

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:



SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

ITINERARIO NAPOLI - BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA

GN01 - GALLERIA NATURALE Grottaminarda DA KM 2+705 A KM 4+695

IMBOCCO LATO NAPOLI

OPERE DI SOSTEGNO

Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA AV Il Direttore Tecnico Ing. Vincenzo Moriello 10/06/2020	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani	 Ing. G. Cassani

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	SCALA:
IF28	01	E	ZZ	RB	GA0200	001	B	-

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per consegna	A. Zimbaldi	23/12/2019	B. Spigarelli	23/12/2019	M. Gatti	23/12/2019	Ing. G. Cassani
B	Revisione per istruttoria	A. Zimbaldi	10/06/2020	B. Spigarelli	10/06/2020	M. Gatti	10/06/2020	
								10/06/2020

File: IF2801EZZRBGA0200001B.docx

n. Elab.: -

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 2 di 57

Indice

1	PREMESSA	4
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO.....	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3.1	LEGGI E NORMATIVE COGENTI	4
3.2	NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI	4
3.3	PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF).....	4
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	5
4.2	DOCUMENTI CORRELATI.....	5
4.3	DOCUMENTI SUPERATI.....	5
5	ALLEGATI	5
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO.....	5
7	FASE CONOSCITIVA.....	6
7.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	6
7.2	INDAGINI GEOTECNICHE	6
7.3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	8
7.3.1	QUADRO DI SINTESI DEI RISULTATI	10
7.3.2	DEFINIZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI UTILIZZATI NELLE ANALISI	11
7.3.3	IL REGIME IDRAULICO	11
7.4	CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	11
8	SOLUZIONI PROGETTUALI	13
8.1	IMBOCCO LATO NAPOLI	13
8.1.1	OPERE DI SOSTEGNO.....	13
8.1.2	GALLERIA ARTIFICIALE	13
9	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI	14
10	CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE.....	16
10.1	OPERE DI SOSTEGNO	16
10.1.1	AZIONI.....	16
10.1.2	APPROCCI PROGETTUALI E METODI DI VERIFICA.....	16
10.1.3	STABILITÀ GLOBALE.....	17

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>3 di 57</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	3 di 57
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	3 di 57													

11 VERIFICA DELLE OPERE DELL'IMBOCCO LATO NAPOLI.....	19
11.1 OPERE DI SOSTEGNO	19
11.1.1 SEZIONE 0 –PK 4+681	19
11.1.2 SEZIONE 1 –PK 4+681.85	35
11.1.3 CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI DI FONDAZIONE	56

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 4 di 57

1 PREMESSA

Il presente documento è parte integrante del progetto definitivo della galleria Grottaminarda, inclusa nel raddoppio ferroviario della tratta compresa tra Apice ed Orsara, sulla linea Caserta – Foggia, itinerario Napoli – Bari.

La galleria Grottaminarda risulta ubicata fra le progressive km 2+705.35 (inizio imbocco lato Bari) e km 4+697.20 (imbocco lato Napoli) per una lunghezza totale di 1991.85 m (corrispondente alla lunghezza coperta). Il tratto in naturale è compreso fra le progressive km 2+715.60 e km 4+681.85 ed è caratterizzato da una lunghezza di 1966.25 m.

In particolare è oggetto della relazione la descrizione e verifica delle opere civili e delle modalità di esecuzione dell'imbocco lato Napoli.

Le opere di stabilizzazione e sostegno degli scavi sono realizzate mediante paratie di pali di grande diametro contrastate attraverso tiranti.

Nel seguito sono illustrate le soluzioni progettuali e le verifiche di dimensionamento sia delle opere di sostegno provvisori, sia della galleria artificiale.

2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione si affrontano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle opere di imbocco lato Napoli della Galleria Grottaminarda facente parte della linea ferroviaria Napoli-Bari. Per l'inquadramento generale delle opere in sotterraneo si rimanda al documento "Relazione tecnica delle opere in sotterraneo".

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3.1 LEGGI E NORMATIVE COGENTI

Rif. [1] C.S.LL.PP., Circolare n°617 del 02/02/2009, "Istruzioni per l'applicazione delle "nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14/01/2008".

3.2 NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI

Rif. [2] UNI EN 14487-1:2006, "Calcestruzzo proiettato – parte 1: definizioni, specificazioni e conformità";

Rif. [3] UNI EN 14487-2:2006, "Calcestruzzo proiettato – parte 2: esecuzione";

Rif. [4] UNI EN 206-1 2006, "Calcestruzzo – parte 1: specificazione, prestazione, produzione e conformità".

3.3 PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF)

Rif. [5] RFI, doc S.OC.S.3870 "Sagome. Profili minimi degli ostacoli" datato Lug 1990;

Rif. [6] RFI, doc RFIDINICMAGAGN00001B "Manuale Progettazione Gallerie" datato Dic 2003;

Rif. [7] RFI, "Manuale di progettazione delle opere civili" codifica RFIDTCSIPSMIFS001C, datato 21.12.2018;

Rif. [8] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 "Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali" datato Dicembre 2015.

Rif. [9] RFI, "Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili" codifica RFIDTCSISPIFS001C, datato 21.12.2018.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 5 di 57

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

4.1 DOCUMENTI REFERENZIATI

Sono stati utilizzati come input per il presente documento i seguenti elaborati:

Rif. [9] U.O. Geologia, elaborati di progetto;

Rif. [10] U. O. Geologia, documento n° IF2801EZZRGGE0102001B, “ Relazione geomorfologica generale” ;

Rif. [11] U. O. Geotecnica, documento n° IF2801EZZRBOC0201001B, “ Relazione di caratterizzazione geotecnica/ geomeccanica del Flysch Rosso interagente con le gallerie Grottaminarda e Melito “;

Rif. [12] U. O. Geotecnica, documento n° IF2801EZZRBOC0101001B, “ Relazione geotecnica generale “;

Rif. [13] U. O. Geotecnica, documento n° IF2801EZZRBOC0201001B, “Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale “.

4.2 DOCUMENTI CORRELATI

Non sono presenti documenti correlati.

4.3 DOCUMENTI SUPERATI

Non sono presenti documenti superati.

5 ALLEGATI

Il documento è corredato dai seguenti allegati:

- [Risultati delle analisi di stabilità globale – Allegato 0]
- [Risultati delle analisi di verifica delle paratie. Sez. 0 – Allegato 1 - STR];
- [Risultati delle analisi di verifica delle paratie. Sez. 0 – Allegato 2 - GEO];
- [Risultati delle analisi di verifica delle paratie. Sez. 1 – Allegato 3 - STR];
- [Risultati delle analisi di verifica delle paratie. Sez. 1 – Allegato 4 - GEO].

6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

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

Rif [12] UO Gallerie, documento n° IF2801EZZLAGA0200001B “Planimetria generale”;

Rif [13] UO Gallerie, documento n° IF2801EZZWAGA0200001B “Profilo longitudinale”;

Rif [14] UO Gallerie, documento n° IF2801EZZPZGA0200001B “Fase provvisoria - Sviluppata delle opere di imbocco e particolari costruttivi”

Rif [15] UO Gallerie, documento n° IF2801EZZWAGA0200002B “Sezioni trasversali”;

Rif [16] UO Gallerie, documento n° IF2801EZZDAGA0200001B “Scavi Fase 1: pianta, sezioni”;

Rif [17] UO Gallerie, documento n° IF2801EZZDAGA0200002B “Scavi Fase 2: pianta e profilo”;

Rif [18] UO Gallerie, documento n° IF2801EZZDAGA0200003B ”Scavi Fase 2: sezioni”;

Rif [19] UO Gallerie, documento n° IF0G01D07PZGA020001B “Schema delle fasi esecutive”

Rif [20] UO Gallerie, documento n° IF2801EZZDAGA0200004B”Scavi Fase 3: pianta e profilo”;

Rif [21] UO Gallerie, documento n° IF2801EZZDAGA0200005B “Scavi Fase 3: sezioni”.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 6 di 57

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 Napoli della galleria naturale Grottaminarda.

7.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Lo studio geologico ha individuato in corrispondenza dell'imbocco della galleria Grottaminarda lato Napoli le seguenti unità geologiche:

- Formazione del Flysch rosso – FYR: Argille e argille marnose da rosso-verdastre a grigio scuro, in alternanze centimetrico-millimetriche
- Formazione del Flysch rosso - Membro calcareo FYR2: Calciruditi e calcareniti a cemento spatico in strati di spessore metrico, con locali intercalazioni decimetrico - metriche di argille ed argille marnose rosso o verdastre.

Per una dettagliata descrizione del modello geologico si rimanda agli specifici elaborati di progetto. In particolare per maggiori informazioni riguardo la formazione del Flysch Rosso si rimanda alla "Relazione di caratterizzazione geotecnica/ geomeccanica del Flysch Rosso interagente con le gallerie Grottaminarda e Melito".

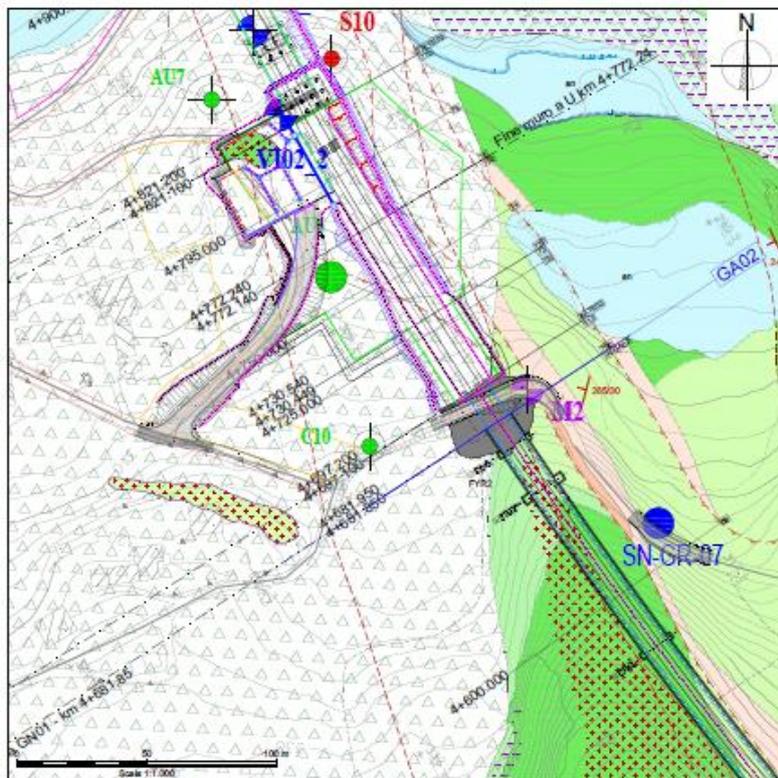


Fig. 1 – Stralcio della carta geologico geomorfologica

7.2 INDAGINI GEOTECNICHE

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 7 di 57

In corrispondenza dell'imbocco lato Napoli sono state eseguite indagini geognostiche di tipo diretto e indiretto:

- M1 – Campagna Indagini 2006
- AU8 – Campagna Indagini 2017
- C11 – Campagna Indagini 2017
- VI02-5 – Campagna Indagini 2019
- TG-GR-04 – Campagna Indagini 2019
- SIS_PE_04 – Campagna Indagini 2019
- SIS_PE_05 – Campagna Indagini 2019

Per il dimensionamento delle opere di imbocco della Galleria Grottaminarda, in particolare la paratia frontale e la prima porzione della laterale, oggetto della presente relazione, le indagini geognostiche utili all'inquadramento del contesto geotecnico sono state le teleguidate TG_GR_04 con la serie di quattro lanci, e la prova geofisica SIS_PE_05.

Le Figure seguenti mostrano le traiettorie delle teleguidate eseguite e degli stendimenti sismici effettuati:

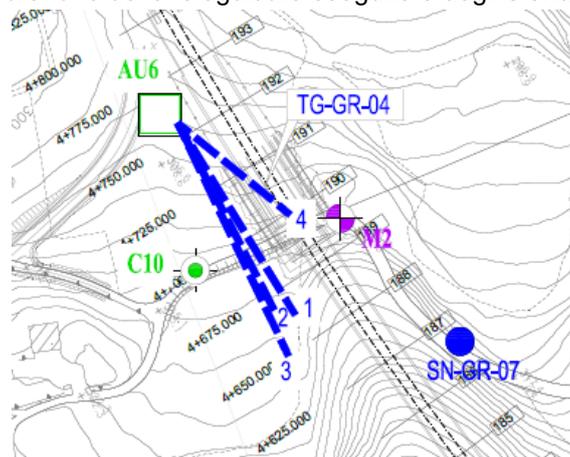


Fig. 2 – Ubicazione prove penetrometriche teleguidate

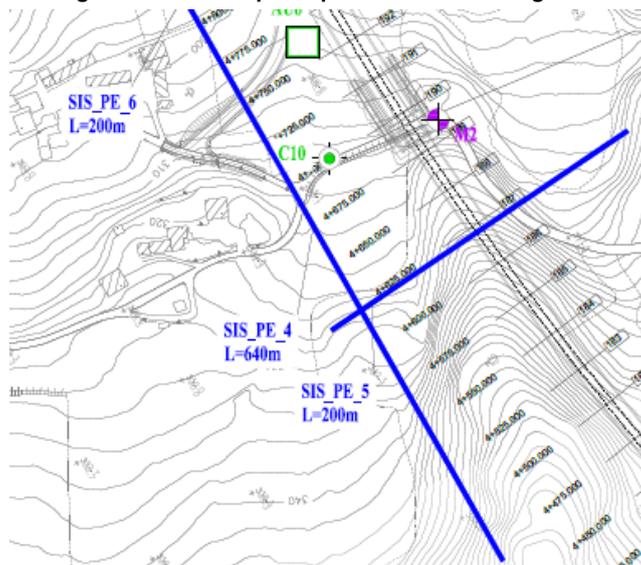


Fig. 3 – Ubicazione stendimenti geofisici in corrispondenza dell'imbocco galleria Grottaminarda Napoli

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 8 di 57

7.3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica delle paratie frontali e la prima porzione delle laterali dell'imbocco della galleria Grottaminarda si è mossa dai risultati delle perforazioni teleguidate (quattro lanci di cui uno videoispezionato), e dai risultati dello stendimento sismico effettuato lungo il versante di imbocco, in prossimità dello stesso.

Le perforazioni teleguidate eseguite, della lunghezza complessiva di circa 300 m, realizzate a “raggiera” e “lanciate” da un'unica piazzola alla progressiva Km 4 + 700, hanno intercettato strati di argille del Flysch Rosso superficiali e si sono arrestate per impossibilità di avanzamento, al raggiungimento di un piccolo rilievo calcareo.

Il risultato di tali indagini e la presenza in affioramento in diversi punti di calcari in prossimità dell'asse della galleria, fanno ipotizzare la presenza di calcari sepolti il cui limite è riportato con la linea azzurra continua nella Figura seguente sino alla progressiva Km 4 + 450.

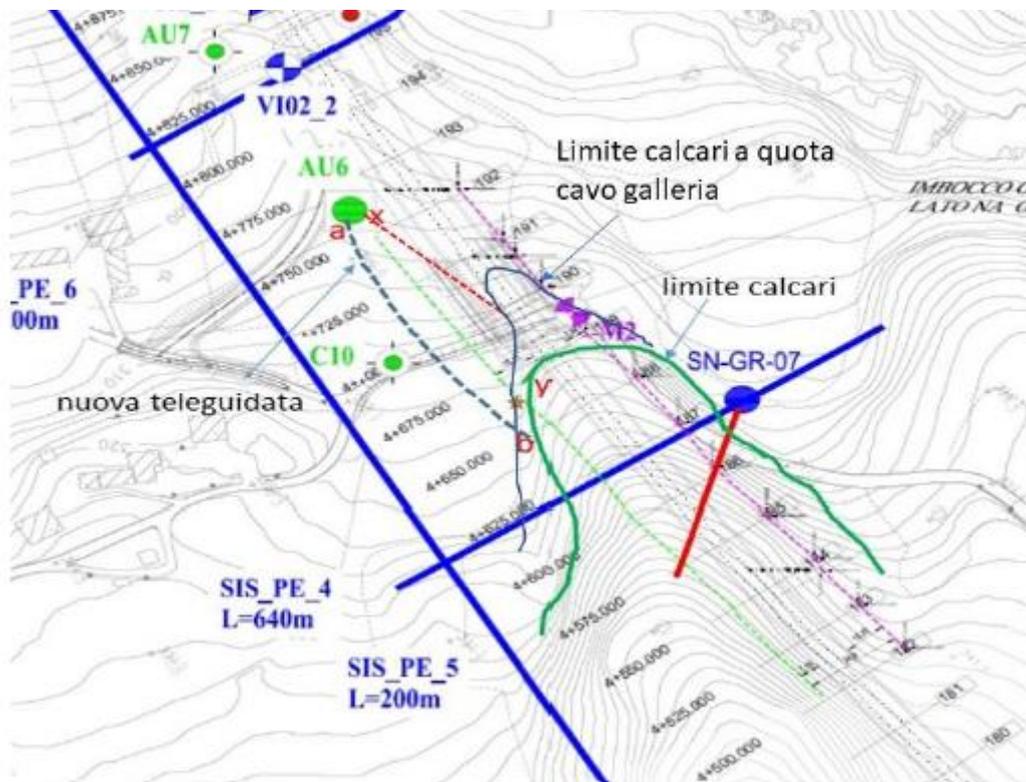


Fig. 4 – Ricostruzione stratigrafica del contatto limite del membro calcareo (linee tratteggiate TG GR 04, linea blu continua limite calcari a quota cavo galleria)

Lo stendimento sismico SIS_PE_5 effettuato trasversalmente al versante di imbocco mostra velocità di quasi 200-400 m/s già in superficie e il raggiungimento di velocità pari a 800 m/s entro i primi 10 m da piano campagna.

Nel seguito si riportano le tomografie e si evidenziano le sezioni analizzate in corrispondenza delle quali è stata valutata la variazione di velocità in profondità.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.		ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.		COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 9 di 57
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco							

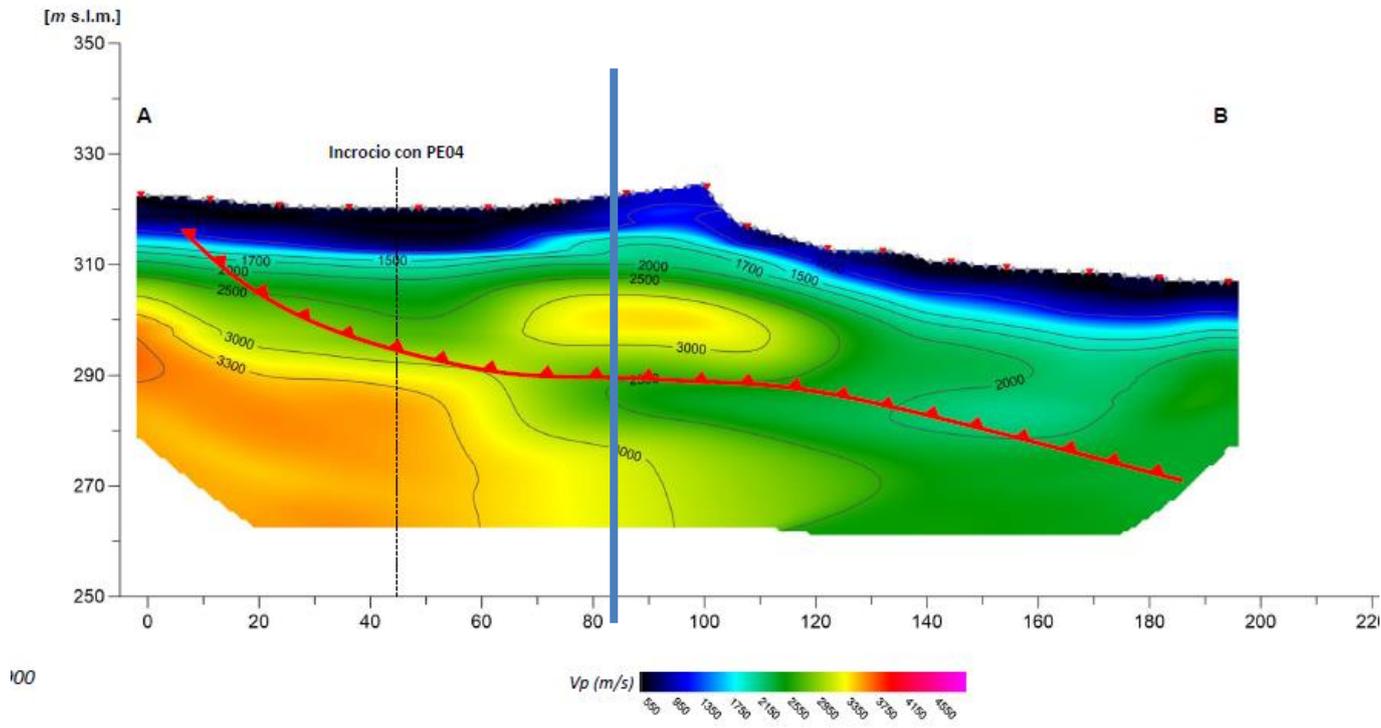


Fig. 5 – SISPE05 – Velocità Vp

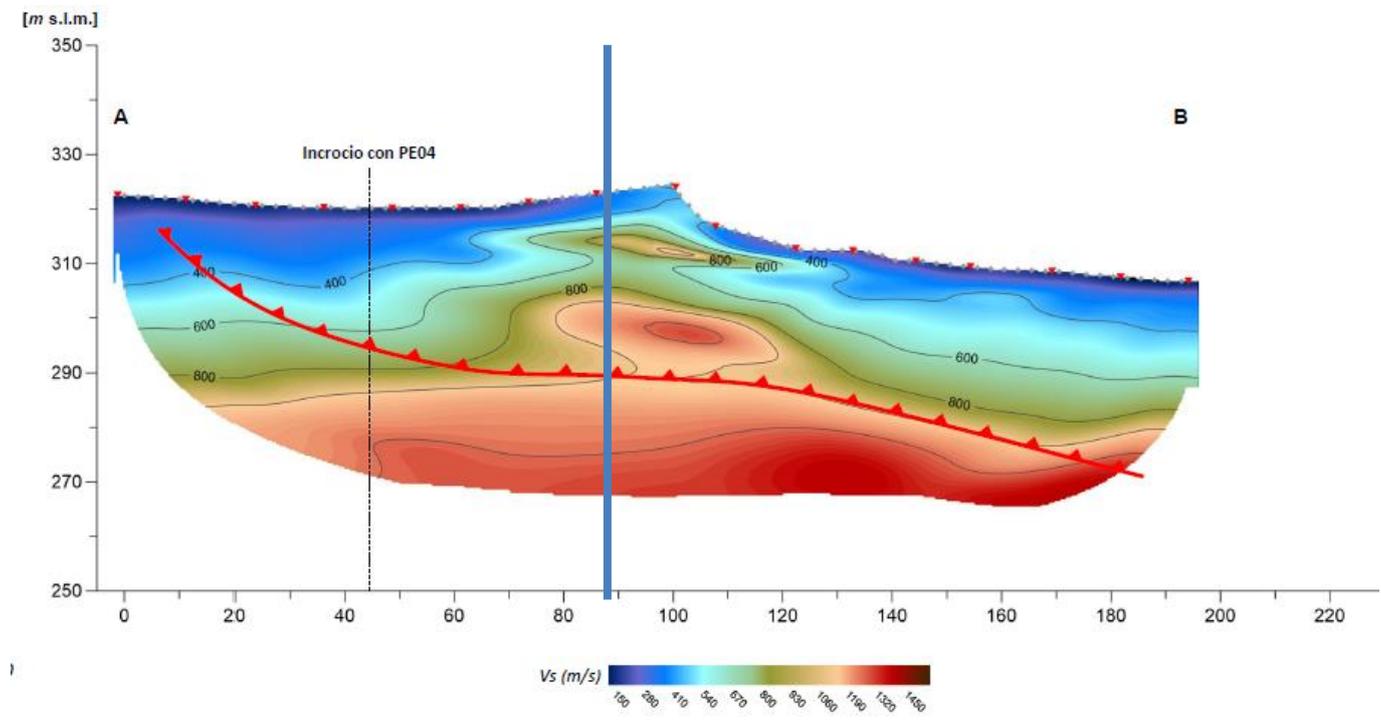


Fig. 6 – SISPE05 – Velocità Vs

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 10 di 57

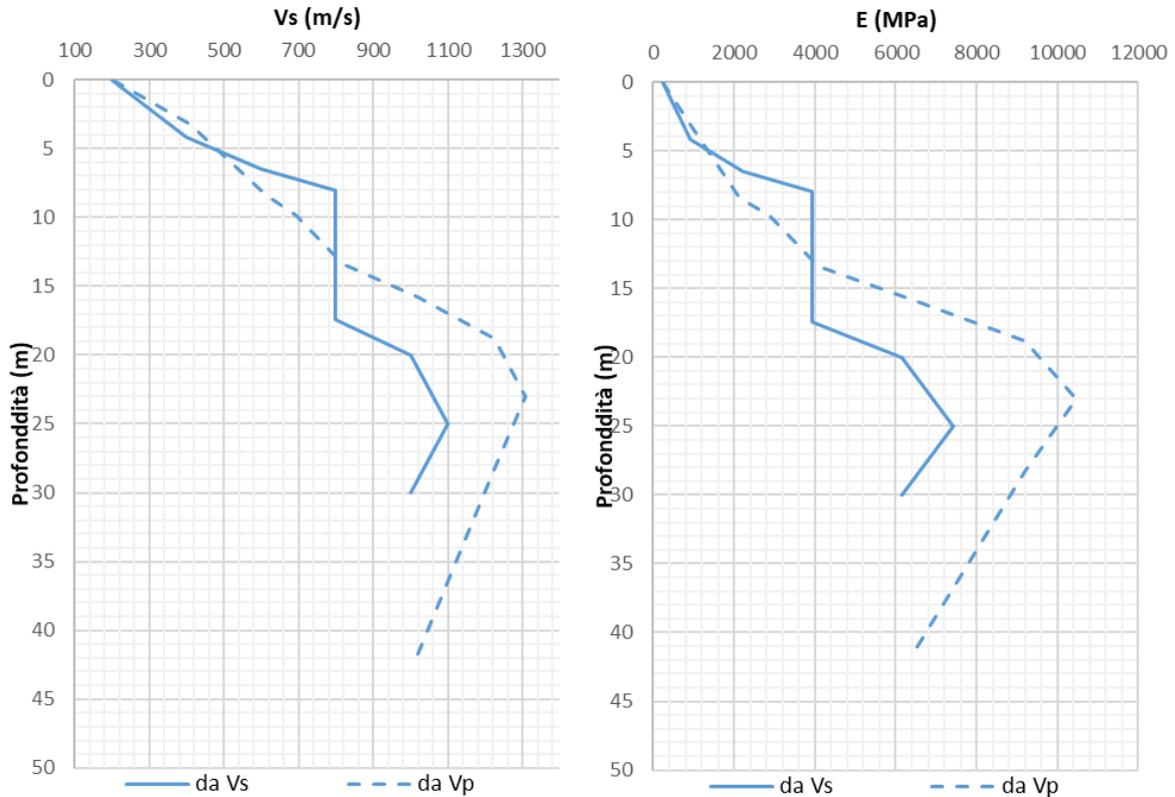


Fig. 7 – Elaborazione delle velocità di taglio e del modulo a basse deformazioni E0

L'insieme di tali risultati indica che la paratia frontale e le prime paratie laterali a sostegno della soletta siano interessate da un primo strato di Flysch Rosso dell'unità argille marnose- scagliose, molto consistenti, alternate a sottili livelli di marne e calcilutiti al tetto del membro calcareo costituito da calciruditi lapidee e brecce calcaree in matrice argillosa, alternate a livelli metrici di marne ed argille rosse.

I parametri meccanici discendono dalla caratterizzazione effettuata su prove di laboratorio e in foro eseguite in contesti geotecnici analoghi i cui risultati e elaborazioni sono riportate nella Relazione di caratterizzazione geotecnica/ geomeccanica del Flysch Rosso [11]. Con riferimento alla suddetta relazione, le argille marnose superficiali hanno proprietà fisico/meccaniche dell'Unità FYRagms, mentre il membro calcareo fa riferimento al FYR2C, caratterizzazione dell'ammasso roccioso. Per le proprietà deformative è stato cautelativamente assunto il modulo elastico operativo pari al valore ottenuto da prove pressiometriche/dilatometriche in foro.

7.3.1 Quadro di sintesi dei risultati

Le caratteristiche dei materiali sono di seguito riportate:

Livello geotecnico	Profondità		γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c' (kPa)	E' (MPa)
	da	a				
FYR_1	0	3	20	16.5	75	20-30
FYR2_2	3	>3	21.5	36.5	23	230

Tabella 1 – Valori di riferimento dei parametri geotecnici nell'area dell'imbocco lato Napoli della galleria Grottaminarda

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 11 di 57

7.3.2 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi

I parametri geotecnici caratteristici utilizzati nell'ambito della analisi di simulazione e verifica sono riportati nella tabella seguente:

Litotipo	Profondità		γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c' (kPa)	E' (MPa)
	da	a				
FYR_1	0	3	20	16.5	75	25
FYR2_2	3	>3	20	36.5	23	230

Tabella 2 – Valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi per l'imbocco lato Napoli della galleria Grottaminarda

7.3.3 Il regime idraulico

E' segnalata la presenza di falda alla profondità di circa 2 m da pc, e si prevede il suo ribasso durante le fasi di scavo attraverso drenaggio.

7.4 CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Le opere in progetto per l'imbocco lato Napoli della galleria Grottaminarda si trovano nel comune di Melito Irpino, in un sito con le seguenti coordinate geografiche: geografiche: Latitudine 41°05'37.5"N, Longitudine 15°02'32.7" E

Alle strutture di sostegno, trattandosi di opere provvisionali, si attribuisce una vita nominale V_N di 35 anni. Di conseguenza, il periodo di riferimento per la definizione dell'azione sismica, V_R , si assume pari a 35 anni (DM 14/01/2008)

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. Sulla base delle coordinate geografiche del sito e del tempo di ritorno del sisma di progetto, T_R , sopra definito, si ricavano i parametri che caratterizzano il sisma di progetto relativo al sito di riferimento, rigido ed orizzontale (Tabella 1 dell'allegato B del DM 14/01/2008):

- a_g : accelerazione orizzontale massima
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T^*_c : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Per le opere provvisionali di imbocco il periodo di ritorno si determina con l'espressione:

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

Per tenere conto dei fattori locali del sito, l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito è valutata con la relazione (DM 14/01/2008):

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

dove:

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

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 12 di 57

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 32V del DM 14/01/2008);

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 32VI del DM 14/01/2008).

La categoria topografica per l'imbocco in questione è T1 "Superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ", come evidente dalla Figura seguente.

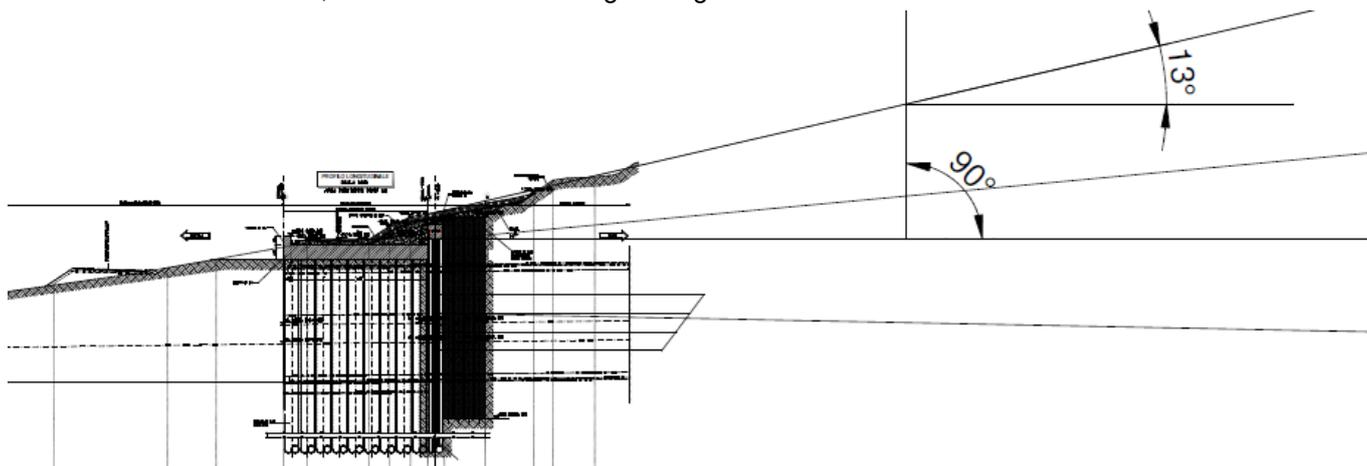


Fig. 8 – Inclinazione media versante di imbocco galleria Grottaminarda – lato Napoli

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

	Imbocco lato Napoli
	Strutture di sostegno
Coord geografiche	41°05'37.5"N 15°02'23.4"E
Stato limite	SLV
T_R	332
a_g/g	0.224
F_0	2.289
Categoria sottosuolo	C
S_s	1.391
Categoria topografica	T1
S_T	1
a_{max}/g	0.313

Tabella 3 – Parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 13 di 57

8 SOLUZIONI PROGETTUALI

8.1 IMBOCCO LATO NAPOLI

8.1.1 Opere di sostegno

Le opere di stabilizzazione e sostegno degli scavi, previste per l'imbocco lato Napoli dalla progressiva pk 4+697.00 alla progressiva pk 4+715.60, saranno realizzate mediante paratie in pali di diametro Ø1500mm posti ad interasse 1.70m.

Le opere di sostegno risultano relative alla tratta del imbocco propriamente detto (fra le progressive pk 4+680.00 e pk 4+695.00) e alla zona di realizzazione dei muri a U (fra le progressive pk 4+695.00e pk 4+712.00).

Le paratie saranno contrastate attraverso vari ordini di tiranti, a seconda dell'altezza di scavo, ed avranno carattere provvisorio. I primi 9+9 pali dalla paratia di imbocco, necessari a sostenere la soletta per la deviazione stradale, sono definitivi, e sono contrastati in testa dalla copertura stessa, che funge da puntone.

La paratia frontale (pk 4+68000) è caratterizzata da quattro ordini di tiranti in VTR, per agevolare la fase di scavo della parte finale della galleria con la TBM .

I tiranti, di lunghezza variabile, hanno un interasse longitudinale di 3.40 m ed inclinazione nel piano verticale di 0° per la paratia frontale e di 20° per le paratie laterale. È previsto l'impiego di tiranti provvisori a 5 e 6 trefoli di acciaio armonico per cap da 0.6" costituiti da un tratto di lunghezza libera e dalla fondazione rivestita con guaina corrugata che saranno alloggiati in prefiori di diametro Ø≥160-190 mm (rispettivamente da 5 a 6 trefoli) e successivamente iniettati con miscele cementizie.

Per dissipare le eventuali pressioni dell'acqua sulle opere di sostegno, si installeranno drenaggi corticali costituiti da tubi microfessurati in PVC di diametro esterno Øe = 90 mm e lunghezza 60 m.

Le fasi esecutive prevedranno:

- realizzazione delle paratie: i pali verranno realizzati previo opportuno sbancamento in accordo alle geometrie di progetto
- getto del cordolo di collegamento in testa ai pali e della soletta di copertura;
- sequenza di scavo e sostegno:
 - o le fasi di scavo dovranno essere eseguite come riportato sugli elaborati grafici;
 - o lo scavo sarà condotto secondo una modalità sequenziale che prevedrà:
 - la realizzazione dello scavo propriamente detto fra paratie, per fasi correlate alla posizione dei tiranti (massima profondità pari a 1m al di sotto della quota del tirante o puntone);
 - l'esecuzione dei drenaggi;
 - l'esecuzione delle tirantature e attesa per la maturazione della malta, messa in opera delle travi di ripartizione e tesatura degli elementi in accordo alle prescrizioni di normativa e ai valori di pretiro di progetto

Lo scavo fra paratie avverrà fra le progressive 4+680e 4+712.

8.1.2 Galleria artificiale

Al termine dello scavo fra paratie, una volta arrivata la TBM nelle vicinanze della paratia d'imbocco, si provvederà a gettare la sella, previo scavo finale di ribasso, al fine di permettere l'uscita della TBM.

Avanzando con la TBM non più in pressione, verranno montati i conci di galleria e sarà poi necessario prevedere un'iniezione di riempimento per colmare il vuoto superiore tra anello e parte sottostante la soletta di copertura.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 14 di 57

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 di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni del DM 14/01/2008 e della "Specificazione per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie" RFI DTC INC CS SP IFS 001 A.

Nelle verifiche di resistenza, a favore di sicurezza, viene sempre considerato un calcestruzzo di classe di resistenza C25/30.

Per la completa e puntuale definizione delle caratteristiche dei materiali previsti per la realizzazione dell'opera si rimanda all'elaborato specifico.

Strutture di sostegno provvisionali

Calcestruzzo	
Classe di resistenza	C25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0,85 f_{ck} / 1,5 = 1417 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22 * (f_{cm} / 10)^{0,3} = 31475 \text{ MPa}$

Acciaio per tubi e profilati	
Tipo	S 355 JR / S 275 JR
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 355 / 275 \text{ MPa}$
Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 510 / 430 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento di calcolo	cfr 4.2.4 a 4.2.9 del DM 14/01/08

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	$f_{p(1)k} \geq 1670 \text{ MPa}$

VTR per tiranti	
Area	2880 mm ²
Tensione a	$f_{yk} \geq 950 \text{ MPa}$

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 15 di 57

Galleria artificiale

Calcestruzzo armato	
Classe di resistenza	C28/35 (nei calcoli C25/30)
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0.85 f_{ck}/15 = 141.7 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E = 22000(f./10)^{0.3} = 314758 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio	Vedi § 412251 Del DM 14/01/2008

Acciaio per barre di armatura	
Tipo	B 450 C
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 450/115 = 391.3 \text{ MPa}$
Tensione massima in condizioni di esercizio	$\sigma_{lim} = 0.75 f_{yk} = 3375 \text{ MPa}$
Verifica indiretta per il controllo della fessurazione	tabelle C41II e C41III della Circolare 617 /09

VTR per barre di armatura	
Resistenza caratteristica a rottura	$f_{tk} = 800 \text{ MPa}$
Modulo elastico barre	$E = 46000 \text{ MPa}$

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 16 di 57

10 CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE

Le verifiche sono state condotte in accordo con le prescrizioni e le indicazioni del DM 14/01/2008 e della Circolare n617/09.

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 strutturali:** peso proprio degli elementi strutturali, spinta del terreno a monte e a valle dell'opera
- **azioni variabili:** carico variabile sul piano campagna a monte della struttura di sostegno, Q_{1M} , ove presente, 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 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

In corrispondenza di un evento sismico è necessario tener conto dell'amplificazione/deamplificazione delle spinte del terreno a monte e a valle dell'opera. Si trascurano gli effetti inerziali sulle masse che costituiscono la struttura di sostegno (DM 14/01/2008)

Sulla base della definizione dei carichi di cui sopra, in accordo a quanto prescritto dal DM 14/01/2008, 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 sismica (SLV): il coefficiente di combinazione per il carico variabile Q_1 è pari a 0.2.

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

Come prescritto dal DM 14/01/2008 per le strutture di sostegno flessibili, è stato adottato l'Approccio Progettuale 1 con le due combinazioni di coefficienti parziali (tabelle 62I, 62II e 65I del DM 14/01/2008):

- combinazione 1: $A_1 + M_1 + R_1$
- combinazione 2: $A_2 + M_2 + R_1$

Il dimensionamento geotecnico dell'opera è stato condotto con la verifica di stati limite ultimi GEO, applicando la Combinazione 2 ($A_2+M_2+R_1$). Per le verifiche di stati limite ultimi STR l'analisi è stata condotta la combinazione 1 ($A_1+M_1+R_1$), applicando i coefficienti parziali A_1 ($\gamma = 13$) all'effetto delle azioni A tale scopo, nelle analisi, i valori caratteristici dei carichi variabili sfavorevoli sono stati amplificati di un coefficiente pari a $1.5/1.3 = 115$

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

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 17 di 57

opere da salvaguardare a ridosso delle stesse, non si ritengono necessarie ulteriori valutazioni di verifica nei confronti degli SLE

Nel caso dei pali a carattere definitivo, si riportano anche le verifiche tensionali allo SLE, per assicurare la durabilità per la totale durata dell'opera.

Per le verifiche di stabilità globale è stato applicato l'Approccio 1- Combinazione 2 (A2+M2+R2 – tabb 62I, 62II e 68I del DM 14/01/2008).

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 sono pari all'unità. Si è adottato il metodo pseudostatico, calcolando il coefficiente sismico orizzontale secondo le prescrizioni della normativa (DM 14/01/2008):

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

dove:

- a_{\max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito,
- α è il coefficiente di deformabilità (Figura 7112 del DM 14/01/2008),
- β è il coefficiente di spostamento (Figura 7113 del DM 14/01/2008)

L'effetto del sisma è ottenuto applicando un incremento di spinta del terreno valutato secondo la teoria di Mononobe-Okabe, agente direttamente sulla paratia secondo una distribuzione uniforme sull'intera altezza dell'opera

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

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 $\alpha=1$ (§71163 del DM 14/01/2008). Il coefficiente sismico verticale, k_v , si assume pari a 0 (§71163 del DM 14/01/2008).

I coefficienti di spinta attiva sono stati determinati attraverso la relazione di Mononobe (1929) e Okabe (1926). I coefficienti di spinta passiva sono stati determinati attraverso la relazione di Lancellotta (2007). L'angolo di attrito terreno/struttura, δ , è stato assunto 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 2017).

Per i pali definitivi e per la paratia di imbocco, dato il vincolo "rigido" allo spostamento orizzontale fornito in testa dalla soletta di copertura e alla base dalla presenza della sella, si considera la spinta sismica di Wood, relativa ad una struttura rigida come un muro di sostegno, dipendente da a_{\max} e non ridotta dai coefficienti α e β .

10.1.3 Stabilità globale

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.

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.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 18 di 57

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

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

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;
- g : accelerazione di gravità.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 19 di 57

11 VERIFICA DELLE OPERE DELL'IMBOCCO LATO NAPOLI

11.1 OPERE DI SOSTEGNO

Sono state verificate le seguenti sezioni in relazione all'imbocco della galleria:

- sez 0: paratia frontale: sezione longitudinale alla pk 4+68100;
- sez 1: paratia laterale: sezione trasversale alla pk 4+68185;
- sez 1bis: paratia laterale: sezione trasversale alla pk 4+6905.

11.1.1 Sezione 0 –pk 4+681

La sezione fa riferimento alla paratia frontale ed è sostenuta attraverso quattro ordini di tirantature oltre al contrasto offerta dalla soletta di copertura poggiate sui pali laterali.

Sono di seguito descritte le principali caratteristiche della struttura e del modello geotecnico per le analisi di verifica. La geometria della struttura di sostegno e la stratigrafia sono illustrate nel modello di figura seguente.

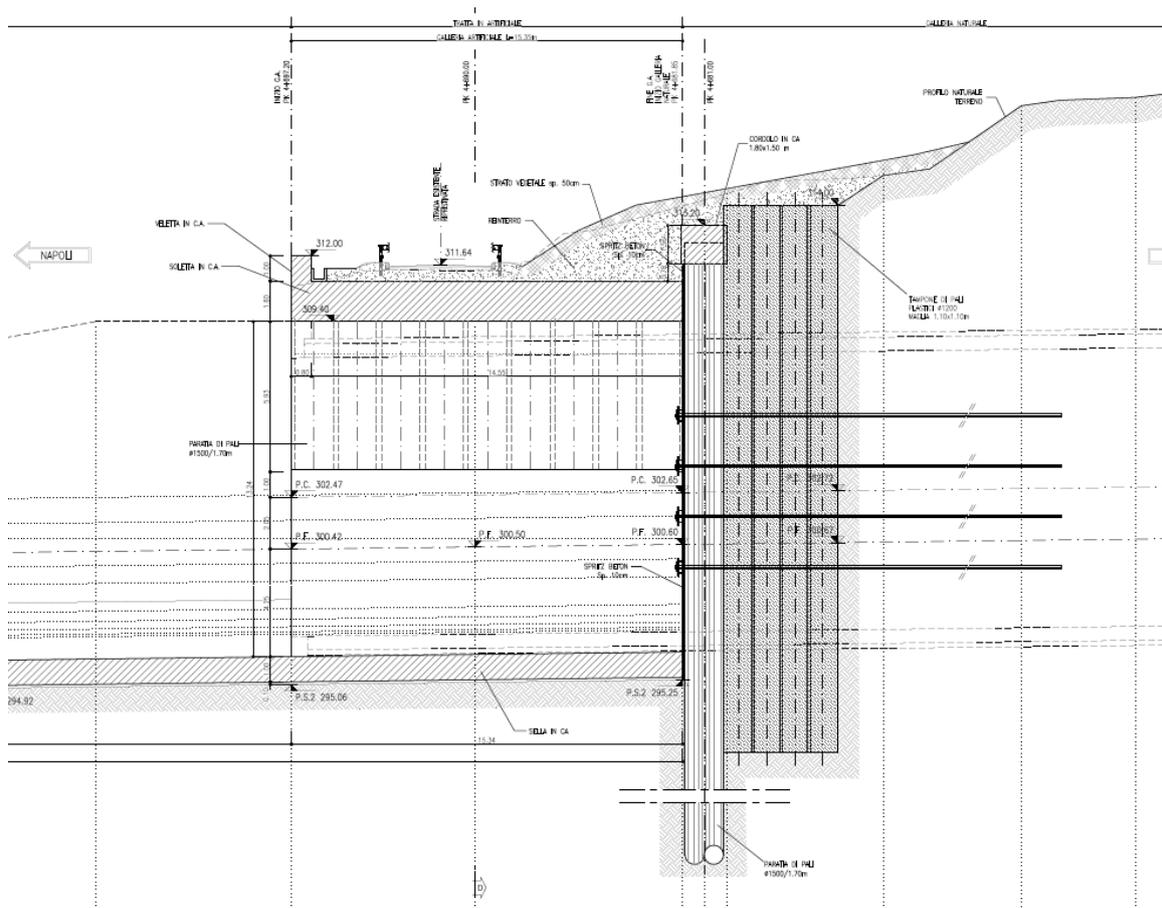


Fig. 9 – Sezione 0. Geometria di riferimento

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 20 di 57

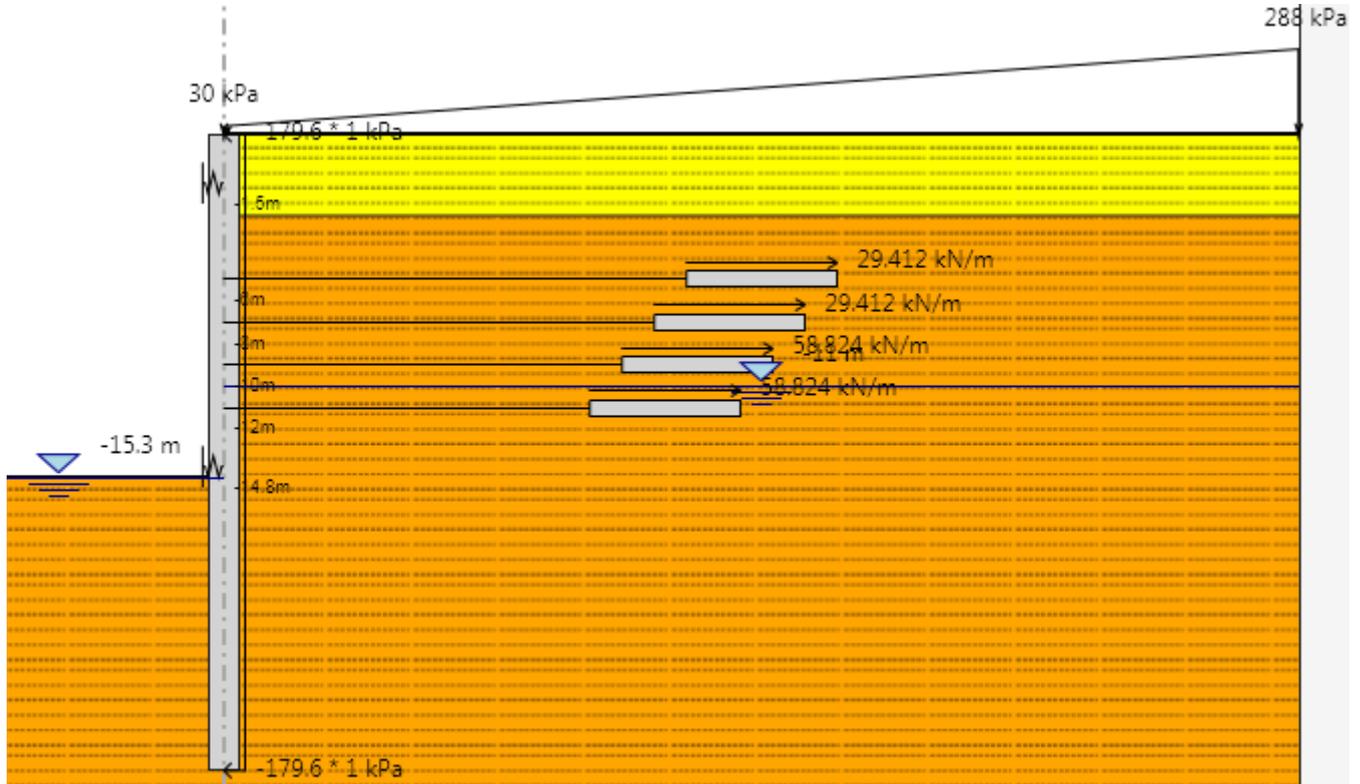


Fig. 10 – Sezione 0. Modello di calcolo - step finale di calcolo (fase 15)

La stratigrafia di riferimento presenta la seguente sequenza:

- FYR da p.c. a 3.0m di profondità;
- FYR-2 da 3.0. a 30.0m di profondità.

Tipologia struttura di sostegno	Paratia in pali ϕ 1500mm passo 1.7m
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 29.8m$ (cordolo 0.8m+pali $L=28.2m$)
Altezza libera paratia	$H = 15.5 m$ da testa cordolo
Ordini di puntoni	Soletta stradale
Ordini di tiranti (n°)	4 ordini
Passo orizzontale tiranti	3.4 m
Passo verticale dei tiranti	Variabile da 2.5m a 2.0m
Inclinazione iniziale del piano campagna a monte	A destra 14.5° , a sinistra 0° (schematizzato con sovraccarichi dal piano campagna)
Inclinazione iniziale del piano campagna a valle	A sinistra 0° (schematizzato con sovraccarichi dal piano campagna)

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 21 di 57

Inclinazione dopo il ritombamento del piano campagna a monte	A destra 0°, a sinistra 0° (schematizzato con sovraccarichi dal piano campagna)
Inclinazione dopo il ritombamento del piano campagna a valle	14.5° (schematizzato con sovraccarichi dal piano campagna)
Sovraccarichi variabili a monte	
Sovraccarichi variabili a valle	

Tabella 4 – Sezione 0. Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo

Terreno	Gruppo coeff. Parziali	Condizione	γ	c_d	φ'_d	δ	E'	E'_{ur}	k_o	K_{ah}	K_{ph}			
			(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(°)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)			
FYR	M1	SLU	20	75	16.5	11	25	40	0.716	0.493	2.152			
		SLV				11/0								
	M2	SLU		60	13.3	8.9						0.769	0.563	1.838
		SLV				8.9/0								
FYR-2	M1	SLU	21.5	23	36.5	24.3	230	368	0.405	0.210	7.270			
		SLV				24.3/0								
	M2	SLU		18.4	30.6	20.4						0.491	0.272	4.824
		SLV				20.4/0								
								0.491	0.320	2.895				

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 5 – Sezione 0. Parametri geotecnici di calcolo.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 22 di 57

Il livello iniziale di falda è atteso a circa 0.8 m da p.c..

In ogni caso sono previsti drenaggi sistematici a tergo delle paratie, in modo da abbassare il livello idraulico con lo scavo, presentando un dislivello di circa -8.25m fra le quote della sezione in esame e la mezzeria (assunzione conservativa) del tratto terminale.

L'analisi si è articolata nelle seguenti fasi:

- fase 1: geostatica;
- fase 2: scavo alla quota di base del cordolo e attivazione del palo;
- fase 3: attivazione della molla per simulare soletta di copertura;
- fase4: scavo sino a – 7 m dalla base del cordolo;
- fase 5: attivazione del primo ordine di tiranti;
- fase 6: scavo sino a -9 m dalla base del cordolo;
- fase 7: attivazione del secondo ordine di tiranti;
- fase 8: scavo fino a -11 m da base del cordolo.
- fase 9: attivazione del terzo ordine di tiranti;
- fase 10: scavo fino a -13 m da base del cordolo.
- fase 11: attivazione del quarto ordine di tiranti;
- fase 12: scavo fino a -13.2 m da base del cordolo;
- fase 13: scavo fino a -15.3 m da base del cordolo;
- fase 14: attivazione della molla per simulare sella;
- fase 15: applicazione della condizione sismica attraverso la teoria di Wood. La risultante dell'azione sismica orizzontale può calcolarsi secondo:

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

$$(0.269 * 20 * (31.1)^2) / 29 = 179.6 \text{ kPa}$$

Per la molla traslazionale che simula la soletta di copertura, la rigidezza traslazionale ($K = E \cdot A / L$) è stata stimata in 3470000 KN/m, tenendo conto del modulo elastico della soletta ($E=31.5\text{GPa}$ per CLS 25/30), di un'area di 1.6m^2 a m di sviluppo e di una lunghezza L pari a 14.5m.

Per la molla traslazionale che simula la sella, la rigidezza traslazionale ($K = E \cdot A / L$) è stata stimata in 2170000 KN/m, tenendo conto del modulo elastico della soletta ($E=31.5\text{GPa}$ per CLS 25/30), di un'area di 1.0m^2 a m di sviluppo e di una lunghezza L pari a 14.5m.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 23 di 57

11.1.1.1 RISULTATI DELLE ANALISI

I risultati delle analisi sono di seguito descritti in sintesi ed illustrati in maggior dettaglio nell'allegato pertinente.

	SLU GEO		SLU STR		SLE
	Statico	Sismico	Statico	Sismico	(=SLU STR statico)
Spostamento massimo (cm)	1.5	2.2	0.7	1.5	1.8
Momento massimo (kNm/m)	-	-	722.35 (-10.75)	2938.8 (-14.8)	722.35 (-10.75)
Taglio massimo (kN/m)	-	-	287.35 (-15.25)	1674.6 (-14.75)	287.35 (-15.25)
Spinta passiva mobilitata a valle (%)	47.8	63.8			26.9

1) Verifiche SLU GEO

Verifica del complesso opera-terreno

Per le verifiche di stabilità globale sono stati utilizzati i parametri abbattuti, in accordo a quanto riportato in precedenza per la condizione GEO.

Dato che le fasi di scavo riguardano un tempo limitato e inferiore ai 2 anni prima del getto della sella e della protesi, si verifica la stabilità globale dell'opera solo in fase statica, non considerando, a favore di sicurezza, il contrasto offerto dalla soletta di copertura e dalla sella.

I coefficienti di sicurezza ottenuti relativamente alla stabilità globale sono riportati nella tabella seguente

Tipo di verifica	FS
Statica	1.505 > 1.10

Tabella 6 – Risultati verifica di stabilità globale. Fattore sicurezza minimo.

Il coefficiente di sicurezza minimo indicato è stato calcolato con il metodo di Morgenstein e Price.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 24 di 57

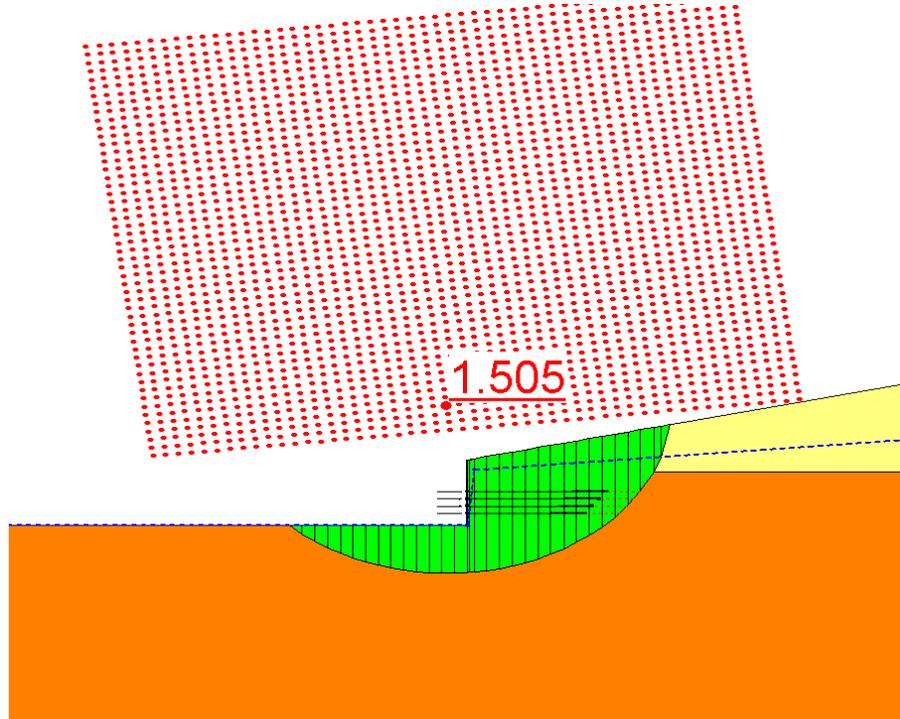


Fig. 11 – Sezione 1. Risultati verifica di stabilità globale. Superficie critica

Verifica della mobilitazione della spinta passiva

Il grafico seguente riporta l'andamento della mobilitazione della spinta passiva per la condizione GEO. Risulta visibile che la resistenza disponibile risulta superiore a quella mobilizzata, da cui la verifica della opera. L'ultima fase di calcolo corrisponde alla fase sismica.

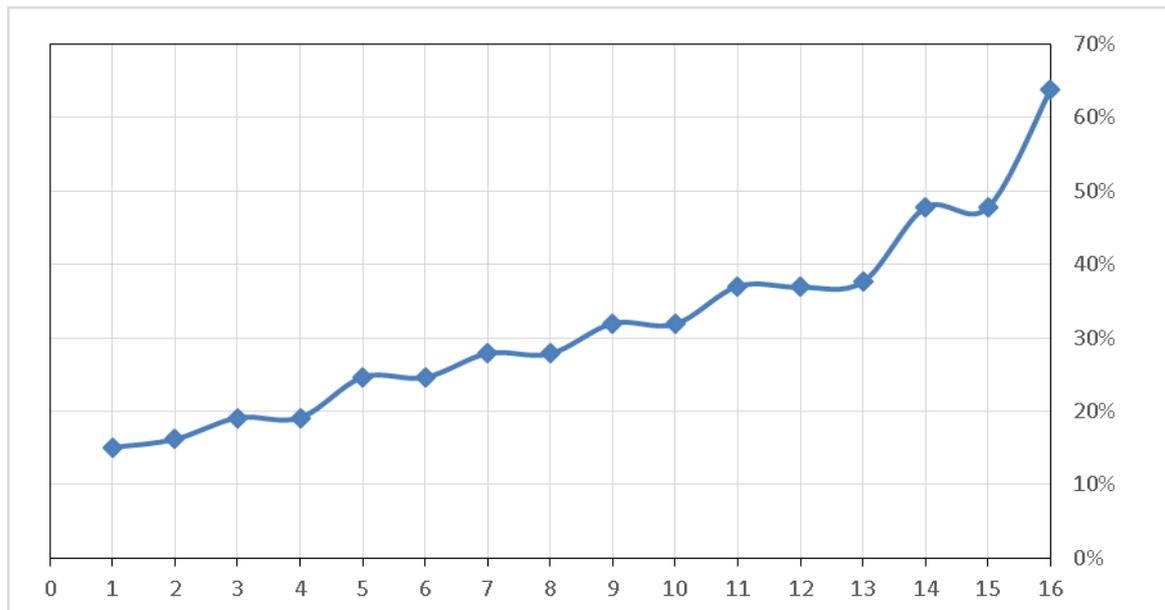


Fig. 12 – Sezione 0. Risultati mobilizzazione spinta passiva per la condizione A2+M2

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 25 di 57

Si evidenzia che la profondità di infissione dell'opera di sostegno garantisce uno spostamento limitato al piede.

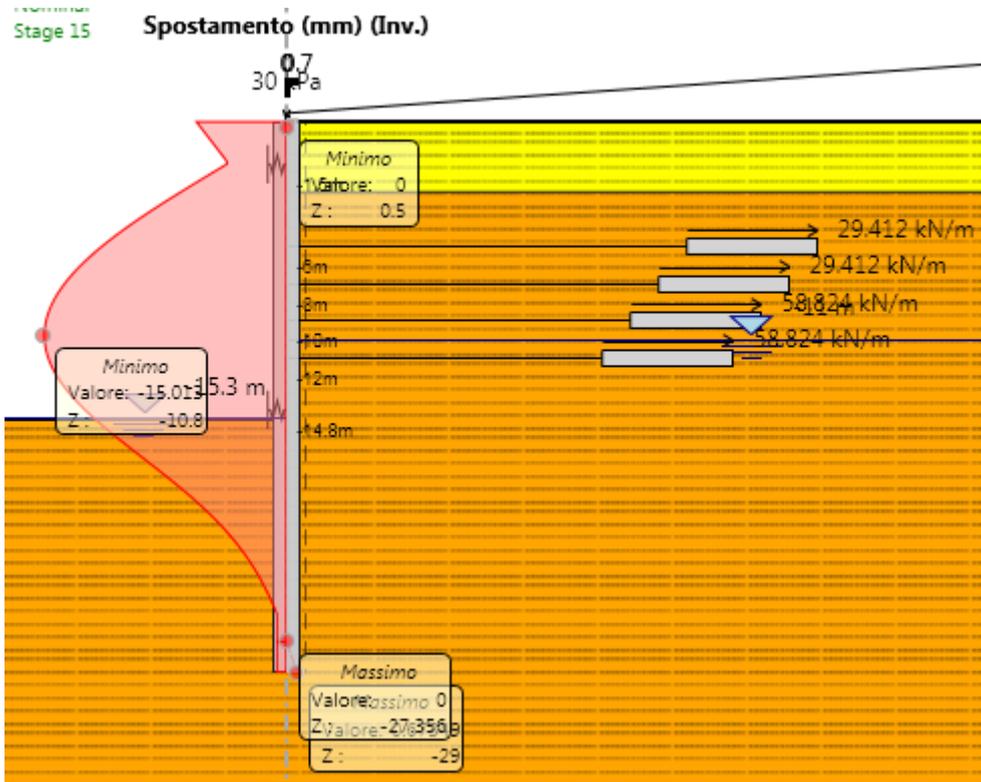


Fig. 13 – Involuppo della deformata dell'opera (SLU) nei vari step di calcolo

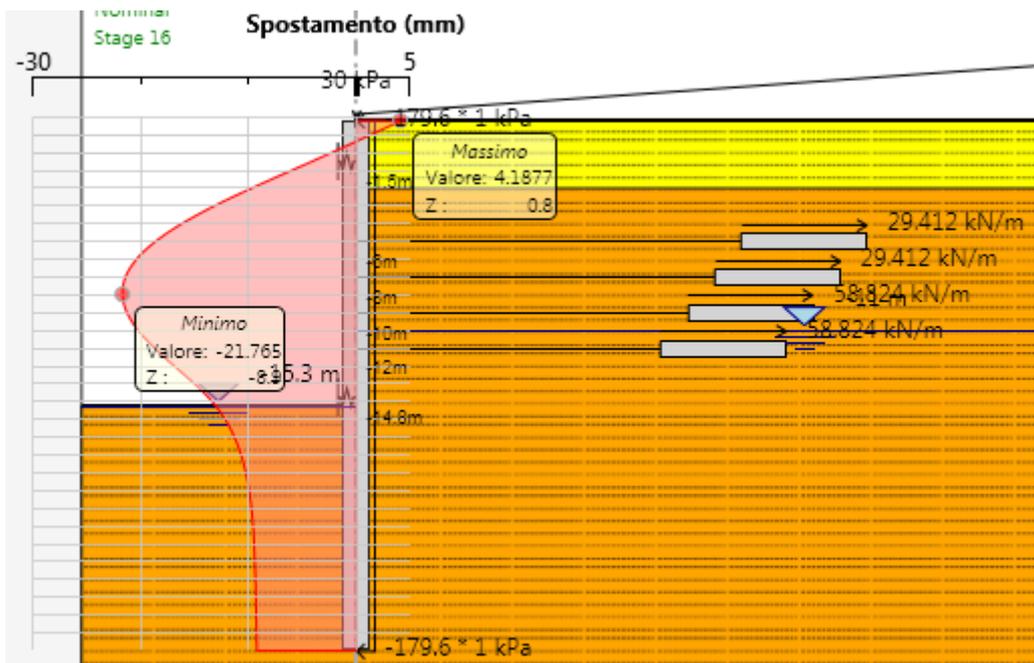


Fig. 14 – Deformata dell'opera (SLV)

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 26 di 57

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 prima. La convergenza di tale calcolo indica che la lunghezza assunta per l'opera di sostegno è sufficiente per non innescare un movimento di rotazione intorno al piede.

Strutture di supporto: tiranti

Riassunto caratteristiche

Ordine tiranti	Passo [m]	n. trefoli [kN/m]	Inclinazione [°]	Lunghezza libera [m]	Lunghezza ancoraggio [m]	Pretiro [kN]
1	3.4	1 VTR	20	21.5	7	100
2	3.4	1 VTR	20	20	7	100
3	3.4	1 VTR	20	18.5	7	200
4	3.4	1 VTR	20	17	7	200

Tabella 7 – Sezione 1. Caratteristiche tiranti

Verifica a sfilamento del bulbo di ancoraggio

Ordine tiranti	τ_{lim} [kPa]	α [-]	D [m]	l_b [m]	$\xi\alpha$ [-]	R_{ak} [kN]
1	200	1.2	0.16	7	1.8	469
2	200	1.2	0.16	7	1.8	469
3	200	1.2	0.16	7	1.8	469
4	200	1.2	0.16	7	1.8	469

Tabella 8 – Sezione 0. Resistenza a sfilamento tiranti

dove:

- τ_{lim} = tensione di aderenza laterale limite fondazione-terreno;
- α = coefficiente di incremento del diametro di perforazione D dei tiranti che tiene conto della metodologia di iniezione e della natura dei terreni interessati;
- D = diametro di perforazione;
- l_b = lunghezza bulbo di ancoraggio;
- ξ_a = coefficiente di indagine.

Combinazione	Ordine tiranti	Passo [m]	e_k [kN/m]	P_d [kN]	R_{ak} [kN]	R_{ad} [kN]	Verifica
STR Statico	1	3.4	32.163	142	469	391	$R_{ad} > P_d$
	2	3.4	32.779	145	469	391	$R_{ad} > P_d$
	3	3.4	62.296	275	469	391	$R_{ad} > P_d$
	4	3.4	61.762	273	469	391	$R_{ad} > P_d$

Tabella 9 – Sezione 0. Verifica sfilamento tiranti - fase statica

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 27 di 57

Combinazione	Ordine tiranti	Passo [m]	e_k [kN/m]	P_d [kN]	R_{ak} [kN]	R_{ad} [kN]	Verifica
STR Sismico	1	3.4	36.841	125	469	391	$R_{ad} > P_d$
	2	3.4	38.109	130	469	391	$R_{ad} > P_d$
	3	3.4	67.042	228	469	391	$R_{ad} > P_d$
	4	3.4	64.921	221	469	391	$R_{ad} > P_d$

Tabella 10 – Sezione 0. Verifica sfilamento tiranti - fase sismica

dove:

- e_k = tiro per metro di profondità
- P_d = e_k moltiplicato per l'interasse orizzontale tra i tiranti e il coefficiente amplificativo per le azioni definito da normativa (1.3 statico; 1.0 sismico)
- R_{ad} = resistenza di sfilamento di progetto
- $R_{a,d} = R_{ak} / \gamma_{Ra,p}$
- con $\gamma_{Ra,p} = 1.2$.
- R_{ak} = resistenza caratteristica scelta il minore tra i valori derivanti dall'applicazione dei coefficienti di correlazione al valor medio e al valor minimo delle resistenze $R_{a,c}$ ottenute dal calcolo come indicato di seguito:

$$R_{ak} = \min \left(\frac{(R_{a,c})_{medio}}{\xi_{a3}}; \frac{(R_{a,c})_{min}}{\xi_{a4}} \right)$$

Verifica della resistenza dell'armatura e della gerarchia delle resistenze

Verifica di resistenza dell'armatura (VTR)	
$f_{p(1)k}$ (trafoli)	950 Mpa
Coefficiente di sicurezza sul materiale	1.15
Diametro singolo trefolo (mm ²)	2880 mm ²

Tabella 11 – Sezione 0. Verifica armatura tiranti. Caratteristiche trefoli

Ordine tiranti	n.ro trefoli	R_{pk} [Kn]	P_d [Kn]	Verifica	R_{ak} [Kn]	Verifica
1	5	2379	142	$R_{pk} > P_d$	469	$R_{pk} > R_{ak}$
2	5	2379	145	$R_{pk} > P_d$	469	$R_{pk} > R_{ak}$
3	6	2379	275	$R_{pk} > P_d$	469	$R_{pk} > R_{ak}$
4	6	2379	273	$R_{pk} > P_d$	469	$R_{pk} > R_{ak}$

Tabella 12 – Sezione 0. Verifica armatura tiranti. Condizione statica

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 28 di 57

Ordine tiranti	n.ro trefoli	R _{pk} [kN]	P _d [kN]	Verifica	R _{ak} [kN]	Verifica
1	5	2379	125	R _{pk} >P _d	469	R _{pk} >R _{ak}
2	5	2379	130	R _{pk} >P _d	469	R _{pk} >R _{ak}
3	6	2379	228	R _{pk} >P _d	469	R _{pk} >R _{ak}
4	6	2379	221	R _{pk} >P _d	469	R _{pk} >R _{ak}

Tabella 13 – Sezione 0. Verifica armatura tiranti. Condizione sismica

La verifica di resistenza dell'armatura è soddisfatta poiché $P_d < R_{pk}$.

La verifica della gerarchia delle resistenze è soddisfatta poiché la resistenza caratteristica limite di snervamento del tratto libero è maggiore della resistenza a sfilamento della fondazione del tirante $R_{pk} > R_{ak}$.

2) Verifiche SLU STR

Strutture di sostegno: pali

Nelle verifiche si considerano le sollecitazioni massime sulla struttura secondo le varie analisi.

Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica. Nella zona non intercettata dallo scavo con TBM, tutte le gabbie di armatura dei pali sono in acciaio, tenendo 6cm di copriferro. Nella parte centrale della parete d'imbocco, le gabbie superiori e centrali sono armate in VTR.

Verifica a presso-flessione

GABBIA SUPERIORE

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1					
Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
7.9	660.38	660.38*1.7*1.3=1459.4	415	22+22φ26	5641

Tabella 14 – Sezione 0 Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV					
Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
7.35	2934.2	2934.2*1.7*1=4988.1	391	22+22φ26	5204

Tabella 15 – Sezione 0 Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

GABBIA MEDIA

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1					
Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
10.75	722.35	722.35*1.7*1.3=1596.4	541	22+22φ26	5751.1

Tabella 16 – Sezione 0 Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 29 di 57

STR SISMICA - VERIFICA SLV

Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
14.8	2938.8	2938.8*1.7*1=4996	720	22+22φ26	5349.5

Tabella 17 – Sezione 0 Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

GABBIA INFERIORE

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1

Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
19.7	418.03	418.03*1.7*1.3=923.85	937	22φ24	4110.8

Tabella 18 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV

Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
16.9	1618.8	1618.8*1.7*1=2752	813	22φ24	2788

Tabella 19 – Sezione 0 Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

La verifica è soddisfatta in quanto $M_{sd} < M_{rd}$.

In corrispondenza dell'attacco della galleria, è previsto l'utilizzo di pali armati in VTR per la gabbia superiore e centrale.

Per quanto riguarda le ipotesi fondamentali su cui si basa l'analisi allo stato limite ultimo delle sezioni di calcestruzzo armato con barre di FRP, si evidenzia:

- conservazione delle sezioni piane fino a rottura, in modo che il diagramma delle deformazioni normali sia lineare;
- perfetta aderenza tra calcestruzzo e barre di FRP;
- incapacità del calcestruzzo di resistere a sforzi di trazione;
- incapacità delle barre di FRP di resistere a sforzi di compressione;
- legame costitutivo del calcestruzzo conforme alla Normativa vigente;
- legame costitutivo del composito fibrorinforzato elastico lineare fino a rottura.

La rottura per flessione si può manifestare in una delle seguenti condizioni:

- raggiungimento della massima deformazione plastica nel calcestruzzo compresso, ϵ_{cu} , come definite dalla Normativa vigente ($\epsilon_{cu} = 3.5 \text{ ‰}$ da to Eurocodice 2);
- raggiungimento di una deformazione ultima nelle barre di FRP, ϵ_{fd} , calcolata a partire da quella caratteristica a trazione, ϵ_{fk} .

Nella determinazione del valore del momento resistente a flessione si possono verificare due tipi di rottura a seconda che si raggiunga la massima dilatazione dell'armatura di FRP tesa o la massima contrazione del calcestruzzo compresso. Per entrambe le tipologie di rottura è possibile avvalersi per il calcestruzzo di una distribuzione semplificata delle tensioni normali del tipo "stress-block".

Sulla base delle suddette ipotesi, dopo aver determinato la posizione dell'asse neutro dall'equazione di equilibrio alla traslazione lungo l'asse della trave con $N_c - N_t = 0$, il valore del momento resistente a flessione si ottiene dalla seguente relazione:

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 30 di 57

$$M_{rd} = \sum_{i=1}^n [A_{f,i} * \varepsilon_{fd,i} * E_f (d_i * -0.4y)]$$

con:

i = elemento i-esimo

$A_{f,i}$ = area trasversale della barra i-esima;

ε_{fd} = deformazione della barra i-esima;

E_f = modulo elastico delle barre in FRP;

y = profondità dell'asse neutro.

Con 22+22 Φ 32, il momento resistente M_{rd} è pari a 6100kNm, superiore alle sollecitazioni di calcolo.

Verifica al taglio

L'armatura al taglio sarà costituita una spirale Φ 16 passo 200 mm, infittito a 100mm dove necessario.

GABBIA SUPERIORE

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T_{SLU} (kN)	N_{SLU} (kN)	Armatura	V_{RD} (kN)
1.5	262.53	$262.53 * 1.7 * 1.3 = 580$	133	ϕ 16/10cm	2887.9

Tabella 20 – Sezione 0 Verifica strutturale a taglio. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T_{SLU} (kN)	N_{SLU} (kN)	Armatura	V_{RD} (kN)
1.5	1255.7	$1255.7 * 1.7 * 1 = 2135$	133	ϕ 16/10cm	2887.9

Tabella 21 – – Sezione 0 Verifica strutturale a taglio. Condizione sismica

GABBIA MEDIA

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T_{SLU} (kN)	N_{SLU} (kN)	Armatura	V_{RD} (kN)
15.25	287.35	$287.35 * 1.7 * 1.3 = 635$	740	ϕ 16/10cm	2887.9

Tabella 22 – Sezione 0 Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T_{SLU} (kN)	N_{SLU} (kN)	Armatura	V_{RD} (kN)
14.75	1674.6	$1674.6 * 1.7 * 1 = 2847$	718	ϕ 16/10cm	2887.9

Tabella 23 – Sezione 0 Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 31 di 57

GABBIA INFERIORE

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	Armatura	V _{RD} (kN)
16.9	183	183*1.7*1.3=404	813	φ16/20cm	1443.9

Tabella 24 – Sezione 0 Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	Armatura	V _{RD} (kN)
16.9	512.4	512.4*1.7*1=871	813	φ16/20cm	1443.9

Tabella 25 – Sezione 0 Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

La verifica è soddisfatta in quanto $V_{sd} < V_{rd}$.

Per la verifica a taglio dei pali armati in VTR, allo stato limite ultimo, in presenza di staffe il valore del taglio resistente si determina con seguente relazione:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rd,ct} + V_{Rd,f} + V_{Rd,max})$$

dove:

$R_{d,max}$ è la resistenza della biella compressa di calcestruzzo in accordo con la Normativa vigente (D.M. 17.01.2018);

$R_{d,ct}$ è il contributo alla resistenza a taglio del solo calcestruzzo determinato in base al documento CNR-DT 203/2006;

$R_{d,f}$ è il contributo alla resistenza a taglio delle staffe in GFRP determinato in base a quanto previsto nel documento CNR-DT 203/2006.

In particolare:

$$V_{Rd,ct} = 1.3 \cdot \left(\frac{E_f}{E_s} \right)^{1/2} \cdot \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.2 + 40\rho_1) \cdot b \cdot d$$

$$V_{Rd,f} = \frac{A_{fw} \cdot f_{fr} \cdot d}{s}$$

dove:

E_f e E_s sono, rispettivamente, il modulo di elasticità normale delle barre in GFRP e dell'acciaio, espressi in N/mm²;

$\tau_{rd} = 0.25 f_{cd}$ è la tensione di rottura di calcolo a taglio, espressa in N/mm²;

k è un coefficiente che assume valore unitario per elementi in cui più del 50% dell'armatura tesa risulti interrotta; in caso contrario, esso deve essere valutato a partire dalla relazione $k=(1.6 - d) \geq 1$, nella quale la grandezza d è espressa in metri;

il parametro $\rho_1 = A_f / (b \cdot d)$ non può assumere un valore superiore a 0.02;

A_{fw} è la somma delle aree dei bracci di una singola staffa;

s è il passo delle staffe e $f_{fr} = f_{fd} / \gamma_{f,\phi}$ è la resistenza di progetto ridotta con $\gamma_{f,\phi} = 2$.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 32 di 57

Utilizzando spirali $\Phi 20$ a passo 7.5cm, il taglio resistente è pari a 3147 kN, superiore al taglio sollecitante.

L'incidenza dell'armatura, risulta pari a 230 kg/mc per la gabbia superiore, 135 kg/mc per quella intermedia e 60 kg/mc per quella inferiore.

Strutture di supporto: parete di placcaggio

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 dal modello di calcolo dell'opera di sostegno. Definito P_d il massimo tiro di calcolo corrispondente all'i-esimo ordine di tiranti, il suddetto carico è così calcolato: $q_{sd}=P_d/i$ (con i interasse tiranti).

Secondo tale modello le massime azioni di calcolo sulla sull'elemento strutturale saranno calcolate, considerando:

$$M_{sd} = \left(\frac{1}{10} q_{sd} l^2 \right)$$

$$T_{sd} = (0.5 q_{sd} l)$$

La verifica della parete di placcaggio è stata effettuata facendo riferimento alla sollecitazione massima agente sui tiranti in VTR, per tale ragione si considera questa verifica rappresentativa per tutte e quattro le pareti di placcaggio.

La verifica è stata eseguita secondo le indicazioni del CNR-DT 203/2006, e pertanto eseguendo il calcolo della parete di placcaggio con un modello tipo trave, senza ricorrere cioè al modello bidimensionale di piastra, una volta determinata la sola armatura da disporre nella direzione di prevalente inflessione.

Sulla parete d'imbocco, le travi di ripartizione in acciaio sono sostituite da una parete di placcaggio di 15cm di spessore armata in VTR.

Si considera una trave di 1m di base, centrata su un ordine di tiranti in VTR: dato che i tiranti sono a passo ravvicinato e pari a 2m, in fase di verifica si riportano poi il momento ed il taglio resistente relativo a una trave di 2m di base.

Base (mm)	1000
H (mm)	150
d_1 (mm)	115
d (mm)	115
A_{Ω} (mm ²)	$\phi 20/100$
A_f (mm ²)	3100
ϵ_{fal}	0.0046
$\rho_f=A_f/Bd$	0.0270
$M_{Rd}/M_{cr} \text{ min}^{**}$	1.50
M_{cr} (kNm)	7
M_{Rd}/M_{cr}	7.3
M_{Rd} (kNm)	53.8

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 33 di 57

d (mm)	115
Østaffe (mm)	12
ρ _f (-)	0.0270
E _s (GPa)	200
n	5
A _{fw,min} (mm ²)	438
A _{fw} (mm ²)	550
s (mm)	200
V _{Rd,ct} (kN)	59
V _{Rd,f} (kN)	80
V _{Rd} (kN)	139

Si riportano le verifiche a flessione e taglio della parete di placcaggio:

Ordine tiranti	P _d [kN]	i [m]	α [°]	p [kN/m]	M _{sd} [kNm]	M _{c,Rd} [kNm]	Verifica
1	142	3.4	20	32	48.3	107.6	M _{c,Rd} >M _{sd}
2	145	3.4	20	33	49.3	107.6	M _{c,Rd} >M _{sd}
3	275	3.4	20	62	93.6	107.6	M _{c,Rd} >M _{sd}
4	273	3.4	20	62	92.8	107.6	M _{c,Rd} >M _{sd}

Tabella 26 – Sezione 0. Verifica travi ripartizione. Condizione statica

Ordine tiranti	P _d [kN]	i [m]	α [°]	p [kN/m]	M _{sd} [kNm]	M _{c,Rd} [kNm]	Verifica
1	125	3.4	20	14	42.6	107.6	M _{c,Rd} >M _{sd}
2	130	3.4	20	15	44.1	107.6	M _{c,Rd} >M _{sd}
3	228	3.4	20	24	77.5	107.6	M _{c,Rd} >M _{sd}
4	221	3.4	20	22	75.0	107.6	M _{c,Rd} >M _{sd}

Tabella 27 – Sezione 0. Verifica travi ripartizione. Condizione sismica

Ordine tiranti	P _d [kN]	i [m]	α [°]	p [kN/m]	V _{sd} [kN]	V _{rd} [kN]	Verifica
1	181	3.4	20	53	71.1	278	V _{Rd} >V _{sd}
2	195	3.4	20	57	72.4	278	V _{Rd} >V _{sd}
3	332	3.4	20	98	137.7	278	V _{Rd} >V _{sd}
4	323	3.4	20	95	136.5	278	V _{Rd} >V _{sd}

Tabella 28 – Sezione 0. Verifica travi ripartizione. Condizione statica

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 34 di 57

Ordine tiranti	P _d [kN]	i [m]	α [°]	p [kN/m]	V _{sd} [kN]	V _{rd} [kN]	Verifica
1	46.979	3.4	20	14	62.6	278	V _{Rd} >V _{sd}
2	50.576	3.4	20	15	64.8	278	V _{Rd} >V _{sd}
3	80.077	3.4	20	24	114.0	278	V _{Rd} >V _{sd}
4	75.778	3.4	20	22	110.4	278	V _{Rd} >V _{sd}

Tabella 29 – Sezione 0. Verifica travi ripartizione. Condizione sismica

Verifiche HYD

Dato che il piede paratia si innesta in un terreno coesivo, con permeabilità inferiore a 10⁻⁶m/s, non si attiva un meccanismo di filtrazione tra monte e valle e non è quindi necessario eseguire la verifica a sifonamento.

La verifica idraulica viene condotta in accordo alla seguente formulazione:

$$U_{d,dstb} \leq \sigma_{d, stb}$$

$$\gamma_{G, dstb} * U_{k, dstb} \leq \gamma_{G, stb} * \sigma_{k, stb}$$

L'applicazione delle formulazioni al livello del fondo della paratia fornisce i seguenti risultati:

$$1.3 * 10 * (28.2 - 8.25) \leq 0.9 * 20 (28.2 - 13.9) \quad 260 \text{ kPa} \approx 257.4 \text{ kPa}$$

La disuguaglianza è minima e si ritiene quindi la verifica comunque soddisfatta.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 35 di 57

11.1.2 Sezione 1 –pk 4+681.85

La sezione fa riferimento alla paratia laterale e lo scavo è sostenuto attraverso una soletta di copertura e quattro ordini di tirantature.

Viene simulata anche l'ultima fase di ribasso ed il getto della sella ed in questa condizione si applica il sisma a breve termine.

Sono di seguito descritte le principali caratteristiche della struttura e del modello geotecnico per le analisi di verifica. La geometria della struttura di sostegno e la stratigrafia sono illustrate nel modello di figura seguente.

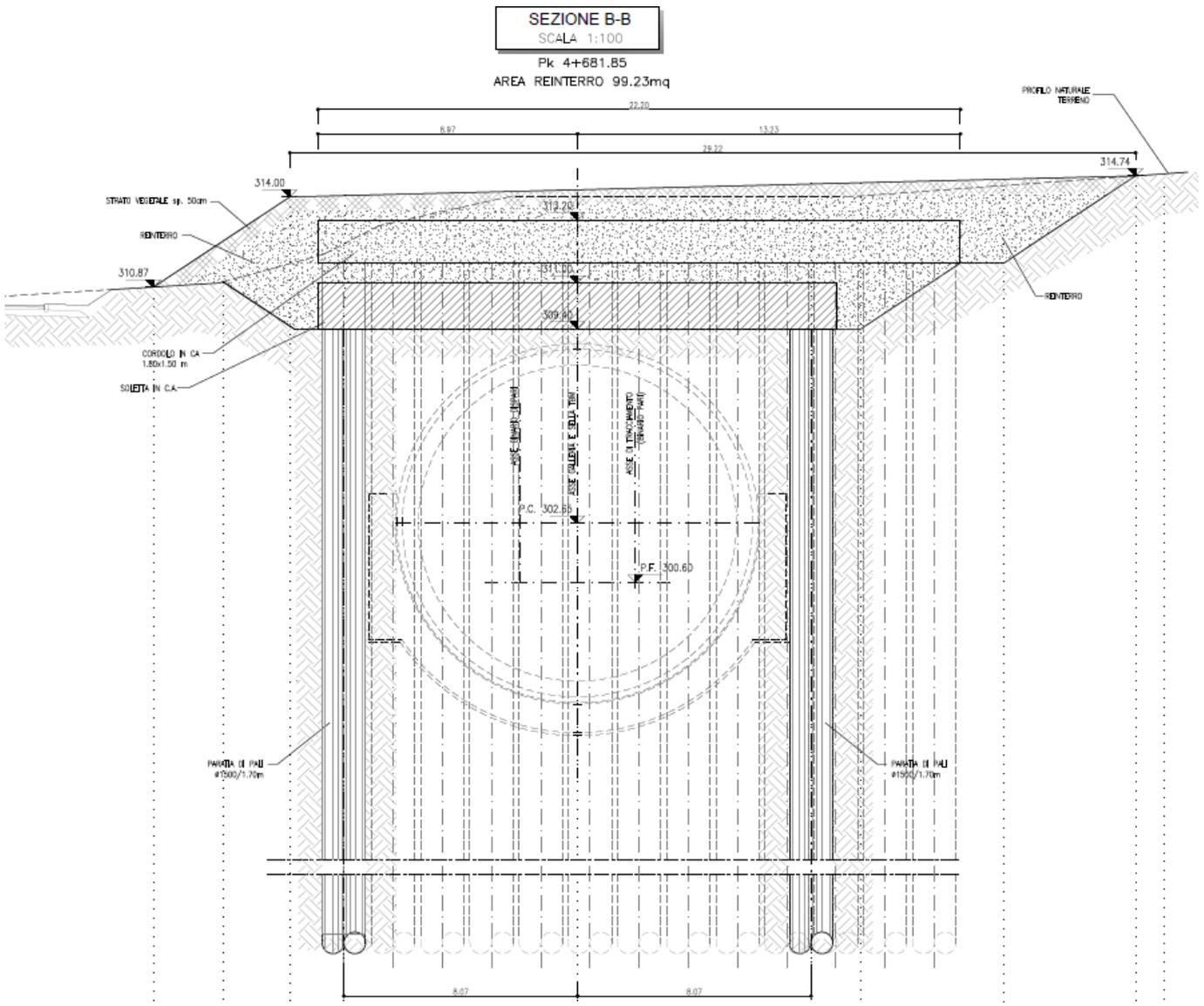


Fig. 15 – Sezione 1. Geometria di riferimento

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 36 di 57
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco						

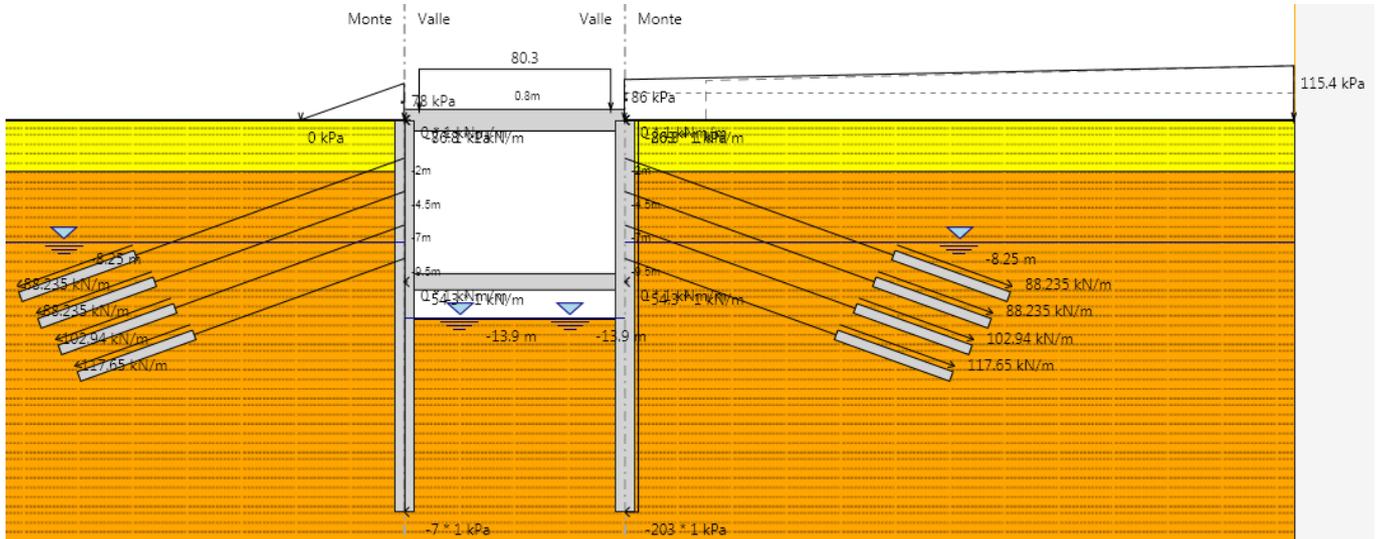


Fig. 16 – Sezione 1. Modello di calcolo - step finale di calcolo (fase 16)

La struttura scatolare costituita dalla soletta di copertura, dai pali e dalla sella, è interessata da 2 condizioni di carico diverse lungo il suo sviluppo longitudinale:

- sezione 1: ritombamento medio pari a 3.3m, equivalente a 66kPa;
- sezione 1bis: ritombamento medio pari a 0.6m, equivalente a 12kPa e sovraccarico stradale pari a 20kPa.

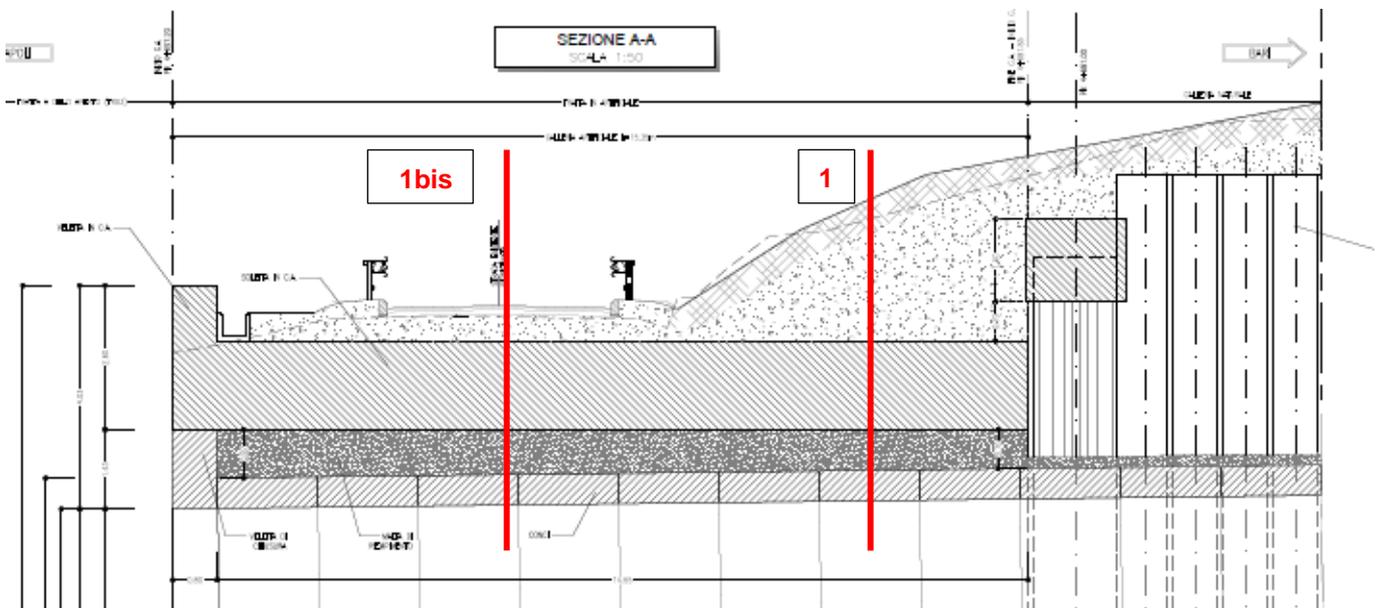


Fig. 17 – Sezioni di analisi

La prima sezione non solo massimizza il momento all'incastro con i pali a causa del maggiore sovraccarico soprastante la soletta, ma anche per il maggior carico ai lati delle paratie, che si traduce in una maggiore spinta orizzontale da sostenere, anche in fase sismica.

Per questo motivo, nel seguito si analizza la sola sezione 1.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 37 di 57

La stratigrafia di riferimento presenta la seguente sequenza:

- FYR da p.c. a 3 m di profondità;
- FYR-2 da 3m a 30.0m di profondità.

Tipologia struttura di sostegno	Paratia in pali ϕ 1500mm passo 1.7m
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 29.0m$ (cordolo 0.8m+pali $L=28.2m$)
Altezza libera paratia	$H = 15.5 m$ da testa cordolo
Ordini di puntoni	Soletta stradale
Ordini di tiranti (n°)	4 ordini
Passo orizzontale tiranti	3.4 m
Passo verticale dei tiranti	Variabile da 2.5m a 2.0m
Inclinazione iniziale del piano campagna a monte	A destra $2,1^{\circ}$, a sinistra 0° (schematizzato con sovraccarichi dal piano campagna)
Inclinazione iniziale del piano campagna a valle	A sinistra 0° (schematizzato con sovraccarichi dal piano campagna)
Inclinazione dopo il ritombamento del piano campagna a monte	A destra 1.7° , a sinistra 27.2° (schematizzato con sovraccarichi dal piano campagna)
Inclinazione dopo il ritombamento del piano campagna a valle	1.1° (schematizzato con sovraccarichi dal piano campagna)
Sovraccarichi variabili a monte	
Sovraccarichi variabili a valle	

Tabella 30 – Sezione1. Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A		ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.							
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco		COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 38 di 57

Terreno	Gruppo coeff. Parziali	Condizione	γ	c_d	φ'_d	δ	E'	E'_{ur}	k_o	K_{ah}	K_{ph}			
			(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(°)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)			
FYR	M1	SLU	20	75	16.5	11	25	40	0.716	0.493	2.152			
		SLV				11/0								
	M2	SLU		60	13.3	8.9						0.769	0.563	1.838
		SLV				8.9/0								
FYR-2	M1	SLU	21.5	23	36.5	24.3	230	368	0.405	0.210	7.270			
		SLV				24.3/0								
	M2	SLU		18.4	30.6	20.4						0.491	0.272	4.824
		SLV				20.4/0								

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 31 – Sezione1. Parametri geotecnici di calcolo.

Il livello di falda è atteso a circa 0.8 m da p.c..

In ogni caso sono previsti drenaggi sistematici a tergo delle paratie, in modo da abbassare il livello idraulico con lo scavo, presentando un dislivello di circa -8.25m fra le quote della sezione in esame e la mezzeria (assunzione conservativa) del tratto terminale.

L'analisi si è articolata nelle seguenti fasi:

- fase 1: geostatica;
- fase 2: scavo alla quota di base del cordolo e attivazione dei pali;
- fase 3: attivazione della soletta di copertura, del sovraccarico dovuto al ritombamento e aggiornamento del sovraccarico sia a monte che a valle;
- fase4: scavo sino a – 3.5 m dalla base del cordolo;
- fase 5: attivazione del primo ordine di tiranti;
- fase 6: scavo sino a -5.5 m dalla base del cordolo;
- fase 7: attivazione del secondo ordine di tiranti;
- fase 8: scavo fino a -8 m da base del cordolo.
- fase 9: attivazione del terzo ordine di tiranti;
- fase 10: scavo fino a -10.5 m da base del cordolo.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 39 di 57

- fase 11: attivazione del quarto ordine di tiranti;
- fase 12: scavo fino a -10.5 m da base del cordolo;
- fase 13: scavo fino a -11.7 m da base del cordolo;
- fase 14: scavo fino a -13.9 m per realizzazione sella ;
- fase15: attivazione della sella a quota -11.2m;
- fase 16: applicazione della condizione sismica attraverso la teoria di Wood. La risultante dell'azione sismica orizzontale può calcolarsi secondo:

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

$$(0.269 \cdot 20 \cdot (32.5)^2) / 29 = 196 \text{ kPa}$$

La soletta di copertura è introdotta nel calcolo come trave doppiamente incastrata di spessore pari a 1.6m; la sella è modellata come un puntone non resistente a trazione di spessore pari a 1m. Entrambe le strutture, di larghezza pari a 1m, sono poste ad 1m di interasse, per modellare la continuità fuori piano.

In aggiunta, su entrambe le paratie si aggiunge il carico inerziale pari a:

$$\left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \gamma \cdot H_{eq \text{ palo}} = 0.269 \cdot 25 \cdot 1.04m = 7kPa$$

In corrispondenza della soletta di copertura si aggiungono 2 forze inerziali pari a:

$$\left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \gamma \cdot \left(\frac{L_{soletta}}{2} \right) \cdot H_{soletta} = 0.269 \cdot 25 \cdot \frac{16.14m}{2} \cdot 1.6m = 86.8kN/m$$

In corrispondenza della sella si aggiungono 2 forze inerziali pari a:

$$\left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \gamma \cdot \left(\frac{L_{sella}}{2} \right) \cdot H_{sella} = 0.269 \cdot 25 \cdot \frac{16.14m}{2} \cdot 1.0m = 54.3kN/m$$

Sulla soletta di copertura, oltre al peso proprio, grava il peso di 3.3m di terreno di ritombamento, equivalente a 66kPa. In fase sismica, il carico è incrementato del 13.45%, per tener conto dell'accelerazione sismica verticale, pari a metà di quella orizzontale.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 40 di 57

11.1.2.1 RISULTATI DELLE ANALISI

I risultati delle analisi sono di seguito descritti in sintesi ed illustrati in maggior dettaglio nell'allegato pertinente.

PARATIA SINISTRA	SLU GEO		SLU STR		SLE
	Statico	Sismico	Statico	Sismico	(=SLU STR statico)
Spostamento massimo (cm)	0.3	-2.3	0.2	-2.0	0.2
Momento massimo (kNm/m)	-	-	1700 (0)	970.1 (0)	1700 (0)
Taglio massimo (kN/m)	-	-	484.93 (0)	1222.6 (0)	484.93 (0)
Spinta passiva mobilitata a valle (%)	36.1	29.7	-	-	19.3

PARATIA DESTRA	SLU GEO		SLU STR		SLE
	Statico	Sismico	Statico	Sismico	(=SLU STR statico)
Spostamento massimo (cm)	0.4	2.4	0.2	2.1	0.2
Momento massimo (kNm/m)	-	-	1531.6 (0)	2550 (-11.2)	1531.6 (0)
Taglio massimo (kN/m)	-	-	484.1 (0)	1045.2 (0)	484.1 (0)
Spinta passiva mobilitata a valle (%)	48.5	68.6	-	42.5	42.5

3) Verifiche SLU GEO

Verifica del complesso opera-terreno

Per le verifiche di stabilità globale sono stati utilizzati i parametri abbattuti, in accordo a quanto riportato in precedenza per la condizione GEO.

Dato che le fasi di scavo riguardano un tempo limitato e inferiore ai 2 anni, si verifica la stabilità globale dell'opera solo in fase statica, non considerando, a favore di sicurezza, il contrasto offerto dalla soletta di copertura e dalla sella.

I coefficienti di sicurezza ottenuti relativamente alla stabilità globale sono riportati nella tabella seguente

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 41 di 57

Tipo di verifica	FS
Statica	4.065 > 1.10

Tabella 32 – Risultati verifica di stabilità globale. Fattore sicurezza minimo.

Il coefficiente di sicurezza minimo indicato è stato calcolato con il metodo di Morgenstein e Price.

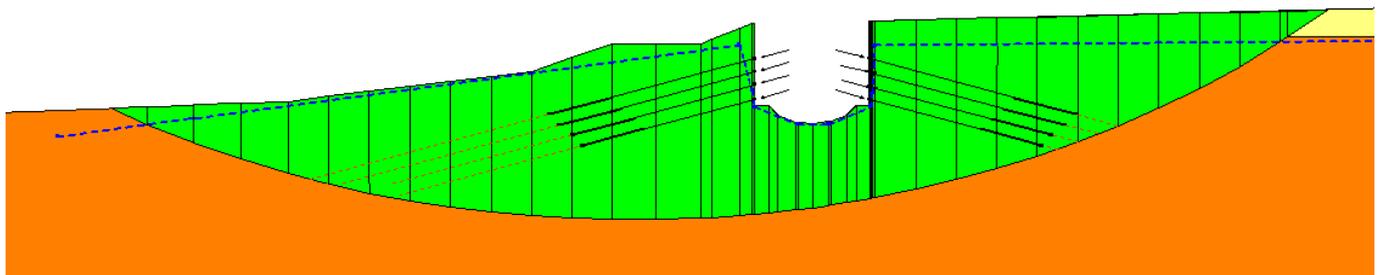
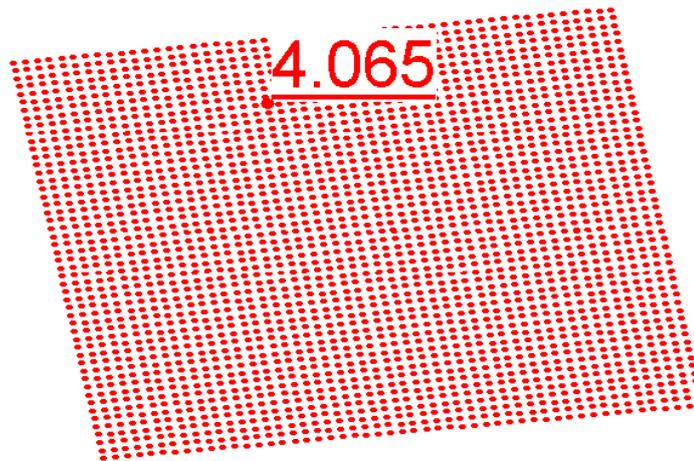


Fig. 18 – Sezione 1. Risultati verifica di stabilità globale. Superficie critica

Verifica della mobilizzazione della spinta passiva

Il grafico seguente riporta l'andamento della mobilizzazione della spinta passiva per la condizione GEO. Risulta visibile che la resistenza disponibile risulta superiore a quella mobilizzata, da cui la verifica della opera. L'ultima fase di calcolo corrisponde alla fase sismica.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A		ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.		COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 42 di 57
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco							

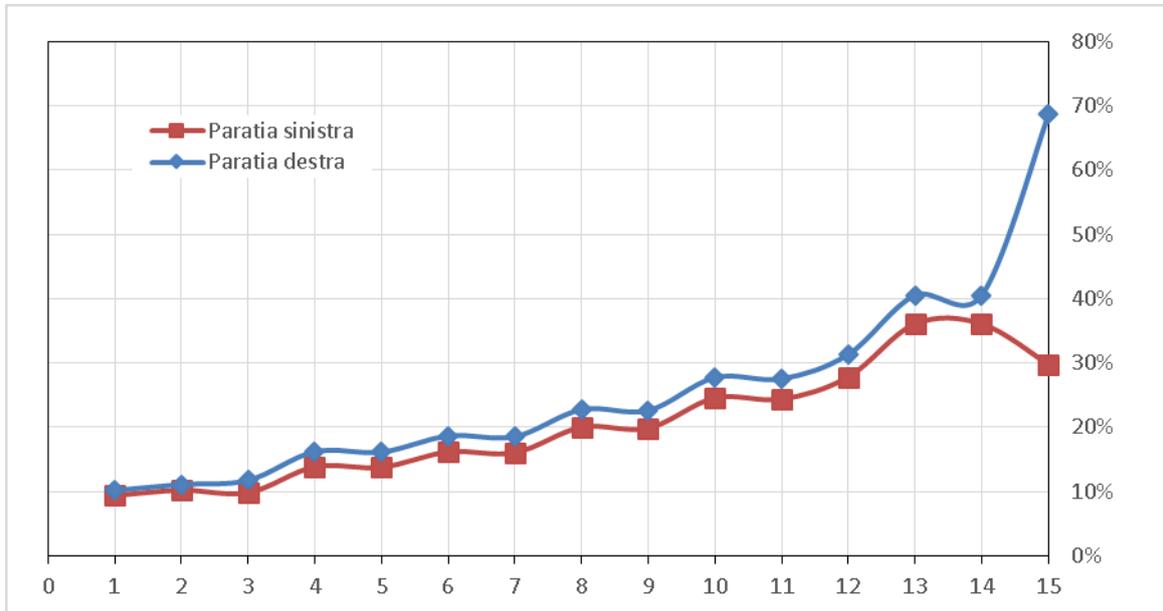


Fig. 19 – Sezione 1. Risultati mobilizzazione spinta passiva per la condizione A2+M2

Si evidenzia che la profondità di infissione dell'opera di sostegno garantisce uno spostamento limitato al piede.

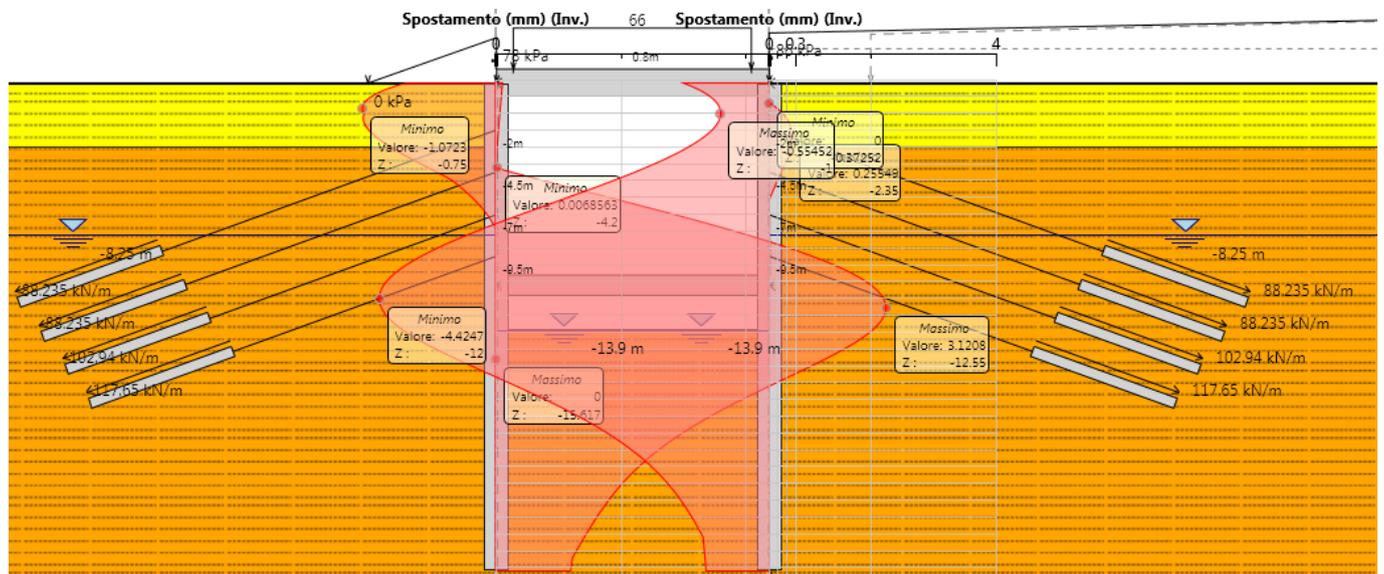


Fig. 20 – Involuppo della deformata dell'opera (SLU) nei vari step di calcolo

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 43 di 57

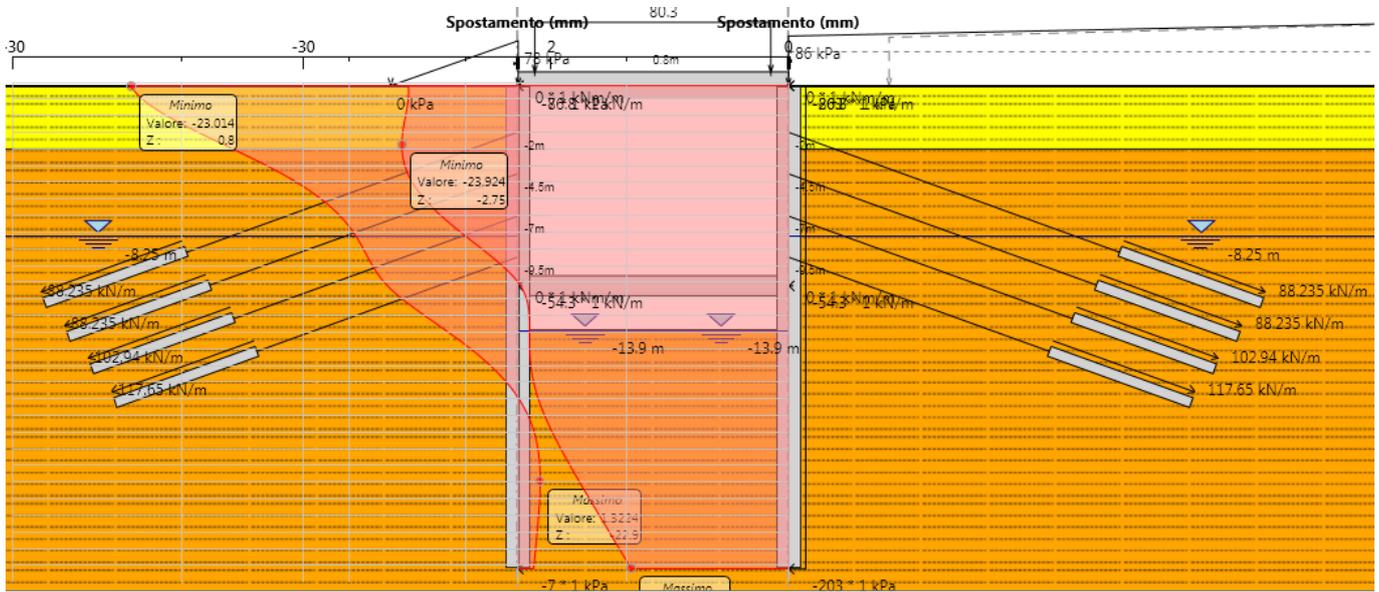


Fig. 21 – Deformata dell'opera (SLV)

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 l'opera di sostegno è sufficiente per non innescare un movimento di rotazione intorno al piede.

Strutture di supporto: tiranti

Riassunto caratteristiche

Ordine tiranti	Passo [m]	n. trefoli [kN/m]	Inclinazione [°]	Lunghezza libera [m]	Lunghezza ancoraggio [m]	Pretiro [kN]
1	3.4	5	20	21.5	9	300
2	3.4	5	20	20	9	300
3	3.4	6	20	18	9	350
4	3.4	6	20	16.5	9	400

Tabella 33 – Sezione 1. Caratteristiche tiranti

Verifica a sfilamento del bulbo di ancoraggio

Ordine tiranti	τ_{lim} [kPa]	α [-]	D [m]	l_b [m]	$\xi\alpha$ [-]	R_{ak} [kN]
1	200	1.2	0.16	9	1.8	603
2	200	1.2	0.16	9	1.8	603

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 44 di 57

3	200	1.2	0.19	9	1.8	716
4	220	1.2	0.19	9	1.8	788

Tabella 34 – Sezione 1. Resistenza a sfilamento tiranti

dove:

- τ_{lim} = tensione di aderenza laterale limite fondazione-terreno;
- α = coefficiente di incremento del diametro di perforazione D dei tiranti che tiene conto della metodologia di iniezione e della natura dei terreni interessati;
- D = diametro di perforazione;
- l_b = lunghezza bulbo di ancoraggio;
- ξ_a = coefficiente di indagine.

Combinazione	Ordine tiranti	Passo [m]	e_k [kN/m]	P_d [kN]	R_{ak} [kN]	R_{ad} [kN]	Verifica
STR Statico sinistra	1	3.4	88.24	390	603	503	$R_{ad} > P_d$
	2	3.4	88.531	391	603	503	$R_{ad} > P_d$
	3	3.4	104	460	716	597	$R_{ad} > P_d$
	4	3.4	119.49	528	788	657	$R_{ad} > P_d$
STR Statico destra	1	3.4	88.411	391	603	503	$R_{ad} > P_d$
	2	3.4	88.836	393	603	503	$R_{ad} > P_d$
	3	3.4	104.42	462	716	597	$R_{ad} > P_d$
	4	3.4	119.96	530	788	657	$R_{ad} > P_d$

Tabella 35 – Sezione 1. Verifica sfilamento tiranti - fase statica

Combinazione	Ordine tiranti	Passo [m]	e_k [kN/m]	P_d [kN]	R_{ak} [kN]	R_{ad} [kN]	Verifica
STR Sismico sinistra	1	3.4	67.612	230	603	503	$R_{ad} > P_d$
	2	3.4	72.24	246	603	503	$R_{ad} > P_d$
	3	3.4	86.997	296	716	597	$R_{ad} > P_d$
	4	3.4	102.47	348	788	657	$R_{ad} > P_d$
STR Sismico destra	1	3.4	115.15	392	603	503	$R_{ad} > P_d$
	2	3.4	115.39	392	603	503	$R_{ad} > P_d$
	3	3.4	132.64	451	716	597	$R_{ad} > P_d$
	4	3.4	142.31	484	788	657	$R_{ad} > P_d$

Tabella 36 – Sezione 1. Verifica sfilamento tiranti - fase sismica

dove:

- e_k = tiro per metro di profondità

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 45 di 57

- $P_d = e_k$ moltiplicato per l'interasse orizzontale tra i tiranti e il coefficiente amplificativo per le azioni definito da normativa (1.3 statico; 1.0 sismico)
- R_{ad} =resistenza di sfilamento di progetto
- $R_{a,d} = R_{ak} / \gamma_{Ra,p}$
- con $\gamma_{Ra,p} = 1.2$.
- R_{ak} =resistenza caratteristica scelta il minore tra i valori derivanti dall'applicazione dei coefficienti di correlazione al valor medio e al valor minimo delle resistenza $R_{a,c}$ ottenute dal calcolo come indicato di seguito:

$$R_{ak} = \min \left(\frac{(R_{a,c})_{medio}}{\xi_{a3}}; \frac{(R_{a,c})_{min}}{\xi_{a4}} \right)$$

Verifica della resistenza dell'armatura e della gerarchia delle resistenze

Verifica di resistenza dell'armatura	
$f_{p(1)k}$ (trafoli)	1670 Mpa
Coefficiente di sicurezza sul materiale	1.15
Diametro singolo trefolo (mm ²)	139 mm ²

Tabella 37 – Sezione 1. Verifica armatura tiranti. Caratteristiche trefoli

PARATIA SINISTRA

Ordine tiranti	n.ro trefoli	R_{pk} [Kn]	P_d [Kn]	Verifica	R_{ak} [Kn]	Verifica
1	5	1009	390	$R_{pk} > P_d$	603	$R_{pk} > R_{ak}$
2	5	1009	391	$R_{pk} > P_d$	603	$R_{pk} > R_{ak}$
3	6	1211	460	$R_{pk} > P_d$	716	$R_{pk} > R_{ak}$
4	6	1211	528	$R_{pk} > P_d$	788	$R_{pk} > R_{ak}$

PARATIA DESTRA

Ordine tiranti	n.ro trefoli	R_{pk} [kN]	P_d [kN]	Verifica	R_{ak} [kN]	Verifica
1	5	1009	391	$R_{pk} > P_d$	603	$R_{pk} > R_{ak}$
2	5	1009	393	$R_{pk} > P_d$	603	$R_{pk} > R_{ak}$
3	6	1211	462	$R_{pk} > P_d$	716	$R_{pk} > R_{ak}$
4	6	1211	530	$R_{pk} > P_d$	788	$R_{pk} > R_{ak}$

Tabella 38 – Sezione 1. Verifica armatura tiranti. Condizione statica

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 46 di 57

PARATIA SINISTRA

Ordine tiranti	n.ro trefoli	R _{pk} [Kn]	P _d [Kn]	Verifica	R _{ak} [Kn]	Verifica
1	5	1009	230	R _{pk} >P _d	603	R _{pk} >R _{ak}
2	5	1009	246	R _{pk} >P _d	603	R _{pk} >R _{ak}
3	6	1211	296	R _{pk} >P _d	716	R _{pk} >R _{ak}
4	6	1211	348	R _{pk} >P _d	788	R _{pk} >R _{ak}

PARATIA DESTRA

Ordine tiranti	n.ro trefoli	R _{pk} [kN]	P _d [kN]	Verifica	R _{ak} [kN]	Verifica
1	5	1009	392	R _{pk} >P _d	603	R _{pk} >R _{ak}
2	5	1009	392	R _{pk} >P _d	603	R _{pk} >R _{ak}
3	6	1211	451	R _{pk} >P _d	716	R _{pk} >R _{ak}
4	6	1211	484	R _{pk} >P _d	788	R _{pk} >R _{ak}

Tabella 39 – Sezione 1. Verifica armatura tiranti. Condizione sismica

La verifica di resistenza dell'armatura è soddisfatta poiché $P_d < R_{pk}$.

La verifica della gerarchia delle resistenze è soddisfatta poiché la resistenza caratteristica limite di snervamento del tratto libero è maggiore della resistenza a sfilamento della fondazione del tirante $R_{pk} > R_{ak}$.

4) Verifiche SLU STR

Strutture di sostegno: pali

Nelle verifiche si considerano le sollecitazioni massime sulla struttura secondo le varie analisi.

Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica ed il sovraccarico dato dalla soletta di copertura e dal ritombamento soprastante.

Verifica a presso-flessione

PARATIA SINISTRA

GABBIA SUPERIORE

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1					
Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
0.8	1700.8	1700.8*1.7*1.3=3758.8	1228	44+44φ24	8518.7

Tabella 40 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 47 di 57

STR SISMICA - VERIFICA SLV

Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
0.8	3970.1	3970.1*1.7*1=6749.2	1228	44+44φ24	8201.4

Tabella 41 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

GABBIA MEDIA

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1

Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
12.15	412	412*1.7*1.3=910.52	1765	44φ24	6591.6

Tabella 42 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV

Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
5.8	1570	1570*1.7*1=2669	1484	44φ24	5467

Tabella 43 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

GABBIA INFERIORE

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1

Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
15.9	83.42	83.42*1.7*1.3=184.36	1931	22φ24	2283.8

Tabella 44 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV

Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
16.95	858.81	858.81*1.7*1=1460	1977	22φ24	4653.2

Tabella 45 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

PARATIA SINISTRA

GABBIA SUPERIORE

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1

Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
0.8	1531.6	1531.6*1.7*1.3=3384.8	1228	44+44φ24	8590.1

Tabella 46 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV

Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
-4.9	1286.2	1286.2*1.7*1=2186.5	1723.05	44+44φ24	8942.2

Tabella 47 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 48 di 57

GABBIA MEDIA

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1					
Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
12.15	447.89	447.89*1.7*1.3=989.84	1765	44φ24	6650.7

Tabella 48 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV					
Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
11.2	2550	2550*1*1.3=4335	1723	44φ24	5140.4

Tabella 49 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

GABBIA INFERIORE

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1					
Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
15.9	70	70*1.7*1.3=154.7	1931	22φ24	1916.5

Tabella 50 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV					
Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	M _{RD} (kNm)
20.15	202.35	202.35*1.7*1= 344	2118	22φ24	3444.9

Tabella 51 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

La verifica è soddisfatta in quanto $M_{sd} < M_{rd}$.

Verifica al taglio

L'armatura al taglio sarà costituita una spirale Ø16 passo 200 mm, infittito a 100mm dove necessario.

PARATIA SINISTRA

GABBIA SUPERIORE

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	Armatura	V _{RD} (kN)
0.8	484.93	484.93*1.7*1.3=1072	1228	φ16/10cm	2381.2

Tabella 52 – Verifica strutturale a taglio. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	Armatura	V _{RD} (kN)
0.8	1222.6	1222.6*1.7*1=2078	1228	φ16/10cm	2381.2

Tabella 53 – Verifica strutturale a taglio. Condizione sismica

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 49 di 57

GABBIA MEDIA

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	Armatura	V _{RD} (kN)
13.85	129.57	129.57*1.7*1.3=286	1840	φ16/10cm	2381.2

Tabella 54 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	Armatura	V _{RD} (kN)
11.15	1295	1295*1.7*1=2202	1721	φ16/10cm	2381.2

Tabella 55 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

GABBIA INFERIORE

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	Armatura	V _{RD} (kN)
15.9	87.46	87.46*1.7*1.3=193	1931	φ16/20cm	1190.6

Tabella 56 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	Armatura	V _{RD} (kN)
15.9	119.11	119.11*1.7*1=202	1931	φ16/20cm	1190.6

Tabella 57 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

PARATIA DESTRA

GABBIA SUPERIORE

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	Armatura	V _{RD} (kN)
0.8	484.08	484.08*1.7*1.3=1070	1228	φ16/10cm	2381.2

Tabella 58 – Verifica strutturale a taglio. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	Armatura	V _{RD} (kN)
0.8	1045.2	1045.2*1.7*1=1777	1228	φ16/10cm	2381.2

Tabella 59 – Verifica strutturale a taglio. Condizione sismica

GABBIA MEDIA

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	Armatura	V _{RD} (kN)
7.05	149.53	149.53*1.7*1.3=330	1540	φ16/10cm	2381.2

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 50 di 57

Tabella 60 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	Armatura	V _{RD} (kN)
11.15	1243.5	1243.5*1.7*1=2114	1721	φ16/10cm	2381.2

Tabella 61 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

GABBIA INFERIORE

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	Armatura	V _{RD} (kN)
15.9	71.744	71.744*1.7*1.3=159	1931	φ16/20cm	1190.6

Tabella 62 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV					
Quota da base cordolo (m)	T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	Armatura	V _{RD} (kN)
15.9	151.55	151.55*1.7*1=258	1931	φ16/20cm	1190.6

Tabella 63 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

La verifica è soddisfatta in quanto $V_{sd} < V_{rd}$.

L'incidenza dell'armatura, risulta pari a 230 kg/mc per la gabbia superiore, 135 kg/mc per quella intermedia e 60 kg/mc per quella inferiore.

Strutture di supporto: 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 dal modello di calcolo dell'opera di sostegno. Definito P_d il massimo tiro di calcolo corrispondente all'i-esimo ordine di tiranti, il suddetto carico è così calcolato: $q_{sd} = P_d / i$ (con i interasse tiranti).

Secondo tale modello le massime azioni di calcolo sull'elemento strutturale saranno calcolate, considerando metà del carico su ciascuna trave accoppiata:

$$M_{sd} = \left(\frac{1}{10} q_{sd} l^2 \right) / 2$$

$$T_{sd} = (0.5 q_{sd} l) / 2$$

Tutte le verifiche sono soddisfatte poiché il momento sollecitante è minore del momento resistente, $M_{sd} < M_{c,Rd}$.

Caratteristiche trave ripartizione		
f_{yk} trave (MPa)	275	S275
Coefficiente di sicurezza γ_{M0}	1.05	-
$W_{plastico}$ travi (cm ³)	716	profilati HEB260(x2)

Tabella 64 – Sezione 1. Verifica travi ripartizione. Caratteristiche profilati

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 51 di 57

PARATIA SINISTRA

Ordine tiranti	P _d [kN]	i [m]	α [°]	p [kN/m]	M _{sd} [kNm]	M _{c,Rd} [kNm]	Verifica
1	390	3.4	20	88.2	66.3	336.0	M _{c,Rd} > M _{sd}
2	391	3.4	20	88.5	66.5	336.0	M _{c,Rd} > M _{sd}
3	460	3.4	20	104.0	78.1	336.0	M _{c,Rd} > M _{sd}
4	528	3.4	20	119.5	89.8	336.0	M _{c,Rd} > M _{sd}

Tabella 65 – Sezione 1. Verifica travi ripartizione. Condizione statica

Ordine tiranti	P _d [kN]	i [m]	α [°]	p [kN/m]	M _{sd} [kNm]	M _{c,Rd} [kNm]	Verifica
1	230	3.4	20	67.6	39.1	336.0	M _{c,Rd} > M _{sd}
2	246	3.4	20	72.2	41.8	336.0	M _{c,Rd} > M _{sd}
3	296	3.4	20	87.0	50.3	336.0	M _{c,Rd} > M _{sd}
4	348	3.4	20	102.5	59.2	336.0	M _{c,Rd} > M _{sd}

Tabella 66 – Sezione 1. Verifica travi ripartizione. Condizione sismica

PARATIA DESTRA

Ordine tiranti	P _d [kN]	i [m]	α [°]	p [kN/m]	M _{sd} [kNm]	M _{c,Rd} [kNm]	Verifica
1	391	3.4	20	88.4	67.3	66.4	M _{c,Rd} > M _{sd}
2	393	3.4	20	88.8	68.6	66.8	M _{c,Rd} > M _{sd}
3	462	3.4	20	104.4	81.9	78.5	M _{c,Rd} > M _{sd}
4	530	3.4	20	120.0	94.5	90.1	M _{c,Rd} > M _{sd}

Tabella 67 – Sezione 1. Verifica travi ripartizione. Condizione statica

Ordine tiranti	P _d [kN]	i [m]	α [°]	p [kN/m]	M _{sd} [kNm]	M _{c,Rd} [kNm]	Verifica
1	392	3.4	20	115.2	80.7	66.6	M _{c,Rd} > M _{sd}
2	392	3.4	20	115.4	82.2	66.7	M _{c,Rd} > M _{sd}
3	451	3.4	20	132.6	97.2	76.7	M _{c,Rd} > M _{sd}
4	484	3.4	20	142.3	105.4	82.3	M _{c,Rd} > M _{sd}

Tabella 68 – Sezione 1. Verifica travi ripartizione. Condizione sismica

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 52 di 57

PARATIA SINISTRA

Ordine tiranti	P _d [kN]	i [m]	α [°]	p [kN/m]	V _{sd} [kN]	V _{rd} [kN]	Verifica
1	390	3.4	20	88.2	97.5	567.8	V _{Rd} >V _{sd}
2	391	3.4	20	88.5	97.8	567.8	V _{Rd} >V _{sd}
3	460	3.4	20	104.0	114.9	567.8	V _{Rd} >V _{sd}
4	528	3.4	20	119.5	132.0	567.8	V _{Rd} >V _{sd}

Tabella 69 – Sezione 1. Verifica travi ripartizione. Condizione statica

Ordine tiranti	P _d [kN]	i [m]	α [°]	p [kN/m]	V _{sd} [kN]	V _{rd} [kN]	Verifica
1	230	3.4	20	67.6	57.5	567.8	V _{Rd} >V _{sd}
2	246	3.4	20	72.2	61.4	567.8	V _{Rd} >V _{sd}
3	296	3.4	20	87.0	73.9	567.8	V _{Rd} >V _{sd}
4	348	3.4	20	102.5	87.1	567.8	V _{Rd} >V _{sd}

Tabella 70 – Sezione 1. Verifica travi ripartizione. Condizione sismica

PARATIA DESTRA

Ordine tiranti	P _d [kN]	i [m]	α [°]	p [kN/m]	V _{sd} [kN]	V _{rd} [kN]	Verifica
1	391	3.4	20	88.4	97.7	567.8	V _{Rd} >V _{sd}
2	393	3.4	20	88.8	98.2	567.8	V _{Rd} >V _{sd}
3	462	3.4	20	104.4	115.4	567.8	V _{Rd} >V _{sd}
4	530	3.4	20	120.0	132.6	567.8	V _{Rd} >V _{sd}

Tabella 71 – Sezione 1. Verifica travi ripartizione. Condizione statica

Ordine tiranti	P _d [kN]	i [m]	α [°]	p [kN/m]	V _{sd} [kN]	V _{rd} [kN]	Verifica
1	392	3.4	20	115.2	97.9	567.8	V _{Rd} >V _{sd}
2	392	3.4	20	115.4	98.1	567.8	V _{Rd} >V _{sd}
3	451	3.4	20	132.6	112.7	567.8	V _{Rd} >V _{sd}
4	484	3.4	20	142.3	121.0	567.8	V _{Rd} >V _{sd}

Tabella 72 – Sezione 1. Verifica travi ripartizione. Condizione sismica

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 53 di 57

Puntonatura: soletta di copertura

Nelle verifiche si considerano le sollecitazioni massime sulla struttura secondo le varie analisi.

Si riportano le verifiche relative alla sezione di incastro, armata con $\varnothing 26$ passo 10cm inferiormente e con doppia fila di $\varnothing 26$ passo 10cm superiormente. I ripartitori sono $\varnothing 20$ passo 30cm

Verifica a presso-flessione

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1			
M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	M _{RD} (kNm)
1700.8	1700.8*1.3=2211	484.93	6656

Tabella 73 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV			
	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	M _{RD} (kNm)
3970.1	3970.1*1.0=3970.1	1222.6	7334

Tabella 74 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione sismica

Verifica al taglio

L'armatura al taglio sarà costituita da spilli $\varnothing 16$ a maglia 30x40 vicino agli appoggi.

STR STATICA - VERIFICA SLU-A1-M1			
T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	V _{RD} (kN)
1228	1228*1.3=1596.4	484.93	1720

Tabella 75 – Verifica strutturale a taglio. Condizione statica

STR SISMICA - VERIFICA SLV			
T(kN)	T _{SLU} (kN)	N _{SLU} (kN)	V _{RD} (kN)
1393	1393*1=1393	1222.6	1720

Tabella 76 – Verifica strutturale a taglio. Condizione sismica

Verifiche HYD

Dato che il piede paratia si innesta in un terreno coesivo, con permeabilità inferiore a 10^{-6} m/s, non si attiva un meccanismo di filtrazione tra monte e valle e non è quindi necessario eseguire la verifica a sifonamento.

La verifica idraulica viene condotta in accordo alla seguente formulazione:

$$U_{d,dstb} \leq \sigma_{d,stb}$$

$$\gamma_{G,dstb} * U_{k,dstb} \leq \gamma_{G,stb} * \sigma_{k,stb}$$

L'applicazione delle formulazioni al livello del fondo della paratia fornisce i seguenti risultati:

$$1.3*10*(28.2-8.25) \leq 0.9* 20 (28.2-13.9) \quad 260 \text{ kPa} \approx 257.4 \text{ kPa}$$

La disuguaglianza è minima e si ritiene quindi la verifica comunque soddisfatta.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 54 di 57

Verifiche SLE

Strutture di sostegno: pali

Nelle verifiche si considerano le sollecitazioni massime sulla struttura secondo le varie analisi.

Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica ed il sovraccarico dato dalla soletta di copertura e dal ritombamento soprastante.

Verifica a presso-flessione

PARATIA SINISTRA

GABBIA SUPERIORE

SLE STATICA							
Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	σ _c (MPa)	σ _s (MPa)	w _k (mm)
0	1700.8	1700.8*1.7=2891.4	1228	44+44φ24	-8.7	170.4	0.23

Tabella 77 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

GABBIA MEDIA

SLE STATICA							
Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	σ _c (MPa)	σ _s (MPa)	w _k (mm)
-12.15	412	412*1.7=700.4	1765	44φ24	-2.77	-37.32	0.02

Tabella 78 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

GABBIA INFERIORE

SLE STATICA							
Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	σ _c (MPa)	σ _s (MPa)	w _k (mm)
-15.9	83.42	83.42*1.7=141.8	184.36	22φ24	-1.3	-19.2	0.00

Tabella 79 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

PARATIA DESTRA

GABBIA SUPERIORE

SLE STATICA							
Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	σ _c (MPa)	σ _s (MPa)	w _k (mm)
0.8	1531.6	1531.6*1.7=2603.7	1228	44+44φ24	-7.89	150.2	0.19

Tabella 80 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 55 di 57

GABBIA MEDIA

SLE STATICA							
Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	σ _c (MPa)	σ _s (MPa)	w _k (mm)
-12.15	447.89	447.89*1.7=761.41	1765	44φ24	-3.0	-40.2	0.03

Tabella 81 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

GABBIA INFERIORE

SLE STATICA							
Quota da base cordolo (m)	M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	Armatura	σ _c (MPa)	σ _s (MPa)	w _k (mm)
-15.9	70	70*1.7=119	1931	22φ24	-1.3	-19.2	0.00

Tabella 82 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

La verifica è soddisfatta sia in termini di limiti delle tensioni nel calcestruzzo e nell'acciaio, sia in termini di apertura delle fessure, inferiore a 0.3mm.

Puntonatura: soletta di copertura

Nelle verifiche si considerano le sollecitazioni massime sulla struttura secondo le varie analisi.

Si riportano le verifiche relative alla sezione di incastro, armata con Ø26 passo 10cm inferiormente e con doppia fila di Ø26 passo 10cm superiormente. I ripartitori sono Ø20 passo 30cm

SLE STATICA					
M(kNm/m)	M _{sd} (kNm)	N _{sd} (kN)	σ _c (MPa)	σ _s (MPa)	w _k (mm)
1700.8	1700.8*1=1700.8	484.93	-4.2	100.4	0.10

Tabella 83 – Verifica strutturale a pressoflessione. Condizione statica

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 56 di 57

11.1.3 Capacità portante dei pali di fondazione

Nel seguito si verifica la capacità portante dei pali, utilizzati come fondazione per la soletta stradale.

I criteri di calcolo adottati per la determinazione della portanza verticale e orizzontale del singolo palo sono descritti nella relazione IF0G 01 D 09 RB VI 0001 002 A "Criteri di calcolo delle fondazioni".

La capacità portante del palo di fondazione è valutata come somma della portata laterale e di base.

A favore di sicurezza, si considera la sola portata di base $R_b = A_b \times q_b$, con

A_b = area base palo;

q_b = portanza limite di base.

La portanza di base negli strati incoerenti è valutata con la seguente relazione:

$$q_b = N'_q \times \sigma'_v < 4300 \text{ kPa}$$

con:

N'_q di Berezantzev (corrispondente ad un cedimento pari $0.06 \div 0.1 \phi$), determinato in riferimento ad un angolo di resistenza a taglio ridotto (ϕ'_{rid}) rispetto a quello prima dell'installazione del palo (Kishida, 1967):

$$\phi'_{rid} = \phi' - 3^\circ$$

Nel caso della formazione FYR-2, caratterizzata da $\phi' > 36^\circ$, risulta $q_b = 27 \times (14.3 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3) = 3861 \text{ kPa}$.

Per il calcolo dello sforzo verticale efficace si è considerata cautelativamente la condizione di valle a fine scavo (14.3m), essendo maggiore il carico a monte e peso sommerso per tutta l'altezza.

La resistenza di calcolo allo SLU è valutata in accordo all'approccio 2 di cui alle NTC2008: A1+M1+R3 e la capacità portante va quindi ridotta per $\xi=1.7$, risultando pari a 2271kPa.

Con A_b pari a 1.767m², la portata di base risulta 4013kN.

La resistenza di progetto risulta quindi:

$$R_{c,d} = R_{b,d} - W'_d = R_{b,k} / \gamma_b - W'_d = \mathbf{2225 \text{ kN}}$$

essendo:

γ_b pari a 1.35 per i pali trivellati

W'_d pari a 747.4 kN ($\gamma' \times A \times L = 15 \text{ kN/m}^3 \times 1.767 \text{ m}^2 \times 28.2 \text{ m}$)

Con riferimento alla sezione 1 di verifica di paratie, la più gravosa in termini di sovraccarico, i carichi sollecitanti a metro di profondità si riferiscono a metà luce della soletta di copertura:

- Peso proprio soletta: $\gamma \times H \times L/2 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 1.6 \text{ m} \times 8.07 \text{ m} = 322.8 \text{ kN}$
- Ritombamento medio: $\gamma \times H \times L/2 = 20 \text{ kN/m}^3 \times 3.3 \text{ m} \times 8.07 \text{ m} = 532.6 \text{ kN}$

Essendo l'interasse dei pali pari a 1.7m, il sovraccarico è pari a 1454.2kN, che allo SLU equivalgono ad un carico sollecitante $E_d = \mathbf{1890.4kN}$, inferiore alla capacità portante di progetto.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO GA0200 001	REV. B	FOGLIO 57 di 57

Per quanto riguarda la valutazione dei cedimenti del palo, si considera la curva di trasferimento per terreni coesivi: il rapporto tra il carico in esercizio (1454.2kN) ed il carico limite di punta (2225kN) è pari a 0.7.

Considerando che il diametro del palo è pari a 1.5m, la curva restituisce un rapporto medio w/d pari al 2%, ossia 3cm: il cedimento, chesi genera in parte già in fase di ritombamento della soletta, prima dello scavo sottostante, è compatibile con la tipologia d'opera considerata.

