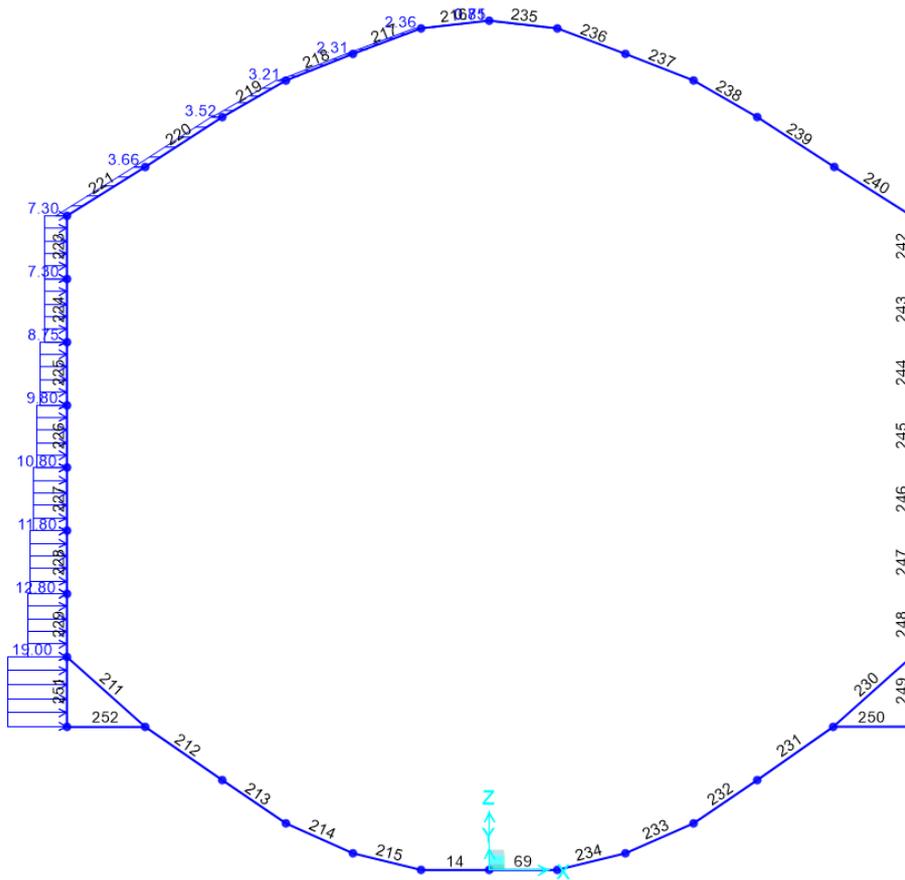


Figura 58 – Carico applicato: spinta laterale del terreno – lato sinistro

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

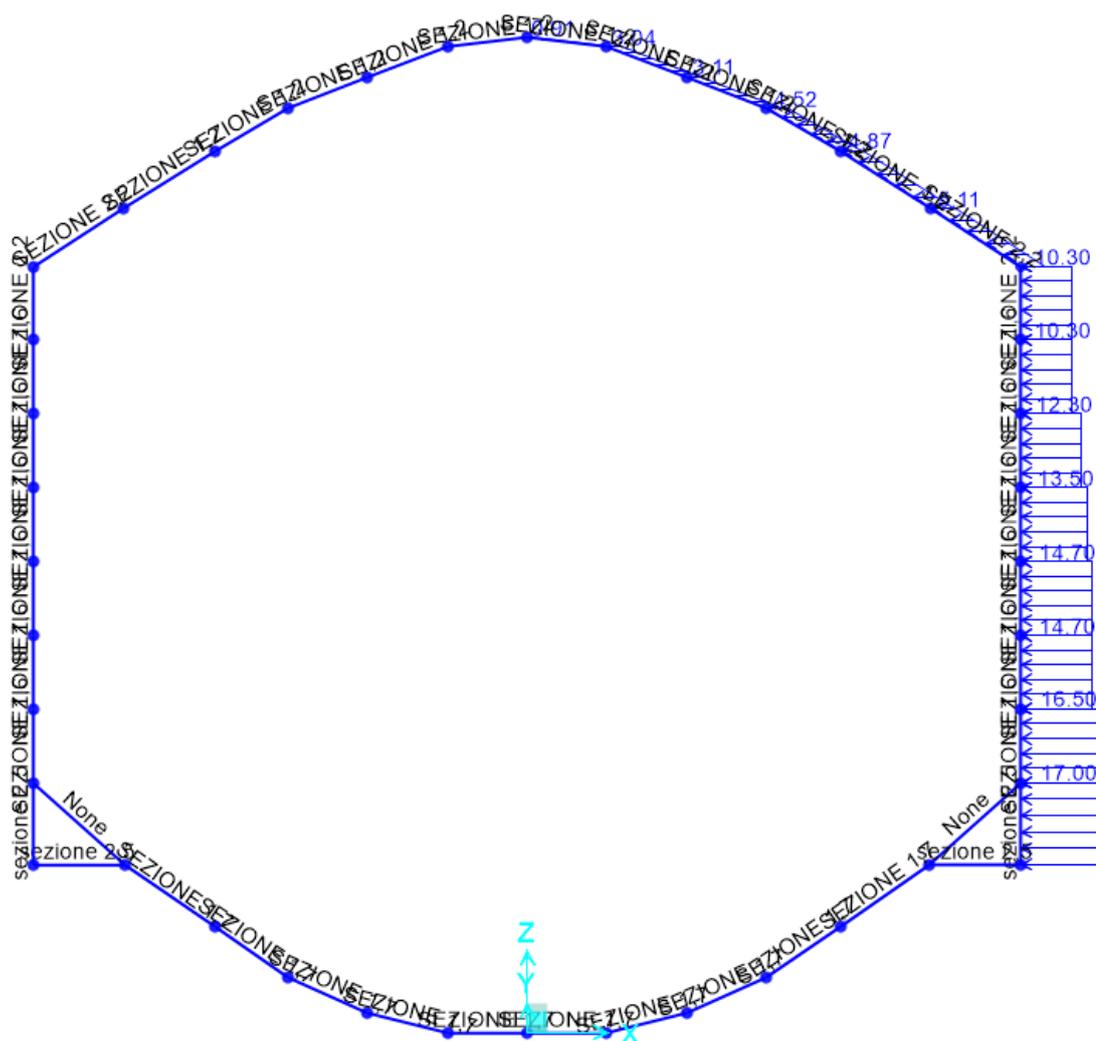


Figura 59 – Carico applicato: spinta laterale del terreno – lato destro

Azioni variabili: carico variabile Q_1 pari a 20 kN/m^2 (legato ai mezzi di cantiere). Sul modello è stato distinto in due parti (dx e sx) per tenere conto dei moltiplicatori di carico applicati con differente magnitudo nelle varie combinazioni di carico:

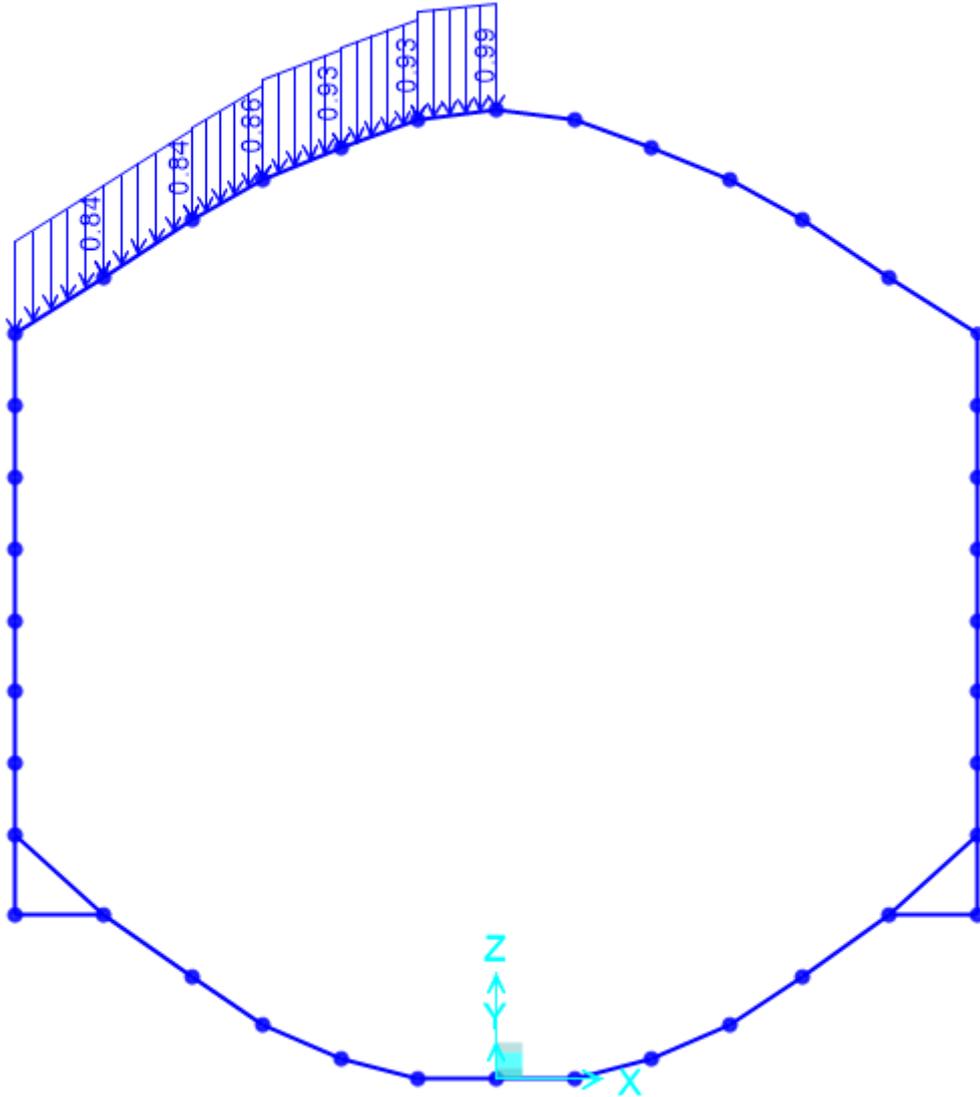


Figura 60 – Carico applicato: carico variabile in copertura - lato sinistro

 <p>ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40</p>	<p>CODIFICA D 07 CL</p>	<p>DOCUMENTO GA 00 00 003</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 111 di 329</p>

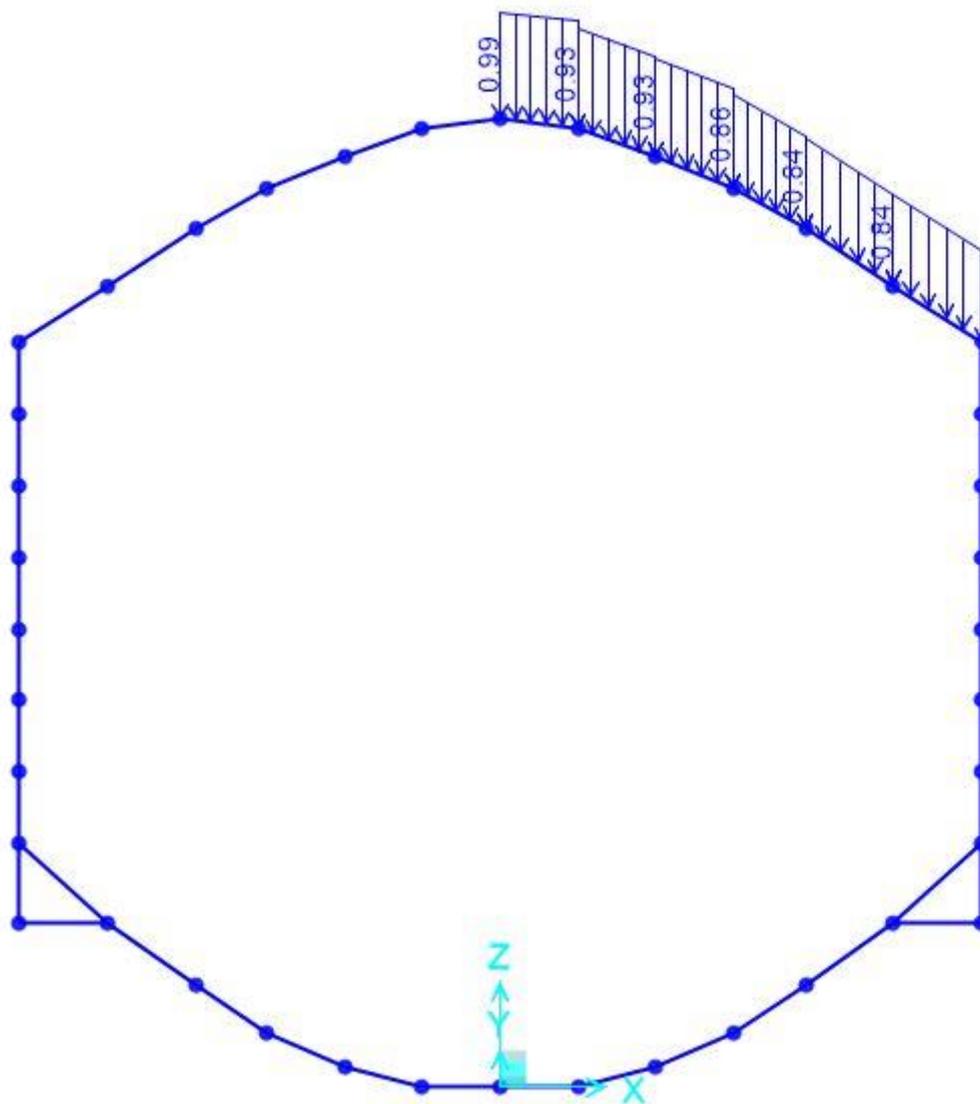


Figura 61 – Carico applicato: carico variabile in copertura – lato sinistro

SQ.sx Sovraccarico laterale lato sinistro generato da carico variabile in copertura = $20 \text{ kN/m} \cdot x$
 $k_0 = 8,2 \text{ kN/m}$

SQ.dx Sovraccarico laterale lato destro generato da carico variabile in copertura = $20 \text{ kN/m} \cdot x$ $k_0 = 12 \text{ kN/m}$

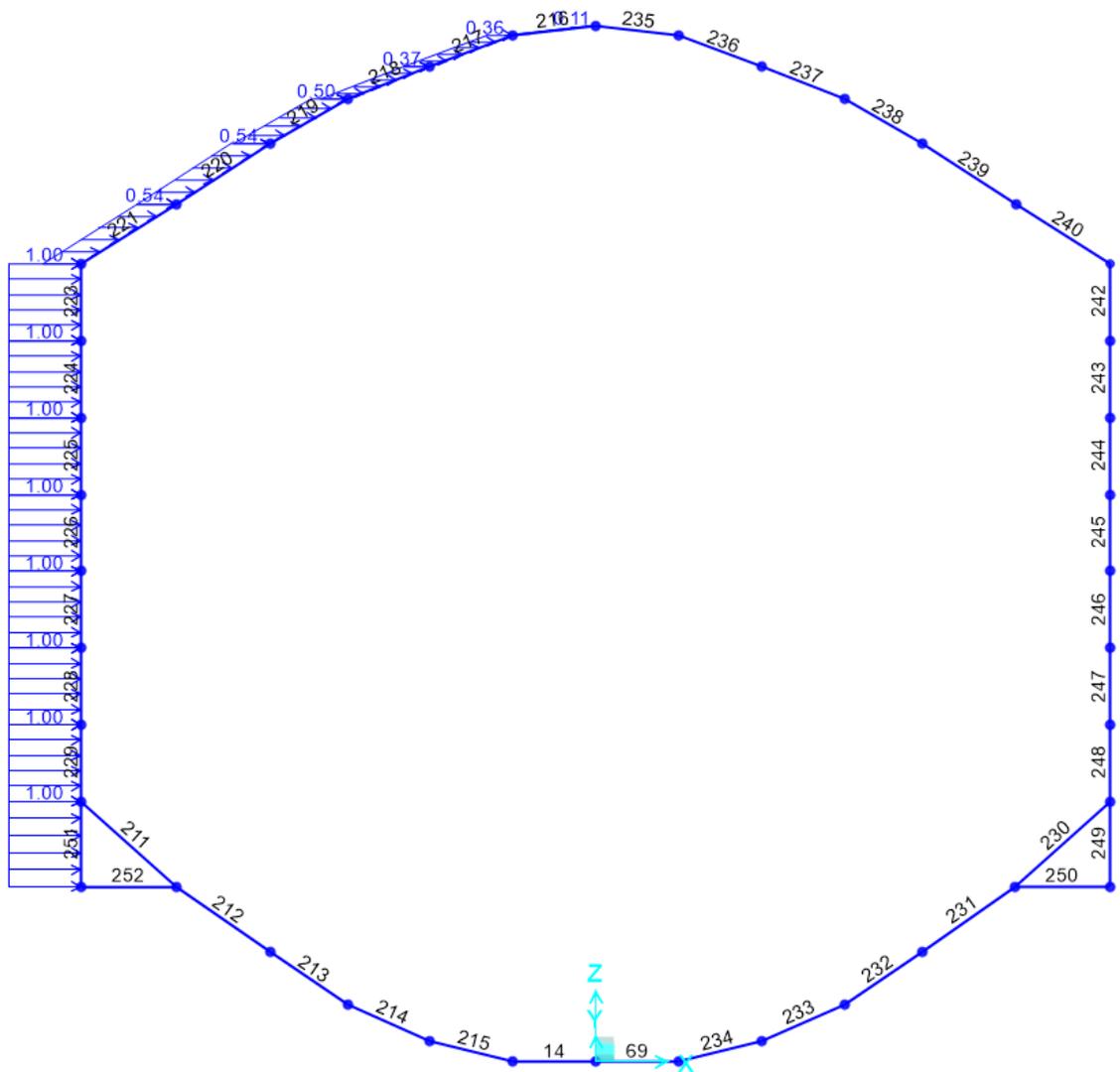


Figura 62 – Carico applicato: incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura – lato sinistro

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

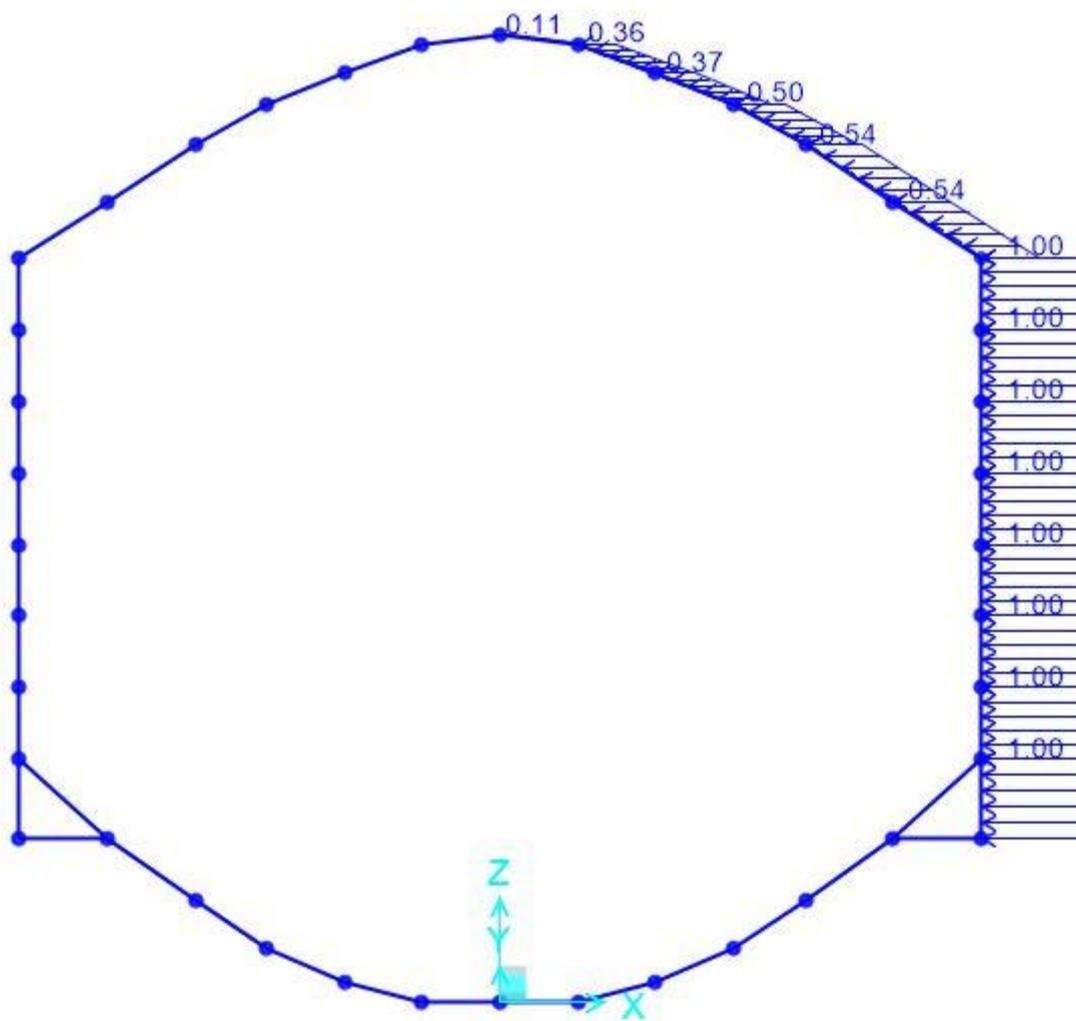


Figura 63 – Carico applicato: incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura – lato destro

Azione sismica: l’accelerazione orizzontale massima attesa al suolo è definita nel paragrafo. In presenza di sisma è necessario considerare gli effetti inerziali indotti da entrambe le componenti del moto sismico sui carichi. I carichi considerati sono:

Incremento di spinta del terreno sui fianchi della galleria ($\pm \Delta S_H$); l’incremento di spinta può valutarsi secondo la teoria di Wood, per cui la risultante dell’azione sismica orizzontale può calcolarsi secondo:

$$\Delta S_H = \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$\Delta S_{HSX} = 0.162 * 20 \text{ kN/m}^3 * 19^2 \text{ m} / 12 \text{ m} = 97,5 \text{ kN/m/m}$$

$$\Delta S_{HDx} = 0.179 * 20 \text{ kN/m}^3 * 17^2 \text{ m} / 12 \text{ m} = 78 \text{ kN/m/m}$$

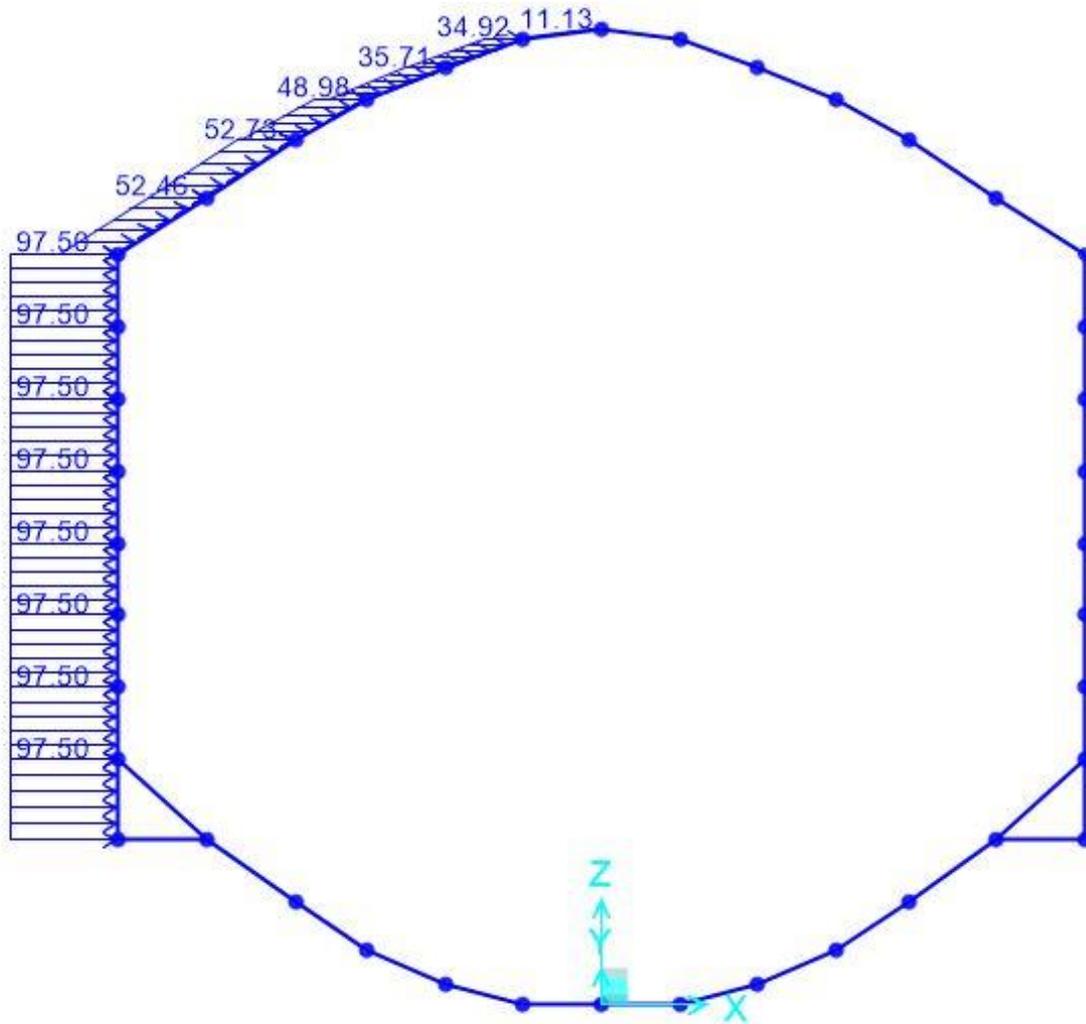


Figura 64 – Carico applicato: incremento di spinta sismica orizzontale – lato sinistro

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

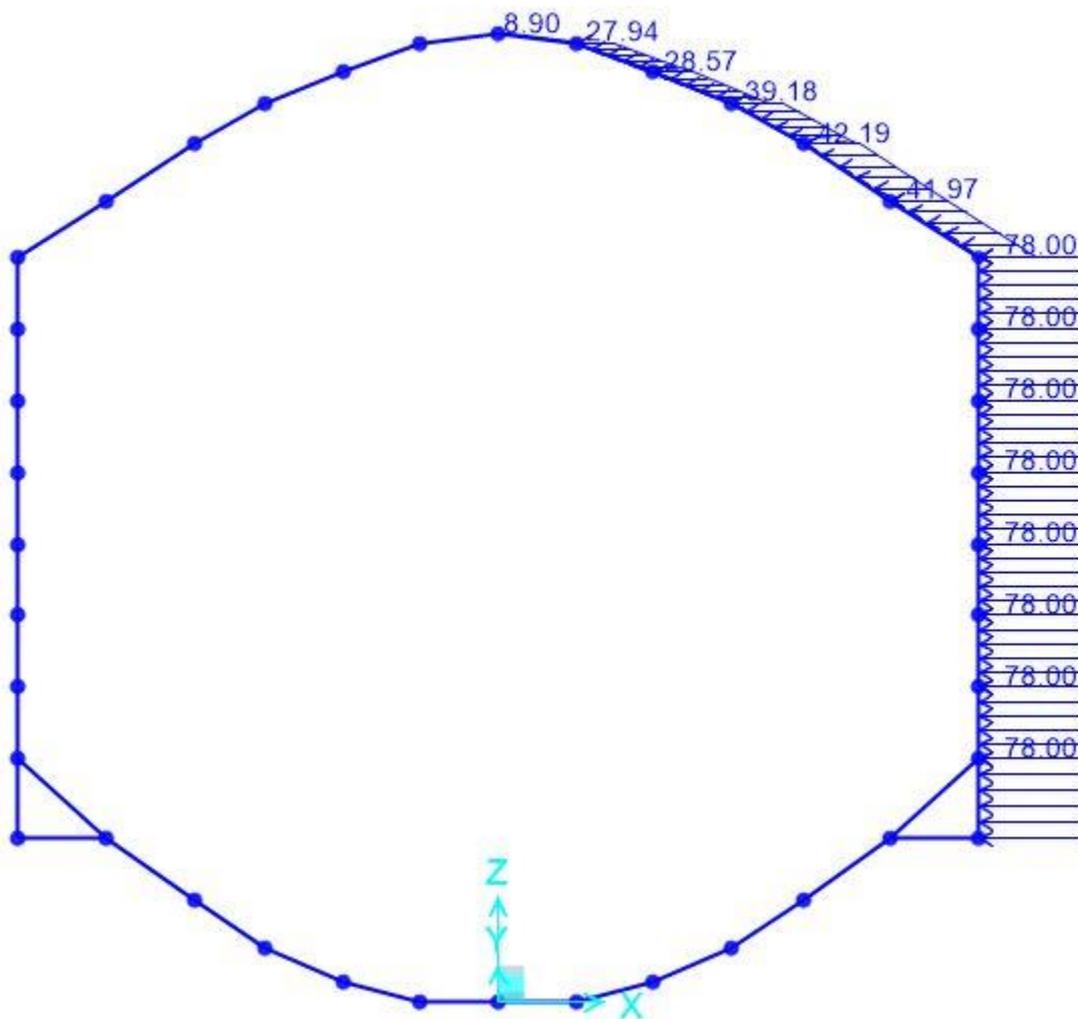


Figura 65 – Carico applicato: spinta sismica orizzontale lato destro

Variatione del peso del terreno di ritombamento ($\pm \Delta S_v$); l'incremento di spinta può valutarsi secondo la teoria di Wood, per cui la risultante dell'azione sismica verticale può calcolarsi secondo:

$$\Delta S_v = 0.5 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \gamma \cdot A$$

In cui A rappresenta l'altezza del carico di coprimento (variabile in questo caso) al di sopra della calotta. La spinta viene applicata sulla calotta, uniformemente distribuita sulla larghezza dell'opera; a tale scopo sul modello sono state inserite le altezze medie di carico verticale, mentre

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>116 di 329</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	116 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	116 di 329								

nelle combo è stato inserito il moltiplicatore comune, pertanto il carico sismico verticale assunto è pari a:

$$\Delta S_v = 0.5 * 0.162 * 20 \text{ kN/m}^3 * z$$

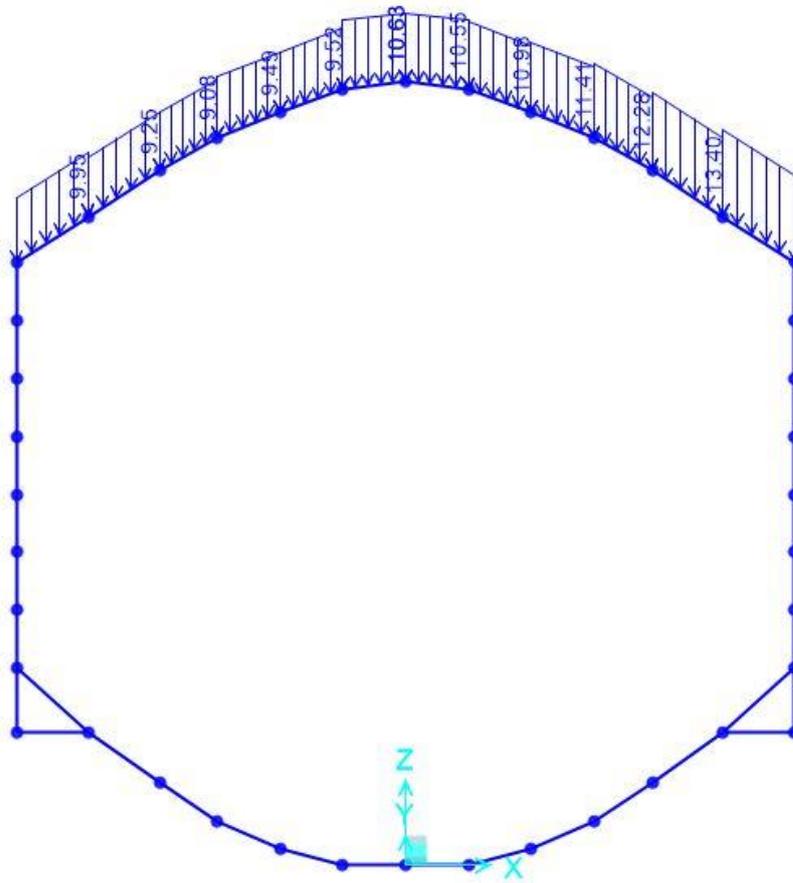


Figura 66 – Carico applicato: spinta sismica verticale

I parametri di input scelti per questo caso si associano ad una tipologia di terreno “TRV” per cui abbiamo:

Tabella 70 – parametri di calcolo

SALSO					
Parametri di calcolo					
Tipo Terreno	γ	c'	ϕ'	E'	ν
[-]	[kN/m3]	[kN/m2]	[°]	[MPa]	[-]
Ricoprimento	20	0	30	30	0.3
Terreno alla base	21	15	22	83	0.3
Rigidezza molle per elementi curvi (Formula di Galerkin)					
$K_n = \frac{E}{(1+\nu) \times R}$	Elemento	R	K		
	[-]	[m]	[kN/m3]		
	AR	4.2	30403		
	Calotta	5	4615		
Rigidezza molle per elementi Lineari (Formula Di Boussinesq)					
$k_n = \frac{E}{B \cdot (1-\nu^2)}$	Elemento	B	K		
	[-]	[m]	[kN/m3]		
	Sommità piedritto	5.7	5784		
	Base piedritto	2	91209		

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI												
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>118 di 329</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	118 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	118 di 329								

Modello della Galleria Artificiale

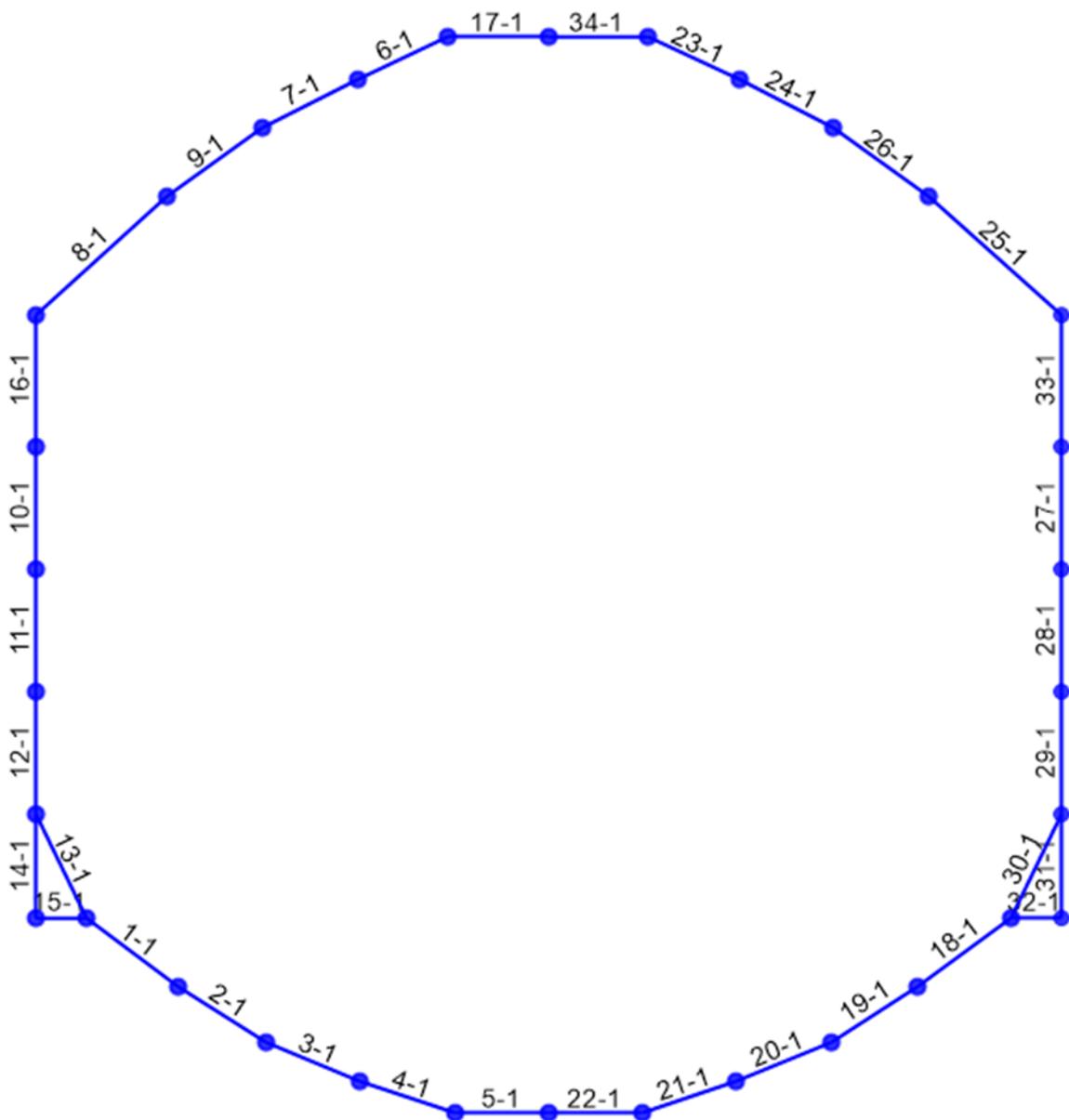


Figura 67 – Schema degli elementi di calcolo agli elementi finiti - GA

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 119 di 329

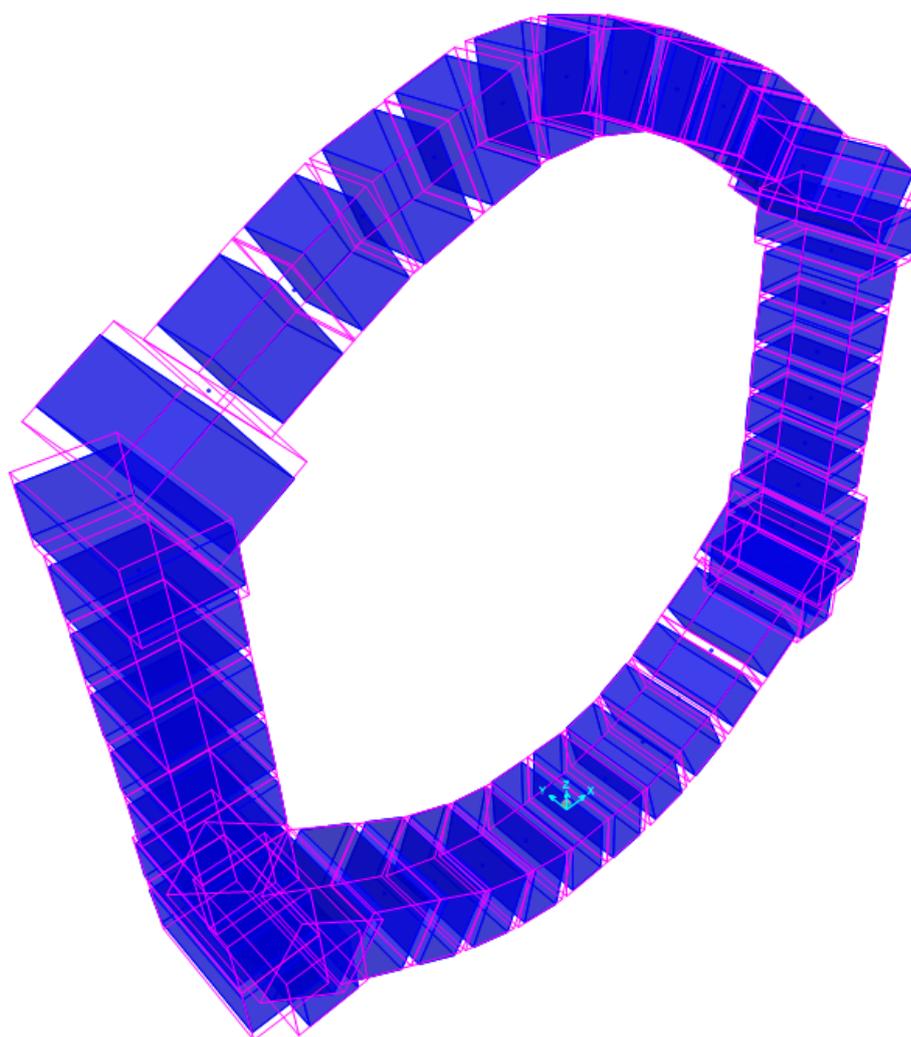


Figura 68 – Schema tridimensionale del modello

L'interazione tra il terreno e la struttura è simulata attraverso un vincolo elasto-plastico (elementi link frame), assegnato ai vari elementi "frame", lungo il loro sviluppo. Il vincolo applicato è di tipo non lineare in quanto rappresenta la capacità del terreno di dare una reazione solo se soggetto a compressione.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

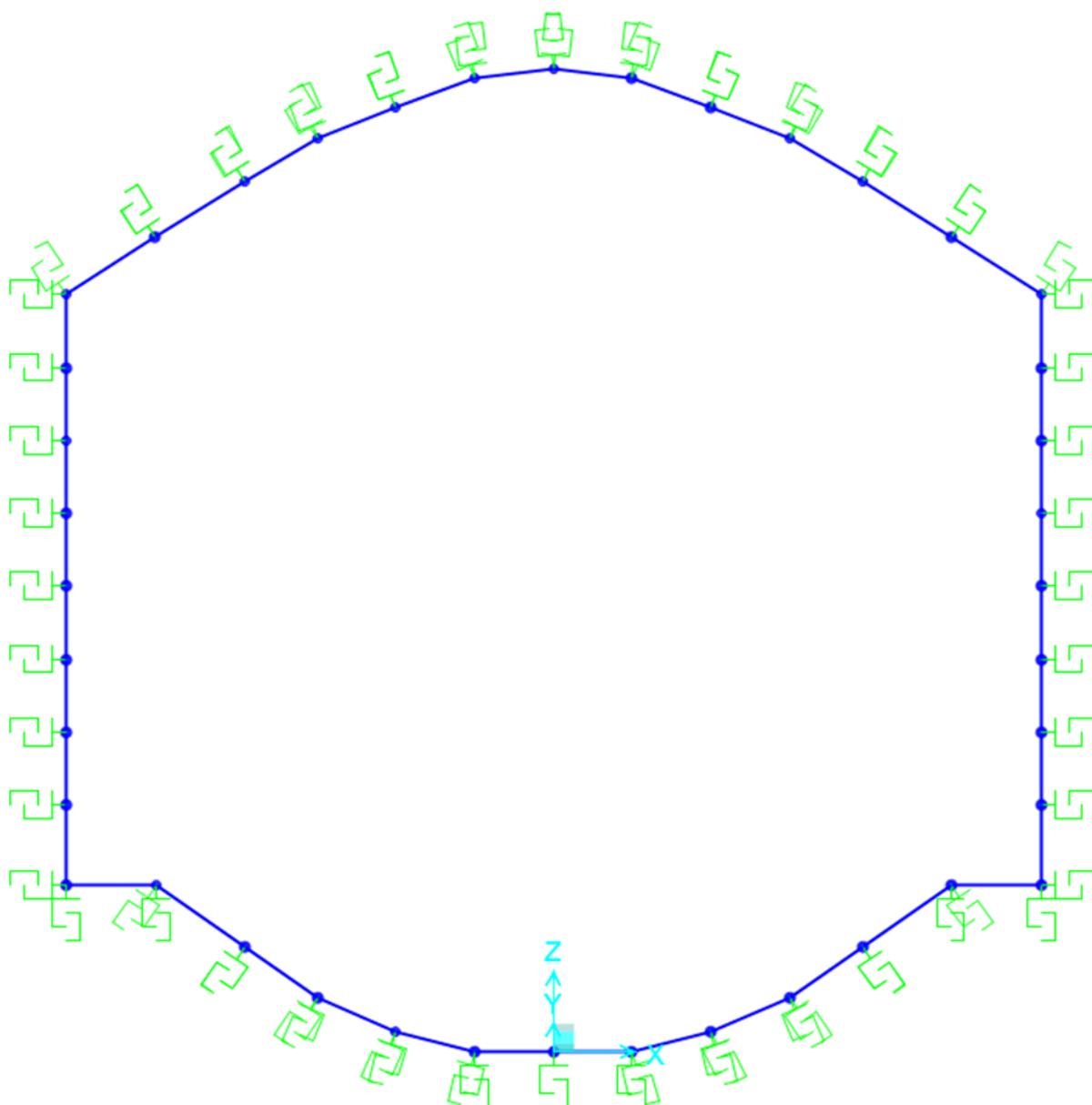


Figura 69 – Schema con le molle di calcolo

Le molle sono calcolate con la seguente formulazione:

- ✓ per i tratti curvilinei di rivestimento

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

$$K_n = \frac{E}{(1+\nu) \times R}$$

✓ per i tratti rettilinei del rivestimento

$$k_n = \frac{E}{B \cdot (1-\nu^2) \cdot I_w}$$

dove ;

- R_{eq} è il raggio di curvatura del tratto di carpenteria curvilineo considerato;
- B è la lunghezza del tratto di carpenterie
- i è l'interasse delle bielle
- ν ed E il coefficiente di Poisson ed il modulo elastico del mezzo al contorno delle aste (terreno di fondazione, terreno di ricoprimento).

I carichi applicati al modello di calcolo sono di seguito riassunti.

Tabella 71 – Carichi applicati

1	PP	Dead Load (Peso della struttura)
2	Pcop	Peso in copertura
3	SP.sx	Spinta del terreno a riposo sui fianchi della galleria, da sinistra
4	SP.dx	Spinta del terreno a riposo sui fianchi della galleria, da destra
5	Qd_sx	Carichi variabili in copertura da sinistra
6	Qd_dx	Carichi variabili in copertura da destra
7	SQ.sx	Incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura, da sinistra
8	SQ.dx	Incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura, da

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>122 di 329</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	122 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	122 di 329								

		destra
9	$\Delta S, h_{sx}$	Incremento di spinta sismica orizzontale del terreno sui fianchi (th.di Wood), da sinistra
10	$\Delta S, h_{dx}$	Incremento di spinta sismica orizzontale del terreno sui fianchi (th.di Wood), da destra
11	$\Delta S, v$	Azione sismica verticale
12	I.h	Inerzia orizzontale
13	I.v	Inerzia verticale

Peso proprio della struttura (P.P); computato in automatico dal programma di calcolo (DEAD LOAD);

Carico verticale P.cop (rappresentato dal terreno di ricoprimento)

$$\text{Ritomb vert} = \gamma * H_{rit} = 20 \text{ kN/m}^3 * H$$

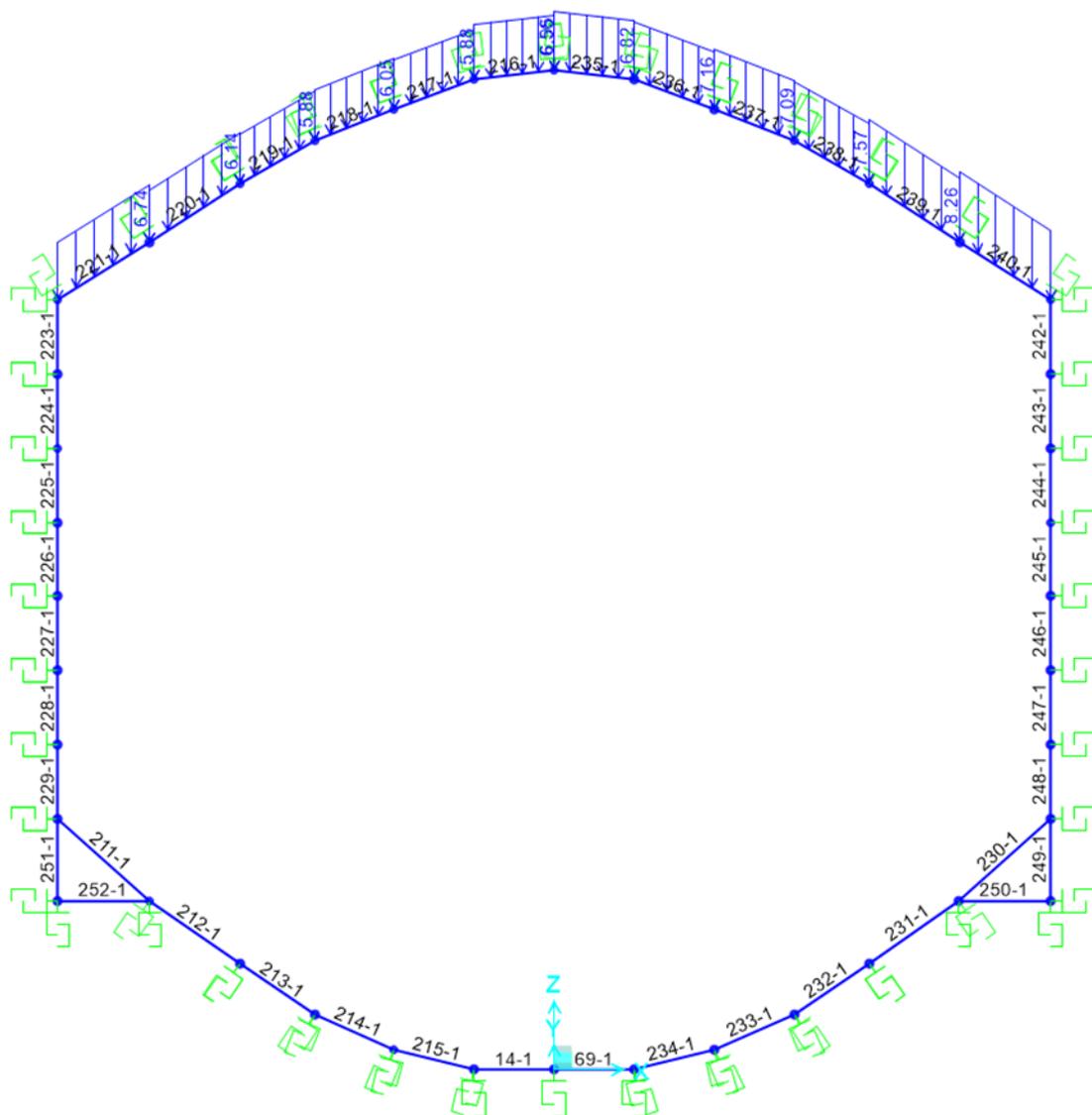


Figura 70 – Carico applicato: peso in copertura

Spinte del terreno sui fianchi della galleria; la spinta è valutata considerando in peso del terreno pari a 20 kN/m³, un angolo di attrito di 30° e un coefficiente di spinta a riposo sul lato destro pari a 0.6 sul lato sinistro pari a 0.4. Il carico è stato assegnato variabile con la profondità sui due lati della struttura come mostra la figura seguente:

$$\text{Spinta del terreno} = K_0 * \gamma * Z_{rit}$$

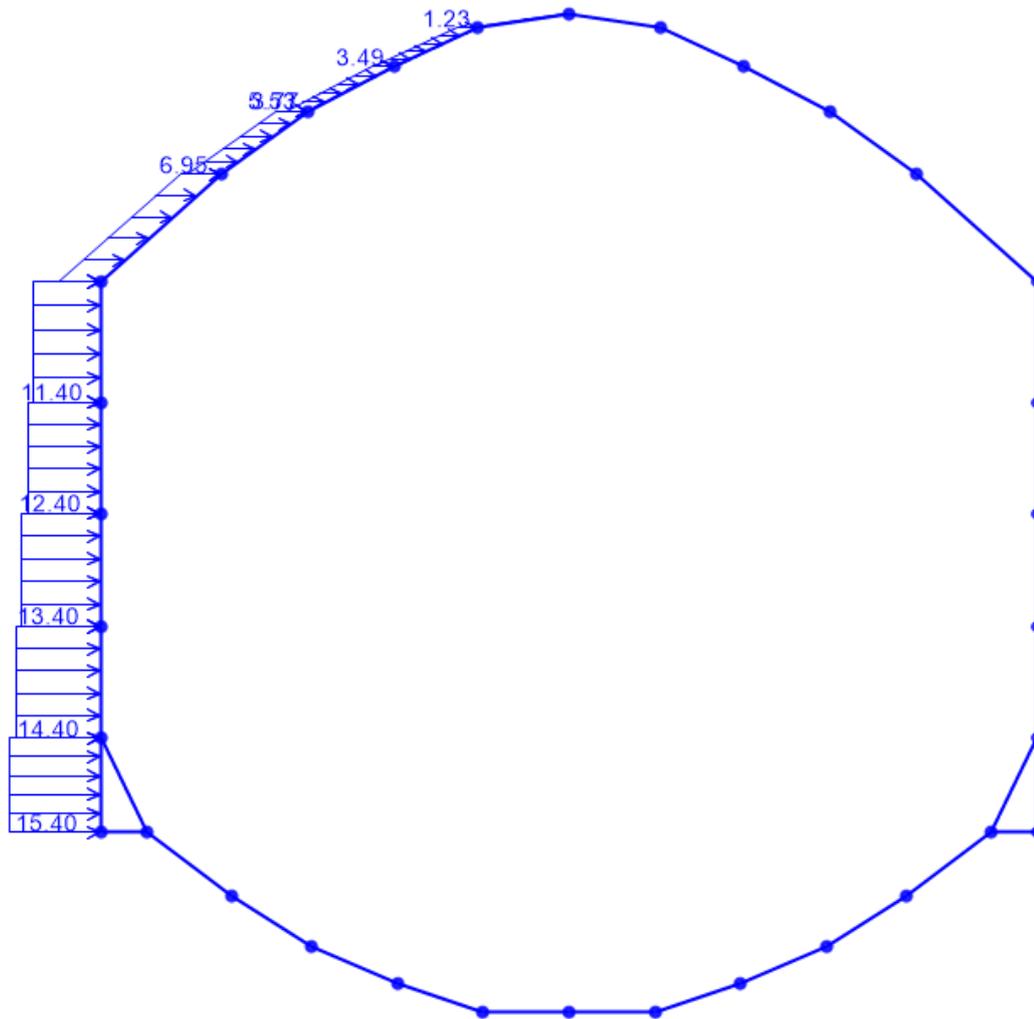


Figura 71 – Carico applicato: spinta laterale del terreno – lato sinistro

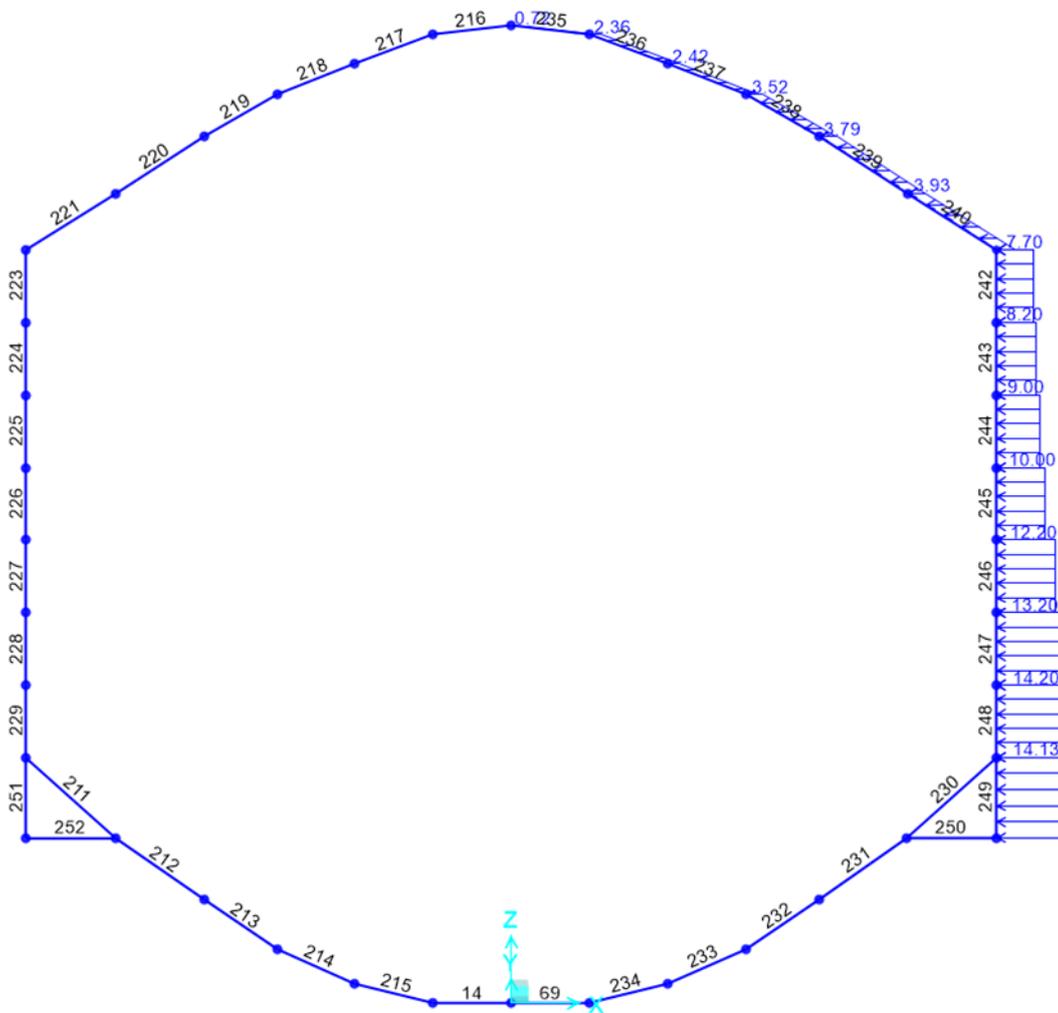


Figura 72 – Carico applicato: spinta laterale del terreno – lato destro

Azioni variabili: carico variabile Q_1 pari a 20 kN/m^2 (legato ai mezzi di cantiere). Sul modello è stato distinto in due parti (dx e sx) per tenere conto dei moltiplicatori di carico applicati con differente magnitudo nelle varie combinazioni di carico:

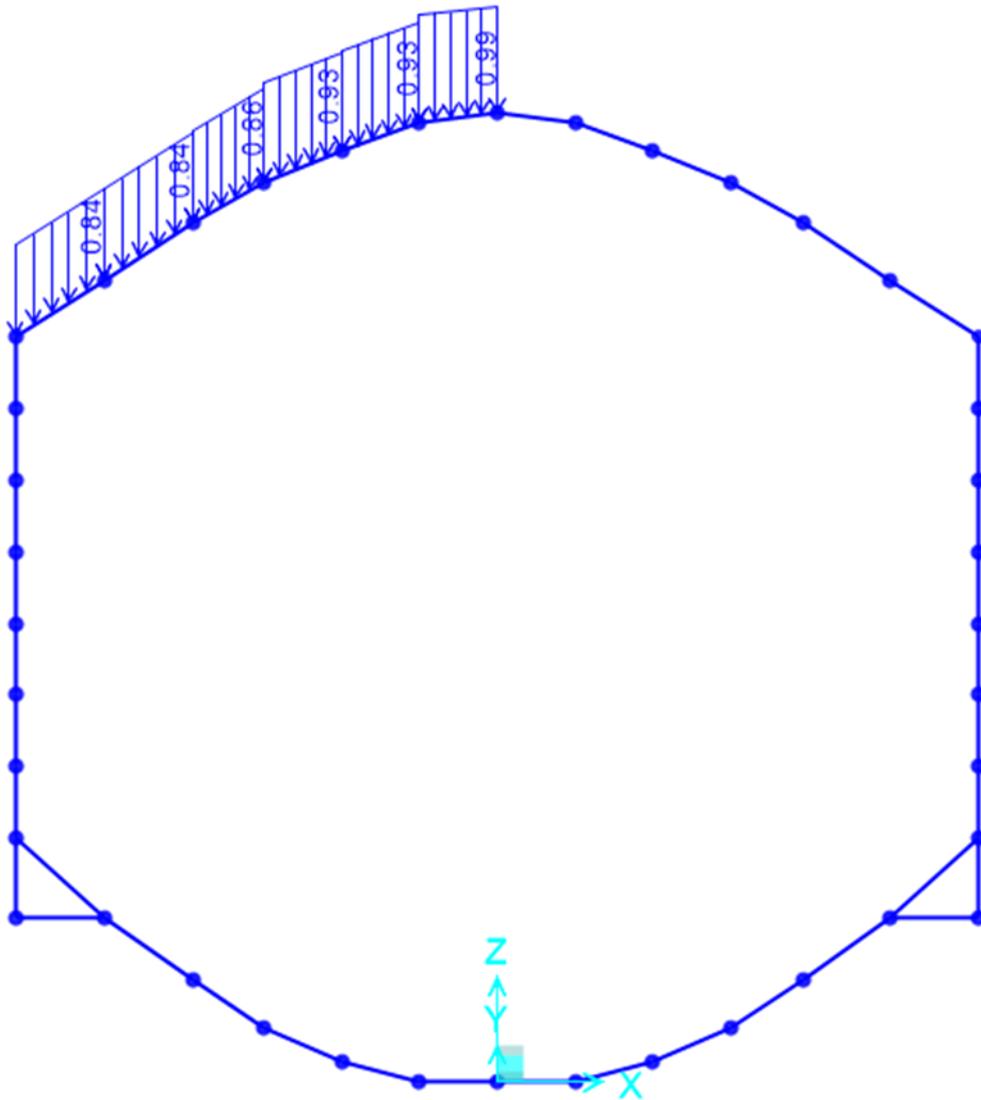


Figura 73 – Carico applicato: carico variabile in copertura – lato sinistro

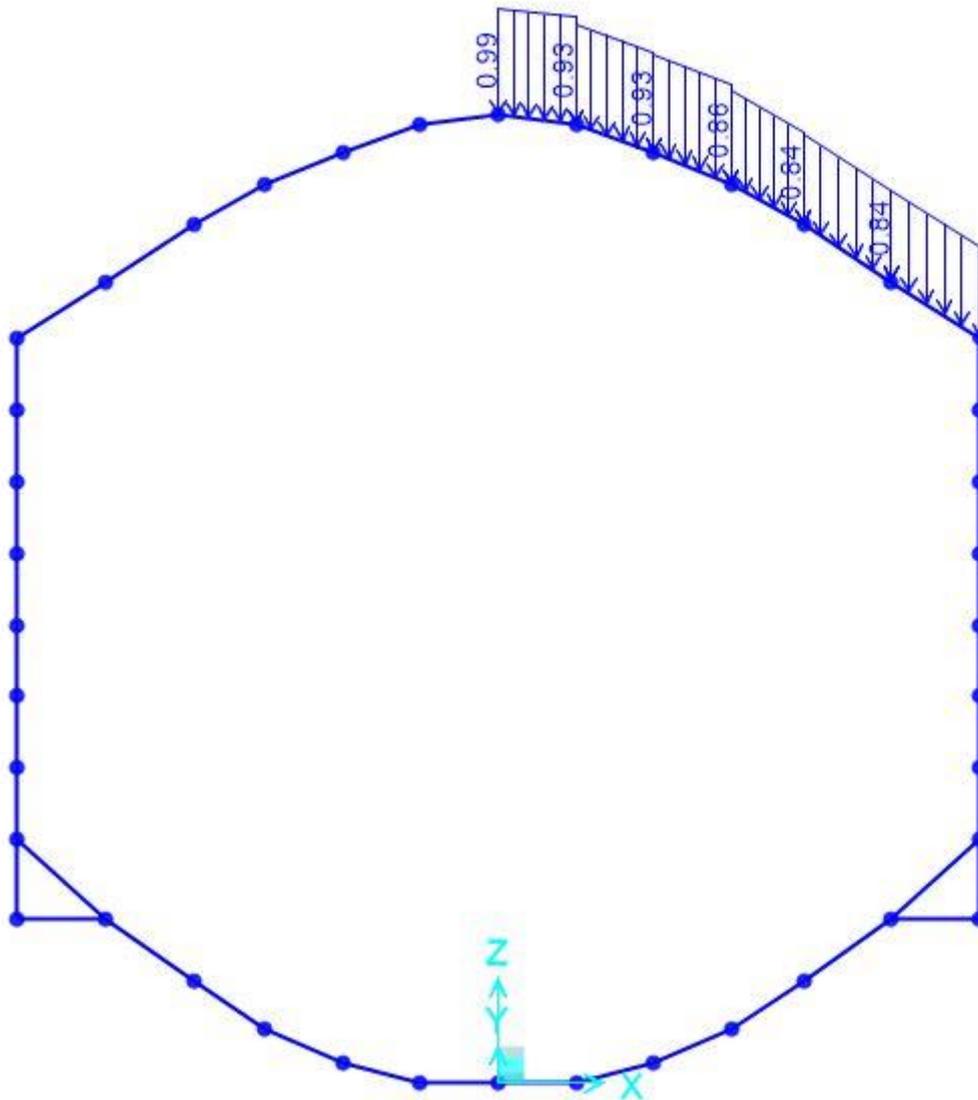


Figura 74 – Carico applicato: carico variabile in copertura – lato sinistro

SQ.sx Sovraccarico laterale lato sinistro generato da carico variabile in copertura = $20 \text{ kN/m} \cdot x$
 $k_0 = 8,2 \text{ kN/m}$

SQ.dx Sovraccarico laterale lato destro generato da carico variabile in copertura = $20 \text{ kN/m} \cdot x$ $k_0 = 12 \text{ kN/m}$

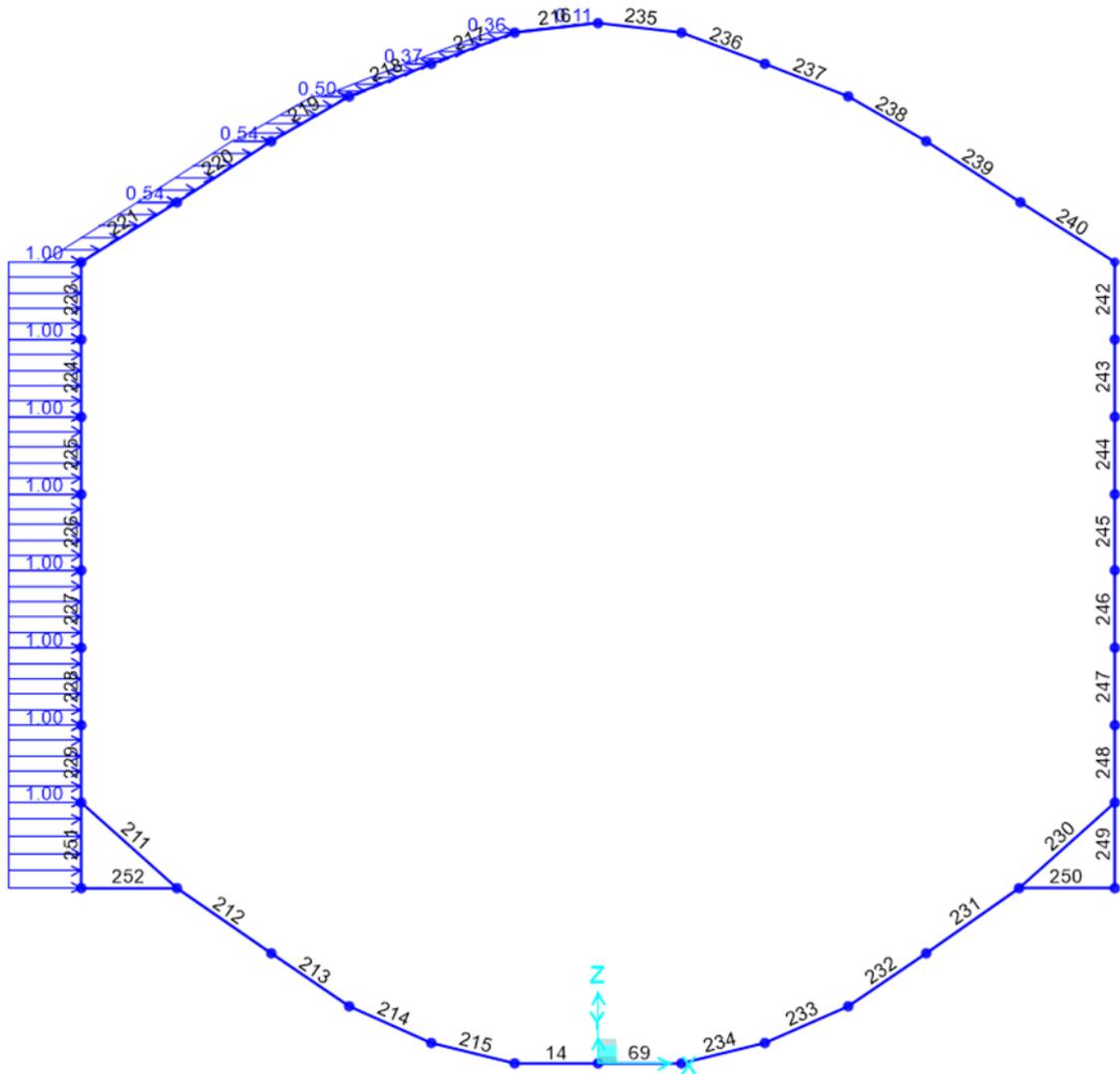


Figura 75 – Carico applicato: incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura – lato sinistro

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

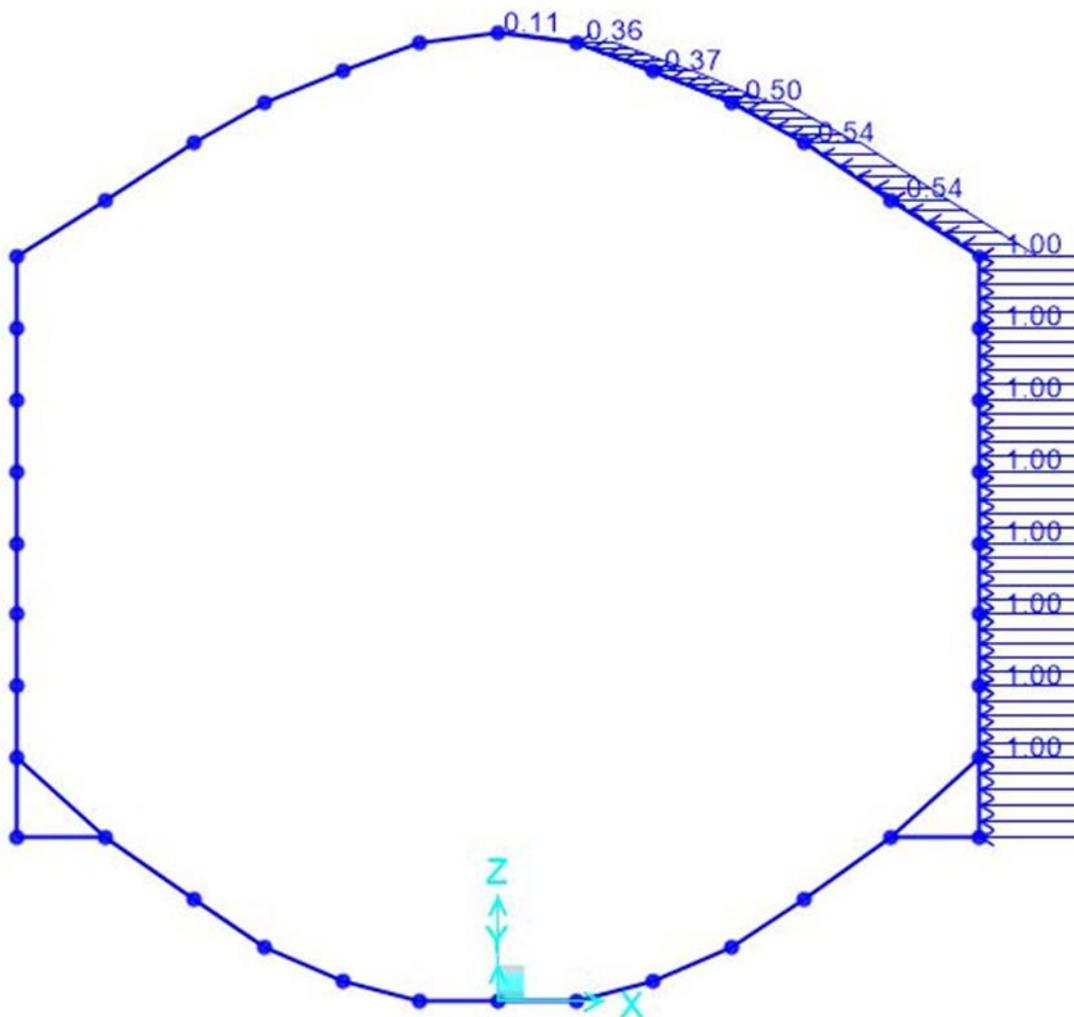


Figura 76 – Carico applicato: incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura – lato destro

Azione sismica: l’accelerazione orizzontale massima attesa al suolo è definita nel paragrafo. In presenza di sisma è necessario considerare gli effetti inerziali indotti da entrambe le componenti del moto sismico sui carichi. I carichi considerati sono:

Incremento di spinta del terreno sui fianchi della galleria ($\pm \Delta S_H$); l’incremento di spinta può valutarsi secondo la teoria di Wood, per cui la risultante dell’azione sismica orizzontale può calcolarsi secondo:

$$\Delta S_H = \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$\Delta S_{HSX} = 0.162 * 20 \text{ kN/m}^3 * 19^2 \text{ m} / 12 \text{ m} = 97,5 \text{ kN/m/m}$$

$$\Delta S_{HDx} = 0.179 * 20 \text{ kN/m}^3 * 17^2 \text{ m} / 12 \text{ m} = 78 \text{ kN/m/m}$$

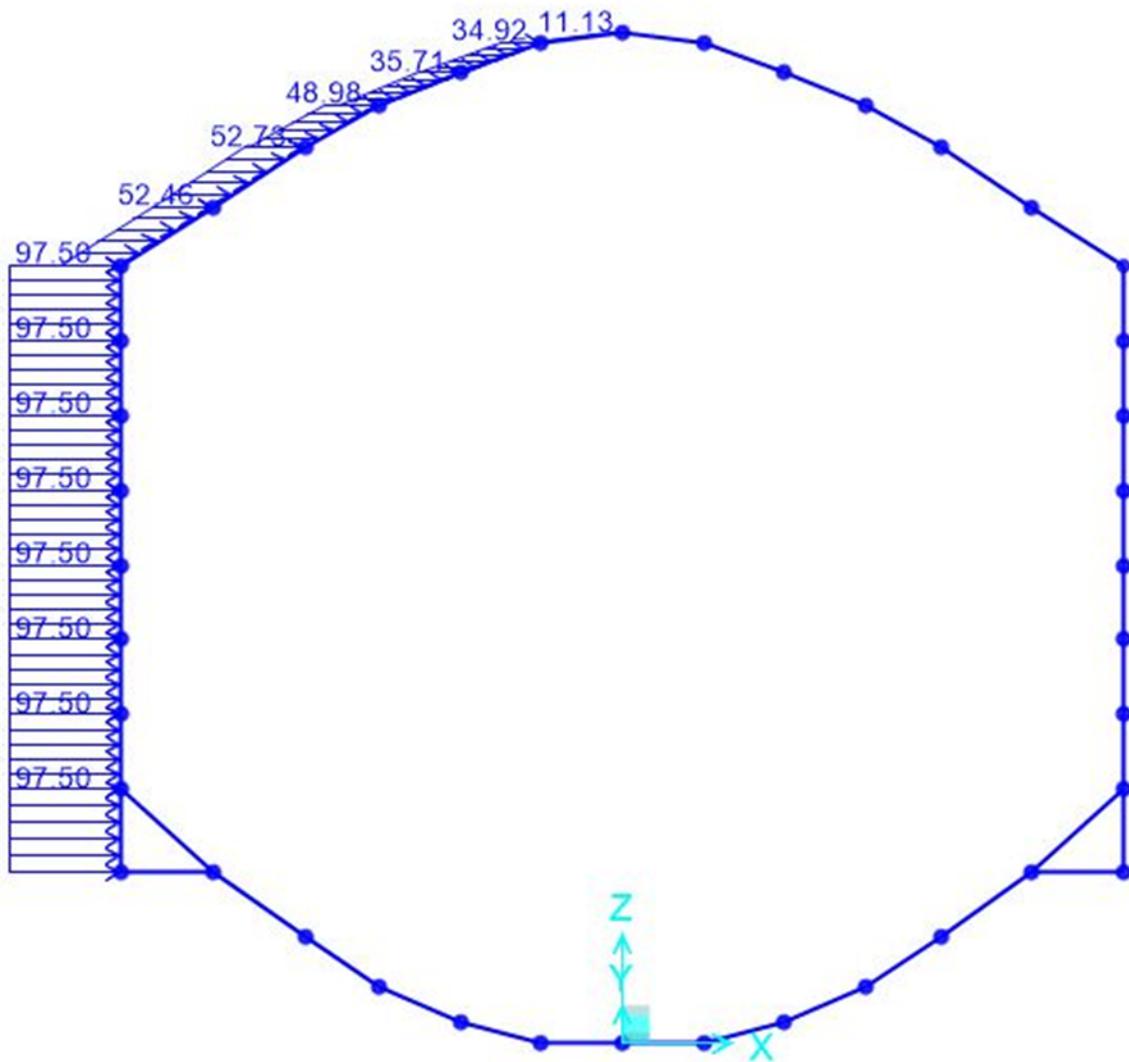


Figura 77 – Carico applicato: incremento spinta sismica orizzontale – lato sinistro

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

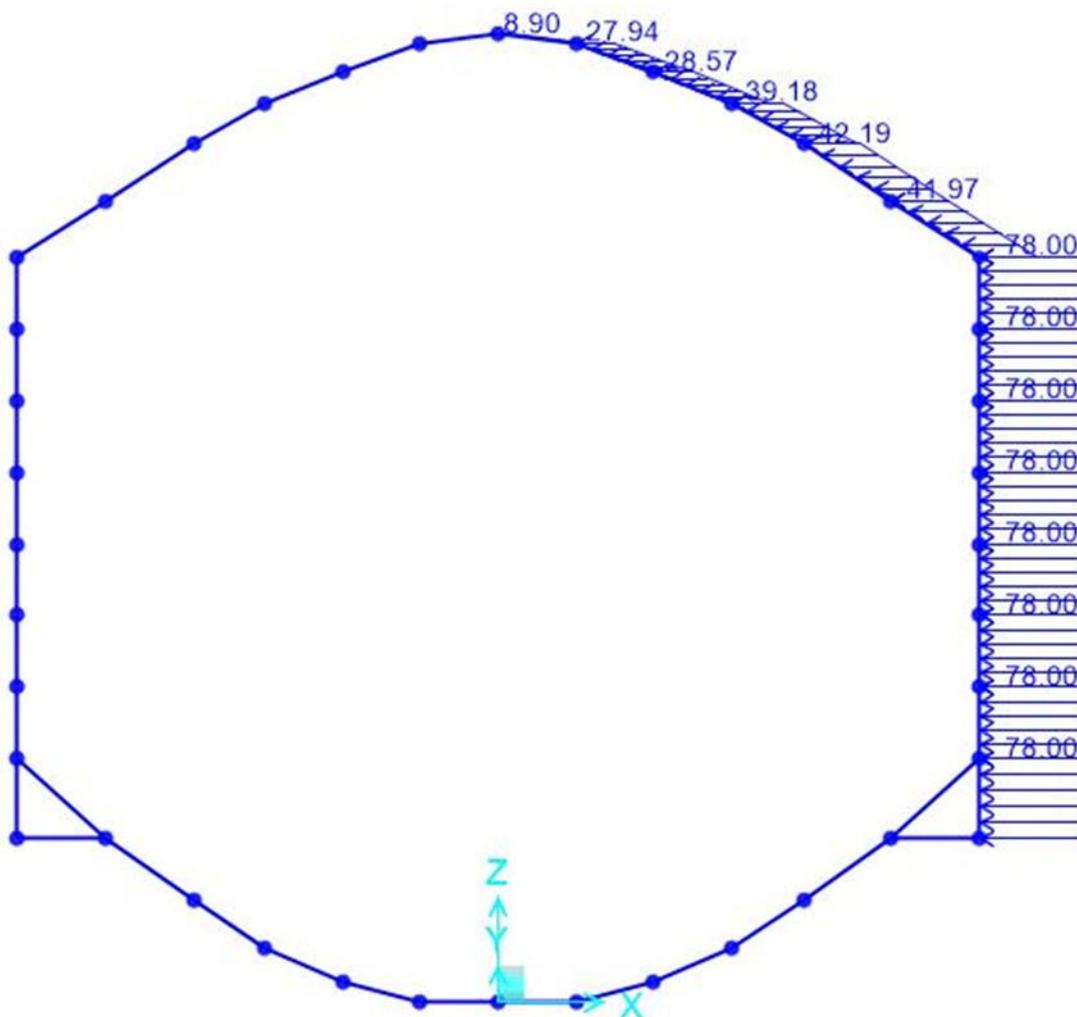


Figura 78 – Carico applicato: spinta sismica orizzontale – lato destro

Variatione del peso del terreno di ritombamento ($\pm \Delta S_v$); l'incremento di spinta può valutarsi secondo la teoria di Wood, per cui la risultante dell'azione sismica verticale può calcolarsi secondo:

$$\Delta S_v = 0.5 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \gamma \cdot A$$

In cui A rappresenta l'altezza del carico di coprimento (variabile in questo caso) al di sopra della calotta. La spinta viene applicata sulla calotta, uniformemente distribuita sulla larghezza dell'opera; a tale scopo sul modello sono state inserite le altezze medie di carico verticale, mentre

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

nelle combo è stato inserito il moltiplicatore comune, pertanto il carico sismico verticale assunto è pari a:

$$\Delta S_v = 0.5 * 0.162 * 20 \text{ kN/m}^3 * z$$

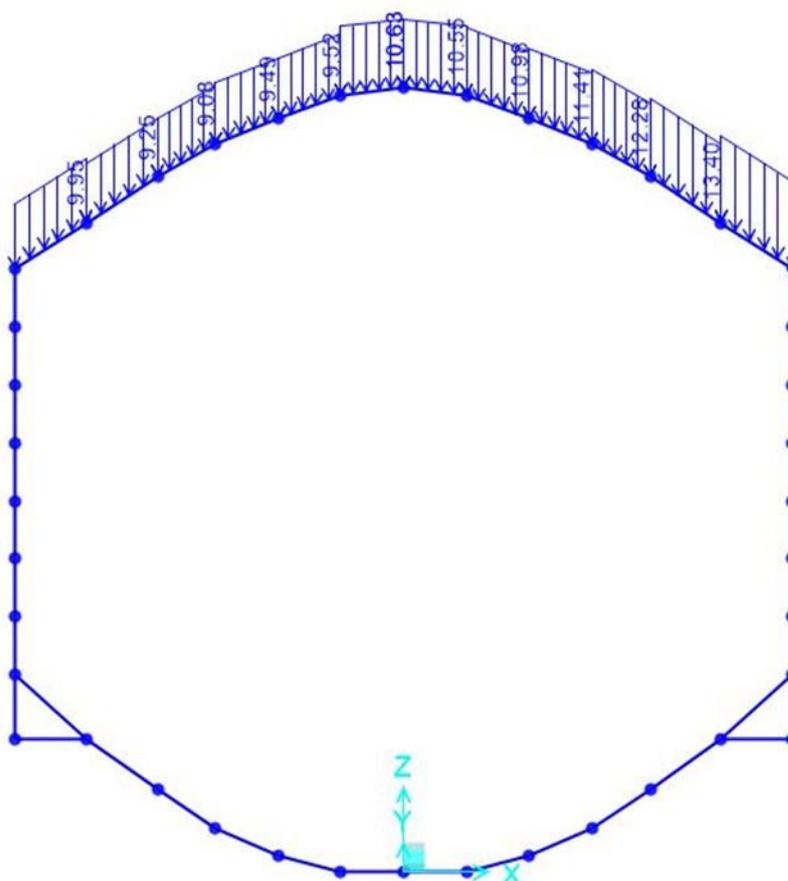


Figura 79 – Carico applicato: spinta sismica verticale

I parametri di input scelti per questo caso si associano ad una tipologia di terreno “TRV” per cui abbiamo:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

SALSO					
Parametri di calcolo					
Tipo Terreno	γ	c'	ϕ'	E'	ν
[-]	[kN/m3]	[kN/m2]	[°]	[MPa]	[-]
Ricoprimento	20	0	30	30	0.3
Terreno alla base	21	15	22	83	0.3
Rigidezza molle per elementi curvi (Formula di Galerkin)					
$K_n = \frac{E}{(1+\nu) \times R}$	Elemento	R	K		
	[-]	[m]	[kN/m3]		
	AR	4.2	30403		
	Calotta	5	4615		
Rigidezza molle per elementi Lineari (Formula Di Boussinesq)					
$k_n = \frac{E}{B \cdot (1-\nu^2)}$	Elemento	B	K		
	[-]	[m]	[kN/m3]		
	Sommità piedritto	5.7	5784		
	Base piedritto	2	91209		

11.2.1 Risultati e verifiche strutturali

Nel presente paragrafo sono analizzati e commentati i risultati ottenuti dall'analisi numerica condotta, in termini di verifiche SLU, SLV e SLE. Le figure e tabelle seguenti mostrano le combinazioni più gravose per ciascun elemento strutturale: il riquadro verde indico l'elemento strutturale considerato, il cerchio rosso la sezione più sollecitata.

SEZIONE 1-2 : CONCIO D'ATTACCO

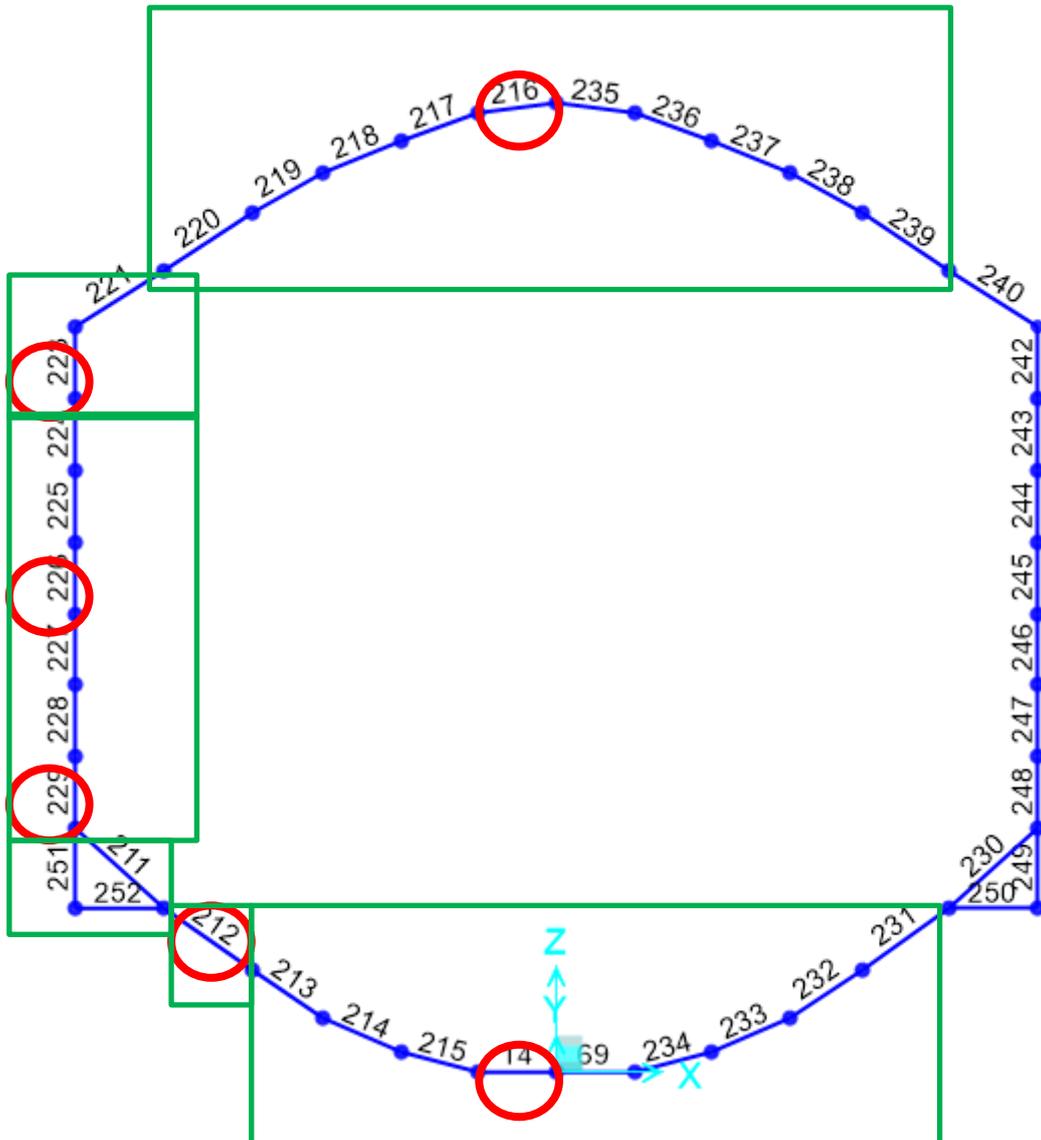


Figura 80 – Sezione 1 – Concio d'attacco – imbocco lato East

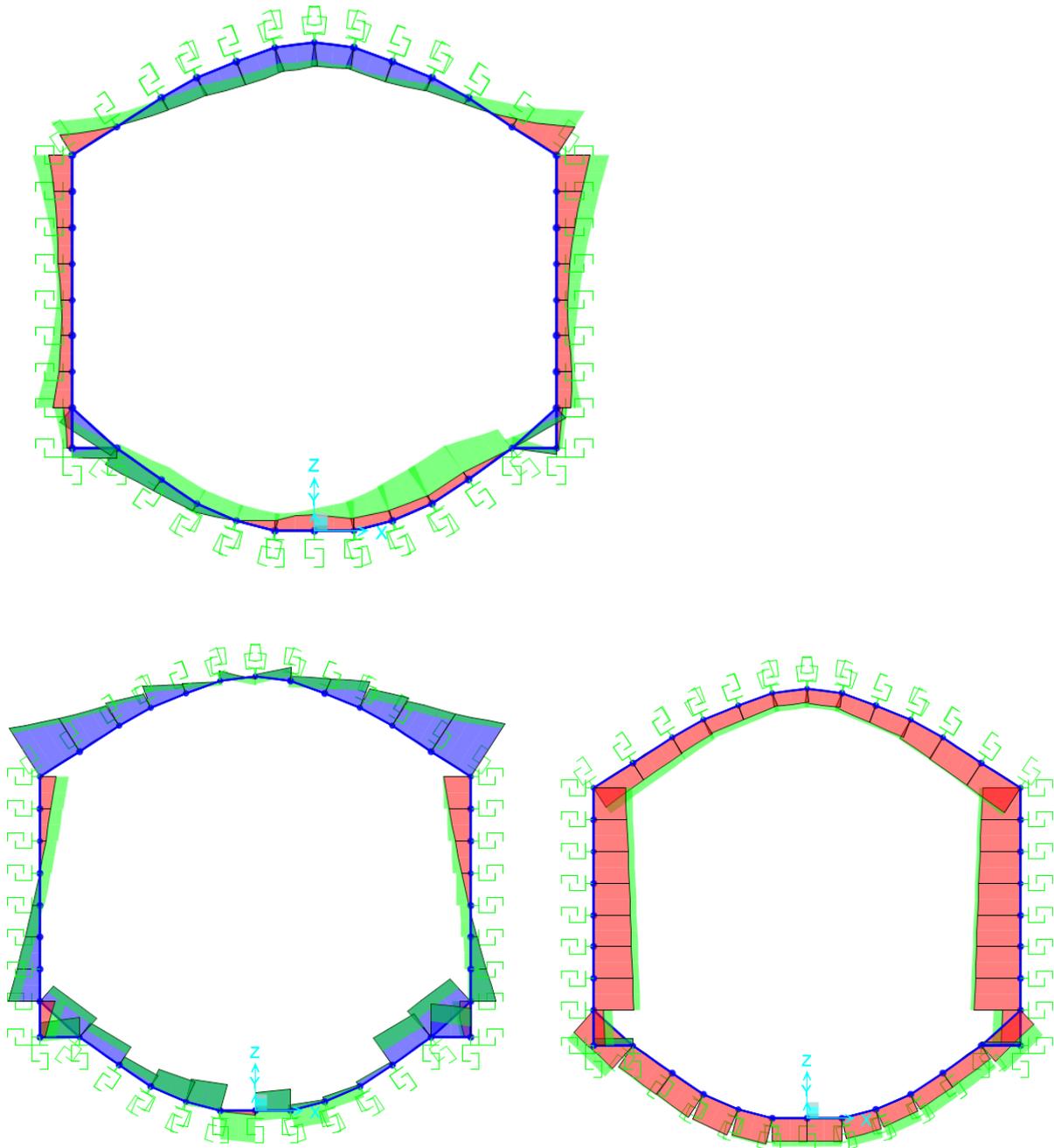


Figura 81 – Da sinistra involuppo del momento, del taglio e dello sforzo normale SLE



DIRETRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA
TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI

GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA
E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	136 di 329

Fram.T	Stazio	OutputCa	CaseType	StepTy	P	V2	V3	T	M2	M3
216	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-766.552	-458.089	-2.274E-13	3.553E-14	-4.547E-13	-648.4143
216	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-766.552	-439.051	-2.274E-13	3.553E-14	-3.558E-13	-453.1573
216	0.8763	SLE-QP	NonStatic	Max	-766.552	-420.012	-2.274E-13	3.553E-14	-2.568E-13	-266.1874
216	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-766.552	-458.089	-2.274E-13	3.553E-14	-4.547E-13	-648.4143
216	0.43815	SLE-QP	NonStatic	Min	-766.552	-439.051	-2.274E-13	3.553E-14	-3.558E-13	-453.1573
216	0.8763	SLE-QP	NonStatic	Min	-766.552	-420.012	-2.274E-13	3.553E-14	-2.568E-13	-266.1874
216	0	SLE-C	NonStatic	Max	-950.957	-118.975	0	-7.816E-14	-2.274E-13	-528.6713
216	0.43815	SLE-C	NonStatic	Max	-950.957	-99.936	0	-7.816E-14	-2.274E-13	-481.0266
216	0	SLE-C	NonStatic	Min	-950.957	-80.898	0	-7.816E-14	-2.274E-13	-441.669
216	0	SLE-C	NonStatic	Min	-950.957	-118.975	0	-7.816E-14	-2.274E-13	-528.6713
216	0.43815	SLE-C	NonStatic	Min	-950.957	-99.936	0	-7.816E-14	-2.274E-13	-481.0266
216	0.8763	SLE-C	NonStatic	Min	-950.957	-80.898	0	-7.816E-14	-2.274E-13	-441.669
216	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-791.487	-94.865	2.274E-13	4.974E-14	0	-453.503
216	0.43815	INV_SLE-F	Combination	Max	-791.487	-75.827	2.274E-13	4.974E-14	0	-409.1013
216	0.8763	INV_SLE-F	Combination	Max	-791.487	-56.788	2.274E-13	4.974E-14	0	-210.2863
216	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-911.346	-485.301	0	-9.948E-14	-3.411E-13	-616.2034
216	0.43815	INV_SLE-F	Combination	Min	-911.346	-466.263	0	-9.948E-14	-3.411E-13	-512.3545
216	0.8763	INV_SLE-F	Combination	Min	-911.346	-447.224	0	-9.948E-14	-3.411E-13	-473.8508
221	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-885.294	75.159	-1.137E-13	1.637E-13	-1.137E-13	542.9962
221	0.39277	SLE-QP	NonStatic	Max	-885.294	89.435	-1.137E-13	1.637E-13	-6.833E-14	510.1645
221	0.78554	SLE-QP	NonStatic	Max	-905.358	103.712	-1.137E-13	1.637E-13	-2.298E-14	471.6374
221	1.17832	SLE-QP	NonStatic	Max	-915.389	117.988	-1.137E-13	1.637E-13	2.238E-14	427.4148
221	0	SLE-C	NonStatic	Max	-885.294	75.159	-1.137E-13	1.637E-13	-1.137E-13	542.9962
221	0.39277	SLE-C	NonStatic	Max	-885.294	89.435	-1.137E-13	1.637E-13	-6.833E-14	510.1645
221	0.78554	SLE-C	NonStatic	Max	-905.358	103.712	-1.137E-13	1.637E-13	-2.298E-14	471.6374
221	1.17832	SLE-C	NonStatic	Max	-915.389	117.988	-1.137E-13	1.637E-13	2.238E-14	427.4148
221	0	SLE-C	NonStatic	Min	-898.582	175.263	0	-4.263E-14	2.274E-13	-128.7785
221	0.39277	SLE-C	NonStatic	Min	-908.613	189.54	0	-4.263E-14	2.274E-13	-201.546
221	0.78554	SLE-C	NonStatic	Min	-918.645	203.816	0	-4.263E-14	2.274E-13	-280.0089
221	1.17832	SLE-C	NonStatic	Min	-928.677	218.093	0	-4.263E-14	2.274E-13	-364.1673
221	0	SLE-C	NonStatic	Min	-898.582	175.263	0	-4.263E-14	2.274E-13	-128.7785
221	0.39277	SLE-C	NonStatic	Min	-908.613	189.54	0	-4.263E-14	2.274E-13	-201.546
221	0.78554	SLE-C	NonStatic	Min	-918.645	203.816	0	-4.263E-14	2.274E-13	-280.0089
221	1.17832	SLE-C	NonStatic	Min	-928.677	218.093	0	-4.263E-14	2.274E-13	-364.1673
221	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-845.03	184.561	1.137E-13	1.847E-13	5.684E-13	597.9246
221	0.39277	INV_SLE-F	Combination	Max	-855.062	198.837	1.137E-13	1.847E-13	5.684E-13	572.5666
221	0.78554	INV_SLE-F	Combination	Max	-865.093	213.114	1.137E-13	1.847E-13	5.684E-13	541.5131
221	1.17832	INV_SLE-F	Combination	Max	-875.125	227.39	1.137E-13	1.847E-13	5.684E-13	504.7642
221	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-910.389	56.425	-2.274E-13	-8.527E-14	-1.137E-13	660.1759
221	0.39277	INV_SLE-F	Combination	Min	-929.421	70.702	-2.274E-13	-8.527E-14	-1.59E-13	-224.0179
221	0.78554	INV_SLE-F	Combination	Min	-939.452	84.978	-2.274E-13	-8.527E-14	-2.044E-13	-293.5553
221	1.17832	INV_SLE-F	Combination	Min	-949.484	99.255	-2.274E-13	-8.527E-14	-2.497E-13	-374.3145
226	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-508.617	-197.034	-7.105E-15	0	-8.527E-14	629.5378
226	0.4062	SLE-QP	NonStatic	Max	-514.637	-107.384	-7.105E-15	0	-8.527E-14	696.2283
226	0.81239	SLE-QP	NonStatic	Max	-520.657	-17.734	-7.105E-15	0	-7.904E-14	723.6827
226	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-508.617	-197.034	-7.105E-15	0	-8.527E-14	629.5378
226	0.4062	SLE-QP	NonStatic	Min	-514.637	-107.384	-7.105E-15	0	-8.527E-14	696.2283
226	0.81239	SLE-QP	NonStatic	Min	-520.657	-17.734	-7.105E-15	0	-7.904E-14	723.6827
226	0	SLE-C	NonStatic	Max	-748.022	85.747	-1.137E-13	-4.974E-14	1.436E-14	522.8267
226	0.4062	SLE-C	NonStatic	Max	-734.989	-110.965	-1.137E-13	-4.974E-14	-8.527E-14	511.7776
226	0.81239	SLE-C	NonStatic	Max	-741.505	-12.609	-1.137E-13	-4.974E-14	-3.545E-14	538.8495
226	0	SLE-C	NonStatic	Min	-748.022	85.747	-1.137E-13	-4.974E-14	1.436E-14	522.8267
226	0.4062	SLE-C	NonStatic	Min	-734.989	-110.965	-1.137E-13	-4.974E-14	-8.527E-14	511.7776
226	0.81239	SLE-C	NonStatic	Min	-741.505	-12.609	-1.137E-13	-4.974E-14	-3.545E-14	538.8495
226	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-535.656	-97.265	0	7.105E-15	2.840E-14	592.7911
226	0.4062	INV_SLE-F	Combination	Max	-542.278	-7.615	0	7.105E-15	7.823E-14	665.0372
226	0.81239	INV_SLE-F	Combination	Max	-547.901	88.199	0	7.105E-15	1.28E-13	697.9831
226	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-690.924	-209.737	-1.137E-13	-3.908E-14	-1.137E-13	434.2827
226	0.4062	INV_SLE-F	Combination	Min	-696.944	-120.041	-1.137E-13	-3.908E-14	-1.137E-13	457.2635
226	0.81239	INV_SLE-F	Combination	Min	-702.963	-30.345	-1.137E-13	-3.908E-14	-1.137E-13	440.9588
229	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-719.36	474.696	0	-4.263E-14	1.137E-13	89.0665
229	0.4055	SLE-QP	NonStatic	Max	-748.259	558.853	8.177E-16	-4.263E-14	1.135E-13	-113.9082
229	0.81101	SLE-QP	NonStatic	Max	-777.158	643.01	1.635E-15	-4.263E-14	1.13E-13	-349.9375
229	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-806.057	727.167	2.453E-15	-4.263E-14	1.122E-13	-619.0213
229	0.4055	SLE-C	NonStatic	Max	-719.36	474.696	0	-4.263E-14	1.137E-13	89.0665
229	0.81101	SLE-C	NonStatic	Max	-748.259	558.853	8.177E-16	-4.263E-14	1.135E-13	-113.9082
229	0	SLE-C	NonStatic	Min	-777.158	643.01	1.635E-15	-4.263E-14	1.13E-13	-349.9375
229	0.4055	SLE-C	NonStatic	Min	-806.057	727.167	2.453E-15	-4.263E-14	1.122E-13	-619.0213
229	0.81101	SLE-C	NonStatic	Min	-992.111	537.188	4.547E-13	-7.105E-14	2.274E-13	-326.6175
229	0	SLE-C	NonStatic	Max	-1022.792	628.064	4.556E-13	-7.105E-14	4.858E-14	-555.4569
229	0.4055	SLE-C	NonStatic	Max	-1052.472	718.939	4.565E-13	-7.105E-14	1.300E-13	-819.9897
229	0.81101	SLE-C	NonStatic	Max	-1084.152	809.815	4.574E-13	-7.105E-14	-3.101E-13	-1120.2158
229	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-992.111	537.188	4.547E-13	-7.105E-14	2.274E-13	-326.6175
229	0.4055	INV_SLE-F	Combination	Max	-1022.792	628.064	4.556E-13	-7.105E-14	4.858E-14	-555.4569
229	0.81101	INV_SLE-F	Combination	Max	-1052.472	718.939	4.565E-13	-7.105E-14	1.300E-13	-819.9897
229	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-1084.152	809.815	4.574E-13	-7.105E-14	-3.101E-13	-1120.2158
229	0.4055	INV_SLE-F	Combination	Min	-1226.311	540.628	2.274E-13	-2.842E-14	0	134.7946
229	0.81101	INV_SLE-F	Combination	Min	-1255.785	629.25	2.282E-13	-2.842E-14	-1.736E-16	-62.2267
212	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-781.259	717.872	2.29E-13	-2.842E-14	-6.943E-16	-292.6599
212	0.39894	SLE-QP	NonStatic	Max	-808.733	806.494	2.298E-13	-2.842E-14	-1.562E-15	-556.505
212	0.79788	SLE-QP	NonStatic	Max	-953.951	459.084	0	-7.816E-14	0	-322.9041
212	1.19682	SLE-QP	NonStatic	Max	-985.7	544.15	8.838E-16	-7.816E-14	-8.947E-14	-562.6478
212	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-1017.449	629.217	1.768E-15	-7.816E-14	-1.793E-13	-827.2038
212	0.39894	SLE-QP	NonStatic	Min	-1049.199	714.284	2.651E-15	-7.816E-14	-2.694E-13	-1126.5681
212	0.79788	SLE-QP	NonStatic	Min	-1156.275	-12.853	-5.684E-14	-2.842E-14	7.105E-14	-238.3384
212	1.19682	SLE-QP	NonStatic	Min	-1172.518	41.983	-5.112E-14	-2.842E-14	9.298E-14	-244.2547
212	0	SLE-C	NonStatic	Max	-1188.761	96.82	-4.54E-14	-2.842E-14	1.126E-13	-272.4454
212	0.39894	SLE-C	NonStatic	Max	-1172.518	96.82	-4.54E-14	-2.842E-14	1.126E-13	-272.4454
212	0.79788	SLE-C	NonStatic	Max	-1156.275	-12.853	-5.684E-14	-2.842E-14	7.105E-14	-238.3384
212	1.19682	SLE-C	NonStatic	Max	-1172.518	41.983	-5.112E-14	-2.842E-14	9.298E-14	-244.2547
212	0	SLE-C	NonStatic	Min	-1188.761	96.82	-4.54E-14	-2.842E-14	1.126E-13	-272.4454
212	0.39894	SLE-C	NonStatic	Min	-1172.518	96.82	-4.54E-14	-2.842E-14	1.126E-13	-272.4454
212	0.79788	SLE-C	NonStatic	Min	-1156.275	-12.853	-5.684E-14	-2.842E-14	7.105E-14	-238.3384
212	1.19682	SLE-C	NonStatic	Min	-1172.518	41.983	-5.112E-14	-2.842E-14	9.298E-14	-244.2547
212	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-1391.814	-111.344	9.157E-13	1.705E-13	-3.707E-13	-257.1013
212	0.39894	INV_SLE-F	Combination	Max	-1408.057	-52.446	9.219E-13	1.705E-13	-7.439E-13	-223.8358
212	0.79788	INV_SLE-F	Combination	Max	-1446.855	-2.542	4.547E-13	1.421E-13	2.274E-13	-177.1908
212	1.19682	INV_SLE-F	Combination	Max	-1463.098	55.544	4.605E-13	1.421E-13	1.420E-13	-187.9553
212	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-1179.341	113.63	4.662E-13	1.421E-13	5.068E-13	-168.2543
212	0.39894	INV_SLE-F	Combination	Min	-1353.964	-165.679	-9.055E-13	-2.132E-14	-2.274E-13	-359.6865
212	0.79788	INV_SLE-F	Combination	Min	-1370.207	-110.842	-			

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
	<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40</p>	<p>CODIFICA D 07 CL</p>	<p>DOCUMENTO GA 00 00 003</p>	<p>REV. B</p>

Figura 82 – Combinazioni di carico da SAP2000 – SLE

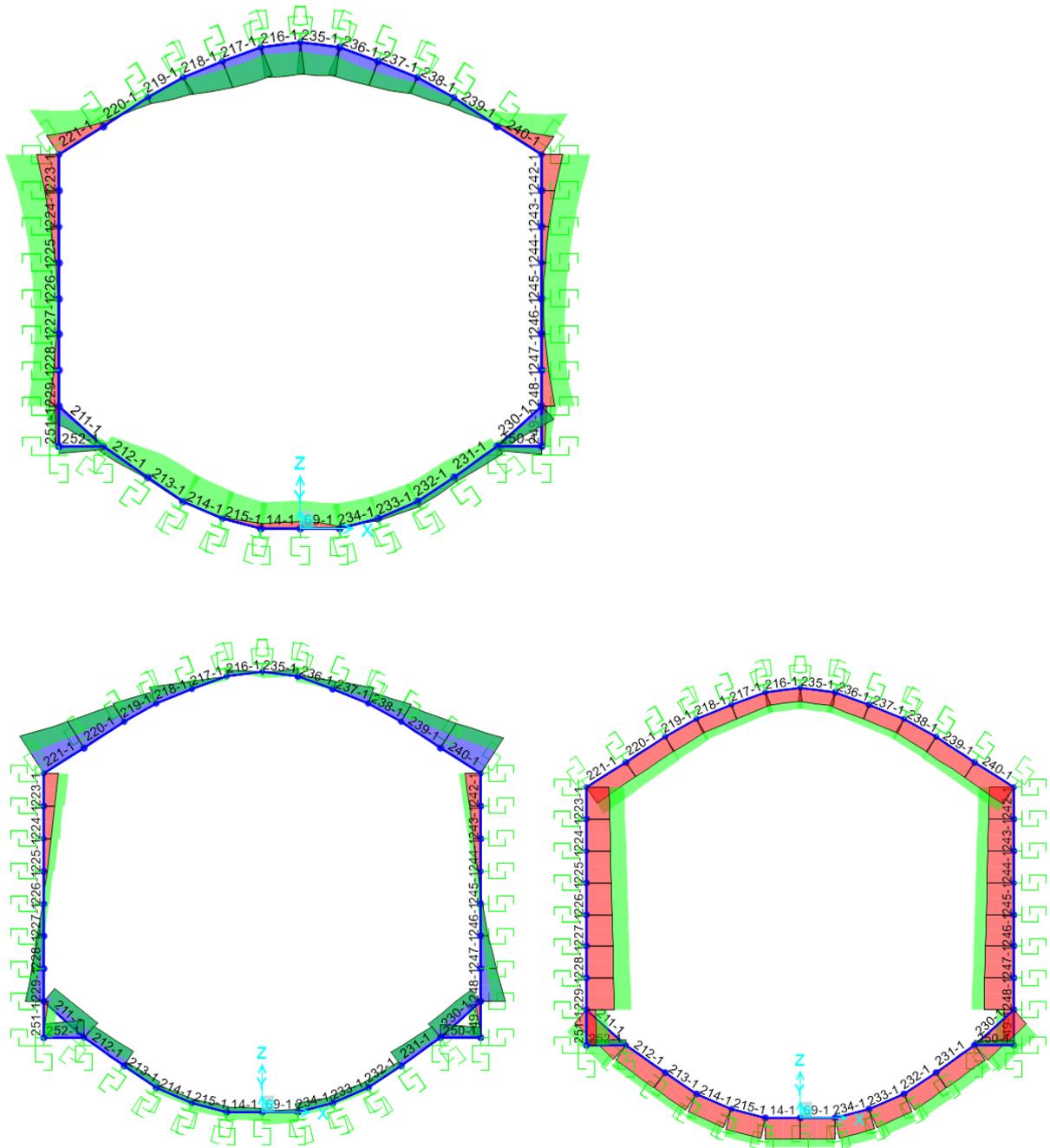


Figura 83 – Da sinistra: involucro del momento, del taglio e dello sforzo normale – SLU

TABLE: Element Forces - Frames										
Frame	Statio	OutputCa	CaseType	StepTy	P	V2	V3	T	M2	M3
216	0	INV_SLU	Combination	Max	-1027.11	36.957	4.547E-13	-2.842E-14	4.547E-13	-159.3932
216	0.43815	INV_SLU	Combination	Max	-1027.11	55.995	4.547E-13	-2.842E-14	2.568E-13	-104.8857
216	0.8763	INV_SLU	Combination	Max	-1027.11	75.033	4.547E-13	-2.842E-14	3.959E-13	12.0339
216	0	INV_SLU	Combination	Min	-1416.035	-297.16	-4.547E-13	-1.421E-13	-2.274E-13	-998.0984
216	0.43815	INV_SLU	Combination	Min	-1416.035	-278.122	-4.547E-13	-1.421E-13	-2.274E-13	-941.1821
216	0.8763	INV_SLU	Combination	Min	-1416.035	-259.084	-4.547E-13	-1.421E-13	-2.274E-13	-895.039
221	0	INV_SLU	Combination	Max	-899.711	336.998	9.095E-13	4.263E-14	9.095E-13	220.5439
221	0.39277	INV_SLU	Combination	Max	-909.743	355.557	9.095E-13	4.263E-14	9.095E-13	215.7806
221	0.78554	INV_SLU	Combination	Max	-919.774	374.117	9.095E-13	4.263E-14	9.095E-13	205.3219
221	1.17832	INV_SLU	Combination	Max	-929.806	392.676	9.095E-13	4.263E-14	9.99E-13	189.1677
221	0	INV_SLU	Combination	Min	-1252.892	4.802	-4.547E-13	-1.705E-13	0	-484.0121
221	0.39277	INV_SLU	Combination	Min	-1265.933	19.078	-4.547E-13	-1.705E-13	0	-585.5764
221	0.78554	INV_SLU	Combination	Min	-1278.975	33.354	-4.547E-13	-1.705E-13	0	-726.7083
221	1.17832	INV_SLU	Combination	Min	-1292.016	47.631	-4.547E-13	-1.705E-13	-1.79E-13	-875.2443
226	0	INV_SLU	Combination	Max	-722.141	-66.276	0	-2.487E-14	5.684E-14	980.9325
226	0.4062	INV_SLU	Combination	Max	-734.213	23.374	0	-2.487E-14	1.992E-13	1033.7266
226	0.81239	INV_SLU	Combination	Max	-746.286	129.069	0	-2.487E-14	3.985E-13	1024.1518
226	0	INV_SLU	Combination	Min	-1123.577	-221.065	-4.547E-13	-8.527E-14	-8.527E-14	140.4679
226	0.4062	INV_SLU	Combination	Min	-1133.638	-94.483	-4.547E-13	-8.527E-14	-8.527E-14	180.1297
226	0.81239	INV_SLU	Combination	Min	-1143.699	-4.602	-4.547E-13	-8.527E-14	-8.527E-14	180.4101
229	0	INV_SLU	Combination	Max	-950.888	842.591	4.547E-13	-4.263E-14	9.095E-13	-8.0113
229	0.4055	INV_SLU	Combination	Max	-971.825	965.362	4.559E-13	-4.263E-14	7.306E-13	-177.227
229	0.81101	INV_SLU	Combination	Max	-992.761	1088.132	4.571E-13	-4.263E-14	6.324E-13	-381.4937
229	0	INV_SLU	Combination	Min	-1013.697	1210.903	4.583E-13	-4.263E-14	7.206E-13	-620.8114
229	0.4055	INV_SLU	Combination	Min	-1499.652	386.204	-2.274E-13	-1.421E-13	-9.095E-13	-619.1249
229	0.81101	INV_SLU	Combination	Min	-1545.236	475.444	-2.262E-13	-1.421E-13	-9.097E-13	-962.0818
212	0	INV_SLU	Combination	Max	-1590.821	564.684	-2.25E-13	-1.421E-13	-9.101E-13	-1353.2598
212	0.39894	INV_SLU	Combination	Max	-1636.406	653.924	-2.238E-13	-1.421E-13	-9.109E-13	-1792.6588
212	0.79788	INV_SLU	Combination	Max	-1206.261	-108.088	4.547E-13	2.274E-13	0	141.3873
212	1.19682	INV_SLU	Combination	Max	-1222.504	-30.708	4.632E-13	2.274E-13	-1.662E-15	171.7823
212	0	INV_SLU	Combination	Min	-1238.747	46.673	4.717E-13	2.274E-13	2.797E-13	198.1746
212	0.39894	INV_SLU	Combination	Min	-1950.576	-286.092	-9.095E-13	5.684E-14	-4.547E-13	-812.4557
212	0.79788	INV_SLU	Combination	Min	-1971.692	-208.712	-9.041E-13	5.684E-14	-4.132E-13	-744.4894
212	1.19682	INV_SLU	Combination	Min	-1992.808	-145.724	-8.986E-13	5.684E-14	-6.012E-13	-698.7975
14	0	INV_SLU	Combination	Max	-1303.719	403.674	1.819E-12	5.684E-14	9.095E-13	-42.7081
14	0.43529	INV_SLU	Combination	Max	-1319.934	504.645	1.838E-12	5.684E-14	9.049E-13	-156.2745
14	0.87058	INV_SLU	Combination	Max	-1336.15	605.616	1.857E-12	5.684E-14	8.912E-13	-286.1312
14	0	INV_SLU	Combination	Min	-2077.272	184.254	0	-3.126E-13	0	-780.0924
14	0.43529	INV_SLU	Combination	Min	-2098.352	257.245	1.919E-14	-3.126E-13	-3.722E-13	-870.9763
14	0.87058	INV_SLU	Combination	Min	-2119.432	330.236	3.838E-14	-3.126E-13	-8.087E-13	-991.4583

Figura 84 – Combinazioni di carico da SAP2000 – SLU

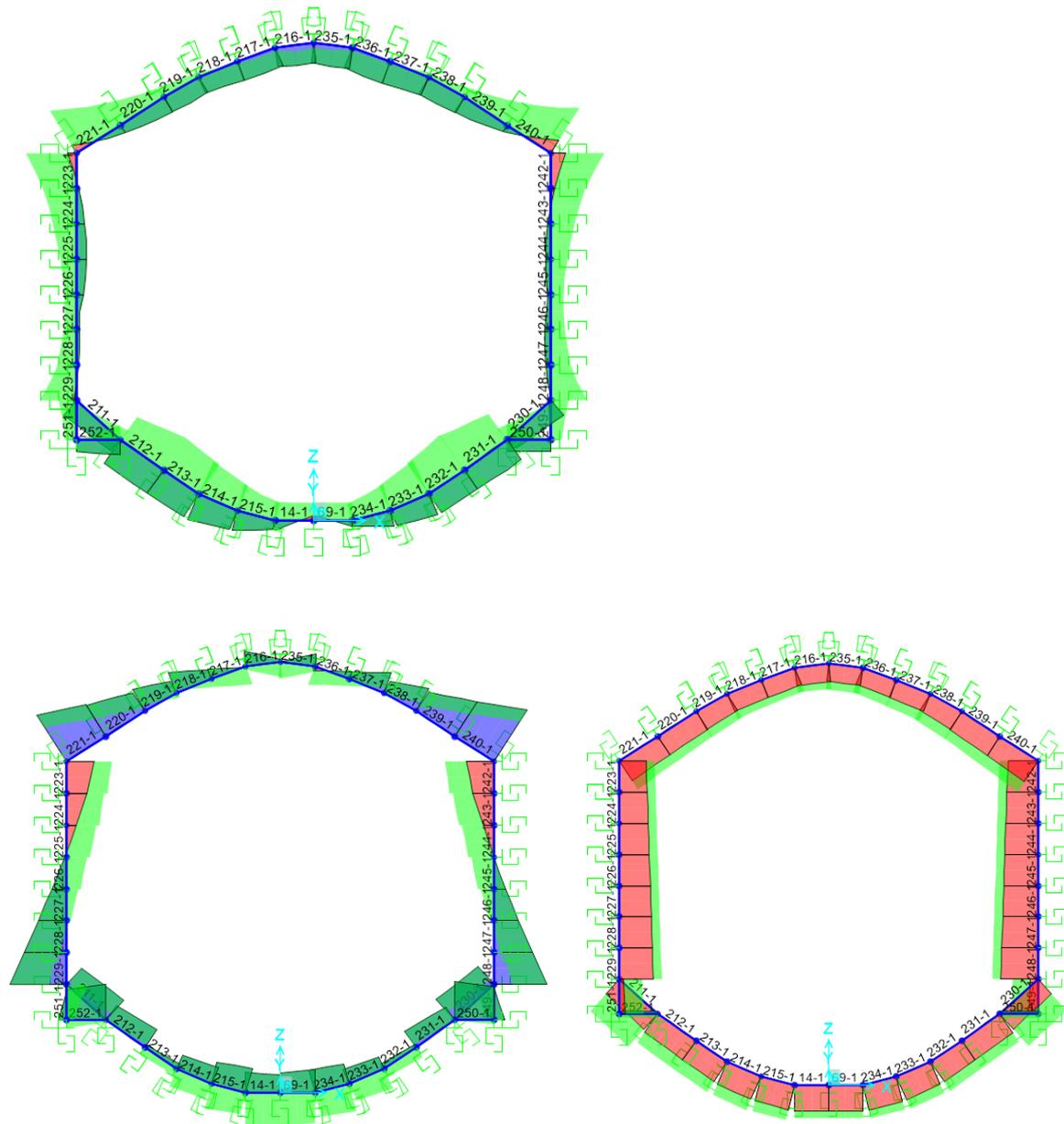


Figura 85 – Da sinistra: involuipo del momento, del taglio e dello sforzo normale - SLV

TABLE: Element Forces - Frames

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
216	0	INV-SLV	Combinat	Max	-946.667	132.035	4.55E-13	3.55E-14	4.55E-13	-51.0908
216	0.43815	INV-SLV	Combinat	Max	-946.667	151.074	4.55E-13	3.55E-14	4.55E-13	143.7905
216	0.8763	INV-SLV	Combinat	Max	-946.667	170.112	4.55E-13	3.55E-14	4.55E-13	330.3846
216	0	INV-SLV	Combinat	Min	-1207.1	-458.277	-2.3E-13	-1.1E-13	-3.4E-13	-482.151
216	0.43815	INV-SLV	Combinat	Min	-1207.1	-439.239	-2.3E-13	-1.1E-13	-3.4E-13	-460.309
216	0.8763	INV-SLV	Combinat	Min	-1207.1	-420.2	-2.3E-13	-1.1E-13	-4E-13	-446.755
221	0	INV-SLV	Combinat	Max	-851.447	175.247	0	1.53E-13	4.55E-13	581.3048
221	0.39277	INV-SLV	Combinat	Max	-861.479	189.523	0	1.53E-13	5.46E-13	613.0842
221	0.78554	INV-SLV	Combinat	Max	-871.51	203.8	0	1.53E-13	7.04E-13	639.1681
221	1.17832	INV-SLV	Combinat	Max	-881.542	218.076	0	1.53E-13	8.85E-13	659.5566
221	0	INV-SLV	Combinat	Min	-1269.52	-86.798	-4.5E-13	-1.4E-13	-2.3E-13	-642.105
221	0.39277	INV-SLV	Combinat	Min	-1279.55	-72.521	-4.5E-13	-1.4E-13	-4.6E-14	-701.507
226	0	INV-SLV	Combinat	Max	-742.71	-34.333	2.27E-13	-2.1E-14	5.68E-14	456.9648
226	0.4062	INV-SLV	Combinat	Max	-748.297	58.447	2.27E-13	-2.1E-14	1.57E-13	473.1611
226	0.81239	INV-SLV	Combinat	Max	-753.885	151.226	2.27E-13	-2.1E-14	2.85E-13	454.9317
226	0	INV-SLV	Combinat	Min	-1009.66	-272.549	-4.5E-13	-7.8E-14	-1.7E-13	4.491
226	0.4062	INV-SLV	Combinat	Min	-1011.09	-181.99	-4.5E-13	-7.8E-14	-1.7E-13	104.0692
226	0.81239	INV-SLV	Combinat	Min	-1012.53	-91.43	-4.5E-13	-7.8E-14	-2.3E-13	70.7995
229	0	INV-SLV	Combinat	Max	-908.192	522.731	9.1E-13	-3.6E-14	9.1E-13	305.4888
229	0.4055	INV-SLV	Combinat	Max	-930.135	611.525	9.1E-13	-3.6E-14	9.09E-13	171.7709
229	0.81101	INV-SLV	Combinat	Max	-952.078	700.319	9.11E-13	-3.6E-14	9.09E-13	0.5042
229	0	INV-SLV	Combinat	Min	-974.02	789.112	9.12E-13	-3.6E-14	9.08E-13	-208.311
229	0.4055	INV-SLV	Combinat	Min	-1202.7	292.647	-4.5E-13	-9.9E-14	-4.5E-13	-596.884
229	0.81101	INV-SLV	Combinat	Min	-1232.59	388.246	-4.5E-13	-9.9E-14	-2.8E-13	-792.751
212	0	INV-SLV	Combinat	Max	-1262.47	483.846	-4.5E-13	-9.9E-14	-2.9E-13	-1022.59
212	0.39894	INV-SLV	Combinat	Max	-1292.36	579.445	-4.5E-13	-9.9E-14	-6.2E-13	-1286.4
212	0.79788	INV-SLV	Combinat	Max	-1142.16	-22.788	9.1E-13	1.71E-13	4.55E-13	492.0911
212	1.19682	INV-SLV	Combinat	Max	-1158.4	72.465	9.17E-13	1.71E-13	7.38E-13	482.0019
212	0.79788	INV-SLV	Combinat	Min	-1423.85	-220.331	-1.8E-12	0	-3.7E-13	-222.256
212	1.19682	INV-SLV	Combinat	Min	-1440.09	-164.682	-1.8E-12	0	-7.4E-13	-177.246
14	0	INV-SLV	Combinat	Max	-1239.62	585.228	1.82E-12	1.71E-13	9.1E-13	124.2174
14	0.43529	INV-SLV	Combinat	Max	-1255.83	698.567	1.84E-12	1.71E-13	9.06E-13	27.7123
14	0.87058	INV-SLV	Combinat	Max	-1272.05	811.905	1.86E-12	1.71E-13	8.96E-13	-98.7199
14	0	INV-SLV	Combinat	Min	-1505.06	198.619	0	-3.1E-13	0	-337.055
14	0.43529	INV-SLV	Combinat	Min	-1521.28	272.42	1.69E-14	-3.1E-13	-3.7E-13	-481.806
14	0.87058	INV-SLV	Combinat	Min	-1537.49	346.222	3.39E-14	-3.1E-13	-1E-12	-766.5

Figura 86 – Combinazioni di carico da SAP2000 – SLV

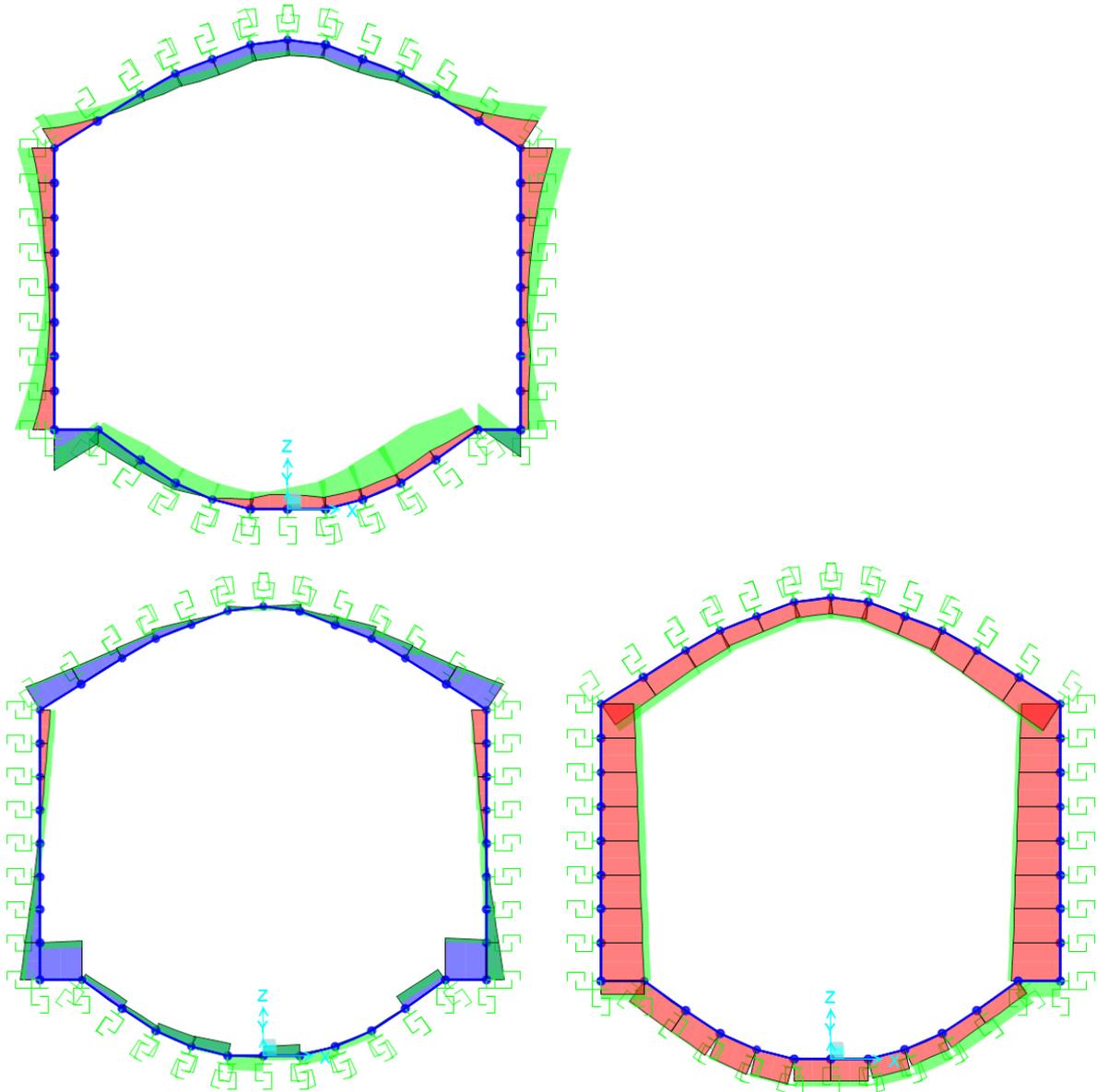


Figura 87 – Da sinistra: inviluppo del momento, del taglio e dello sforzo normale – SLE

GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA
 E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO

 COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 RS3U 40 D 07 CL GA 00 00 003 B 142 di 329

TABLE: Element Forces - Frames										
Frame	Station	Output-Case	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN	KN	KN
17		0 SLE-QP	NonStatic	Max	-437.431	8.06	0	0	0	421.2354
17	0.46814	SLE-QP	NonStatic	Max	-430.223	93.779	0	0	0	397.3981
17	0.93627	SLE-QP	NonStatic	Max	-423.015	179.498	0	0	0	333.4327
17	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-437.431	8.06	0	0	0	421.2354
17	0.46814	SLE-QP	NonStatic	Min	-430.223	93.779	0	0	0	397.3981
17	0.93627	SLE-QP	NonStatic	Min	-423.015	179.498	0	0	0	333.4327
17	0	SLE-C	NonStatic	Max	-654.273	-87.596	0	0	0	237.9563
17	0.46814	SLE-C	NonStatic	Max	-646.368	7.379	0	0	0	256.7324
17	0.93627	SLE-C	NonStatic	Max	-638.464	102.355	0	0	0	231.0472
17	0	SLE-C	NonStatic	Min	-654.273	-87.596	0	0	0	237.9563
17	0.46814	SLE-C	NonStatic	Min	-646.368	7.379	0	0	0	256.7324
17	0.93627	SLE-C	NonStatic	Min	-638.464	102.355	0	0	0	231.0472
17	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-460.073	21.257	0	0	0	408.1364
17	0.46814	INV_SLE-F	Combination	Max	-453.422	107.061	0	0	0	378.1012
17	0.93627	INV_SLE-F	Combination	Max	-446.772	192.865	0	0	0	307.8982
17	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-613.672	-91.065	0	0	0	191.1133
17	0.46814	INV_SLE-F	Combination	Min	-606.465	1.703	0	0	0	210.3801
17	0.93627	INV_SLE-F	Combination	Min	-599.257	87.422	0	0	0	189.5189
8	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-611.166	225.633	0	0	0	166.7062
8	0.8218	SLE-QP	NonStatic	Max	-674.325	381.35	0	0	0	-82.7035
8	1.6436	SLE-QP	NonStatic	Max	-737.483	537.066	0	0	0	-460.0809
8	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-611.166	225.633	0	0	0	166.7062
8	0.8218	SLE-QP	NonStatic	Min	-674.325	381.35	0	0	0	-82.7035
8	1.6436	SLE-QP	NonStatic	Min	-737.483	537.066	0	0	0	-460.0809
8	0	SLE-C	NonStatic	Max	-868.605	235.182	0	0	0	-127.9372
8	0.8218	SLE-C	NonStatic	Max	-935.849	403.661	0	0	0	-390.4383
8	1.6436	SLE-C	NonStatic	Max	-1003.093	572.14	0	0	0	-791.3955
8	0	SLE-C	NonStatic	Min	-868.605	235.182	0	0	0	-127.9372
8	0.8218	SLE-C	NonStatic	Min	-935.849	403.661	0	0	0	-390.4383
8	1.6436	SLE-C	NonStatic	Min	-1003.093	572.14	0	0	0	-791.3955
8	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-613.971	246.286	0	0	0	206.133
8	0.8218	INV_SLE-F	Combination	Max	-673.861	409.274	0	0	0	-31.7589
8	1.6436	INV_SLE-F	Combination	Max	-733.75	572.262	0	0	0	-400.0337
8	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-835.173	205.809	0	0	0	-139.4371
8	0.8218	INV_SLE-F	Combination	Min	-904.867	361.526	0	0	0	-408.8071
8	1.6436	INV_SLE-F	Combination	Min	-974.562	517.242	0	0	0	-812.1205
11	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-1048.661	246.572	0	0	0	533.054
11	0.57722	SLE-QP	NonStatic	Max	-1025.579	169.224	0	0	0	413.0512
11	1.15444	SLE-QP	NonStatic	Max	-1002.497	91.877	0	0	0	337.6949
11	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-1048.661	246.572	0	0	0	533.054
11	0.57722	SLE-QP	NonStatic	Min	-1025.579	169.224	0	0	0	413.0512
11	1.15444	SLE-QP	NonStatic	Min	-1002.497	91.877	0	0	0	337.6949
11	0	SLE-C	NonStatic	Max	-1252.33	109.786	0	0	0	316.8088
11	0.57722	SLE-C	NonStatic	Max	-1229.248	26.666	0	0	0	277.4275
11	1.15444	SLE-C	NonStatic	Max	-1206.166	-56.454	0	0	0	286.0245
11	0	SLE-C	NonStatic	Min	-1252.33	109.786	0	0	0	316.8088
11	0.57722	SLE-C	NonStatic	Min	-1229.248	26.666	0	0	0	277.4275
11	1.15444	SLE-C	NonStatic	Min	-1206.166	-56.454	0	0	0	286.0245
11	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-1039.021	271.097	0	0	0	509.7724
11	0.57722	INV_SLE-F	Combination	Max	-1015.939	189.132	0	0	0	376.9457
11	1.15444	INV_SLE-F	Combination	Max	-992.857	107.167	0	0	0	330.1652
11	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-1233.342	97.21	0	0	0	256.0929
11	0.57722	INV_SLE-F	Combination	Min	-1210.26	19.862	0	0	0	222.0931
11	1.15444	INV_SLE-F	Combination	Min	-1187.178	-57.485	0	0	0	232.7399
12	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-1094.141	410.33	0	0	0	906.6058
12	0.56868	SLE-QP	NonStatic	Max	-1071.401	328.44	0	0	0	696.5457
12	1.13735	SLE-QP	NonStatic	Max	-1048.661	246.551	0	0	0	533.054
12	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-1094.141	410.33	0	0	0	906.6058
12	0.56868	SLE-QP	NonStatic	Min	-1071.401	328.44	0	0	0	696.5457
12	1.13735	SLE-QP	NonStatic	Min	-1048.661	246.551	0	0	0	533.054
12	0	SLE-C	NonStatic	Max	-1297.81	285.642	0	0	0	542.0791
12	0.56868	SLE-C	NonStatic	Max	-1275.07	198.066	0	0	0	404.5428
12	1.13735	SLE-C	NonStatic	Max	-1252.33	110.49	0	0	0	316.8088
12	0	SLE-C	NonStatic	Min	-1297.81	285.642	0	0	0	542.0791
12	0.56868	SLE-C	NonStatic	Min	-1275.07	198.066	0	0	0	404.5428
12	1.13735	SLE-C	NonStatic	Min	-1252.33	110.49	0	0	0	316.8088
12	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-1084.501	443.953	0	0	0	916.391
12	0.56868	INV_SLE-F	Combination	Max	-1061.761	357.514	0	0	0	688.5039
12	1.13735	INV_SLE-F	Combination	Max	-1039.021	271.075	0	0	0	509.7724
12	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-1278.822	262.238	0	0	0	464.3623
12	0.56868	INV_SLE-F	Combination	Min	-1256.082	180.349	0	0	0	336.9434
12	1.13735	INV_SLE-F	Combination	Min	-1233.342	98.46	0	0	0	256.0929
5	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-940.659	289.929	0	0	0	638.2752
5	0.53696	SLE-QP	NonStatic	Max	-926.638	-271.089	0	0	0	788.8985
5	1.07393	SLE-QP	NonStatic	Max	-912.618	-252.248	0	0	0	929.4048
5	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-940.659	289.929	0	0	0	638.2752
5	0.53696	SLE-QP	NonStatic	Min	-926.638	-271.089	0	0	0	788.8985
5	1.07393	SLE-QP	NonStatic	Min	-912.618	-252.248	0	0	0	929.4048
5	0	SLE-C	NonStatic	Max	-948.827	-395.87	0	0	0	-41.8688
5	0.53696	SLE-C	NonStatic	Max	-934.807	-377.029	0	0	0	165.6404
5	1.07393	SLE-C	NonStatic	Max	-920.786	-358.188	0	0	0	363.0327
5	0	SLE-C	NonStatic	Min	-948.827	-395.87	0	0	0	-41.8688
5	0.53696	SLE-C	NonStatic	Min	-934.807	-377.029	0	0	0	165.6404
5	1.07393	SLE-C	NonStatic	Min	-920.786	-358.188	0	0	0	363.0327
5	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-889.02	-269.525	0	0	0	709.4243
5	0.53696	INV_SLE-F	Combination	Max	-874.999	-250.684	0	0	0	849.091
5	1.07393	INV_SLE-F	Combination	Max	-860.979	-231.843	0	0	0	978.6409
5	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-970.992	-404.44	0	0	0	-74.1342
5	0.53696	INV_SLE-F	Combination	Min	-956.972	-385.6	0	0	0	116.8382
5	1.07393	INV_SLE-F	Combination	Min	-942.951	-366.759	0	0	0	297.6937
5	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-757.034	416.99	0	0	0	-279.7992
5	0.4353	SLE-QP	NonStatic	Max	-757.034	436.029	0	0	0	-465.46
5	0.87061	SLE-QP	NonStatic	Max	-757.034	455.068	0	0	0	-659.4084
5	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-757.034	416.99	0	0	0	-279.7992
5	0.4353	SLE-QP	NonStatic	Min	-757.034	436.029	0	0	0	-465.46
5	0.87061	SLE-QP	NonStatic	Min	-757.034	455.068	0	0	0	-659.4084
5	0	SLE-C	NonStatic	Max	-912.15	107.178	0	0	0	-451.685
5	0.4353	SLE-C	NonStatic	Max	-912.15	126.217	0	0	0	-502.4837
5	0.87061	SLE-C	NonStatic	Max	-912.15	145.256	0	0	0	-561.57
5	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-779.234	443.774	0	0	0	-226.3175
5	0.4353	INV_SLE-F	Combination	Max	-779.234	462.813	0	0	0	-423.6372
5	0.87061	INV_SLE-F	Combination	Max	-779.234	481.851	0	0	0	-494.1236
5	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-873.798	80.276	0	0	0	-483.7075
5	0.4353	INV_SLE-F	Combination	Min	-873.798	99.314	0	0	0	-533.5843
5	0.87061	INV_SLE-F	Combination	Min	-873.798	118.353	0	0	0	-629.2445

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Figura 88 – Combinazioni di carico da SAP2000 – SLE

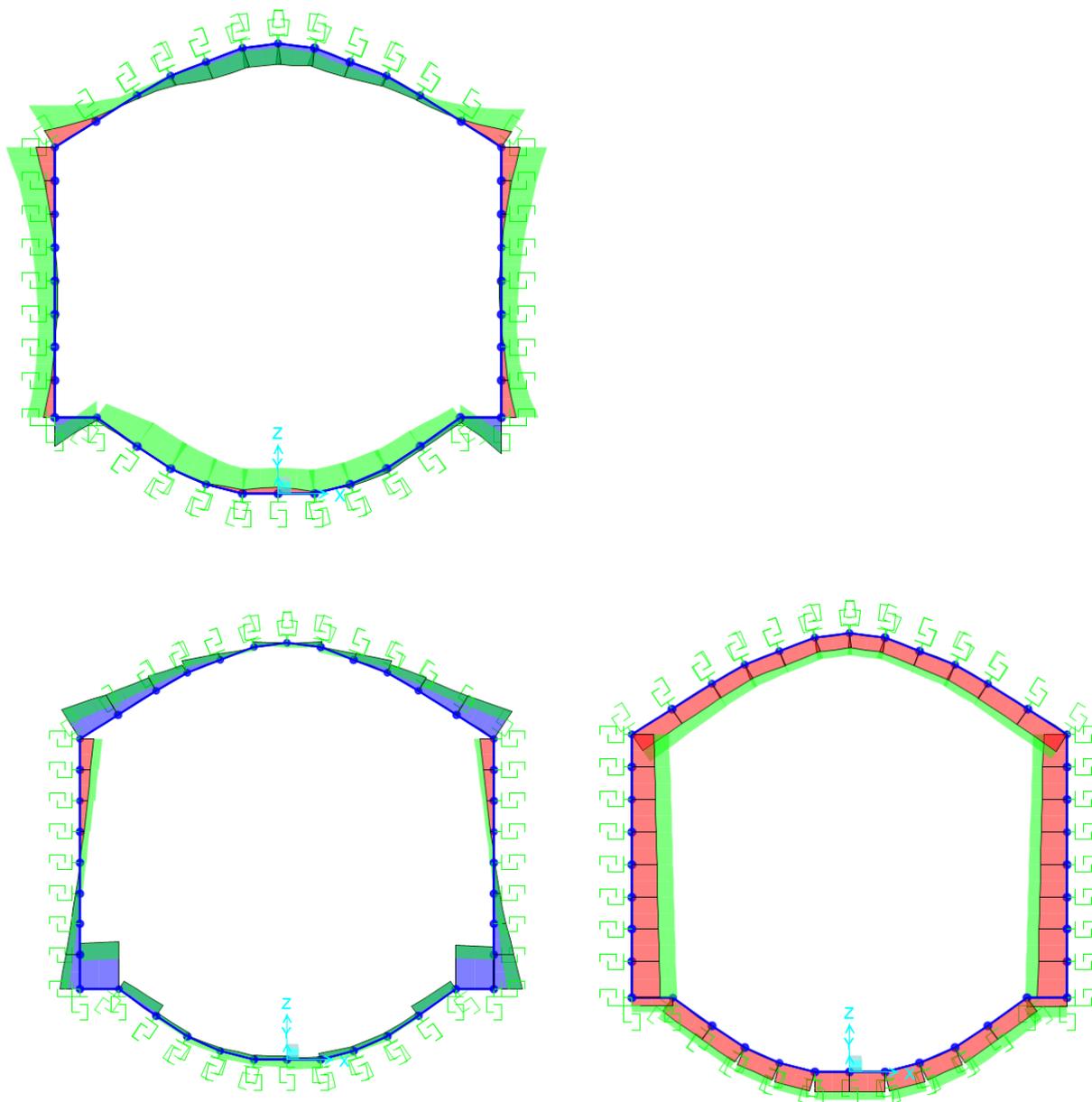


Figura 89 – Da sinistra: involucro del momento, del taglio e dello sforzo normale – SLU

TABLE: Element Forces - Frames											
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
17	0	INV_SLU	Combination	Max	-651.532	2.805	0	0	0	540.5108	
17	0.46814	INV_SLU	Combination	Max	-636.267	88.944	0	0	0	560.6153	
17	0.93627	INV_SLU	Combination	Max	-621.003	198.701	0	0	0	515.8245	
17	0	INV_SLU	Combination	Min	-990.612	-146.28	0	0	0	27.9478	
17	0.46814	INV_SLU	Combination	Min	-978.107	-26.72	0	0	0	27.5693	
17	0.93627	INV_SLU	Combination	Min	-965.602	58.999	0	0	0	-13.1338	
8	0	INV_SLU	Combination	Max	-810.242	440.348	0	0	0	131.0915	
8	0.8218	INV_SLU	Combination	Max	-854.524	658.585	0	0	0	-32.0879	
8	1.6436	INV_SLU	Combination	Max	-898.805	876.823	0	0	0	-337.1822	
8	0	INV_SLU	Combination	Min	-1301.888	106.032	0	0	0	-329.8476	
8	0.8218	INV_SLU	Combination	Min	-1402.38	278.719	0	0	0	-747.7077	
8	1.6436	INV_SLU	Combination	Min	-1502.872	451.407	0	0	0	-1344.9155	
11	0	INV_SLU	Combination	Max	-1097.42	257.105	0	0	0	736.3028	
11	0.57722	INV_SLU	Combination	Max	-1074.338	147.895	0	0	0	716.427	
11	1.15444	INV_SLU	Combination	Max	-1051.256	38.685	0	0	0	741.1976	
11	0	INV_SLU	Combination	Min	-1779.296	26.355	0	0	0	-5.5222	
11	0.57722	INV_SLU	Combination	Min	-1749.289	-50.992	0	0	0	-80.7448	
11	1.15444	INV_SLU	Combination	Min	-1719.283	-128.34	0	0	0	-92.9292	
12	0	INV_SLU	Combination	Max	-1142.901	487.059	0	0	0	916.4985	
12	0.56868	INV_SLU	Combination	Max	-1120.16	372.073	0	0	0	803.1165	
12	1.13735	INV_SLU	Combination	Max	-1097.42	257.087	0	0	0	736.3028	
12	0	INV_SLU	Combination	Min	-1838.421	218.07	0	0	0	234.0731	
12	0.56868	INV_SLU	Combination	Min	-1808.858	136.18	0	0	0	116.8044	
12	1.13735	INV_SLU	Combination	Min	-1779.296	54.291	0	0	0	-5.5222	
1	0	INV_SLU	Combination	Max	-923.408	-219.498	0	0	0	423.8328	
1	0.53696	INV_SLU	Combination	Max	-909.387	-200.657	0	0	0	536.6367	
1	1.07393	INV_SLU	Combination	Max	-895.367	-181.816	0	0	0	639.3237	
1	0	INV_SLU	Combination	Min	-1289.749	-627.852	0	0	0	-407.6719	
1	0.53696	INV_SLU	Combination	Min	-1271.522	-603.359	0	0	0	-126.591	
1	1.07393	INV_SLU	Combination	Min	-1253.296	-578.866	0	0	0	50.1565	
5	0	INV_SLU	Combination	Max	-976.19	274.48	0	0	0	-48.7276	
5	0.4353	INV_SLU	Combination	Max	-976.19	293.518	0	0	0	-172.3531	
5	0.87061	INV_SLU	Combination	Max	-976.19	312.557	0	0	0	-239.5227	
5	0	INV_SLU	Combination	Min	-1320.235	-44.181	0	0	0	-860.5126	
5	0.4353	INV_SLU	Combination	Min	-1320.235	-25.142	0	0	0	-924.339	
5	0.87061	INV_SLU	Combination	Min	-1320.235	-6.104	0	0	0	-998.9393	

Figura 90 – Combinazioni di carico da SAP2000 – SLU

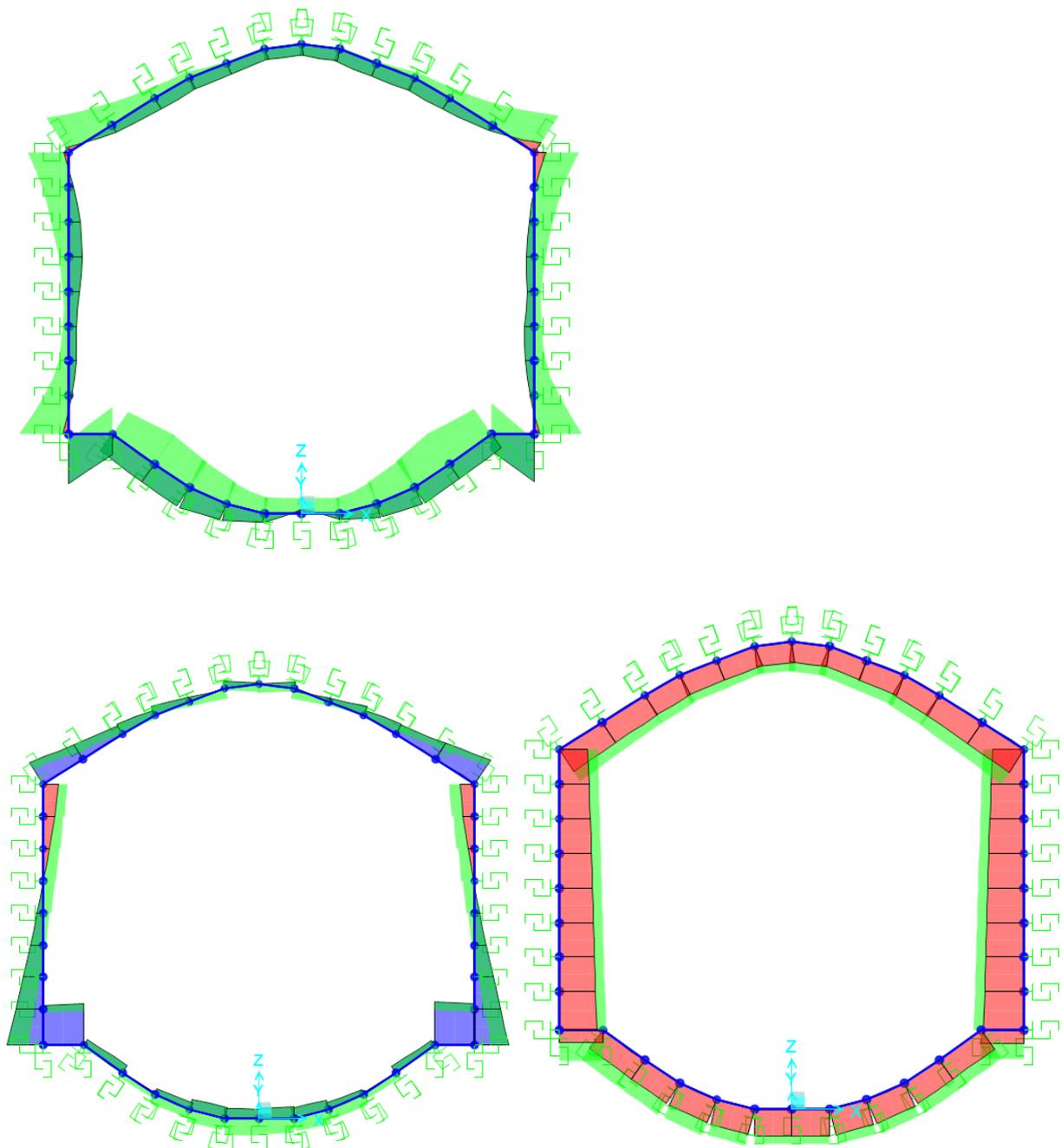


Figura 91 – Da sinistra: involuppo del momento, del taglio e dello sforzo normale – SLV

TABLE: Element Forces - Frames

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
17	0	INV-SLV	Combination	Max	-682.892	121.852	0	0	0	177.6434
17	0.46814	INV-SLV	Combination	Max	-675.685	210.399	0	0	0	166.0367
17	0.93627	INV-SLV	Combination	Max	-668.477	299.272	0	0	0	151.0539
17	0	INV-SLV	Combination	Min	-931.695	-159.621	0	0	0	-140.846
17	0.46814	INV-SLV	Combination	Min	-932.528	-71.777	0	0	0	-86.9602
17	0.93627	INV-SLV	Combination	Min	-933.36	15.836	0	0	0	-164.2005
8	0	INV-SLV	Combination	Max	-800.474	201.58	0	0	0	487.8874
8	0.8218	INV-SLV	Combination	Max	-847.002	363.166	0	0	0	418.3475
8	1.6436	INV-SLV	Combination	Max	-861.933	524.753	0	0	0	183.9379
8	0	INV-SLV	Combination	Min	-1098.116	-15.691	0	0	0	-375.2059
8	0.8218	INV-SLV	Combination	Min	-1162.986	184.929	0	0	0	-542.4536
8	1.6436	INV-SLV	Combination	Min	-1227.856	385.549	0	0	0	-840.5846
11	0	INV-SLV	Combination	Max	-1019.192	475.381	0	0	0	213.8468
11	0.57722	INV-SLV	Combination	Max	-996.11	328.767	0	0	0	159.6254
11	1.15444	INV-SLV	Combination	Max	-973.028	182.153	0	0	0	184.6693
11	0	INV-SLV	Combination	Min	-1306.14	-4.529	0	0	0	-226.2767
11	0.57722	INV-SLV	Combination	Min	-1283.058	-83.031	0	0	0	-281.4786
11	1.15444	INV-SLV	Combination	Min	-1259.976	-161.533	0	0	0	-428.9354
12	0	INV-SLV	Combination	Max	-1064.672	775.622	0	0	0	672.9462
12	0.56868	INV-SLV	Combination	Max	-1041.932	625.492	0	0	0	365.9908
12	1.13735	INV-SLV	Combination	Max	-1019.192	475.362	0	0	0	213.8468
12	0	INV-SLV	Combination	Min	-1351.62	217.934	0	0	0	-71.9867
12	0.56868	INV-SLV	Combination	Min	-1328.88	134.908	0	0	0	-172.7393
12	1.13735	INV-SLV	Combination	Min	-1306.14	51.881	0	0	0	-226.2767
1	0	INV-SLV	Combination	Max	-903.672	-58.961	0	0	0	1049.5781
1	0.53696	INV-SLV	Combination	Max	-889.651	-40.12	0	0	0	1076.9237
1	1.07393	INV-SLV	Combination	Max	-875.631	-21.279	0	0	0	1097.173
1	0	INV-SLV	Combination	Min	-1349.108	-378.718	0	0	0	-646.3024
1	0.53696	INV-SLV	Combination	Min	-1335.087	-359.877	0	0	0	-461.3245
1	1.07393	INV-SLV	Combination	Min	-1321.067	-341.036	0	0	0	-289.0963
5	0	INV-SLV	Combination	Max	-921.033	509.508	0	0	0	398.2112
5	0.4353	INV-SLV	Combination	Max	-921.033	528.547	0	0	0	172.7025
5	0.87061	INV-SLV	Combination	Max	-921.033	547.586	0	0	0	-61.0939
5	0	INV-SLV	Combination	Min	-1192.155	-206.879	0	0	0	-424.0069
5	0.4353	INV-SLV	Combination	Min	-1192.155	-187.841	0	0	0	-438.02
5	0.87061	INV-SLV	Combination	Min	-1192.155	-168.802	0	0	0	-460.3207

Figura 92 – Combinazioni di carico da SAP2000 – SLV
ARMATURE CONCIO D'ATTACCO

ZONA	H [m]	Arm. princ. intra	Ripartitori	Spilli
Calotta	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Arco rovescio	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli)
Reni	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli)
Piedr/ Muretta	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli AR)
Arco rovescio/ Muretta	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli AR)

ARMATURA GALLERIA ARTIFICIALE

ZONA	H [m]	Arm. princ. intra	Ripartitori	Spilli
Calotta	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60
Arco rovescio	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli)
Reni	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli)
Piedr/ Muretta	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli AR)
Arco rovescio/ Muretta	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli AR)

Il dato di incidenza è dato da:

ARMATURE CONCIO D'ATTACCO

INCIDENZA

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

ARCO ROVESCIO	30
PIEDRITTO	30
CALOTTA	40

ARMATURA GALLERIA ARTIFICIALE

INCIDENZA	
ARCO ROVESCIO	30
PIEDRITTO	32
CALOTTA	53

Nel presente paragrafo si riportano i risultati ottenuti dall'analisi numerica condotta, in termini di SLU, SLV e SLE. Nelle immagini di seguito si sono riepilogati i diagrammi delle caratteristiche delle sollecitazioni per tutte le combinazioni implementate nel modello. Si vuole specificare che lì dove sono presente più combinazioni (come ad esempio per le condizioni SLF, SLU o SLV) si sono riportati i diagrammi involuppo delle combinazioni applicate al modello.

Per le verifiche SLE si considerano i valori nominali delle sollecitazioni in output.

Nelle seguenti tabelle si riporta l'esito delle verifiche eseguite considerando un'armatura corrente come descritta in precedenza, considerando come limite fessurativo imposto da normativa pari a 0.30 mm per l'intradosso e pari a 0.20 mm per l'estradosso e con copriferro netto da prima barra di 64 mm.

11.2.1.1 Sezione 1 – Concio d'attacco

Calotta

Tabella 72 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

M_{Ek}	N_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[mm]
-648.4	766.6	-4.64	-56.28	0.114
-528.7	951.0	-3.57	-46.04	0.051

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

-616.2	911.3	-4.30	-53.86	0.082
--------	-------	-------	--------	-------

Reni

Tabella 73 - Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

M_{Ek}	N_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[mm]
543.0	915.4	0.29	2.26	0.003
-364.2	928.7	0.32	4.71	0.003
597.9	949.5	0.31	4.54	0.003

Piedritto

Tabella 74 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

M_{Ek}	N_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[mm]
723.6387	520.657	-3.23	120.75	0.109
538.8495	748.022	-2.15	36.88	0.033
697.9831	702.963	-3.00	82.89	0.075

Attacco piedritto-muretta

Tabella 75 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

M_{Ek}	N_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[mm]
-619.0213	806.057	-0.98	-13.99	0.007
-1120.216	1084.152	-1.94	-27.20	0.030
-1120.216	1084.152	-1.94	-27.20	0.030

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Attacco muretta-arco rovescio

Tabella 76 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

N_{Ek}	M_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[mm]
-1126.57	1049.199	-4.37	-56.59	0.114
-272.445	1188.761	-1.19	-17.11	
-314.291	1408.057	-1.39	-20.05	

Arco rovescio

Tabella 77 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

N_{Ek}	M_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[mm]
-359.687	1386.45	-1.46	-21.04	0.06
-977.864	1286.164	-3.50	-47.18	0.055
-603.491	1505.46	-1.99	-28.34	0.06

Le verifiche a presso-flessione agli SLU e SLV, relative agli spessori dei rivestimenti in esame descritti precedentemente, riportano i risultati evidenziando come tutti i punti siano all'interno del dominio di resistenza M-N. Le verifiche risultano quindi soddisfatte.

1	CALOTTA			
2	CALOTTA			
3	RENI			
4	RENI			
5	PIEDRITTO			
6	PIEDRITTO			
7	ATTACCO PIEDRITTO -MURETTA			
8	ATTACCO PIEDRITTO -MURETTA			
9	ATTACCO MURETTA-ARCO ROVESCIO			
10	ATTACCO MURETTA-ARCO ROVESCIO			
11	ARCO ROVESCIO			
12	ARCO ROVESCIO			

Figura 93 – Sezioni di riferimento

Md	Nd	Vd	AS	A'S	Md [N=cost]	CU
[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[-]	[-]	[kNm/m]	[-]
-998.1	-809.5	-297.2	5f24	5f24	1246.0	1.2
-482.2	-1207.1	-458.3	5f24	5f24	520.0	1.1
-585.6	-1265.9	392.7	5f24	5f24	1935.0	3.3
-701.5	-1279.5	218.1	5f24	5f24	1458.0	2.1
1033.7	-734.2	-221.1	5f24	5f24	1874.0	1.8
1411.0	-1009.7	-272.5	5f24	5f24	1526.0	1.1
-962.1	-1545.2	1210.9	5f24	5f24	975.0	1.0
-792.8	-1232.6	789.1	5f24	5f24	964.0	1.2
-1792.7	-1636.4	653.9	5f24	5f24	1450.0	1.0
-1286.4	-1292.4	579.4	5f24	5f24	1357.0	1.1
-991.5	-1336.2	605.6	5f24	5f24	1254.0	1.3
-766.5	-1272.0	811.9	5f24	5f24	1254.0	1.6

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 152 di 329

Tabella 78 – Sollecitazioni e armature delle sezioni di riferimento

Tabella 79 – Output SAP2000 - SLU

Frame	OutputCase	M3 (M)	V2 (V)	P (N)	
Frame	Text	KN-m	kN	KN	
216	SLU	-998.098	-297.16	-809.515	MAX M
216		-998.098	-297.16	-1416.04	MAX V
216					
216					
216					
216					
221	SLU	-585.576	19.078	-1265.93	MAX M
221		189.1677	392.676	-929.806	MAX V
221					
221					
221					
221					
226	SLU	1033.727	23.374	-734.213	MAX M
226		140.4679	-221.065	-1123.58	MAX V
226					
226					
226					
226					
229	SLU	-962.082	475.444	-1545.24	MAX M
229		-620.811	1210.903	-1013.7	MAX V
229					
229					
229					
229					
212	SLU	-1792.66	653.924	-1636.41	MAX M
212		-1792.66	653.924	-1636.41	MAX V
212					
212					
212					
212					
14	SLU	-991.458	330.236	-2119.43	MAX M
14		-286.131	605.616	-1336.15	MAX V
14					
14					
14					
14					

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 154 di 329

Tabella 80 – Output SAP2000 - SLV

Frame	OutputCase	M3 (M)	V2 (V)	P (N)	
Frame	Text	KN-m	kN	KN	
216	SLU	-482.151	-458.277	-1207.1	MAX M
216		-482.151	-458.277	-1207.1	MAX V
216					
216					
216					
216					
221	SLU	-701.507	-72.521	-1279.55	MAX M
221		659.5566	218.076	-881.542	MAX V
221					
221					
221					
221					
226	SLU	473.1611	58.447	-748.297	MAX M
226		4.491	-272.549	-1009.66	MAX V
226					
226					
226					
226					
229	SLU	-792.751	388.246	-1232.59	MAX M
229		-208.311	789.112	-974.02	MAX V
229					
229					
229					
229					
212	SLU	-1286.4	579.445	-1292.36	MAX M
212		-1286.4	579.445	-1292.36	MAX V
212					
212					
212					
212					
14	SLU	-766.5	346.222	-1537.49	MAX M
14		-98.7199	811.905	-1272.05	MAX V
14					
14					
14					
14					

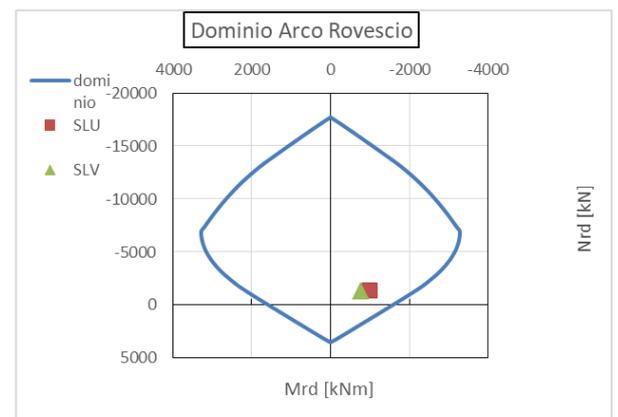
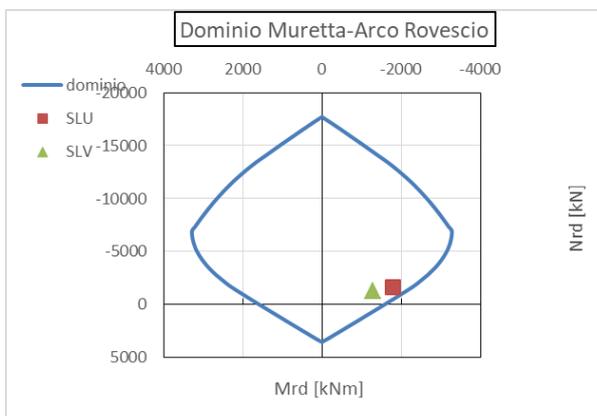
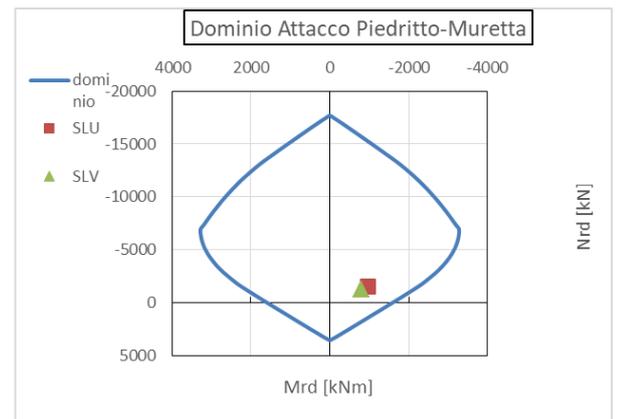
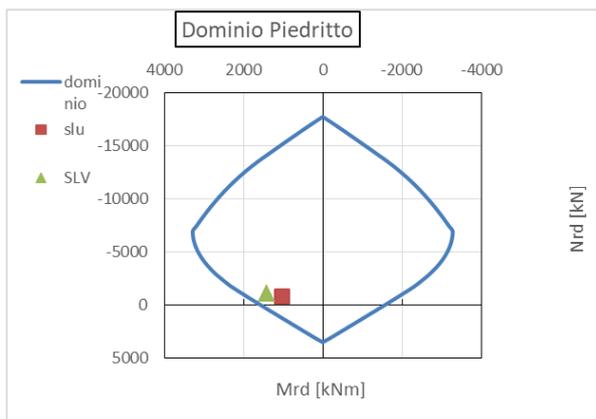
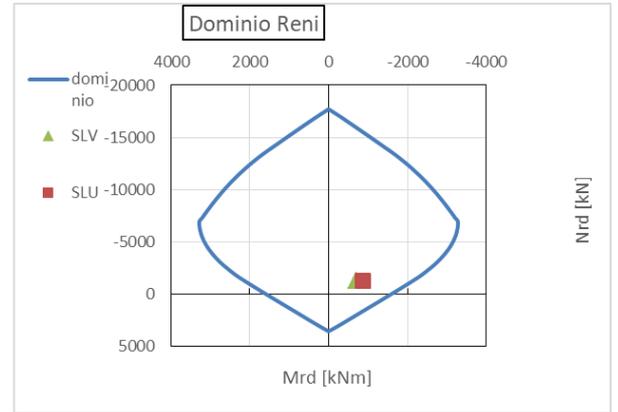
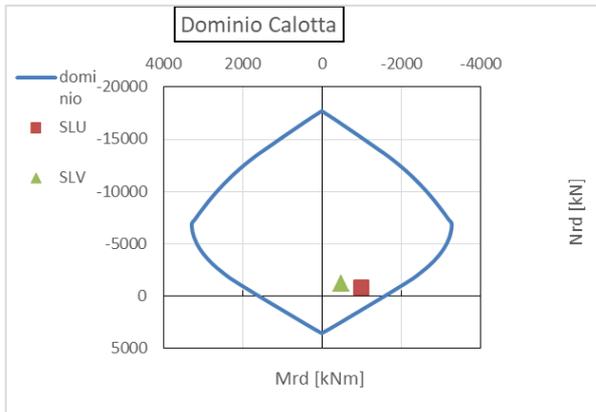


Figura 94 – Domini M-N – SLU

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Verifica a taglio

Tabella 81 – Verifica a taglio – SLU - CALOTTA

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	297.16	[kN]
N_{Ed-SLU}	809.515	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1200	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h-c-\Phi_s/2$	1130	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_i (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00139	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.67	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_i \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	406.1	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	449.2	[kN]
$V_{Rd,0}$	449.2	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.66	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]

A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1021	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	3773	[kN]
$V_{Rd} = \min (V_{Rs,d} ; V_{Rc,d})$	1021	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.29	[-]

Tabella 82 – Verifica a taglio – SLU – RENI

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	392.676	[kN]
N_{Ed-SLU}	1265.933	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{vd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	2100	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	2030	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00077	[-]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.60	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	582.4	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	718.6	[kN]
$V_{Rd,0}$	718.6	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.55	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	2.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	16	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	402	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	958	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	6746	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	958	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.41	[-]

Tabella 83 – Verifica a taglio – SLU – PIEDRITTO

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	221.065	[kN]
N_{Ed-SLU}	734.213	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]

h (altezza sezione)	1600	[mm]
Armatura longitudinale		
n _s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ _s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricompimento A _s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = h-c-Φ _s /2	1528	[mm]
A _s (area dell'armatura long. tesa)	2262	[mm ²]
ρ _l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00148	[-]
σ _{cp} (tensione di compressione) = N _{Ed} /A _c	0.46	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	491.4	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	530.1	[kN]
V _{Rd,0}	530.1	[kN]
V _{Ed} /V _{Rd,0} ≤ 1	0.42	[-]
Armatura trasversale		
n _b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ _{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A _{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	38.0	
1 ≤ ctgθ ≤ 2.5	1.28	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
V _{Rs,d} (resistenza a taglio - armatura tras.)	1767	[kN]
V _{Rc,d} (resistenza a taglio - sezione cls armata)	4879	[kN]
V _{Rd} = min (V _{Rs,d} ; V _{Rc,d})	1767	[kN]
V _{Ed} /V _{Rd} ≤ 1	0.13	[-]

Tabella 84 – Verifica a taglio – SLU – Attacco muretta-piedritto

Verifica Taglio -NT2008			
Sollecitazioni			
V _{Ed-SLU}		1210.903	[kN]
N _{Ed-SLU}		1545.236	[kN]

Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1600	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	10	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1528	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	4524	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00296	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.97	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	708.0	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	646.3	[kN]
$V_{Rd,0}$	708.0	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	1.71	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	38.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.28	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1767	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	5048	[kN]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

$V_{Rd} = \min (V_{R_{s,d}} ; V_{R_{c,d}})$	1767	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.69	[-]

Tabella 85 – Verifica a taglio – SLU – Attacco muretta-arco rovescio

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	653.924	[kN]
N_{Ed-SLU}	1636.406	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1700	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1630	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00096	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.96	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	589.4	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	682.9	[kN]
$V_{Rd,0}$	682.9	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.96	[-]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1473	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	5549	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1473	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.44	[-]

Tabella 86 – Verifica a taglio – SLU – Arco rovescio

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	605.6	[kN]
N_{Ed-SLU}	1336.2	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1700	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	7	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h-c-\Phi_s/2$	1628	[mm]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

A_s (area dell'armatura long. tesa)	3167	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00195	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.79	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	638.9	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	639.1	[kN]
$V_{Rd,0}$	639.1	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.95	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	2.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	308	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	200	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	883	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	5477	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	883	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.69	[-]

Tabella 87 – Verifica a taglio – SLV - Calotta

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	458.28	[kN]
N_{Ed-SLU}	1207.1	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]

Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1200	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1130	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00139	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed} / A_c	1.01	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}\} * b_w * d$	462.3	[kN]
$(v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d$	505.4	[kN]
$V_{Rd,0}$	505.4	[kN]
$V_{Ed} / V_{Rd,0} \leq 1$	0.91	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1021	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	3858	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1021	[kN]
$V_{Ed} / V_{Rd} \leq 1$	0.45	[-]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 88 – Verifica a taglio – SLV - Reni

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	218.08	[kN]
N_{Ed-SLU}	1279.55	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	2200	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	2130	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00074	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.58	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	595.3	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	742.4	[kN]
$V_{Rd,0}$	742.4	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.29	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	2.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	308	[mm ²]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	770	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	7068	[kN]
$V_{Rd} = \min (V_{Rs,d} ; V_{Rc,d})$	770	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.28	[-]

Tabella 89 – Verifica a taglio - SLV - Piedritto

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	272.55	[kN]
N_{Ed-SLU}	1009.7	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1600	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h-c-\Phi_s/2$	1528	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	2262	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00148	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.63	[MPa]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	530.9	[kN]
$(v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	569.6	[kN]
$V_{Rd,0}$	569.6	[kN]
$V_{Ed} / V_{Rd,0} \leq 1$	0.48	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	38.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.28	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1767	[kN]
$V_{RC,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	4936	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{RC,d})$	1767	[kN]
$V_{Ed} / V_{Rd} \leq 1$	0.15	[-]

Tabella 90 – Verifica a taglio – SLV – Attacco piedritto-muretta

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	789.11	[kN]
N_{Ed-SLU}	1232.6	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1600	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	10	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1528	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	4524	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00296	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.77	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}\} * b_w * d$	663.2	[kN]
$(v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d$	601.5	[kN]
$V_{Rd,0}$	663.2	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	1.19	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	38.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.28	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1767	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	4983	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1767	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.45	[-]

Tabella 91 – Verifica a taglio – SLV – Attacco muretta – arco rovescio

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	579.45	[kN]

N_{Ed-SLU}	1292.4	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1700	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1630	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00096	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.76	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	539.9	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	633.4	[kN]
$V_{Rd,0}$	633.4	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.91	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1473	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	5474	[kN]
$V_{Rd} = \min (V_{Rs,d} ; V_{Rc,d})$	1473	[kN]

Tabella 92 – Verifica a taglio – SLV – Arco Rovescio

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	811.91	[kN]
N_{Ed-SLU}	1272.0	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1700	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	7	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1628	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	3167	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00195	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.75	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	629.7	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	629.9	[kN]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

$V_{Rd,0}$	629.9	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	1.29	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	2.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	308	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	200	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	883	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	5463	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	883	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.92	[-]

11.2.1.2 Sezione 2 – Galleria artificiale

Calotta

Tabella 93 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

N_{Ek}	M_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[mm]
421.2354	437.431	-3.04	92.39	0.083
333.4327	654.273	-2.21	29.71	0.027
408.1364	638.464	-2.82	55.75	0.050

Reni

Tabella 94 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

N_{Ek}	M_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[mm]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

-460.0809	868.605	0.29	2.26	0.005
-791.3955	1003.093	0.32	4.71	0.008
-812.1205	1048.661	0.31	4.54	0.021

Piedritto

Tabella 95 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

N_{Ek}	M_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[mm]
337.6949	1252.33	-1.47	-1.53	0.05
509.7724	1233.342	-1.82	3.59	0.05
906.6058	1187.178	-3.68	70.10	0.063

Attacco piedritto-muretta

Tabella 96 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

N_{Ek}	M_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[mm]
542.0791	1297.81	-0.99	-0.74	0.007
916.391	1278.822	-1.44	8.51	0.008
929.4048	1233.342	-1.47	10.31	0.009

Attacco muretta-arco rovescio

Tabella 97 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

N_{Ek}	M_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[mm]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

929.4048	948.827	-3.55	92.35	0.083
978.6409	970.992	-3.76	101.39	0.091
-659.408	942.951	-2.30	-31.36	0.030

Arco rovescio

Tabella 98 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

N_{Ek}	M_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kN]	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[mm]
-659.4084	912.15	-2.33	-31.54	0.033
-561.57	912.15	-1.90	-26.18	0.018
-629.2445	1505.46	-2.04	-29.00	0.019

1	CALOTTA			
2	CALOTTA			
3	RENI			
4	RENI			
5	PIEDRITTO			
6	PIEDRITTO			
7	ATTACCO PIEDRITTO -MURETTA			
8	ATTACCO PIEDRITTO -MURETTA			
9	ATTACCO MURETTA-ARCO ROVESCIO			
10	ATTACCO MURETTA-ARCO ROVESCIO			
11	ARCO ROVESCIO			
12	ARCO ROVESCIO			

Figura 95 – Sezioni di riferimento

Tabella 99 – Sollecitazioni e armature delle sezioni di riferimento

Md	Nd	Vd	AS	A'S	Md [N=cost]	CU	
[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[-]	[-]	[kNm/m]	[-]	
-998.1	-809.5	-297.2	5f24	5f24	1246.0	1.2	✓
-482.2	-1207.1	-458.3	5f24	5f24	520.0	1.1	✓
-875.2	-1292.0	392.7	5f24	5f24	1935.0	2.2	✓
-701.5	-1279.5	218.1	5f24	5f24	1458.0	2.1	✓
1033.7	-734.2	-221.1	5f24	5f24	1874.0	1.8	✓
1411.0	-1009.7	-272.5	5f24	5f24	1526.0	1.1	✓
-962.1	-1545.2	1210.9	5f24	5f24	975.0	1.0	✓
-792.8	-1232.6	789.1	5f24	5f24	964.0	1.2	✓
-1792.7	-1636.4	653.9	5f24	5f24	1450.0	1.0	✓
-1286.4	-1292.4	579.4	5f24	5f24	1357.0	1.1	✓
-991.5	-1336.2	605.6	5f24	5f24	1254.0	1.3	✓
-766.5	-1272.0	811.9	5f24	5f24	1254.0	1.6	✓

Tabella 100 – Output SAP2000 – SLU

Frame	OutputCase	M3 (M)	V2 (V)	P (N)	
Text	Text	KN-m	kN	KN	
17	SLU	-998.098	-297.16	-809.515	MAX M
17		-998.098	-297.16	-1416.04	MAX V
17					
17					
17					
17					
8	SLU	-875.244	47.631	-1292.02	MAX M
8		189.1677	392.676	-929.806	MAX V
8					
8					
8					
8					
11	SLU	1033.727	23.374	-734.213	MAX M
11		140.4679	-221.065	-1123.58	MAX V
11					
11					
11					
11					
12	SLU	-962.082	475.444	-1545.24	MAX M
12		-620.811	1210.903	-1013.7	MAX V
12					
12					
12					
12					
1	SLU	-1792.66	653.924	-1636.41	MAX M
1		-1792.66	653.924	-1636.41	MAX V
1					
1					
1					
1					
5	SLU	-991.458	330.236	-2119.43	MAX M
5		-286.131	605.616	-1336.15	MAX V
5					
5					
5					
5					

Tabella 101 – Output SAP2000 - SLV

Frame	OutputCase	M3 (M)	V2 (V)	P (N)	
Text	Text	KN-m	kN	KN	
17	SLU	-482.151	-458.277	-1207.1	MAX M
17		-482.151	-458.277	-1207.1	MAX V
17					
17					
17					
17					
8	SLU	-701.507	-72.521	-1279.55	MAX M
8		659.5566	218.076	-881.542	MAX V
8					
8					
8					
8					
11	SLU	473.1611	58.447	-748.297	MAX M
11		4.491	-272.549	-1009.66	MAX V
11					
11					
11					
11					
12	SLU	-792.751	388.246	-1232.59	MAX M
12		-208.311	789.112	-974.02	MAX V
12					
12					
12					
12					
1	SLU	-1286.4	579.445	-1292.36	MAX M
1		-1286.4	579.445	-1292.36	MAX V
1					
1					
1					
1					
5	SLU	-766.5	346.222	-1537.49	MAX M
5		-98.7199	811.905	-1272.05	MAX V
5					
5					
5					
5					



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA
TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI

GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA
E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	178 di 329

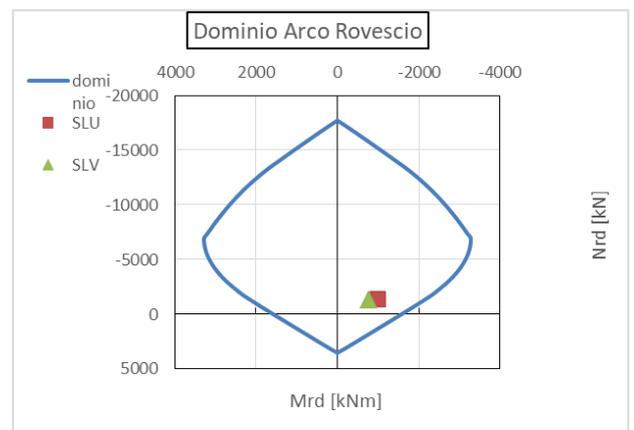
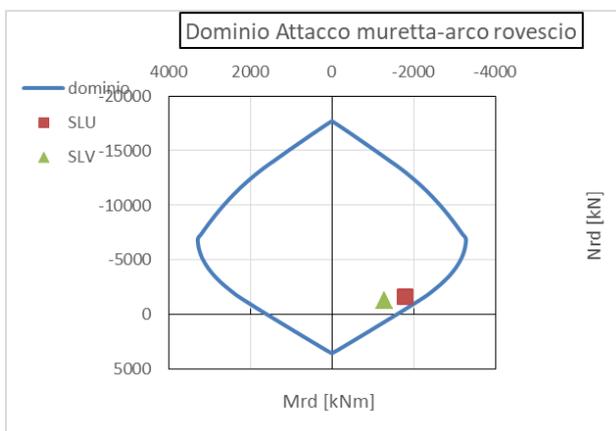
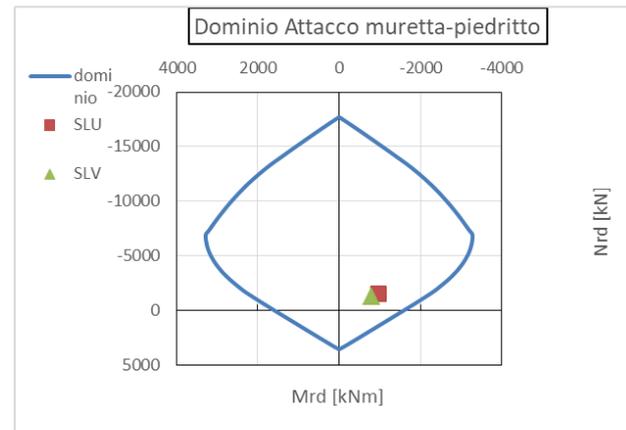
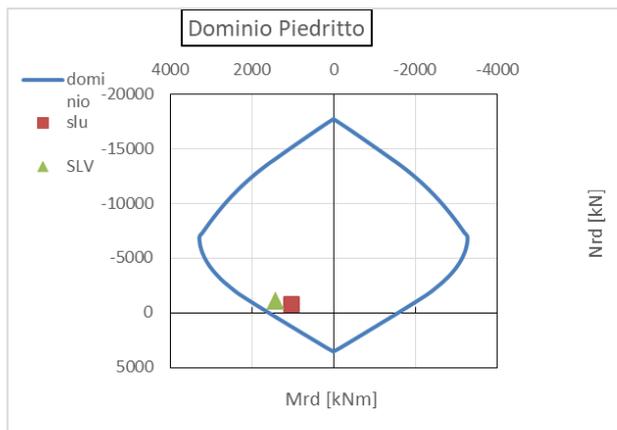
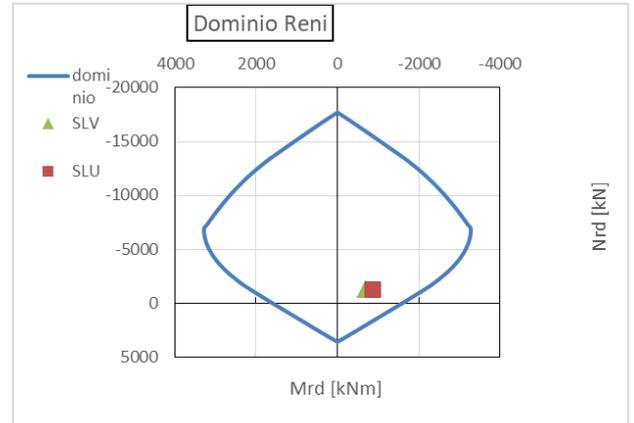
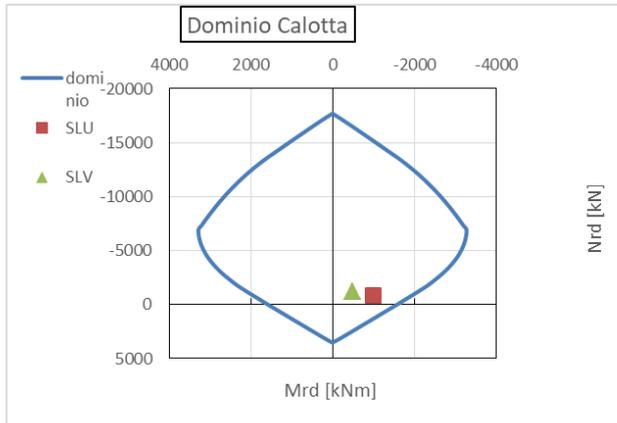


Figura 96 – Domini M-N – SLU

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Verifica a taglio

Tabella 102 – Verifica a taglio – SLU – Calotta

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	297.16	[kN]
N_{Ed-SLU}	809.515	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	900	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	830	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00189	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.90	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	361.3	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	376.4	[kN]
$V_{Rd,0}$	376.4	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.79	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]

A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	750	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	2814	[kN]
$V_{Rd} = \min (V_{Rs,d} ; V_{Rc,d})$	750	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.40	[-]

Tabella 103 – Verifica a taglio – SLU – Reni

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	392.676	[kN]
N_{Ed-SLU}	1292.016	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	2100	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s/2$	2030	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00077	[-]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.62	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	586.1	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	722.4	[kN]
$V_{Rd,0}$	722.4	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.54	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1834	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	6752	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1834	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.21	[-]

Tabella 104 – Verifica a taglio – SLU - Piedritto

Verifica Taglio -NT2008			
Sollecitazioni			
V_{Ed-SLU}		221.065	[kN]
N_{Ed-SLU}		734.213	[kN]
Proprietà materiali strutturali			
Calcestruzzo			
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)		25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)		14.2	[MPa]
Acciaio			
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)		450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)		391.3	[MPa]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1600	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1528	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	2262	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00148	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.46	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	491.4	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	530.1	[kN]
$V_{Rd,0}$	530.1	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.42	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	38.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.28	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1767	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	4879	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1767	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.13	[-]

Tabella 105 – Verifica a taglio – SLU - Attacco piedritto-muretta

Verifica Taglio -NT2008

Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	221.065	[kN]
N_{Ed-SLU}	734.213	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1600	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1528	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	2262	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00148	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.46	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	491.4	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	530.1	[kN]
$V_{Rd,0}$	530.1	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.42	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	38.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.28	[-]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1767	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	4879	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1767	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.13	[-]

Tabella 106 – Verifica a taglio – SLU – Attacco muretta-arco rovescio

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	653.924	[kN]
N_{Ed-SLU}	1636.406	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1700	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1630	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00096	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.96	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	589.4	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	682.9	[kN]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

$V_{Rd,0}$	682.9	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.96	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1473	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	5549	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1473	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.44	[-]

Tabella 107 – Verifica a taglio – SLU – Arco Rovescio

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	605.6	[kN]
N_{Ed-SLU}	1336.2	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1700	[mm]
Armatura longitudinale		

n_s (numero di barre long. in zona tesa)	7	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricompimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h-c-\Phi_s/2$	1628	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	3167	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00195	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.79	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	638.9	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	639.1	[kN]
$V_{Rd,0}$	639.1	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.95	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	2.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	308	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	200	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	883	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	5477	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	883	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.69	[-]

Tabella 108 – Verifica a taglio – SLV - Calotta

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	458.28	[kN]
N_{Ed-SLU}	1207.1	[kN]

Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	900	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	830	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00189	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed} / A_c	1.34	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	416.3	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	431.4	[kN]
$V_{Rd,0}$	431.4	[kN]
$V_{Ed} / V_{Rd,0} \leq 1$	1.06	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg} \theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	750	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	2896	[kN]

$V_{Rd} = \min (V_{Rs,d} ; V_{Rc,d})$	750	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.61	[-]

Tabella 109 – Verifica a taglio – SLV - Reni

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	218.08	[kN]
N_{Ed-SLU}	1279.55	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	2100	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	2030	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00077	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.61	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	584.3	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	720.6	[kN]
$V_{Rd,0}$	720.6	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.30	[-]
Armatura trasversale		

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	2.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	308	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{R_s,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	734	[kN]
$V_{R_c,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	6749	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{R_s,d}; V_{R_c,d})$	734	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.30	[-]

Tabella 110 – Verifica a taglio – SLV - Piedritto

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	272.55	[kN]
N_{Ed-SLU}	1009.7	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1600	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s/2$	1528	[mm]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

A_s (area dell'armatura long. tesa)	2262	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00148	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.63	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	530.9	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	569.6	[kN]
$V_{Rd,0}$	569.6	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.48	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	38.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.28	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1767	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	4936	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1767	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.15	[-]

Tabella 111 – Verifica a taglio – SLV – Attacco piedritto-muretta

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	789.11	[kN]
N_{Ed-SLU}	1232.6	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		

f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1600	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	10	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1528	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	4524	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00296	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed} / A_c	0.77	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}\} * b_w * d$	663.2	[kN]
$(V_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d$	601.5	[kN]
$V_{Rd,0}$	663.2	[kN]
$V_{Ed} / V_{Rd,0} \leq 1$	1.19	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	38.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.28	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1767	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	4983	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1767	[kN]
$V_{Ed} / V_{Rd} \leq 1$	0.45	[-]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 112 – Verifica a taglio – SLV – Attacco muretta-arco rovescio

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	579.45	[kN]
N_{Ed-SLU}	1292.4	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1700	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h-c-\Phi_s/2$	1630	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00096	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.76	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	539.9	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	633.4	[kN]
$V_{Rd,0}$	633.4	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.91	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1473	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	5474	[kN]
$V_{Rd} = \min (V_{Rs,d} ; V_{Rc,d})$	1473	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.39	[-]

Tabella 113 – Verifica a taglio – SLV – Arco Rovescio

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	811.91	[kN]
N_{Ed-SLU}	1272.0	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1700	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	7	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1628	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	3167	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00195	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.75	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	629.7	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	629.9	[kN]
$V_{Rd,0}$	629.9	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	1.29	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	2.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	308	[mm ²]

s (passo armatura trasversale)	200	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	883	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	5463	[kN]
$V_{Rd} = \min (V_{Rs,d} ; V_{Rc,d})$	883	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.92	[-]

12 VERIFICHE DELLE OPERE DELL'IMBOCCO TRINACRIA LATO EST

12.1 Opere di sostegno

Sono state verificate le seguenti sezioni:

- sez. 1: paratia frontale H=31m;
- sez. 2: paratia di pali laterale H=23 m.

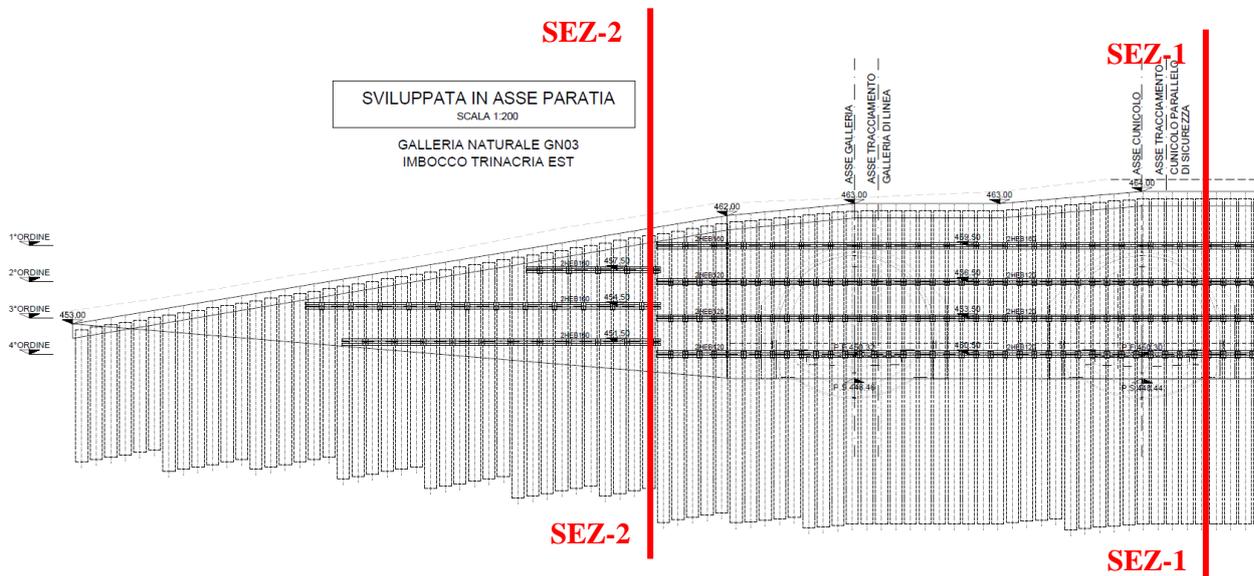


Figura 97: Sviluppata paratia con indicazione sezioni di calcolo

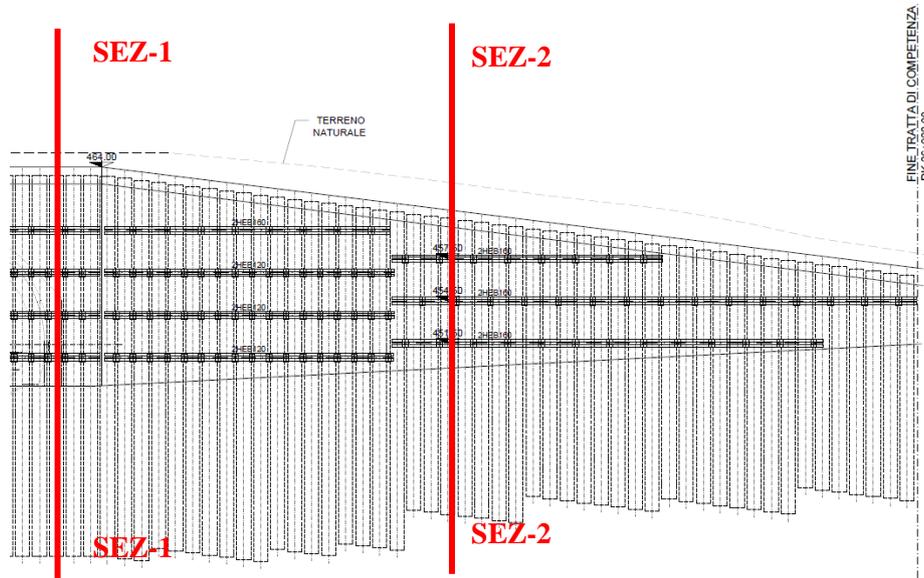


Figura 98: Sviluppo paratia con indicazione sezioni di calcolo

12.1.1 Sezione 1 – paratia di pali laterale H=31 m

Sono di seguito descritte le principali caratteristiche della struttura e del modello geotecnico per le analisi di verifica.

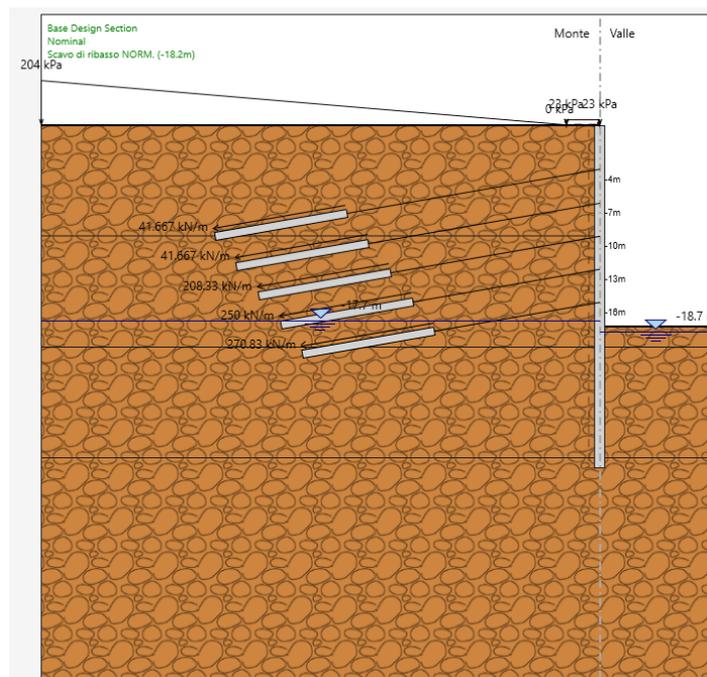


Figura 99 – Sezione 1 – paratia frontale H=31m

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

12.1.1.1 Geometria e parametri geotecnici del modello

Tabella 114 – Sezione 1 – Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo

Tipologia struttura di sostegno	Pali $\Phi 1000$ mm ad interasse 1.2 m, calcestruzzo C25/30 Travi di ripartizione: coppia di HEB 120/140/160 in acciaio S275R Tiranti a trefoli (3/4/5) in acciaio armonico
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 31$ m
Altezza di scavo	$H = 18$ m
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% (16-13)] = 0.2$ m
Ordini di tiranti (n°)	5
Passo orizzontale tiranti	2.4/1.2
Passo verticale dei tiranti	3 m
Inclinazione del piano campagna a monte	Inferiore a 10° (categoria topografica T1)
Inclinazione del piano campagna a valle	0°
Sovraccarichi permanenti a monte	Variabili per simulare il versante (da 0 a 204 kPa)
Sovraccarichi permanenti a valle	nessuno
Sovraccarichi variabili a monte	$q = 20$ kPa
Sovraccarichi variabili a valle	nessuno

Tabella 115 – Sezione 1 – Parametri geotecnici di calcolo - TRV

Terreno	Gruppo coeff. parziali	Condizione	γ	c_d	φ'_d	δ_{attiva}	$\delta_{passiva}$	E'	E'_{ur}	k_o	K_{ah}	K_{ph}
			(kN/m^3)	(kPa)	($^\circ$)	($^\circ$)	($^\circ$)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
TRV	M1	SLU	21	15	22	18	18	67-102-135	67-102-135	0.63	0.392	2.879
		SLV					0				0.4217	2.1019
	M2	SLU		15	18	15	0.69			0.4649	2.3135	
		SLV		12	18	15				0	-	-

$\gamma =$ peso dell'unità di volume

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

c'_d = coesione efficace (valore di calcolo)
ϕ'_d = angolo di resistenza al taglio (valore di calcolo)
δ = angolo d'attrito struttura/terreno
E' = modulo di Young
E'_{ur} = modulo di Young (scarico/ricarico)
k_o = coefficiente di spinta a riposo
K_a = coefficiente di spinta attiva
K_p = coefficiente di resistenza passiva

Tabella 116 – Sezione 1 – Parametri per il calcolo dell'azione sismica

Terreno	Condizione	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	a_g/g	S	a_{max}/g	α	u_s	β	K_h
		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	(-)	(-)
TRV	SLV	C	T1	0.0794	1.50	0.1191	0.498	0.155	0.46	0.0274

α = coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 del DM 17/01/2018)
 u_s = spostamento ammissibile
 β = coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 del DM 17/01/2018)
 k_h = coefficiente sismico

12.1.1.2 Fasi di calcolo

L'analisi è articolata nelle seguenti fasi:

- Condizione geostatica e carico permanente del versante lato monte;
- Esecuzione della paratia di pali;
- Successivi step di scavo e di installazione dei tiranti a trefoli;
- Scavo fino alla quota relativa al fondo scavo;
- Applicazione dell'azione sismica in corrispondenza della quota di fondo scavo;

12.1.1.3 Risultati delle analisi e verifiche

I risultati delle analisi sono di seguito descritti ed illustrati.

1) Verifica del complesso opera-terreno

La verifica è finalizzata a garantire il corretto dimensionamento dell'opera con particolare riferimento alla profondità di infissione della paratia, sia in condizioni statiche (SLU) che sismiche (SLV). A tale scopo, nei prospetti che seguono, sono riportati gli output in termini di deformata dell'opera.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Per entrambi gli stati limite considerati, la profondità di infissione dell'opera di sostegno garantisce uno spostamento nullo al piede.

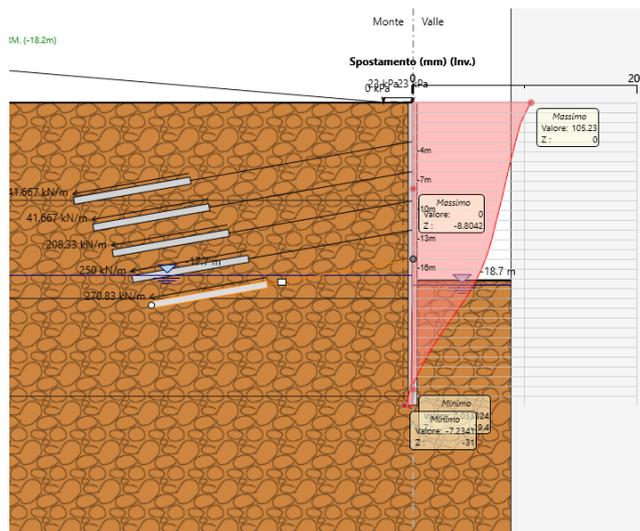


Figura 100 – Sezione 1 – involucro della deformata dell'opera (SLU) nei vari step di calcolo

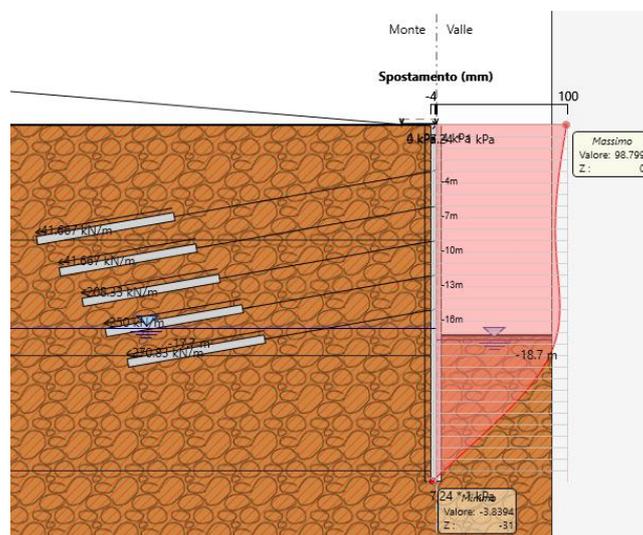


Figura 101 – Sezione 1 – involucro della deformata dell'opera (SLV) nei vari step di calcolo

2) Verifica collasso complesso opera- terreno

Per la verifica di collasso del complesso opera-terreno è stato definito un modello di calcolo all'interno del quale sono state imposte delle proprietà geomeccaniche dei terreni ridotte con i coefficienti parziali M2. Nel modello sono state imposte le stesse fasi esecutive riportate precedentemente.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

La convergenza di tale calcolo indica che la lunghezza assunta per i pali è sufficiente affinché non si inneschi un movimento di rotazione intorno al piede del palo stesso.

3) Verifica dei tiranti

Nei prospetti che seguono, per ciascun ordine di tiranti, sono riportate le principali caratteristiche geometriche e strutturali e gli involuppi dell'azione assiale in combinazione statica e sismica.

Si sottolinea che la lunghezza libera del tirante è da intendersi comprensiva dell'incremento valutato in condizioni sismiche secondo la formulazione proposta dal D.M. 17/01/2018 nel §7.11.6.4 in funzione della massima accelerazione sismica di progetto.

Tabella 117 – Sezione 1 – caratteristiche geometriche dei tiranti

Ordine tirante	i	Quota da testa paratia	L _{libera min statica}	L _{libera min sismica}	n° trefoli	L _{libera di progetto}	L _{fondazione}	L _{totale}	T _{iniz}
[-]	[°]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[m]	[m]	[kN]
I	10	4	19.3	22.8	3	23	12	35	100
II	10	7	17.6	20.7	4	21	12	33	100
III	10	10	15.9	18.7	5	19	12	31	250
IV	10	13	14.1	16.6	5	17	12	29	300
V	10	16	12.4	14.6	5	15	12	27	325

Tabella 118 – Sezione 1 – caratteristiche meccaniche dei tiranti

Altezza totale della paratia	$H_{paratia}$	31	m
Spessore della paratia (Φ perforazione)	$S_{paratia}$	1.0	m
Altezza massima di scavo	H_{scavo}	18	m
Altezza di infissione della paratia	$H_{infissione}$	13	m
Profondità della falda da testa paratia	Z_{falda}	4.2	m

N° ordini di tiranti	n° tiranti	5	-
Tipologia tiranti	Temporanei		
Coefficiente parziale per resistenza a sfilamento	γ_R	1.2	-
Area del singolo trefolo	$A_{trefolo}$	1.39	cm ²
Diametro del singolo trefolo	$\Phi_{trefolo}$	15.2	mm
Tensione caratteristica di rottura	f_{ptk}	1860	N/mm ²
Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale	$f_{p(1)k}$	1670	N/mm ²
Coefficiente parziale condizioni permanenti e transitorie	γ_S	1.15	-
Tensione di calcolo acciaio (condizioni permanenti e transitorie)	f_{yd}	1452.17	N/mm ²
Coefficiente parziale condizioni eccezionali	γ_S	1.00	-

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tensione di calcolo acciaio (condizioni eccezionali)	f_{yd}	1670	N/mm ²
Forza di trazione a rottura dell'acciaio (singolo trefolo)	F_{pk}	232.13	kN/trefolo
Verifica rapporto di duttilità $f_{ptk}/f_{p(1)k} \geq 1,1$	$f_{ptk}/f_{p(1)k}$	1.11	-
Resistenza di progetto del singolo trefolo (condizioni ordinarie)	R_{ad}	201.85	kN/trefolo
Resistenza di progetto del singolo trefolo (condizioni eccezionali)	R_{ad}	232.13	kN/trefolo
Tensione limite (in esercizio e in fase di tesatura)	σ_{spi}	1395	N/mm ²
Trazione limite per il singolo trefolo	$N_{q,amm}$	193.91	kN/trefolo
Numero di verticali di indagine	$n^{\circ}_{sondaggi}$	1	-
Fattore di correlazione per la resistenza caratteristica	ξ_{a3}	1.8	-
Resistenza cubica caratteristica della malta	R_{ck}	30	MPa
Resistenza a trazione semplice della malta	f_{ctm}	2.56	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza della malta	γ_c	1.5	-
Tensione limite di aderenza trefoli-malta	τ_{tm}	1.2	MPa
Tasso nominale di esercizio del singolo trefolo	$S_{e,es}$	1336	MPa
Tiro massimo iniziale del sigolo trefolo	T_0	120	kN/trefolo

Verifica a sfilamento della fondazione dei tiranti

Per la verifica a sfilamento della fondazione dei tiranti, in considerazione della tecnologia realizzativa e delle caratteristiche geotecniche del mezzo al contorno, la resistenza caratteristica a sfilamento all'interfaccia bulbo di ancoraggio – terreno è stata valutata secondo le indicazioni di Bustamante e Doix (1985) e Viggiani (1999).

La resistenza a sfilamento di progetto è determinata attraverso la seguente relazione:

$$N_{R,ad} = \frac{N_{R,ak}}{\gamma_{Ra,p}} = \frac{\pi \cdot D_p \cdot \alpha \cdot \tau_{ak} \cdot L_a}{\gamma_{Ra,p} \cdot \xi}$$

dove:

- $N_{R,ad}$ è la resistenza a sfilamento di progetto dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno;
- D_p è il diametro di perforazione della fondazione del tirante;
- α è un coefficiente correttivo che tiene conto della tecnologia realizzativa dell'ancoraggio e del contesto geotecnico (Viggiani, '99);
- τ_{ak} è la tensione resistente a sfilamento caratteristica dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno;
- L_a è la lunghezza della fondazione del tirante;
- $\gamma_{Ra,p}$ è il coefficiente parziale per la resistenza degli ancoraggi (R3); a favore di sicurezza si considera il valore del coefficiente parziale relativo agli ancoraggi permanenti;
- ξ è un fattore di correlazione che dipende dal numero di profili di indagine geotecnica

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

disponibili per la determinazione della resistenza caratteristica τ_{ak} .

La verifica viene condotta nel rispetto della seguente disuguaglianza:

$$N_{R,ad} \geq N_{S,d}$$

dove $N_{S,d}$ rappresenta il valore dell'azione sollecitante sui tiranti.

Nella tabella che segue è riassunto il calcolo per la determinazione di $N_{R,ad}$ per le verifiche dei diversi ordini di tiranti e l'esito della verifica, che risulta sempre soddisfatta.

Tabella 119 – Sezione 1 – verifiche Geotecniche della fondazione dei tiranti – condizioni statiche

Ordine Tirante	D_p	α	τ_{ak}	L_a	$\gamma_{Ra,p}$	ξ	$N_{R,ad}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[mm]	[-]	[kPa]	[m]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLU	450.2	1.12
2	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLU	490.4	1.02
3	180	1.2	150	12	1.2	1.8	628.0	Inviluppo SLU	592.6	1.06
4	180	1.2	150	12	1.2	1.8	628.0	Inviluppo SLU	593.9	1.06
5	180	1.2	150	12	1.2	1.8	628.0	Inviluppo SLU	466.3	1.35

Tabella 120 – Sezione 1 – verifiche Geotecniche della fondazione dei tiranti – condizioni sismiche

Ordine Tirante	D_p	α	τ_{ak}	L_a	$\gamma_{Ra,p}$	ξ	$N_{R,ad}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[mm]	[-]	[kPa]	[m]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLV	348.2	1.44
2	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLV	399.6	1.26
3	180	1.2	150	12	1.2	1.8	628.0	Inviluppo SLV	517.7	1.21
4	180	1.2	150	12	1.2	1.8	628.0	Inviluppo SLV	573.0	1.10
5	180	1.2	150	12	1.2	1.8	628.0	Inviluppo SLV	546.1	1.15

Verifica strutturale dei tiranti

La resistenza a trazione di calcolo dei tiranti è valutata secondo la seguente relazione:

$$N_{R,pd} = \frac{f_{p(1)k} \cdot A_{tr} \cdot n_{tr}}{\gamma_S}$$

dove

$f_{p(1)k}$ è la resistenza elastica dell'acciaio armonico alla deformazione dell'1%;

A_{tr} è l'area del singolo trefolo;

n_{tr} è il numero di trefoli per tirante;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

γ_s è il coefficiente parziale dell'acciaio.

La verifica viene condotta nel rispetto della seguente disuguaglianza:

$$N_{R,pd} \geq N_{S,d}$$

Nella tabella che segue è riassunto il calcolo per la determinazione di $N_{R,pd}$ per le verifiche strutturali dei differenti ordini di tiranti e l'esito della verifica, che risulta sempre soddisfatta.

Tabella 121 – Sezione 1 – Verifiche strutturali dell'armatura dei tiranti – condizioni statiche

Ordine Tirante	$f_{p(1)k}$	A_{tr}	n_{tr}	γ_s	$N_{R,pd}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[MPa]	[mm ²]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	1670	139	3	1.15	605.6	Inviluppo SLU	450.3	1.34
2	1670	139	4	1.15	807.4	Inviluppo SLU	490.4	1.65
3	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLU	592.6	1.70
4	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLU	593.89	1.70
5	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLU	466.25	2.16

Tabella 122 – Sezione 1 - Verifiche strutturali dell'armatura dei tiranti – condizioni sismiche

Ordine Tirante	$f_{p(1)k}$	A_{tr}	n_{tr}	γ_s	$N_{R,pd}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[MPa]	[mm ²]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	1670	139	3	1.15	605.6	Inviluppo SLV	348.2	1.74
2	1670	139	4	1.15	807.4	Inviluppo SLV	399.6	2.02
3	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLV	517.7	1.95
4	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLV	573.0	1.76
5	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLV	466.3	1.85

Infine, nel rispetto della gerarchia delle resistenze, è necessario verificare che la resistenza caratteristica al limite di snervamento del tratto libero sia sempre maggiore della resistenza caratteristica a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio. Dal confronto tra i risultati, esposti nella tabella precedente, emerge che tale verifica è sempre soddisfatta essendo $R_d / E_d > 1$.

4) Verifica stabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno

Le verifiche di stabilità globale sono state condotte con il metodo dell'equilibrio limite mediante il software Slope/W (Geostudio 2007).

Il calcolo è stato condotto analizzando superfici di scorrimento secondo la formulazione di Morgenstern & Price.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

L'analisi viene effettuata con parametri abbattuti secondo i coefficienti di normativa M2 in condizioni statiche, mentre in condizioni sismiche si utilizzano i coefficienti M1.

Il valore del sovraccarico in fase statica è di 20 kPa, mentre in fase sismica deve essere moltiplicato per il fattore $Q=0.20$, quindi si ottiene un valore di 4 kPa.

Il valore di profondità della falda in corrispondenza dell'asse della galleria in corrispondenza dell'imbocco Trinacria Ovest viene dedotto dalle letture piezometriche disponibili in corrispondenza dell'imbocco lato Palermo, in questo caso si valuta una profondità di falda di circa 12 m.

Le azioni sismiche pseudo-statiche sono state sintetizzate nella seguente tabella:

Tabella 10: Sezione 1 – parametri sismici

<i>SUOLO</i>	<i>TOPOGRAFIA</i>	<i>PARAMETRI SISMICI</i>						
		<i>ag</i>	<i>S_S</i>	<i>S_T</i>	<i>a_{g,max}</i>	<i>β</i>	<i>k_h</i>	<i>k_v</i>
		(g)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
C	T1	0.078	1.5	1.0	0.1191	0.38	0.04446	0.02223

I risultati delle analisi, espressi in termini di rapporto tra R_d ed E_d , sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 11: Sezione 1 – sintesi dei risultati delle analisi di stabilità

<i>Combinazione</i>	<i>R_d/E_d</i>
"SLU" - globale	1.267
"SLV" - globale	1.288

Nelle figure seguenti sono rappresentate le superfici di scorrimento critiche a cui corrisponde il minor grado di sovrarresistenza (per le verifiche sismiche si riporta il caso più sfavorevole per la direzione del coefficiente sismico verticale, cfr. 11).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

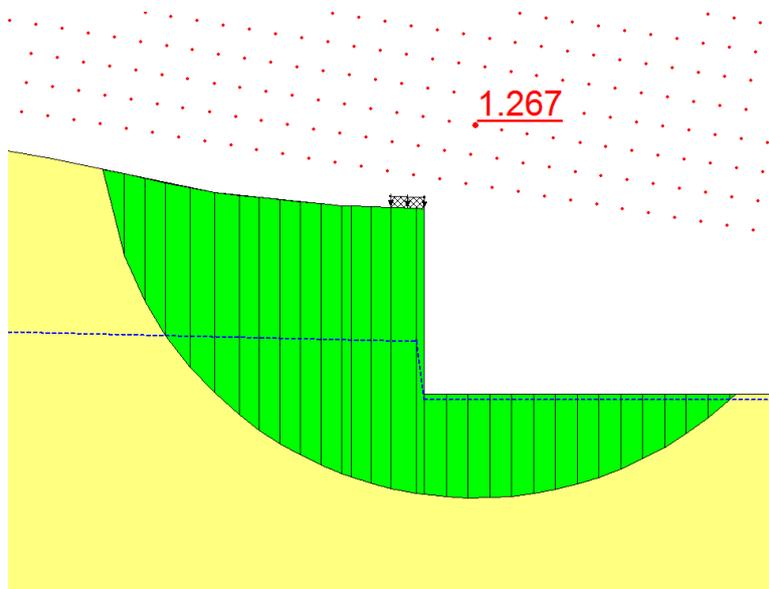


Figura 102 – Sezione 1 – superficie di scorrimento critica – condizioni statiche globali

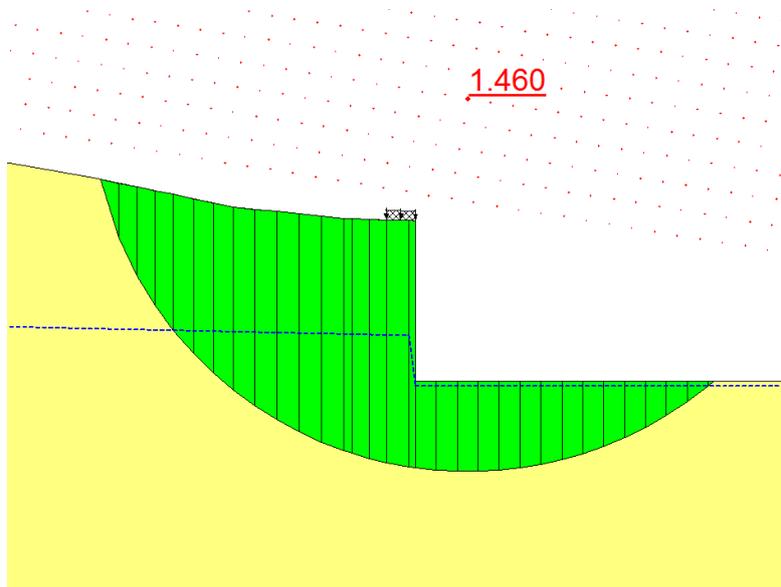


Figura 103 – Sezione 1 – superficie di scorrimento critica – condizioni sismiche globali

5) Verifica resistenza strutturale dei pali della paratia

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Nei prospetti che seguono, per le combinazioni STR statica e sismica, si riportano gli andamenti delle caratteristiche della sollecitazione sulla paratia di pali per tutte le fasi di calcolo ed i valori delle sollecitazioni massime, utilizzate per le verifiche strutturali.

Tabella 123 – Sezione 1 – Sollecitazioni SLU, SLE, e SLV

<i>Condizione</i>	<i>Fase di calcolo</i>	<i>Soll. Max.</i>	<i>Quota</i>	<i>M_{Sd}</i>	<i>T_{Sd}</i>	<i>N_{Sd}</i>
<i>[-]</i>	<i>[-]</i>	<i>[-]</i>	<i>[m]</i>	<i>[kNm/m]</i>	<i>[kN/m]</i>	<i>[kN/m]</i>
SLU	Inviluppo	Momento	-16.50	1355.25	335.92	323.98
	Inviluppo	Taglio	-13.00	726.18	459.81	255.25
SLE	Inviluppo	Momento	-16.50	1463.50	2.37	385.83
SLV	Sisma_STR	Momento	-19.65	633.98	487.72	314.16
	Sisma_STR	Taglio	-16.00	1042.50	258.40	166.90

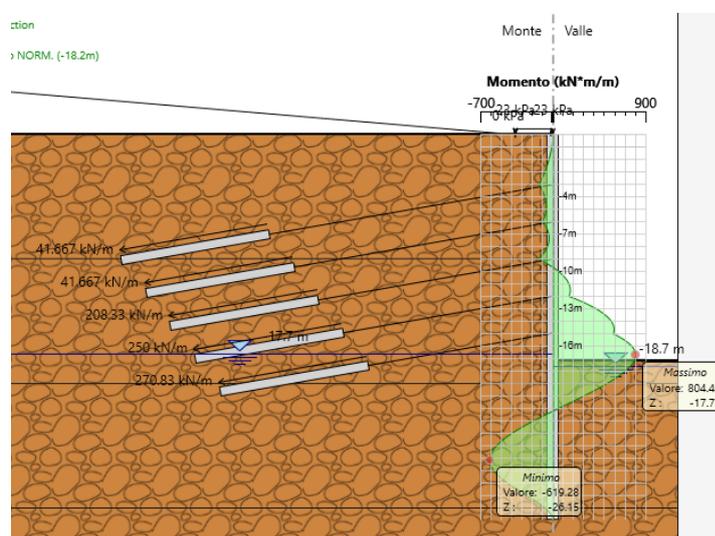


Figura 104 – Sezione 1 – momento flettente statico agente nei pali (SLE)

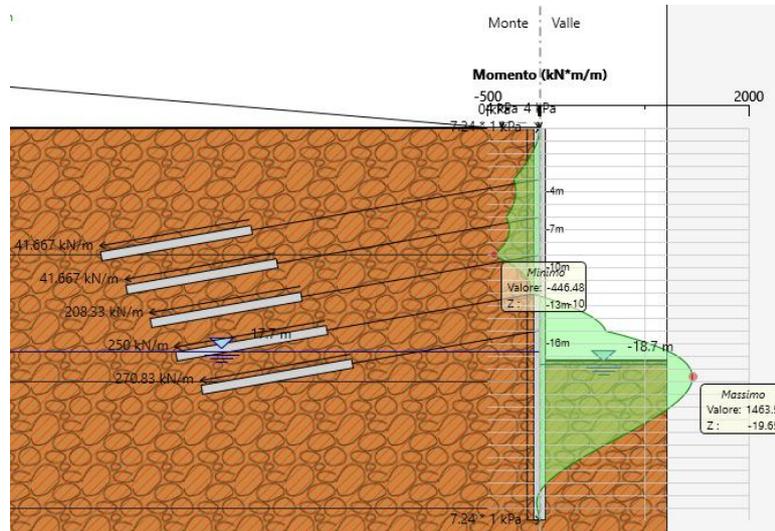


Figura 105 – Sezione 1 – momento flettente sismico agente nei pali (SLV)

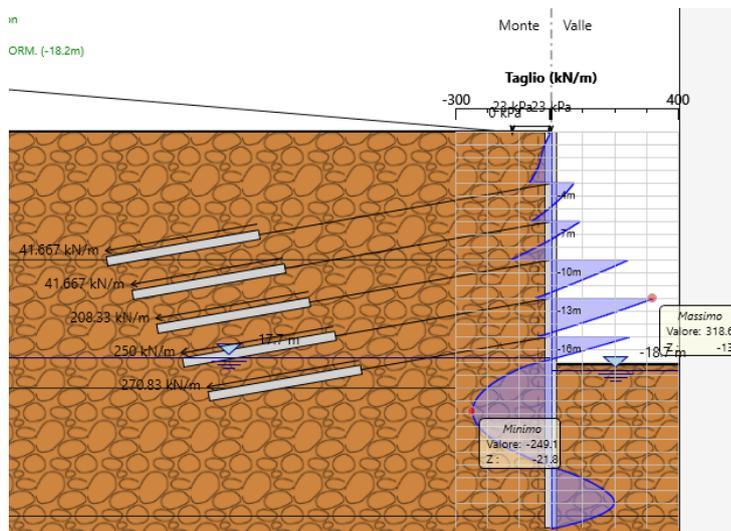
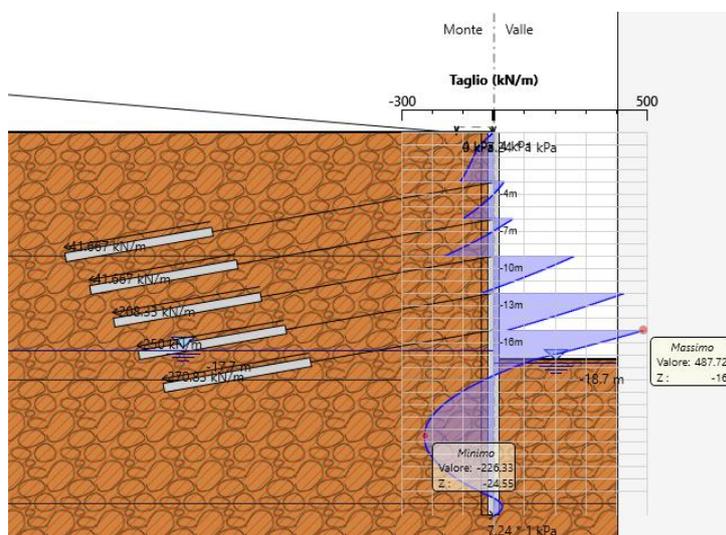


Figura 106 – Sezione 1 – taglio statico agente nei pali (SLE)


Figura 107 – Sezione 1 – taglio sismico agente nei pali (SLV)

Le sollecitazioni più gravose sono quelle derivanti dall'analisi sismica. I valori di taglio e momento flettente esposti nella tabella precedente devono essere moltiplicati per l'interasse tra i pali così da ottenere la sollecitazione agente sul singolo palo.

Tabella 124 – Sezione 1 – materiali strutturali e geometria di verifica

MATERIALI					
Calcestruzzo			Acciaio		
R_{ck}	30	Mpa	f_{yk}	450	Mpa
f_{ck}	25	Mpa	E_s	200000	Mpa
E_{cm}	31000	Mpa	γ_c	1.15	-
γ_c	1.5	-	f_{yd}	391.3	Mpa
α_{cc}	0.85	-	ϵ_{uk}	75	‰
f_{cd}	14.1	Mpa			
f_{ctm}	2.6	MPa			
ν	0.5	-			
ϵ_{c2}	2	‰			
ϵ_{cu2}	3.5	‰			
α_e	15.0	-			
k_t	0.4	-			
k_1	0.8	-	Valori limite		

GEOMETRIA			
Sezione trasversale			
D	100	cm	
d	91.2	cm	
Armatura longitudinale			
n_{barre}	Φ	c	A_{sl}
	mm	mm	cm ²
32	26	75	169.90
	0	173	0.00
Armatura a taglio			
tipo	Φ	passo	c
	mm	cm	mm
Spirale	12	20	63

k ₂	0.5	-	0,45 f _{ck}	11.2	Mpa
k ₃	1.63	-	0,8 f _{yk}	360	Mpa
k ₄	0.425	-	W _{k,lim}	0.3	mm

Tabella 125 – Sezione 1 – verifica combinazione Mmax e Tmax

VERIFICA A TAGLIO - SLU					
α	90	°	M _{Ed}	871.42	kNm
A _{sw}	226.2	mm ²	N _{ed}	255.25	kN
r	500.0	mm	V _{ed}	551.77	kN
r _s	437.0	mm	M _{Rd}	2321	kNm
α	0.6	rad			
A _{tot}	785398.2	mm ²	V _{Rd}	507.6	kN
A	655793.4	mm ²	FS	0.92	-
b	842.7	mm	<i>Necessita di armatura a taglio</i>		
h	932.0	mm			
d	778.2	mm	cotθ	2.5	-
γ _c	1.5	-			
σ _{cp}	0.3	kPa	V _{Rsd}	774.9	kN
ρ _l	2.6	%	FS	1.40	-
k	1.5	-	V _{Rcd}	1435.9	kN
v _{min}	0.3	-	FS	2.60	-
α _c	1.0	-			

VERIFICA A TAGLIO - SLV					
α	90	°	M _{Ed}	760.78	kNm
A _{sw}	226.2	mm ²	N _{ed}	314.16	kN
r	500.0	mm	V _{ed}	585.26	kN
r _s	437.0	mm	M _{Rd}	2334	kNm
α	0.6	rad			
A _{tot}	785398.2	mm ²	V _{Rd}	507.6	kN
A	655793.4	mm ²	FS	0.87	-
b	842.7	mm	<i>Necessita di armatura a taglio</i>		

h	932.0	mm			
d	778.2	mm	cotθ	2.5	-
γ _c	1.5	-			
σ _{cp}	0.3	kPa	V _{Rsd}	774.9	kN
ρ _l	2.6	%	FS	1.32	-
k	1.5	-	V _{Rcd}	1435.9	kN
v _{min}	0.3	-	FS	2.45	-
α _c	1.0	-			

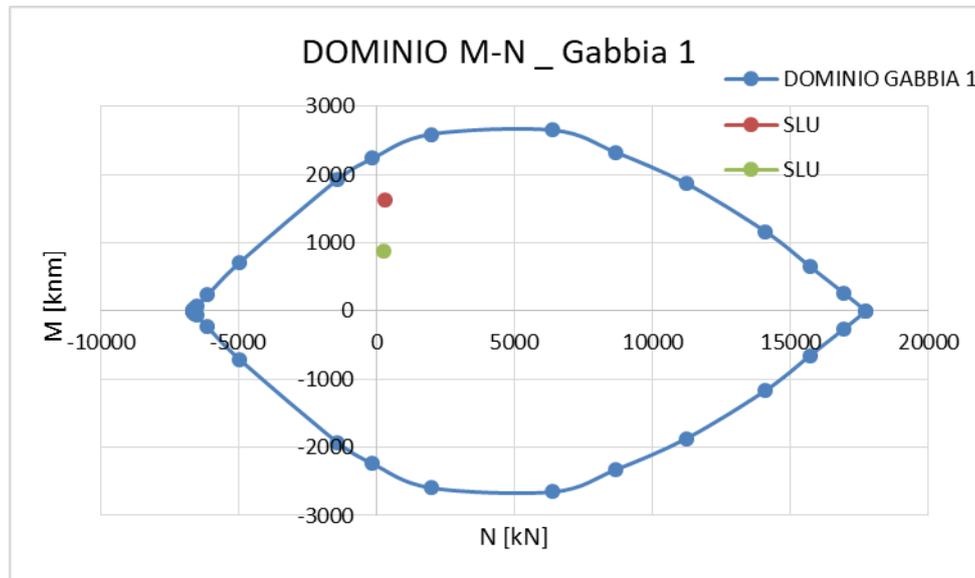


Figura 108 – Dominio M-N - SLU

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]	numero	[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]
STATICO	144.31	2.4	S275R	275	1.05	261.90	HEB140	215.6	245.4	42.96	13.1
SISMICO	145.1						2				

Tabella 127 – Verifiche trave di ripartizione – I ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γ_A	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	41.6	86.6	1.3	54.0	112.6	56.5	64.3	56.5	197.8	1.05	1.76
SISMICO	41.8	87.1	1.0	41.8	87.1	56.5	64.3	64.3	197.8	1.54	2.27

Tabella 128 – Caratteristiche trave di ripartizione – II ordine

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato				
	T paratie	passo	Tipo	fyk	γ_{M0}	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]
STATICO	157.19	2.4	S275R	275	1.05	261.90	HEB160	311.5	354.0	54.25	17.6
SISMICO	166.5						2				

Tabella 129 – Verifiche trave di ripartizione – II ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γ_A	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	45.3	94.3	1.3	58.9	122.6	81.6	92.7	92.7	266.0	1.58	2.17
SISMICO	48.0	99.9	1.0	48.0	99.9	81.6	92.7	92.7	266.0	1.93	2.66

Tabella 130 – Caratteristiche trave di ripartizione – III ordine

A1+M1	Dati da Paratie	Tipo acciaio	Profilato
-------	-----------------	--------------	-----------

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

	T paratie	passo	Tipo	fyk	$\gamma M0$	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]
STATICO	379.88	1.2	S275R	275	1.05	261.90	HEB120	144.1	165.2	34.01	11.0
SISMICO	431.44						2				

Tabella 131 – Verifiche trave di ripartizione – III ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γA	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	27.4	114.0	1.3	35.6	148.2	37.7	43.3	37.7	165.8	1.06	1.12
SISMICO	31.1	129.4	1.0	31.1	129.4	37.7	43.3	37.7	165.8	1.21	1.28

Tabella 132 – Caratteristiche trave di ripartizione – IV ordine

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato				
	T paratie	passo	Tipo	fyk	$\gamma M0$	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]
STATICO	380.70	1.2	S275R	275	1.05	261.90	HEB120	144.1	165.2	34.01	11.0
SISMICO	477.46						2				

Tabella 133 – Verifiche trave di ripartizione – IV ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γA	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	27.4	114.2	1.3	35.6	148.5	37.7	43.3	37.7	165.8	1.06	1.12
SISMICO	34.4	143.2	1.0	34.4	143.2	37.7	43.3	37.7	165.8	1.10	1.16

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 134 – Caratteristiche trave di ripartizione – V ordine

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato				
	T paratie	passo	Tipo	fyk	$\gamma M0$	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]
STATICO	298.88	1.2	S275R	275	1.05	261.90	HEB120	144.1	165.2	34.01	11.0
SISMICO	455.06						2				

Tabella 135 – Verifiche trave di ripartizione – V ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γA	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	21.5	89.7	1.3	28.0	116.6	37.7	43.3	37.7	165.8	1.35	1.42
SISMICO	32.8	136.5	1.0	32.8	136.5	37.7	43.3	37.7	165.8	1.15	1.21

Tutte le verifiche sono soddisfatte.

12.1.2 Sezione 2 – paratia di pali laterale $H=23$ m

Sono di seguito descritte le principali caratteristiche della struttura e del modello geotecnico per le analisi di verifica.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

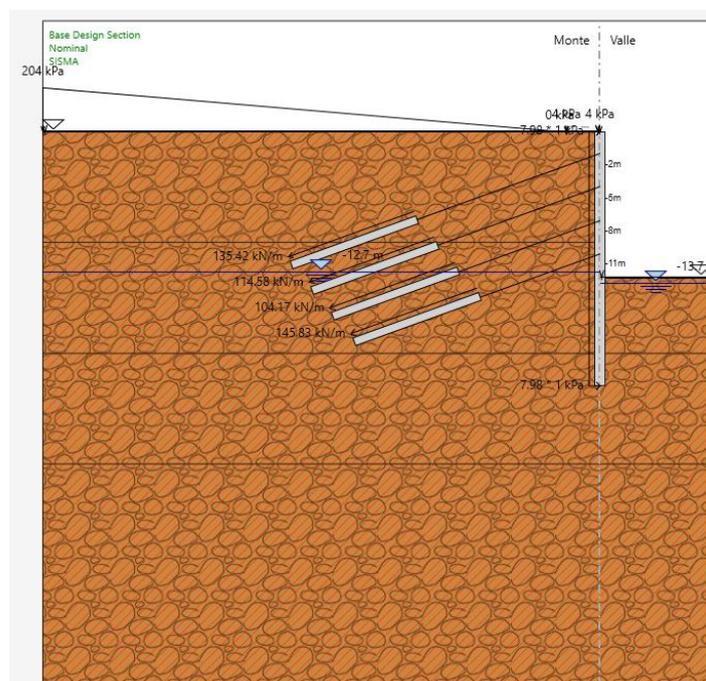


Figura 110 – Sezione 2 – paratia frontale H=23m

12.1.2.1 Geometria e parametri geotecnici del modello

Per la descrizione del modello geotecnico per la sezione di imbocco si rimanda al paragrafo 8.3.

Nella figura precedente si riporta la geometria della sezione a scavo ultimato, con 4 ordini di tiranti e il complesso di carichi considerati agenti a tergo dell'opera.

Tabella 136 – Sezione 2 – Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo

Tipologia struttura di sostegno	Pali $\Phi 1000$ mm ad interasse 1.2 m, calcestruzzo C25/30 Travi di ripartizione: coppia di HEB 160 in acciaio S275R Tiranti a trefoli (4/5) in acciaio armonico
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 23$ m
Altezza di scavo	$H = 13$ m
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% (12-8)] = 0.2$ m
Ordini di tiranti (n°)	4

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Passo orizzontale tiranti	2.4
Passo verticale dei tiranti	3 m
Inclinazione del piano campagna a monte	Inferiore a 10° (categoria topografica T1)
Inclinazione del piano campagna a valle	0°
Sovraccarichi permanenti a monte	Variabili per simulare il versante (da 0 a 204 kPa)
Sovraccarichi permanenti a valle	nessuno
Sovraccarichi variabili a monte	q = 20 kPa
Sovraccarichi variabili a valle	nessuno

Tabella 137 – Sezione 2 – Parametri geotecnici di calcolo - TRV

Terreno	Gruppo coeff. parziali	Condizione	γ	c_d	φ'_d	δ_{attiva}	$\delta_{passiva}$	E'	E'_{ur}	k_o	K_{ah}	K_{ph}
			(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(°)	(°)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)
TRV	M1	SLU	21	15	22	18	18	67-102-135	67-102-135	0.63	0.392	2.879
		SLV					0				0.4217	2.1019
	M2	SLU		12	18	15	15			0.69	0.4649	2.3135
		SLV				0					-	
γ = peso dell'unità di volume												
c'_d = coesione efficace (valore di calcolo)												
φ'_d = angolo di resistenza al taglio (valore di calcolo)												
δ = angolo d'attrito struttura/terreno												
E' = modulo di Young												
E'_{ur} = modulo di Young (scarico/ricarico)												
k_o = coefficiente di spinta a riposo												
K_a = coefficiente di spinta attiva												
K_p = coefficiente di resistenza passiva												

Tabella 138 – Sezione 2 – Parametri per il calcolo dell'azione sismica

Terreno	Condizione	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	a_g/g	S	a_{max}/g	α	u_s	β	K_h
		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	(-)	(-)
TRV	SLV	C	T1	0.0794	1.50	0.1191	0.674	0.115	0.50	0.04030

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 219 di 329

α = coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 del DM 17/01/2018)
 u_s = spostamento ammissibile
 β = coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 del DM 17/01/2018)
 k_h = coefficiente sismico

12.1.2.2 Fasi di calcolo

L'analisi è articolata nelle seguenti fasi:

- a. Condizione geostatica e carico permanente del versante lato monte;
- b. Esecuzione della paratia di pali;
- c. Successivi step di scavo e di installazione dei tiranti a trefoli;
- d. Scavo fino alla quota relativa al fondo scavo;
- e. Applicazione dell'azione sismica in corrispondenza della quota di fondo scavo;

12.1.2.3 Risultati delle analisi e verifiche

I risultati delle analisi sono di seguito descritti ed illustrati.

1) Verifica del complesso opera-terreno

La verifica è finalizzata a garantire il corretto dimensionamento dell'opera con particolare riferimento alla profondità di infissione della paratia, sia in condizioni statiche (SLU) che sismiche (SLV). A tale scopo, nei prospetti che seguono, sono riportati gli output in termini di deformata dell'opera.

Per entrambi gli stati limite considerati, la profondità di infissione dell'opera di sostegno garantisce uno spostamento nullo al piede.

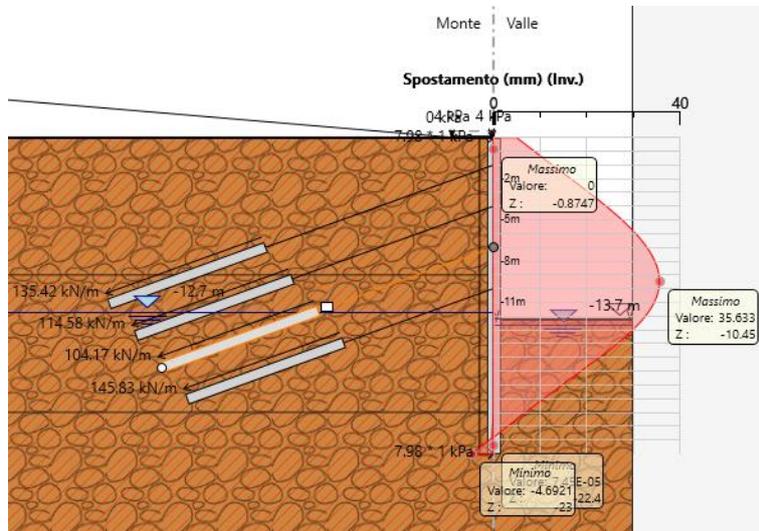


Figura 111 – Sezione 2 – involucro della deformata dell’opera (SLU) nei vari step di calcolo

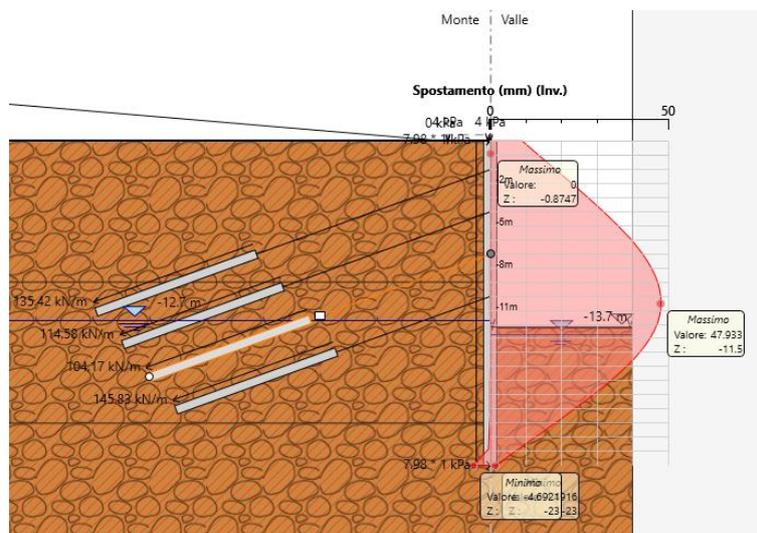


Figura 112 – Sezione 2 – involucro della deformata dell’opera (SLV) nei vari step di calcolo

2) Verifica collasso complesso opera- terreno

Per la verifica di collasso del complesso opera-terreno è stato definito un modello di calcolo all’interno del quale sono state imposte delle proprietà geomeccaniche dei terreni ridotte con i coefficienti parziali M2. Nel modello sono state imposte le stesse fasi esecutive riportate precedentemente.

La convergenza di tale calcolo indica che la lunghezza assunta per i pali è sufficiente affinché non si inneschi un movimento di rotazione intorno al piede del palo stesso.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

3) Verifica stabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno

Le verifiche di stabilità globale sono state condotte con il metodo dell'equilibrio limite mediante il software Slope/W (Geostudio 2007).

Il calcolo è stato condotto analizzando superfici di scorrimento secondo la formulazione di Morgenstern & Price.

L'analisi viene effettuata con parametri abbattuti secondo i coefficienti di normativa M2 in condizioni statiche, mentre in condizioni sismiche si utilizzano i coefficienti M1.

Il valore del sovraccarico in fase statica è di 20 kPa, mentre in fase sismica deve essere moltiplicato per il fattore $Q=0.20$, quindi si ottiene un valore di 4 kPa.

Il valore di profondità della falda in corrispondenza dell'asse della galleria in corrispondenza dell'imbocco Trinacria Est viene dedotto dalle letture piezometriche disponibili in corrispondenza dell'imbocco lato Catania, in questo caso si valuta una profondità di falda di circa 12 m.

La paratia è stata simulata come un elemento estremamente rigido. I tiranti sono stati simulati all'interno del modello in modo da non contribuire alla stabilità globale (valori di carico applicato, bar capacity e shear capacity nulli).

Le azioni sismiche pseudo-statiche sono state sintetizzate nella seguente tabella:

Tabella 139: Sezione 2 – parametri sismici

<i>SUOLO</i>	<i>TOPOGRAFIA</i>	<i>PARAMETRI SISMICI</i>						
		<i>ag</i>	<i>S_s</i>	<i>S_T</i>	<i>a_{g,max}</i>	<i>β</i>	<i>k_h</i>	<i>k_v</i>
		(g)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
C	T1	0.078	1.5	1.0	0.1191	0.38	0.04446	0.02223

I risultati delle analisi, espressi in termini di rapporto tra R_d ed E_d , sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 140: Sezione 2 – sintesi dei risultati delle analisi di stabilità

<i>Combinazione</i>	<i>R_d/ E_d</i>
“SLU” – globale (left to right)	1.779
“SLU” – globale (right to left)	1.649
“SLV” – globale (left to right)	1.811
“SLV” – globale	1.718

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

(right to left)

Nelle figure seguenti sono rappresentate le superfici di scorrimento critiche a cui corrisponde il minor grado di sovreresistenza (per le verifiche sismiche si riporta il caso più sfavorevole per la direzione del coefficiente sismico verticale, cfr. 11).

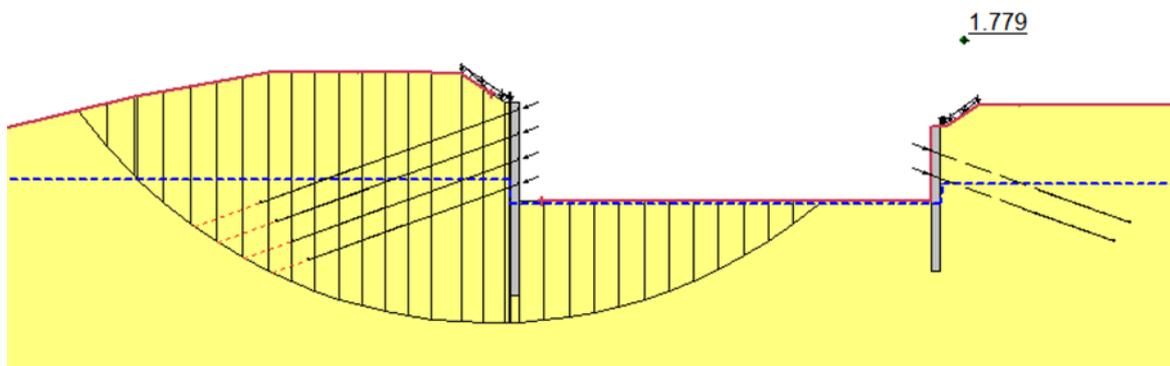


Figura 113 – Sezione 2 – superficie di scorrimento critica – condizioni statiche globali (left to right)

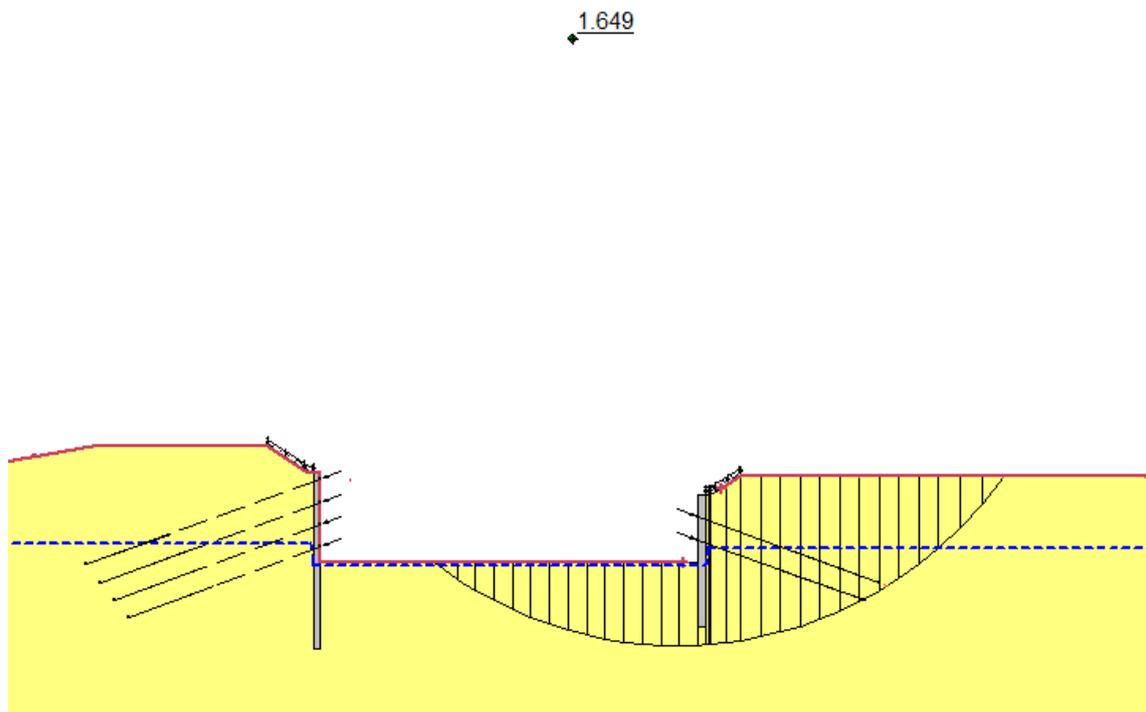


Figura 114 – Sezione 2 – superficie di scorrimento critica – condizioni statiche globali (right to left)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

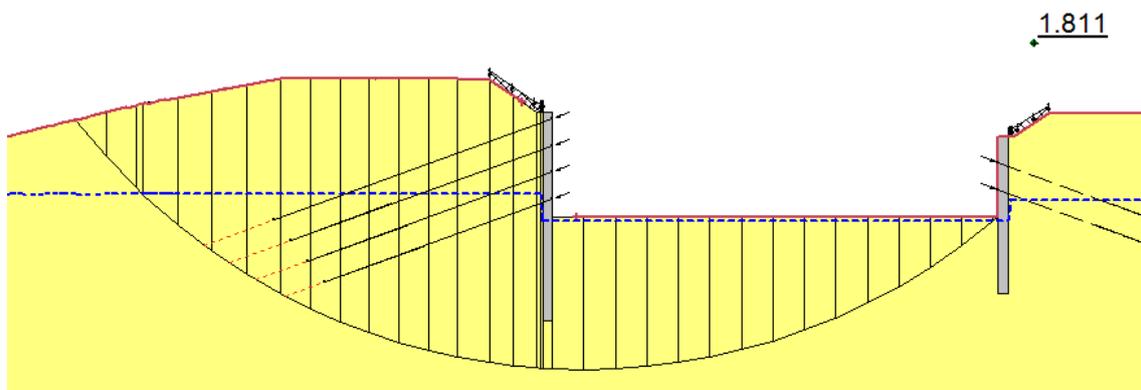


Figura 115 – Sezione 2 – superficie di scorrimento critica – condizioni sismiche globali (left to right)

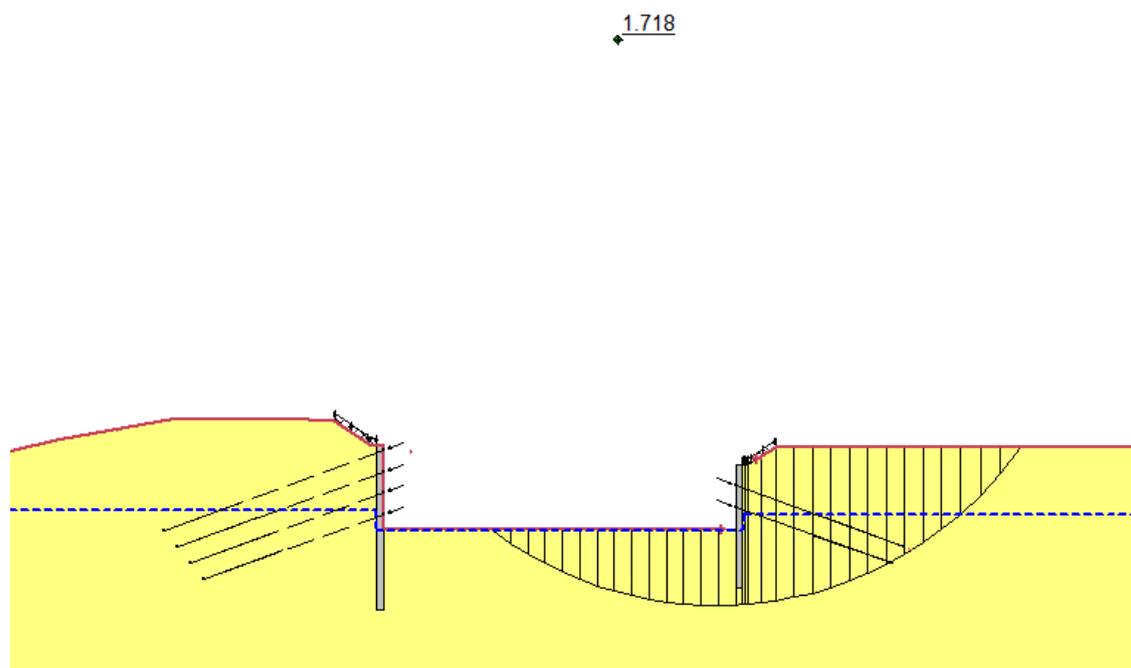


Figura 116 – Sezione 2 – superficie di scorrimento critica – condizioni sismiche globali (right to left)

4) Verifica dei tiranti

Nei prospetti che seguono, per ciascun ordine di tiranti, sono riportate le principali caratteristiche geometriche e strutturali e gli involucri dell'azione assiale in combinazione statica e sismica.

Si sottolinea che la lunghezza libera del tirante è da intendersi comprensiva dell'incremento valutato in condizioni sismiche secondo la formulazione proposta dal D.M. 17/01/2018 nel §7.11.6.4 in funzione della massima accelerazione sismica di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 141 – Sezione 2 – caratteristiche geometriche dei tiranti

Ordine tirante	i	Quota da testa paratia	L _{libera min statica}	L _{libera min sismica}	n° trefoli	L _{libera di progetto}	L _{fondazione}	L _{totale}	T _{iniz}
[-]	[°]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[m]	[m]	[kN]
I	20	2	14.8	17.5	4	17.5	12	29.5	325
II	20	5	13.1	15.4	4	15.5	12	27.5	275
III	20	8	11.4	13.4	5	13.5	12	25.5	250
IV	20	11	9.6	11.4	5	11.5	12	23.5	350

Tabella 142 – Sezione 2 – caratteristiche meccaniche dei tiranti

Altezza totale della paratia	H _{paratia}	23	m
Spessore della paratia (Φ perforazione)	S _{paratia}	1.0	m
Altezza massima di scavo	H _{scavo}	13	m
Altezza di infissione della paratia	H _{infissione}	10	m
Profondità della falda da testa paratia	Z _{falda}	4.2	m

N° ordini di tiranti	n° tiranti	4	-
Tipologia tiranti	Temporanei		
Coefficiente parziale per resistenza a sfilamento	γ _R	1.2	-
Area del singolo trefolo	A _{trefolo}	1.39	cm ²
Diametro del singolo trefolo	Φ _{trefolo}	15.2	mm
Tensione caratteristica di rottura	f _{ptk}	1860	N/mm ²
Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale	f _{p(1)k}	1670	N/mm ²
Coefficiente parziale condizioni permanenti e transitorie	γ _S	1.15	-
Tensione di calcolo acciaio (condizioni permanenti e transitorie)	f _{yd}	1452.17	N/mm ²
Coefficiente parziale condizioni eccezionali	γ _S	1.00	-
Tensione di calcolo acciaio (condizioni eccezionali)	f _{yd}	1670	N/mm ²
Forza di trazione a rottura dell'acciaio (singolo trefolo)	F _{pk}	232.13	kN/trefolo
Verifica rapporto di duttilità f _{ptk} / f _{p(1)k} ≥ 1,1	f _{ptk} / f _{p(1)k}	1.11	-
Resistenza di progetto del singolo trefolo (condizioni ordinarie)	R _{ad}	201.85	kN/trefolo
Resistenza di progetto del singolo trefolo (condizioni eccezionali)	R _{ad}	232.13	kN/trefolo
Tensione limite (in esercizio e in fase di tesatura)	σ _{spi}	1395	N/mm ²
Trazione limite per il singolo trefolo	N _{q,amm}	193.91	kN/trefolo
Numero di verticali di indagine	n° sondaggi	1	-
Fattore di correlazione per la resistenza caratteristica	ξ _{a3}	1.8	-
Resistenza cubica caratteristica della malta	R _{ck}	30	MPa

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

<i>Resistenza a trazione semplice della malta</i>	f_{ctm}	2.56	MPa
<i>Coefficiente parziale di sicurezza della malta</i>	γ_c	1.5	-
<i>Tensione limite di aderenza trefoli-malta</i>	τ_{tm}	1.2	MPa
<i>Tasso nominale di esercizio del singolo trefolo</i>	$S_{e,es}$	1336	MPa
<i>Tiro massimo iniziale del sigolo trefolo</i>	T_0	120	kN/trefolo

Verifica a sfilamento della fondazione dei tiranti

Per la verifica a sfilamento della fondazione dei tiranti, in considerazione della tecnologia realizzativa e delle caratteristiche geotecniche del mezzo al contorno, la resistenza caratteristica a sfilamento all'interfaccia bulbo di ancoraggio – terreno è stata valutata secondo le indicazioni di Bustamante e Doix (1985) e Viggiani (1999).

La resistenza a sfilamento di progetto è determinata attraverso la seguente relazione:

$$N_{R,ad} = \frac{N_{R,ak}}{\gamma_{Ra,p}} = \frac{\pi \cdot D_p \cdot \alpha \cdot \tau_{ak} \cdot L_a}{\gamma_{Ra,p} \cdot \xi}$$

dove:

- $N_{R,ad}$ è la resistenza a sfilamento di progetto dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno;
- D_p è il diametro di perforazione della fondazione del tirante;
- α è un coefficiente correttivo che tiene conto della tecnologia realizzativa dell'ancoraggio e del contesto geotecnico (Viggiani, '99);
- τ_{ak} è la tensione resistente a sfilamento caratteristica dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno;
- L_a è la lunghezza della fondazione del tirante;
- $\gamma_{Ra,p}$ è il coefficiente parziale per la resistenza degli ancoraggi (R3); a favore di sicurezza si considera il valore del coefficiente parziale relativo agli ancoraggi permanenti;
- ξ è un fattore di correlazione che dipende dal numero di profili di indagine geotecnica disponibili per la determinazione della resistenza caratteristica τ_{ak} .

La verifica viene condotta nel rispetto della seguente disuguaglianza:

$$N_{R,ad} \geq N_{S,d}$$

dove $N_{S,d}$ rappresenta il valore dell'azione sollecitante sui tiranti.

Nella tabella che segue è riassunto il calcolo per la determinazione di $N_{R,ad}$ per le verifiche dei diversi ordini di tiranti e l'esito della verifica, che risulta sempre soddisfatta.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 143 – Sezione 2 – verifiche Geotecniche della fondazione dei tiranti – condizioni statiche

Ordine Tirante	D_p	α	τ_{ak}	L_a	$\gamma_{Ra,p}$	ξ	$N_{R,ad}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[mm]	[-]	[kPa]	[m]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLU	493.1	1.02
2	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLU	484.1	1.04
3	180	1.2	150	12	1.2	1.8	565.2	Inviluppo SLU	538.1	1.05
4	180	1.2	150	12	1.2	1.8	565.2	Inviluppo SLU	456.3	1.24

Tabella 144 – Sezione 2 – verifiche Geotecniche della fondazione dei tiranti – condizioni sismiche

Ordine Tirante	D_p	α	τ_{ak}	L_a	$\gamma_{Ra,p}$	ξ	$N_{R,ad}$	Condiz.	$N_{S,d}$	R_d / E_d
[-]	[mm]	[-]	[kPa]	[m]	[-]	[-]	kN	[-]	[kN]	[-]
1	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLV	403.8	1.24
2	160	1.2	150	12	1.2	1.8	502.4	Inviluppo SLV	408.7	1.23
3	180	1.2	150	12	1.2	1.8	565.2	Inviluppo SLV	478.8	1.18
4	180	1.2	150	12	1.2	1.8	565.2	Inviluppo SLV	452.6	1.25

Verifica strutturale dei tiranti

La resistenza a trazione di calcolo dei tiranti è valutata secondo la seguente relazione:

$$N_{R,pd} = \frac{f_{p(1)k} \cdot A_{tr} \cdot n_{tr}}{\gamma_S}$$

dove

$f_{p(1)k}$ è la resistenza elastica dell'acciaio armonico alla deformazione dell'1%;

A_{tr} è l'area del singolo trefolo;

n_{tr} è il numero di trefoli per tirante;

γ_S è il coefficiente parziale dell'acciaio.

La verifica viene condotta nel rispetto della seguente disuguaglianza:

$$N_{R,pd} \geq N_{S,d}$$

Nella tabella che segue è riassunto il calcolo per la determinazione di $N_{R,pd}$ per le verifiche strutturali dei differenti ordini di tiranti e l'esito della verifica, che risulta sempre soddisfatta.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 145 – Sezione 2 – Verifiche strutturali dell’armatura dei tiranti – condizioni statiche

<i>Ordine Tirante</i>	$f_{p(l)k}$	A_{tr}	n_{tr}	γ_s	$N_{R,pd}$	<i>Condiz.</i>	$N_{S,d}$	R_d / E_d
<i>[-]</i>	<i>[MPa]</i>	<i>[mm²]</i>	<i>[-]</i>	<i>[-]</i>	<i>kN</i>	<i>[-]</i>	<i>[kN]</i>	<i>[-]</i>
1	1670	139	4	1.15	807.4	Inviluppo SLU	493.05	1.64
2	1670	139	4	1.15	807.4	Inviluppo SLU	484.07	1.67
3	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLU	538.14	1.88
4	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLU	456.3	2.21

Tabella 146 – Sezione 2 – Verifiche strutturali dell’armatura dei tiranti – condizioni sismiche

<i>Ordine Tirante</i>	$f_{p(l)k}$	A_{tr}	n_{tr}	γ_s	$N_{R,pd}$	<i>Condiz.</i>	$N_{S,d}$	R_d / E_d
<i>[-]</i>	<i>[MPa]</i>	<i>[mm²]</i>	<i>[-]</i>	<i>[-]</i>	<i>kN</i>	<i>[-]</i>	<i>[kN]</i>	<i>[-]</i>
1	1670	139	4	1.15	807.4	Inviluppo SLV	403.8	2.00
2	1670	139	4	1.15	807.4	Inviluppo SLV	408.7	1.98
3	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLV	478.75	2.11
4	1670	139	5	1.15	1009.3	Inviluppo SLV	452.57	2.23

Infine, nel rispetto della gerarchia delle resistenze, è necessario verificare che la resistenza caratteristica al limite di snervamento del tratto libero sia sempre maggiore della resistenza caratteristica a sfilamento della fondazione dell’ancoraggio. Dal confronto tra i risultati, esposti nella tabella precedente, emerge che tale verifica è sempre soddisfatta essendo $R_d / E_d > 1$.

5) Verifica resistenza strutturale dei pali della paratia

Nei prospetti che seguono, per le combinazioni STR statica e sismica, si riportano gli andamenti delle caratteristiche della sollecitazione sulla paratia di pali per tutte le fasi di calcolo ed i valori delle sollecitazioni massime, utilizzate per le verifiche strutturali.

Tabella 147 – Sezione 2 – Sollecitazioni SLU, SLE, e SLV

<i>Condizione</i>	<i>Fase di calcolo</i>	<i>Soll. Max.</i>	<i>Quota</i>	M_{Sd}	T_{Sd}	N_{Sd}
<i>[-]</i>	<i>[-]</i>	<i>[-]</i>	<i>[m]</i>	<i>[kNm/m]</i>	<i>[kN/m]</i>	<i>[kN/m]</i>
SLU	Inviluppo	Momento	-11.05	1923.48	226.43	216.97
	Inviluppo	Taglio	-14.95	964.66	393.21	293.54
SLE	Inviluppo	Momento	-11.05	1479.6	174.18	216.9662
SLV	Sisma_STR	Momento	1550.16	4.86	247.40	1550.16

Sisma_STR	Taglio	933.94	293.58	157.08	933.94
-----------	--------	--------	--------	--------	--------

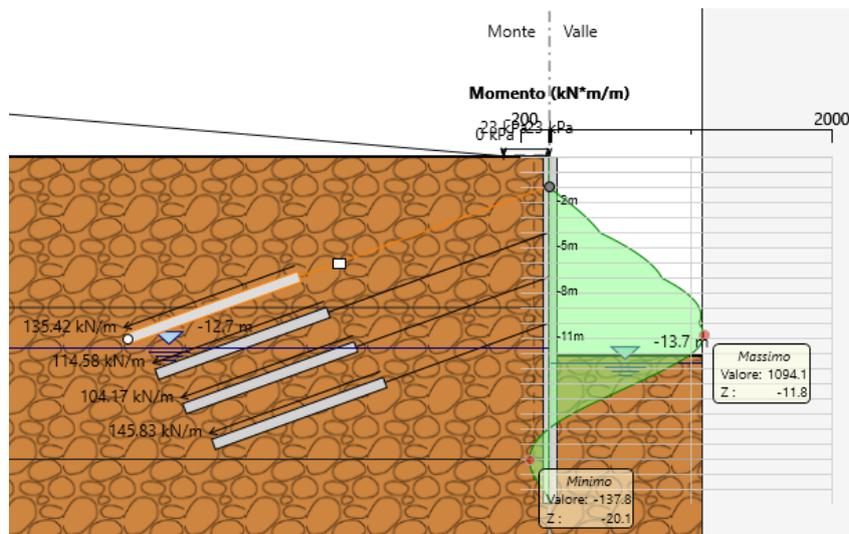


Figura 117 – Sezione 2 – momento flettente statico agente nei pali (SLE)

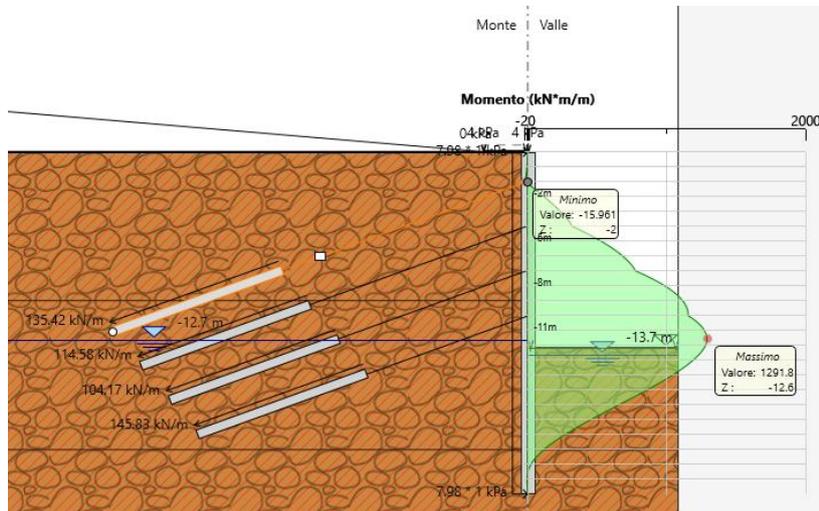
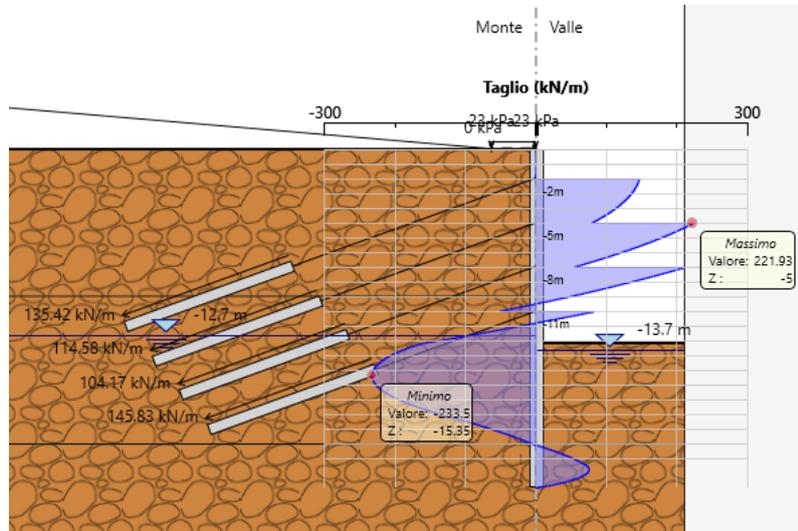
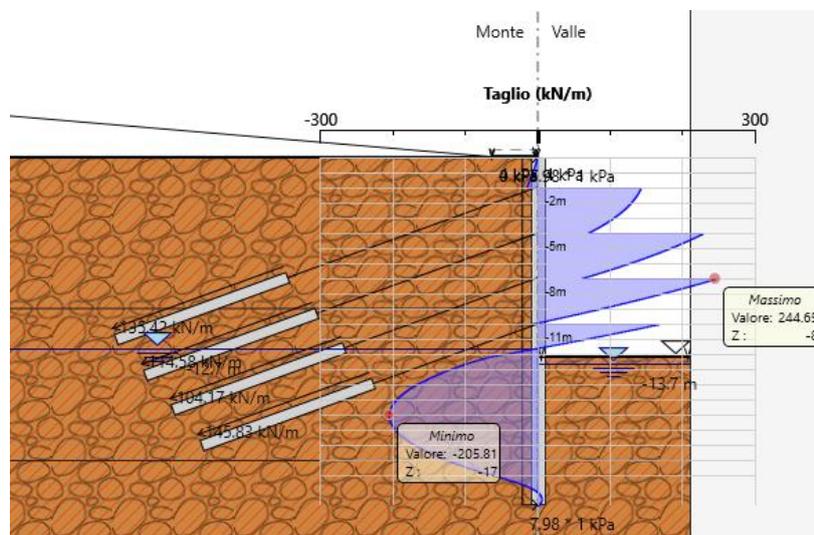


Figura 118 – Sezione 2 – momento flettente sismico agente nei pali (SLV)


Figura 119 – Sezione 2 – taglio statico agente nei pali (SLE)

Figura 120 – Sezione 2 – taglio sismico agente nei pali (SLV)

Le sollecitazioni più gravose sono quelle derivanti dall'analisi statica SLU. I valori di taglio e momento flettente esposti nella tabella precedente devono essere moltiplicati per l'interasse tra i pali così da ottenere la sollecitazione agente sul singolo palo.

Tabella 148 – Sezione 2 – materiali strutturali e geometria di verifica
MATERIALI
GEOMETRIA

Calcestruzzo			Acciaio		
R_{ck}	30	Mpa	f_{yk}	450	Mpa
f_{ck}	25	Mpa	E_s	200000	Mpa
E_{cm}	31000	Mpa	γ_c	1.15	-
γ_c	1.5	-	f_{yd}	391.3	Mpa
α_{cc}	0.85	-	ϵ_{uk}	75	‰
f_{cd}	14.1	Mpa			
f_{ctm}	2.6	MPa			
ν	0.5	-			
ϵ_{c2}	2	‰			
ϵ_{cu2}	3.5	‰			
α_e	15.0	-			
k_t	0.4	-			
k_1	0.8	-	Valori limite		
k_2	0.5	-	$0,45 f_{ck}$	11.2	Mpa
k_3	1.61	-	$0,8 f_{yk}$	360	Mpa
k_4	0.425	-	$W_{k,lim}$	0.3	mm

Sezione trasversale			
D	100	cm	
d	90.8	cm	
Armatura longitudinale			
n_{barre}	Φ	c	A_{sl}
	mm	mm	cm ²
30	30	77	212.06
	0	179	0.00
Armatura a taglio			
tipo	Φ	passo	c
	mm	cm	mm
Spirale	12	30	65

Tabella 149 – Sezione 2 – verifica combinazione Mmax e Tmax

VERIFICA A TAGLIO - SLU					
α	90	°	M_{Ed}	964.66	kNm
A_{sw}	226.2	mm ²	N_{Ed}	293.54	kN
r	500.0	mm	V_{Ed}	393.21	kN
r_s	435.0	mm	M_{Rd}	2787	kNm
α	0.6	rad			
A_{tot}	785398.2	mm ²	V_{Rd}	548.4	kN
A	654734.4	mm ²	FS	1.39	-
b	842.7	mm	<i>Non necessita di armatura a taglio</i>		
h	932.0	mm			
d	776.9	mm	cot θ	2.5	-
γ_c	1.5	-			
σ_{cp}	0.4	kPa	V_{Rsd}	515.8	kN

ρ_l	3.2	%	FS	1.31	-
k	1.5	-	V_{Rcd}	1433.6	kN
v_{min}	0.3	-	FS	3.65	-
α_c	1.0	-			

VERIFICA A TAGLIO - SLV					
α	90	°	M_{Ed}	933.94	kNm
A_{sw}	226.2	mm ²	N_{ed}	157.08	kN
r	500.0	mm	V_{ed}	293.58	kN
r_s	435.0	mm	M_{Rd}	2761	kNm
α	0.6	rad			
A_{tot}	785398.2	mm ²	V_{Rd}	548.4	kN
A	654734.4	mm ²	FS	1.87	-
b	842.7	mm	<i>Non necessita di armatura a taglio</i>		
h	932.0	mm			
d	776.9	mm	cot θ	2.5	-
γ_c	1.5	-			
σ_{cp}	0.4	kPa	V_{Rsd}	515.8	kN
ρ_l	3.2	%	FS	1.76	-
k	1.5	-	V_{Rcd}	1433.5	kN
v_{min}	0.3	-	FS	4.88	-
α_c	1.0	-			

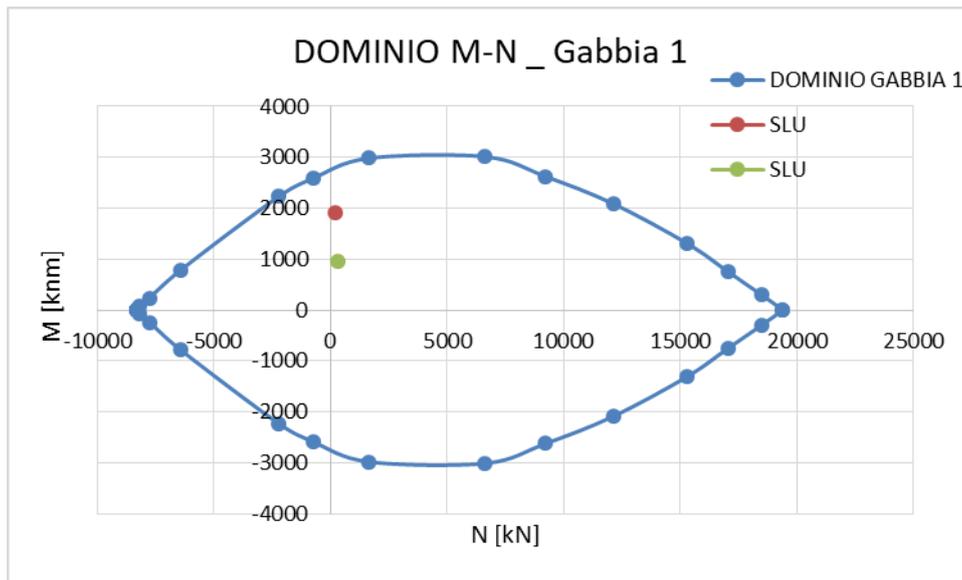


Figura 121 – Dominio M-N - SLU

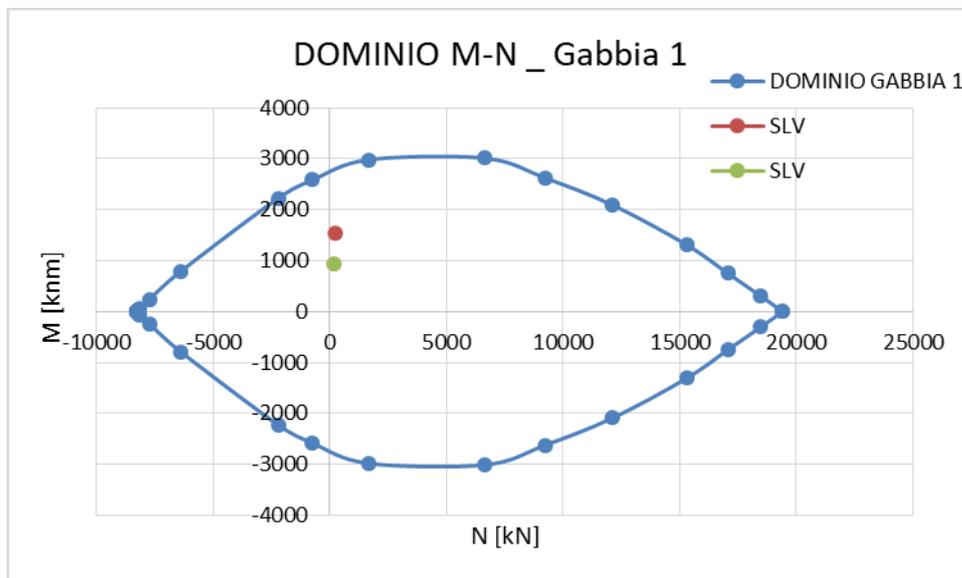


Figura 122 – Dominio M-N - SLV

Le verifiche strutturali sono pertanto tutte soddisfatte. Per la sezione in esame l'incidenza è di 258.0 kg/m³.

6) Verifica resistenza strutturale delle travi di ripartizione

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Le caratteristiche della sollecitazione sono determinate modellando gli elementi strutturali oggetto di verifica alla stregua di travi continue su più appoggi; la luce delle campate è data dall'interasse dei tiranti ed il carico, uniformemente distribuito, è determinato ripartendo le reazioni offerte dagli ancoraggi, ottenute del modello di calcolo dell'opera di sostegno. Definito $N_{s,d}$ il massimo tiro di calcolo corrispondente all' i -esimo ordine di tiranti, il suddetto carico è così calcolato: $q_{sd} = N_{s,d}/l$ (con l interasse tiranti).

Secondo tale modello le massime azioni di calcolo sull'elemento strutturale saranno:

$$M_{s,d} = \frac{1}{10} q_{sd} l^2$$

$$T_{s,d} = 0.6 q_{sd} l$$

Le travi di ripartizione costituite da profili metallici accoppiati HEB 140.

Tabella 150 – Caratteristiche trave di ripartizione – I ordine

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato				
	T paratie	passo	Tipo	fyk	$\gamma M0$	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]
STATICO	158.03	2.4	S275R	275	1.05	261.90	HEB160	311.5	354	54.25	17.6
SISMICO	168.25						2				

Tabella 151 – Verifiche trave di ripartizione – I ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γA	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	42.1	87.8	1.3	54.8	114.1	81.6	92.7	92.7	266.0	1.69	2.33
SISMICO	54.3	113.1	1.0	54.3	113.1	81.6	92.7	92.7	266.0	1.71	2.35

Tabella 152 – Caratteristiche trave di ripartizione – II ordine

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato				
	T paratie	passo	Tipo	fyk	$\gamma M0$	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

STATICO	155.15	2.4	S275R	275	1.05	261.90	HEB160	311.5	354	54.25	17.6
SISMICO	170.29						2				

Tabella 153 – Verifiche trave di ripartizione – II ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γ_A	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	44.7	93.1	1.3	58.1	121.0	81.6	92.7	92.7	266.0	1.60	2.20
SISMICO	49.0	102.2	1.0	49.0	102.2	81.6	92.7	92.7	266.0	1.89	2.60

Tabella 154 – Caratteristiche trave di ripartizione – III ordine

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato				
	T paratie	passo	Tipo	fyk	γ_{M0}	fyd	Tipo e numero	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		HEB160	[cm3]	[cm3]	[cm2]
STATICO	172.48	2.4	S275R	275	1.05	261.90	311.5		354	54.25	17.6
SISMICO	199.48						2				

Tabella 155 – Verifiche trave di ripartizione – III ordine

	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γ_A	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
CASO	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	49.7	103.5	1.3	64.6	134.5	81.6	92.7	81.6	266.0	1.26	1.98
SISMICO	57.5	119.7	1.0	57.5	119.7	81.6	92.7	92.7	266.0	1.61	2.22

Tabella 156 – Caratteristiche trave di ripartizione – IV ordine

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo acciaio				Profilato				
	T paratie	passo	Tipo	fyk	γ_{M0}	fyd	Tipo e	Wel	Wpl	A	Av

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]	numero	[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm2]
STATICO	146.25	2.4	S275R	275	1.05	261.90	HEB160	311.5	354	54.25	17.6
SISMICO	188.57						2				

Tabella 157 – Verifiche trave di ripartizione – IV ordine

CASO	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche	
	Msk	Vsk	γ_A	Msd	Vsd	Mel rd	Mpl rd	M rd	Vpl rd	Mrd/Msd	Vrd/Vsd
	[kNm]	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]	[-]
STATICO	42.1	87.8	1.3	54.8	114.1	81.6	92.7	92.7	266.0	1.69	2.33
SISMICO	54.3	113.1	1.0	54.3	113.1	81.6	92.7	92.7	266.0	1.71	2.35

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

12.2 Galleria artificiale

Si riporta in seguito la planimetria dell'imbocco con l'indicazione delle sezioni di studio effettuate sia per il dimensionamento delle opere che per le verifiche.

Le sezioni sono tutte trasversali all'asse della galleria. La sezione 1 è rappresentativa del dimensionamento del concio d'attacco sotto dima, la 2 della galleria artificiale, mentre la sezione 3 è considerata rappresentativa dei ritombamenti sull'imbocco.

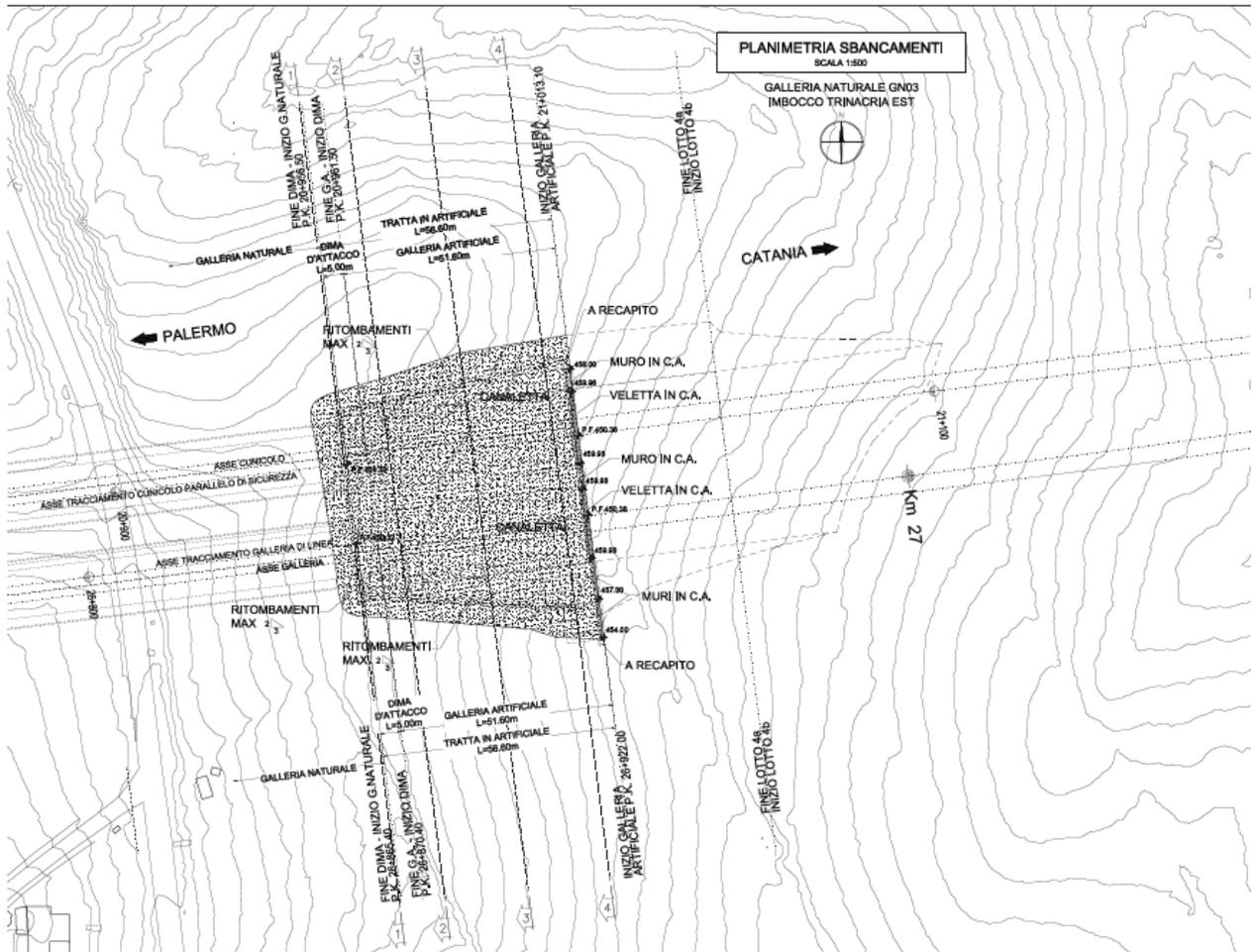


Figura 123 - Planimetria e posizione indicativa sezioni di calcolo delle opere di imbocco

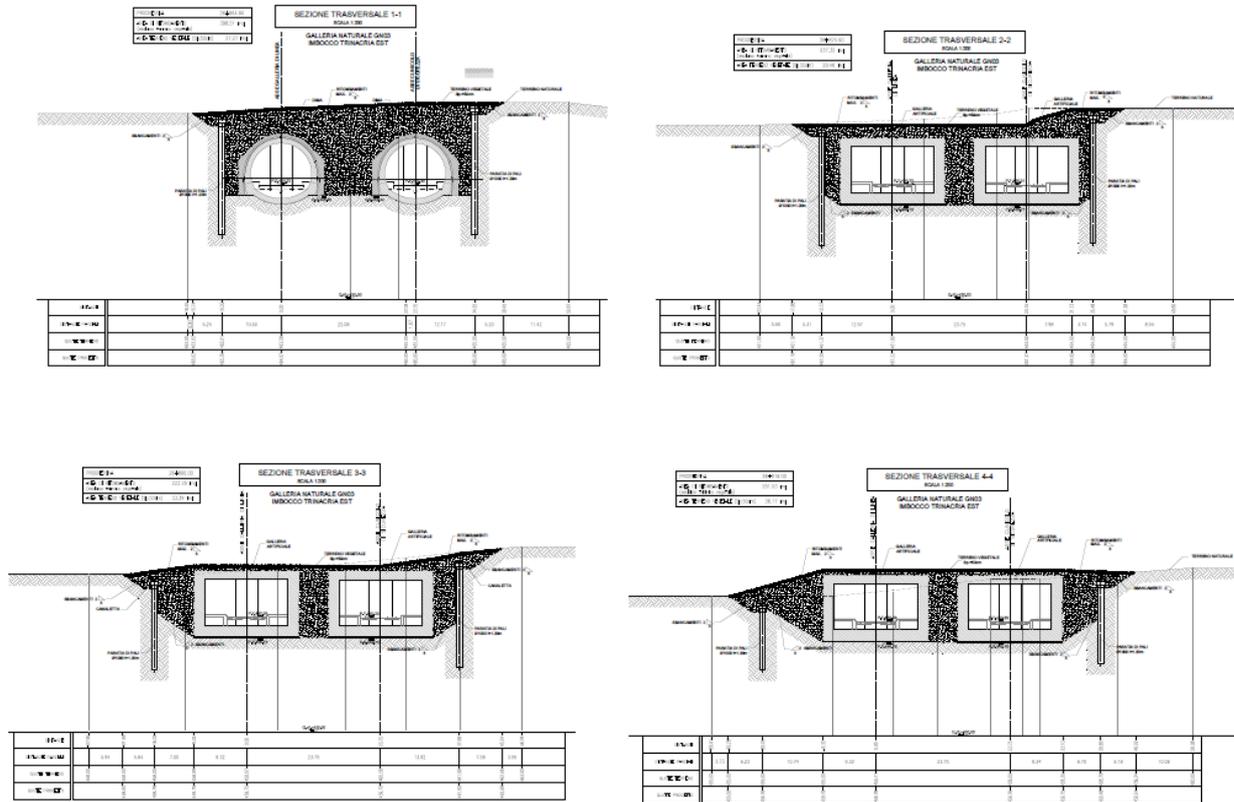
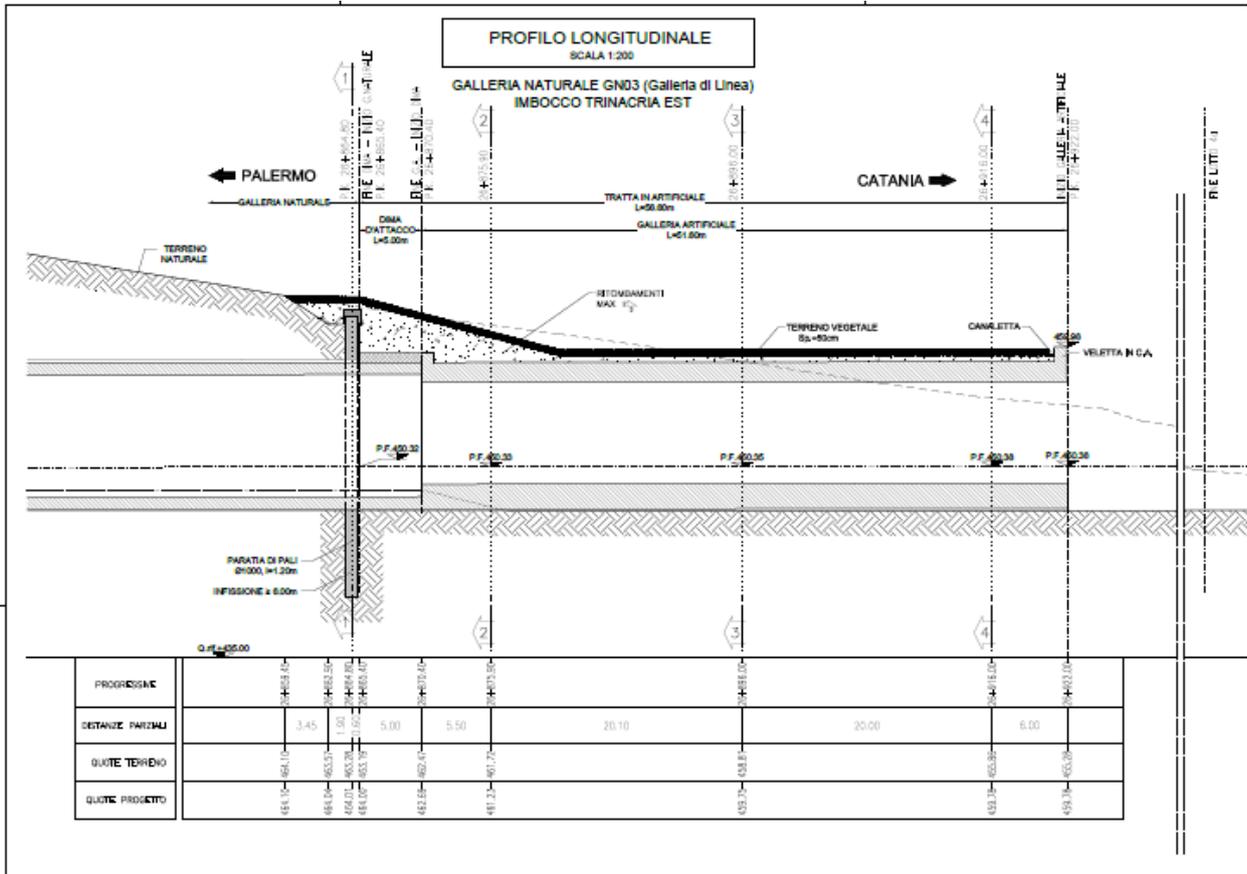


Figura 124 – Sezioni trasversali di calcolo delle opere di imbocco

GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA
E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	238 di 329



	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 240 di 329

- Spessore rivestimento definitivo in c.a.: Arco rovescio= 200 cm

Per la verifica della galleria artificiale è stata presa in considerazione la sezione caratterizzata dalla massima altezza di ritombamento. Di seguito è fornita una descrizione delle principali caratteristiche geometriche e uno schema del modello di calcolo.

La sezione 1 del concio d'attacco presenta le seguenti dimensioni:

- Calotta: 1m*1.2m;
- Reni: 1m*2.2 m
- Piedritto: 1m* 1.6 m
- Attacco muretta-piedritto: 1m* 2.5m
- Attacco muretta-arco rovescio: 1m*1.7m
- Arco rovescio: 1m*1.7m

La sezione 2 della galleria presenta le seguenti dimensioni:

- Calotta: 1m*0.9m;
- Reni: 1m*2.1 m
- Piedritto: 1m* 1.5 m
- Attacco muretta-piedritto: 1m* 1.8 m
- Attacco muretta-arco rovescio: 1m*1.7m
- Arco rovescio: 1m*1.7m

La sezione 1 del concio d'attacco presenta altezze di ricoprimento a partire dalla quota in corrispondenza della muretta e arrivando fino al piano campagna:

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

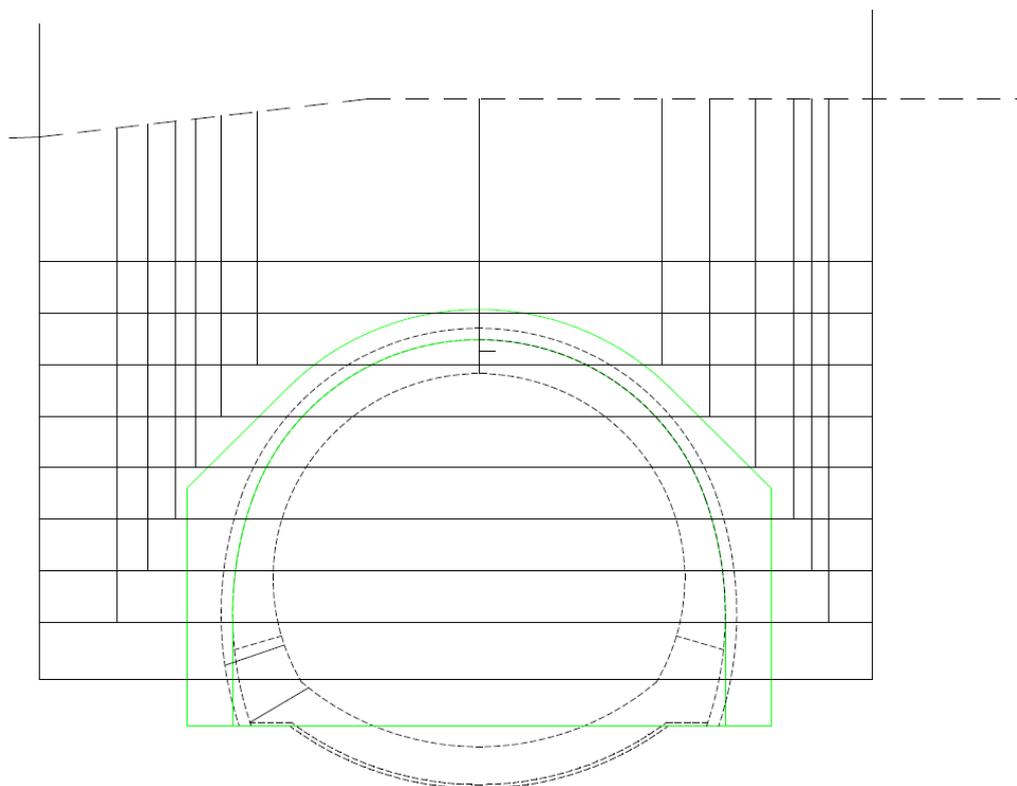


Figura 126 – Sezione con le relative altezze di ritombamento

Tabella 158 – Altezze di ricoprimento

ALTEZZE DI RICOPRIMENTO	(m)
H1	19.01
H2	17
H3	13
H4	10.8
H5	9.8
H6	8.75
H7	8

H8	7.4
H9	6.8
H10	6.2
H11	6.6
H12	6.9
H13	7.9
H14	8.2
H15	8.9
H16	9.9
H17	10.9
H18	11.9
H19	12.9
H20	12.5
H21	13
H22	14.1

La sezione 2 della galleria presenta altezze di ricoprimento a partire dalla quota in corrispondenza della muretta e arrivando fino al piano campagna:

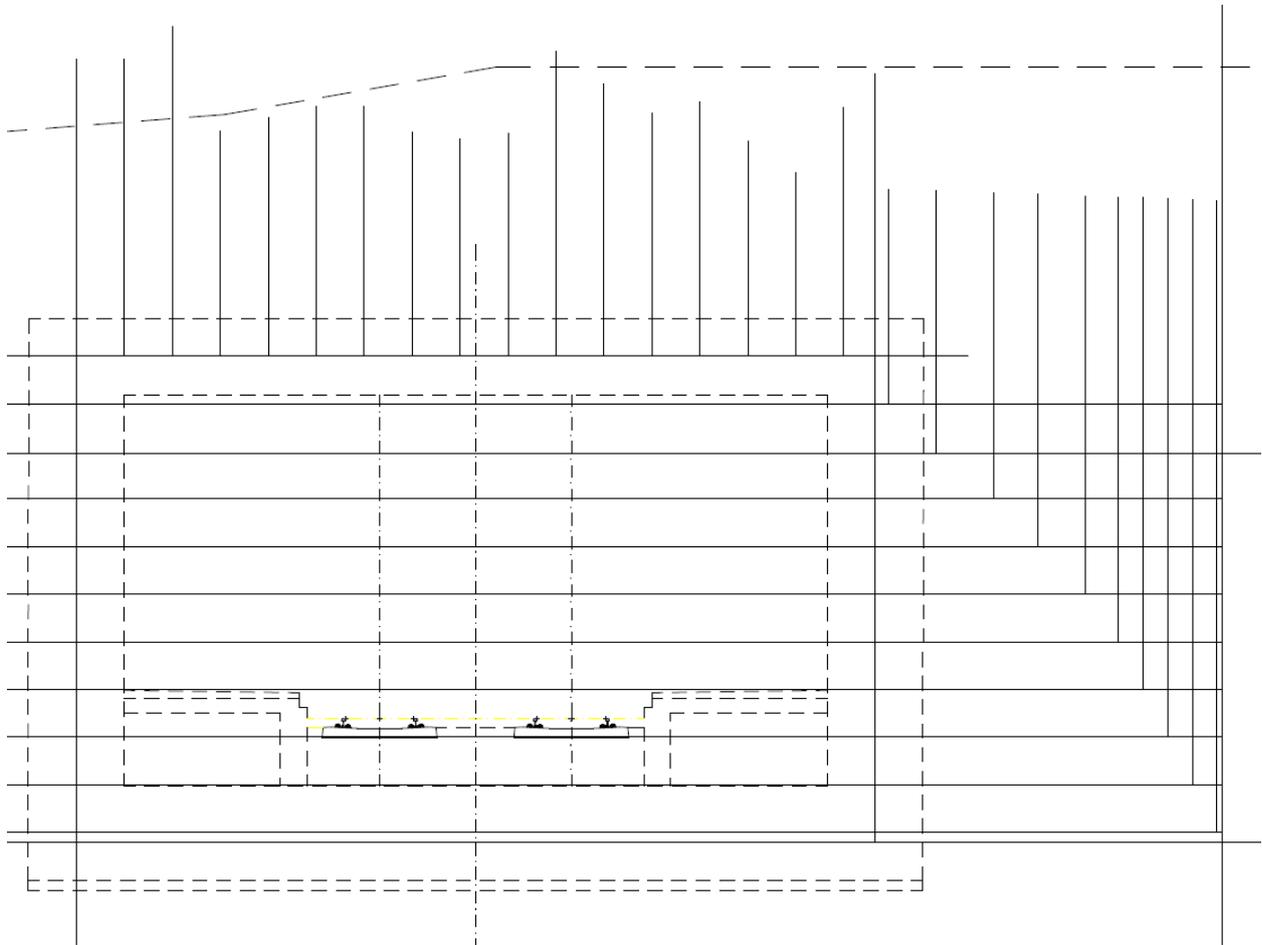


Figura 127 – Sezione con le relative altezze di ritombamento

Tabella 159 – Altezze di ricoprimento

ALTEZZE DI RICOPRIMENTO	(m)
H1	16.76
H2	11.4
H3	10.4
H4	9.4
H5	8.4

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

H6	7.4
H7	6.4
H8	6
H9	5.6
H10	5.3
H11	5
H12	5.5
H13	6.9
H14	7.2
H15	8.2
H16	9.2
H17	10.9
H18	11.2
H19	11.9
H20	12.1

Per la verifica strutturale è stato implementato un modello agli elementi finti mediante il programma SAP2000. Si è considerata una sezione di galleria di lunghezza unitaria, definendo per la struttura un modello costituito da conci monodimensionali (elementi beam). Gli spessori delle diverse aste sono variabili secondo l'elemento strutturale considerato (calotta, piedritti e arco rovescio).

Nel modello di calcolo è stata implementata la sezione di calcolo corrispondente alle condizioni più gravose sia in termini di copertura, sia in termini di caratteristiche geologiche – geotecniche.

CONCIO D'ATTACCO

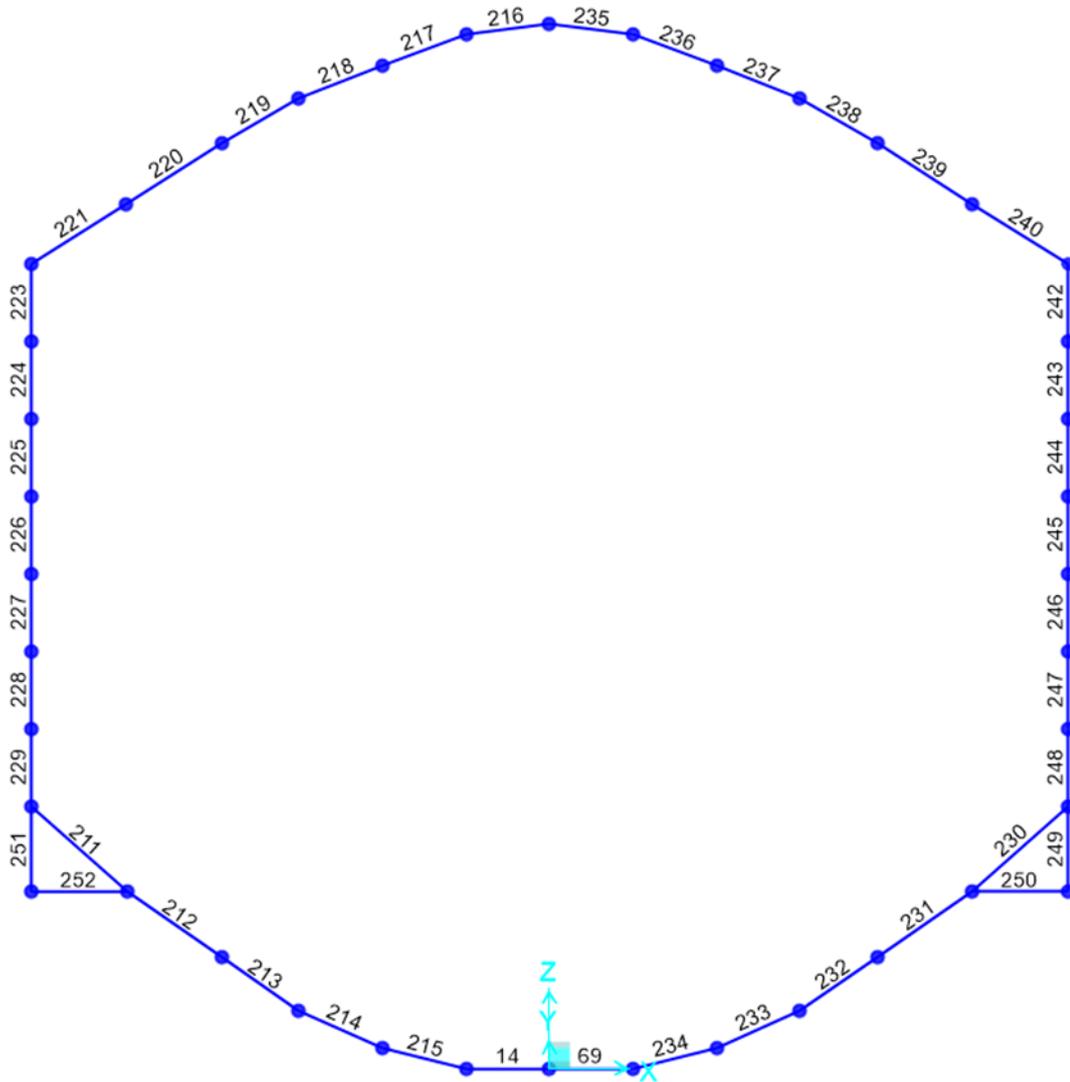


Figura 128 – Schema degli elementi di calcolo agli elementi finiti del concio di attacco

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 246 di 329

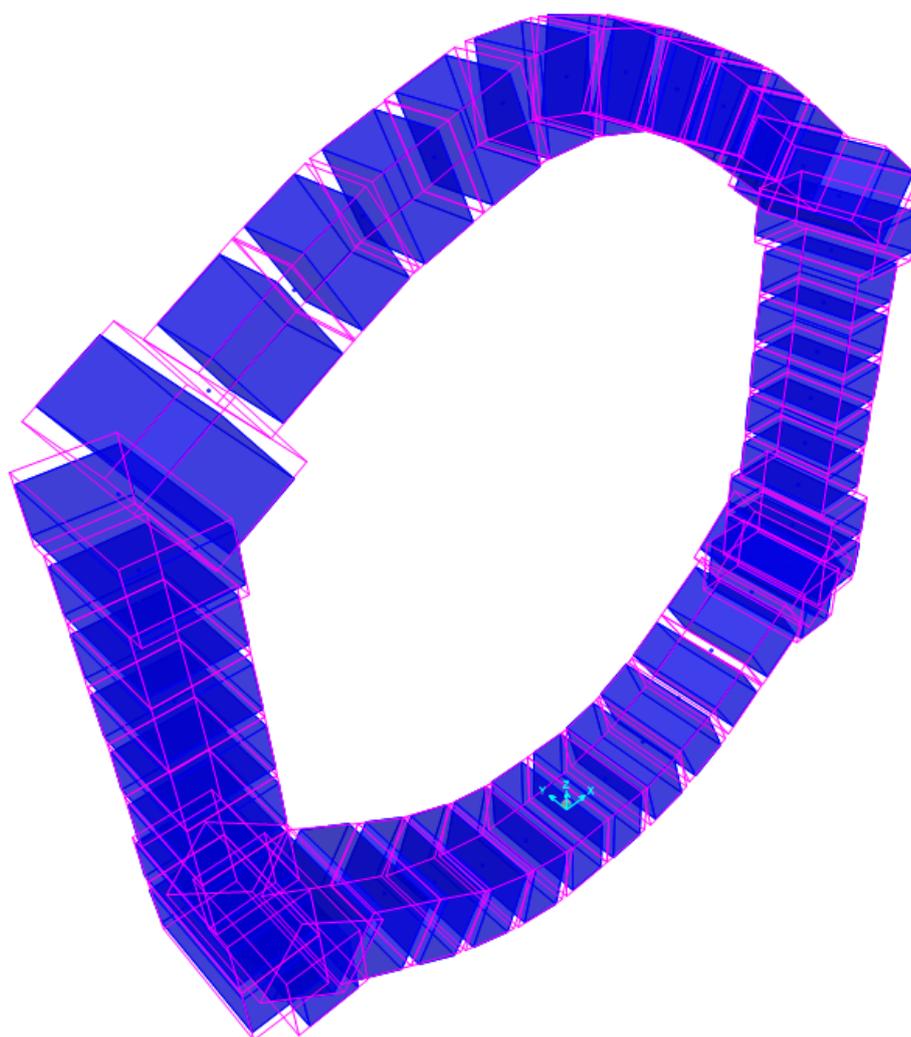


Figura 129 – Schema tridimensionale del modello

L'interazione tra il terreno e la struttura è simulata attraverso un vincolo elasto-plastico (elementi link frame), assegnato ai vari elementi "frame", lungo il loro sviluppo. Il vincolo applicato è di tipo non lineare in quanto rappresenta la capacità del terreno di dare una reazione solo se soggetto a compressione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

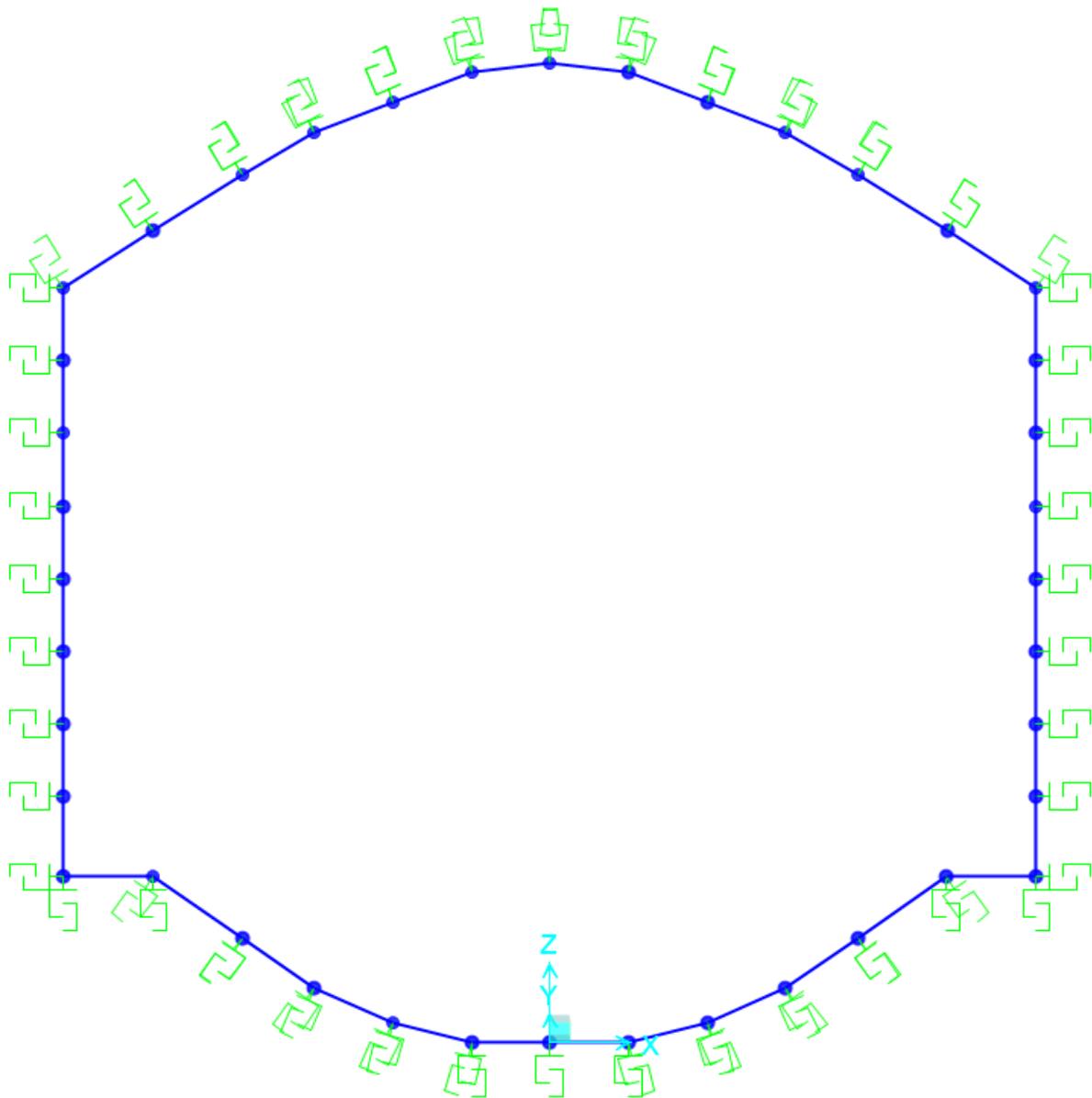


Figura 130 – Schema con le molle di calcolo

Le molle sono calcolate con la seguente formulazione:

✓ per i tratti curvilinei di rivestimento

$$K_n = \frac{E}{(1+\nu) \times R}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

✓ per i tratti rettilinei del rivestimento

$$k_n = \frac{E}{B \cdot (1 - \nu^2) \cdot I_w}$$

dove ;

- R_{eq} è il raggio di curvatura del tratto di carpenteria curvilineo considerato;
- B è la lunghezza del tratto di carpenterie
- i è l'interasse delle bielle
- ν ed E il coefficiente di Poisson ed il modulo elastico del mezzo al contorno delle aste (terreno di fondazione, terreno di ricoprimento).

I carichi applicati al modello di calcolo sono di seguito riassunti.

Tabella 160 – Carichi applicati al modello di calcolo

1	PP	Dead Load (Peso della struttura)
2	P_{cop}	Peso in copertura
3	SP.sx	Spinta del terreno a riposo sui fianchi della galleria, da sinistra
4	SP.dx	Spinta del terreno a riposo sui fianchi della galleria, da destra
5	Q_{d_sx}	Carichi variabili in copertura da sinistra
6	Q_{d_dx}	Carichi variabili in copertura da destra
7	SQ.sx	Incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura, da sinistra
8	SQ.dx	Incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura, da destra
9	ΔS,h sx	Incremento di spinta sismica orizzontale del terreno sui fianchi (th.di

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>249 di 329</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	249 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	249 di 329								

		Wood), da sinistra
10	$\Delta S, h \text{ dx}$	Incremento di spinta sismica orizzontale del terreno sui fianchi (th.di Wood), da destra
11	$\Delta S, v$	Azione sismica verticale
12	I.h	Inerzia orizzontale
13	I.v	Inerzia verticale

- Peso proprio della struttura (P.P); computato in automatico dal programma di calcolo (DEAD LOAD);
- Carico verticale P.cop (rappresentato dal terreno di ricoprimento)

$$\text{Ritomb vert} = \gamma * H_{\text{rit}} = 20 \text{ kN/m}^3 * H$$

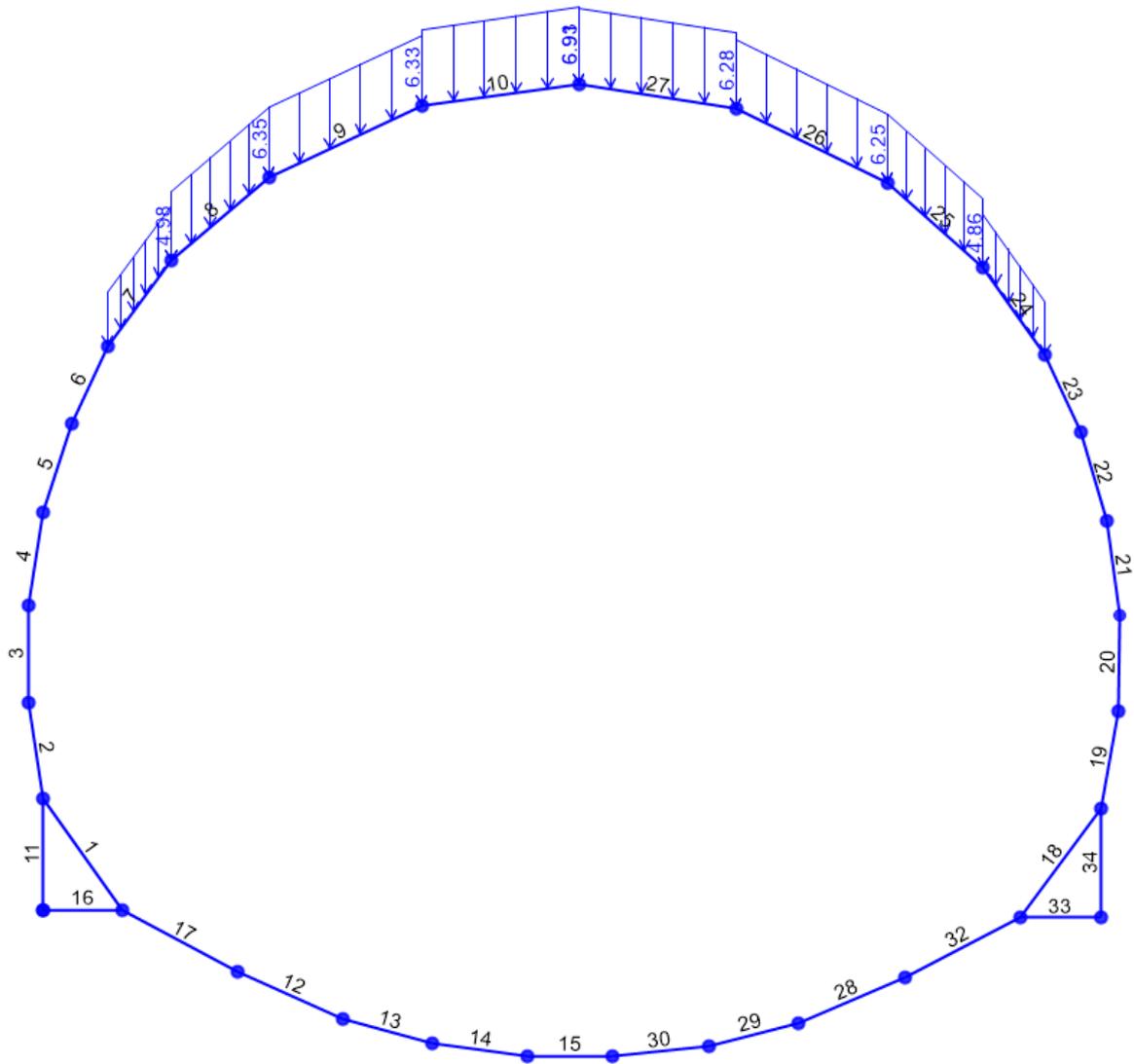


Figura 131 – Carico applicato: peso in copertura

Spinte del terreno sui fianchi della galleria; la spinta è valutata considerando in peso del terreno pari a 20 kN/m³, un angolo di attrito di 30° e un coefficiente di spinta a riposo sul lato destro pari a 0.6 sul lato sinistro pari a 0.4. Il carico è stato assegnato variabile con la profondità sui due lati della struttura come mostra la figura seguente:

$$\text{Spinta del terreno} = K_0 \cdot \gamma \cdot Z_{rit}$$

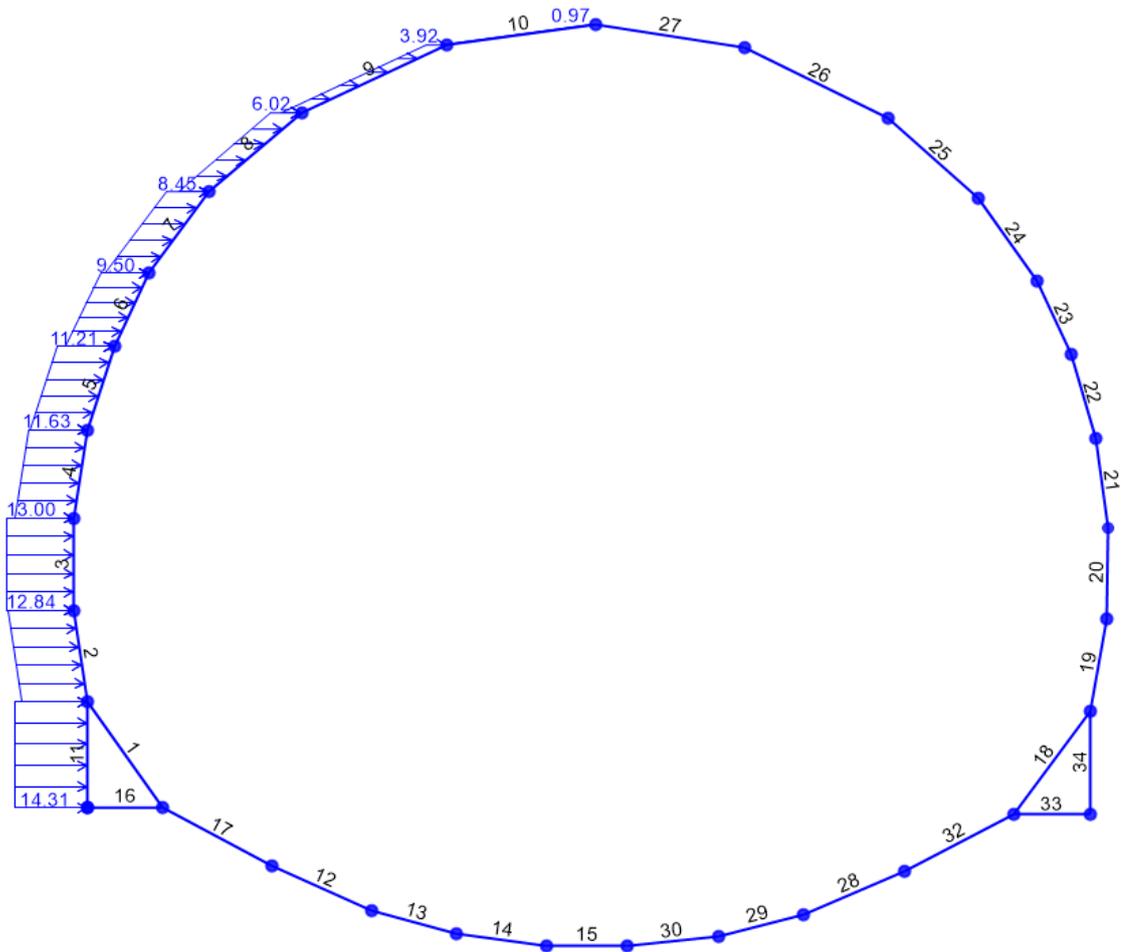


Figura 132 – Carico applicato: spinta laterale del terreno – lato sinistro

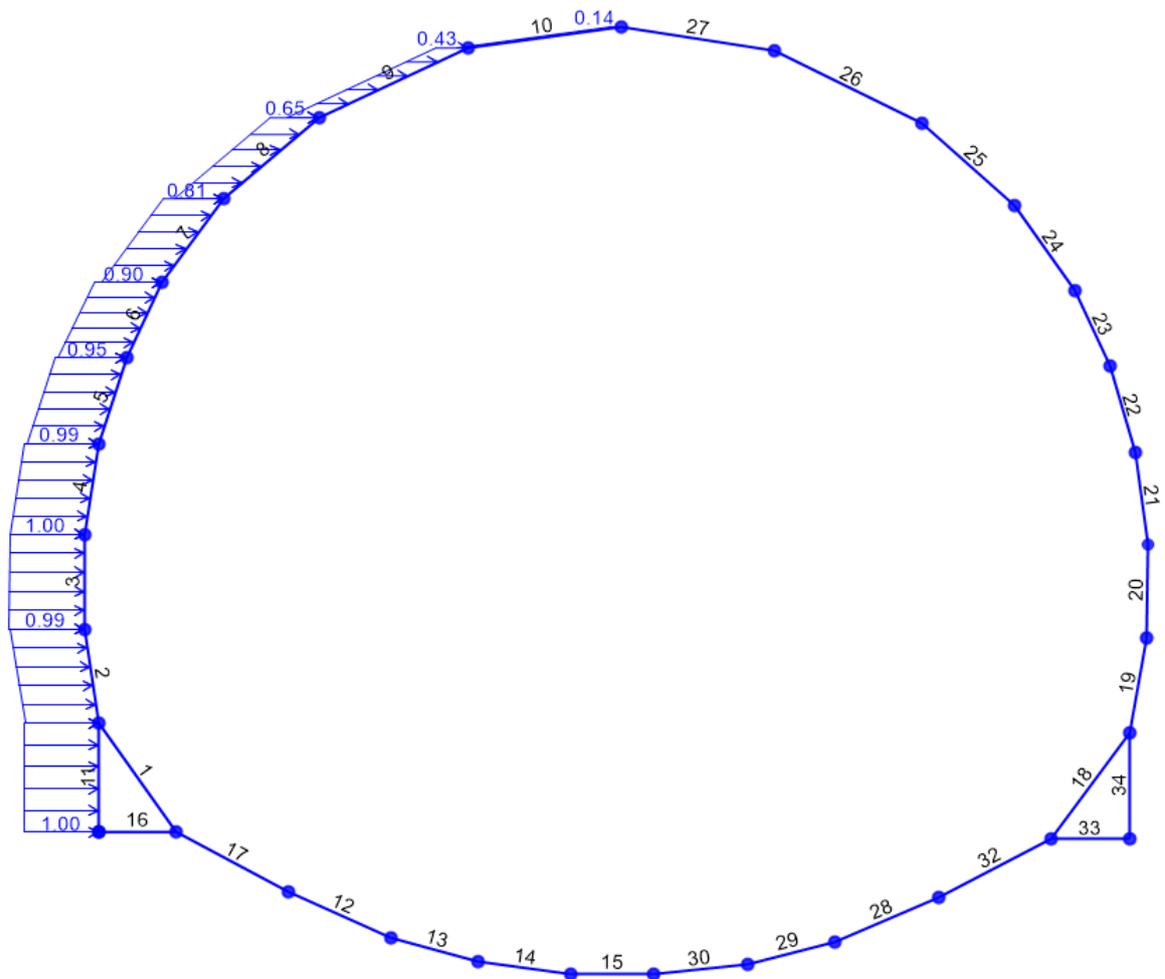


Figura 135 – Carico applicato: carico variabile in copertura – lato sinistro

SQ.sx Sovraccarico laterale lato sinistro generato da carico variabile in copertura = $20 \text{ kN/m} \cdot x$
 $k_0 = 8,2 \text{ kN/m}$

SQ.dx Sovraccarico laterale lato destro generato da carico variabile in copertura = $20 \text{ kN/m} \cdot x$ $k_0 = 12 \text{ kN/m}$

Figura 136 – Carico applicato: incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura – lato sinistro

$$\Delta S_{HDx} = 0.179 * 20 \text{ kN/m}^3 * 17^2 \text{ m} / 12 \text{ m} = 78 \text{ kN/m/m}$$

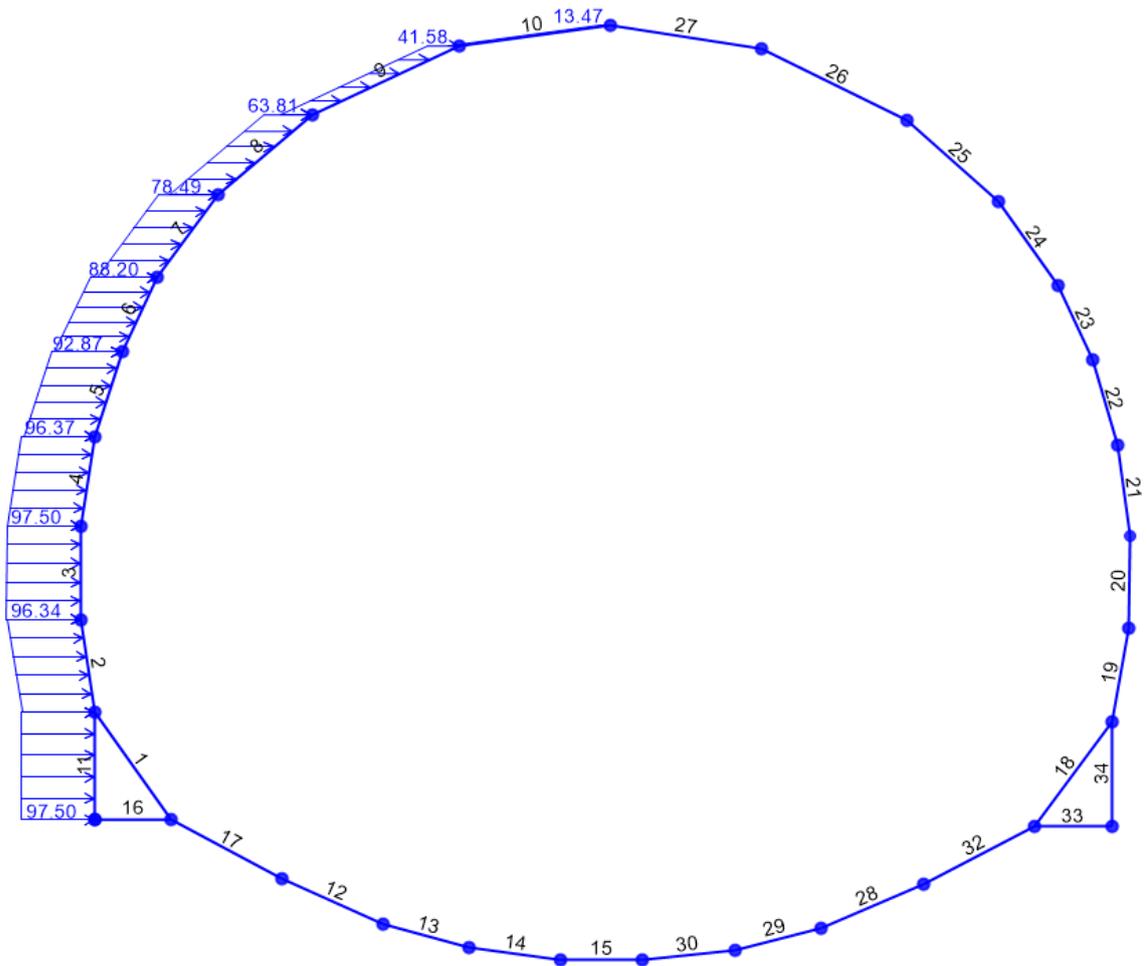


Figura 138 – Carico applicato: incremento di spinta sismica orizzontale – lato sinistro

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

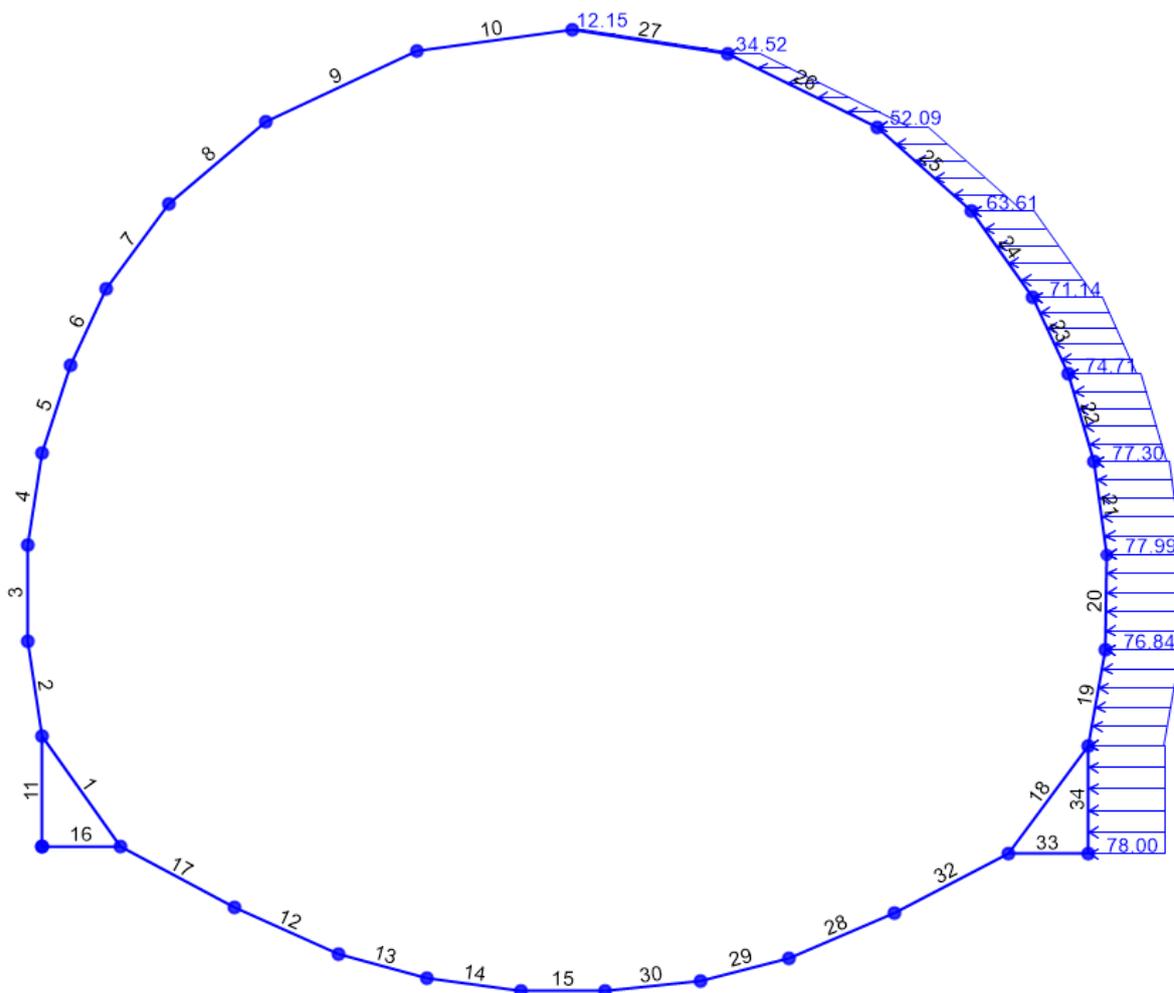


Figura 139 – Carico applicato: spinta sismica orizzontale lato destro

Variatione del peso del terreno di ritombamento ($\pm \Delta S_V$); l'incremento di spinta può valutarsi secondo la teoria di Wood, per cui la risultante dell'azione sismica verticale può calcolarsi secondo:

$$\Delta S_V = 0.5 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \gamma \cdot A$$

In cui A rappresenta l'altezza del carico di coprimento (variabile in questo caso) al di sopra della calotta. La spinta viene applicata sulla calotta, uniformemente distribuita sulla larghezza dell'opera; a tale scopo sul modello sono state inserite le altezze medie di carico verticale, mentre nelle combo è stato inserito il moltiplicatore comune, pertanto il carico sismico verticale assunto è pari a:

$$\Delta S_v = 0.5 * 0.162 * 20 \text{ kN/m}^3 * z$$

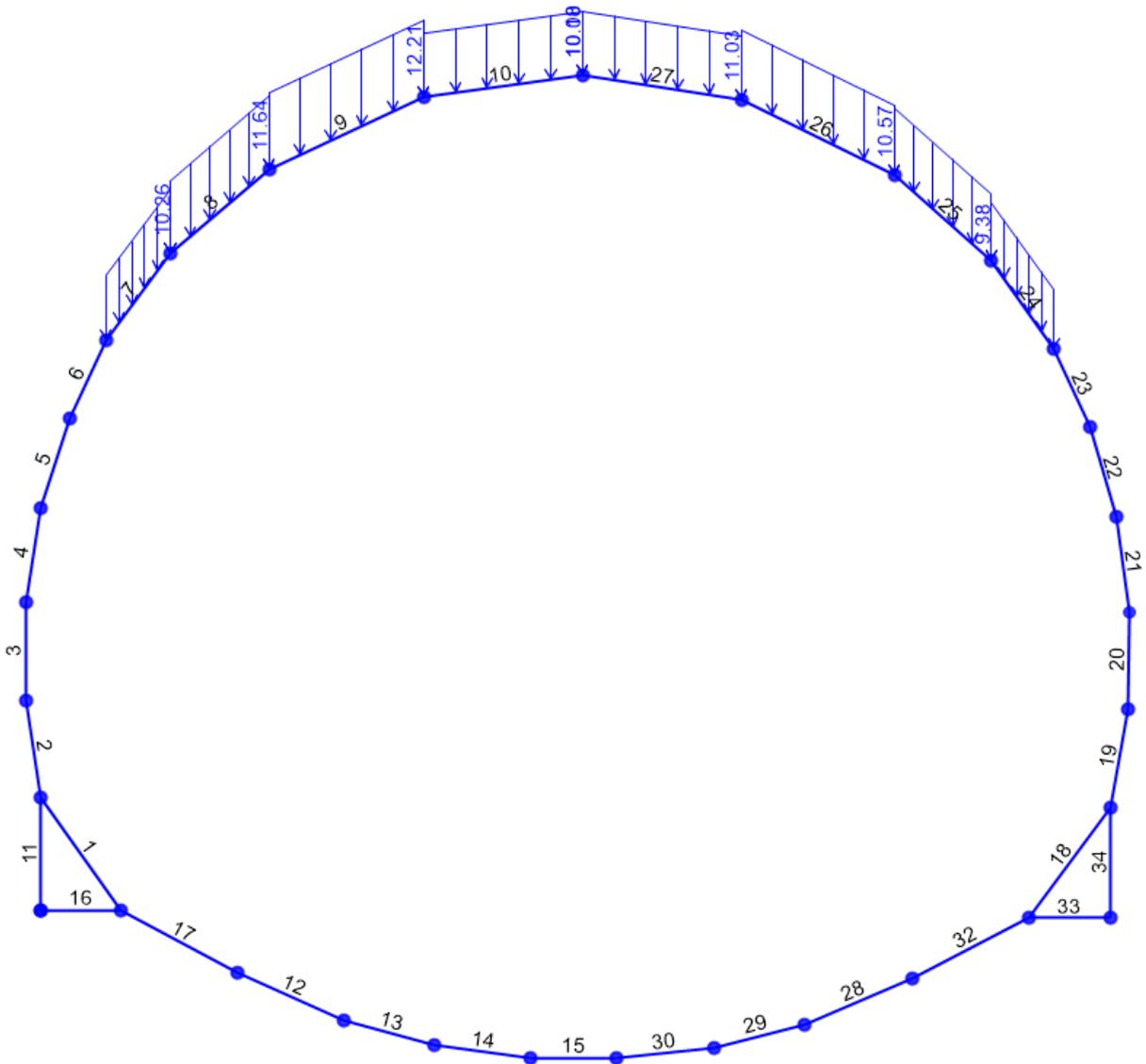


Figura 140 – Carico applicato: spinta sismica verticale

I parametri di input scelti per questo caso si associano ad una tipologia di terreno “TRV” per cui abbiamo:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 161 – parametri di calcolo

Parametri di calcolo					
Tipo Terreno	γ	c'	ϕ'	E'	ν
[-]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[°]	[MPa]	[-]
Ricoprimento	20	0	30	30	0.3
Terreno alla base	21	20	27	83	0.3

Rigidità molle per elementi curvi (Formula di Galerkin)			
$K_n = \frac{E}{(1+\nu) \times R}$	Elemento	R	K
	[-]	[m]	[kN/m ³]
	AR	4.2	30403
	Calotta	5	4615

Rigidità molle per elementi Lineari (Formula Di Boussinesq)			
$k_n = \frac{E}{B \cdot (1-\nu^2)}$	Elemento	B	K
	[-]	[m]	[kN/m ³]
	Sommità piedritto	5.7	5784
	Base piedritto	2	91209

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>260 di 329</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	260 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	260 di 329								

Modello della Galleria Artificiale

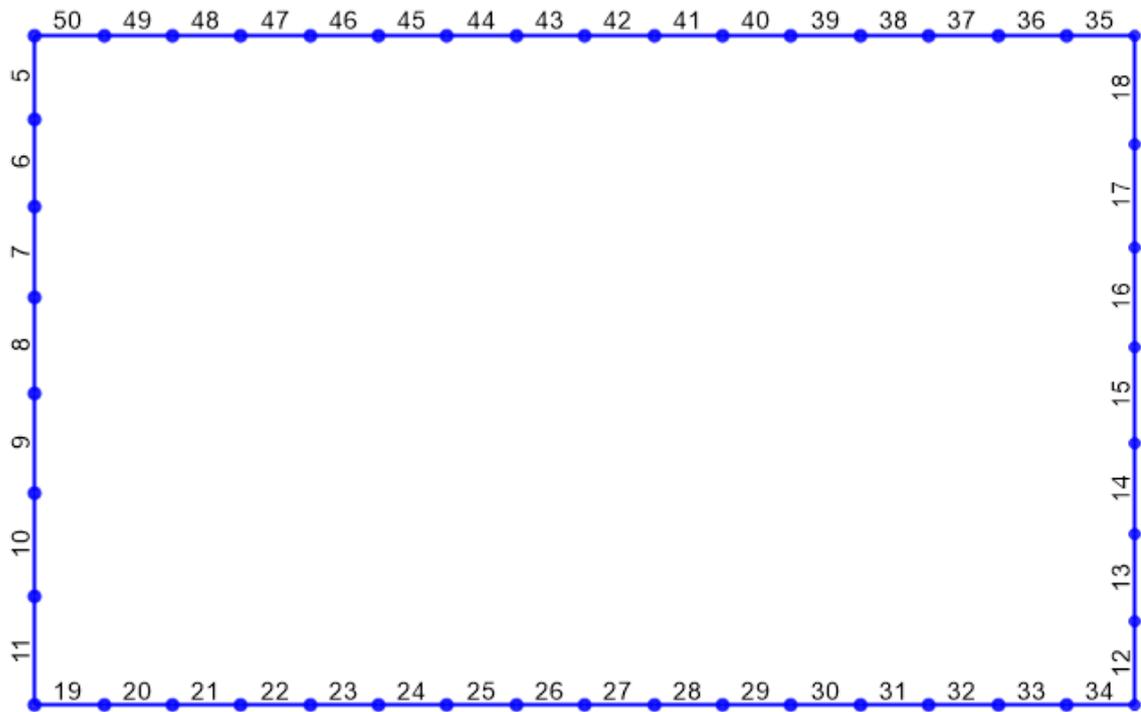


Figura 141 – Schema degli elementi di calcolo agli elementi finiti - GA

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 261 di 329

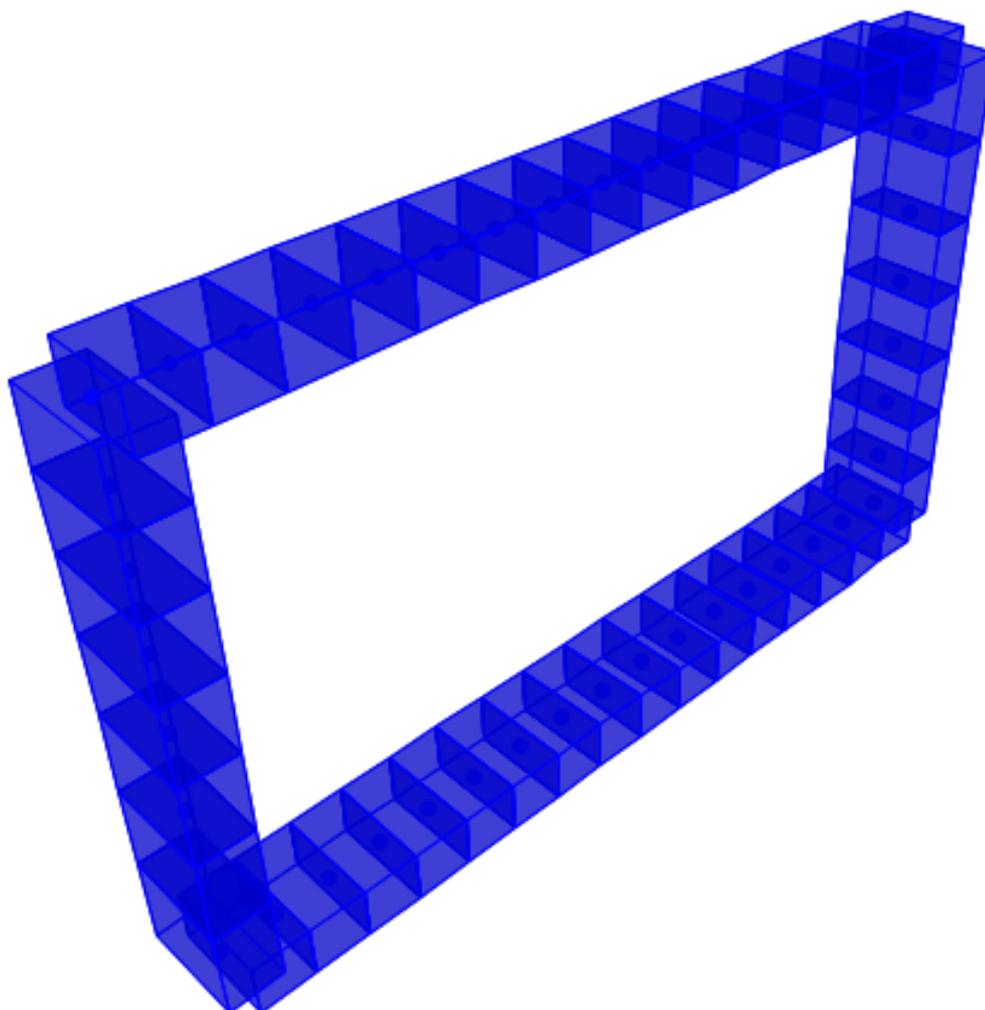


Figura 142 – Schema tridimensionale del modello

L'interazione tra il terreno e la struttura è simulata attraverso un vincolo elasto-plastico (elementi link frame), assegnato ai vari elementi "frame", lungo il loro sviluppo. Il vincolo applicato è di tipo non lineare in quanto rappresenta la capacità del terreno di dare una reazione solo se soggetto a compressione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

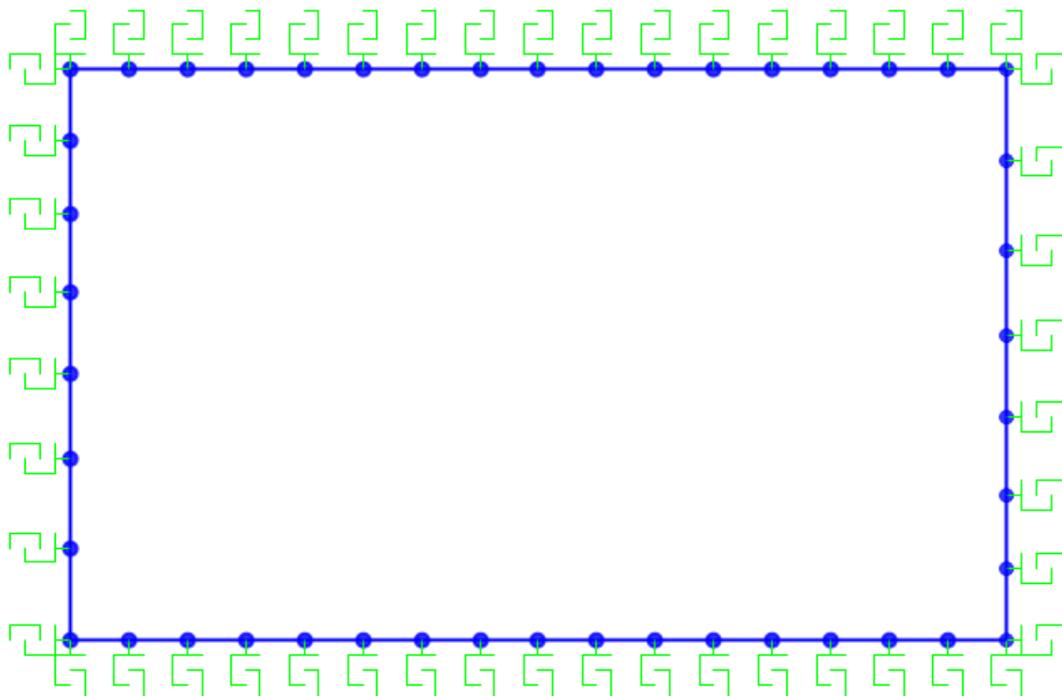


Figura 143 – Schema con le molle di calcolo

Le molle sono calcolate con la seguente formulazione:

✓ per i tratti curvilinei di rivestimento

$$K_n = \frac{E}{(1 + \nu) \times R}$$

✓ per i tratti rettilinei del rivestimento

$$k_n = \frac{E}{B \cdot (1 - \nu^2) \cdot I_w}$$

dove ;

- R_{eq} è il raggio di curvatura del tratto di carpenteria curvilineo considerato;

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>263 di 329</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	263 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	263 di 329								

- B è la lunghezza del tratto di carpetnerie
- i è l'interasse delle bielle
- ν ed E' il coefficiente di Poisson ed il modulo elastico del mezzo al contorno delle aste (terreno di fondazione, terreno di ricoprimento).

I carichi applicati al modello di calcolo sono di seguito riassunti.

Tabella 162 – Carichi applicati

1	PP	Dead Load (Peso della struttura)
2	P_{cop}	Peso in copertura
3	SP.sx	Spinta del terreno a riposo sui fianchi della galleria, da sinistra
4	SP.dx	Spinta del terreno a riposo sui fianchi della galleria, da destra
5	Q_{d_sx}	Carichi variabili in copertura da sinistra
6	Q_{d_dx}	Carichi variabili in copertura da destra
7	SQ.sx	Incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura, da sinistra
8	SQ.dx	Incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura, da destra
9	$\Delta S_{,h\ sx}$	Incremento di spinta sismica orizzontale del terreno sui fianchi (th.di Wood), da sinistra
10	$\Delta S_{,h\ dx}$	Incremento di spinta sismica orizzontale del terreno sui fianchi (th.di Wood), da destra
11	$\Delta S_{,v}$	Azione sismica verticale
12	I.h	Inerzia orizzontale

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

13	I.v	Inerzia verticale
-----------	------------	-------------------

Peso proprio della struttura (P.P); computato in automatico dal programma di calcolo (DEAD LOAD);

Carico verticale P.cop (rappresentato dal terreno di ricoprimento)

$$\text{Ritomb vert} = \gamma * H_{\text{rit}} = 20 \text{ kN/m}^3 * H$$

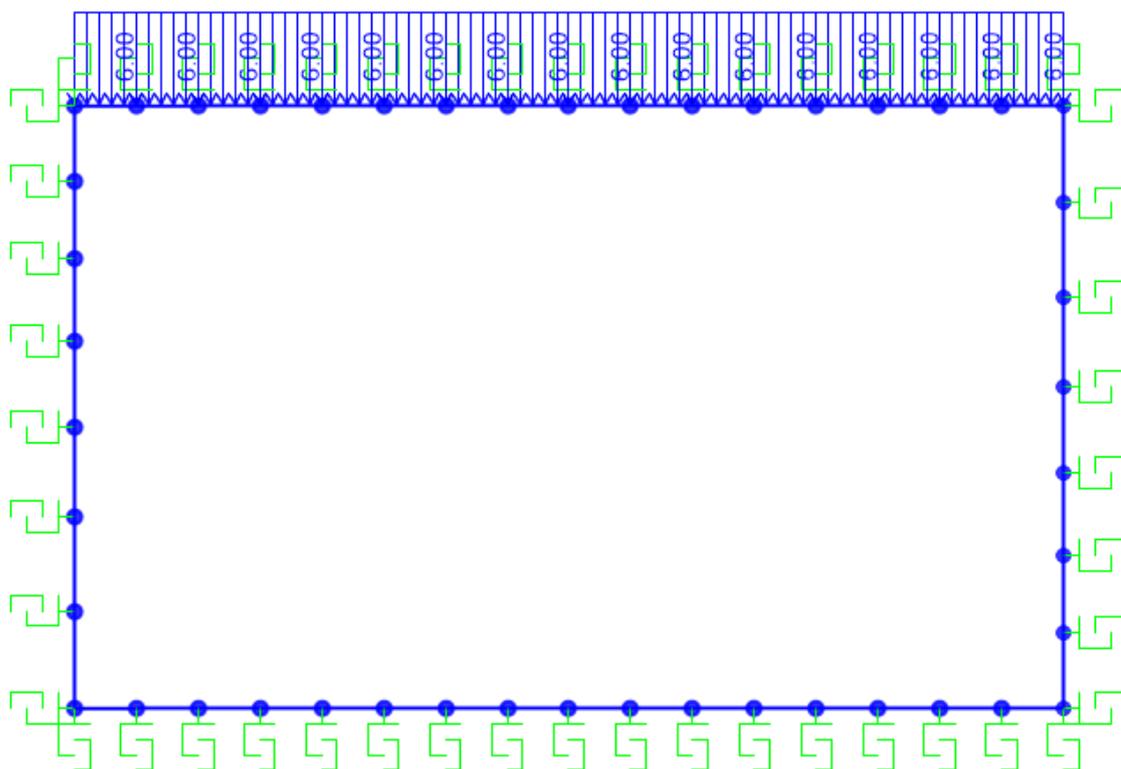


Figura 144 – Carico applicato: peso in copertura

Spinte del terreno sui fianchi della galleria; la spinta è valutata considerando in peso del terreno pari a 20 kN/m³, un angolo di attrito di 30° e un coefficiente di spinta a riposo sul lato destro pari a 0.6 sul lato sinistro pari a 0.4. Il carico è stato assegnato variabile con la profondità sui due lati della struttura come mostra la figura seguente:

$$\text{Spinta del terreno} = K_o * \gamma * Z_{\text{rit}}$$

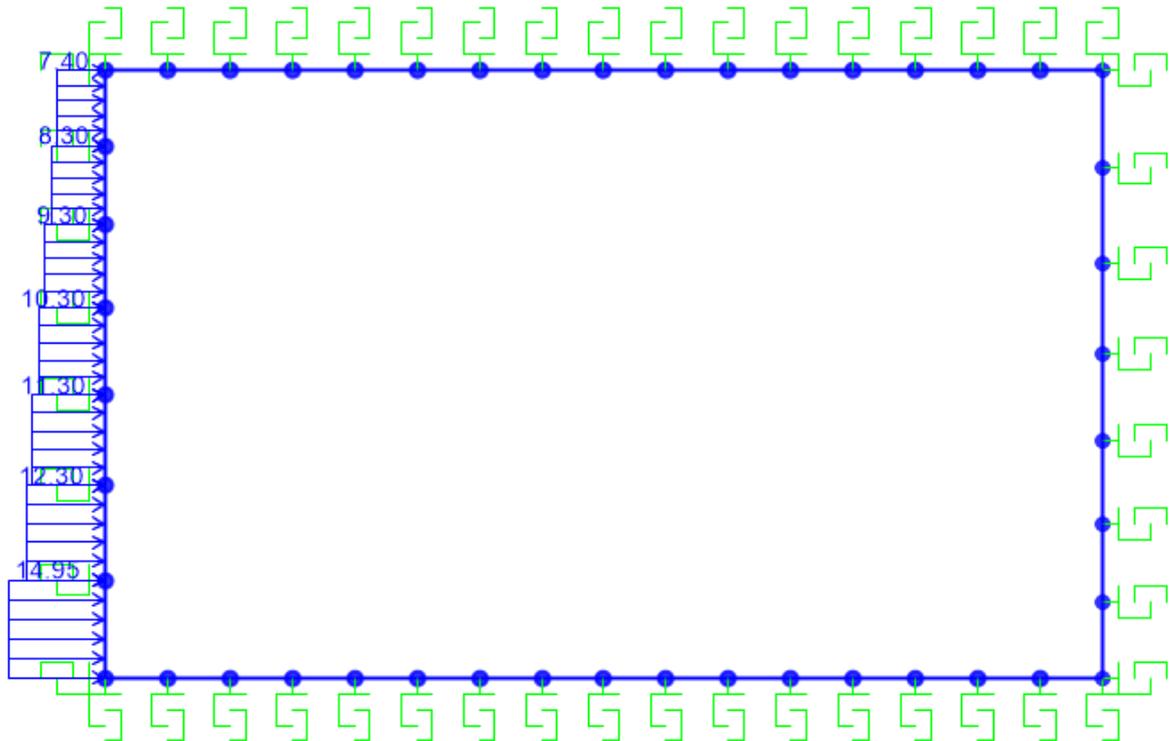


Figura 145 – Carico applicato: spinta laterale del terreno – lato sinistro

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

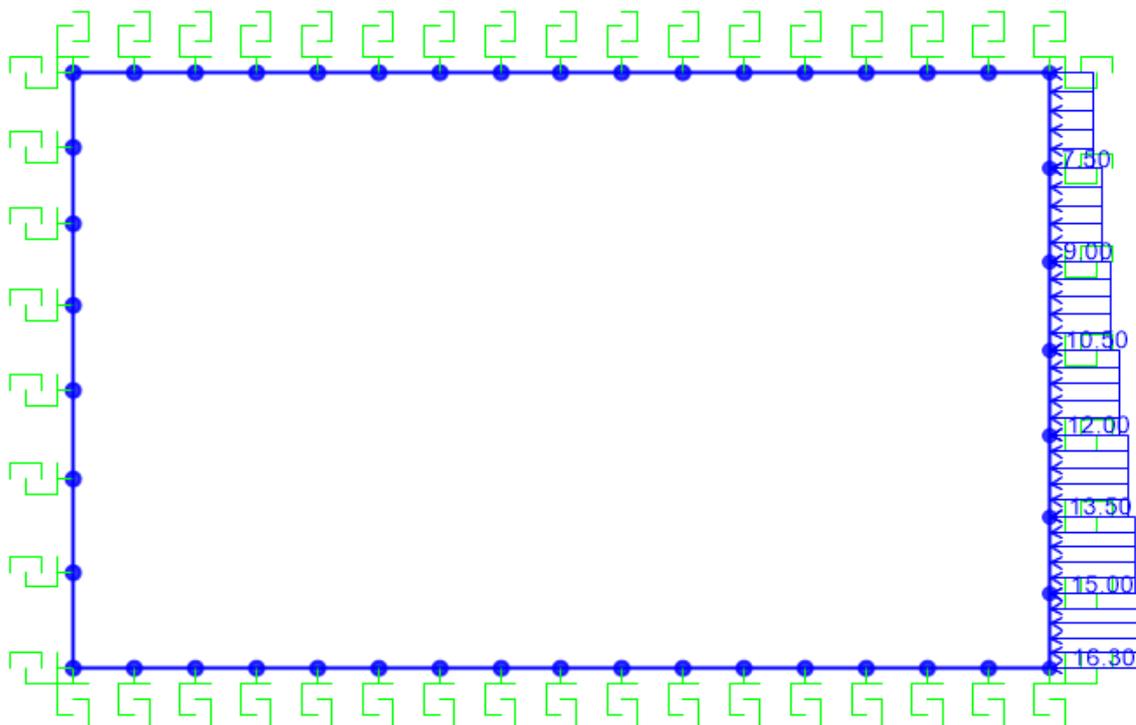


Figura 146 – Carico applicato: spinta laterale del terreno – lato destro

Azioni variabili: carico variabile Q_1 pari a 20 kN/m^2 (legato ai mezzi di cantiere). Sul modello è stato distinto in due parti (dx e sx) per tenere conto dei moltiplicatori di carico applicati con differente magnitudine nelle varie combinazioni di carico:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>267 di 329</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	267 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	267 di 329								

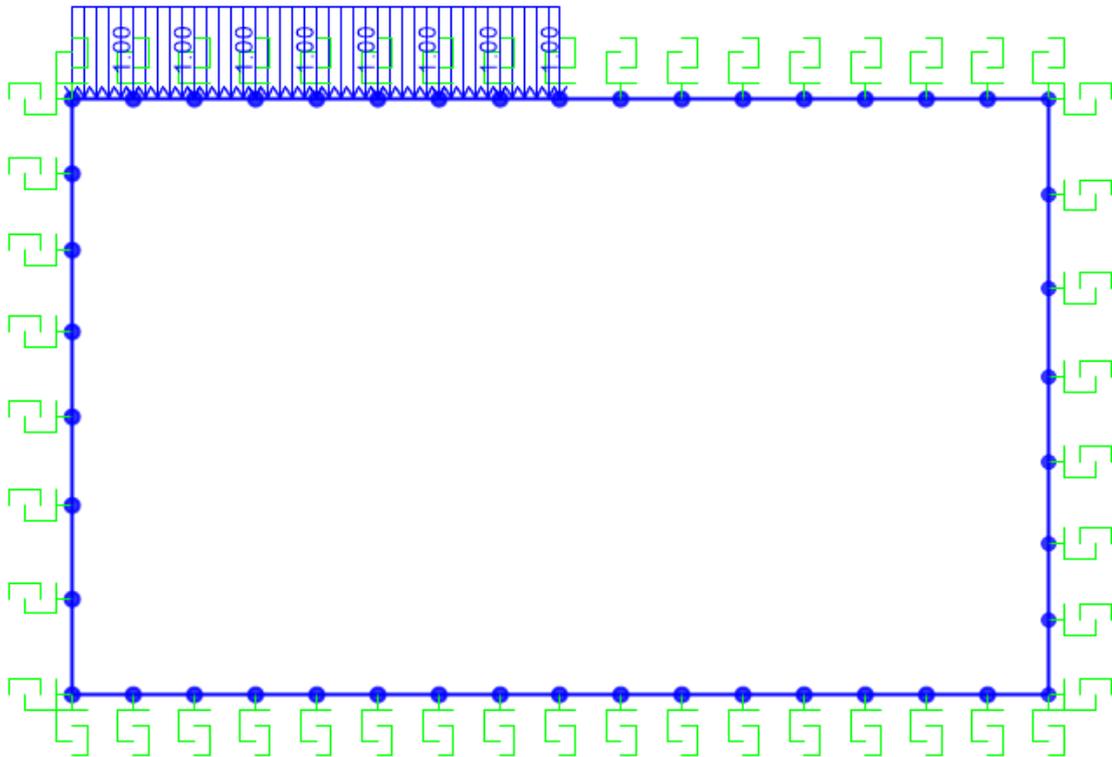


Figura 147 – Carico applicato: carico variabile in copertura – lato sinistro

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>268 di 329</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	268 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	268 di 329								

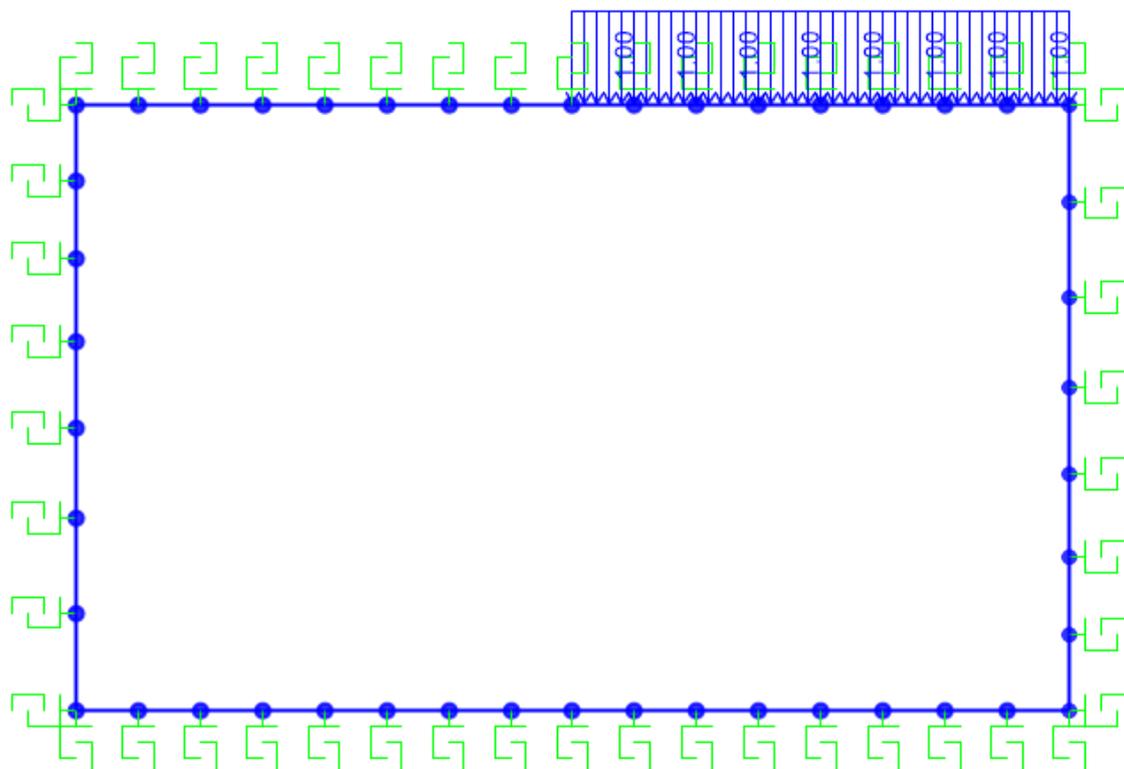


Figura 148 – Carico applicato: carico variabile in copertura – lato sinistro

SQ.sx Sovraccarico laterale lato sinistro generato da carico variabile in copertura = $20 \text{ kN/m} \cdot x$
 $k_0 = 8,2 \text{ kN/m}$

SQ.dx Sovraccarico laterale lato destro generato da carico variabile in copertura = $20 \text{ kN/m} \cdot x$ $k_0 = 12 \text{ kN/m}$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>					
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40</p>	<p>CODIFICA D 07 CL</p>	<p>DOCUMENTO GA 00 00 003</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 269 di 329</p>

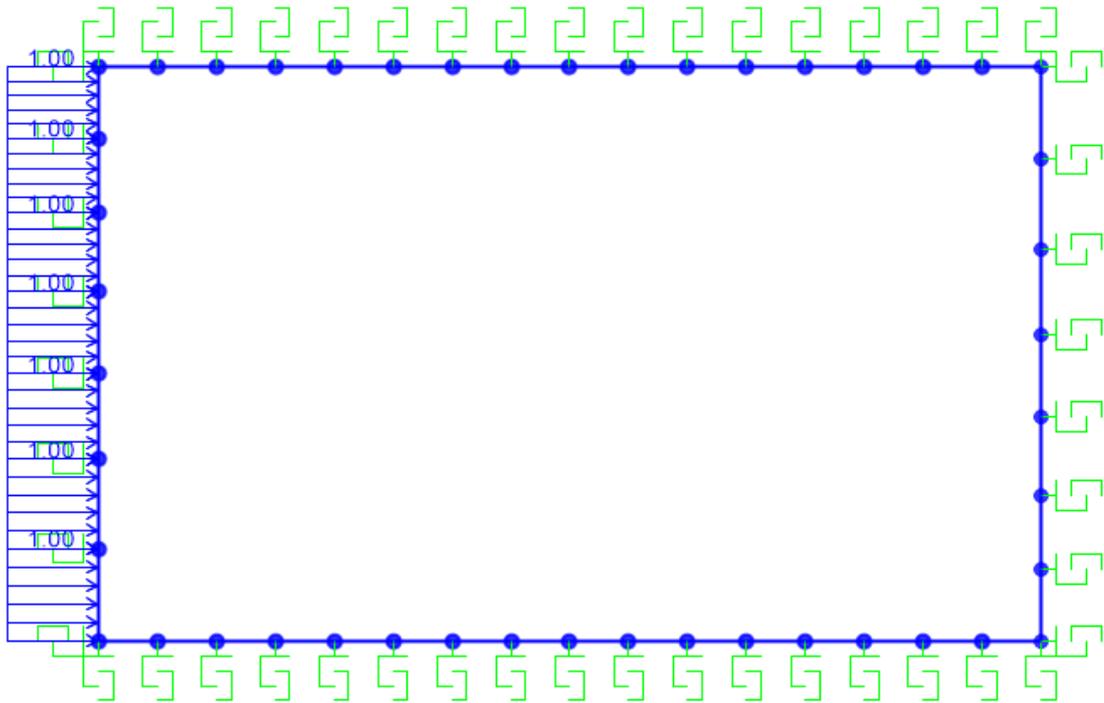


Figura 149 – Carico applicato: incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura – lato sinistro

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

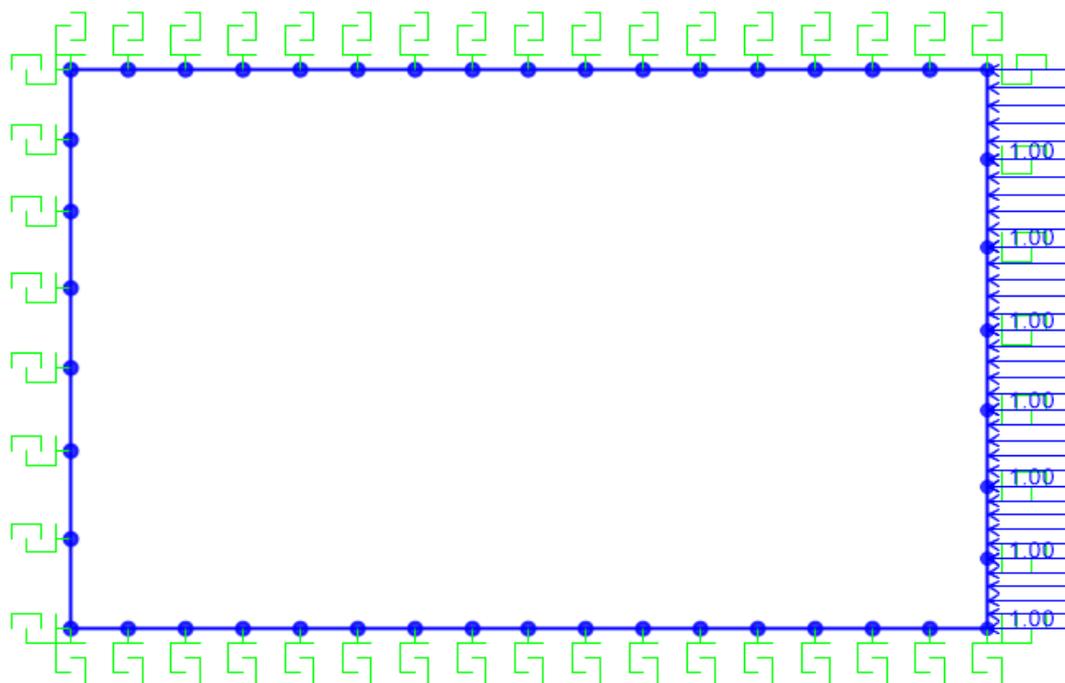


Figura 150 – Carico applicato: incremento di spinta orizzontale per carico variabile in copertura – lato destro

Azione sismica: l'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo è definita nel paragrafo. In presenza di sisma è necessario considerare gli effetti inerziali indotti da entrambe le componenti del moto sismico sui carichi. I carichi considerati sono:

Incremento di spinta del terreno sui fianchi della galleria ($\pm \Delta S_h$); l'incremento di spinta può valutarsi secondo la teoria di Wood, per cui la risultante dell'azione sismica orizzontale può calcolarsi secondo:

$$\Delta S_H = \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$\Delta S_{HSX} = 0.162 * 20 \text{ kN/m}^3 * 19^2 \text{ m/12m} = 97,5 \text{ kN/m/m}$$

$$\Delta S_{HDX} = 0.179 * 20 \text{ kN/m}^3 * 17^2 \text{ m/12m} = 78 \text{ kN/m/m}$$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>271 di 329</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	271 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	271 di 329								

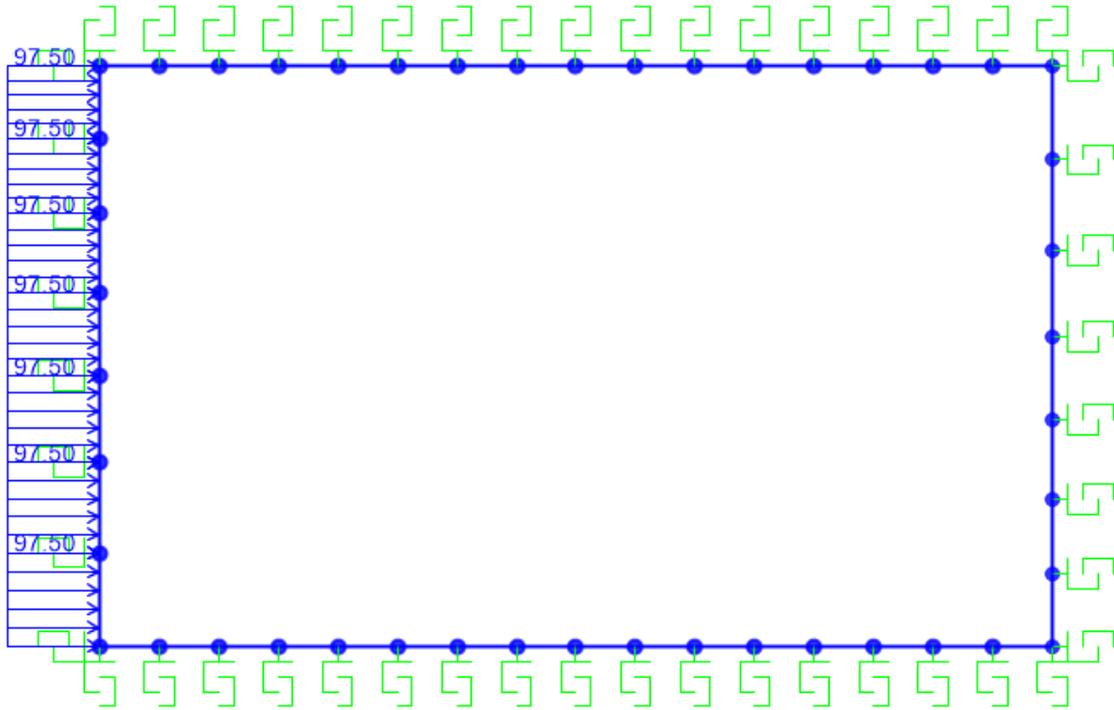


Figura 151 – Carico applicato: incremento spinta sismica orizzontale – lato sinistro

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

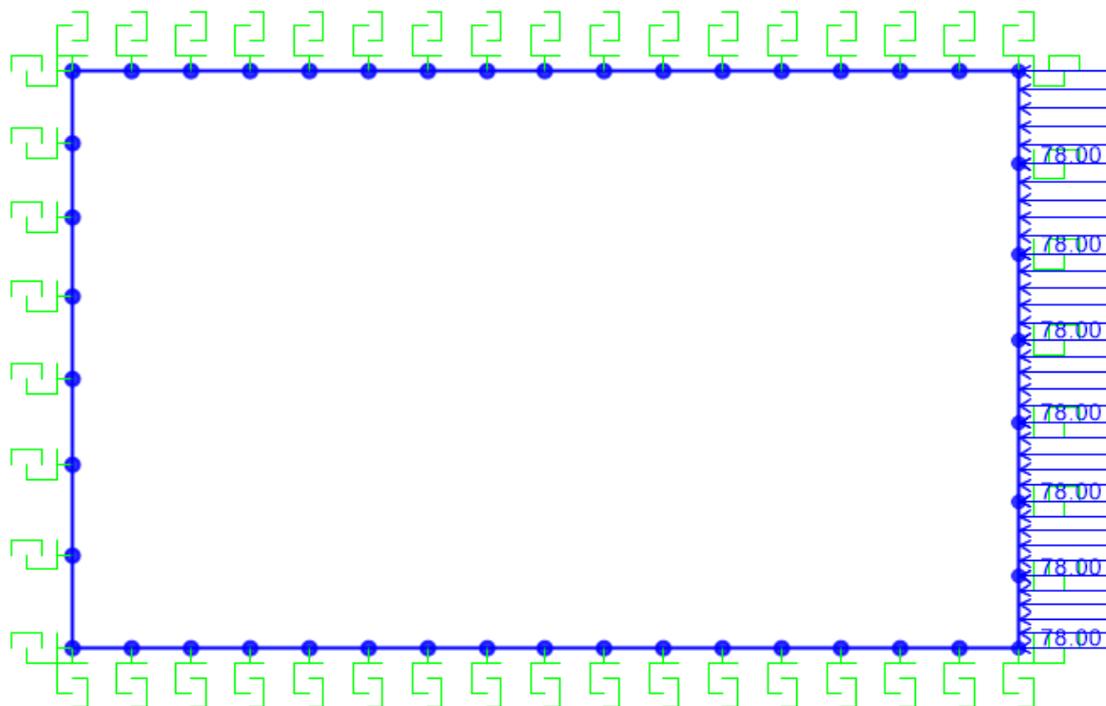


Figura 152 – Carico applicato: spinta sismica orizzontale – lato destro

Variation of the weight of the backfilling ($\pm \Delta S_v$); the increase of thrust can be evaluated according to the theory of Wood, for which the resultant of the vertical seismic action can be calculated as follows:

$$\Delta S_v = 0.5 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \gamma \cdot A$$

In which A represents the height of the load cover (variable in this case) above the dome. The thrust is applied to the dome, uniformly distributed over the width of the structure; for this purpose, the average heights of the vertical load were inserted in the model, while in the combination it was inserted the common multiplier, therefore the vertical seismic load assumed is equal to:

$$\Delta S_v = 0.5 * 0.162 * 20 \text{ kN/m}^3 * z$$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>273 di 329</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	273 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	273 di 329								

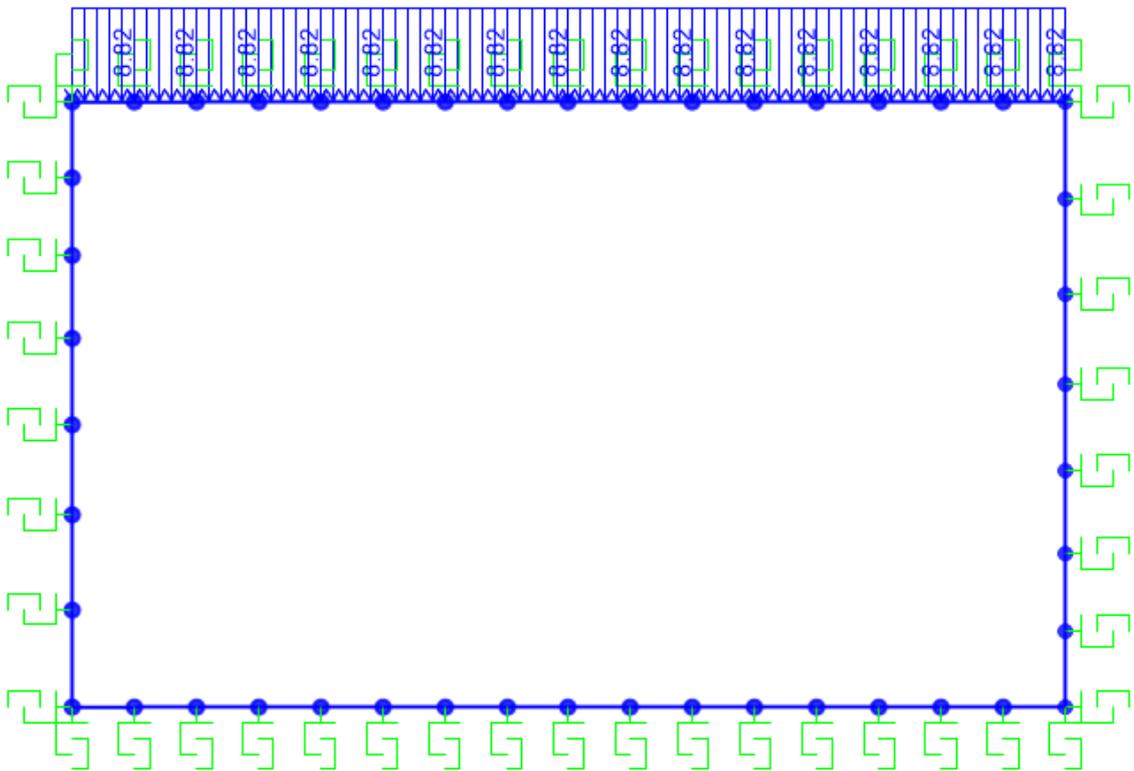


Figura 153 – Carico applicato: spinta sismica verticale

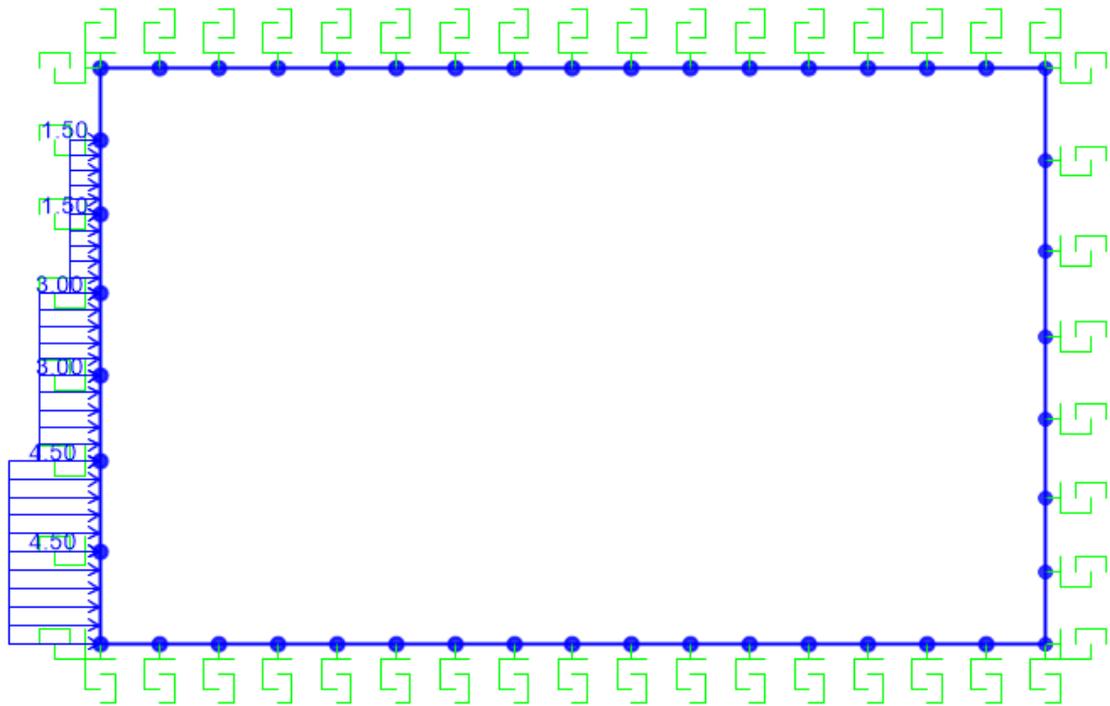


Figura 154 – Carico applicato: spinta statica idraulica- lato sinistro

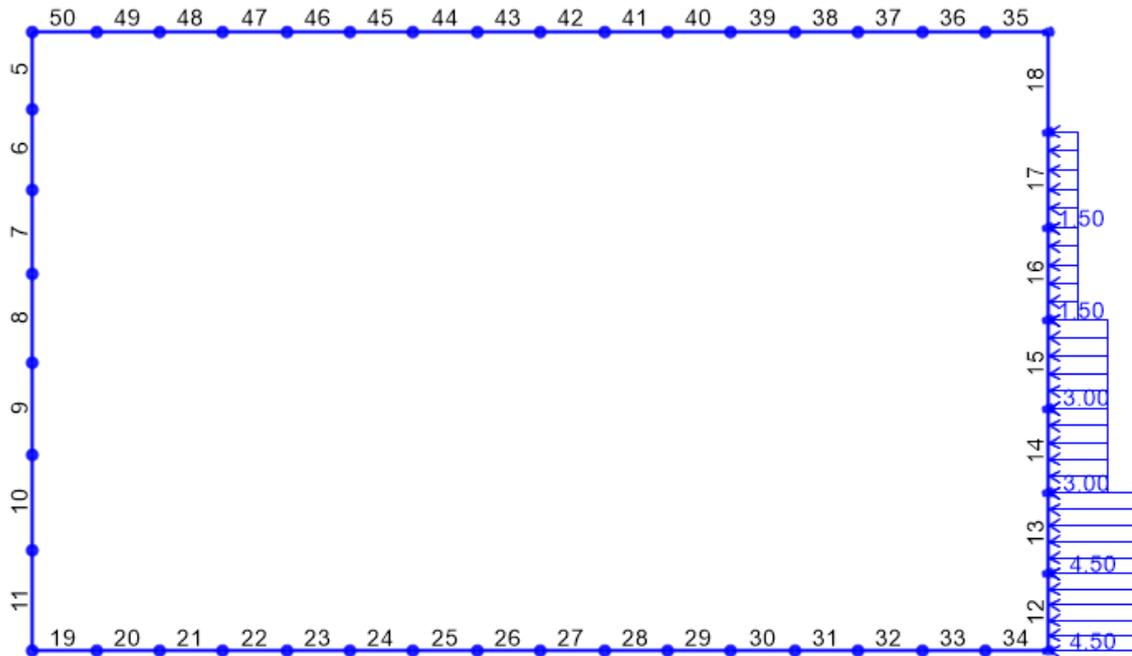


Figura 155 – Carico applicato: spinta statica idraulica- lato destro

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>276 di 329</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	276 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	276 di 329								

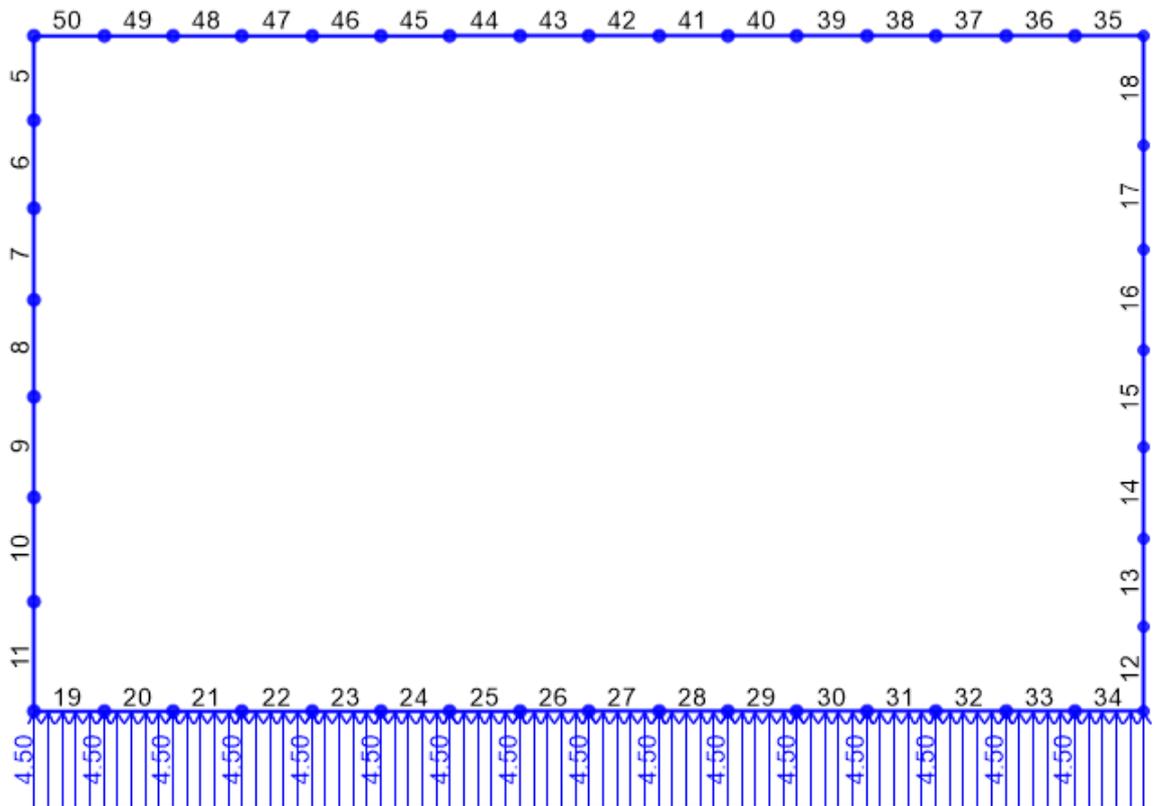


Figura 156 – Carico applicato: spinta statica idraulica- verticale

	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>277 di 329</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	277 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	277 di 329								

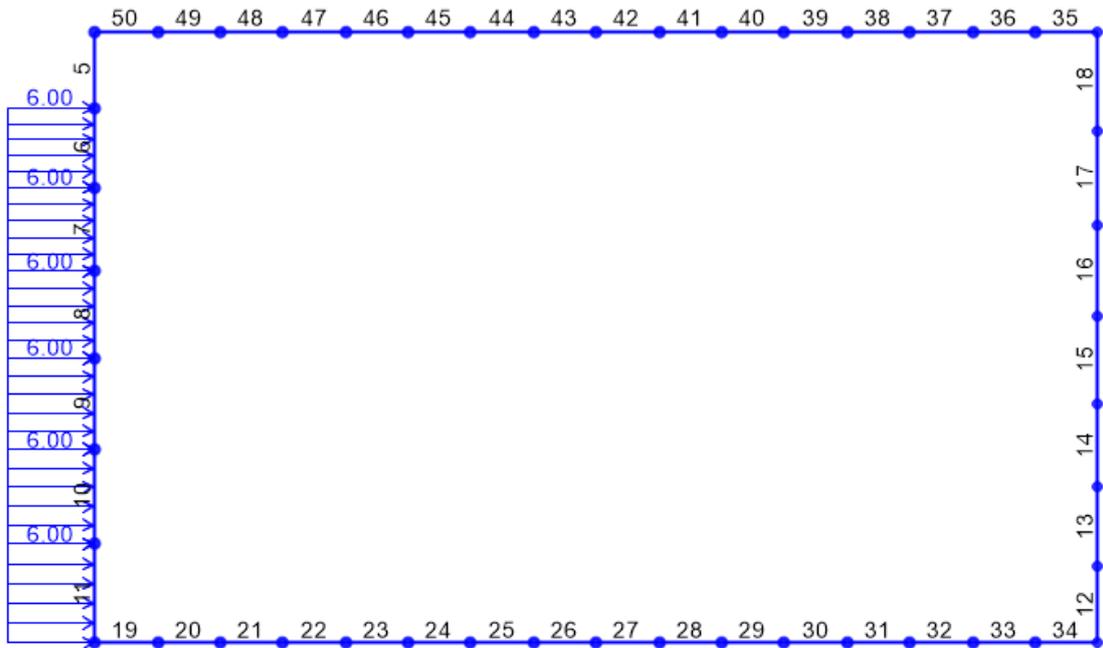


Figura 157 – Carico applicato: spinta dinamica idraulica- lato sinistro

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>278 di 329</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	278 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	278 di 329								

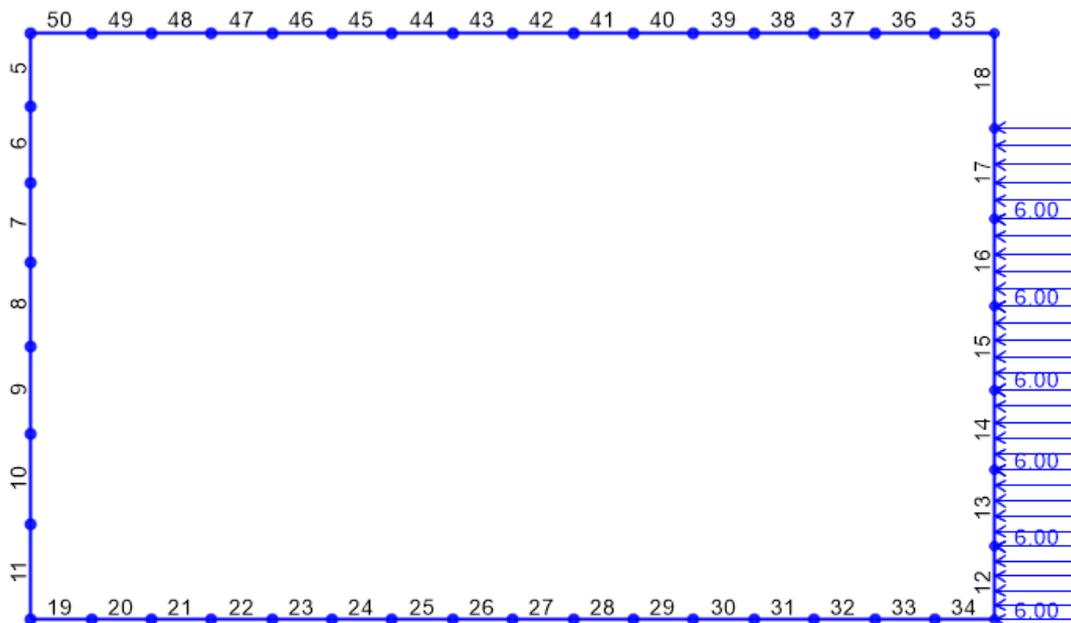


Figura 158 – Carico applicato: spinta dinamica idraulica- lato destro

I parametri di input scelti per questo caso si associano ad una tipologia di terreno “TRV” per cui abbiamo:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Parametri di calcolo					
Tipo Terreno	γ	c'	ϕ'	E'	ν
[-]	[kN/m3]	[kN/m2]	[°]	[MPa]	[-]
Ricoprimento	20	0	30	30	0.3
Terreno alla base	21	20	27	83	0.3

Rigidzza molle per elementi curvi (Formula di Galerkin)			
$K_n = \frac{E}{(1+\nu) \times R}$	Elemento	R	K
	[-]	[m]	[kN/m3]
	AR	4.2	30403
	Calotta	5	4615

Rigidzza molle per elementi Lineari (Formula Di Boussinesq)			
$k_n = \frac{E}{B \cdot (1-\nu^2)}$	Elemento	B	K
	[-]	[m]	[kN/m3]
	Sommità pedritto	5.7	5784
	Base pedritto	2	91209

12.2.1 Risultati e verifiche strutturali

Nel presente paragrafo sono analizzati e commentati i risultati ottenuti dall'analisi numerica condotta, in termini di verifiche SLU, SLV e SLE. Le figure e tabelle seguenti mostrano le combinazioni più gravose per ciascun elemento strutturale: il riquadro verde indico l'elemento strutturale considerato, il cerchio rosso la sezione più sollecitata.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 280 di 329

SEZIONE 1-2 : CONCIO D'ATTACCO

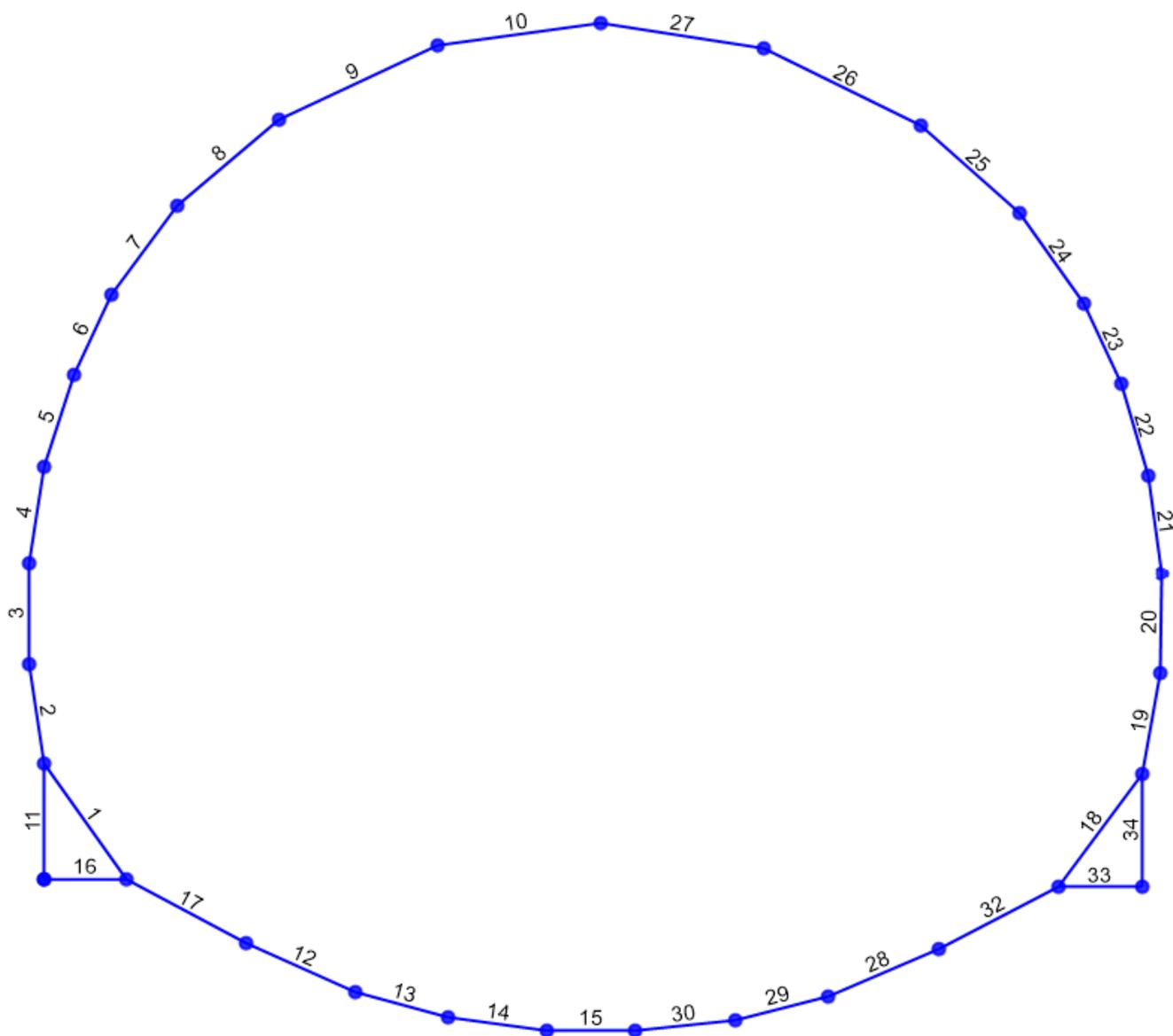


Figura 159 – Sezione 1 – Concio d'attacco – imbocco lato East

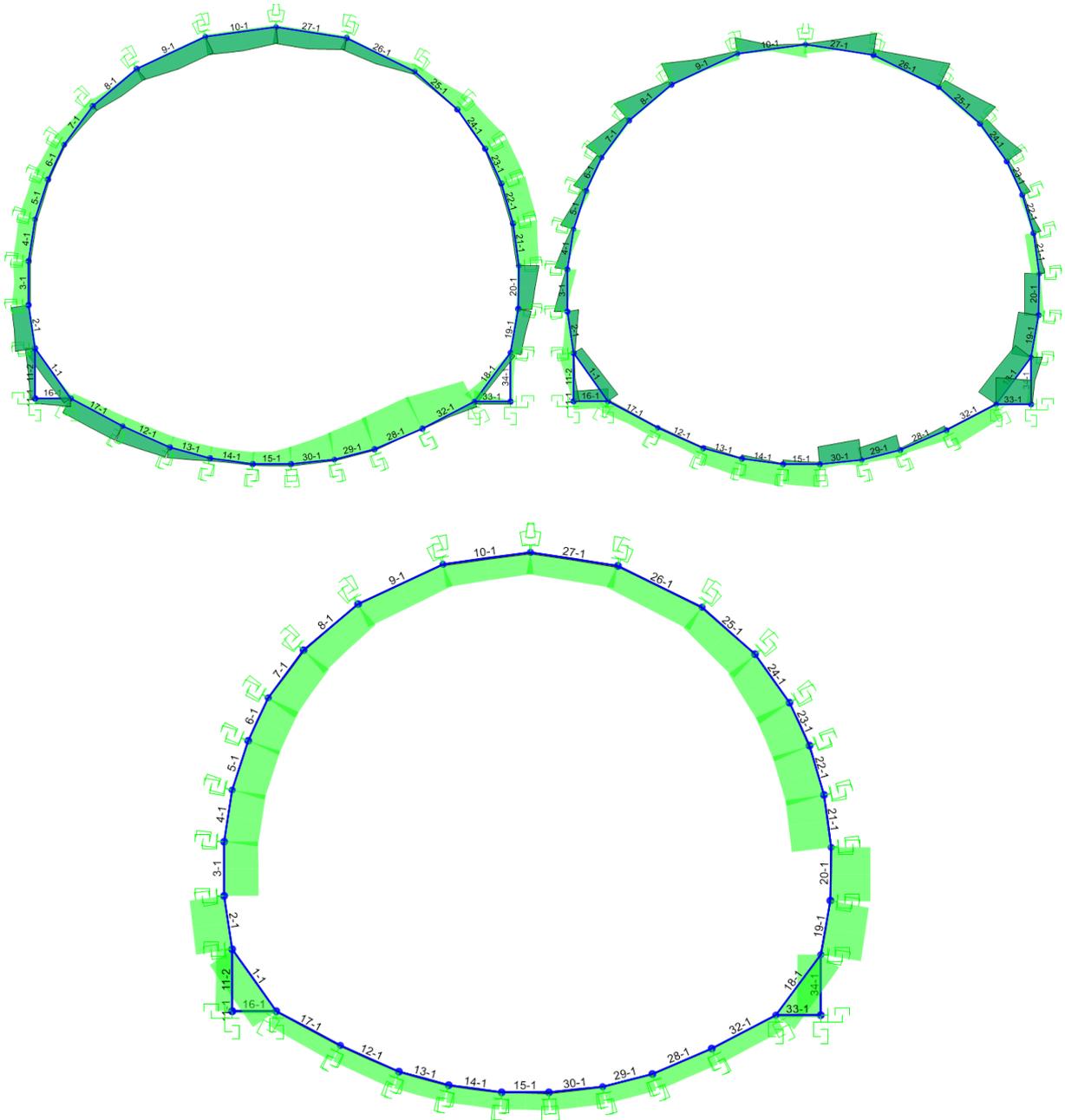


Figura 160 – Da sinistra involucro del momento, del taglio e dello sforzo normale SLE

TABLE: Element Forces - Frames										
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
10	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-589.18	-170.803	0	0	0	493.6728
10	0.88683	SLE-QP	NonStatic	Max	-601.344	-21.49	0	0	0	578.9381
10	1.77365	SLE-QP	NonStatic	Max	-613.509	127.824	0	0	0	531.7878
10	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-589.18	-170.803	0	0	0	493.6728
10	0.88683	SLE-QP	NonStatic	Min	-601.344	-21.49	0	0	0	578.9381
10	1.77365	SLE-QP	NonStatic	Min	-613.509	127.824	0	0	0	531.7878
10	0	SLE-C	NonStatic	Max	-793.646	-119.682	0	0	0	390.6748
10	0.88683	SLE-C	NonStatic	Max	-807.024	47.199	0	0	0	422.815
10	1.77365	SLE-C	NonStatic	Max	-820.401	214.08	0	0	0	306.9606
10	0	SLE-C	NonStatic	Min	-793.646	-119.682	0	0	0	390.6748
10	0.88683	SLE-C	NonStatic	Min	-807.024	47.199	0	0	0	422.815
10	1.77365	SLE-C	NonStatic	Min	-820.401	214.08	0	0	0	306.9606
10	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-49.027	5.521	0	0	0	450.2044
10	0.88683	INV_SLE-F	Combination	Max	-47.935	51.396	0	0	0	542.6566
10	1.77365	INV_SLE-F	Combination	Max	-46.844	214.628	0	0	0	502.5733
10	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-751.022	-178.975	0	0	0	-57.6073
10	0.88683	INV_SLE-F	Combination	Min	-763.186	-29.526	0	0	0	-52.0083
10	1.77365	INV_SLE-F	Combination	Min	-775.351	-6.085	0	0	0	-46.5443
6	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-943.565	81.985	0	0	0	-78.0695
6	0.47979	SLE-QP	NonStatic	Max	-938.241	129.854	0	0	0	-128.889
6	0.95958	SLE-QP	NonStatic	Max	-932.916	177.723	0	0	0	-202.675
6	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-943.565	81.985	0	0	0	-78.0695
6	0.47979	SLE-QP	NonStatic	Min	-938.241	129.854	0	0	0	-128.889
6	0.95958	SLE-QP	NonStatic	Min	-932.916	177.723	0	0	0	-202.675
6	0	SLE-C	NonStatic	Max	-1168.05	4.439	0	0	0	-334.489
6	0.47979	SLE-C	NonStatic	Max	-1160.88	56.234	0	0	0	-349.044
6	0.95958	SLE-C	NonStatic	Max	-1153.7	108.029	0	0	0	-388.45
6	0	SLE-C	NonStatic	Min	-1168.05	4.439	0	0	0	-334.489
6	0.47979	SLE-C	NonStatic	Min	-1160.88	56.234	0	0	0	-349.044
6	0.95958	SLE-C	NonStatic	Min	-1153.7	108.029	0	0	0	-388.45
6	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-12.193	69.734	0	0	0	36.4621
6	0.47979	INV_SLE-F	Combination	Max	-10.528	120.744	0	0	0	44.4187
6	0.95958	INV_SLE-F	Combination	Max	-8.862	171.754	0	0	0	50.6799
6	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-1140.53	-18.35	0	0	0	-358.999
6	0.47979	INV_SLE-F	Combination	Min	-1135.21	-14.817	0	0	0	-380.288
6	0.95958	INV_SLE-F	Combination	Min	-1129.88	-11.283	0	0	0	-424.544
3	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-982.647	4.784	0	0	0	-416.556
3	0.54606	SLE-QP	NonStatic	Max	-997.551	75.795	0	0	0	-438.556
3	1.09212	SLE-QP	NonStatic	Max	-1012.46	146.805	0	0	0	-499.333
3	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-982.647	4.784	0	0	0	-416.556
3	0.54606	SLE-QP	NonStatic	Min	-997.551	75.795	0	0	0	-438.556
3	1.09212	SLE-QP	NonStatic	Min	-1012.46	146.805	0	0	0	-499.333
3	0	SLE-C	NonStatic	Max	-1153.51	-121.871	0	0	0	-385.91
3	0.54606	SLE-C	NonStatic	Max	-1168.4	-45.399	0	0	0	-340.24
3	1.09212	SLE-C	NonStatic	Max	-1183.3	31.072	0	0	0	-336.329
3	0	SLE-C	NonStatic	Min	-1153.51	-121.871	0	0	0	-385.91
3	0.54606	SLE-C	NonStatic	Min	-1168.4	-45.399	0	0	0	-340.24
3	1.09212	SLE-C	NonStatic	Min	-1183.3	31.072	0	0	0	-336.329
3	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-3.201	16.052	0	0	0	58.9467
3	0.54606	INV_SLE-F	Combination	Max	-3.193	91.431	0	0	0	55.2095
3	1.09212	INV_SLE-F	Combination	Max	-3.186	166.81	0	0	0	48.7887
3	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-1135.52	-123.928	0	0	0	-428.615
3	0.54606	INV_SLE-F	Combination	Min	-1150.42	-52.917	0	0	0	-397.728
3	1.09212	INV_SLE-F	Combination	Min	-1165.33	14.216	0	0	0	-468.236
2	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-1022.97	12.448	0	0	0	499.333
2	0.55143	SLE-QP	NonStatic	Max	-1055.66	-54.142	0	0	0	510.8286
2	1.10287	SLE-QP	NonStatic	Max	-1088.36	-120.731	0	0	0	559.044
2	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-1022.97	12.448	0	0	0	499.333
2	0.55143	SLE-QP	NonStatic	Min	-1055.66	-54.142	0	0	0	510.8286
2	1.10287	SLE-QP	NonStatic	Min	-1088.36	-120.731	0	0	0	559.044
2	0	SLE-C	NonStatic	Max	-1174.54	139.344	0	0	0	336.3285
2	0.55143	SLE-C	NonStatic	Max	-1208.08	67.371	0	0	0	279.3336
2	1.10287	SLE-C	NonStatic	Max	-1241.62	-4.602	0	0	0	262.027
2	0	SLE-C	NonStatic	Min	-1174.54	139.344	0	0	0	336.3285
2	0.55143	SLE-C	NonStatic	Min	-1208.08	67.371	0	0	0	279.3336
2	1.10287	SLE-C	NonStatic	Min	-1241.62	-4.602	0	0	0	262.027
2	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-5.358	148.931	0	0	0	468.236
2	0.55143	INV_SLE-F	Combination	Max	-6.113	82.341	0	0	0	492.1002
2	1.10287	INV_SLE-F	Combination	Max	-6.868	15.752	0	0	0	555.0591
2	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-1154.81	-13.547	0	0	0	-48.7887
2	0.55143	INV_SLE-F	Combination	Min	-1187.5	-78.725	0	0	0	-39.9823
2	1.10287	INV_SLE-F	Combination	Min	-1220.2	-149.621	0	0	0	-28.5041
17	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-559.757	-51.921	0	0	0	387.2162
17	0.72967	SLE-QP	NonStatic	Max	-546.648	-27.913	0	0	0	416.3426
17	1.45933	SLE-QP	NonStatic	Max	-533.538	-3.905	0	0	0	427.9508
17	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-559.757	-51.921	0	0	0	387.2162
17	0.72967	SLE-QP	NonStatic	Min	-546.648	-27.913	0	0	0	416.3426
17	1.45933	SLE-QP	NonStatic	Min	-533.538	-3.905	0	0	0	427.9508
17	0	SLE-C	NonStatic	Max	-582.707	-127.176	0	0	0	-247.904
17	0.72967	SLE-C	NonStatic	Max	-569.597	-103.168	0	0	0	-163.867
17	1.45933	SLE-C	NonStatic	Max	-556.487	-79.159	0	0	0	-97.3482
17	0	SLE-C	NonStatic	Min	-582.707	-127.176	0	0	0	-247.904
17	0.72967	SLE-C	NonStatic	Min	-569.597	-103.168	0	0	0	-163.867
17	1.45933	SLE-C	NonStatic	Min	-556.487	-79.159	0	0	0	-97.3482
17	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-32.524	14.106	0	0	0	441.4966
17	0.72967	INV_SLE-F	Combination	Max	-32.524	14.106	0	0	0	461.1102
17	1.45933	INV_SLE-F	Combination	Max	-32.524	14.106	0	0	0	463.2058
17	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-596.802	-134.932	0	0	0	-277.365
17	0.72967	INV_SLE-F	Combination	Min	-583.692	-137.347	0	0	0	-204.353
17	1.45933	INV_SLE-F	Combination	Min	-570.582	-171.071	0	0	0	-148.859

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Figura 161 – Combinazioni di carico da SAP2000 – SLE

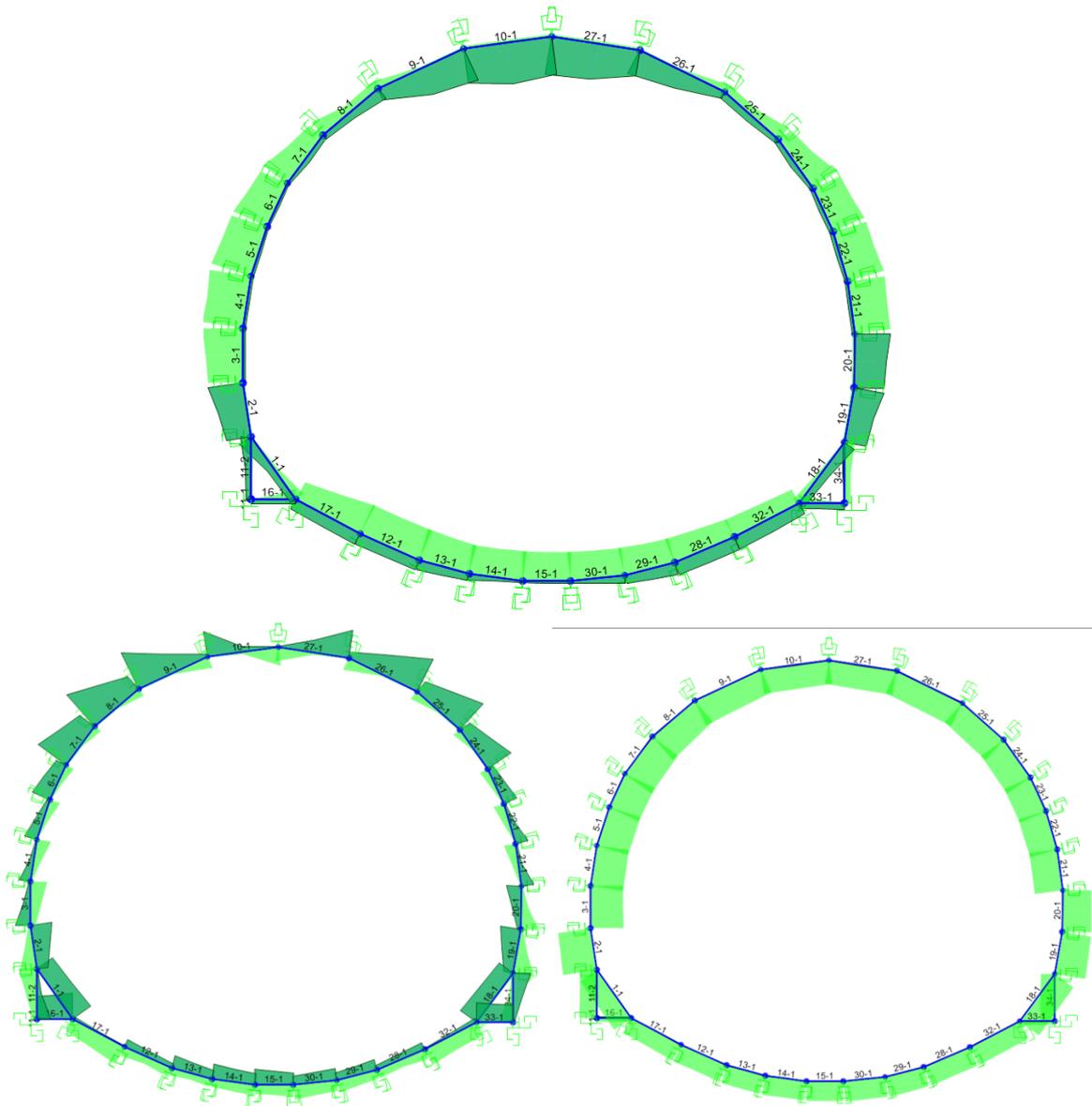


Figura 162 – Da sinistra: involuppo del momento, del taglio e dello sforzo normale – SLU

Frame	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
10	INV_SLU	Combination	Max	-49.027	5.521	0	0	0	855.485
10	INV_SLU	Combination	Max	-47.935	70.6	0	0	0	925.3735
10	INV_SLU	Combination	Max	-46.844	316.548	0	0	0	777.1494
10	INV_SLU	Combination	Min	-1237.77	-234.944	0	0	0	-57.6073
10	INV_SLU	Combination	Min	-1259.04	-33.639	0	0	0	-52.0083
10	INV_SLU	Combination	Min	-1280.31	-6.085	0	0	0	-47.103
6	INV_SLU	Combination	Max	-12.193	136.003	0	0	0	47.9283
6	INV_SLU	Combination	Max	-10.528	185.866	0	0	0	58.2782
6	INV_SLU	Combination	Max	-8.862	235.728	0	0	0	50.6799
6	INV_SLU	Combination	Min	-1724.48	-104.323	0	0	0	-658.805
6	INV_SLU	Combination	Min	-1714.79	-52.608	0	0	0	-718.484
6	INV_SLU	Combination	Min	-1705.09	-11.283	0	0	0	-819.623
3	INV_SLU	Combination	Max	-3.201	12.499	0	0	0	58.9467
3	INV_SLU	Combination	Max	-3.193	84.149	0	0	0	55.2095
3	INV_SLU	Combination	Max	-3.186	184.646	0	0	0	48.7887
3	INV_SLU	Combination	Min	-1674.26	-211.787	0	0	0	-895.31
3	INV_SLU	Combination	Min	-1693.62	-140.769	0	0	0	-814.749
3	INV_SLU	Combination	Min	-1712.99	-69.752	0	0	0	-772.968
2	INV_SLU	Combination	Max	-5.358	270.684	0	0	0	772.9675
2	INV_SLU	Combination	Max	-6.113	205.114	0	0	0	641.7818
2	INV_SLU	Combination	Max	-6.868	139.543	0	0	0	546.7541
2	INV_SLU	Combination	Min	-1699.96	-20.592	0	0	0	-48.7887
2	INV_SLU	Combination	Min	-1743.73	-116.252	0	0	0	-39.9823
2	INV_SLU	Combination	Min	-1787.5	-211.913	0	0	0	-31.7573
17	INV_SLU	Combination	Max	-32.524	14.106	0	0	0	252.8585
17	INV_SLU	Combination	Max	-32.524	14.106	0	0	0	255.1643
17	INV_SLU	Combination	Max	-32.524	32.852	0	0	0	239.952
17	INV_SLU	Combination	Min	-930.453	-241.274	0	0	0	-710.498
17	INV_SLU	Combination	Min	-913.41	-210.063	0	0	0	-554.112
17	INV_SLU	Combination	Min	-896.368	-178.853	0	0	0	-420.498
14	INV_SLU	Combination	Max	-35.52	148.234	0	0	0	48.5196
14	INV_SLU	Combination	Max	-35.52	171.458	0	0	0	49.1031
14	INV_SLU	Combination	Max	-35.52	194.682	0	0	0	49.6866
14	INV_SLU	Combination	Min	-1034.58	-147.867	0	0	0	-649.533
14	INV_SLU	Combination	Min	-1034.37	-130.003	0	0	0	-647.501
14	INV_SLU	Combination	Min	-1034.16	-112.138	0	0	0	-656.537

Figura 163 – Combinazioni di carico da SAP2000 – SLU

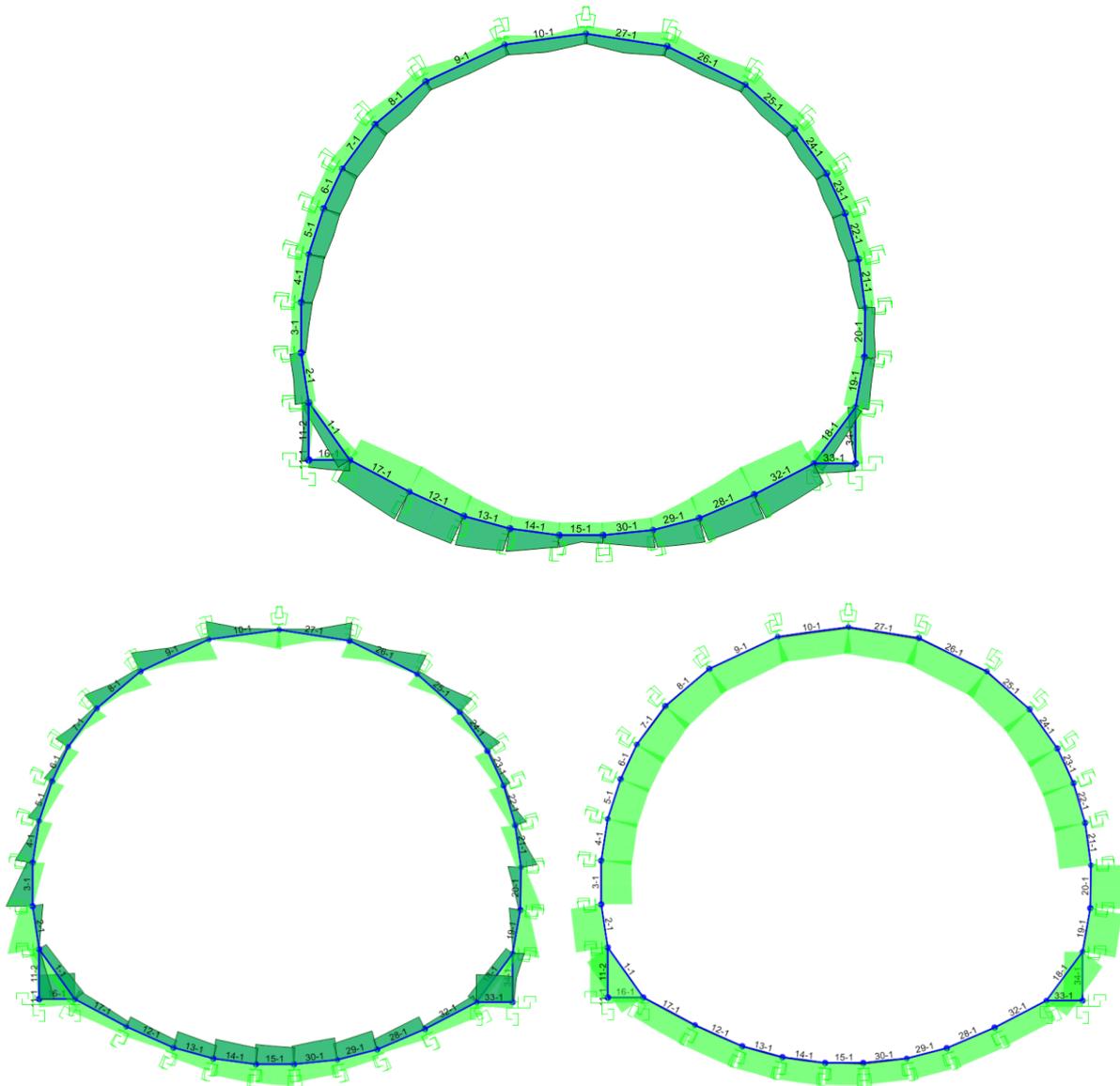


Figura 164 – Da sinistra: involuppo del momento, del taglio e dello sforzo normale - SLV

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Frame	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
10	INV-SLV	Combination	Max	-49.027	5.521	0	0	0	297.9736
10	INV-SLV	Combination	Max	-47.935	74.865	0	0	0	358.7677
10	INV-SLV	Combination	Max	-46.844	230.354	0	0	0	289.3163
10	INV-SLV	Combination	Min	-1098.94	-256.302	0	0	0	-189.012
10	INV-SLV	Combination	Min	-1099.9	-101.308	0	0	0	-95.8391
10	INV-SLV	Combination	Min	-1100.85	-6.085	0	0	0	-224.175
6	INV-SLV	Combination	Max	-12.193	16.573	0	0	0	373.7607
6	INV-SLV	Combination	Max	-10.528	59.671	0	0	0	410.913
6	INV-SLV	Combination	Max	-8.862	119.809	0	0	0	406.3552
6	INV-SLV	Combination	Min	-1330.28	-152.425	0	0	0	-375.151
6	INV-SLV	Combination	Min	-1324.58	-103.77	0	0	0	-369.922
6	INV-SLV	Combination	Min	-1318.89	-55.116	0	0	0	-388.036
3	INV-SLV	Combination	Max	-3.201	76.768	0	0	0	259.6747
3	INV-SLV	Combination	Max	-3.193	202.112	0	0	0	183.5319
3	INV-SLV	Combination	Max	-3.186	327.456	0	0	0	120.5008
3	INV-SLV	Combination	Min	-1278.67	-154.175	0	0	0	-306.257
3	INV-SLV	Combination	Min	-1293.57	-82.072	0	0	0	-269.729
3	INV-SLV	Combination	Min	-1308.48	-9.97	0	0	0	-311.479
2	INV-SLV	Combination	Max	-5.358	151.147	0	0	0	311.4785
2	INV-SLV	Combination	Max	-6.113	83.481	0	0	0	302.2855
2	INV-SLV	Combination	Max	-6.868	15.815	0	0	0	339.0893
2	INV-SLV	Combination	Min	-1297.41	-168.314	0	0	0	-120.501
2	INV-SLV	Combination	Min	-1330.28	-288.47	0	0	0	-165.742
2	INV-SLV	Combination	Min	-1363.14	-408.626	0	0	0	-173.67
17	INV-SLV	Combination	Max	-32.524	75.656	0	0	0	688.5539
17	INV-SLV	Combination	Max	-32.524	99.664	0	0	0	624.5913
17	INV-SLV	Combination	Max	-32.524	123.672	0	0	0	544.4342
17	INV-SLV	Combination	Min	-962.279	-128.772	0	0	0	-628.628
17	INV-SLV	Combination	Min	-949.169	-137.347	0	0	0	-557.728
17	INV-SLV	Combination	Min	-936.059	-171.071	0	0	0	-504.346
14	INV-SLV	Combination	Max	-35.52	207.864	0	0	0	191.1885
14	INV-SLV	Combination	Max	-35.52	225.729	0	0	0	167.1104
14	INV-SLV	Combination	Max	-35.52	243.593	0	0	0	284.3676
14	INV-SLV	Combination	Min	-929.829	-273.478	0	0	0	-277.039
14	INV-SLV	Combination	Min	-929.669	-255.614	0	0	0	-283.847
14	INV-SLV	Combination	Min	-929.51	-237.75	0	0	0	-277.031

Figura 165 – Combinazioni di carico da SAP2000 – SLV

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 287 di 329

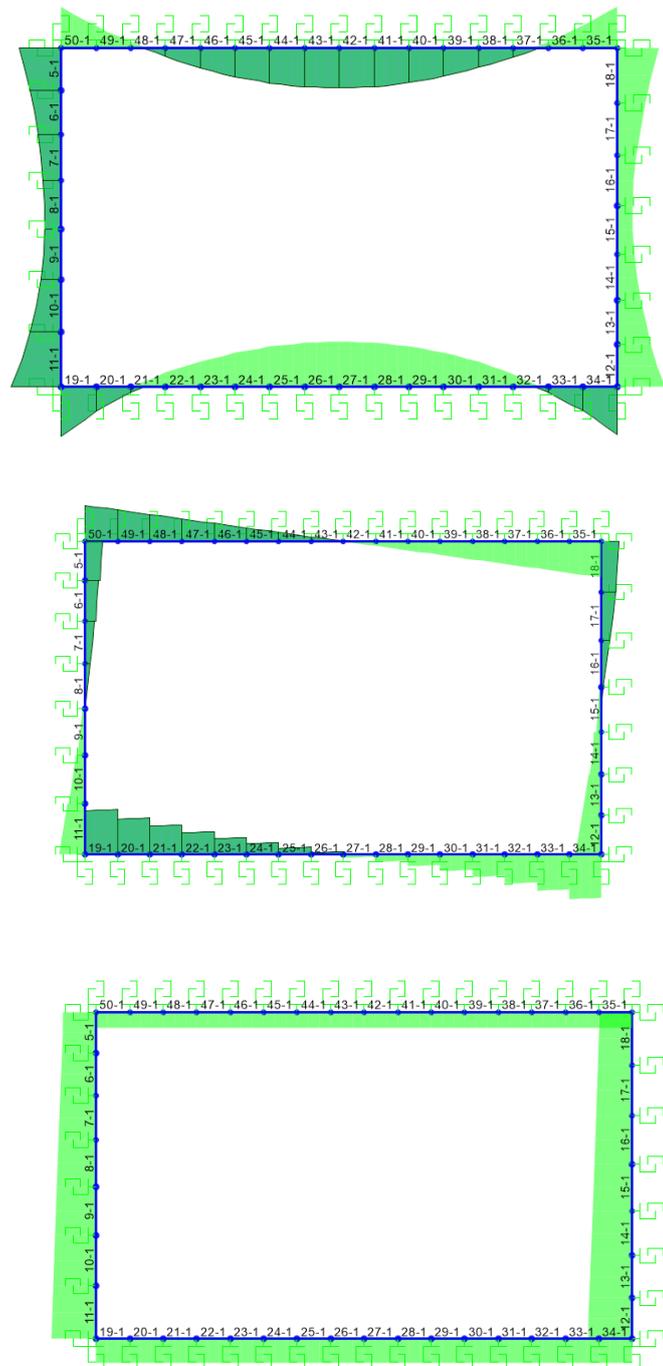


Figura 166 – Da sinistra: inviluppo del momento, del taglio e dello sforzo normale – SLE

TABLE: Element Forces - Frames											
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
43	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-549.64	19.272	0	0	0	2766.146	
43	0.34688	SLE-QP	NonStatic	Max	-549.64	74.768	0	0	0	2749.836	
43	0.69375	SLE-QP	NonStatic	Max	-549.64	130.265	0	0	0	2714.275	
43	1.04063	SLE-QP	NonStatic	Max	-549.64	185.761	0	0	0	2659.464	
43	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-549.64	19.272	0	0	0	2766.146	
43	0.34688	SLE-QP	NonStatic	Min	-549.64	74.768	0	0	0	2749.836	
43	0.69375	SLE-QP	NonStatic	Min	-549.64	130.265	0	0	0	2714.275	
43	1.04063	SLE-QP	NonStatic	Min	-549.64	185.761	0	0	0	2659.464	
43	0	SLE-C	NonStatic	Max	-730.801	-1.556	0	0	0	3036.019	
43	0.34688	SLE-C	NonStatic	Max	-730.801	60.878	0	0	0	3025.73	
43	0.69375	SLE-C	NonStatic	Max	-730.801	123.312	0	0	0	2993.785	
43	1.04063	SLE-C	NonStatic	Max	-730.801	185.745	0	0	0	2940.183	
43	0	SLE-C	NonStatic	Min	-730.801	-1.556	0	0	0	3036.019	
43	0.34688	SLE-C	NonStatic	Min	-730.801	60.878	0	0	0	3025.73	
43	0.69375	SLE-C	NonStatic	Min	-730.801	123.312	0	0	0	2993.785	
43	1.04063	SLE-C	NonStatic	Min	-730.801	185.745	0	0	0	2940.183	
43	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-0.957	19.388	0	0	0	2987.218	
43	0.34688	INV_SLE-F	Combination	Max	-0.957	74.884	0	0	0	2977.208	
43	0.69375	INV_SLE-F	Combination	Max	-0.957	130.38	0	0	0	2946.024	
43	1.04063	INV_SLE-F	Combination	Max	-0.957	185.876	0	0	0	2893.663	
43	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-713.238	-2.097	0	0	0	-3.3887	
43	0.34688	INV_SLE-F	Combination	Min	-713.238	-1.536	0	0	0	-3.9992	
43	0.69375	INV_SLE-F	Combination	Min	-713.238	-1.536	0	0	0	-4.6097	
43	1.04063	INV_SLE-F	Combination	Min	-713.238	-1.536	0	0	0	-5.2202	
8	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-1550.67	174.995	0	0	0	1432.879	
8	0.72851	SLE-QP	NonStatic	Max	-1587.09	78.103	0	0	0	1340.686	
8	1.45702	SLE-QP	NonStatic	Max	-1623.5	-18.789	0	0	0	1319.08	
8	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-1550.67	174.995	0	0	0	1432.879	
8	0.72851	SLE-QP	NonStatic	Min	-1587.09	78.103	0	0	0	1340.686	
8	1.45702	SLE-QP	NonStatic	Min	-1623.5	-18.789	0	0	0	1319.08	
8	0	SLE-C	NonStatic	Max	-1696.34	167.223	0	0	0	1261.317	
8	0.72851	SLE-C	NonStatic	Max	-1732.76	63.046	0	0	0	1177.44	
8	1.45702	SLE-C	NonStatic	Max	-1769.17	-41.131	0	0	0	1169.458	
8	0	SLE-C	NonStatic	Min	-1696.34	167.223	0	0	0	1261.317	
8	0.72851	SLE-C	NonStatic	Min	-1732.76	63.046	0	0	0	1177.44	
8	1.45702	SLE-C	NonStatic	Min	-1769.17	-41.131	0	0	0	1169.458	
8	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-2.445	182.949	0	0	0	1359.469	
8	0.72851	INV_SLE-F	Combination	Max	-2.445	80.229	0	0	0	1263.605	
8	1.45702	INV_SLE-F	Combination	Max	-2.445	2.664	0	0	0	1242.573	
8	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-1662.93	-0.874	0	0	0	-43.4733	
8	0.72851	INV_SLE-F	Combination	Min	-1699.35	-0.874	0	0	0	-47.9065	
8	1.45702	INV_SLE-F	Combination	Min	-1735.76	-42.34	0	0	0	-49.1553	
26	0	SLE-QP	NonStatic	Max	-822.621	20.406	0	0	0	-3197.24	
26	0.34688	SLE-QP	NonStatic	Max	-822.621	37.745	0	0	0	-3207.32	
26	0.69375	SLE-QP	NonStatic	Max	-822.621	55.084	0	0	0	-3223.42	
26	1.04063	SLE-QP	NonStatic	Max	-822.621	72.423	0	0	0	-3245.54	
26	0	SLE-QP	NonStatic	Min	-822.621	20.406	0	0	0	-3197.24	
26	0.34688	SLE-QP	NonStatic	Min	-822.621	37.745	0	0	0	-3207.32	
26	0.69375	SLE-QP	NonStatic	Min	-822.621	55.084	0	0	0	-3223.42	
26	1.04063	SLE-QP	NonStatic	Min	-822.621	72.423	0	0	0	-3245.54	
26	0	SLE-C	NonStatic	Max	-1079.07	70.207	0	0	0	-3365.55	
26	0.34688	SLE-C	NonStatic	Max	-1079.07	87.546	0	0	0	-3392.91	
26	0.69375	SLE-C	NonStatic	Max	-1079.07	104.884	0	0	0	-3426.29	
26	1.04063	SLE-C	NonStatic	Max	-1079.07	122.223	0	0	0	-3465.67	
26	0	SLE-C	NonStatic	Min	-1079.07	70.207	0	0	0	-3365.55	
26	0.34688	SLE-C	NonStatic	Min	-1079.07	87.546	0	0	0	-3392.91	
26	0.69375	SLE-C	NonStatic	Min	-1079.07	104.884	0	0	0	-3426.29	
26	1.04063	SLE-C	NonStatic	Min	-1079.07	122.223	0	0	0	-3465.67	
26	0	INV_SLE-F	Combination	Max	-2.497	68.439	0	0	0	7.9437	
26	0.34688	INV_SLE-F	Combination	Max	-2.497	85.777	0	0	0	7.2974	
26	0.69375	INV_SLE-F	Combination	Max	-2.497	103.116	0	0	0	6.6511	
26	1.04063	INV_SLE-F	Combination	Max	-2.497	120.455	0	0	0	6.0746	
26	0	INV_SLE-F	Combination	Min	-1076.24	-1.569	0	0	0	-3325.96	
26	0.34688	INV_SLE-F	Combination	Min	-1076.24	-1.569	0	0	0	-3352.7	
26	0.69375	INV_SLE-F	Combination	Min	-1076.24	-1.569	0	0	0	-3385.47	
26	1.04063	INV_SLE-F	Combination	Min	-1076.24	-1.569	0	0	0	-3424.24	

Figura 167 – Combinazioni di carico da SAP2000 – SLE

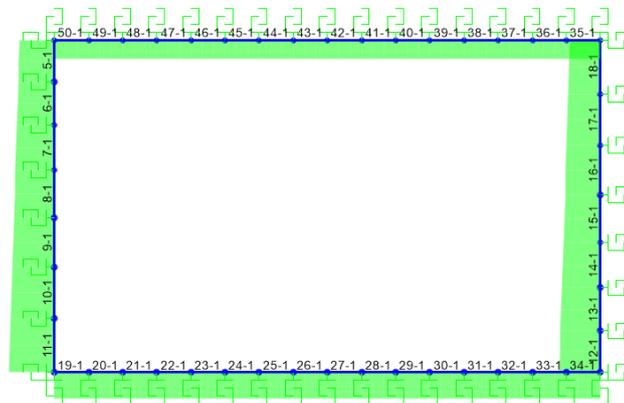
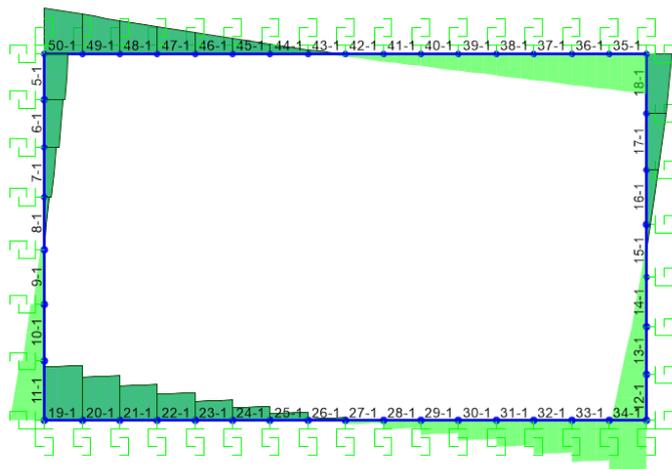
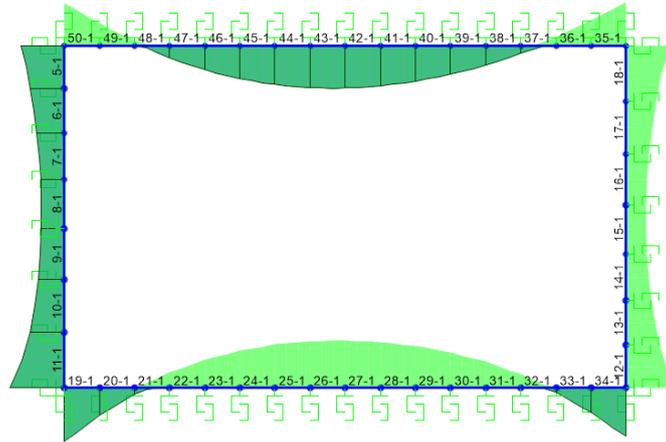


Figura 168 – Da sinistra: involucro del momento, del taglio e dello sforzo normale – SLU

TABLE: Element Forces - Frames											
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
8	0	INV_SLU	Combination	Max	-2.545	221.3	0	0	0	2308.9383	
8	0.72851	INV_SLU	Combination	Max	-2.545	84.413	0	0	0	2232.7305	
8	1.45702	INV_SLU	Combination	Max	-2.545	2.664	0	0	0	2231.8863	
8	0	INV_SLU	Combination	Min	-2374.094	-0.538	0	0	0	-40.7222	
8	0.72851	INV_SLU	Combination	Min	-2421.433	-0.538	0	0	0	-40.7495	
8	1.45702	INV_SLU	Combination	Min	-2468.772	-69.069	0	0	0	-40.7768	
26	0	INV_SLU	Combination	Max	-2.497	72.539	0	0	0	7.9437	
26	0.34688	INV_SLU	Combination	Max	-2.497	95.079	0	0	0	7.2974	
26	0.69375	INV_SLU	Combination	Max	-2.497	117.619	0	0	0	6.6511	
26	1.04063	INV_SLU	Combination	Max	-2.497	140.16	0	0	0	6.0048	
26	0	INV_SLU	Combination	Min	-1638.008	-1.569	0	0	0	-4651.9927	
26	0.34688	INV_SLU	Combination	Min	-1638.008	-1.569	0	0	0	-4671.001	
26	0.69375	INV_SLU	Combination	Min	-1638.008	-1.569	0	0	0	-4697.828	
26	1.04063	INV_SLU	Combination	Min	-1638.008	-1.569	0	0	0	-4732.4737	
43	0	INV_SLU	Combination	Max	-0.957	5.952	0	0	0	4177.5767	
43	0.34688	INV_SLU	Combination	Max	-0.957	61.448	0	0	0	4201.7705	
43	0.69375	INV_SLU	Combination	Max	-0.957	116.944	0	0	0	4193.7195	
43	1.04063	INV_SLU	Combination	Max	-0.957	172.44	0	0	0	4153.4236	
43	0	INV_SLU	Combination	Min	-1145.158	-130.152	0	0	0	-3.0275	
43	0.34688	INV_SLU	Combination	Min	-1145.158	-37.194	0	0	0	-2.557	
43	0.69375	INV_SLU	Combination	Min	-1145.158	-1.357	0	0	0	-2.718	
43	1.04063	INV_SLU	Combination	Min	-1145.158	-1.357	0	0	0	-3.3595	

Figura 169 – Combinazioni di carico da SAP2000 – SLU

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI</p>												
<p>GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40</td> <td>D 07 CL</td> <td>GA 00 00 003</td> <td>B</td> <td>291 di 329</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	291 di 329
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40	D 07 CL	GA 00 00 003	B	291 di 329								

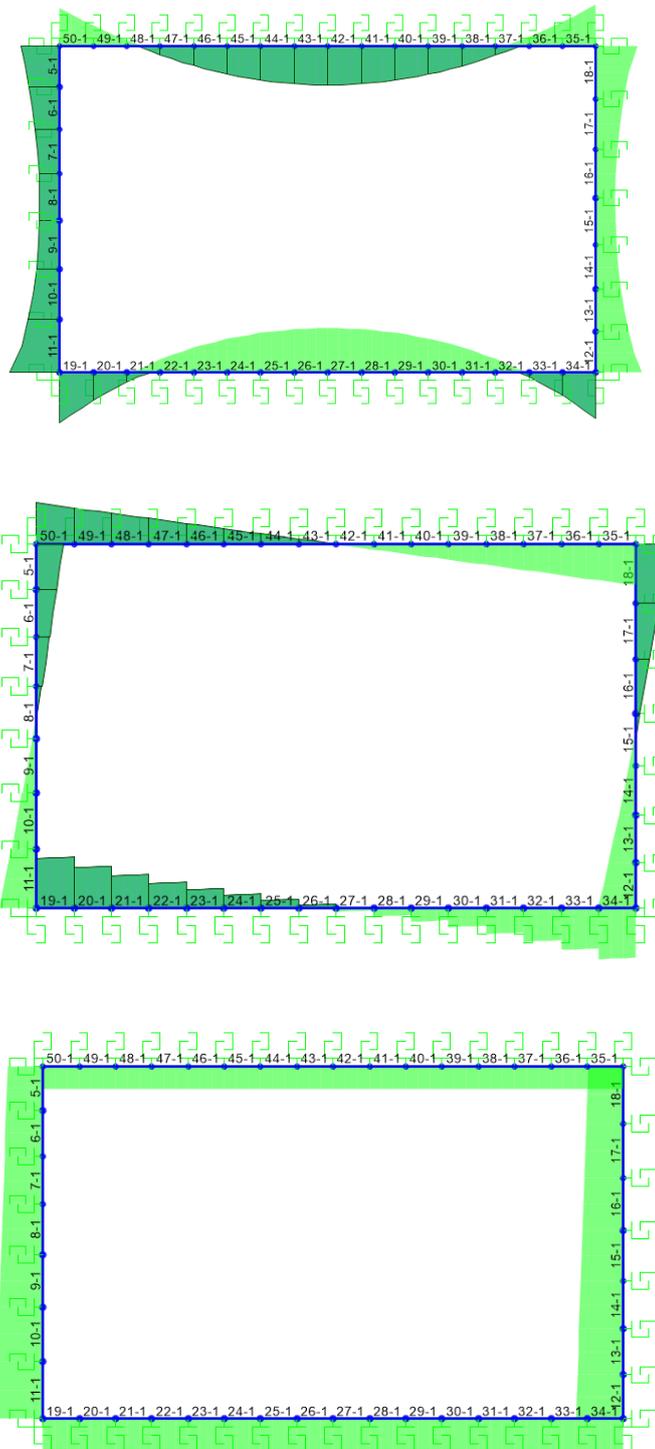


Figura 170 – Da sinistra: involucri del momento, del taglio e dello sforzo normale – SLV

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

TABLE: Element Forces - Frames											
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	
8	0	INV-SLV	Combination	Max	-2.545	170.644	0	0	0	1591.1974	
8	0.72851	INV-SLV	Combination	Max	-2.545	44.704	0	0	0	1540.1118	
8	1.45702	INV-SLV	Combination	Max	-2.545	2.664	0	0	0	1544.7527	
8	0	INV-SLV	Combination	Min	-1641.026	-0.538	0	0	0	-40.7222	
8	0.72851	INV-SLV	Combination	Min	-1677.44	-0.538	0	0	0	-40.7495	
8	1.45702	INV-SLV	Combination	Min	-1713.855	-131.869	0	0	0	-40.7768	
26	0	INV-SLV	Combination	Max	-2.497	102.621	0	0	0	7.9437	
26	0.34688	INV-SLV	Combination	Max	-2.497	119.959	0	0	0	7.2974	
26	0.69375	INV-SLV	Combination	Max	-2.497	137.298	0	0	0	6.6511	
26	1.04063	INV-SLV	Combination	Max	-2.497	154.637	0	0	0	6.0048	
26	0	INV-SLV	Combination	Min	-1315.187	-1.569	0	0	0	-3390.7239	
26	0.34688	INV-SLV	Combination	Min	-1315.187	-1.569	0	0	0	-3415.3369	
26	0.69375	INV-SLV	Combination	Min	-1315.187	-1.569	0	0	0	-3445.9644	
26	1.04063	INV-SLV	Combination	Min	-1315.187	-1.569	0	0	0	-3482.6063	
43	0	INV-SLV	Combination	Max	-0.957	11.697	0	0	0	3031.2347	
43	0.34688	INV-SLV	Combination	Max	-0.957	69.498	0	0	0	3019.8322	
43	0.69375	INV-SLV	Combination	Max	-0.957	127.3	0	0	0	2987.6367	
43	1.04063	INV-SLV	Combination	Max	-0.957	185.101	0	0	0	2934.6484	
43	0	INV-SLV	Combination	Min	-932.501	-25.406	0	0	0	-3.0275	
43	0.34688	INV-SLV	Combination	Min	-932.501	-1.357	0	0	0	-2.557	
43	0.69375	INV-SLV	Combination	Min	-932.501	-1.357	0	0	0	-2.718	
43	1.04063	INV-SLV	Combination	Min	-932.501	-1.357	0	0	0	-3.3595	

Figura 171 – Combinazioni di carico da SAP2000 – SLV

ARMATURE CONCIO D'ATTACCO

ZONA	H [m]	Arm. princ. intra	Ripartitori	Spilli
Calotta	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60
Arco rovescio	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli)
Reni	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli)
Piedr/ Muretta	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli AR)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Arco rovescio/ Muretta	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli AR)
---------------------------	-----	-------	--------	---------------------------------------

ARMATURA GALLERIA ARTIFICIALE

ZONA	H [m]	Arm. princ. intra	Ripartitori	Spilli
Calotta	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60
Arco rovescio	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli)
Reni	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli)
Piedr/ Muretta	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli AR)
Arco rovescio/ Muretta	1.0	5 Ø24	Ø14/30	Ø12/40x60 Ø12/20x30 (angoli AR)

Il dato di incidenza è dato da:

ARMATURE CONCIO D'ATTACCO

INCIDENZA	
ARCO ROVESCIO	30
PIEDRITTO	30
CALOTTA	40

ARMATURA GALLERIA ARTIFICIALE

INCIDENZA	
ARCO ROVESCIO	30

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

PIEDRITTO	32
CALOTTA	53

Nel presente paragrafo si riportano i risultati ottenuti dall'analisi numerica condotta, in termini di SLU, SLV e SLE. Nelle immagini di seguito si sono riepilogati i diagrammi delle caratteristiche delle sollecitazioni per tutte le combinazioni implementate nel modello. Si vuole specificare che lì dove sono presente più combinazioni (come ad esempio per le condizioni SLF, SLU o SLV) si sono riportati i diagrammi involuppo delle combinazioni applicate al modello.

Per le verifiche SLE si considerano i valori nominali delle sollecitazioni in output.

Nelle seguenti tabelle si riporta l'esito delle verifiche eseguite considerando un'armatura corrente come descritta in precedenza, considerando come limite fessurativo imposto da normativa pari a 0.30 mm per l'intradosso e pari a 0.20 mm per l'estradosso e con copriferro netto da prima barra di 64 mm.

12.2.1.1 Sezione 1 – Concio d'attacco

Calotta

Tabella 163 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

M_{Ek}	N_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[mm]
578.9381	613.509	-4.17	124.85	0.112
422.815	820.401	-2.81	38.62	0.035
542.6566	775.351	-3.80	84.65	0.076

Reni

Tabella 164 - Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

M_{Ek}	N_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[mm]
-349.044	1168.053	-1.96	-27.44	0.01

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

-388.45	1168.053	-2.08	-29.09	0.01
-499.333	1135.205	-2.76	-37.39	0.020

Piedritto

Tabella 165 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

M_{Ek}	N_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[mm]
-385.91	1183.299	-2.91	-39.34	0.011
-468.236	1165.327	-3.56	-47.04	0.029
559.044	1088.362	-4.42	68.13	0.061

Attacco piedritto-muretta

Tabella 166 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

M_{Ek}	N_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[mm]
336.3285	1241.615	-1.46	-1.48	0.01
555.0591	1220.201	-2.05	10.07	0.009
427.9508	559.757	-1.74	33.17	0.030

Attacco muretta-arco rovescio

Tabella 167 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

M_{Ek}	N_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[mm]
-247.904	582.707	-1.04	-14.46	0.004
463.2058	596.802	-2.15	45.29	0.041
-507.347	495.81	-2.47	-31.12	0.066

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Arco rovescio

Tabella 168 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

M_{Ek}	N_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[mm]
-293.5093	611.277	-1.23	-17.00	0.008
-480.0462	603.511	-2.24	-29.16	0.044
-170.7633	628.528	-0.81	-11.54	0.05

Le verifiche a presso-flessione agli SLU e SLV, relative agli spessori dei rivestimenti in esame descritti precedentemente, riportano i risultati evidenziando come tutti i punti siano all'interno del dominio di resistenza M-N. Le verifiche risultano quindi soddisfatte.

Figura 172 – Sezioni di riferimento

Tabella 169 – Sollecitazioni e armature delle sezioni di riferimento

	H	Md	Nd	Vd	AS	A'S
	[m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[-]	[-]
10	1.2	925.3735	-47.935	316.548	5	24
10		358.7677	-1098.94	-256.302	5	24
6	1.3	-819.623	-1705.09	235.728	5	24
6		410.913	-10.528	-152.425	5	24
3	1.1	-895.31	-1674.26	-211.787	5	24
3		-311.479	-3.186	327.456	5	24
2	1.6	772.9675	-5.358	270.684	5	24
2		339.0893	-6.868	-408.626	5	24
17	1.5	-710.498	-930.453	-241.274	5	24
17		688.5539	-32.524	-171.071	5	24
14	1.5	-656.537	-35.52	194.682	5	24
14		284.3676	-929.829	-273.478	5	24

Tabella 170 – Output SAP2000 – SLU

Frame	Text	KN-m	kN	KN	
10	INV_SLU	925.3735	70.6	-47.935	MAX M
10		777.1494	316.548	-46.844	MAX V
10					
10					
10					
10					
6	INV_SLU	-819.623	-11.283	-1705.09	MAX M
6		50.6799	235.728	-8.862	MAX V
6					
6					
6					
6					
3	INV_SLU	-895.31	-211.787	-1674.26	MAX M
3		-895.31	-211.787	-1674.26	MAX V
3					
3					
3					
3					
2	INV_SLU	772.9675	270.684	-5.358	MAX M
2		772.9675	270.684	-5.358	MAX V
2					
2					
2					
2					
17	INV_SLU	-710.498	-241.274	-930.453	MAX M
17		-710.498	-241.274	-930.453	MAX V
17					
17					
17					
17					
14	INV_SLU	-656.537	-112.138	-1034.16	MAX M
14		49.6866	194.682	-35.52	MAX V
14					
14					
14					
14					

Tabella 171 – Output SAP2000 - SLV

Frame	Text	KN-m	kN	KN	
10	INV-SLV	358.7677	74.865	-47.935	MAX M
10		-189.012	-256.302	-1098.94	MAX V
10					
10					
10					
10					
6	INV-SLV	410.913	59.671	-10.528	MAX M
6		-375.151	-152.425	-1330.28	MAX V
6					
6					
6					
6					
3	INV-SLV	-311.479	-9.97	-1308.48	MAX M
3		120.5008	327.456	-3.186	MAX V
3					
3					
3					
3					
2	INV-SLV	339.0893	15.815	-6.868	MAX M
2		-173.67	-408.626	-1363.14	MAX V
2					
2					
2					
2					
17	INV-SLV	688.5539	75.656	-32.524	MAX M
17		-504.346	-171.071	-936.059	MAX V
17					
17					
17					
17					
14	INV-SLV	284.3676	243.593	-35.52	MAX M
14		-277.039	-273.478	-929.829	MAX V
14					
14					
14					
14					

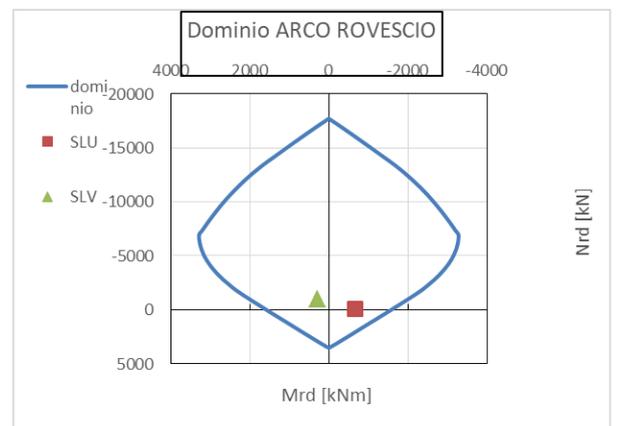
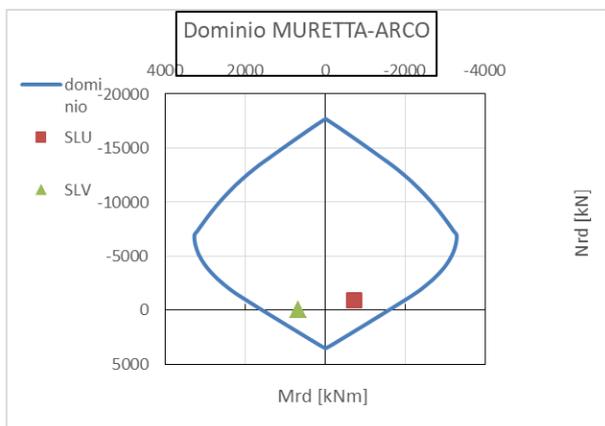
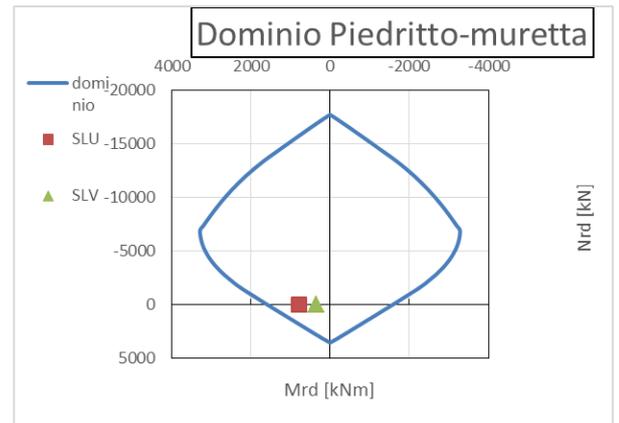
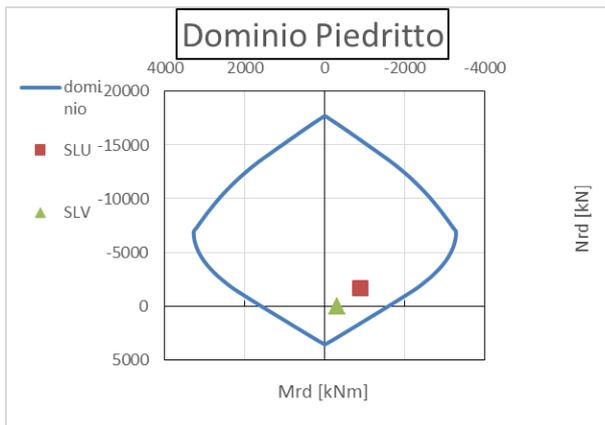
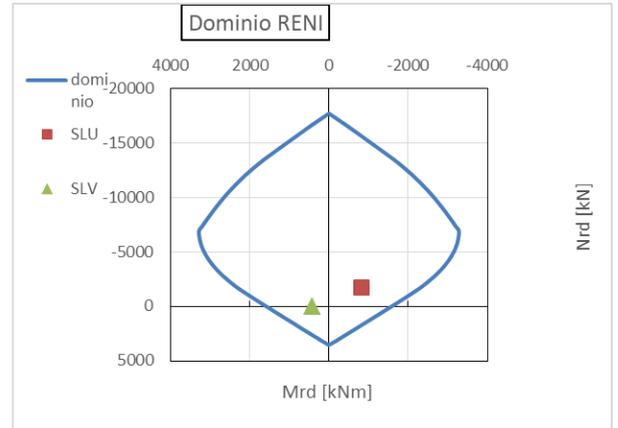
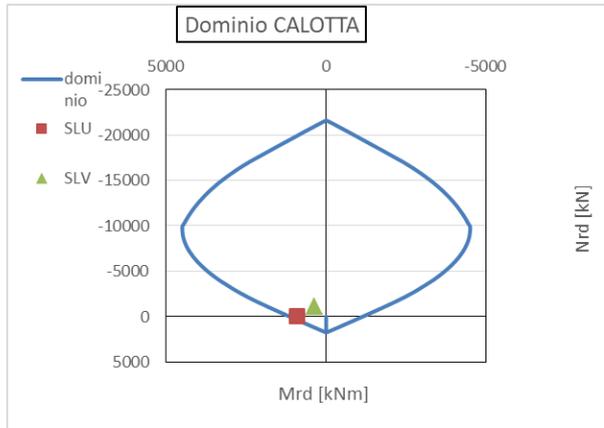


Figura 173 – Domini M-N – SLU

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Verifica a taglio

Tabella 172 – Verifica a taglio – SLU - CALOTTA

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	316.548	[kN]
N_{Ed-SLU}	47.935	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1200	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1130	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00139	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.04	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	298.6	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	341.6	[kN]
$V_{Rd,0}$	341.6	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.93	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{R_s,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1021	[kN]
$V_{R_c,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	3612	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{R_s,d}; V_{R_c,d})$	1021	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.31	[-]

Tabella 173 – Verifica a taglio – SLU – RENI

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	235.728	[kN]
N_{Ed-SLU}	1705.088	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1300	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s/2$	1230	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00128	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	1.31	[MPa]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	547.0	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	599.8	[kN]
$V_{Rd,0}$	599.8	[kN]
$V_{Ed} / V_{Rd,0} \leq 1$	0.39	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	2.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	308	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	445	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	4284	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	445	[kN]
$V_{Ed} / V_{Rd} \leq 1$	0.53	[-]

Tabella 174 – Verifica a taglio – SLU – PIEDRITTO

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	211.787	[kN]
N_{Ed-SLU}	1674.262	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1100	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1028	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	2262	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00220	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	1.52	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}\} * b_w * d$	548.5	[kN]
$(v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d$	545.9	[kN]
$V_{Rd,0}$	548.5	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.39	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	38.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.28	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1189	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	3521	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1189	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.18	[-]

Tabella 175 – Verifica a taglio – SLU – Attacco muretta-piedritto

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	211.787	[kN]

N_{Ed-SLU}	1674.262	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1100	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricompimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1028	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	2262	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00220	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	1.52	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	548.5	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	545.9	[kN]
$V_{Rd,0}$	548.5	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.39	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	38.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.28	[-]
Verifica sezione armata a taglio		

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1189	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	3521	[kN]
$V_{Rd} = \min (V_{Rs,d} ; V_{Rc,d})$	1189	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.18	[-]

Tabella 176 – Verifica a taglio – SLU – Attacco muretta-arco rovescio

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	241.274	[kN]
N_{Ed-SLU}	930.453	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1500	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h-c-\Phi_s/2$	1430	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00110	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.62	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	463.2	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	536.1	[kN]
$V_{Rd,0}$	536.1	[kN]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.45	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1292	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	4758	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1292	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.19	[-]

Tabella 177 – Verifica a taglio – SLU – Arco rovescio

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	194.7	[kN]
N_{Ed-SLU}	35.5	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1500	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	7	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

c (ricompimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h-c-\Phi_s/2$	1428	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	3167	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00222	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.02	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	421.9	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	407.7	[kN]
$V_{Rd,0}$	421.9	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.46	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	2.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	308	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	200	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	774	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	4559	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	774	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.25	[-]

Tabella 178 – Verifica a taglio – SLV - Calotta

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	256.30	[kN]
N_{Ed-SLU}	1098.9	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]

f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1200	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1130	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00139	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.92	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	447.0	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	490.1	[kN]
$V_{Rd,0}$	490.1	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.52	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1021	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	3835	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1021	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.25	[-]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 179 – Verifica a taglio – SLV - Reni

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	152.43	[kN]
N_{Ed-SLU}	10.53	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1300	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h-c-\Phi_s/2$	1230	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00128	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.01	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	306.5	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	359.3	[kN]
$V_{Rd,0}$	359.3	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.42	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	2.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	308	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq ctg\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	445	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	3923	[kN]
$V_{Rd} = \min (V_{Rs,d} ; V_{Rc,d})$	445	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.34	[-]

Tabella 180 – Verifica a taglio - SLV - Piedritto

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	327.46	[kN]
N_{Ed-SLU}	3.2	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1100	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s/2$	1028	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	2262	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00220	[-]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.00	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	314.3	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	311.7	[kN]
$V_{Rd,0}$	314.3	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	1.04	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	38.0	
$1 \leq ctg\theta \leq 2.5$	1.28	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1189	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	3180	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1189	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.28	[-]

Tabella 181 – Verifica a taglio – SLV – Attacco piedritto-muretta

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	408.63	[kN]
N_{Ed-SLU}	6.9	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1600	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	10	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1528	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	4524	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00296	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.00	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	487.6	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	425.9	[kN]
$V_{Rd,0}$	487.6	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.84	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	38.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.28	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1767	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	4727	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1767	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.23	[-]

Tabella 182 – Verifica a taglio – SLV – Attacco muretta – arco rovescio

Verifica Taglio -NT2008
Sollecitazioni

$V_{Ed,SLU}$	171.07	[kN]
$N_{Ed,SLU}$	32.5	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1500	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1430	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00110	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.02	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	334.8	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	407.7	[kN]
$V_{Rd,0}$	407.7	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.42	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Verifica sezione armata a taglio		
$V_{R_s,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1292	[kN]
$V_{R_c,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	4565	[kN]
$V_{Rd} = \min (V_{R_s,d} ; V_{R_c,d})$	1292	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.13	[-]

Tabella 183 – Verifica a taglio – SLV – Arco Rovescio

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	273.48	[kN]
N_{Ed-SLU}	929.8	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1500	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	7	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1428	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	3167	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00222	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.62	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	549.6	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	535.4	[kN]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

$V_{Rd,0}$	549.6	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.50	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	2.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	308	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	200	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	774	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	4751	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	774	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.35	[-]

12.2.1.2 Sezione 2 – Galleria artificiale

Calotta

Tabella 184 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

M_{Ek}	N_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[mm]
2766.1	549.6	-6.25	191.63	0.220
3036.0	730.8	-6.93	204.30	0.245
3036.0	730.8	-6.93	204.30	0.245

Reni

Tabella 185 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

M_{Ek}	N_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[mm]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

2946.0	1587.1	-5.62	115.13	0.068
1432.9	1769.2	-2.91	24.22	0.014
1359.5	1769.2	-2.78	20.93	0.012

Arco rovescio

Tabella 186 – Verifiche statiche SLE – limitazione tensioni e fessurazione

M_{Ek}	N_{Ek}	σ_c	σ_s	w_k
[kNm]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[mm]
-2800.0	822.6	-5.64	-71.11	0.249
-2754.0	1079.1	-5.61	-71.78	0.194
-2658.0	1079.1	-5.42	-69.50	0.164

Figura 174 – Sezioni di riferimento

Tabella 187 – Sollecitazioni e armature delle sezioni di riferimento

	H	Md	Nd	Vd	AS	A'S
	[m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[-]	[-]
43	1.60	4201.8	-1145.2	-130.2	2*10	24
43	1.60	-382.0	-932.5	-25.4	2*10	24
8	2.00	2308.9	-1145.2	221.3	2*10	24
8	2.00	333.6	-2.5	170.6	2*10	24
26	2.00	-40.8	-2468.8	140.2	2*10	24
26	2.00	473.6	-2.5	154.6	2*10	24

Tabella 188 – Output SAP2000 - SLU

Frame	OutputCase	M3 (M)	V2 (V)	P (N)	
Text	Text	KN-m	kN	KN	
43	INV_SLU	4201.771	-37.194	-1145.16	MAX M
43		4177.577	-130.152	-1145.16	MAX V
43					
43					
43					
43					
8	INV_SLU	2308.938	-1.357	-1145.16	MAX M
8		2231.886	221.3	-2.545	MAX V
8					
8					
8					
8					
26	INV_SLU	-40.7768	-69.069	-2468.77	MAX M
26		6.0048	140.16	-2.497	MAX V
26					
26					
26					
26					

Tabella 189 – Output SAP2000 - SLV

Frame	OutputCase	M3 (M)	V2 (V)	P (N)	
Frame	Text	KN-m	kN	KN	
Text	INV-SLV	-382.037	-25.406	-932.501	MAX M
43		-382.037	-25.406	-932.501	MAX V
43					
43					
43					
8	INV-SLV	333.5597	170.644	-2.545	MAX M
8		333.5597	170.644	-2.545	MAX V
8					
8					
8					
8					
26	INV-SLV	473.5966	-131.869	-1713.86	MAX M
26		32.5745	154.637	-2.497	MAX V
26					
26					
26					
26					

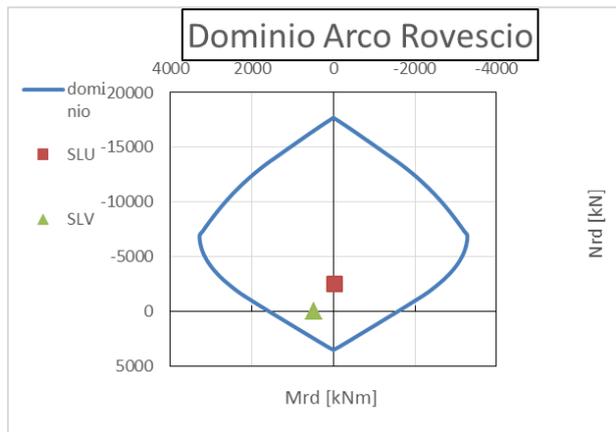
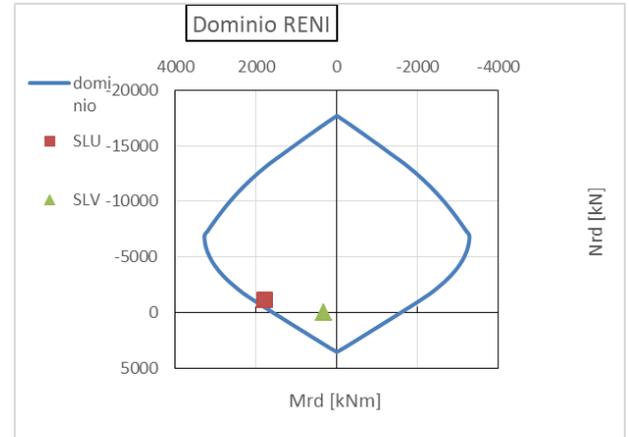
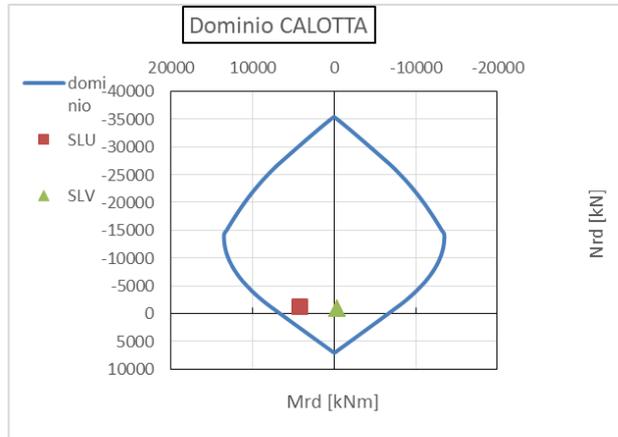


Figura 175 – Domini M-N – SLU

Verifica a taglio

Tabella 190 – Verifica a taglio – SLU – Calotta

Verifica Taglio -NT2008			
Sollecitazioni			
V_{Ed-SLU}	130.152	[kN]	
N_{Ed-SLU}	1145.158	[kN]	
Proprietà materiali strutturali			
Calcestruzzo			
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]	
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]	
Acciaio			

f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1600	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1530	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00103	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed} / A_c	0.72	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}\} * b_w * d$	506.5	[kN]
$(v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d$	589.6	[kN]
$V_{Rd,0}$	589.6	[kN]
$V_{Ed} / V_{Rd,0} \leq 1$	0.22	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1382	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	5123	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	1382	[kN]
$V_{Ed} / V_{Rd} \leq 1$	0.09	[-]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Tabella 191 – Verifica a taglio – SLU - Reni

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	221.3	[kN]
N_{Ed-SLU}	1145.158	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	2000	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1930	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00081	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.57	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	553.7	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	679.1	[kN]
$V_{Rd,0}$	679.1	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.33	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	2.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	308	[mm ²]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	698	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	6401	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	698	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.32	[-]

Tabella 192 – Verifica a taglio – SLU – Arco Rovescio

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	140.16	[kN]
N_{Ed-SLU}	2468.772	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	2000	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s/2$	1928	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	2262	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00117	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	1.23	[MPa]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	794.8	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	869.9	[kN]
$V_{Rd,0}$	869.9	[kN]
$V_{Ed} / V_{Rd,0} \leq 1$	0.16	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	38.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.28	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	2230	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	6483	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{Rs,d}; V_{Rc,d})$	2230	[kN]
$V_{Ed} / V_{Rd} \leq 1$	0.06	[-]

Tabella 193 – Verifica a taglio – SLV - Calotta

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	25.41	[kN]
N_{Ed-SLU}	932.5	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	1600	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1530	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00103	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.58	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 * \sigma_{cp}\} * b_w * d$	476.0	[kN]
$(v_{min} + 0.15 * \sigma_{cp}) * b_w * d$	559.1	[kN]
$V_{Rd,0}$	559.1	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.05	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{R_s,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	1382	[kN]
$V_{R_c,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	5078	[kN]
$V_{Rd} = \min(V_{R_s,d}; V_{R_c,d})$	1382	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.02	[-]

Tabella 194 – Verifica a taglio – SLV - Reni

Verifica Taglio -NT2008

Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	170.64	[kN]
N_{Ed-SLU}	2.55	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	2000	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	20	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h-c-\Phi_s/2$	1930	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	1571	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00081	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.00	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	388.3	[kN]
$(V_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	513.7	[kN]
$V_{Rd,0}$	513.7	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.33	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	2.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	308	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]
α	90	[°]
θ	45.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.00	[-]

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	698	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	6152	[kN]
$V_{Rd} = \min (V_{Rs,d} ; V_{Rc,d})$	698	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.24	[-]

Tabella 195 – Verifica a taglio – SLV – Arco Rovescio

Verifica Taglio -NT2008		
Sollecitazioni		
V_{Ed-SLU}	154.64	[kN]
N_{Ed-SLU}	2.5	[kN]
Proprietà materiali strutturali		
Calcestruzzo		
f_{ck} (resistenza caratteristica cls)	25.0	[MPa]
f_{cd} (resistenza di progetto cls)	14.2	[MPa]
Acciaio		
f_{yk} (resistenza caratteristica acciaio)	450.0	[MPa]
f_{yd} (resistenza di progetto acciaio)	391.3	[MPa]
Geometria sezione di verifica		
b_w (larghezza minima sezione in zona tesa)	1000	[mm]
h (altezza sezione)	2000	[mm]
Armatura longitudinale		
n_s (numero di barre long. in zona tesa)	5	[-]
Φ_s (diametro barre long.)	24	[mm]
c (ricoprimento A_s)	60	[mm]
d (altezza utile sezione) = $h - c - \Phi_s / 2$	1928	[mm]
A_s (area dell'armatura long. tesa)	2262	[mm ²]
ρ_l (percentuale geometrica di armatura long. tesa)	0.00117	[-]
σ_{cp} (tensione di compressione) = N_{Ed}/A_c	0.00	[MPa]
Verifica sezione non armata a taglio		
$\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d$	438.2	[kN]
$(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	513.3	[kN]
$V_{Rd,0}$	513.3	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd,0} \leq 1$	0.30	[-]
Armatura trasversale		
n_b (numero di bracci dell'armatura trasversale)	5.0	[-]
Φ_{sw} (diametro armatura trasversale)	14	[mm]
A_{sw} (area dell'armatura trasversale)	770	[mm ²]
s (passo armatura trasversale)	300	[mm]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
	GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B

α	90	[°]
θ	38.0	
$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$	1.28	[-]
Verifica sezione armata a taglio		
$V_{Rs,d}$ (resistenza a taglio - armatura tras.)	2230	[kN]
$V_{Rc,d}$ (resistenza a taglio - sezione cls armata)	5963	[kN]
$V_{Rd} = \min (V_{Rs,d} ; V_{Rc,d})$	2230	[kN]
$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$	0.07	[-]

13 MONITORAGGIO

Per il monitoraggio delle opere di imbocco della galleria Trinacria si prevede l'installazione della seguente strumentazione:

- per il controllo degli spostamenti indotti sulle paratie: mire ottiche sul cordolo della paratia frontale, mire ottiche sui cordoli delle paratie laterali e delle paratie di risvolto;
- monitoraggio dei tiranti (per entrambi i lati dello scavo) mediante celle di carico;
- monitoraggio degli spostamenti indotti dallo scavo sui tiranti mediante chiodi per la misura topografica 3D in corrispondenza della testa del tirante dotata di cella di carico;
- monitoraggio piezometrico per la misura della variazione della quota di falda nelle aree prospicienti alle paratie di imbocco;

Per quanto riguarda l'ubicazione e le frequenze di letture della strumentazione di monitoraggio, si rimanda agli specifici elaborati generali.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI					
GALLERIA TRINACRIA - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 003	REV. B	FOGLIO 329 di 329

14 CONCLUSIONI

Nella presente relazione di calcolo, sono state analizzate le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle opere di sostegno dell'imbocco Trinacria lato Ovest e Trinacria lato Est, facente parte dei lavori di costruzione del nuovo collegamento ferroviario Palermo- Catania (Lotto 3).

Le verifiche strutturali e geotecniche delle opere d'imbocco, eseguite in accordo con la vigente Normativa NTC2018, hanno confermato la validità della soluzione tecnica progettuale proposta in tale sede per quanto riguarda le opere d'imbocco.