

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:

HIRPINIA - ORSARA AV

SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

ITINERARIO NAPOLI - BARI
RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA
II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA
 GN07 - NICCHIE
 ELABORATI GENERALI

GN Tradizionale – Relazione di calcolo

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA - ORSARA AV Il Direttore Tecnico Ing. P. M. Gianvecchio 03/02/2023	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani	 Ing. M. Tanzini

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	SCALA:
IF3A	02	E	ZZ	RH	GN0700	002	C	-

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	C.08.01 A valle del contraddittorio	F. Dal Chiele	15/07/2022	A. Lucia	15/07/2022	M. Tanzini	15/07/2022	Ing. A. Polli
B	C.08.02 A valle del contraddittorio	F. Dal Chiele	08/11/2022	A. Lucia	08/11/2022	M. Tanzini	08/11/2022	
C	C.08.04 A valle del contraddittorio	E. Molina	03/02/2023	M. Trezzi	03/02/2023	M. Tanzini	03/02/2023	
								03/02/2023

File: IF3A02EZZRHGN0700002C

n. Elab.: -

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">COMMESSA</td> <td style="width: 10%;">LOTTO</td> <td style="width: 15%;">CODIFICA</td> <td style="width: 20%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 10%;">REV.</td> <td style="width: 15%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RH</td> <td>GN0700 002</td> <td>C</td> <td>3 di 90</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RH	GN0700 002	C	3 di 90
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RH	GN0700 002	C	3 di 90													
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo																		

9 CONCLUSIONI 90

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 4 di 90

1 INTRODUZIONE

Il presente Report riguarda il progetto esecutivo della galleria Irpinia inclusa nel raddoppio ferroviario della tratta compresa tra Bovino ed Orsara, itinerario Napoli – Bari.

In particolare, è oggetto della presente relazione il calcolo strutturale e geotecnico delle nicchie della galleria Hirpinia presenti lungo entrambe le canne della galleria di linea nei tratti scavati con metodo tradizionale.

1.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

Nell'ambito dell'Itinerario Napoli-Bari si inserisce il Raddoppio della Tratta Hirpinia-Orsara che rappresenta il secondo lotto della tratta in variante Apice-Orsara, il cui primo lotto (Apice-Hirpinia) si trova attualmente in fase di esecuzione da parte del Consorzio Hirpinia AV.

La riqualificazione e lo sviluppo dell'itinerario Roma/Napoli – Bari prevede interventi di raddoppio delle tratte ferroviarie a singolo binario e varianti agli attuali scenari perseguendo la scelta delle migliori soluzioni che garantiscano la velocizzazione dei collegamenti e l'aumento dell'offerta generalizzata del servizio ferroviario, elevando l'accessibilità al servizio medesimo nelle aree attraversate.

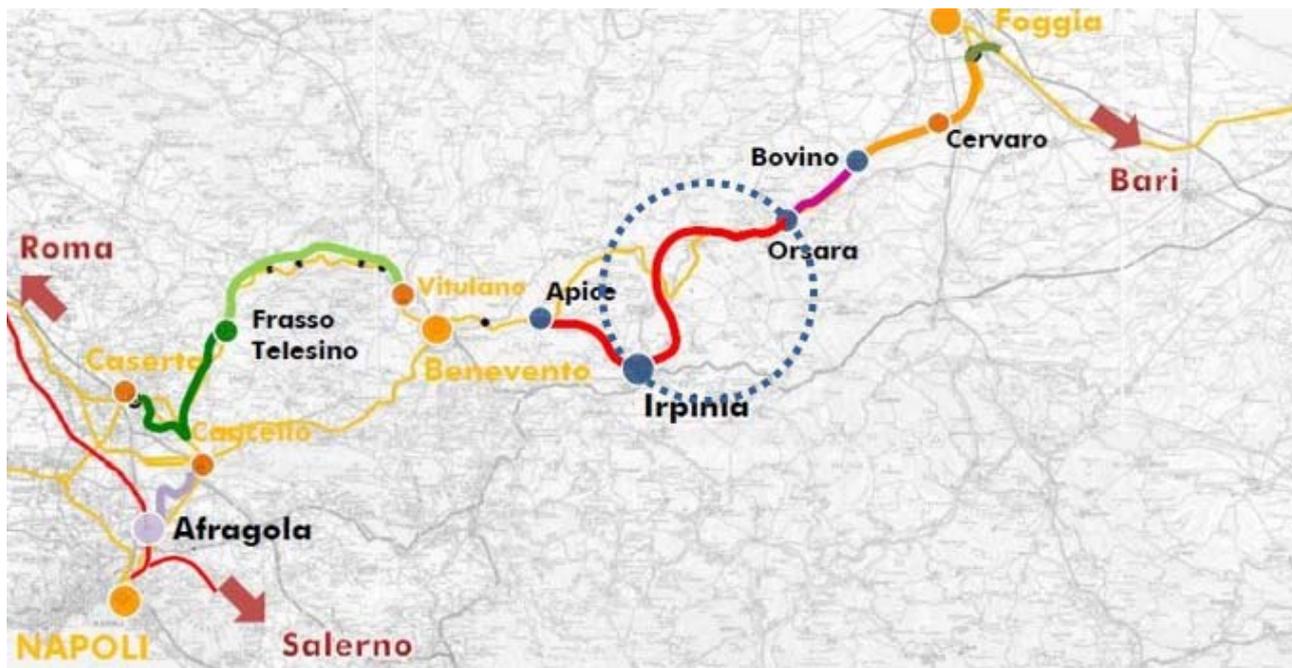


Figura 1-1. Corografia dell'intera tratta Napoli Bari, con dettaglio della tratta Hirpinia-Orsara

La variante oggetto del presente documento interessa il tratto centrale della direttrice Napoli – Bari e risulta strategica nel riassetto complessivo dei collegamenti metropolitani, regionali e lunga percorrenza previsto con la realizzazione di tutto il potenziamento. Si colloca in territorio campano e pugliese ed i comuni attraversati sono rispettivamente per la provincia di Avellino: Ariano Irpino, Flumeri, Savignano Irpino e Montaguto; per la provincia di Foggia: Panni e Orsara di Puglia.

Il tracciato della Bovino – Orsara - Hirpinia è stato progressivato rispetto all'orientamento della Linea Storica partendo da Bovino con la pk 29+050 (fine tratta Cervaro-Bovino) fino ad Orsara con pk 40+889 (imbocco galleria Orsara) dove inizia la tratta oggetto del presente progetto esecutivo che si estende fino ad Hirpinia con pk 68+955.

La linea AV/AC si sviluppa prevalentemente in galleria con una velocità compresa tra 200 e 250 Km/h ed ha una lunghezza complessiva L=28,06 km.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 5 di 90

Il nuovo tracciato ferroviario ha inizio alla pk 40+894.50 (BP) in corrispondenza dell'inizio del collegamento di 1^a fase della tratta Bovino – Orsara, per il quale in questo progetto è prevista la dismissione.

Il tracciato prosegue come prolungamento della nuova linea a doppio binario inizialmente con l'interasse a 4m per poi divergere fino all'imbocco dalla galleria naturale Hirpinia (lato Bari) per la quale è previsto l'imbocco a canne separate. Il corpo ferroviario compreso tra l'inizio del progetto e la pk 41+052.75 è già realizzato nell'ambito degli interventi della tratta Bovino – Orsara, come lo sono anche i piazzali tecnologici Nord e Sud, la SSE e il sottopasso di collegamento tra la viabilità di accesso alla stazione e i piazzali suddetti.

Dal km 41+052.75 dopo un breve tratto in rilevato inizia lo scatolare che si collega direttamente al viadotto VI01 sul torrente Cervaro di L=313.65m.

In questo contesto si colloca anche la nuova Stazione di Orsara (pk 40+074.95).

La galleria "Hirpinia" inizia alla pk 41+440.62 a pochi metri dalla spalla del viadotto VI01 e finisce alla pk 68+556.38 La galleria lato Bari imbecca direttamente con le canne separate e prosegue a doppia canna fino ad Hirpinia dove attraverso un camerone di collegamento in prossimità dell'uscita lato Napoli diventa a singola canna doppio binario per consentire ai binari di avvicinarsi all'interasse di 4m e collegarsi con i binari di corsa della stazione di Hirpinia, già realizzata nella tratta Apice - Hirpinia.

L'interasse delle due canne è prevalentemente di 40 m ad eccezione di un tratto compreso tra le pk 48+000 e pk 57+800 circa all'interno del quale l'interasse è stato allargato a 50 m; per l'intera galleria le canne sono collegate tra di loro da by-pass trasversali a passo 500 m per consentire l'esodo dei passeggeri.

Tra le pk 56+324.71 e 56+751.79 è stato inserito un luogo sicuro intermedio dotato di marciapiedi FFP di lunghezza L=410 m. L'esodo all'aperto dei passeggeri avviene attraverso la finestra F1 direttamente collegata con la viabilità locale attraverso un piazzale di sicurezza.

L'uscita della finestra F1 si trova in località Contrada Stratola, in corrispondenza dell'uscita della galleria sono stati ubicati anche i piazzali tecnologici e la nuova SSE di Ariano Irpino.

La linea AV/AC è progettata nel tratto allo scoperto (stazione di Orsara) con una velocità di tracciato di 200 Km/h, con una velocità di 250 Km/h per tutto il restante tracciato in galleria per poi riscendere a 200 Km/h in corrispondenza del camerone di Hirpinia proprio per l'approssimarsi alla stazione di Hirpinia.

Lungo la galleria sono previste 2 finestre costruttive necessarie per la realizzazione con il metodo tradizionale dei tratti di galleria.

Uscito dalla galleria il tracciato termina alla pk 68+971.53 (BP), coincidente con la pk 0+700 della tratta Apice – Hirpinia, in prossimità dei tronchini per l'attestamento dei treni da e per Napoli previsti nella stazione di Hirpinia di 1^a fase.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 6 di 90

2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nel presente documento si affrontano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle nicchie della galleria naturale, realizzata con metodo tradizionale, nell'ambito del progetto di realizzazione della galleria "Hirpinia" della lunghezza complessiva di circa 27 km, ubicata fra circa le progressive (B.P.) km 41+453 (imbocco lato Bari) e km 68+529 (imbocco lato Napoli).

Nello specifico, la suddetta progettazione riguarderà le sole nicchie afferenti alla galleria naturale, nel tratto a singola canna e doppio binario, in prossimità dell'imbocco lato Napoli tra le progressive 40+687.42 e 40+900.37 e nel tratto tra le progressive 40+687.42 e 40+367.35 interessato dai cameroni di diramazione.

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS, si è articolata nelle seguenti fasi:

1. Fase conoscitiva: è finalizzata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico in cui sarà realizzata la galleria; lo studio geotecnico con la definizione del modello geotecnico di sottosuolo e dei parametri di progetto è illustrata nel capitolo 6
2. Fase di diagnosi: si esegue la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione per la determinazione delle categorie di comportamento (capitolo 7).
3. Fase di terapia: sulla base dei risultati delle precedenti fasi, si individuano le modalità di scavo e gli interventi di stabilizzazione idonei (sezioni tipo) per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza (capitolo 8). Le soluzioni progettuali sono state analizzate per verificarne l'adeguatezza: nel capitolo 8 sono illustrati metodi e risultati delle analisi condotte per la verifica della stabilità globale della cavità, per il dimensionamento/verifica degli interventi di stabilizzazione e dei rivestimenti, nelle diverse fasi costruttive e in condizioni di esercizio, e per la valutazione dei risentimenti attesi in superficie.
4. Fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa. Nel piano di monitoraggio sono individuate le grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso al procedere dello scavo, verificare la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le soluzioni progettuali nell'ambito delle variabilità previste in progetto.

Per l'analisi degli aspetti geotecnici e strutturali si rimanda alla Relazione geotecnica.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 7 di 90

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3.1 LEGGI E NORMATIVE COGENTI

- Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018: “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n.42 del 20 febbraio 2018);
- Circolare 7 – 21/01/2019;
- Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;
- Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1303/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente “la sicurezza nelle gallerie ferroviarie” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1300/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le “persone a mobilità ridotta” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell’Unione Europea – 1299/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.

3.2 NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI

- SIG, “Linee guida per la progettazione, l'appalto e la costruzione di opere in sotterraneo”, 1997;
- ITA, “Guidelines for the design of tunnels”, 1988;
- NIR n°28: NOTA INTERREGIONALE DEL 13/01/2005 “Lavori in sotterraneo. Scavo in terreni grisutosi. Grisù 3a edizione”
- Linea Guida “Grisù”. Scavi in sotterraneo con metodo a piena sezione e tecnica tradizionale in terreni grisutosi, luglio 2014

3.3 PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF)

- RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 D “Manuale di Progettazione delle opere civili” (20/04/2019);
- ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” (dicembre 2015)
- RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 C “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili” (21/12/2018)

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 8 di 90

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E ALLEGATI

4.1 DOCUMENTI REFERENZIATI

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

I	F	3	A	0	2	E	Z	Z	R	G	N	0	0	0	0	0	0	0	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2 Tratta Tradizionale - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo

4.2 DOCUMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce nei suoli - ADECO-RS (Hoepli Ed.)
- [2] Lunardi P. (2015). Il controllo dell'estrusione del nucleo di terreno al fronte d'avanzamento di una galleria come strumento di stabilizzazione per la cavità - Muir Wood Lecture at the ITA/AITES World Tunnel Congress on "Promoting tunnelling in SEE Region". Dubrovnik
- [3] Patacca E. & Scandone P. (2007) – Geology of the Southern Apennines. Bollettino della Società Geologica Italiana, vol.spec. 7, 75-199
- [4] Scrocca D., Sciamanna S., Di Luzio E., Tozzi M., Nicolai C. & Gambini R. (2007) - Structural setting along the CROP-04 deep seismic profile (Southern Apennines - Italy). Bollettino della Società Geologica Italiana, vol. spec. 7, 283-296
- [5] AGI, 1977 – Associazione Geotecnica Italiana. (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. A.G.I
- [6] CNR- Bollettino Ufficiale (Norme Tecniche) - A. VII - n°36. Stabilizzazione delle terre con calce
- [7] Esu F. (1977) – Behaviour of Slopes in Structurally Complex Formations. General report, Session IV. Proc. Int. Symp. "The Geotechnics of Structurally Complex Formations", Capri, 2, pp. 292-304
- [8] Atkinson, J. H. (2000). Non-linear soil stiffness in routine design. The 40th Rankine Lecture. Geotechnique 50, No. 5, 487–508
- [9] Marinou, P., Hoek, E., (2001). Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. Bulletin of Engineering Geology and Environment
- [10] Wang J.N. (1993) Seismic design of tunnels: a state-of-the-art approach. Monograph 7, Parsons, Brinckerhoff, Quade & Douglas Inc., New York
- [11] Hardin, B.O., and Drnevich, V.P. (1972) Shear modulus and damping in soils: design equations and curves. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol 98, NO. SM 7, pp. 667-692
- [12] Hsieh, P.-G., Ou, C.-Y., (1998). Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation. Canadian Geotechnical Journal
- [13] Ou, C.-Y., Teng, F.-C., Hsieh, P.-G., Chien, S.-C. (2013). Mechanism of Settlement Influence Zone due to Deep Excavation in Soft Clay. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
- [14] Burland, J., B., Wroth, C.P., (1974). Settlement of buildings and associated damage. Proceedings Conference on the Settlement of Structures, Cambridge, pp. 611-654
- [15] Ates Y., Bruneau D., Ridgway W.R. (1995) An evaluation of potential effects of seismic events on a used fuel disposal fault. Tr-623, 86 p., AECL
- [16] Barton N. (1984) Effects of rock mass deformation on tunnel performance in seismic regions. Adv. Tunn. Tech. Subsurf. Use, 4, 89-99
- [17] Federal Highway Department Administration (2009). Technical Manual for the Design and Construction of Road Tunnels – Civil Elements. US Department of Transportation

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 9 di 90

- [18] French Association for Seismic Engineering (AFPS) / French Tunnelling Association (AFTES), (2001) Guidelines on: Earthquake design and protection of underground structures
- [19] International Tunnelling Association (ITA) / Association Internationale del Tunnels et de l'Espace Souterrain (AITES). Hashash Y.M.A., Hook J.J., Schmidt B., Yao J.I.C. (2001) Seismic design and analysis of underground structures. Tunnelling and Underground Space Technology, 16, pp. 247-293
- [20] Kuesel T.R. (1969) Earthquake Design Criteria for Subway. Journal of Structural Division, ASCE ST6, pp. 1213-1231
- [21] Newmark N.M. (1968) Problems in wave propagation in soil and rock. Proceedings of the international Symposium on Wave Propagation and Dynamic Properties of Earth Materials
- [22] St. John C.M., Zahrah T.F. (1987) A seismic design of Underground Structures. Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 2, no.2, pp. 165-197
- [23] Power M.S., Rosidi D., Kaneshiro J., (1996) Strawman: screening, evaluation, and retrofit design of tunnels. Report Draft. Vol. III, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York

4.3 ELABORATI PROGETTUALI

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

GN07 - NICCHIE																				
ELABORATI GENERALI																				
I	F	3	A	0	2	E	Z	Z	R	G	G	N	0	7	0	0	0	0	1	GN Tradizionale - Relazione tecnica illustrativa
I	F	3	A	0	2	E	Z	Z	R	H	G	N	0	7	0	0	0	0	2	GN Tradizionale - Relazione di calcolo
I	F	3	A	0	2	E	Z	Z	R	H	G	N	0	7	0	0	0	0	3	GN Tradizionale - Allegati numerici relazione di calcolo
I	F	3	A	0	2	E	Z	Z	B	Z	G	N	0	7	0	0	0	0	9	GN Tradizionale - Pianta e sezioni trasversali tipologiche nicchie Lato Napoli
I	F	3	A	0	2	E	Z	Z	B	Z	G	N	0	7	0	0	0	1	0	GN Tradizionale - Pianta e sezioni trasversali tipologiche nicchie Lato Bari
I	F	3	A	0	2	E	Z	Z	D	Z	G	N	0	7	0	0	0	0	2	GN Tradizionale - Particolari costruttivi e impermeabilizzazione
NICCHIE TRATTA IN MECCANIZZATO																				
NICCHIE TRATTA IN TRADIZIONALE																				
I	F	3	A	0	2	E	Z	Z	B	Z	G	N	0	7	0	0	0	3	6	NICCHIE 1,2,3 Tipo C - Sezione a doppio binario - Scavi e consolidamenti
I	F	3	A	0	2	E	Z	Z	B	Z	G	N	0	7	0	0	0	3	7	NICCHIE 1,2,3 Tipo C - Sezione a doppio binario - Carpenteria
I	F	3	A	0	2	E	Z	Z	B	Z	G	N	0	7	0	0	0	3	8	NICCHIE 1,2,3 Tipo C - Sezione a doppio binario - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
I	F	3	A	0	2	E	Z	Z	B	Z	G	N	0	7	0	0	0	3	9	NICCHIE 1,2 Tipo A - Sezione a singolo binario - Scavi e consolidamenti
I	F	3	A	0	2	E	Z	Z	B	Z	G	N	0	7	0	0	0	4	0	NICCHIE 1,2 Tipo A - Sezione a singolo binario - Carpenteria
I	F	3	A	0	2	E	Z	Z	B	Z	G	N	0	7	0	0	0	4	1	NICCHIE 1,2 Tipo A - Sezione a singolo binario - Carpenteria centina e dettagli costruttivi

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 10 di 90

5 DESCRIZIONE DELLE OPERE

5.1 DESCRIZIONE GENERALE DELLA GALLERIA HIRPINIA

Il tracciato della tratta Hirpinia-Orsara, di lunghezza complessiva pari a circa 27 km, si sviluppa prevalentemente in sotterraneo con la galleria “Hirpinia” di lunghezza pari a circa 27 Km.

Ubicata fra le progressive di tracciato (B.P.) km 41+453,126 (imbocco lato Bari) e km 68+529,375 (imbocco lato Napoli), la Galleria Hirpinia ha una lunghezza della tratta in naturale di 27076.249 m e una lunghezza delle tratte in artificiale pari a 39,5 m.

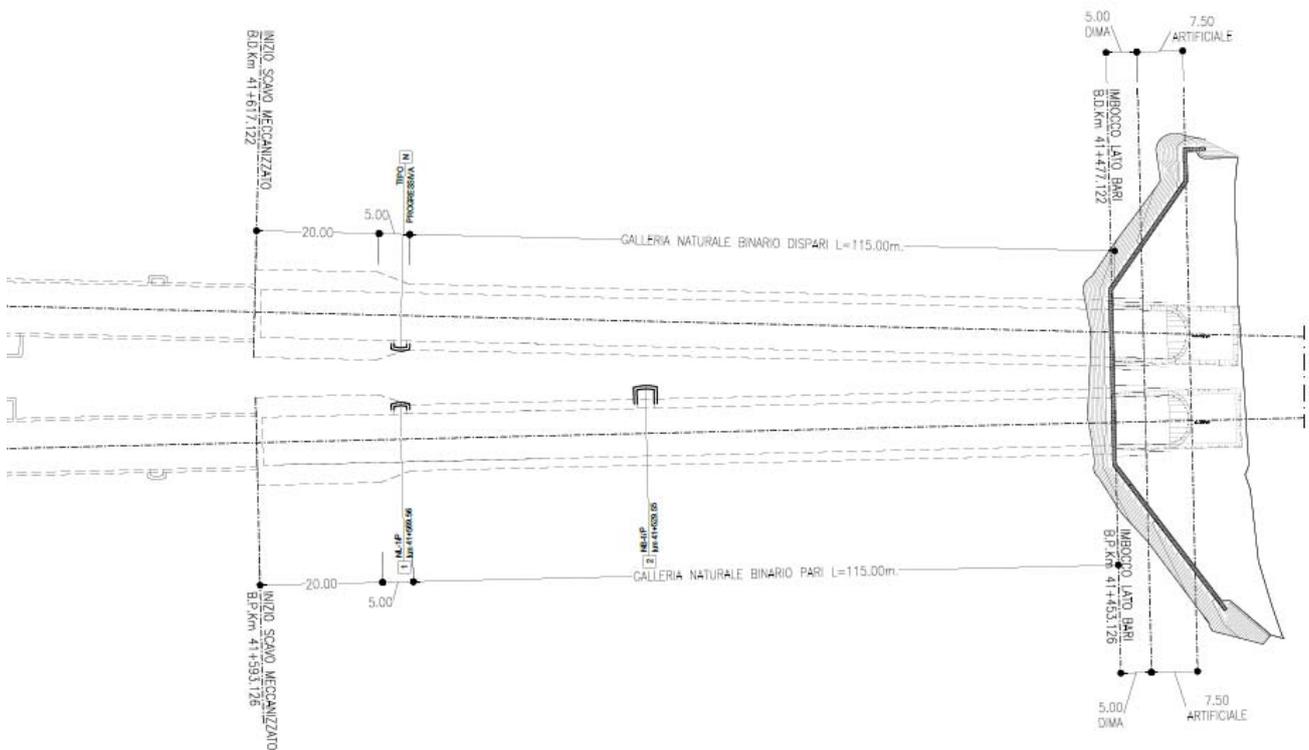


Figura 5-1 – Planimetria inquadramento e posizione nicchie - imbocco lato Bari (pk 41+453.126 - 41+593.126 BP)

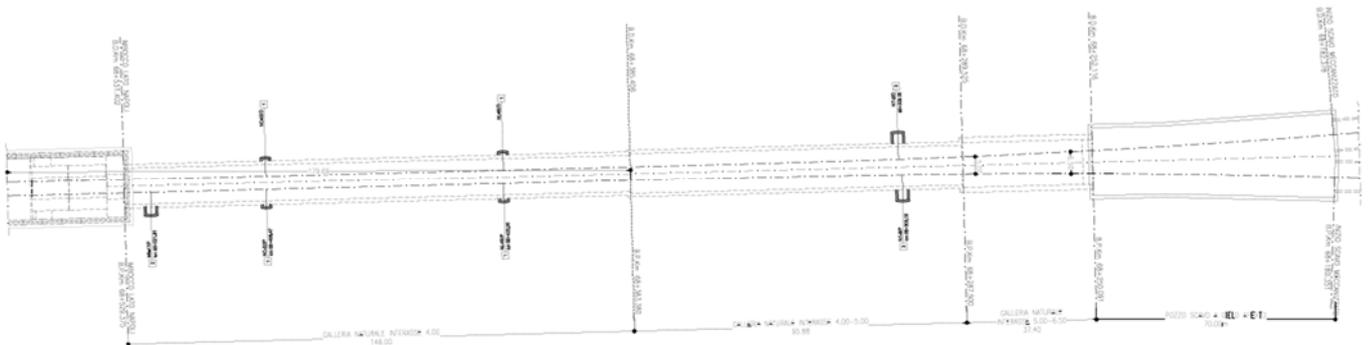


Figura 5-2 – Planimetria inquadramento e posizione nicchie - imbocco lato Napoli (pk 68+250.091 - 68+529.375 BP)

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 11 di 90

Partendo dall'imbocco lato Bari posto ad una quota di 362,39 m s.l.m., il tracciato procede con pendenza crescente con un valore pari al 5‰ fino alla pk 44+692 e successivamente con pendenza del 12‰ fino al punto di culmine alla pk 53+617. In questo tratto sono presenti le massime coperture della galleria pari a 370 m in corrispondenza delle pk 43+115 e 48+680 circa. Dal punto di culmine il tracciato prosegue in discesa con una pendenza del 12‰ fino alla pk 65+959.9, ad esclusione del tratto compreso tra le pk 56+732.5 e 57+785.5 dove la pendenza si riduce al 10‰. Dalla pk 65+959.9, posta in corrispondenza del sottoattraversamento del torrente Fiumarella dove la copertura della galleria raggiunge il valore minimo pari a 10 m, la pendenza del tracciato diminuisce gradualmente fino all'imbocco lato Napoli posto ad una quota di 336,9 m s.l.m.

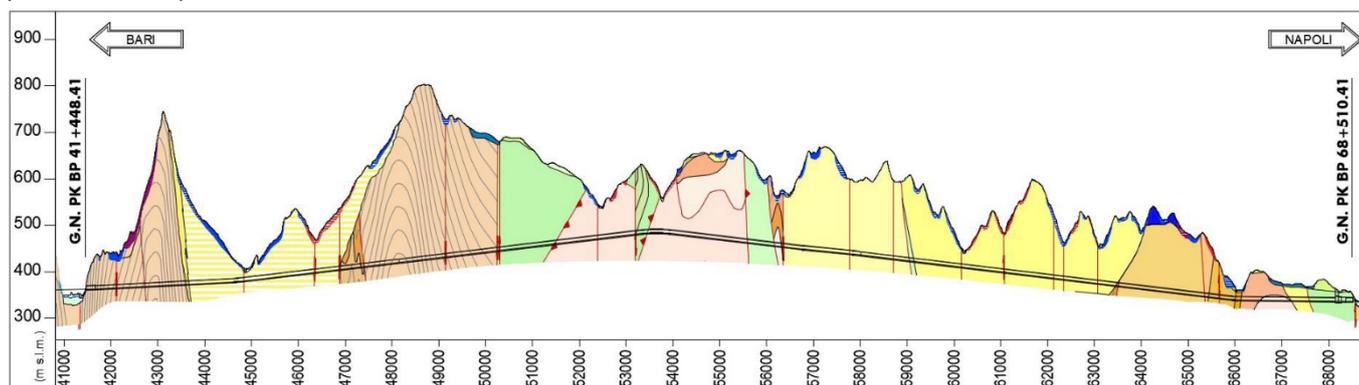


Figura 5-3: Profilo galleria Hirpinia

La configurazione della galleria è a doppia canna singolo binario per la quasi totalità del suo sviluppo; per esigenze di tracciato, la configurazione è a singola canna doppio binario per il tratto che precede l'uscita lato Napoli. Il passaggio dalla configurazione a doppia canna a quella a singola canna è realizzato tramite un camerone di diramazione di lunghezza pari a 70 m circa.

5.2 UBICAZIONE E TIPOLOGIA DI SCAVO DELLE OPERE

Le due tratte in esame presentano 3 tipologie di nicchie (tipo 1, tipo 2 e tipo 3), che si differenziano, l'una dall'altra, per dimensioni della sezione trasversale e per profondità, per ulteriori dettagli si rimanda all'elaborato IF3A02EZZRGGN0700001C.

Come si evince dallo stralcio planimetrico riportato in Figura 5-1, in corrispondenza dell'imbocco lato Bari, la galleria è a doppia canna ed è prevista la realizzazione di n°3 nicchie di diverse tipologie e dimensioni:

- n°2 nicchie di tipo 1 simmetriche rispetto all'asse della galleria, in corrispondenza della pk. 41+569.56 BP;
- n°1 nicchia di tipo 2 nella galleria del binario pari alla pk 41+429.55 BP.

Come si evince dallo stralcio planimetrico riportato in Figura 5-2, in corrispondenza dell'imbocco lato Napoli, la galleria è a singola canna ed è caratterizzata dalla presenza di n°7 nicchie di diverse tipologie e dimensioni:

- n°1 nicchia di tipo 3 posta lato binario pari, alla pk. 68+305.00 BP;
- n°1 nicchia di tipo 3 posta lato binario dispari, alla pk. 68+308.00 BD;
- n°4 nicchie di tipo 1 disposte a coppie, simmetriche rispetto all'asse della galleria, alle pk. 68+420.00 BP e 68+488.47 BP;
- n°1 nicchia di tipo 2 posta lato binario pari alla pk. 68.521.81 BP.

Inoltre, in funzione del contesto geomeccanico valutato secondo l'Approccio ADECO-RS, sono state previste n°2 differenti tipologie di interventi e apprestamenti per le categorie di comportamento dell'ammasso.

Le tipologie di interventi sono state così definite:

- nicchia tipo A;
- nicchia tipo C.

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 12 di 90

Per ulteriori dettagli si rimanda all'elaborato IF3A02EZZRGGN0700001C.

Per tutte le tipologie si prevede un rivestimento provvisorio costituito da spritz-beton fibrorinforzato e centine metalliche seguite dal getto dei rivestimenti definitivi di arco rovescio e calotta.

Durante le operazioni di scavo delle nicchie si prevede inoltre la posa in opera di uno strato di pre-spritz di sicurezza, al fronte ed al contorno sulle pareti fresche di scavo, subito a seguito della fase di disaggio, secondo le indicazioni del Preposto al Fronte.

Tabella 5-1 – Dettaglio della suddivisione delle nicchie nelle tratte in tradizionale suddivise per tipologia, copertura e formazione copertura

Nicchia	Progressiva chilometrica	Tipologia	Copertura	Formazione	Tipologia di scavo
	[km]		[m]		[-]
NB-1/P	41+529.55 BP	2	43.0	FAE	A
NL-1/P	41+569.56 BP	1	52.0	FAE	A
NL-1/D	41+569.56 BP	1	47.0	FAE	A
NT-9/P	68+305.00 BP	3	17.0	APC	C
NT-9/D	68+308.00 BD	3	13.0	APC	C
NL-60/P	68+420.00 BP	1	17.0	APC	C
NL-60/D	68+420.00 BP	1	13.0	APC	C
NC-32/P	68+488.47 BP	1	16.0	APC	C
NC-32/D	68+488.47 BP	1	12.0	APC	C
NB-17/P	68+521.81 BP	2	15.0	APC	C

5.2.1 NICCHIA 1 – TIPO A E C

La nicchia 1 è a sezione rettangolare con calotta ad arco ribassato.

La tipologia A prevede una profondità interna della nicchia dall'asse della galleria di linea di 5.32m, una larghezza interna di 2.0m ed un'altezza di 2.6m. Il rivestimento definitivo presenta uno spessore di 50 cm in calotta, piedritti e tampone di chiusura e di 60 cm in arco rovescio/soletta.

La tipologia C prevede una profondità interna della nicchia dall'asse della galleria di linea di 6.94m, una larghezza interna di 2.0m ed un'altezza di 2.6m. Il rivestimento definitivo presenta uno spessore di 60 cm in calotta, piedritti, arco rovescio/soletta e tampone di chiusura.

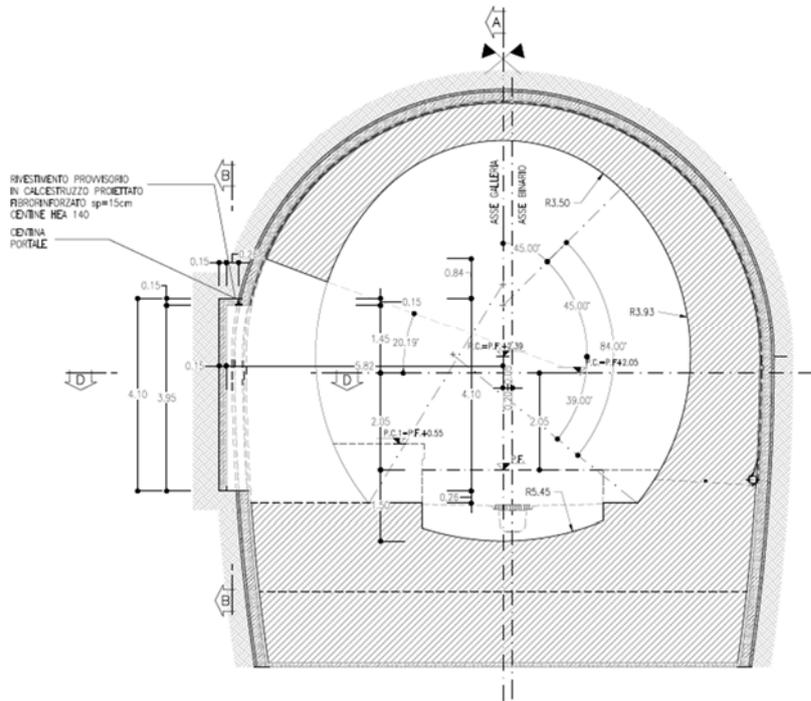
Per quanto concerne le operazioni di scavo si hanno i seguenti ingombri geometrici:

- la tipologia A presenta una larghezza di scavo di 3,30m ed un'altezza di 4.10m;
- la tipologia C presenta una larghezza di scavo di 3.60m ed un'altezza di 4.25m.

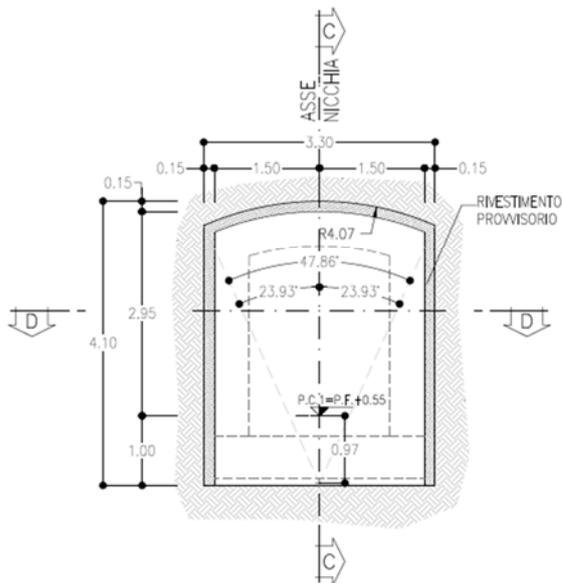
APPALTATORE:			
Consorzio	Soci		
HIRPINIA - ORSARA AV	WEBUILD ITALIA	PIZZAROTTI	
PROGETTAZIONE:			
Mandataria	Mandanti		
ROCKSOIL S.P.A	NET ENGINEERING	PINI	GCF
	ELETTRI-FER	M-INGEGNERIA	
PROGETTO ESECUTIVO			
GN Tradizionale – Relazione di calcolo			

ITINERARIO NAPOLI – BARI					
RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF3A	02	E ZZ RH	GN0700 002	C	13 di 90

NICCHIA 1 TIPO A
SEZIONE LONGITUDINALE



NICCHIA 1 TIPO A
SEZIONE TRASVERSALE
SCAVI E CONSOLIDAMENTI



NICCHIA 1 TIPO A
SEZIONE TRASVERSALE
CARPENTERIA

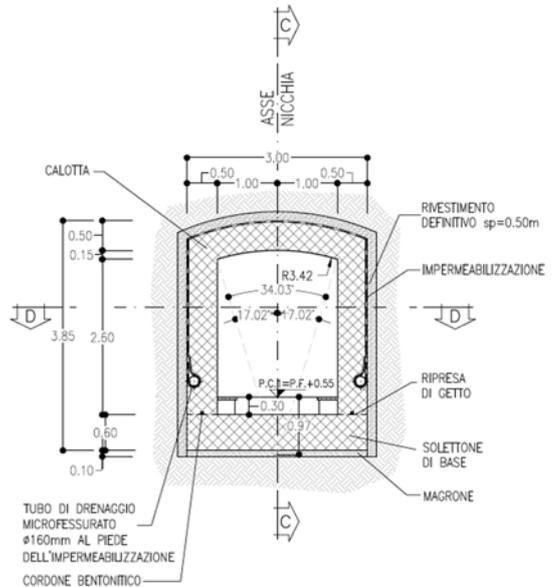


Figura 5-4 – Sezione nicchia 1 – Tipo A

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 14 di 90

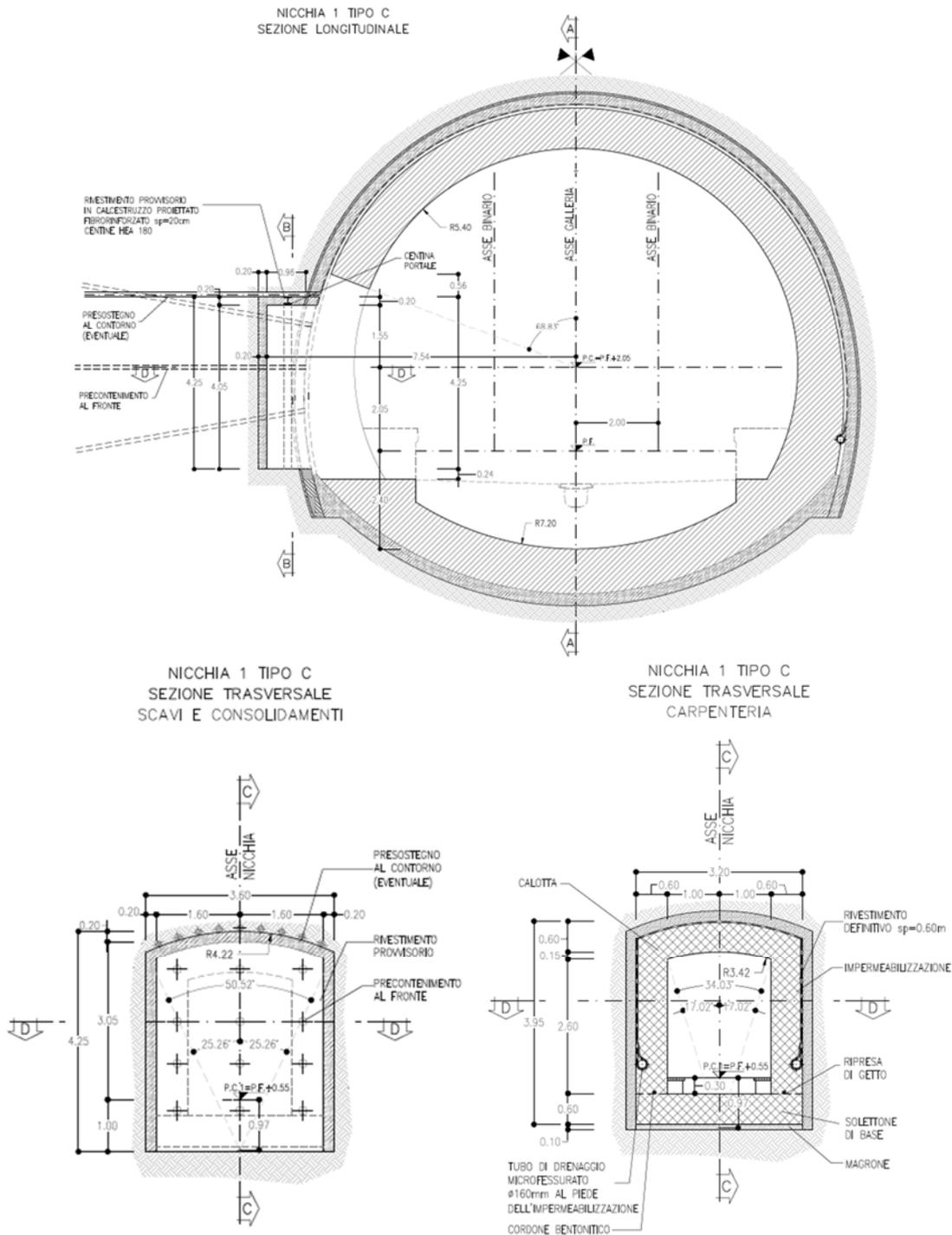


Figura 5-5 – Sezione nicchia 1 – Tipo C

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 15 di 90

5.2.2 NICCHIA 2 – TIPO A E C

La nicchia 2 è a sezione rettangolare con calotta ad arco ribassato.

La tipologia A prevede una profondità interna della nicchia dall'asse della galleria di linea di 7.12m, una larghezza interna di 2.8m ed un'altezza di 2.6m. Il rivestimento definitivo presenta uno spessore di 50 cm in calotta, piedritti e tampone di chiusura e di 60 cm in arco rovescio/soletta.

La tipologia C prevede una profondità interna della nicchia dall'asse della galleria di linea di 8.74m, una larghezza interna di 2.8m ed un'altezza di 2.6m. Il rivestimento definitivo presenta uno spessore di 60 cm in calotta, piedritti, arco rovescio/soletta e tampone di chiusura.

Per quanto concerne le operazioni di scavo si hanno i seguenti ingombri geometrici:

- le tipologia A presenta una larghezza di scavo di 4.10m ed un'altezza di 4.10m;
- la tipologia C presenta una larghezza di scavo di 4.40m ed un'altezza di 4.25m.

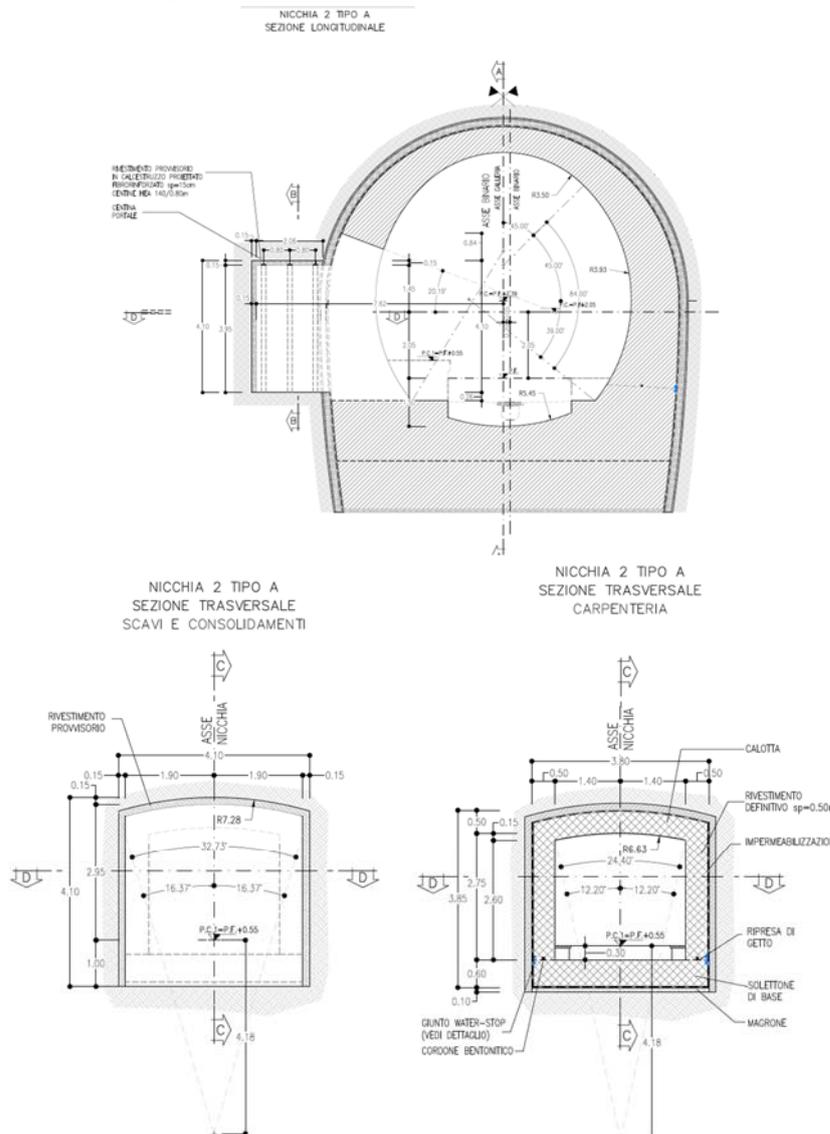


Figura 5-6 – Sezione nicchia 2 – Tipo A

APPALTATORE:			
Consorzio	Soci		
HIRPINIA - ORSARA AV	WEBUILD ITALIA	PIZZAROTTI	
PROGETTAZIONE:			
Mandataria	Mandanti		
ROCKSOIL S.P.A	NET ENGINEERING	PINI	GCF
	ELETTRI-FER	M-INGEGNERIA	
PROGETTO ESECUTIVO			
GN Tradizionale – Relazione di calcolo			

ITINERARIO NAPOLI – BARI					
RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF3A	02	E ZZ RH	GN0700 002	C	16 di 90

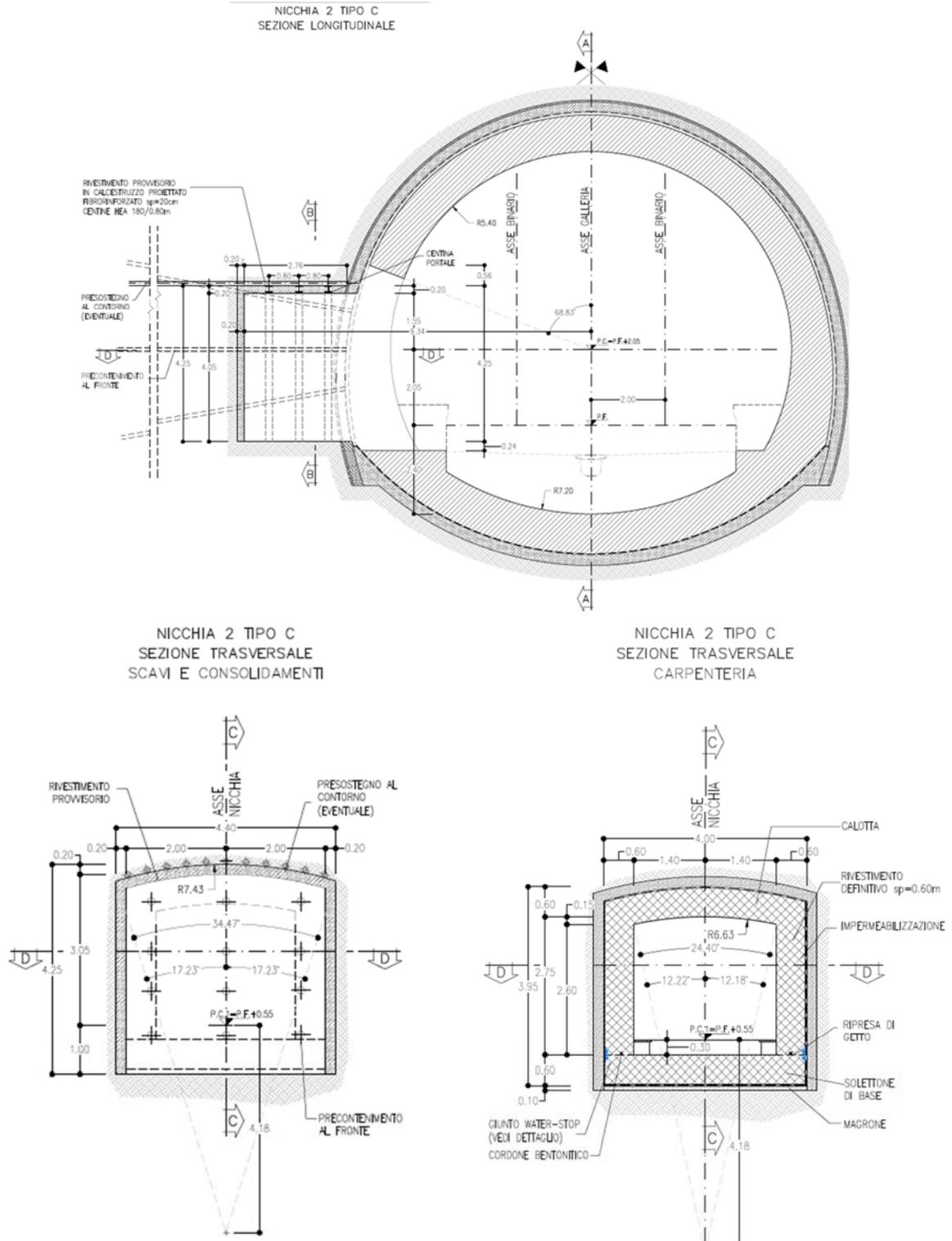


Figura 5-7 – Sezione nicchia 2 – Tipo C

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 17 di 90

5.2.3 NICCHIA 3 – TIPO C

La nicchia 3 è a sezione rettangolare con calotta ad arco ribassato.

È presente solo in condizioni di ammasso tipo C e prevede una profondità interna della nicchia dall'asse della galleria di linea di 9.29 m, una larghezza interna di 2.8 m ed un'altezza di 3.25 m. Il rivestimento definitivo presenta uno spessore di 60 cm in calotta, piedritti, arco rovescio/soletta e tampone di chiusura.

Per quanto concerne le operazioni di scavo si hanno i seguenti ingombri geometrici: una larghezza di scavo di 4.40 m ed un'altezza di 4.75 m

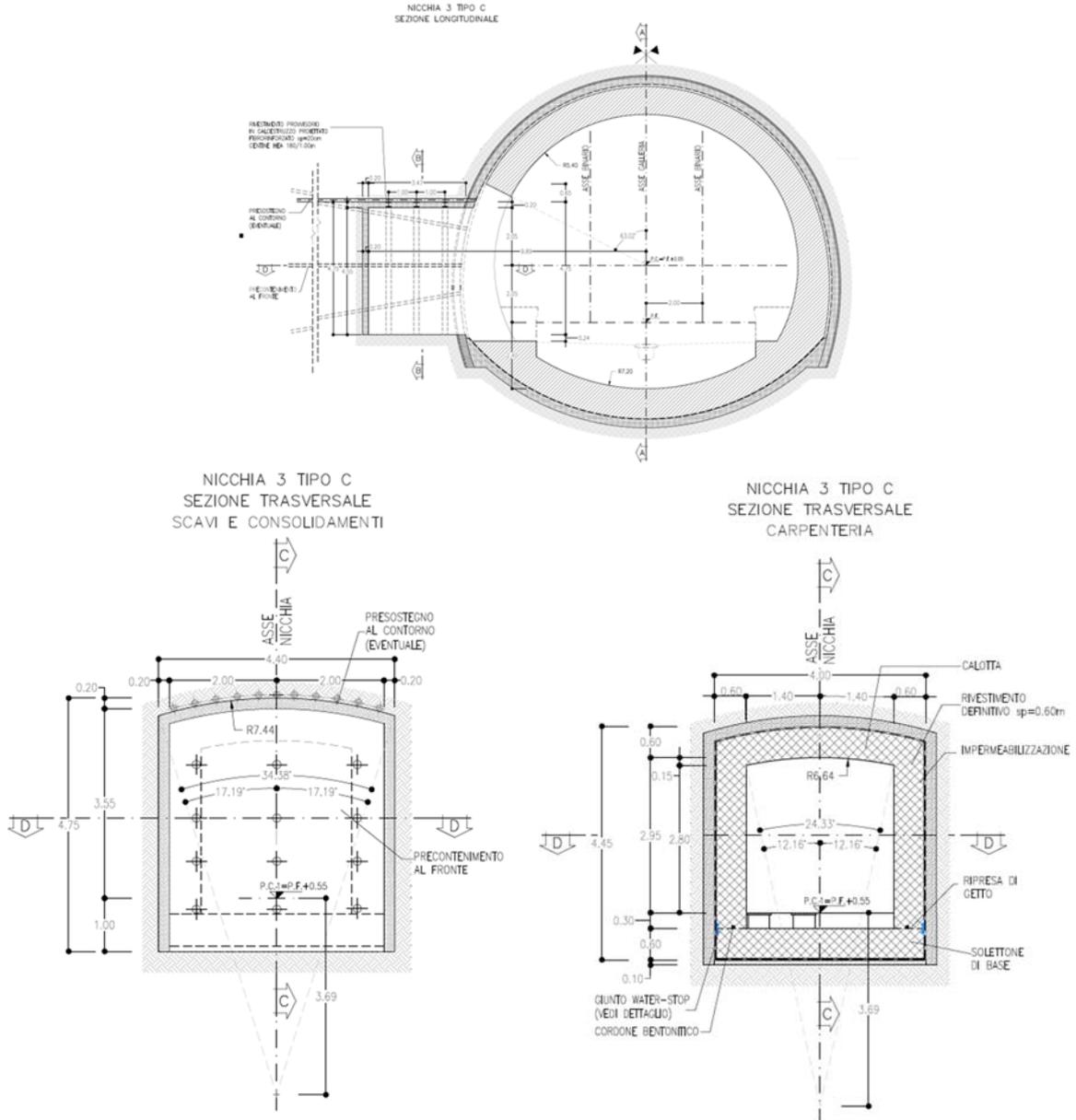


Figura 5-8 – Sezione nicchia 3 – Tipo C

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 18 di 90

6 FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dalle opere in sotterraneo, nello specifico relativamente alla galleria di linea a doppio binario nel tratto a partire dall'imbocco lato Napoli, come precedentemente illustrato.

6.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Il tracciato dell'opera in oggetto si colloca nei settori centrali dell'Appennino meridionale, nella zona di transizione tra i domini di catena e quelli di avanfossa (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Dal punto di vista stratigrafico, i settori di catena sono caratterizzati da spesse successioni marine meso-cenozoiche, variamente giustapposte tra loro a causa dell'importante tettonica compressiva. I settori di avanfossa sono contraddistinti da importanti successioni marine e transizionali plio-pleistoceniche solo parzialmente interessate dai fronti di sovrascorrimento più recenti ed esterni.

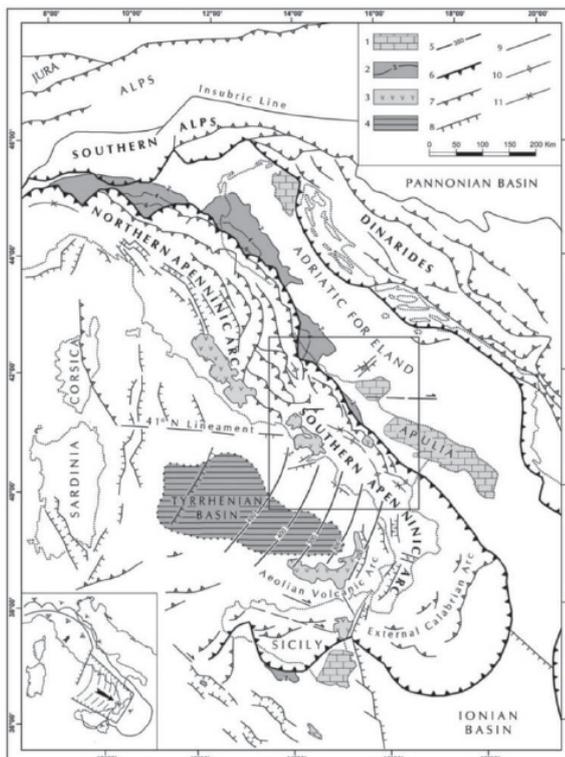


Figura 6-1. Schema strutturale della penisola italiana ed aree adiacenti (da Patacca & Scandone 2007)

La successione sedimentaria del dominio di catena per il tracciato in oggetto è rappresentata dall'Unità della Daunia costituita da successioni marine meso-cenozoiche di bacino e base scarpata, strutturata in una serie di scaglie tettoniche, risulta variamente sovrascorsa sui termini marini plio-pleistocenici dell'Unità a limiti inconformi del Pliocene e della Fossa Bradanica, con un'età compresa tra il Cretacico superiore e il Miocene superiore. La parte bassa della successione è sempre costituita da sedimenti pelitici e calcareo-marnosi di mare profondo, con locali passaggi di litotipi essenzialmente carbonatici o diasprigni (Figura 6-2). Verso l'alto si rinvencono spessi depositi flyschoidi arenaceo-marnosi e calcareo-marnosi connessi allo sviluppo della Catena Appenninica. Al di sopra di tali terreni si rinvencono depositi costituiti da argille limose, argille marnose e marne. Nel settore di avanfossa, si assiste alla deposizione di spesse successioni silicoclastiche che si venivano a creare lungo il margine orientale del dominio di catena ascrivibile all'Unità a limiti inconformi del Pliocene. Tale

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 19 di 90

unità risulta sovrascorsa sui termini marini plio-pleistocenici della Fossa Bradanica costituiti da sistemi deposizionali in facies deltizia, progressivamente passanti a sistemi di piattaforma esterna-bacino, caratterizzati dalla sedimentazione dei depositi pelitici delle Argille Subappennine. Nei settori più interni, le interazioni fra variazioni cicliche del clima e sollevamento regionale portano inoltre all'accumulo di estesi depositi alluvionali terrazzati, localmente caratterizzati da una porzione basale con caratteri di facies di spiaggia.

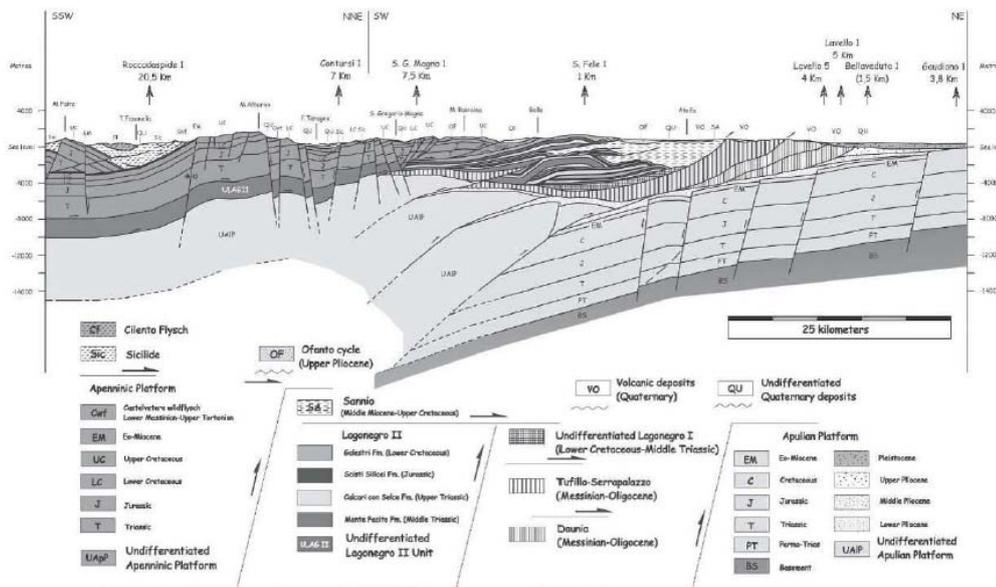


Figura 6-2. Sezione geologica della Catena Appenninica meridionale, mostrante i rapporti tra le principali unità stratigrafico-strutturali a seguito della strutturazione dell'edificio a falde (da Scrocca et al. 2007)

Di seguito è riportato il dettaglio delle formazioni attraversate dallo scavo delle gallerie naturali oggetto della presente progettazione nell'ambito dello scavo della galleria Hirpinia. In particolare, all'interno della successione sedimentaria del dominio di catena troviamo:

- **Flysch di Faeto - FAE** (Burdigaliano superiore - Messiniano inferiore.) Calcareniti, calcilutiti e calcari marnosi di colore grigio e biancastro, in strati da sottili a medi, con frequenti intercalazioni di argille limose e argille marnose grigie e grigio-verdastre; a luoghi si rinvengono passaggi di arenarie, microconglomerati e calciruditi bioclastiche di colore grigio, in strati da medi a spessi; localmente sono presenti orizzonti di brecciole calcaree e porzioni a struttura caotica. La litofacies marnoso-calcareo (Fiabe) è costituita da marne e calcari marnosi di colore grigio chiaro e biancastro, in strati da sottili a medi, con locali intercalazioni di calcareniti bioclastiche grigie e argille limose verdastre; a luoghi si rinvengono passaggi di marne argillose e calcilutiti di colore grigio e biancastro, in strati da molto sottili a sottili.

- **Argilliti policrome del calaggio - APC** (Tortoniano medio – Messiniano superiore) Argille, argille marnose e marne di colore grigio-azzurro, verde e rossastro, in strati da molto sottili a sottili, con locali intercalazioni di torbiditi calcaree grigio chiare; a luoghi si rinvengono passaggi di calcilutiti e calcari marnosi di colore grigio, in strati da sottili a medi, in alternanza con marne calcaree silicizzate e selci rosa e violacee.

6.2 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO LUNGO IL TRACCIATO

Dall'imbocco lato Bari ubicato alla pk 41+453.126 circa la galleria interessa i depositi del Flysch di Faeto (FAE) dislocati da una faglia diretta sub-verticale alla pk 42+100 circa. All'altezza del km 42+700 circa, la galleria intercetta un thrust a medio-alto angolo. Fino alla pk 50+250 circa la galleria interessa il Flysch di Faeto dislocato da una faglia sub-verticale alla pk 49+150 circa. In questo tratto la galleria raggiunge la massima copertura pari a 370 m.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 20 di 90

All'altezza della pk 50+250, la presenza di una faglia diretta sub-verticale, mette in contatto il Flysch di Faeto (FAE) con il Flysch Rosso (FYR). Successivamente la galleria intercetta i terreni classificabili come "Argille Scagliose" rappresentati dal Flysch Rosso (FYR).

Nel tratto finale la galleria attraversa esclusivamente i termini argilloso-marnosi delle Argilliti Policrome del Calaggio (APC), con coperture ridotte fino all'imbocco lato Napoli ubicato alla pk 68+529,375 circa.

Le coperture delle opere in sotterraneo garantiscono il sottoattraversamento di zone con accertati fenomeni di instabilità o con un elevato grado di suscettibilità rispetto allo sviluppo di frane e dissesti, lasciando soltanto agli imbocchi la possibilità di eventuale interferenza.

Il progetto delle opere in sotterraneo è stato quindi sviluppato ponendo particolare attenzione all'ubicazione degli imbocchi, in particolare per le finestre costruttive che si collocano in un'area in cui i versanti, caratterizzati da estesi affioramenti di Argille Scagliose, sono interessati da fenomeni franosi estesi e diffusi.

Sono di seguito illustrate le condizioni di ciascun imbocco:

Il versante in corrispondenza dell'imbocco nord-orientale della galleria "Hirpinia" (lato Bari), caratterizzato dalla presenza dei litotipi calcareo-marnosi del Flysch di Faeto (FAE), è privo di evidenti fenomeni di dissesto direttamente interferenti con le opere in progetto.

L'imbocco lato Napoli della galleria Hirpinia interessa esclusivamente i terreni argilloso-marnosi delle Argilliti Policrome del Calaggio (APC): dal punto di vista geomorfologico, non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per la galleria in progetto. Il versante in corrispondenza dell'imbocco dell'Uscita/Accesso di emergenza F1 è caratterizzato dalla presenza delle Peliti di Difesa Grande della Formazione di Sferracavallo: dal punto di vista geomorfologico non sono da rilevare elementi di potenziale criticità per la galleria in progetto, né per l'imbocco della galleria stessa, visto che i corpi di frana presenti si trovano a quote superiori di oltre 90 m rispetto al piano ferro della galleria.

Il versante in corrispondenza dell'imbocco della Finestra costruttiva F5 è caratterizzato dalla presenza del Flysch di Faeto (FAE), mentre nella porzione iniziale è presente uno spessore modesto (alcuni metri) di depositi eluviocolluviali (b2) che non mostra instabilità e che, comunque, non risulta interferente con l'opera in progetto; dal punto di vista geomorfologico non sono pertanto da rilevare elementi di potenziale criticità per la galleria in progetto.

6.3 INDAGINI GEOTECNICHE

Ai fini della modellazione e della caratterizzazione geotecnica delle unità che interessano le opere in sotterraneo in progetto, sono stati utilizzati i dati relativi alle campagne geotecniche di seguito elencate:

- *Campagna indagini Italferr 2008-09 - Raddoppio tratta Orsara – Apice (soluzione sud);*
- *Campagna indagini Italferr 2017 - Raddoppio tratta Hirpinia – Orsara – Bovino;*
- *Campagna indagini Italferr 2018 - Raddoppio tratta Orsara – Bovino e tratta Hirpinia – Orsara;*

6.3.1 FLYSCH DI FAETO (FAE)

In particolare, con riferimento alla formazione del Flysch del Faeto (FAE) nei pressi dell'imbocco della galleria naturale imbocco lato Bari, le indagini in sito e prove di laboratorio hanno consistito nelle seguenti:

- *Esecuzione di 5 sondaggi a carotaggio continuo (IO-S1, IF16G04, IO-S4, IF16G06, IF16G07)*
- *11 prove di compressione monoassiale eseguite sui campioni lapidei*
- *prove di compressione triassiale eseguite sui campioni lapidei*
- *12 prove di velocità sonica eseguite sui campioni lapidei*
- *prove dilatometriche*
- *12 prove di permeabilità nei fori di sondaggio (10 prove Lugeon e 2 prove Lefranc)*
- *Rilievi geostrutturali per la definizione del sistema di discontinuità presenti*

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 21 di 90

6.3.2 ARGILLE POLICROME DEL CALAGGIO (APC)

La caratterizzazione è stata condotta elaborando le risultanze dei sondaggi geognostici condotti nell'ambito della Campagne indagini del 2017 – 2018 - 2021.

I sondaggi disponibili nel settore di interesse sono elencati nella seguente tabella con indicazione del numero di prove in foro e in laboratorio condotte nell'ambito dell'Unità geotecnica oggetto di studio.

Caratteristiche sondaggio		Prove in foro		Prove lab rocce					Prove lab terreni					
ID sond.	Lungh. (m)	Dilatorm.	Pressiom.	UCS	PLT	TX	Trazione	Vel ultras.	TXUU	TXCIU	TxCID	TD	ELL	Rigonf
IF16G09	60	2								1		4		1
IF16G29	80	4							2	2				
IF16G15	80	3							1	2	2	5		2
IO S11	50	2										7		
IF16G17	48	3								2	1	3		1
IO S12	50	2										7		
IF16G35	30							4		4		1		
IF16G18	60	3								1		4	1	
IF16G29	80	4												
S21	45		1						IN CORSO					
S22	60		3						IN CORSO					

Tabella 6-1 – Sondaggi di riferimento per la caratterizzazione e loro caratteristiche.

Per ulteriori dettagli relativi alle campagne di indagini si rimanda agli specifici elaborati di progetto specialistici.

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

L'ubicazione dei sondaggi ed il modello geotecnico sono rappresentati negli elaborati 'Profili geotecnici'. Nei paragrafi che seguono si riepilogano nel dettaglio i risultati della caratterizzazione e modellazione geotecnica eseguita per ciascuna delle formazioni interessate dallo scavo delle gallerie naturali oggetto della presente relazione di calcolo.

6.4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

6.4.1 FLYSCH DI FAETO (FAE)

Il Flysch di Faeto è un deposito appartenente all'Unità tettonica della Daunia costituito da calcareniti, calcilutiti e calcari marnosi, con intercalazioni frequenti di argille limose, argille marnose e marne, con a luoghi strati di arenarie.

Lo scavo della galleria Hirpinia interessa la formazione del Flysch di Faeto per un tratto consistente, complessivamente circa 4800 m.

Dall'analisi delle stratigrafie di sondaggio è emersa la presenza di diverse facies:

- FAEam: alternanza di argille, marne e calcareniti in strati centimetrici.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C FOGLIO 22 di 90



Figura 6-3 – Carote prelevate nella litofacies FAEm.

- FAEm: alternanza di marne, argille e calcareniti in strati centimetrici;

CASSETTA 25 (120.0 – 125.0 m)



Figura 6-4 – Carote prelevate nella litofacies FAEm.

- FAEc: calcari ben stratificati e compatti in banchi di alcuni decimetri di spessore e con interstrati centimetrici di argille.

CASSETTA 62 (305.0 – 310.0 m)



Figura 6-5 – Carote prelevate nella litofacies FAEc.

APPALTATORE: <u>Conorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 23 di 90

Per ognuna delle facies sopra elencate si è proceduto alla caratterizzazione geomeccanica della matrice e dell'ammasso roccioso seguendo l'iter logico operativo descritto nella relazione di caratterizzazione geotecnica/geomeccanica generale.

Occorre evidenziare che nella tratta della galleria realizzata in tradizionale è presente prevalentemente la facies FAEm e in alcune possibili tratte localizzate la facies FAEam.

Con riferimento alla relazione di caratterizzazione geotecnica/geomeccanica generale, sulla base dei dati raccolti, scaturiti dai rilievi strutturali, e dalle colonne stratigrafiche ricavate dai sondaggi è stato valutato l'indice di qualità GSI per l'ammasso utilizzando il parametro RMR di Bieniawski.

L'analisi delle stratigrafie integrata con la descrizione dei campioni prelevati da sondaggi ha permesso di identificare le 3 citate unità litologiche principali all'interno della formazione FAE: calcarea, marnoso argillosa e argilloso-marnosa. I risultati ottenuti da prove di compressione monoassiale e Point Load Tests ha evidenziato all'interno delle principali litologie la presenza di sotto-gruppi con valori di resistenza a compressione e qualità della roccia molto diversi e, di conseguenza diversi intervalli di GSI.

I gruppi geomeccanici individuati, insieme con i valori di GSI e σ_{ci} corrispondenti, sono di seguito riassunti.

Gli intervalli di GSI individuati risultano coerenti con la classificazione proposta da Hoek, Marinos and Marinos (2007) per formazioni strutturalmente complesse quali i Flysch. Si sono considerate 3 litofacies principali, individuando per ciascuna i gruppi geomeccanici, come riepilogato nella seguente Tabella.

- FAEc, a componente calcarea
- FAEam, a componente argilloso-marnosa
- FAEm, a componente marnoso-argillosa
-

Tabella 6-2 – FAE – Riepilogo litofacies e gruppi geomeccanici.

Litofacies	Gruppo Geomeccanico	GSI
		[-]
FAEc	Roccia calcarea	45 ÷ 55
	Calcarenite media	45 ÷ 55
	Calcarenite buona	55 ÷ 65
FAEam	Marna argillosa	45 ÷ 60
FAEm	Marna calcarea	45 ÷ 60

Di seguito si riporta una sintesi della caratterizzazione geomeccanica delle sole litofacies FAEm e FAEam presenti lungo la tratta realizzata in tradizionale.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 24 di 90

6.4.1.1 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA FAEmA

Proprietà fisiche

È stata condotta un'analisi dei dati disponibili relativamente alla determinazione delle proprietà fisiche della litofacies marnoso-argillosa del Flysch del Faeto. Il peso per unità di volume risulta essere variabile tra $24 \div 27 \text{ KN/m}^3$. Non si è tenuto conto dei valori più bassi (range $18 \div 20 \text{ KN/m}^3$), riferendosi a provini prelevati in materiale argilloso e, pertanto, non rappresentativi dell'ammasso roccioso.

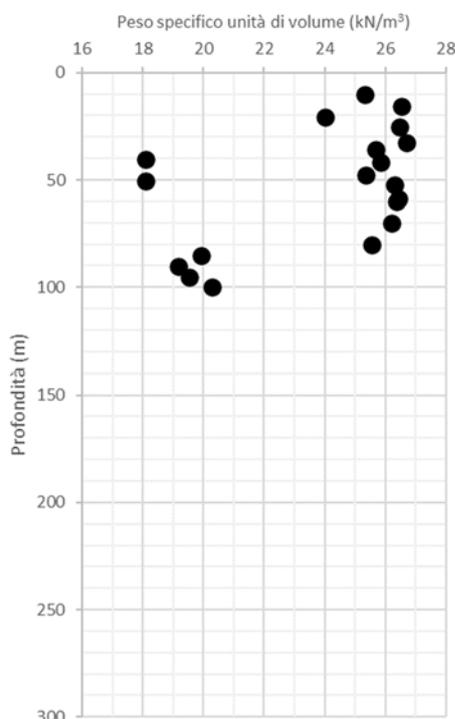


Figura 6-6 – Peso specifico per unità di volume (FAEmA).

Proprietà meccaniche

I valori di resistenza a compressione dell'ammasso sono ricavati da prove di compressione monoassiale e Point Load Test. I valori risultanti dai sondaggi localizzati nelle zone in cui è stata individuata la litofacies FAEmA mostrano una grande variabilità dovuta al coesistere di diverse componenti litoidi all'interno del Flysch. Considerata la natura marnoso-argillosa della facies in esame, sono stati considerati i valori di resistenza intermedi. Per la litofacies FAEmA è stato considerato il range di resistenza a compressione monoassiale del gruppo geomeccanico della marna calcarea, pari a $10 \div 20 \text{ MPa}$.

Il modulo elastico per la roccia intatta è stato ricavato da prove di compressione monoassiale, prove triassiali e prove a velocità ultrasonica. Per la litofacies in esame è stato considerato un valore medio di 11000 MPa di modulo elastico, intermedio tra i valori più elevati della componente calcarea-calcarenitica e quelli inferiori relativi alla componente argilloso-marnosa.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 25 di 90

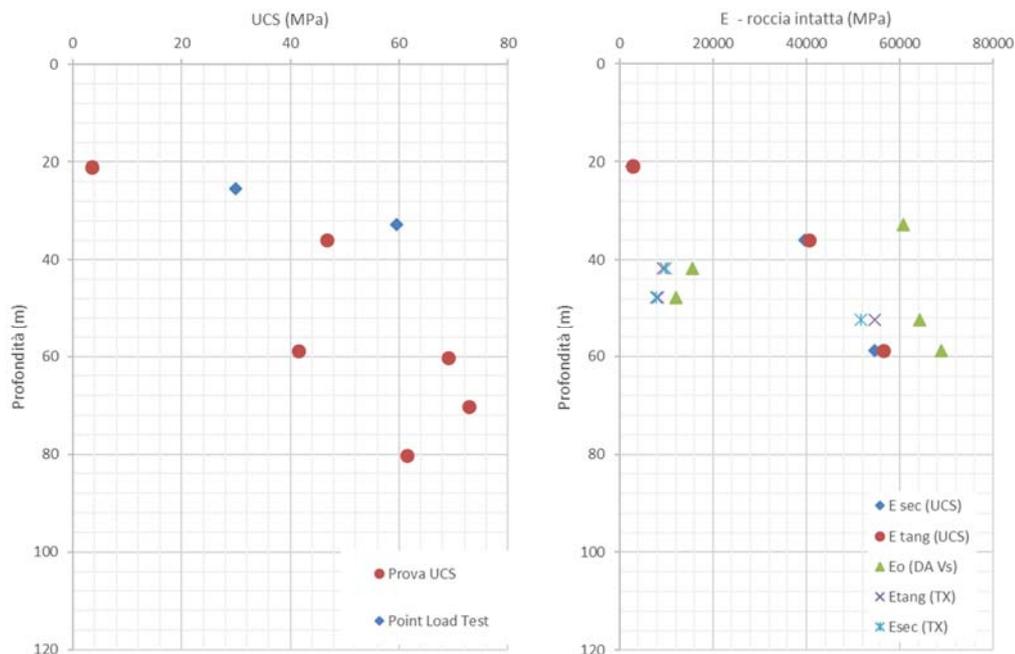


Figura 6-7 – Resistenza a compressione e modulo elastico per la roccia intatta (FAEma).

Di seguito si riportano i risultati di prove dilatometriche e i moduli elastici operativi da prove a velocità ultrasonica che permettono di definire il modulo elastico per l'ammasso roccioso. I valori di modulo di deformabilità per l'ammasso dedotti dalle prove ultrasoniche sono stati ricavati a partire dal modulo iniziale E_0 assumendo un rapporto $E/E_0=0.1$, in funzione del livello di deformazione atteso a seguito dello scavo della galleria e in accordo coi risultati ottenuti da prove dilatometriche.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 26 di 90

6.4.1.2 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA FAEam

Proprietà fisiche

È stata condotta un'analisi dei dati disponibili relativamente alla determinazione delle proprietà fisiche della litofacies argilloso-marnosa del Flysch del Faeto. Il peso per unità di volume risulta essere variabile tra 22 ÷ 26 KN/m³.

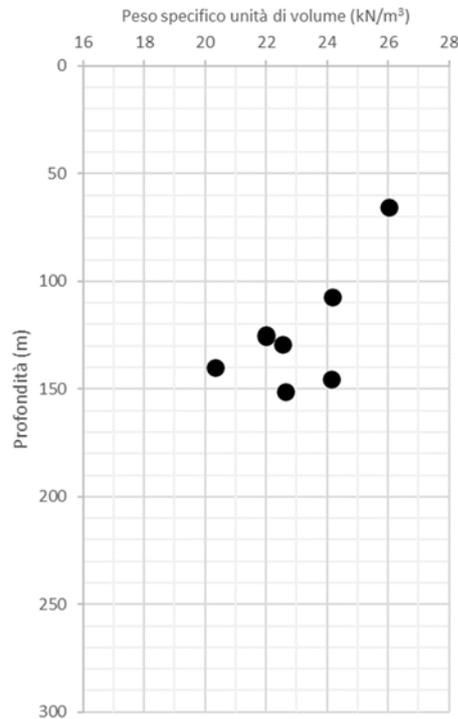


Figura 6-8 – Peso specifico per unità di volume (FAEam).

Proprietà meccaniche

I valori di resistenza a compressione dell'ammasso sono ricavati da prove di compressione monoassiale e Point Load Test. Per la litofacies FAEam è stato considerato il range di resistenza a compressione monoassiale del gruppo geomeccanico della marna argillosa, pari a 5 ÷ 7 MPa. Il modulo elastico per la roccia intatta è stato ricavato da prove di compressione monoassiale, prove triassiali e da prove ultrasoniche a partire dai valori di velocità delle onde di taglio Vs. I valori di modulo elastico sono molto variabili, essendoci componenti calcaree e calcarenitiche all'interno della formazione oltre che la componente più scadente di natura argilloso marnosa. Per questo motivo per la litofacies FAEam sono stati considerati i valori più bassi di modulo elastico per la roccia intatta, con valore medio di 5 GPa.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 27 di 90

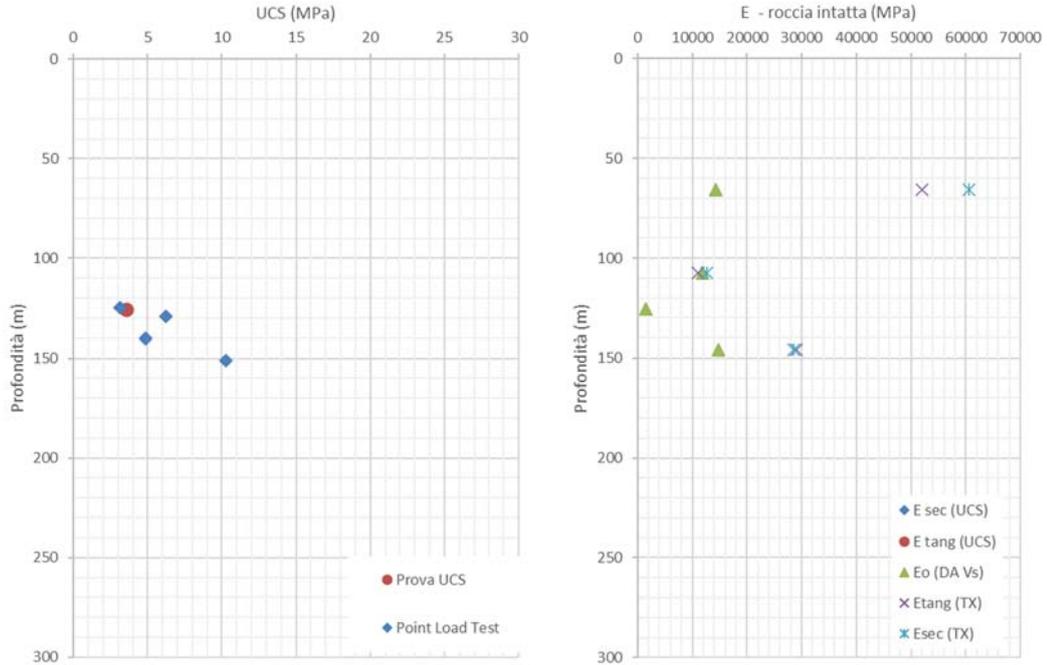


Figura 6-9 – Resistenza a compressione (sx) e modulo elastico per la roccia intatta (FAEam).

Di seguito si riportano i risultati di prove dilatometriche e i moduli elastici operativi da prove a velocità ultrasonica che permettono di definire il modulo elastico per l'ammasso roccioso. I valori di modulo di deformabilità per l'ammasso dedotti dalle prove ultrasoniche sono stati ricavati a partire dal modulo iniziale E_0 assumendo un rapporto $E/E_0=0.1$, in funzione del livello di deformazione atteso a seguito dello scavo della galleria e in accordo coi risultati ottenuti da prove dilatometriche. I valori ottenuti sono in accordo coi valori di modulo elastico operativo da prove ultrasoniche e i risultati da prove dilatometriche.

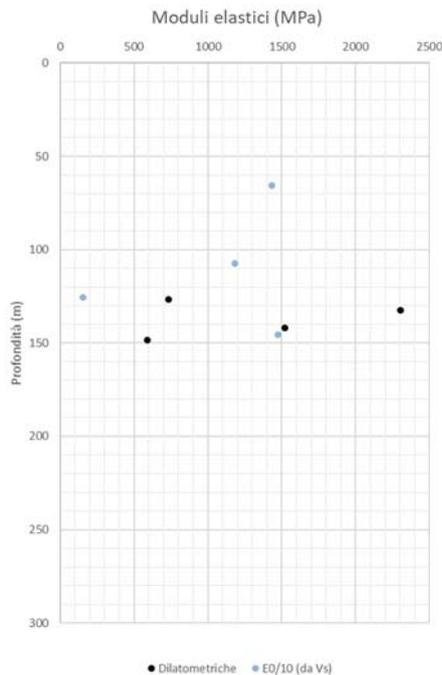


Figura 6-10 – Modulo elastico da prove dilatometriche e modulo elastico operativo da prove a velocità ultrasonica (FAEam).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI				ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA				RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo				COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 28 di 90

6.4.1.3 RIEPILOGO PARAMETRI FAE

Nella seguente Tabella si riepilogano i campi di variazione dei parametri geomeccanici della litofacies più diffusa, FAEMA, relativamente alle tratte della galleria interessate dallo scavo in tradizionale.

Parametro		u.m.	Coperture [m]		
			5-30	30-60	
g		kN/m ³	24-25	24-25	
UCS		MPa	10 – 20	10 - 20	
m _i		-	8	8	
D		-	0.5-0	0.5-0	
GSI (45-60)	50	σ _{cm}	MPa	5 - 6	8 - 10
		c'	kPa	300 - 400	500 - 700
		φ'	°	45 - 50	40 - 45
		E _m	MPa	900 - 2300	900 - 2300

Tabella 6-3 – Tratta di scavo in tradizionale, litofacies FAEMA, riepilogo parametri geotecnici/geomeccanici.

Caratteristiche delle famiglie di discontinuità

I rilievi geostrutturali, eseguiti in prossimità dell'imbocco lato Bari della galleria Hirpinia, hanno portato alla definizione dei principali sistemi di discontinuità. In particolare, ognuno di essi ha rilevato la presenza di 3÷4 famiglie principali di discontinuità e superfici di stratificazione. Tali discontinuità presentano valori di spaziatura media variabile tra 0,2 e 0,6 m di gran lunga inferiore alla dimensione dell'opera in progetto.

Si riporta nel seguito il dettaglio delle caratteristiche meccaniche delle varie famiglie di discontinuità relative ad ogni stop geostrutturale eseguito:

Stop	GSI (-)	Spaziatura (mm) - frequenza (%)	Famiglia discontinuità	Inclinazione/Immersione (°)	JRC (-)	JCS (MPa)
GM1 (pk. 41 + 000)	35 ÷ 45	60÷200 - 43% 200÷600 - 23% <20 - 20% 600÷2000 - 11% 20÷60 - 3%	K1	74/053	12 ÷ 14	74
			K2	71/143	11 ÷ 13	83
			K3	29/273	10 ÷ 12	63

Stop	GSI (-)	Spaziatura (mm) - frequenza (%)	Famiglia discontinuità	Inclinazione/Immersione (°)	JRC (-)	JCS (MPa)
GM2 (pk. 41 + 000)	55 ÷ 65	200÷600 - 52% 60÷200 - 27% <20 - 15% 600÷2000 - 6%	K1	79/013	8 ÷ 10	57
			K2	55/115	8 ÷ 10	44
			K3	60/182	8 ÷ 10	73

Stop	GSI (-)	Spaziatura (mm) - frequenza (%)	Famiglia discontinuità	Inclinazione/Immersione (°)	JRC (-)	JCS (MPa)
GM3 (pk. 41 + 000)	35 ÷ 45	200÷600 - 30% 60÷200 - 28% <20 - 15% 20÷60 - 15% 600÷2000 - 12%	K1	76/052	16 ÷ 18	79
			K2	65/221	16 ÷ 18	63
			K3	82/321	15 ÷ 17	85

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 29 di 90

Le caratteristiche meccaniche delle varie famiglie di discontinuità possono essere determinate adottando la legge di resistenza di Barton relativa a discontinuità naturali scabre senza riempimento:

$$\tau = \sigma_n \tan \left[\varphi_r + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right]$$

con:

σ_n = tensione normale alla superficie della discontinuità;

φ_r = angolo di resistenza al taglio residuo della discontinuità (coincidente con l'angolo di attrito di base del materiale se la discontinuità è non alterata);

JRC = coefficiente che tiene in conto della scabrezza della discontinuità;

JCS = coefficiente che tiene in conto la resistenza intrinseca della discontinuità.

Ciascuna famiglia di discontinuità è stata caratterizzata, come di seguito riportato, in funzione delle proprie caratteristiche, con riferimento alla massima copertura, pari a 60 m, lungo la tratta della galleria realizzata in tradizionale.

Stop	Copertura (m)	Famiglia discontinuità	φ_b (°)	JRC (-)	JCS (MPa)	c'k (kPa)	$\varphi'k$ (°)
GM1 (pk. 41 + 000)	60	K1	20	13	74	0	43
		K2		12	83	0	42
		K3		11	63	0	39

Stop	Copertura (m)	Famiglia discontinuità	φ_b (°)	JRC (-)	JCS (MPa)	c'k (kPa)	$\varphi'k$ (°)
GM2 (pk. 41 + 000)	60	K1	20	9	57	0	35
		K2		9	44	0	34
		K3		9	73	0	36

Stop	Copertura (m)	Famiglia discontinuità	φ_b (°)	JRC (-)	JCS (MPa)	c'k (kPa)	$\varphi'k$ (°)
GM3 (pk. 41 + 000)	60	K1	20	17	79	0	51
		K2		17	63	0	49
		K3		16	85	0	50

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 30 di 90

6.4.2 FORMAZIONE DELLE ARGILLITI POLICROME DEL CALAGGIO (APC)

La formazione delle Argilliti Policrome del Calaggio è un deposito marino di bacino e base scarpata costituito da argille, argille marnose e marne.

Relativamente alla tratta della galleria realizzata in tradizionale, lo scavo, a partire dall'imbocco lato Napoli, interessa la formazione delle argilliti policrome del Calaggio (APC) per una lunghezza di circa 925 m, con coperture variabili tra 5 e 40 m rispetto al piano del ferro. Nella seguente Figura 6-11 è riportato un estratto del profilo geologico della tratta in oggetto.

Il materiale è stato caratterizzato a partire dai risultati di prove di laboratorio e prove in foro. La caratterizzazione è stata condotta elaborando le risultanze dei sondaggi geognostici condotti nell'ambito delle campagne indagini del 2017 – 2018 - 2021. Per il dettaglio delle indagini geognostiche effettuate si rimanda alla relazione di caratterizzazione geotecnica/geomeccanica generale (doc. IF3A02E ZZ RBGE0206 001A).

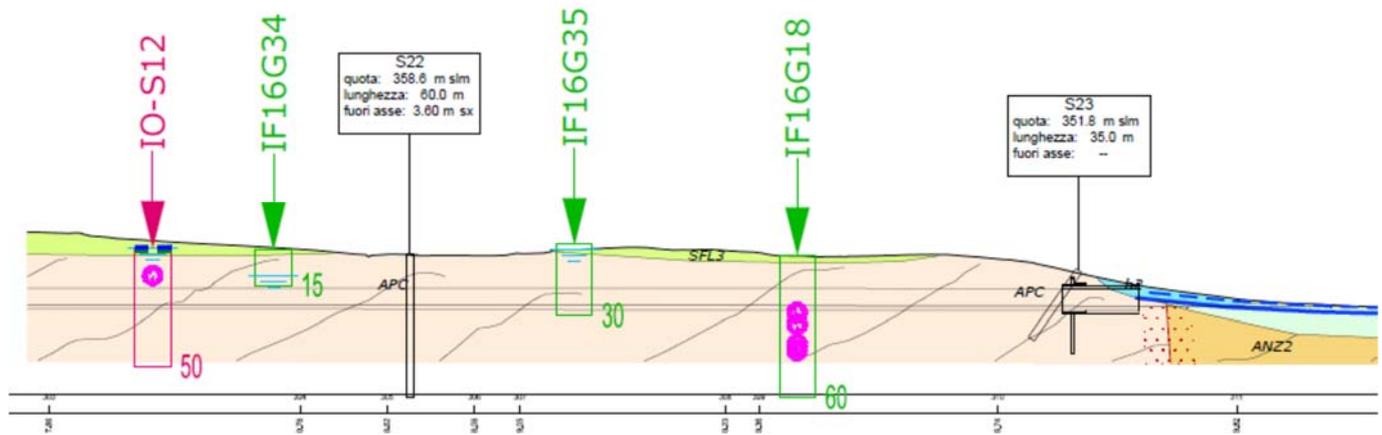


Figura 6-11 – Estratto del profilo geologico della tratta della galleria realizzata in tradizionale a partire dall'imbocco lato Napoli.

Identificazione, classificazione e caratterizzazione fisica del terreno

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggi mostrano la prevalenza dei termini limosi e, secondariamente, sabbiosi e argillosi, come mostrato nella seguente Figura 6-12.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI				ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA									
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo				COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
				IF3A	02	E ZZ RH	GN0700 002	C	31 di 90

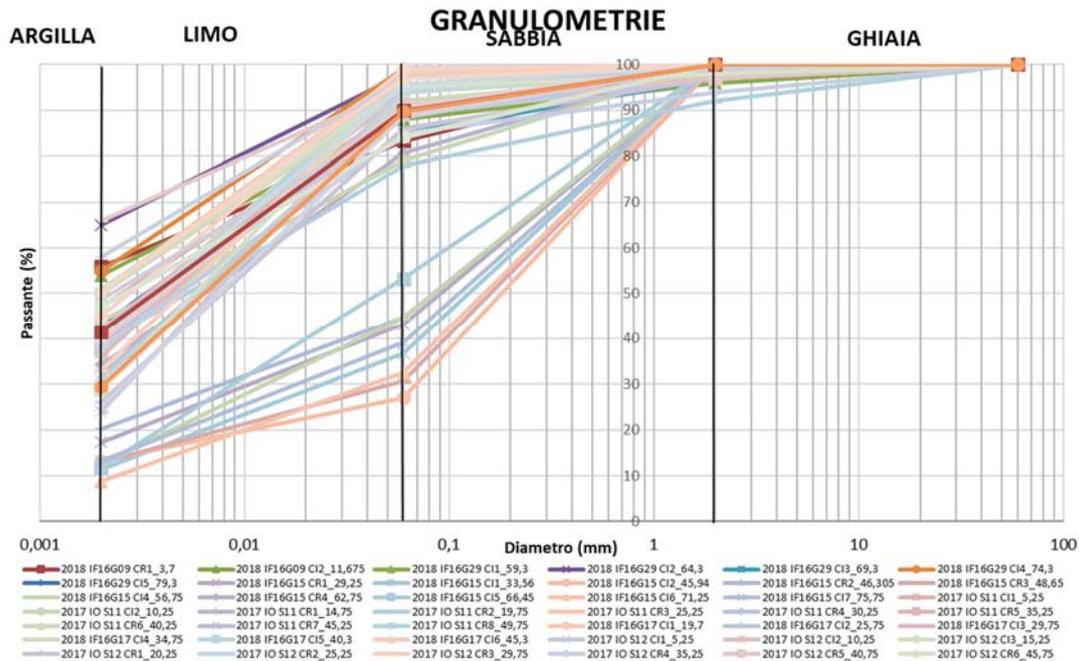


Figura 6-12. Curve granulometriche (APC).

Il peso per unità di volume è variabile tra $19 \div 22 \text{ KN/m}^3$.

Il contenuto d'acqua naturale w_n è variabile tra $10 \div 27\%$, intervallo che si mantiene pressoché costante con la profondità nel volume indagato.

Gli intervalli di variabilità dei limiti di Atterberg sono i seguenti:

- limite liquido w_L : $40 \div 80\%$
- limite plastico w_P : $20 \div 35\%$
- indice di plasticità I_p : $10 \div 50\%$
- indice di consistenza I_c : $0.9 \div 2.5$.

Nelle seguenti Figure sono riportati i risultati delle prove di laboratorio effettuate per la caratterizzazione fisica dei terreni.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 32 di 90

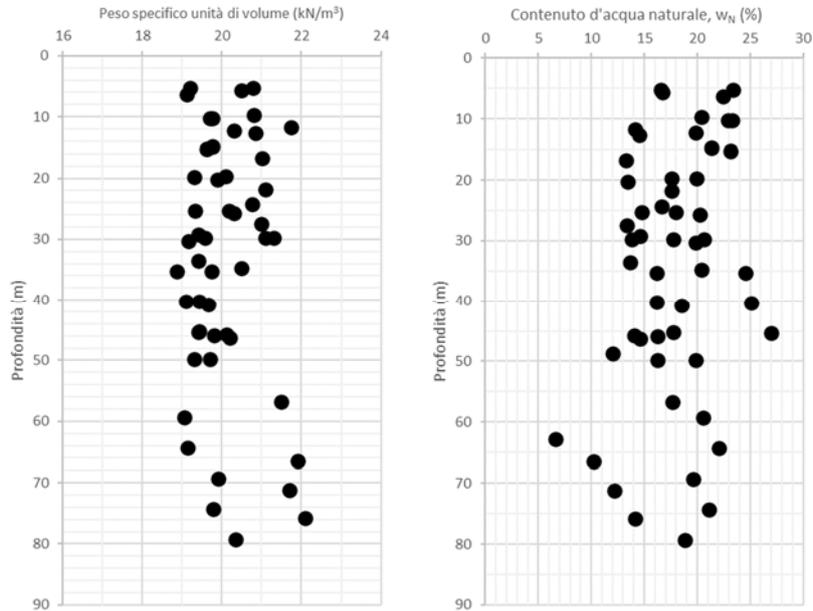


Figura 6-13 – Peso dell'unità di volume e contenuto d'acqua naturale (APC).

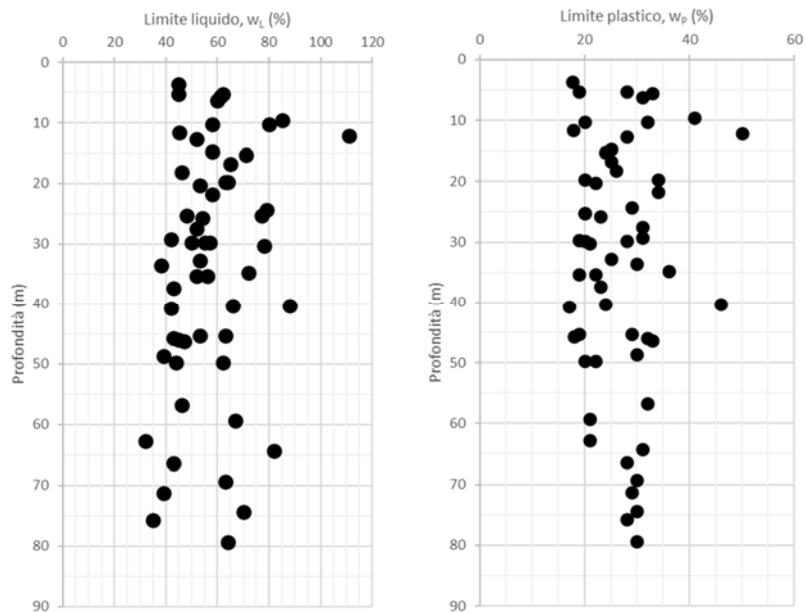


Figura 6-14 – Limite liquido e limite plastico (APC).

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 33 di 90

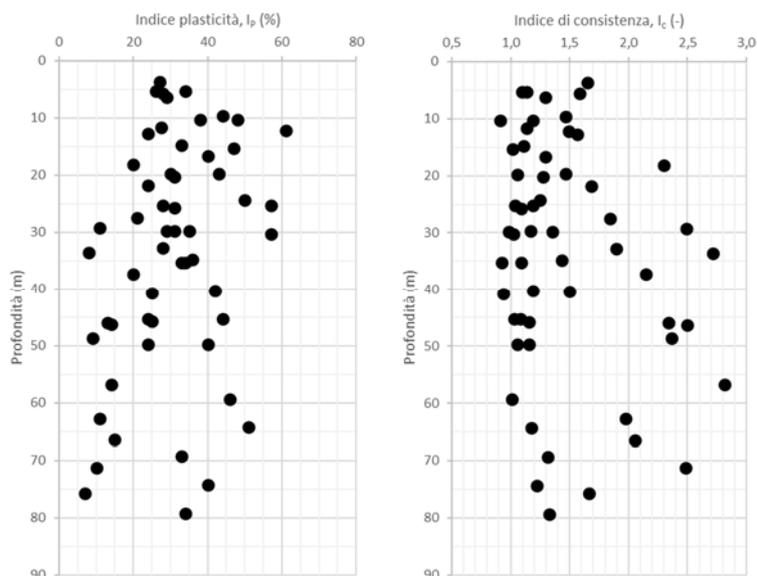


Figura 6-15 – Indice plastico ed indice di consistenza (APC).

Caratteristiche di resistenza e deformabilità

Per quanto concerne i risultati ottenuti da prove di laboratorio su campioni indisturbati per definire le proprietà meccaniche della formazione, sono state eseguite prove di taglio diretto e compressione triassiale consolidata non drenata (CIU) e consolidata drenata (CID) per definire i parametri di coesione efficace (c') e angolo d'attrito (φ'). Nella seguente Figura 6-16 sono riepilogati i risultati relativamente alla coesione e all'angolo di resistenza al taglio.

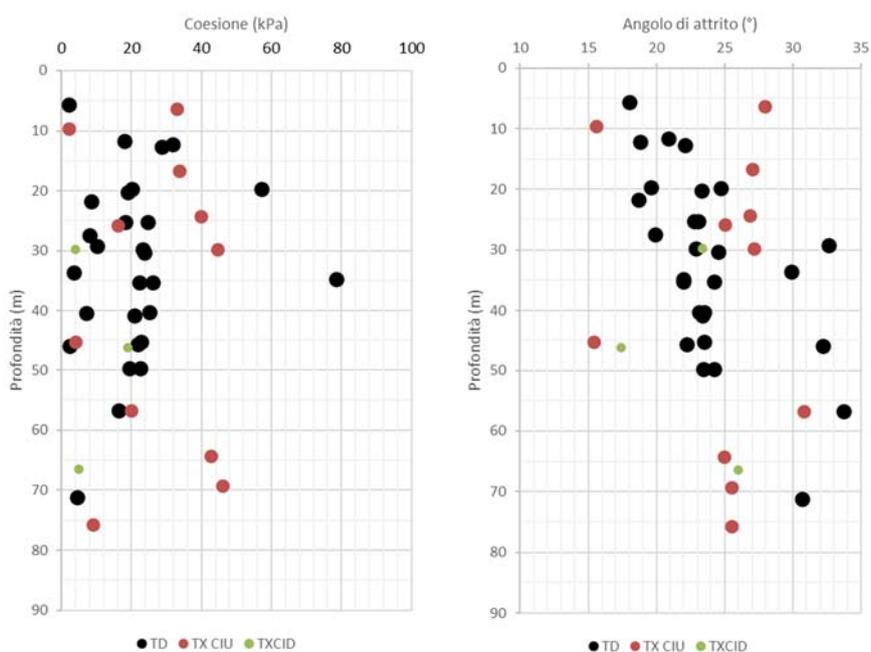


Figura 6-16 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio (APC).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 34 di 90

Per quanto riguarda la coesione efficace, i risultati sono molto variabili, da un minimo di 3 kPa ad un massimo di 79 kPa, distribuiti prevalentemente nel campo 15-25 kPa. I valori di angolo d'attrito sono stati ricavati da prove di taglio diretto e prove triassiali CIU. L'angolo d'attrito non mostra variazioni significative con la profondità ma assume valori variabili tra 18°-32°, con valori prevalentemente compresi nell'intervallo 23°-27°.

I valori della resistenza non drenata ricavati da prove triassiali UU e CIU e prove ad espansione laterale libera sono riportati nella seguente Figura 6-17.

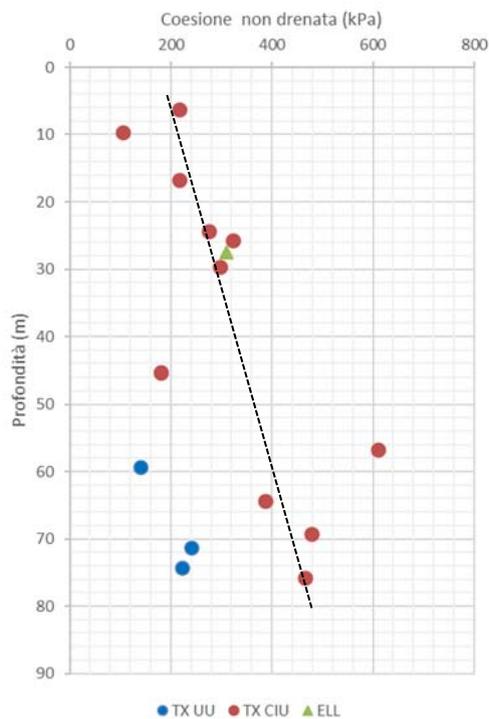


Figura 6-17 - Coesione non drenata da prove di laboratorio (APC).

La coesione non drenata aumenta con la profondità e risulta variabile tra 140 ÷ 480 kPa per profondità comprese tra 15 m – 80 m.

Con riferimento alle descrizioni stratigrafiche, alle fotografie delle cassette, ai valori della resistenza a compressione non confinata misurata mediante il penetrometro tascabile sulle carote dei sondaggi e ai risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT, nella Figura 6-18 sono riportati i valori della resistenza al taglio non drenata, c_u , ottenute sia dalle prove effettuate sulle carote con il pocket penetrometer (PP) sia dalle prove SPT, avendo adottato la seguente correlazione: $c_u = 4 \times N_{SPT}$.

Inoltre, sulla base dei valori della resistenza al taglio non drenata, c_u , utilizzando l'approccio proposto da Mesri e Abdel – Ghaffar (1993), è stata determinata la coesione efficace c'_k (Figura 6-19); infine per quanto riguarda l'angolo di resistenza al taglio in condizioni drenate sono state utilizzate le correlazioni fra l'indice di plasticità (ottenuto da numerosi campioni) e lo stesso valore di ϕ_k , come indicato da Terzaghi et al. (Figura 6-20).

Come si può notare, nelle seguenti Figure sono stati riportati, per quanto concerne il valore della coesione efficace e dell'angolo di resistenza al taglio, i valori caratteristici adottati per la progettazione che come si può notare risultano estremamente cautelativi, tenendo conto degli stati limite ultimi da analizzare e dell'importanza delle opere, interessate dalla progettazione.

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI			ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA			RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo			COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 35 di 90

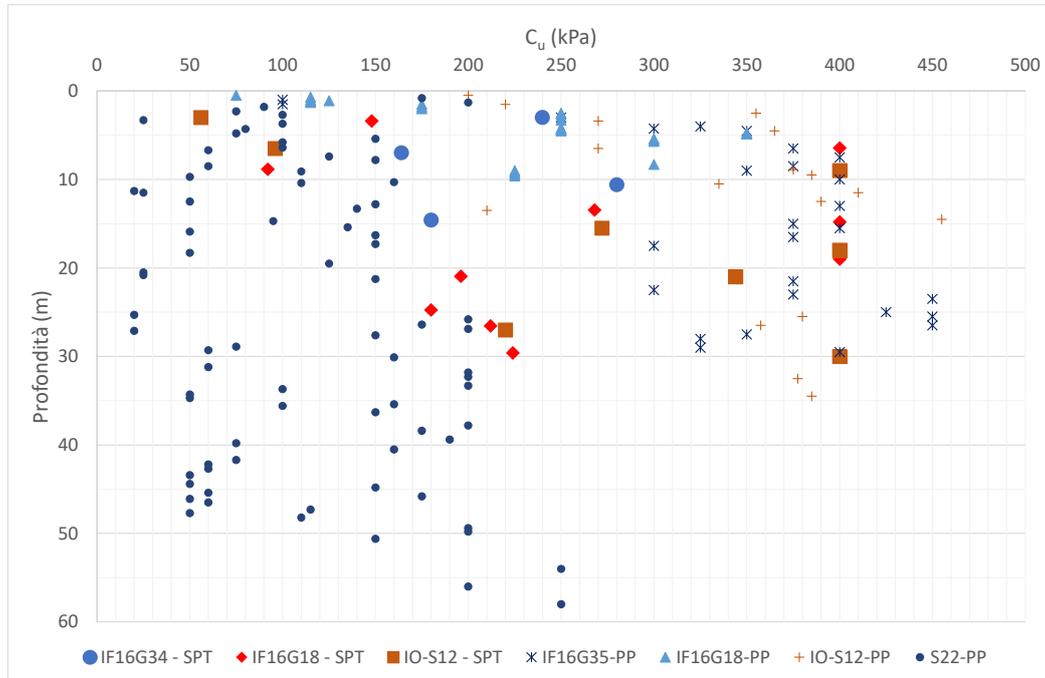


Figura 6-18. Andamento con la profondità della resistenza al taglio in condizioni non drenate c_u .

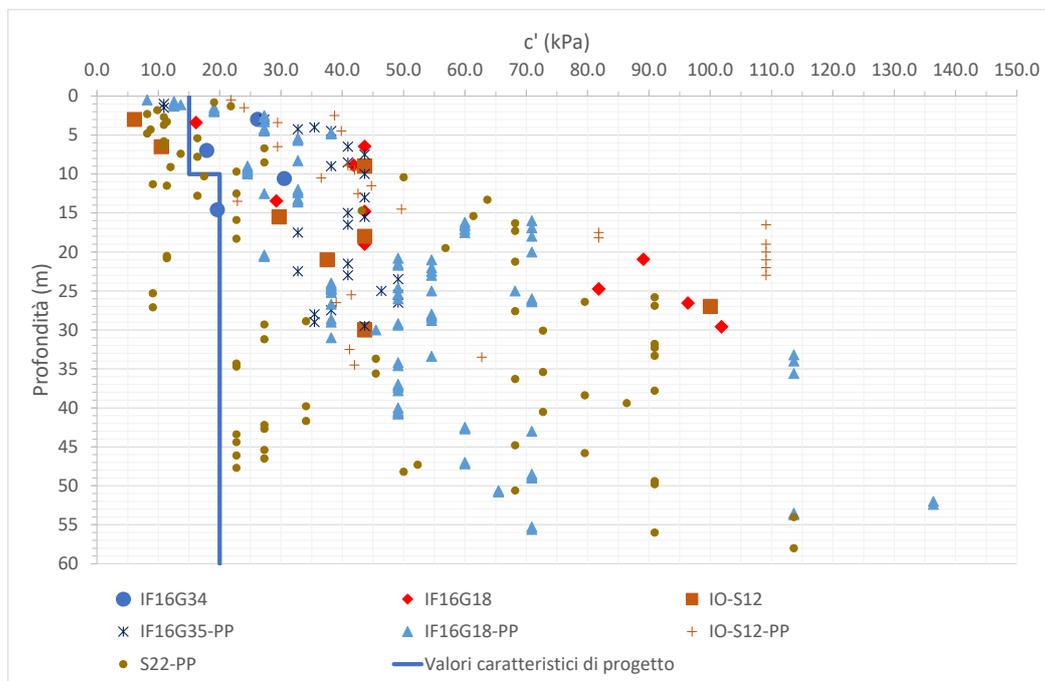


Figura 6-19. Andamento con la profondità della resistenza al taglio in condizioni drenate c' .

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI			ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA			RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo			COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 36 di 90

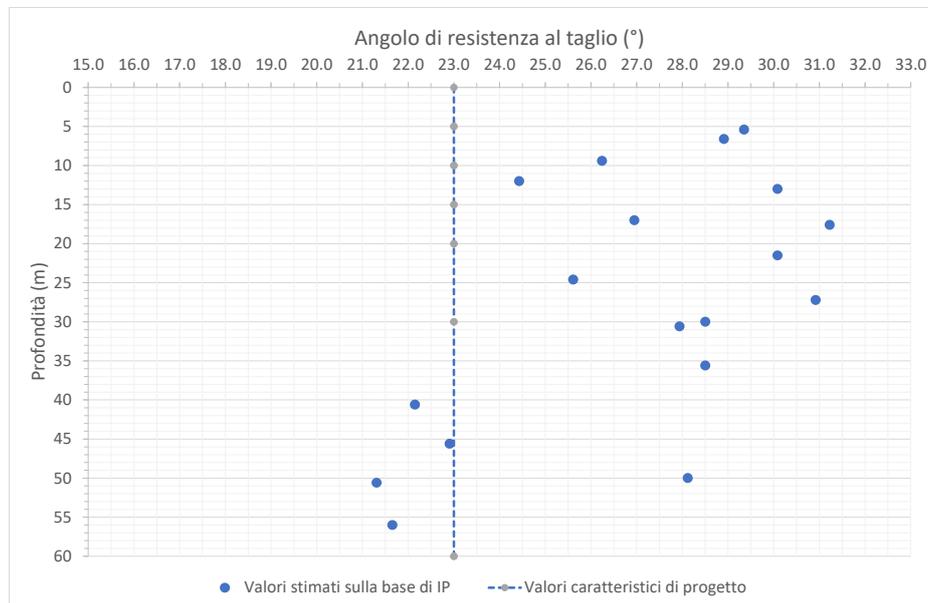


Figura 6-20. Andamento con la profondità dell'angolo di resistenza al taglio ϕ' .

Per quanto concerne, infine, le proprietà di deformabilità della formazione si è fatto riferimento ai risultati ottenuti dalle prove dilatometriche e pressiometriche, dalle indagini geofisiche, e dalle prove penetrometriche SPT, adottando le correlazioni indicate in letteratura da Stroud (1989).

Nella seguente Figura 6-21 sono riportati i valori del modulo di deformabilità ottenuti dall'interpretazione delle diverse prove in funzione della profondità.

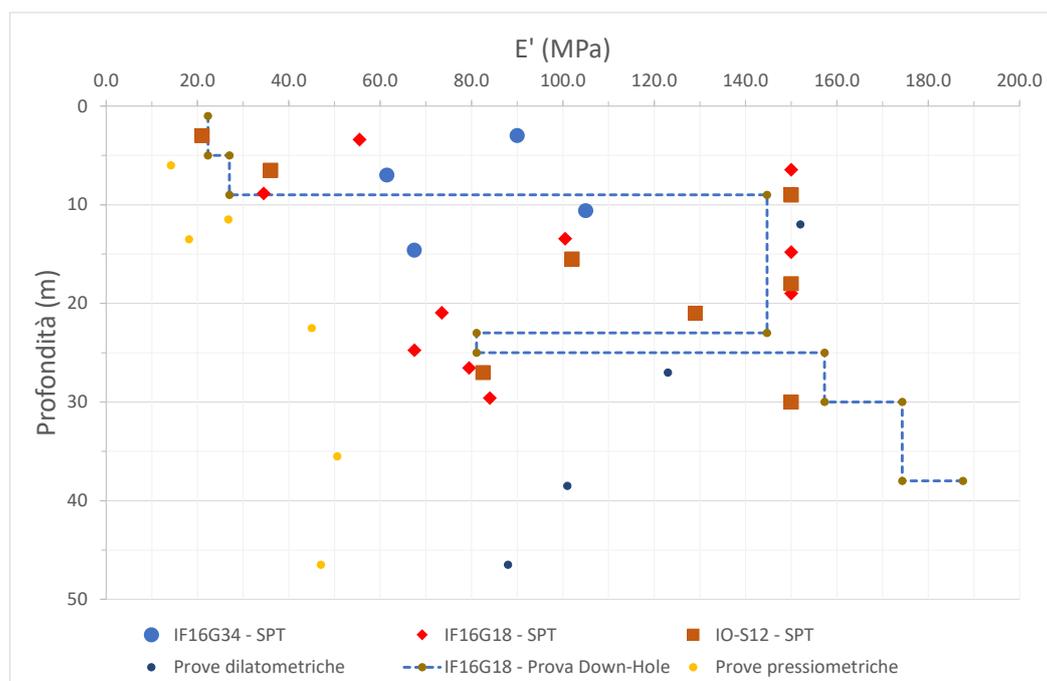


Figura 6-21. Andamento con la profondità del modulo di deformabilità.

Stato tensionale in sito

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. FOGLIO C 37 di 90

Lo stato tensionale in situ è stato valutato a partire dai risultati di prove dilatometriche eseguite nell'ambito delle campagne indagini 2017-2018 - 2021. Nella seguente Figura 6-22 sono riportati i risultati ottenuti; occorre tuttavia evidenziare che sono valori da considerare del tutto orientativi in quanto le prove dilatometriche, come noto, hanno altre finalità.

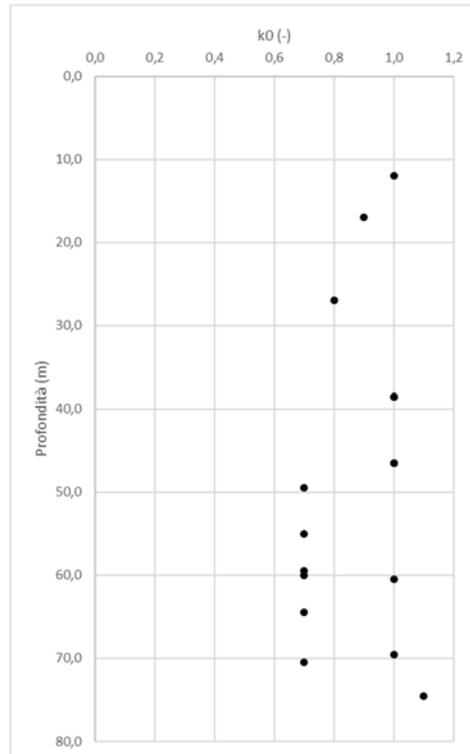


Figura 6-22 – Coefficiente di spinta a riposo da prove dilatometriche - APC.

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e prove in sito e di laboratorio condotte, ha portato alla definizione degli intervalli di valori rappresentativi dei principali parametri geotecnici per l'Unità APC, riportati nella seguente Tabella 6-4.

Tabella 6-4. Formazione delle argilliti policrome del Calaggio (APC), riepilogo parametri geotecnici.

Parametri	Copertura p.c. – 10 m	Copertura 10 – 50 m
g (kN/m ³)	19 - 22	19 – 22
c_k' (kPa)	15 – 20	20 – 25
f_k' (°)	23 - 27	23 - 27
$E_{k,op}$ (MPa)	30 - 50	80 - 250

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. FOGLIO C 38 di 90

6.5 REGIME IDRAULICO

Lungo il tracciato lo scavo delle gallerie naturali realizzate in tradizionale, oggetto della presente elaborato progettuale, nell'ambito dello scavo della galleria Hirpinia, interferisce con i seguenti complessi idrogeologici:

Complesso argilloso-marnoso

Questo complesso è formato dai terreni argilloso-marnosi delle unità del Membro di Flumeri (ANZ2), Argilliti policrome del Calaggio (APC), Argille Varicolori (AVR) e Flysch Rosso (FYR). La permeabilità, per porosità e fessurazione, è molto bassa con un coefficiente k compreso tra 10-9 e 10-7 m/s.

Complesso calcareo-marnoso

Questo complesso è costituito dalle successioni calcareo-marnose delle unità del Membro di Flumeri nella sua litofacies calcareo-marnosa (ANZ2a), Flysch di Faeto (FAE) e Flysch di Faeto nella sua litofacies marnosocalcareo (FAEb). La permeabilità, essenzialmente per fessurazione è variabile da molto bassa a bassa con un coefficiente k compreso tra 10-9 e 10-6 m/s.

Per la descrizione completa dei complessi idrogeologici ed ulteriori approfondimenti si rimanda all'elaborato dedicato.

Sono stati installati nei fori di sondaggio 32 piezometri (20 di tipo tubo aperto, 9 Casagrande, 2 elettrici e 1 a corda vibrante). I dati del monitoraggio eseguito da giugno 2017 ad aprile 2019 hanno permesso la ricostruzione dei livelli piezometrici, che, nell'arco temporale suddetto, si sono mantenuti stabili. I livelli piezometrici sono sempre al di sopra della calotta della galleria, ad eccezione delle zone prossime agli imbocchi, collocandosi alla quota del piano dei centri sia lato Bari che lato Napoli. Per ulteriori dettagli sul monitoraggio piezometrico si rimanda all'elaborato dedicato.

Per il dettaglio delle quote dei livelli piezometrici lungo la galleria si rimanda all'elaborato "Profilo geotecnico".

6.6 RISCHI POTENZIALI

Nel presente paragrafo si descrivono le principali criticità, legate al contesto geologico, geomorfologico, idrogeologico, geotecnico e ambientale, che potrebbero avere ripercussioni nella fase realizzativa delle gallerie.

La mappatura dei diversi rischi individuati nella fase conoscitiva è illustrata nell'elaborato "Profilo geotecnico".

- Instabilità del fronte e del cavo

Potenziati rischi di instabilità del fronte con ripercussioni in superficie possono interessare le tratte di galleria in prossimità delle zone di imbocco e le tratte a basse coperture. In particolare, in corrispondenza delle p.k. (b.d.) 44+875 e 66+025 è previsto il sottoattraversamento di due corsi d'acqua, il Torrente Avella e il Torrente Fiumarella, con coperture minime pari rispettivamente a 17m e 11m. Fenomeni di instabilità possono presentarsi, inoltre, nell'attraversamento di zone di faglia. All'interno della formazione del Flysch di Faeto, caratterizzato da sistemi di discontinuità, sono possibili instabilità localizzate del fronte e del cavo (cunei di distacco) dovuti a eventuali giaciture sfavorevoli.

- Fenomeni deformativi

Le formazioni delle Argilliti Policrome del Calaggio (APC), del Flysch Rosso (FYR) e della Formazione delle Argille Varicolori (AVR) hanno caratteristiche meccaniche tali da rendere possibili, in condizioni di alte coperture, come quelle che si riscontrano nella tratta centrale della galleria Hirpinia, lo sviluppo di elevate convergenze durante la fase di scavo. Inoltre, come emerso dai risultati delle prove di laboratorio eseguite (cfr. fase conoscitiva), alcune delle formazioni argillose attraversate possono dar luogo a significative deformazioni conseguenti a fenomeni di rigonfiamento. Anche in questo caso, le condizioni più critiche potrebbero riscontrarsi all'interno delle Argilliti Policrome del Calaggio (APC), del Flysch Rosso (FYR) e della Formazione delle Argille Varicolori (AVR).

- Venute d'acqua in galleria e carichi idraulici elevati

Il potenziale rischio di venute d'acqua concentrate e con portate significative in galleria in fase di scavo dipende dalla conducibilità idraulica dei materiali attraversati e dal carico idraulico.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<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>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RH</td> <td>GN0700 002</td> <td>C</td> <td>39 di 90</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RH	GN0700 002	C	39 di 90
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RH	GN0700 002	C	39 di 90													
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo																		

Dal punto di vista della conducibilità idraulica la formazione attraversata che presenta permeabilità più elevata risulta essere quella delle Evaporiti di Monte Castello nella litofacies calcareo-brecciosa (CTLa), con un coefficiente di permeabilità k pari a 10^{-5} m/s.

Per tutte le altre formazioni attraversate dallo scavo della galleria di linea e delle finestre costruttive la permeabilità risulta sempre bassa e molto bassa (10^{-6} m/s $\leq k < 10^{-9}$ m/s).

In considerazione delle suddette caratteristiche di permeabilità, il rischio di venute d'acqua è stato stimato basso per gran parte dello sviluppo della galleria ad eccezione degli attraversamenti delle faglie o strutture tettoniche, dove è stato considerato medio, nell'ipotesi che l'ammasso presenti in tali zone permeabilità maggiori rispetto alla formazione intatta. Nell'attraversamento delle formazioni argillose con permeabilità molto bassa ($k < 10^{-8}$ m/s), tale rischio non appare comunque significativo.

La condizione di carico idraulico elevato può rappresentare un rischio per i rivestimenti definitivi delle opere in sotterraneo: tale situazione può verificarsi nelle tratte di attraversamento sotto alte coperture del Flysch di Faeto (FAE), del Flysch Rosso (FYR), delle Argille Policrome del Calaggio (APC), della Formazione delle Argille Varicolori (AVR), del Membro di Flumeri delle Molasse di Anzano (ANZ2), delle Argille e sabbie del Vallone Meridiano (BVNb) e del Membro pelitico-arenaceo del Fiume Miscano (BNA2), dove sono previsti carichi idraulici superiori ai 100m/150m.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. FOGLIO C 40 di 90

7 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS [1], di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo

7.1 CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO

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

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

- Categoria A: nucleo-fronte stabile:

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

- Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine:

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità, a seguito delle operazioni di scavo, raggiunge la resistenza dell'ammasso. I fenomeni deformativi tensionali sono di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi una eventuale riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri residui. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine;

- Categoria C: nucleo-fronte instabile:

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui, superata la resistenza del terreno, i fenomeni deformativi evolvono molto rapidamente in campo plastico, producendo la progressiva instabilità del fronte di scavo e un incremento dell'estensione della zona dell'ammasso decompressa e plasticizzata al contorno della cavità, con rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale.

7.2 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO

La valutazione del comportamento deformativo del fronte è stata condotta utilizzando:

- il metodo delle linee caratteristiche (per le tratte ad alta copertura);
- i metodi di analisi della stabilità del fronte (per le tratte a bassa copertura).

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI			
PIZZAROTTI					
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA	
M-INGEGNERIA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C FOGLIO 41 di 90

Tali valutazioni sono state condotte con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici e delle azioni. In particolare, per la risposta allo scavo all'interno della formazione FAE si sono considerate condizioni drenate.

La definizione delle sezioni analizzate è stata eseguita sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica (vedi §6.4), in funzione delle condizioni idrauliche previste e della distribuzione delle diverse classi di copertura lungo il tracciato.

7.2.1 ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE

Sono di seguito descritti i metodi di analisi utilizzati per la valutazione del comportamento deformativo del fronte.

7.2.1.1 METODO DI TAMEZ & CORNEJO (1985)

Il metodo all'equilibrio limite proposto da Tamez (Figura 139) è basato sull'ipotesi di risposta del fronte di scavo in condizioni drenate e pertanto il calcolo viene eseguito in tensioni efficaci. Si ipotizza che al fronte si formi un meccanismo di rottura approssimabile mediante solidi prismatici, come mostrato in Figura 7-1, e si valuta il coefficiente di sicurezza FSF rispetto a tale condizione di collasso come rapporto tra i momenti delle forze resistenti e i momenti delle forze agenti.

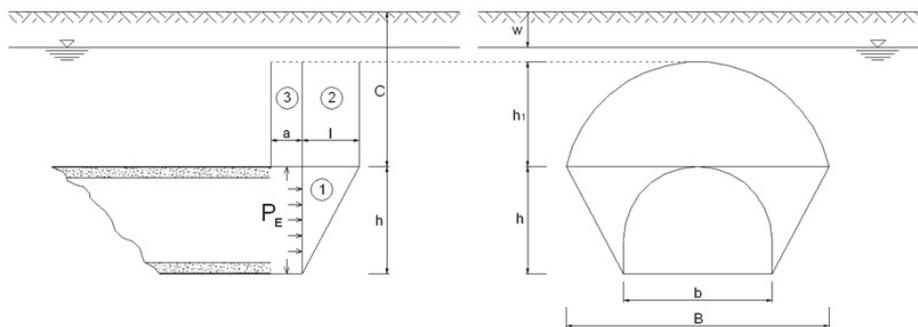


Figura 7-1: Stabilità del fronte secondo il Metodo di Tamez (1984)

Talvolta la stabilità del solo prisma 3, gravante sulla zona di galleria non ancora sostenuta dal rivestimento, può risultare più critica rispetto all'insieme dei tre prismi; è definito in tal senso un secondo coefficiente di sicurezza FS₃, per cui ai fini della stabilità del fronte si assume il coefficiente di sicurezza minimo tra i due:

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

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

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

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

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

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

Il fronte di scavo viene considerato stabile per valori di FSF > 1,5. Per valori di FSF superiori a 2, il sostegno del fronte può considerarsi non necessario.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 42 di 90

7.2.1.2 SEZIONI ANALIZZATE

La valutazione del comportamento deformativo del fronte con i metodi di analisi della stabilità del fronte è stata condotta per due sezioni tipologiche, una rappresentativa delle nicchie previste nel tratto di opera scavato in tradizionale in corrispondenza dell'imbocco lato Bari, l'altra di quello in corrispondenza dell'imbocco lato Napoli.

In particolare, per le nicchie previste nel tratto di opera a tergo dell'imbocco lato Bari, la sezione di analisi è stata definita con riferimento alla nicchia 2 tipo A (situata alla pk. 41+529.55 BP) con valori di copertura stimati dalle nicchie 1 tipo A (situata alla pk. 41+569.56 BP). In questo modo, sia le coperture che l'area di scavo della sezione tipo coincidono con i massimi valori presenti nella tratta.

Per le nicchie situate nel tratto di opera a tergo dell'imbocco lato Napoli la sezione di analisi coincide con la nicchia 3 tipo C, posta alla pk.68+305.00 BP, caratterizzata dai massimi valori di copertura e dalla maggiore area di scavo.

Le analisi sono state condotte con il metodo di Tamez-Cornejo (1985).

Tabella 7-1: Sezione analizzate col metodo di Tamez per l'analisi di stabilità del fronte di scavo

Analisi No.	Formazione	pk. (BP)	Z	b	h	W	h1	y1	y2	c'1	c'2	φ'm
		[km]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[°]
Nicchia 2 tipo A	FAE	41+529.55	52.0	4.1	4.1	Assente	6.97	26	26	600	600	40
Nicchia 3 tipo C	APC	68+305,00	17.0	4.4	4.75	1.0	7.48	20	20	20	15	23

Z = copertura rispetto alla calotta della galleria

b = larghezza dello scavo (si fa riferimento ad una sezione circolare equivalente)

h = altezza dello scavo (si fa riferimento ad una sezione circolare equivalente)

h1 = altezza sopra la calotta della galleria del meccanismo di collasso (se $Z/h < 3$, $h1 = Z$ – se $Z/h > 3$, $h1 = 1.7 \cdot b$)

W = profondità superficie piezometrica da piano campagna

y1 = peso medio dell'unità di volume del terreno sopra la calotta (su h1)

y2 = peso medio dell'unità di volume del terreno da scavare (su h)

c'1 = valore caratteristico medio della coesione al fronte (su h)

c'2 = valore caratteristico medio della coesione dalla calotta fino a h1

φ'm = valore caratteristico medio dell'angolo di attrito dei materiali presenti dall'arco rovescio fino a h1

L'analisi è stata svolta considerando:

$K0$ = coefficiente di spinta a riposo = $1 - \tan \varphi$

Ka = coefficiente di spinta attiva = $(1 - \tan \varphi) / (1 + \tan \varphi)$

a = lunghezza non sostenuta = 1m

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C FOGLIO 43 di 90

Analisi nicchia 3 tipo C

DIAGNOSI - TAMEZ (1985)		
GN "Hirpinia" - Nicchia 3 tipo C		
Dati geometrici della galleria		
Larghezza della galleria [m]	b=	4,4
Altezza della galleria [m]	h=	4,75
Area di scavo [m ²]	A=	86,84
Lunghezza libera non sostenuta [m]	a=	1
Copertura [m]	Z=	17
Profondità falda dal p.c [m]	w=	17
Peso di volume dell'acqua [kN/m ³]	Y _w =	10
Pressione dell'acqua [kPa]	u=	0
Coefficiente spinta a riposo [-]	ko=	0,678454
Pressione di stabilizzazione [kPa]	Pe=	0
Parametri geotecnici degli strati di copertura		
Strato 1		
Unità geotecnica [-]		APC
Peso unità di volume [kN/m ³]	Y=	20
Angolo di attrito di progetto [°]	φ _d =	18,76
Coazione di progetto [kPa]	c _d =	12
Spessore [m]	s=	17
Parametri geotecnici del materiale al fronte di scavo		
Unità geotecnica [-]		APC
Peso unità di volume [kN/m ³]	Y=	20
Angolo di attrito di progetto [°]	φ _d =	18,76
Coazione di progetto [kPa]	c _d =	16
Risultati		
Tipo di galleria [-]		Deep Tunnel
Sforzo di taglio prisma 2 [kPa]	τ _{m2}	123,6619
Sforzo di taglio prisma 3 [kPa]	τ _{m3}	38,51414
FS stabilità fronte [-]	FS _f	1,270645
FS stabilità prisma 3 sopra calotta [-]	FS ₃	2,079764
FS minimo	FS _{min}	1,270645
Comportamento [-]		Elasto-Plastico
Classe di comportamento [-]		FRONTE INSTABILE

Analisi nicchia 2 tipo A

DIAGNOSI SECONDO TAMEZ (1985)		
GN "Hirpinia" - Nicchia 2 tipo A		
Dati geometrici della galleria		
Larghezza della galleria [m]	b=	4,1
Altezza della galleria [m]	h=	4,1
Area di scavo [m ²]	A=	86,84
Lunghezza libera non sostenuta [m]	a=	1
Copertura [m]	Z=	52
Profondità falda dal p.c [m]	w=	100
Peso di volume dell'acqua [kN/m ³]	Y _w =	10
Pressione dell'acqua [kPa]	u=	-480
Coefficiente spinta a riposo [-]	ko=	0,442651
Pressione di stabilizzazione [kPa]	Pe=	0
Parametri geotecnici degli strati di copertura		
Strato 1		
Unità geotecnica [-]		FYR
Peso unità di volume [kN/m ³]	Y=	26
Angolo di attrito di progetto [°]	φ _d =	33,87
Coazione di progetto [kPa]	c _d =	480
Spessore [m]	s=	17
Parametri geotecnici del materiale al fronte di scavo		
Unità geotecnica [-]		FYR
Peso unità di volume [kN/m ³]	Y=	26
Angolo di attrito di progetto [°]	φ _d =	33,87
Coazione di progetto [kPa]	c _d =	480
Risultati		
Tipo di galleria [-]		Deep Tunnel
Sforzo di taglio prisma 2 [kPa]	τ _{m2}	1067,034
Sforzo di taglio prisma 3 [kPa]	τ _{m3}	626,9451
FS stabilità fronte [-]	FS _f	3,7395
FS stabilità prisma 3 sopra calotta [-]	FS ₃	5,934076
FS minimo	FS _{min}	3,7395
Comportamento [-]		Elasto-Plastico
Classe di comportamento [-]		FRONTE STABILE

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI				ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA									
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo				COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 44 di 90

8 FASE DI TERAPIA

Nel presente capitolo sono definiti gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo e del fronte a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento allo scavo in assenza di interventi (fase di diagnosi).

8.1 DEFINIZIONE DEL METODO DI SCAVO

Il metodo di scavo previsto per la realizzazione delle nicchie è derivato dall'analisi contestuale dell'ambito geologico, idrogeologico e geotecnico attraversato, dalla configurazione geometrica del tracciato plano-altimetrico e dalla estensione longitudinale della galleria.

8.2 AZIONI DI MITIGAZIONE DEI POTENZIALI RISCHI

Le azioni di mitigazione dei potenziali rischi individuati nella fase conoscitiva sono state descritte nei paragrafi precedenti e sono di seguito riepilogate:

8.2.1.1 INSTABILITÀ DEL FRONTE

La fase di diagnosi ha rilevato un valore di FS pari a 1.27 per la sezione tipo della nicchia 3 tipo C. Questa tipologia strutturale prevede interventi di presostegno al fronte e al contorno.

La nicchia 2 tipo A presenta condizioni del fronte stabile a lungo termine, con un valore di FS pari a 3.74.

8.2.1.2 ESPOSIZIONE AMBIENTALE E ATTACCO CHIMICO

Il rischio di attacco chimico è gestito con l'adozione dei provvedimenti previsti dalle norme UNI-EN 206, UNI 11104, UNI 11417-1 e UNI 9156. In particolare, si riportano di seguito (Figura 8-1) le indicazioni della UNI 11104, che definisce le misure preventive da adottare in termini di massimo rapporto acqua/cemento (a/c), minima classe di resistenza e minimo contenuto in cemento (kg/m³). Per le classi di esposizione XA1 e XA2 è inoltre da prevedere l'impiego di cementi resistenti ai solfati secondo le indicazioni della UNI 11417. Per i dettagli si rimanda all'elaborato "Caratteristiche dei materiali".

prospetto 5 Valori limite per la composizione e le proprietà del calcestruzzo																		
UNI 11104:2016	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Classi di esposizione																
		Corrosione delle armature indotte da cloruri												Attacchi da cicli di gelo/disgelo		Ambiente aggressivo per attacco chimico		
		Corrosione delle armature indotte dalla carbonatazione						Acqua di mare										
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Massimo rapporto a/c	-	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,45
Minima classe di resistenza	C12/15	C25/30	C30/37	C32/40	C32/40	C35/45	C30/37	C32/40	C35/45	C32/40	C25/30	C30/37	C30/37	C32/40	C35/45	C30/37	C32/40	C35/45
Minimo contenuto in cemento (kg/m ³)	-	300	320	340	340	360	320	340	360	320	340	360	340	360	320	340	360	360
Contenuto minimo in aria (%)												b)	4,0 a)					
Altri requisiti						E' richiesto l'utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare a secondo UNI 9156								E' richiesto l'utilizzo di aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo		In caso di esposizione a terreno o acqua del terreno contenente solfati nei limiti del prospetto 2 della all'acqua di mare adeguata resistenza ai UNI EN 206:2014, è richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati. c)		

a) Quando il calcestruzzo non contiene aria inglobata, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI CENrS 12350 -S, UNI CENrR 15177 0 UNI 7087 per la relativa classe di esposizione. 11 valore minima di aria inglobata del 4% può ritenersi adeguato per calcestruzzi specificati con b) Dupper >20mm; per Dupper inferiori il limite minima andrà opportunamente aumentato (ad esempio 5% per Dupper tra 12 mm e 16 mm).
c) Cementi resistenti ai solfati sono definiti dalla UNI EN 197-1 e su base nazionale dalla UNI 9156. La UNI9156 classifica i cementi resistenti ai solfati in tre classi: moderata, alta e altissima resistenza soffiata. La classe di resistenza soffiata del cemento deve essere prescelta in relazione alla classe di esposizione del calcestruzzo secondo il criterio di corrispondenza della UNI 11417-1.
d) Quando si applica il concetto di valore k il rapporto massimo a/c e il contenuto minimo di cemento sono calcolati in conformità al punto 5.2.2.

Figura 8-1. Classe di esposizione secondo la UNI 11104-2016

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C FOGLIO 45 di 90

8.3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei materiali impiegati nelle opere in progetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni della Normativa vigente.

Con riferimento ai rivestimenti in calcestruzzo, si sottolinea che la classe di resistenza riportata nelle tabelle che seguono è quella utilizzata ai fini della modellazione numerica e delle verifiche strutturali. Per la completa e puntuale definizione delle caratteristiche dei materiali previsti per la realizzazione dell'opera si rimanda all'elaborato di progetto Caratteristiche dei materiali.

Rivestimento di prima fase

Calcestruzzo proiettato (fibrorinforzato)	
Classe di resistenza	<i>C 25/30</i>
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = f_{ck}/1.5 = 16.60 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 3.86 \cdot (f_{ck})^{0.6} = 26629 \text{ MPa}$
Acciaio per centine	
Tipo	<i>S275</i>
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 430 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 275 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} \geq 261.9 \text{ MPa}$

Rivestimento definitivo

Calcestruzzo armato	
Classe di resistenza di calcolo	<i>C 25/30</i>
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0.85 f_{ck}/1.5 = 14.17 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 31447 \text{ MPa}$
Tensione massima in condizioni di esercizio (NTC 2018.)	$\sigma_c = 0,6f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$ combinazione caratteristica (rara) $\sigma_c = 0,45f_{ck} = 11.20 \text{ MPa}$ combinazione quasi permanente
Acciaio per barre di armatura	
Tipo	<i>B450C</i>
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 391,3 \text{ MPa}$
Tensione massima in condizioni di esercizio (NTC 2018.)	$\sigma_{lim} = 0,80 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C FOGLIO 46 di 90

8.4 ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO

Con riferimento alle sezioni tipo individuate ed analizzate in fase di diagnosi (vedasi §7.2.1.2) si riportano nel seguito le analisi relative la fase di terapia. Per ulteriori dettagli riguardo le sezioni analizzate si rimanda al §7.2.1.2.

Tabella 8-1. Sezioni di analisi

Analisi n.	Sezione	Progressiva [m]	Formazione	Condizione analisi
1	Nicchia 2 tipo A	41+529.55	FAE	Massima copertura per la tipologia in esame / Nicchia con dimensioni maggiori
2	Nicchia 3 tipo C	68+305,00	APC	Massima copertura per la tipologia in esame / Nicchia con dimensioni maggiori

8.4.1 CRITERI DI VERIFICA

Le analisi di stabilità del fronte di scavo sono state condotte con gli stessi metodi adottati in fase di diagnosi per la valutazione del comportamento del fronte in assenza di interventi (Tamez, 1985).

Le analisi di interazione terreno-struttura, che simulando la sequenza temporale delle fasi costruttive, le condizioni finali dell'opera e quelle in esercizio, sono state condotte mediante il codice di calcolo agli elementi finiti PLAXIS 2D.

8.4.1.1 STABILITÀ DEL FRONTE

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

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

Il contributo dei rinforzi al fronte mediante VTR, previsti per le nicchie tipo C, è stato modellato mediante un incremento di coesione delle zone interessate dagli interventi. La coesione è stata definita come segue:

$$c^* = c + \frac{\Delta\sigma_3}{2} \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$$

Dove $\Delta\sigma_3$ è la pressione equivalente al fronte generata dai rinforzi, ed è il valore minimo tra la resistenza ultima delle barre e la resistenza a sfilamento:

$$\sigma_T = \min\left[\frac{4N_b A\sigma_b}{\pi D^2}, \frac{4N_b s_i \tau_a}{\pi D^2}\right]$$

8.4.1.2 INTERAZIONE OPERA-TERRENO

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

- stati limite ultimi per raggiungimento della resistenza del terreno/ammasso roccioso interessato dallo scavo (stato limite ultimo di tipo GEO), con lo sviluppo di fenomeni di instabilità del fronte o di deformazioni e spostamenti elevati al contorno ed in superficie;

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. FOGLIO C 47 di 90

- stati limite ultimi relativi al raggiungimento delle resistenze degli elementi strutturali che costituiscono gli interventi di stabilizzazione, del rivestimento di prima fase e del rivestimento definitivo (stato limite ultimo di tipo STR);
- stati limite di esercizio.

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

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

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

Per la verifica degli stati limite di esercizio (SLE) del rivestimento definitivo in calcestruzzo armato, le analisi numeriche sono condotte con i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici, adottando le pertinenti combinazioni dei carichi per la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio, secondo quanto previsto dal D.M. 17/01/2018.

Nelle analisi di interazione terreno-struttura, lo scavo della galleria viene simulato rilasciando in modo uniforme un sistema di forze equivalenti applicate sul contorno del profilo di scavo, tenendo conto della variazione del tasso di confinamento in funzione della distanza della sezione di calcolo dal fronte; in questo modo il problema tridimensionale dello scavo della galleria viene ricondotto ad un problema piano, con la possibilità di valutare le azioni sulle strutture di rivestimento al progredire degli avanzamenti.

Le strutture di rivestimento provvisorio della galleria vengono simulate con elementi beam elastico-lineari, con proprietà di rigidità ed inerzia definite considerando la sola sezione di spritz-beton, trascurando il contributo delle centine.

La verifica a taglio e pressoflessione delle centine può essere condotta (per tutte le classi di sezione e tenendo in conto eventuali instabilità locali) confrontando la tensione ideale calcolata a partire dalle tensioni indotte da ciascuna componente della sollecitazione (sforzo normale., taglio e momento), con la resistenza di calcolo dell'acciaio, come di seguito specificato:

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

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

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

dove:

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

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

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

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 48 di 90

- M_{Sd} e V_{Sd} rappresentano il momento flettente e il taglio di calcolo;
- $A_{V,cent}$ rappresenta l'area resistente a taglio della centina.

La verifica dello spritz-beton e delle centine è stata eseguita a 28 giorni.

8.4.2 ANALISI N.1 – NICCHIA 2, TIPO A

La diagnosi, i cui risultati sono riportati al §7.2.1.2, ha evidenziato condizioni di fronte stabile a breve e lungo termine ($FS=3.74$). Non si prevedono pertanto, per la nicchia 2 tipo A, interventi di sostegno al fronte.

L'analisi eseguita con il codice di calcolo Plaxis 2D simula invece lo scavo della Nicchia 2 Tipo A durante tutte le fasi realizzative

8.4.2.1 MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico di sottosuolo in corrispondenza della sezione di analisi prevede l'Unità del Flysch di Faeto per tutta l'estensione del modello. I livelli piezometrici sono inferiori alla posizione dell'arco rovescio, quindi non interferenti con lo scavo. Per l'ammasso roccioso, in relazione alle dimensioni dell'opera e alla spaziatura delle discontinuità, si è utilizzato il modello di mezzo continuo equivalente (cfr. fase conoscitiva) e l'analisi dello stato tensio-deformativo è stata condotta in termini di tensioni efficaci.

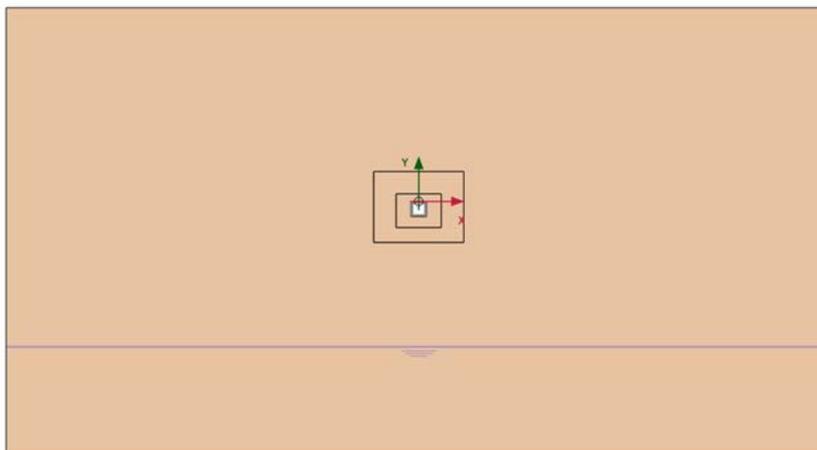


Figura 8-2. Modello numerico

La seguente tabella riassume i dati di input che caratterizzano la sezione geotecnica utilizzata per l'analisi numerica.

Tabella 8-2. Sezione geotecnica di calcolo

Stratigrafia di calcolo		C	Falda	γ	c'_k	φ'_k	E'	K_0
Formazione	Profondità da p.c.							
[-]	[m]	[m]	[m da calotta.]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
FAE	Modello omogeneo	52	Profonda	26	600	40	1500	0.7

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C FOGLIO 49 di 90

C = copertura (rispetto alla calotta)
 γ = peso per unità di volume
 c'_k = coesione drenata
 ϕ'_k = angolo di attrito interno
 E = modulo elastico
 K_0 = coefficiente di spinta a riposo

8.4.2.2 MODELLO GEOMETRICO

La mesh di calcolo è costituita da 7312 elementi triangolari, opportunamente intensificati nelle zone di maggiore interesse in corrispondenza della sezione della nicchia, in modo da seguire il più fedelmente possibile le geometrie locali delle strutture. Lateralmente il modello è vincolato in direzione orizzontale (“normally fixed”); il limite inferiore è completamente vincolato (“fully fixed”); quello superiore è libero (“free”).

La griglia presenta una base di 104 m e un’altezza complessiva di 120 m (Figura 8-3); i bordi sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria (a distanza >3D con D=diametro della galleria), così da escludere possibili influenze delle condizioni di vincolo sui risultati delle analisi.

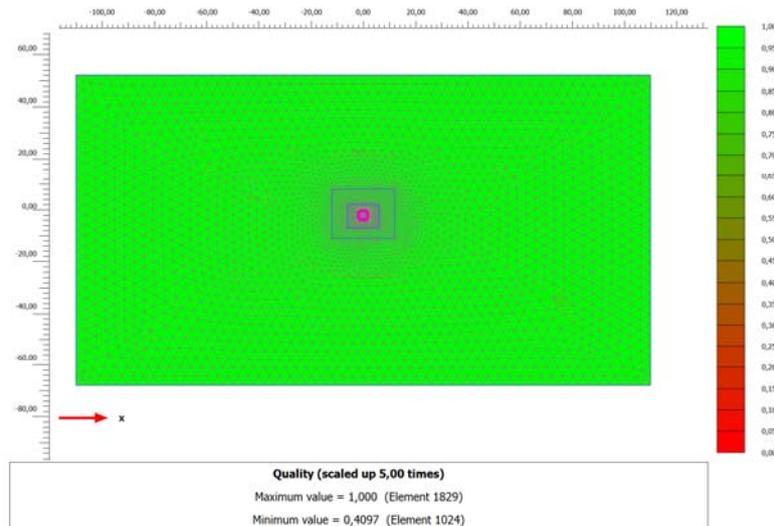


Figura 8-3. Modello numerico, geometria e qualità della mesh

Il rivestimento di prima fase è stato simulato utilizzando elementi tipo “beam”, aventi modello costitutivo elastico lineare, così il cluster di volume impiegato per modellare il rivestimento definitivo. Il modello costitutivo dell’ammasso è elasto-plastico con criterio di resistenza di “Mohr-Coulomb”.

Si riportano di seguito le caratteristiche del rivestimento provvisorio della nicchia in esame:

Tabella 8-3. Caratteristiche del rivestimento di prima fase della galleria di linea

Caratteristiche	Spritz beton/Centine
Spessore dello spritz beton [m]	0.15
Tipologia profilati	HEA140
Classe acciaio	S275
Interasse longitudinale profilato [m]	0.8 ± 20%
Area resistente della centina Acent [cm ²]	31,40
Modulo resistente elastico della centina Wcent [cm ³]	155,4

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C FOGLIO 50 di 90

Momento d'inerzia Icent [cm ⁴]	1033
Rigidezza assiale EA [kN/m]	4900000
Rigidezza Flessionale EJ [kN*m/m]	10400

Il rivestimento definitivo della nicchia è realizzato con un calcestruzzo di classe C25/30 e presenta uno spessore di 50 cm in calotta e piedritti verticali; la soletta di base ha un'altezza della sezione di 60 cm.

Le analisi di interazione con il codice di calcolo Plaxis 2D sono state condotte in condizioni "Drained", quindi in condizioni drenate con parametri di resistenza del terreno efficaci.

8.4.2.3 FASI DI CALCOLO

Nelle analisi svolte in condizioni di deformazione piana lo scavo della galleria è stato simulato con il metodo delle forze di scavo equivalenti, al fine di tenere conto della natura tridimensionale del problema. In particolare, l'effetto dell'avanzamento dello scavo viene modellato rilasciando un sistema di forze applicate sul contorno dello scavo. La riduzione delle forze di scavo a partire dalla condizione originaria è definita tramite un fattore di rilascio, funzione della distanza dal fronte ("rilascio forze di scavo").

Lo scavo della nicchia è stato simulato in più fasi, attribuendo alla fase di pre-convergenza un tasso di rilascio del 28% delle forze. Lo scavo del primo sfondo in avanzamento (0.8 m) è stato simulato rilasciando il 47% delle forze ed installando nella fase successiva il rivestimento di prima fase. Lo scavo del secondo sfondo ed ultimo sfondo è stato invece associato ad un tasso di deconfinamento del 70%. Successivamente è stata simulata l'installazione dei rivestimenti definitivi con il conseguente decadimento dei prerinvestimenti, imponendo il completo rilascio tensionale al contorno dello scavo.

Più nello specifico i tassi di rilascio tensionali impiegati nell'analisi sono stati valutati secondo la soluzione di Panet in accordo alla Figura 8-4 in funzione del Numero di stabilità Ns:

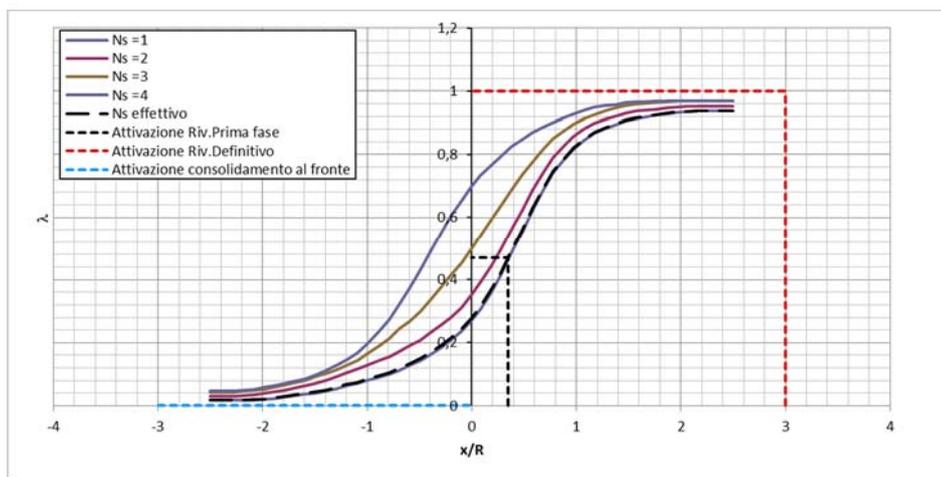


Figura 8-4. Curva tasso di rilascio-distanza dal fronte – Soluzione di Panet per una copertura di 52 m

Tabella 8-4. Tassi di rilascio secondo Panet

x [m]	R [m]	x/R [-]	Ns [-]	λ [%]
0.0	2.3	0.00	1.1	28
0.8	2.3	0.35	1.1	47
1.6	2.3	0.70	1.1	70

La seguente tabella riporta la successione delle fasi di calcolo utilizzate nell'analisi di interazione opera-terreno.

Tabella 8-5. Fasi di calcolo (analisi 1)

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C FOGLIO 51 di 90

Fase	Descrizione	λ [%]
-	Creazione della geometria del modello	-
0	Inizializzazione dello stato tensionale geostatico in condizioni elastiche	-
0	Inizializzazione dello stato tensionale geostatico in condizioni plastiche (modello costitutivo di Mohr-Coulomb)	-
SCAVO DELLA NICCHIA		
1	Pre-convergenza del fronte	28
2	Scavo primo sfondo in avanzamento (0.8m)	47
3	Installazione rivestimento di 1° fase	47
4	Scavo secondo sfondo in avanzamento di 0.8 m	70
5	Attivazione del rivestimento definitivo e deconfinamento completo	100
LUNGO TERMINE		
6	Ripristino delle condizioni iniziali al contorno	100

8.4.2.4 ANALISI E COMMENTO DEI RISULTATI

Nel seguito sono illustrati e commentati i risultati dell'analisi numerica svolta secondo la fasistica riportata in Tabella 8-5. In allegato si riportano i risultati in termini tensionali e deformativi di tutte le fasi calcolo. In particolare, l'allegato illustra le componenti verticale e orizzontale degli spostamenti totali cumulati, i vettori degli spostamenti totali, le plasticizzazioni al contorno del cavo e la tensione principale massima con le direzioni delle tensioni principali. Per le fasi pertinenti, riporta inoltre le caratteristiche della sollecitazione negli elementi strutturali del modello (liner).

- FASE 1** Viene simulato il rilascio a cavo libero del fronte della nicchia. Il campo di spostamenti mostra spostamenti verticali pari a circa 1 mm in calotta, 1.2 mm in soletta, mentre gli spostamenti orizzontali lungo i piedritti verticali ammontano a circa 0.7 mm. Non sono presenti zone plasticizzate.
- FASE 2** Viene simulato il primo sfondo in avanzamento. Il cedimento verticale cumulato in calotta è pari a 1.7 mm, lo spostamento orizzontale cumulato ai piedritti raggiunge 1.15 mm, mentre il sollevamento cumulato in soletta è di 1.9 mm. Non sono presenti zone plasticizzate.
- FASE 3** Viene simulata l'attivazione del rivestimento di prima fase. Il rilascio tensionale rimane invariato, così gli spostamenti orizzontali e verticali.
- FASE 4** Viene simulato il secondo sfondo in avanzamento. Il cedimento verticale cumulato in calotta è pari a 2.3 mm, lo spostamento orizzontale cumulato ai piedritti raggiunge 1.65 mm, mentre il sollevamento cumulato in soletta è di 2.77 mm. Non sono presenti zone plasticizzate.
- FASE 5** Viene simulata l'attivazione del rivestimento definitivo. Il rilascio tensionale rimane invariato, così gli spostamenti orizzontali e verticali.
- FASE 6** Vengono ripristinate le condizioni al contorno del terreno indisturbato. In questa fase si ha il deconfinamento completo delle forze. Il cedimento verticale cumulato in calotta è pari a 2.7 mm, lo spostamento orizzontale cumulato ai piedritti raggiunge 1.8 mm, mentre il sollevamento cumulato in soletta è di 3.0 mm. Non sono presenti zone plasticizzate.

8.4.2.5 VERIFICHE STRUTTURALI SLU DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

La verifica strutturale (SLU STR) del rivestimento di prima fase prevede il confronto tra le sollecitazioni di calcolo, ottenute a partire dai risultati del modello numerico applicando i relativi coefficienti parziali, e le resistenze di calcolo. In particolare, le sollecitazioni ottenute dalle analisi numeriche, amplificate mediante l'applicazione dei coefficienti parziali di Normativa, sono gestite ripartendo lo sforzo normale (N) tra centine e spritz-beton in base alle

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 52 di 90

rigidezze assiali relative; il taglio (T) e il momento flettente (M) sono assegnati interamente alle centine. Lo spritz-beton è verificato a semplice compressione.

Le verifiche sono state eseguite per la fase di calcolo 4, che massimizza le sollecitazioni sul rivestimento provvisorio. Di seguito di riportano le sollecitazioni agenti sui rivestimenti di prima fase. Sono state escluse le zone adiacenti agli spigoli, poste all'incrocio, tra piedritti e calotta poiché in tali aree si assiste ad una concentrazione di sforzi, generata da necessità di convergenza numerica.

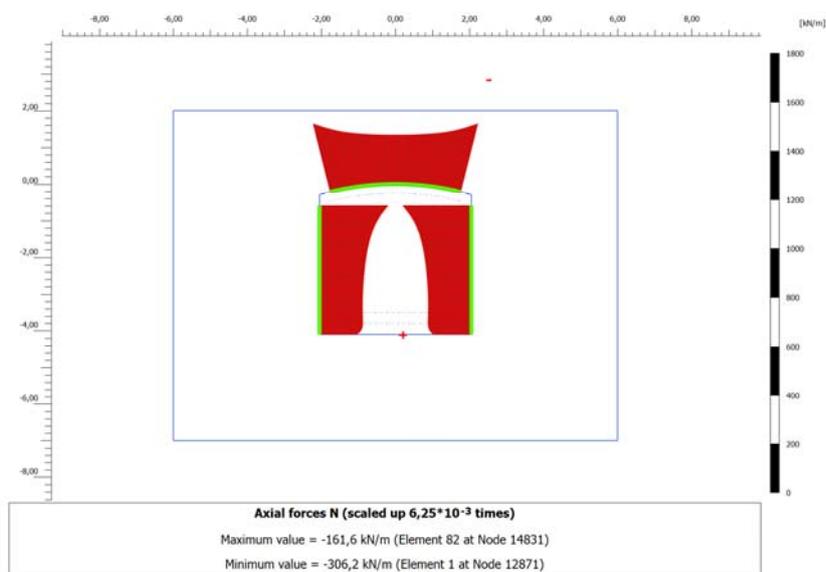


Figura 8-5. Andamento dello sforzo normale sul rivestimento di prima fase

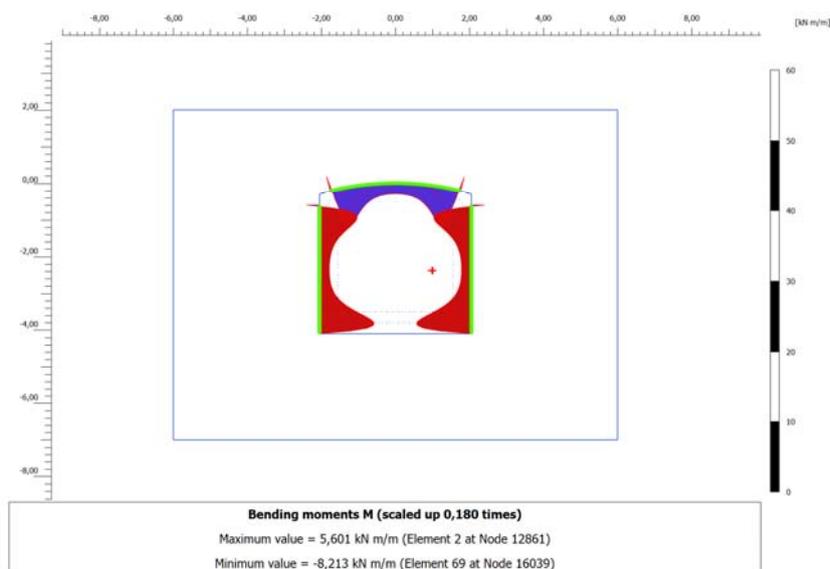


Figura 8-6. Andamento del momento flettente sul rivestimento di prima fase

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 53 di 90

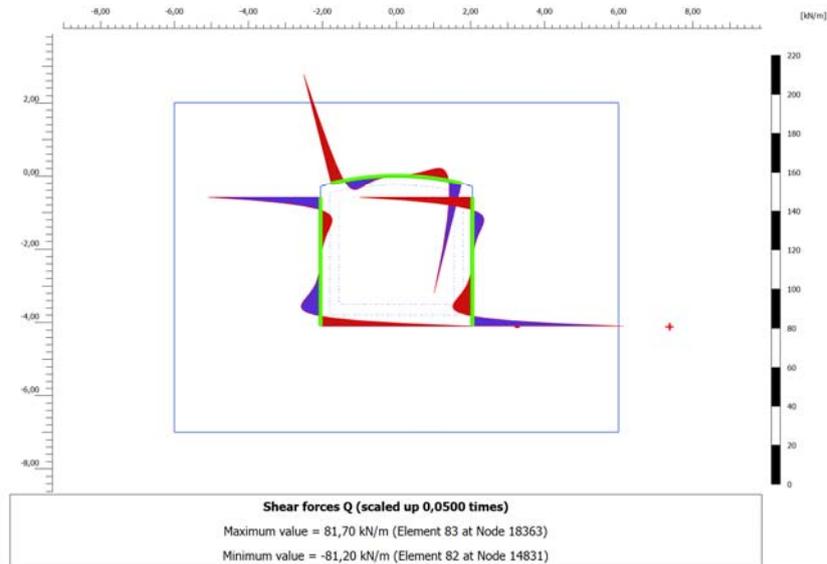


Figura 8-7. Andamento dello sforzo di taglio sul rivestimento di prima fase

Nelle seguenti figure sono riportate le verifiche strutturali eseguite sul rivestimento di prima fase:

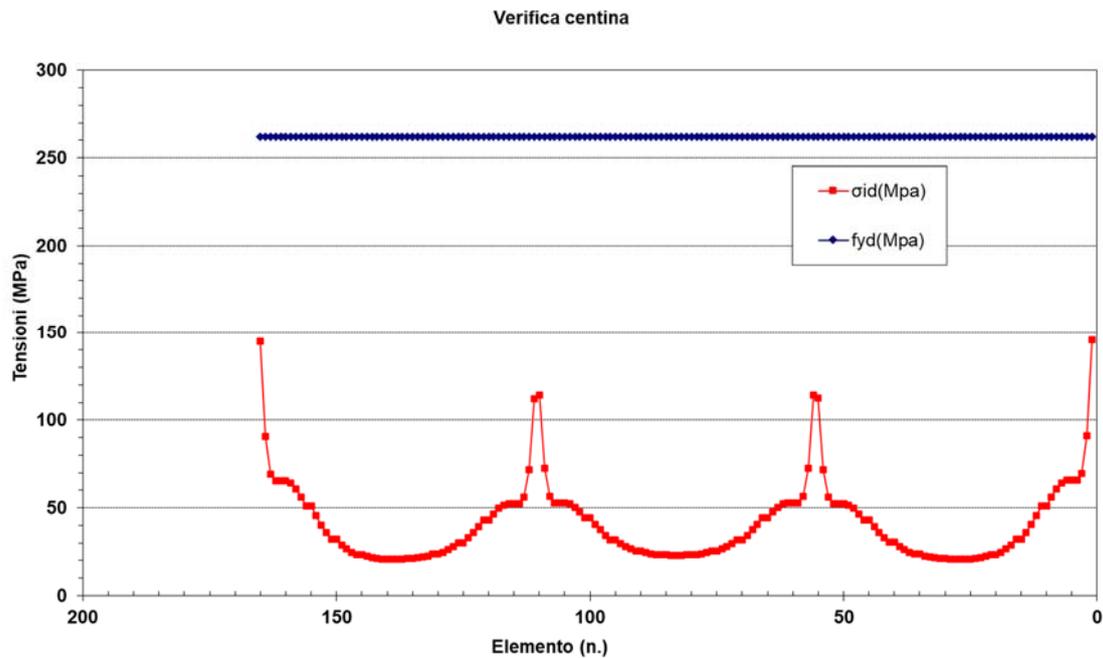


Figura 8-8. Verifica tensionale delle centine – Fase di calcolo n.4

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 54 di 90

8.4.3 ANALISI N.2 – NICCHIA 3, TIPO C

La diagnosi, i cui risultati sono riportati al §7.2.1.2, ha evidenziato condizioni di instabilità a lungo termine del fronte (FS=1.27). Pertanto, per la nicchia 3 tipo C, sono previsti interventi di sostegno al fronte mediante VTR. Nei modelli di calcolo l'effetto di tali interventi è stato considerato mediante un incremento del valore della coesione al fronte.

Nel capitolo seguente si riportano i dettagli delle analisi eseguite, ivi comprese quelle per la definizione dell'incremento di coesione al fronte.

Le analisi di interazione sono state eseguite con il codice di calcolo Plaxis 2D, che ha permesso di simulare tutte le fasi realizzative necessarie allo scavo e rivestimento della Nicchia 3 Tipo C.

8.4.3.1 MODELLO GEOTECNICO

Il modello geotecnico di sottosuolo in corrispondenza della sezione di analisi prevede l'Unità delle Argilliti policrome del calaggio (APC) per tutta l'estensione del modello. I livelli piezometrici sono al disopra della calotta, quindi interferenti con lo scavo delle stesse. Per l'ammasso roccioso, in relazione alle dimensioni dell'opera e alla spaziatura delle discontinuità, si è utilizzato il modello di mezzo continuo equivalente (cfr. fase conoscitiva) e l'analisi dello stato tensio-deformativo è stata condotta in termini di tensioni efficaci. Il sottosuolo è stato inoltre discretizzato in cinque porzioni, così da modellare al meglio il miglioramento delle proprietà meccaniche dell'unità con la profondità.

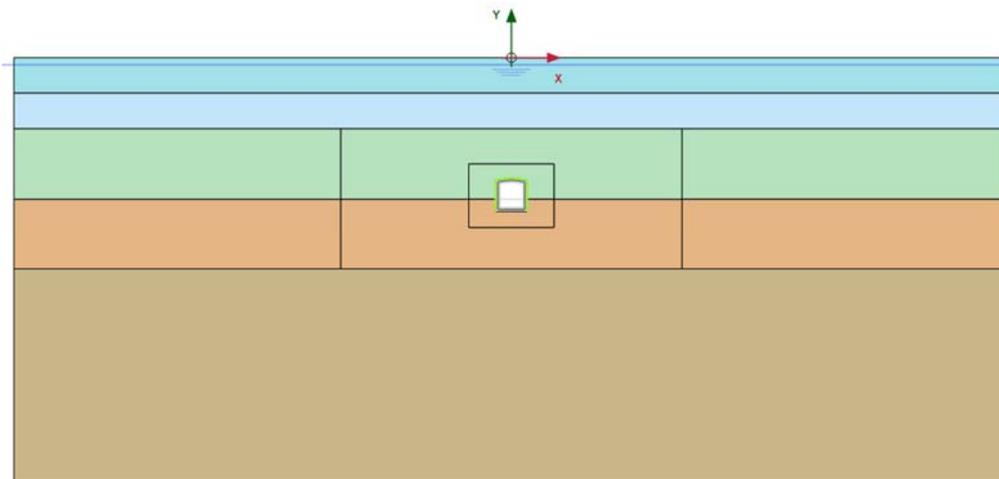


Figura 8-9. Modello numerico

La seguente tabella riassume i dati di input che caratterizzano la sezione geotecnica utilizzata per l'analisi numerica.

Tabella 8-6. Sezione geotecnica di calcolo

Stratigrafia di calcolo		C	Falda	γ	c'K	ϕ 'K	E'	K0
Formazione	Profondità da p.c.							
[-]	[m]	[m]	[m da calotta.]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
APC	-5.0	5.0	Assente	20	15	23	30	1-sen(ϕ ')
APC	-10.0	10.0	Assente	20	15	23	50	1-sen(ϕ ')
APC	-20.0	17.0	Assente	20	20	23	80	1-sen(ϕ ')
APC	-30.0	17.0	Assente	20	20	23	100	1-sen(ϕ ')
APC	-60.0	17.0	Assente	20	23	23	180	1-sen(ϕ ')

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C FOGLIO 55 di 90

C = copertura (rispetto alla calotta)
 γ = peso per unità di volume
 $c'K$ = coesione drenata
 $\varphi'K$ = angolo di attrito interno
 E' = modulo elastico
 K_0 = coefficiente di spinta a riposo

Alla luce dei risultati ottenuti dalla diagnosi, nella seguente tabella si riportano i dettagli degli interventi di sostegno del fronte di scavo ed i passaggi di calcolo necessari alla definizione della coesione equivalente secondo quanto già indicato al §8.4.1.1. Per il calcolo della coesione equivalente, la lunghezza delle barre è stata opportunamente ridotta (da 8 a 5 m) per considerare la porzione eliminata dalle operazioni di scavo.

Tabella 8-7. Sezione 3 tipo C – Sostegno al fronte e calcolo della coesione equivalente.

BARRE AL FRONTE - CALCOLO DELL'INCREMENTO DI COESIONE (Grasso et al. 1989, Peila 1994)							
Input							
c' (kPa) =	20	Coesione del terreno non trattat					
Φ (°) =	23	Angolo di resistenza al taglio in condizioni drenate					
n (-) =	12	numero di barre al fronte					
Type	VTR	tipologia di rinforzo					
\varnothing_{est} (m) =	30	Area esterna barra					
\varnothing_{int} (m) =	20	Area Interna (solo barra VTR)					
A (m ²) =	0,00157	Area barra					
σ_{amm} (MPa) =	667	Tensione rottura/snervamento delle barre					
Sez (m2) =	20,5	Area fronte di scavo					
L (m) =	5	Lunghezza efficace della barra (al netto del tratto rimosso dallo scavo)					
D (mm) =	100	Diametro perforazione					
S_L (m2) =	1,57	Superficie laterale del foro					
τ_{amm} (kPa) =	120	Resistenza a sfilamento dell'ancoraggio					
Output							
L (m) =	7	6	5	4	3	2	Lunghezze possibili delle barre
S_L (m2) =	2,20	1,88	1,57	1,26	0,94	0,63	Superficie laterale resistente a sfilamento
$F_{d,VTR}$ (MPa) =	613,0	613,0	613,0	613,0	613,0	613,0	Resistenza a rottura del singolo VTR
$\alpha \tau_{amm}$ (kPa) =	154,47	132,41	110,34	88,27	66,20	44,14	Resistenza a sfilamento del singolo VTR
σ_T (kPa) =	154,47	132,41	110,34	88,27	66,20	44,14	Pressione equivalente al fronte
c' rinforzo (kPa) =	136,7	120,0	103,4	86,7	70,0	53,3	Coesione equivalente al fronte

8.4.3.2 TERAPIA (TAMEZ & CORNEJO, 1985)

Nel seguito si riportano le analisi di stabilità secondo l'approccio proposto da Tamez & Cornejo (1985) in fase di diagnosi, ovvero in considerazione del miglioramento delle caratteristiche meccaniche del fronte di scavo conseguente all'installazione dei rinforzi.

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	PIZZAROTTI				ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF			
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	

TERAPIA - TAMEZ (1985)		
GN "Hirpinia" - Nicchia 3 tipo C		
Dati geometrici della galleria		
Larghezza della galleria [m]	b=	4,4
Altezza della galleria [m]	h=	4,75
Area di scavo [m ²]	A=	86,84
Lunghezza libera non sostenuta [m]	a=	1
Copertura [m]	Z=	17
Profondità falda dal p.c [m]	w=	17
Peso di volume dell'acqua [kN/m ³]	Y _w =	10
Pressione dell'acqua [kPa]	u=	0
Coefficiente spinta a riposo [-]	ko=	0,678454
Pressione di stabilizzazione [kPa]	Pe=	0
Parametri geotecnici degli strati di copertura		
Strato 1		
Unità geotecnica [-]		APC
Peso unità di volume [kN/m ³]	Y=	20
Angolo di attrito di progetto [°]	φ _d =	18,76
Coesione di progetto [kPa]	c _d =	12
Spessore [m]	s=	12,2
Parametri geotecnici del materiale al fronte di scavo		
Unità geotecnica [-]		APC
Peso unità di volume [kN/m ³]	Y=	20
Angolo di attrito di progetto [°]	φ _d =	18,76
Coesione di progetto [kPa]	c _d =	82,4
Risultati		
Tipo di galleria [-]	Deep Tunnel	
Sforzo di taglio prisma 2 [kPa]	τ _{m2}	226,5472
Sforzo di taglio prisma 3 [kPa]	τ _{m3}	34,51414
FS stabilità fronte [-]	FS _f	2,271426
FS stabilità prisma 3 sopra calotta [-]	FS ₃	1,863764
FS minimo	FS _{min}	1,863764
Comportamento [-]	Elasto-Plastico	
Classe di comportamento [-]	FRONTE STABILE	

Il fronte di scavo, a seguito dei consolidamenti, risulta stabile a breve termine con un fattore di sicurezza FS=1.86

8.4.3.3 MODELLO GEOMETRICO

La mesh di calcolo è costituita da 14024 elementi triangolari, opportunamente intensificati nelle zone di maggiore interesse in corrispondenza della sezione della nicchia, in modo da seguire il più fedelmente possibile le geometrie locali delle strutture. Lateralmente il modello è vincolato in direzione orizzontale (*"normally fixed"*); il limite inferiore è completamente vincolato (*"fully fixed"*); quello superiore è libero (*"free"*).

La griglia presenta una base di 140 m e un'altezza complessiva di 70 m (Figura 8-10); i bordi sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria (a distanza >3D con D=diametro della galleria), così da escludere possibili influenze delle condizioni di vincolo sui risultati delle analisi.

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 57 di 90

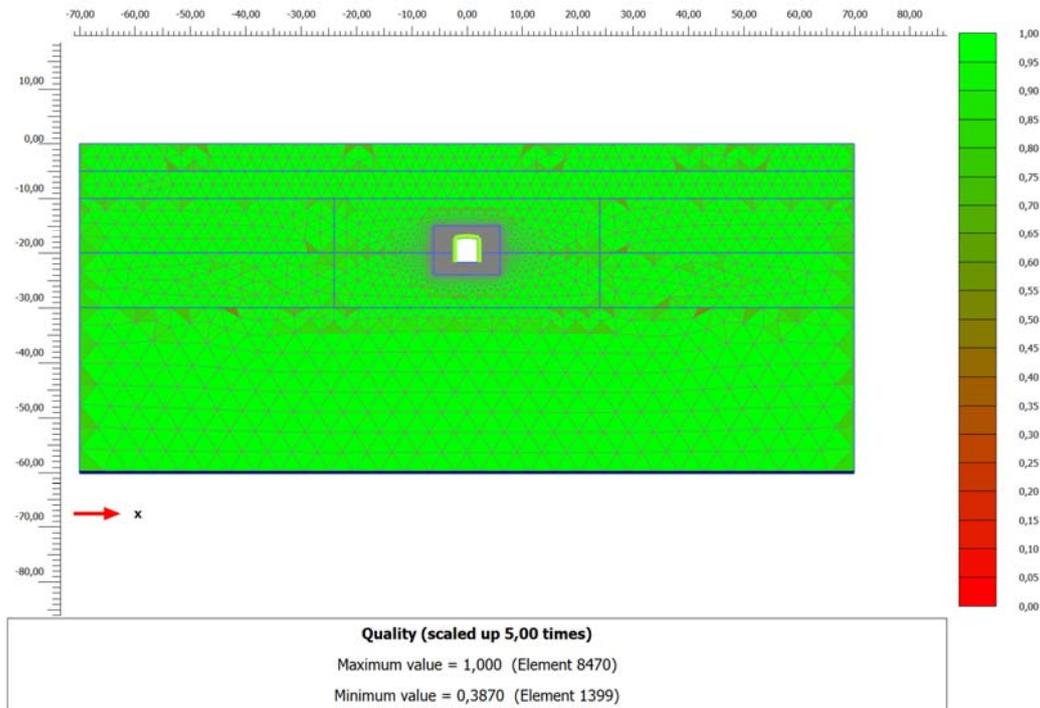


Figura 8-10. Modello numerico, geometria e qualità della mesh

Il rivestimento di prima fase è stato simulato utilizzando elementi tipo “beam”, aventi modello costitutivo elastico lineare, così il cluster di volume impiegato per modellare il rivestimento definitivo. Il modello costitutivo dell’ammasso è elasto-plastico con criterio di resistenza di “Mohr-Coulomb”.

Si riportano di seguito le caratteristiche del rivestimento provvisorio della nicchia in esame:

Tabella 8-8. Caratteristiche del rivestimento di prima fase della galleria di linea

Caratteristiche	Spritz beton/Centine
Spessore dello spritz beton [m]	0.20
Tipologia profilati	HEA180
Classe acciaio	S275
Interasse longitudinale profilato [m]	1.0 ± 20%
Area resistente della centina Acent [cm ²]	45.3
Modulo resistente elastico della centina Wcent [cm ³]	293.6
Momento d’inerzia Icent [cm ⁴]	2510
Rigidezza assiale EA [kN/m]	6360000
Rigidezza Flessionale EJ [kN*m/m]	24300

Il rivestimento definitivo della nicchia è realizzato con un calcestruzzo di classe C25/30 e presenta uno spessore di 60 cm in calotta piedritti verticali e soletta di base.

Le analisi di interazione con il codice di calcolo Plaxis 2D sono state condotte in condizioni “Undrained A”, quindi in condizione non drenate con parametri di resistenza del terreno efficaci. La falda è stata posta alla quota di -1.0 m da piano campagna (+ 16.0 m dalla calotta).

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 58 di 90

8.4.3.4 FASI DI CALCOLO

Nelle analisi svolte in condizioni di deformazione piana lo scavo della galleria è stato simulato con il metodo delle forze di scavo equivalenti, al fine di tenere conto della natura tridimensionale del problema. In particolare, l'effetto dell'avanzamento dello scavo viene modellato rilasciando un sistema di forze applicate sul contorno dello scavo. La riduzione delle forze di scavo a partire dalla condizione originaria è definita tramite un fattore di rilascio, funzione della distanza dal fronte ("rilascio forze di scavo").

Lo scavo della nicchia è stato simulato in più fasi, attribuendo alla fase di pre-convergenza un tasso di rilascio del 43% delle forze. Lo scavo del primo sfondo in avanzamento (1.0 m) è stato simulato rilasciando il 63% delle forze ed installando nella fase successiva il rivestimento di prima fase. Lo scavo del secondo sfondo ed ultimo sfondo è stato invece associato ad un tasso di deconfinamento del 80%. Successivamente è stata simulata l'installazione dei rivestimenti definitivi con il conseguente decadimento dei priverivestimenti, imponendo il completo rilascio tensionale al contorno dello scavo.

Più nello specifico i tassi di rilascio tensionali impiegati nell'analisi sono stati valutati secondo la soluzione di Panet in accordo alla Figura 8-11 in funzione del Numero di stabilità Ns:

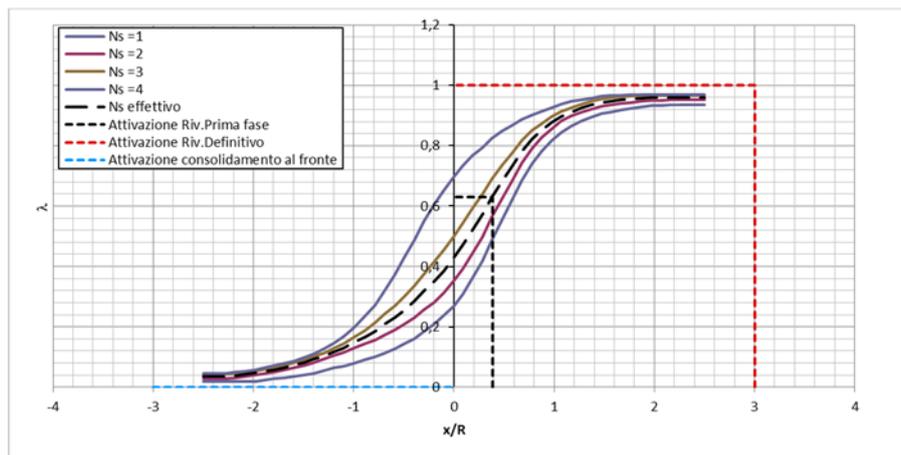


Figura 8-11. Curva tasso di rilascio-distanza dal fronte – Soluzione di Panet per una copertura di 17 m

Tabella 8-9. Tassi di rilascio secondo Panet

x [m]	R [m]	x/R [-]	Ns [-]	λ [%]
0.0	2.6	0.00	2.52	43
1.0	2.6	0.38	2.52	64
2.0	2.6	0.77	2.52	80

La seguente tabella riporta la successione delle fasi di calcolo utilizzate nell'analisi di interazione opera-terreno.

Tabella 8-10. Fasi di calcolo (analisi 1)

Fase	Descrizione	λ [%]
-	Creazione della geometria del modello	-
0	Inizializzazione dello stato tensionale geostatico in condizioni elastiche	-
0	Inizializzazione dello stato tensionale geostatico in condizioni plastiche (modello costitutivo di Mohr-Coulomb)	-
SCAVO DELLA NICCHIA		

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C FOGLIO 59 di 90

1	Pre-convergenza del fronte e analisi di filtrazione disaccoppiata	43
2	Scavo primo sfondo in avanzamento (1.0 m)	64
3	Installazione rivestimento di 1° fase	64
4	Scavo secondo sfondo in avanzamento di 1m	80
5	Attivazione del rivestimento definitivo e deconfinamento completo	100

8.4.3.5 ANALISI E COMMENTO DEI RISULTATI

Nel seguito sono illustrati e commentati i risultati dell'analisi numerica svolta secondo la fasistica riportata in Tabella 8-10. In allegato si riportano i risultati in termini tensionali e deformativi di tutte le fasi calcolo. In particolare, l'allegato illustra le componenti verticale e orizzontale degli spostamenti totali cumulati, i vettori degli spostamenti totali, le plasticizzazioni al contorno del cavo e la tensione principale massima con le direzioni delle tensioni principali. Per le fasi pertinenti, riporta inoltre le caratteristiche della sollecitazione negli elementi strutturali del modello (liner).

- FASE 1** Viene simulato il rilascio a cavo libero del fronte della nicchia. Il campo di spostamenti mostra spostamenti verticali pari a circa 4.5 mm in calotta, 3.3 mm in soletta, mentre gli spostamenti orizzontali lungo i piedritti verticali ammontano a circa 2.8 mm. Sono presenti zone di plasticizzazione di modesta estensione nelle zone di angolo e al piede delle centine.
- FASE 2** Viene simulato il primo sfondo in avanzamento. Il cedimento verticale cumulato in calotta è pari a 7.8 mm, lo spostamento orizzontale cumulato ai piedritti raggiunge 4.9 mm, mentre il sollevamento cumulato in soletta è di 5.2 mm. Sono presenti zone plasticizzate di estensione maggiore, che riguardano il terreno a tergo dei pilastri, dallo spigolo superiore a quello inferiore.
- FASE 3** Viene simulata l'attivazione del rivestimento di prima fase. Il rilascio tensionale rimane invariato, così gli spostamenti e i punti plastici.
- FASE 4** Viene simulato il secondo sfondo in avanzamento. Il cedimento verticale cumulato in calotta è pari a 9.7 mm, lo spostamento orizzontale cumulato ai piedritti raggiunge 6.9 mm, mentre il sollevamento cumulato in soletta è di 6.4 mm. Si osserva un'estensione delle zone plasticizzate a tergo dei piedritti.
- FASE 5** Viene simulata l'attivazione del rivestimento definitivo e il deconfinamento completo della cavità. Il cedimento verticale cumulato in calotta è pari a 10.0 mm, lo spostamento orizzontale cumulato ai piedritti raggiunge i 7.0 mm, mentre il sollevamento cumulato in soletta rimane invariato a 6.3 mm. L'estensione delle zone plasticizzate rimane all'incirca uguale a quella della fase 4.

8.4.3.6 VERIFICHE STRUTTURALI SLU DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

La verifica strutturale (SLU STR) del rivestimento di prima fase prevede il confronto tra le sollecitazioni di calcolo, ottenute a partire dai risultati del modello numerico applicando i relativi coefficienti parziali, e le resistenze di calcolo. In particolare, le sollecitazioni ottenute dalle analisi numeriche, amplificate mediante l'applicazione dei coefficienti parziali di Normativa, sono gestite ripartendo lo sforzo normale (N) tra centine e spritz-beton in base alle rigidzze assiali relative; il taglio (T) e il momento flettente (M) sono assegnati interamente alle centine. Lo spritz-beton è verificato a semplice compressione.

Le verifiche sono state eseguite per la fase di calcolo 4, che massimizza le sollecitazioni sul rivestimento provvisorio. Di seguito di riportano le sollecitazioni agenti sui rivestimenti di prima fase. Sono state escluse le zone adiacenti agli spigoli, poste all'incrocio tra piedritti e calotta, poiché in tali aree si assiste ad una concentrazione di sforzi, generata da necessità di convergenza numerica.

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI			ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA			RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo			COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 60 di 90

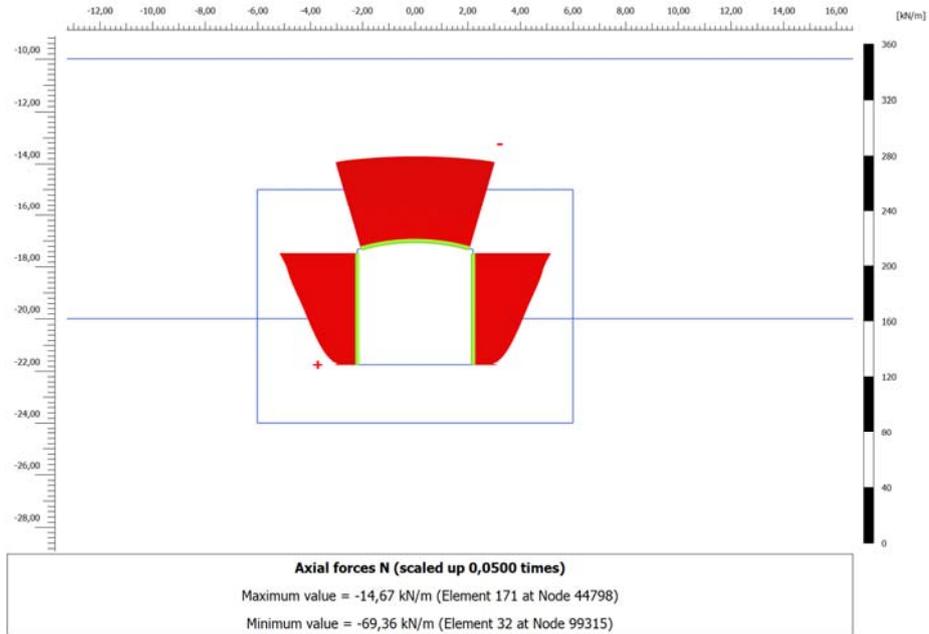


Figura 8-12. Andamento dello sforzo normale sul rivestimento di prima fase – Fase di calcolo n. 4

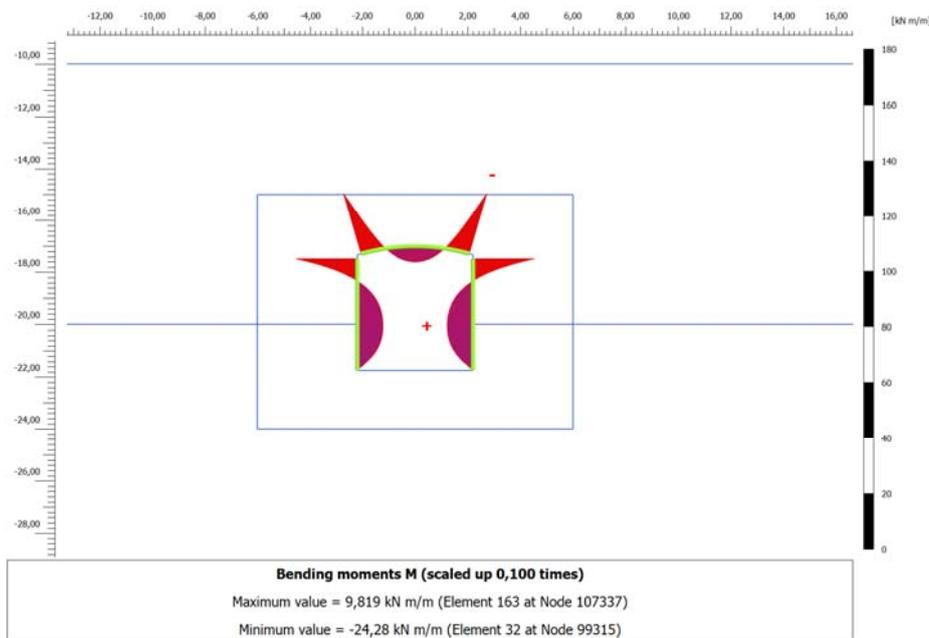


Figura 8-13. Andamento del momento flettente sul rivestimento di prima fase – Fase di calcolo n.4

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI			ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA								
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo			COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 61 di 90

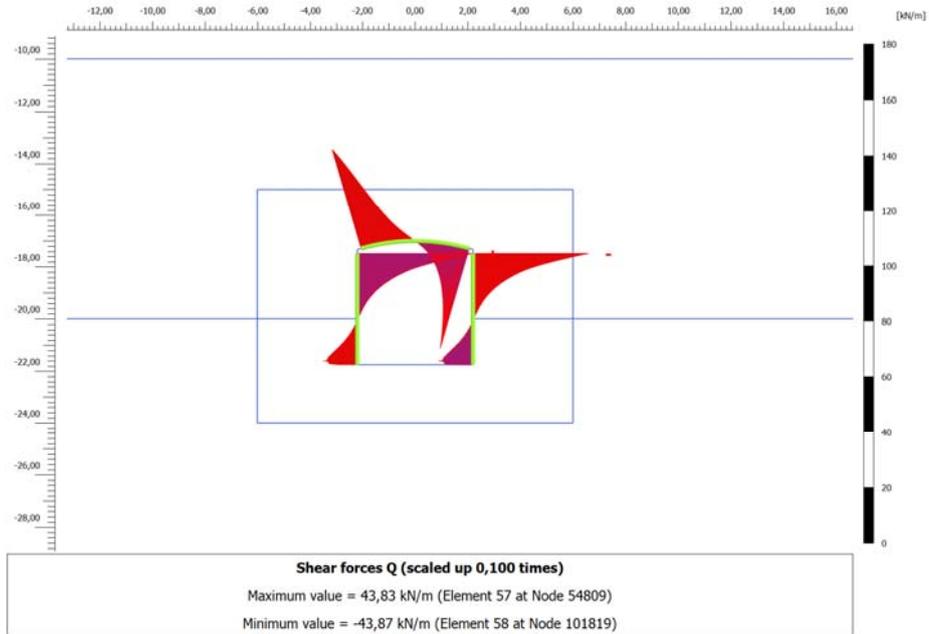


Figura 8-14. Andamento dello sforzo di taglio sul rivestimento di prima fase – Fase di calcolo n.4

Nel seguito, si riporta la verifica tensionale delle centine eseguita sul rivestimento di prima fase:

Verifica centina

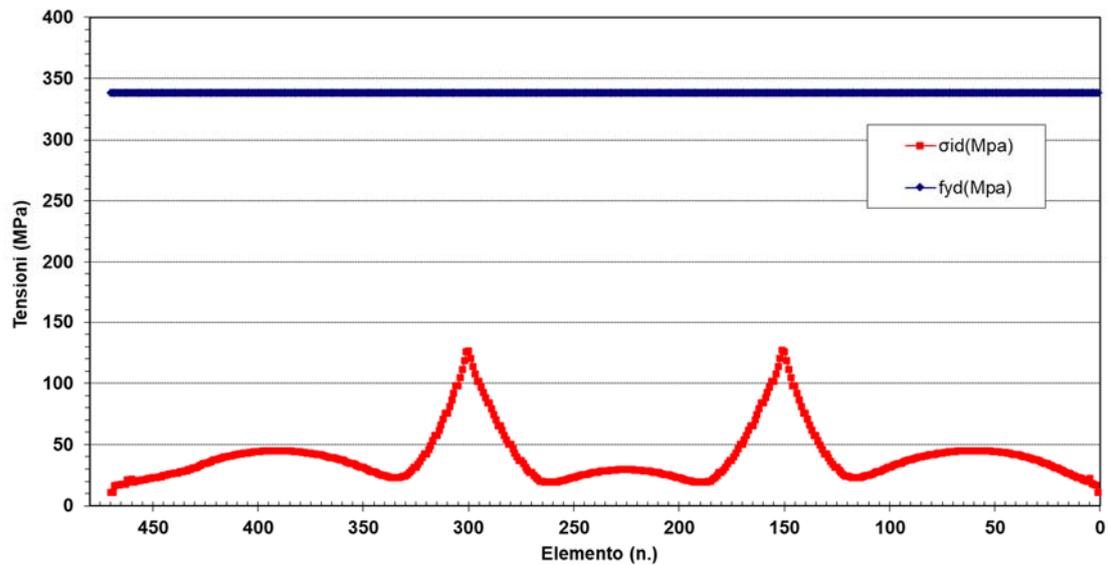


Figura 8-15. Verifica tensionale delle centine – Fase di calcolo n.4

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 62 di 90

8.4.4 ANALISI STRUTTURALI TRIDIMENSIONALI DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Il dimensionamento del rivestimento definitivo delle nicchie viene effettuato sul tipologico della nicchia 3 tipo C, che presenta le condizioni più gravose sia per geometria che per condizioni di stabilità del fronte.

Per la verifica strutturale del rivestimento definitivo e della parete di fondo della nicchia, è stato implementato un modello tridimensionale agli elementi finiti mediante il programma SAP2000. Il corpo della nicchia è stato simulato per mezzo di elementi shell di spessore pari a 60 cm tali da simulare la geometria dell'opera oggetto di analisi. La verifica dei rivestimenti definitivi della galleria è stata condotta considerando la fase di lungo termine.

Le analisi e le relative verifiche sono stati eseguite considerando le sollecitazioni agenti nelle due direzioni principali 1-1 e 2-2 come indicato nell'immagine seguente.

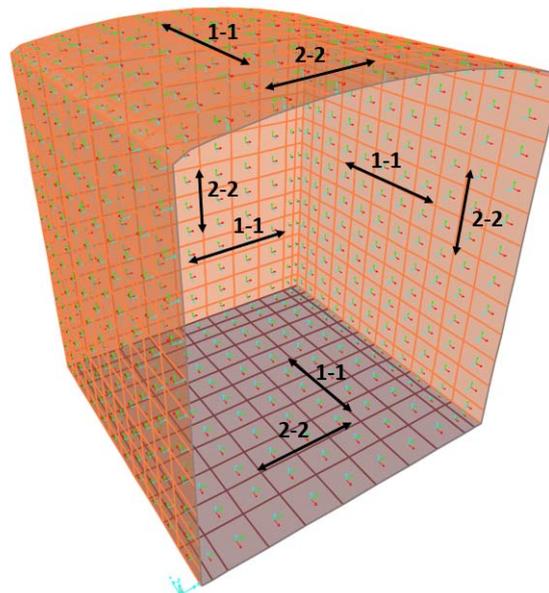


Figura 8-16. Modello 3D – Direzione assi locali

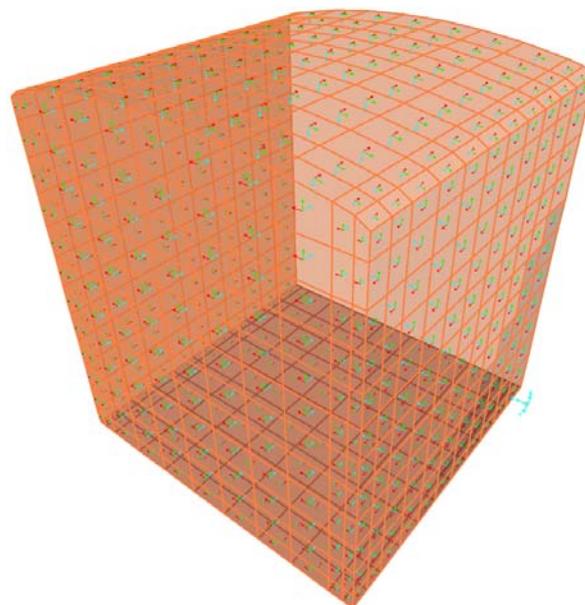


Figura 8-17. Modello 3D – Direzione assi locali

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C FOGLIO 63 di 90

La presenza del terreno al contorno è simulata per mezzo di molle non lineari reagenti solo a compressione uniformemente distribuite sugli elementi shell.

La rigidezza delle molle in corrispondenza delle diverse porzioni della struttura è stata calcolata a partire dalla formula di Bowles (1974), per le superfici piane, e da quella di Galerkin per le superfici curve.

- Bowles

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

- Galerkin

$$k = \frac{E}{R \cdot (1 + \nu)}$$

Elemento	k	Teoria
[-]	[kN/m ³]	[-]
Calotta	8831,202	Galerkin
Pareti laterali	27133,36	Bowles sup
Pareti laterali	33916,7	Bowles inf
Fondazione	35701,79	Bowles
Parete di fondo	25371,45	Bowles sup
Parete di fondo	31714,32	Bowles inf

Tabella 8-11. Rigidezza molle interazione terreno-struttura

Il vincolo alla traslazione orizzontale offerto dalla presenza della galleria principale è stato simulato con molle non lineari reagenti solo a compressione uniformemente distribuite lungo la superficie di contatto tra la nicchia e la galleria. La rigidezza di tali molle è stata posta uguale a 10⁶ kN/mc in modo tale da massimizzare le sollecitazioni agenti sulla nicchia soggetta alle spinte esterne di acqua e terreno.

In corrispondenza delle nicchie il carico idraulico considerato è di 160 kPa (equivalenti a 16 m d'acqua di colonna d'acqua sopra calotta).

L'estensione dello scavo delle nicchie è al più pari ad un diametro di scavo e, tenuto conto della presenza del rivestimento definitivo di galleria retrostante e del terreno davanti alla nicchia, si assume che sul rivestimento definitivo della nicchia si scarichi il 20% del carico geostatico. tenendo conto dei rilassamenti già operati nelle analisi 2D per la verifica dei rivestimenti di prima fase.

La pressione agente complessivamente in calotta, ottenuta sommando la spinta del terreno e del carico idrostatico, è dunque pari a 228 kPa, 259.2 kPa sui piedritti verticali e di 290.3 kPa in soletta.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C FOGLIO 64 di 90

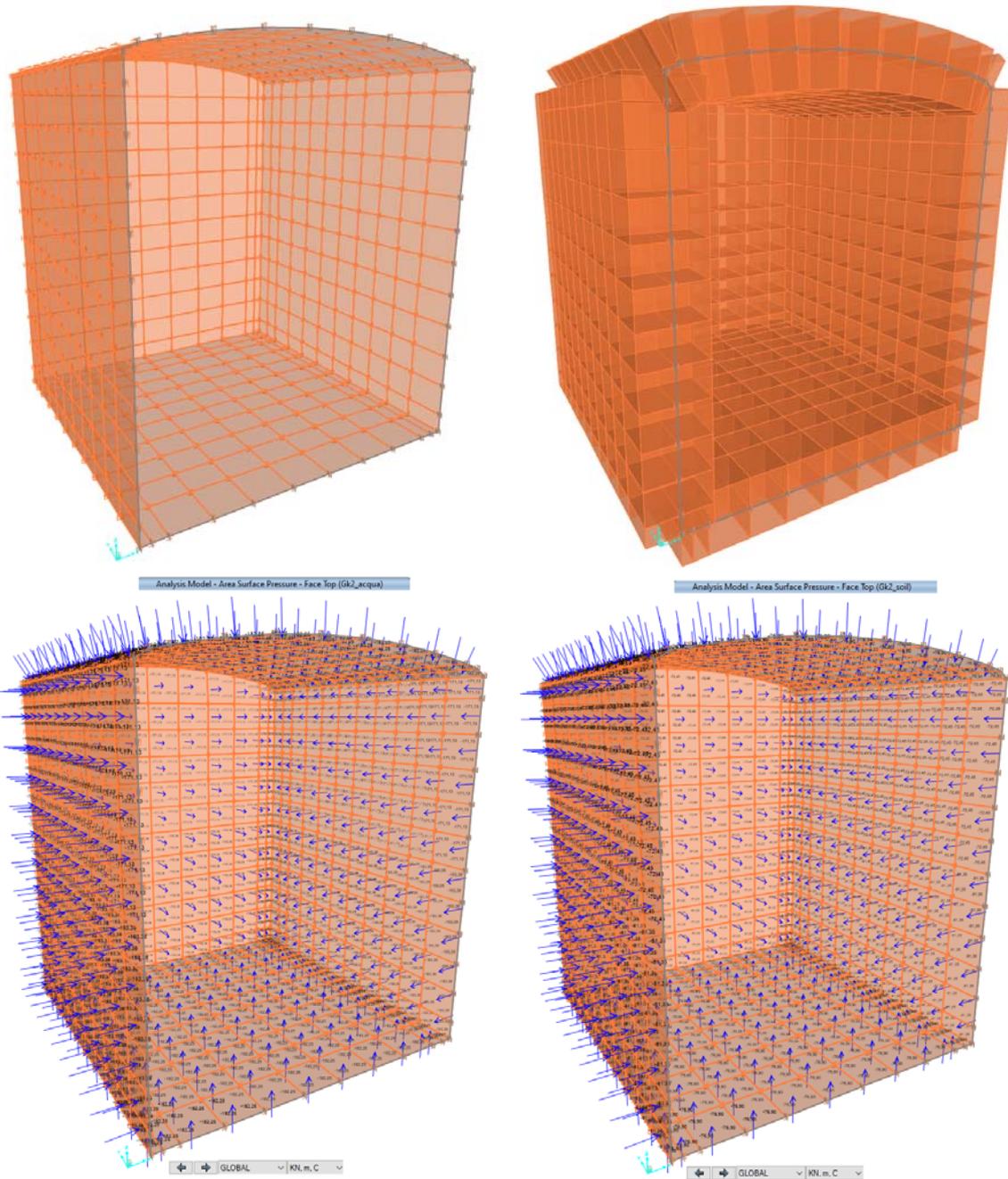


Figura 8-18. Geometria del modello e carichi applicati: Spinta idrostatica + spinta del terreno

L'analisi strutturale viene eseguita verificando allo SLE lo stato tensionale dei materiali e l'apertura delle fessure, considerando le sollecitazioni caratteristiche provenienti dal modello.

Le sollecitazioni allo SLU, utilizzate per le verifiche a pressoflessione e a taglio, sono state ricavate amplificando con un coefficiente pari a 1.3 le sollecitazioni caratteristiche: $SLU = 1.30 \times SLE$.

Si riporta nel seguito la deformata della galleria, l'andamento dell'azione assiale, del momento flettente e del taglio.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 65 di 90

8.4.4.1 SOLLECITAZIONI: CALOTTA, PARETI LATERALI, SOLETTA DI BASE

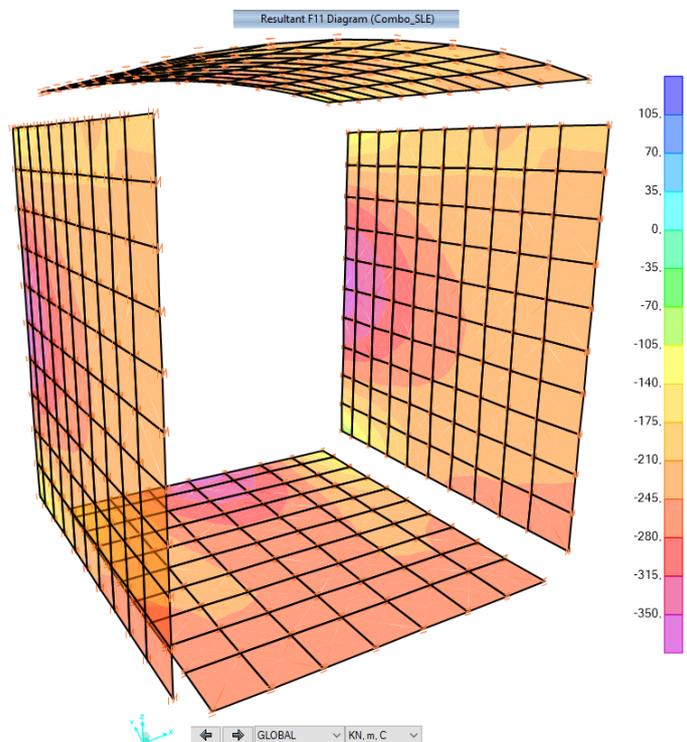


Figura 8-19. Azione assiale F11 – SLS [kN/m]

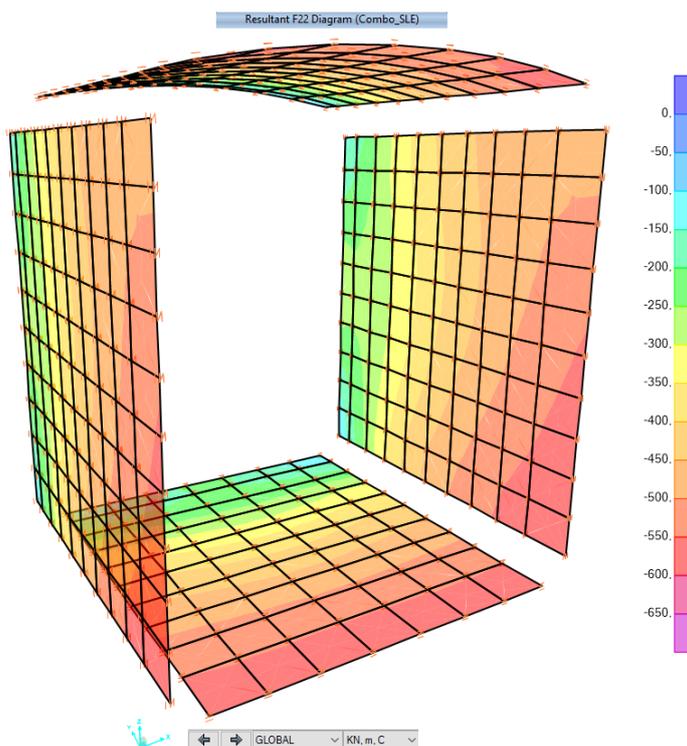


Figura 8-20. Azione assiale F22 – SLS [kN/m]

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 66 di 90

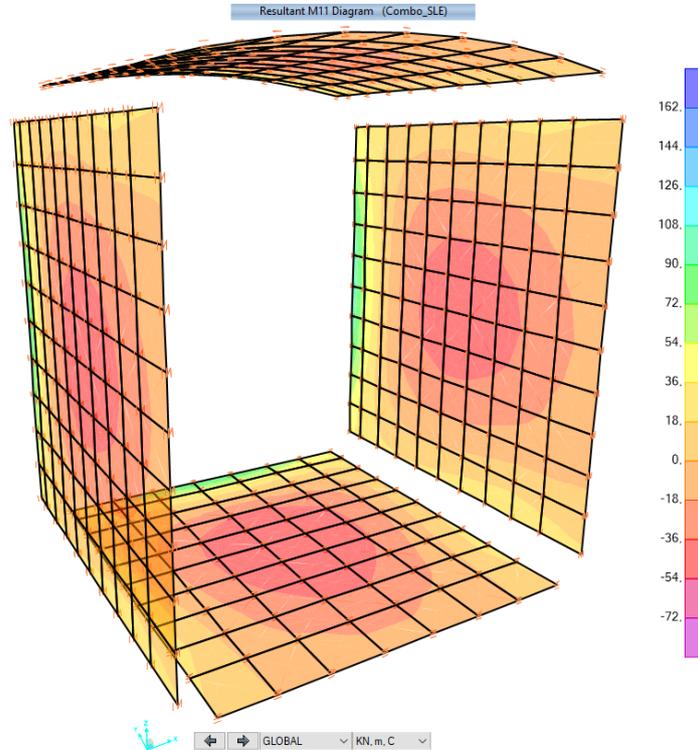


Figura 8-21. Momento flettente M11 – SLS [kNm/m]

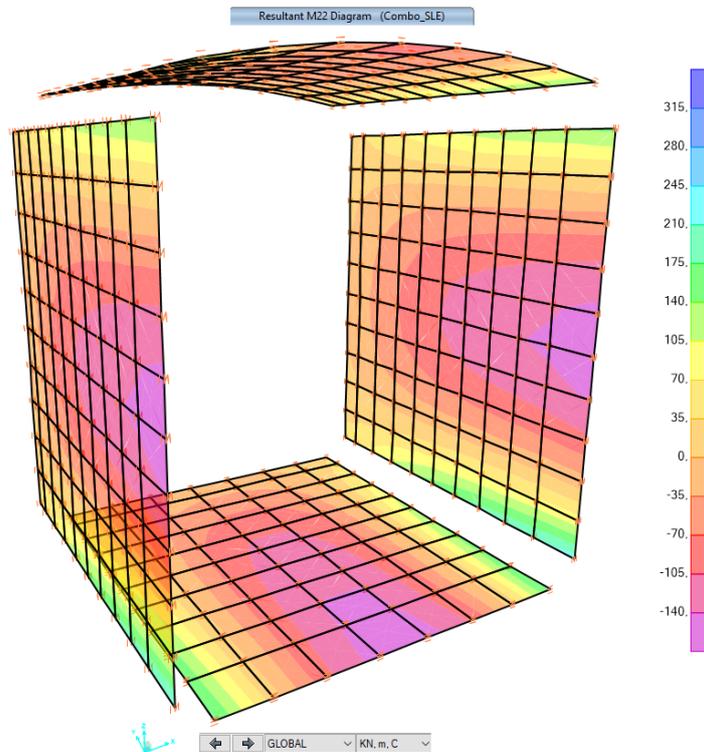


Figura 8-22. Momento flettente M22 – SLS [kNm/m]

APPALTATORE:			ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
Consorzio	Soci							
HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI								
PROGETTAZIONE:								
Mandataria	Mandanti							
ROCKSOIL S.P.A	NET ENGINEERING	PINI	GCF					
	ELETTRI-FER	M-INGEGNERIA						
PROGETTO ESECUTIVO			COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
GN Tradizionale – Relazione di calcolo			IF3A	02	E ZZ RH	GN0700 002	C	67 di 90

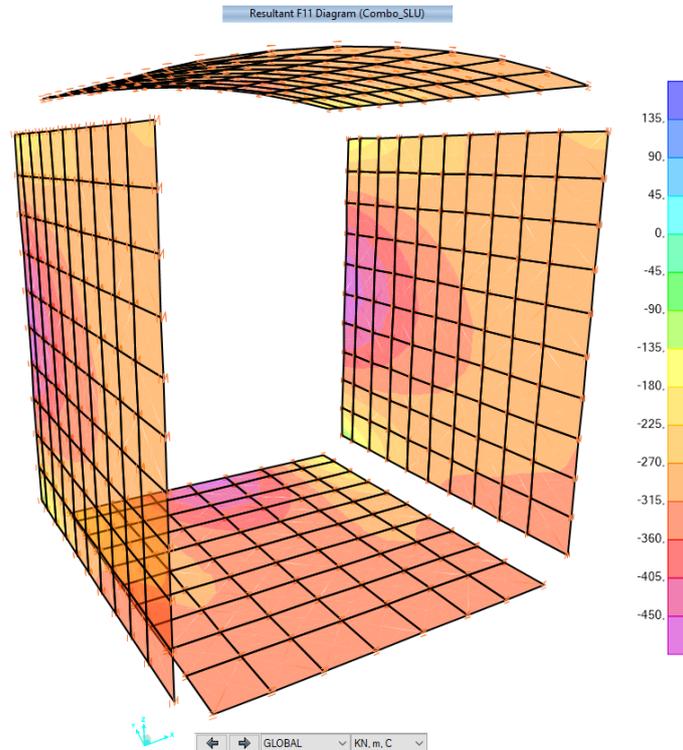


Figura 8-23. Azione assiale F11 – ULS [kN/m]

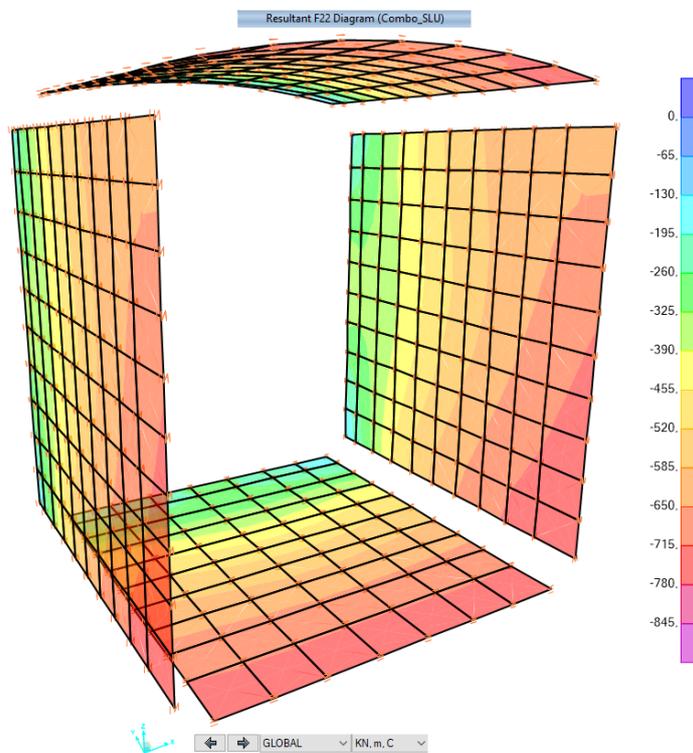


Figura 8-24. Azione assiale F22 – ULS [kN/m]

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI			ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA			RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo			COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 68 di 90

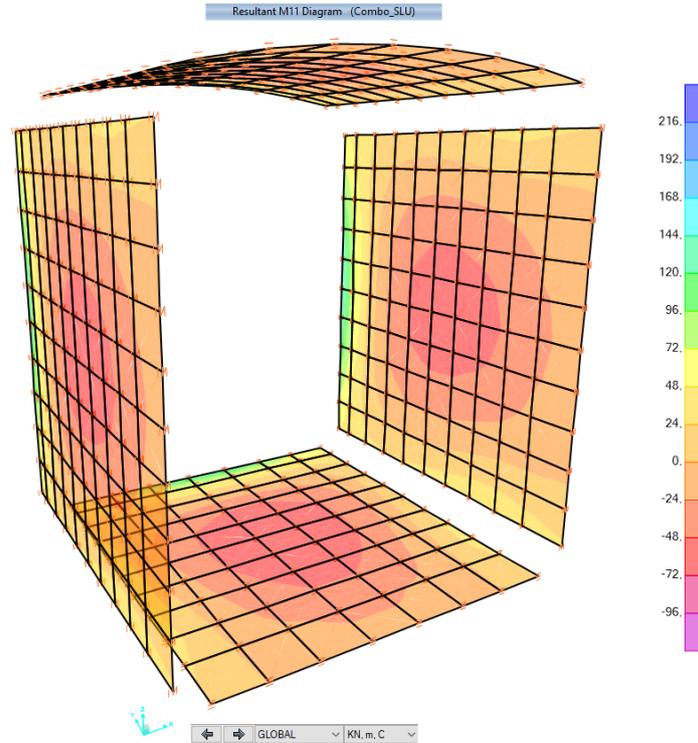


Figura 8-25. Momento flettente M11 – ULS [kNm/m]

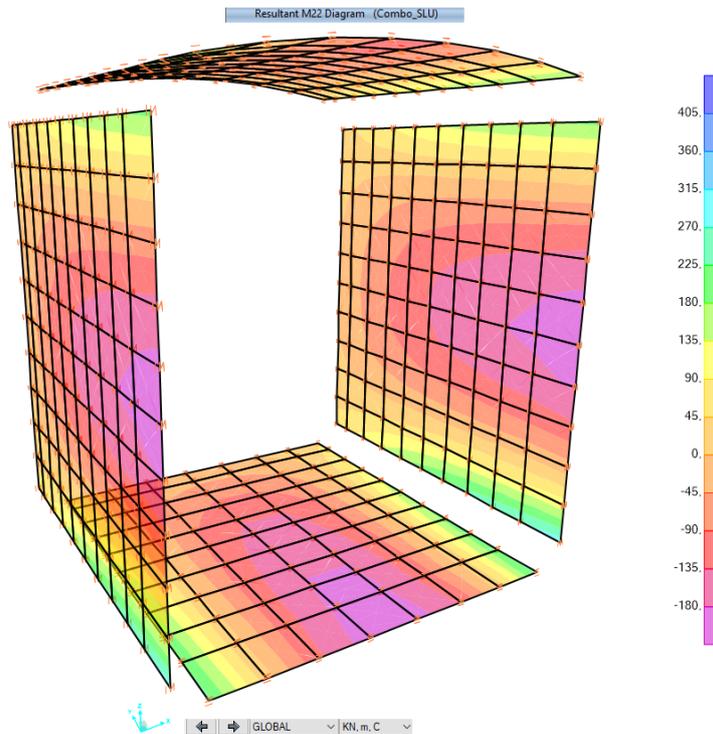


Figura 8-26. Momento flettente M22– ULS [kNm/m]

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 69 di 90

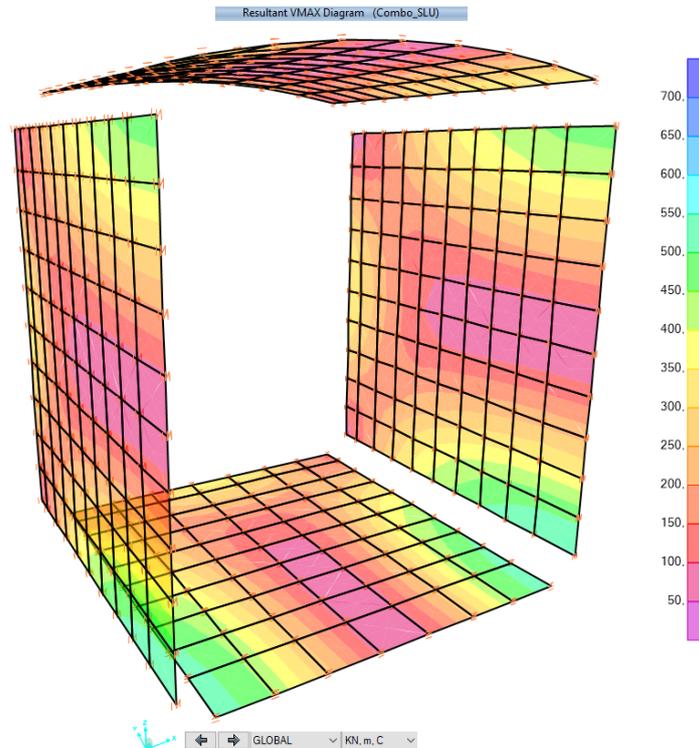


Figura 8-27. Taglio VMAX- ULS [kNm/m]

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 70 di 90

8.4.4.2 SOLLECITAZIONI: PARETE DI FONDO

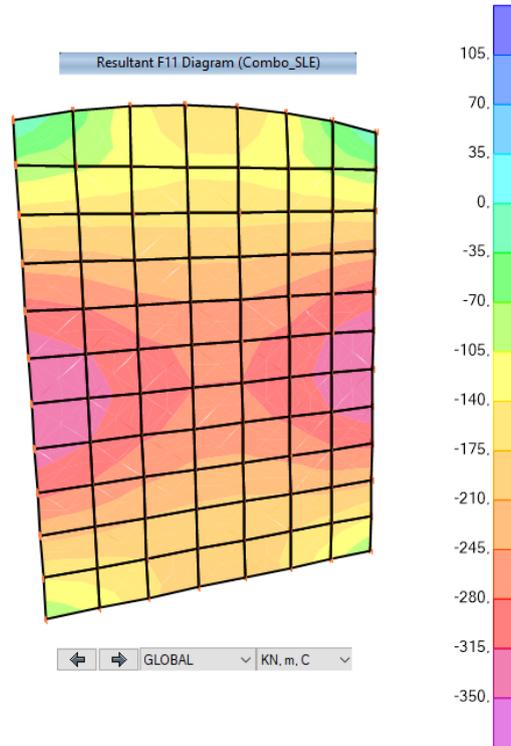


Figura 8-28. Azione assiale F11 – SLS [kN/m]

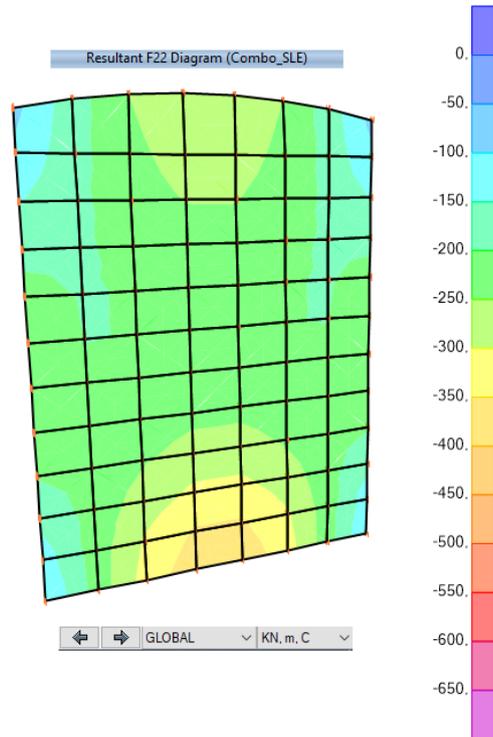


Figura 8-29. Azione assiale F22 – SLS [kN/m]

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 71 di 90

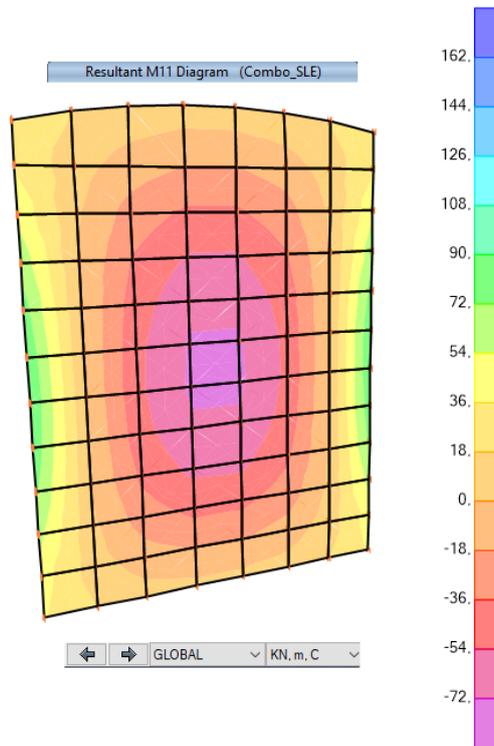


Figura 8-30. Momento flettente M11 – SLS [kNm/m]

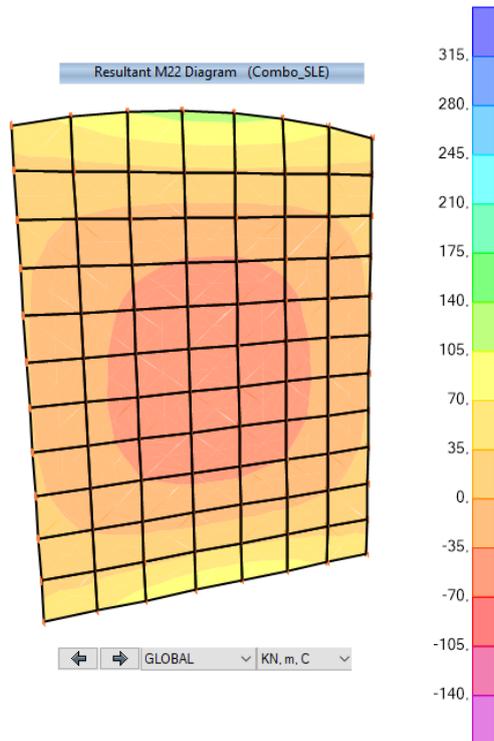


Figura 8-31. Momento flettente M22 – SLS [kNm/m]

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 72 di 90

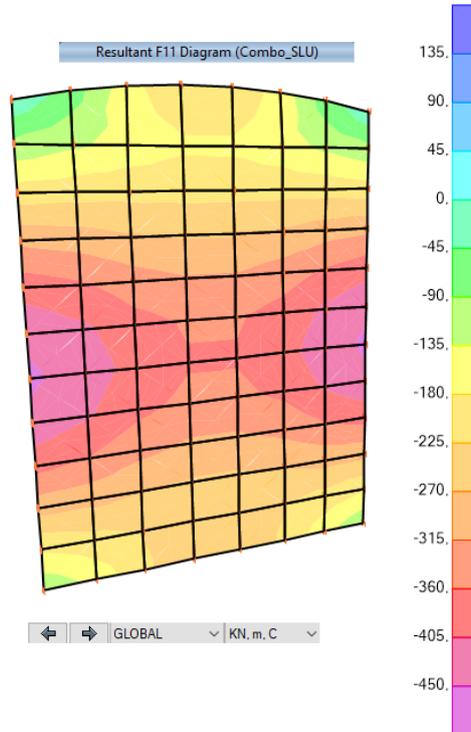


Figura 8-32. Azione assiale F11 – ULS [kN/m]

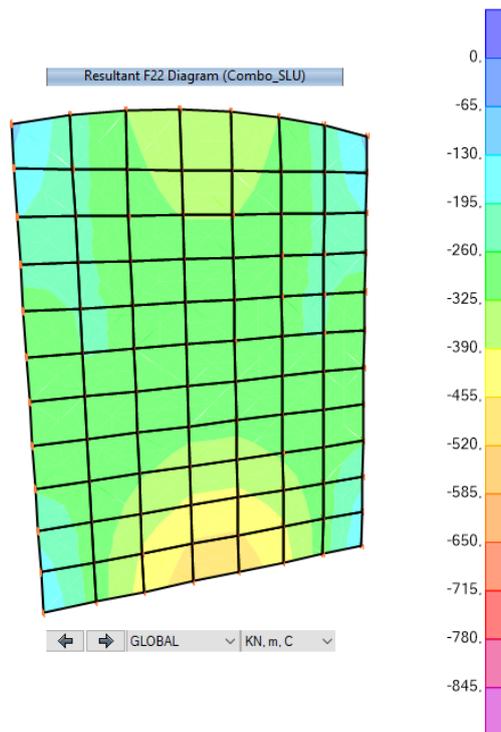


Figura 8-33. Azione assiale F22 – ULS [kN/m]

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 73 di 90

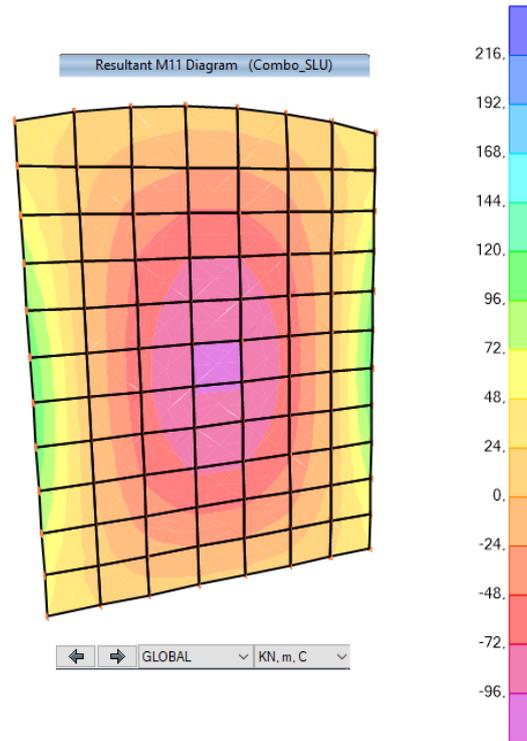


Figura 8-34. Momento flettente M11 – ULS [kNm/m]

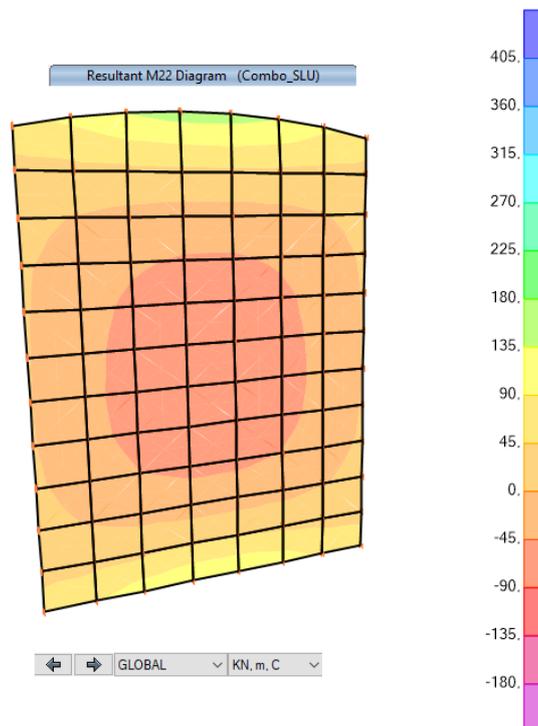


Figura 8-35. Momento flettente M22– ULS [kNm/m]

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	PIZZAROTTI				ITINERARIO NAPOLI – BARI							
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A			Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER			PINI	GCF	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo			COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 74 di 90					

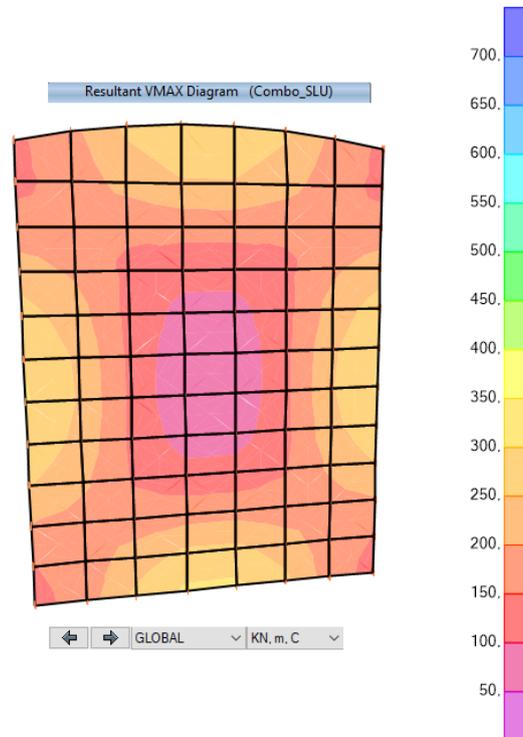


Figura 8-36. Taglio VMAX– ULS [kNm/m]

Nella seguente tabella si riassumono le sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo, relative ai diversi stati limite:

Tabella 8-12. Sollecitazioni agenti sul rivestimento definitivo allo SLU ed allo SLE

Elemento		Numero	SLU			SLE	
			Q [kN/m]	N [kN/m]	M [kN·m/m]	N [kN/m]	M [kN·m/m]
ARCO ROVESCIO	Asse	1	0,0	-710,0	195,0	-530,0	145,0
ARCO ROVESCIO	Spigolo	2	535,0	-710,0	225,0	-530,0	170,0
PIEDRITTI	Spigolo inferiore	3	535,0	-750,0	280,0	-570,0	200,0
PIEDRITTI	Asse	4	0,0	-650,0	190,0	-515,0	145,0
PIEDRITTI	Spigolo superiore	5	450,0	-620,0	180,0	-485,0	135,0
CALOTTA	Spigolo	6	335,0	-680,0	180,0	-530,0	135,0
CALOTTA	Asse	7	0,0	-680,0	95,0	-510,0	70,0
PARETE FONDO	Spigolo laterale	8	300,0	-420,0	105,0	-260,0	80,0
PARETE FONDO	Asse	9	0,0	-340,0	90,0	-325,0	70,0
PARETE FONDO	Spigolo superiore	10	300,0	-360,0	95,0	-205,0	60,0

Viste le condizioni di simmetria del problema sono state considerate una sola volta le combinazioni di carico agli spigoli.

Le verifiche sono state condotte ipotizzando il calcestruzzo armato simmetricamente lungo tutto il rivestimento della nicchia e una distanza tra il baricentro dell'armatura principale e il lembo più esterno della sezione pari a 70 mm, garantendo un copriferro minimo di 50 mm

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 75 di 90

In calotta, lungo le pareti verticali e nella soletta di base è prevista la disposizione di $\phi 14/20$ in direzione circonferenziale e di $\phi 10/20$ in direzione longitudinale. L'armatura della parete di fondo prevede ferri $\phi 14/20$ in direzione 1-1 e $\phi 10/20$ in direzione 2-2 (sistema di riferimento del modello FEM 3D). Per ciò che concerne il taglio, si prevede l'inserimento di specifica armatura a taglio costituita da spille $4\phi 10/m$ passo 200mm in corrispondenza dei primi ca. 50 cm dagli spigoli. Nelle restanti parti si prevede un'armatura a taglio $4\phi 10/m$ passo 400mm.

8.4.4.3 VERIFICHE SLU

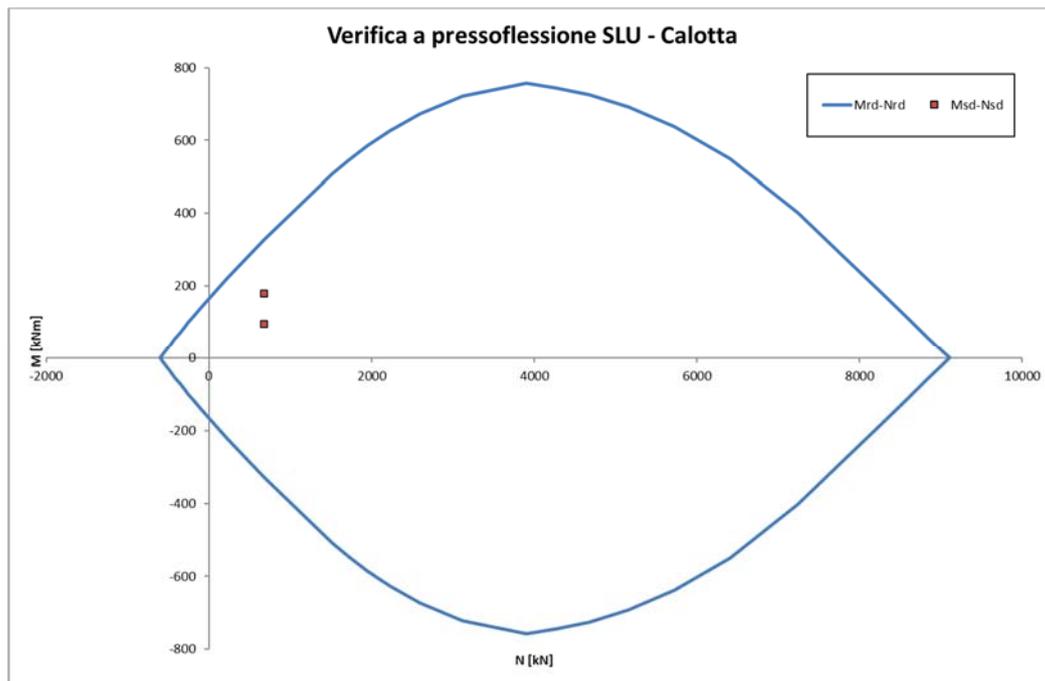


Figura 8-37. Dominio di resistenza e sollecitazioni SLU in calotta

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 76 di 90



Figura 8-38. Verifica a taglio allo SLU in calotta

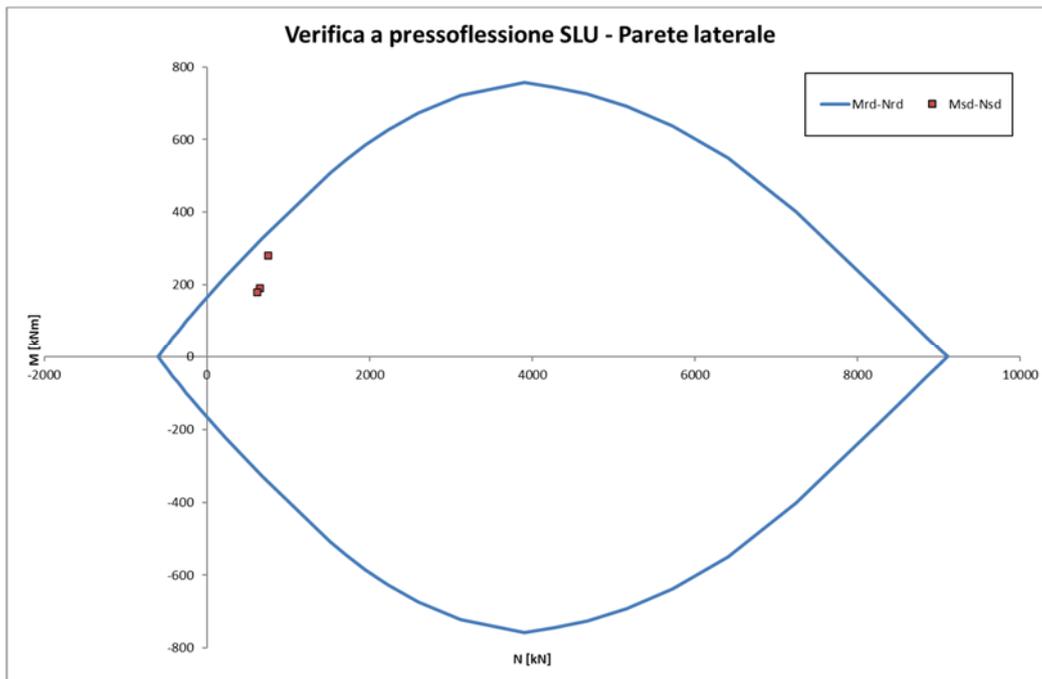


Figura 8-39. Dominio di resistenza e sollecitazioni SLU Parete laterale

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 77 di 90

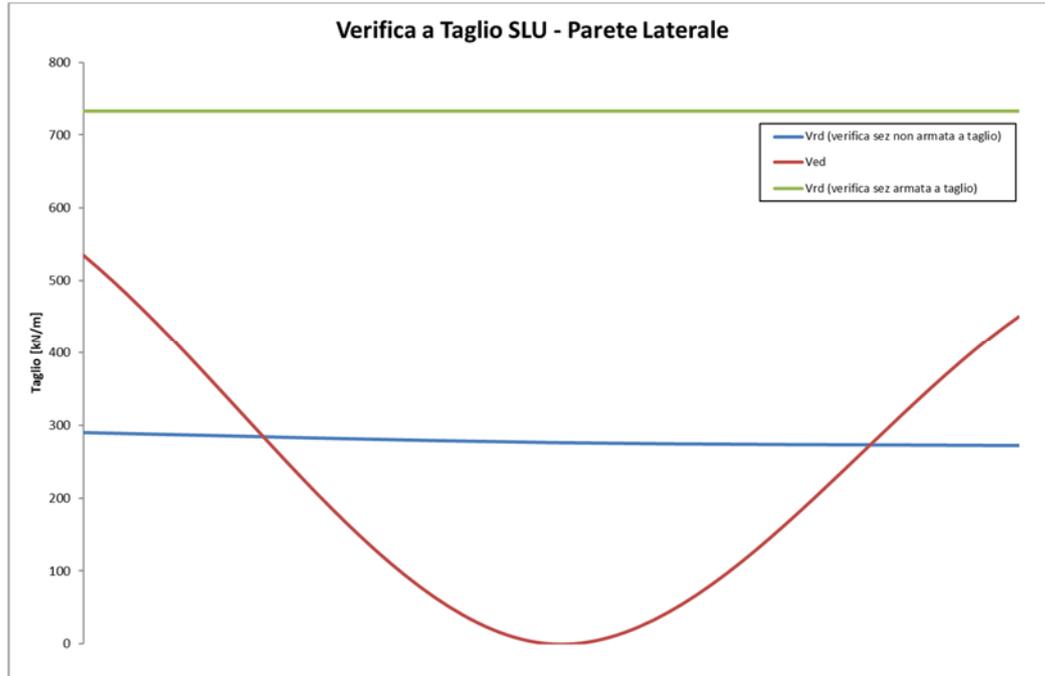


Figura 8-40. Verifica a taglio allo SLU parete laterale

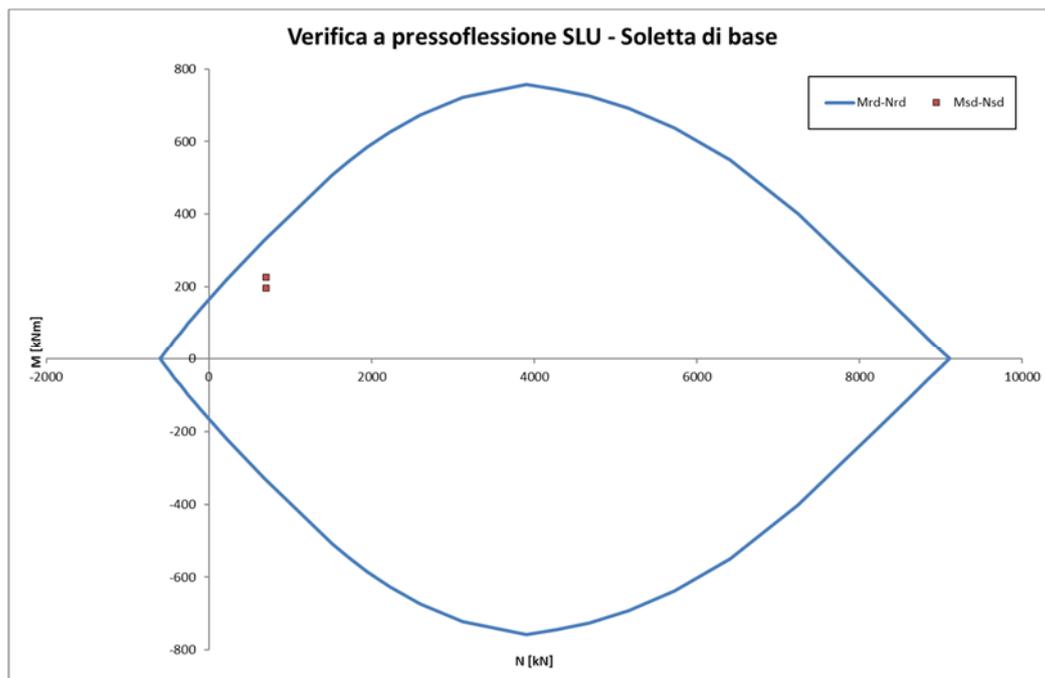


Figura 8-41. Dominio di resistenza e sollecitazioni SLU soletta di base

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 78 di 90



Figura 8-42. Verifica a taglio allo SLU soletta di base

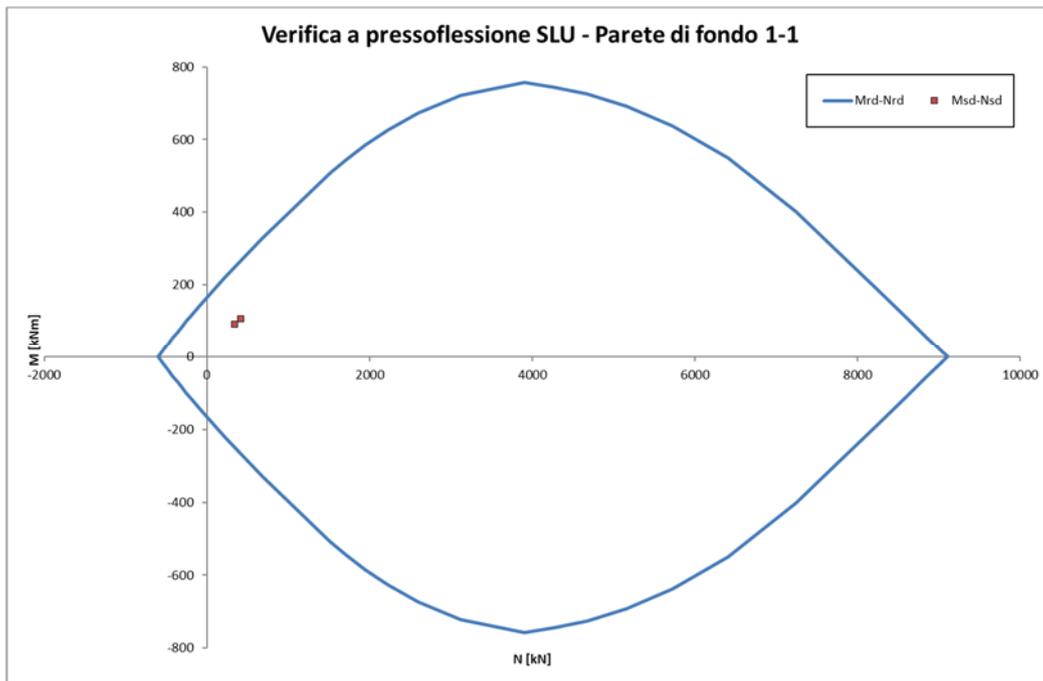


Figura 8-43. Dominio di resistenza e sollecitazioni SLU Parete di chiusura Dir. 1-1

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI			ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA			RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo			COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 79 di 90

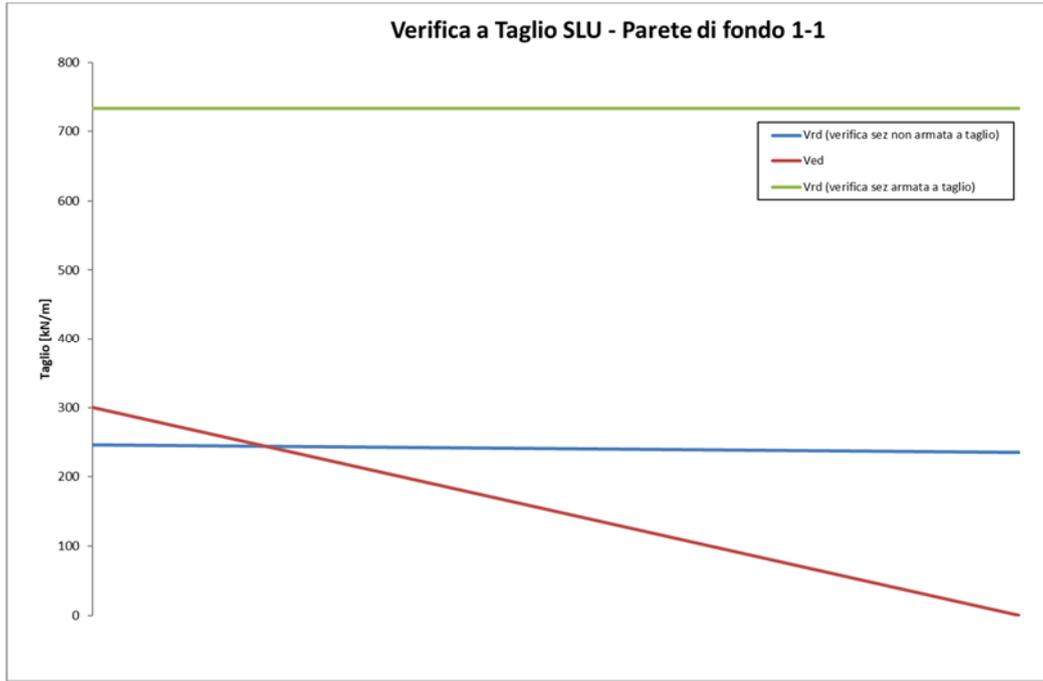


Figura 8-44. Verifica a taglio allo SLU Parete di chiusura Dir. 1-1

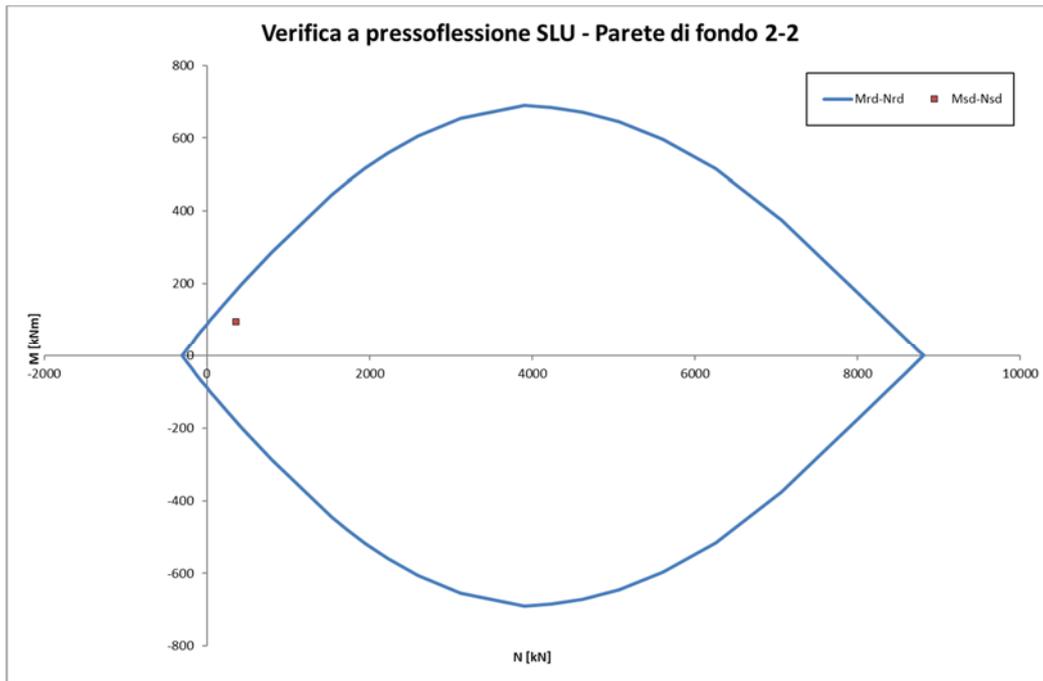


Figura 8-45. Dominio di resistenza e sollecitazioni SLU Parete di chiusura Dir. 2-2

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. FOGLIO C 80 di 90

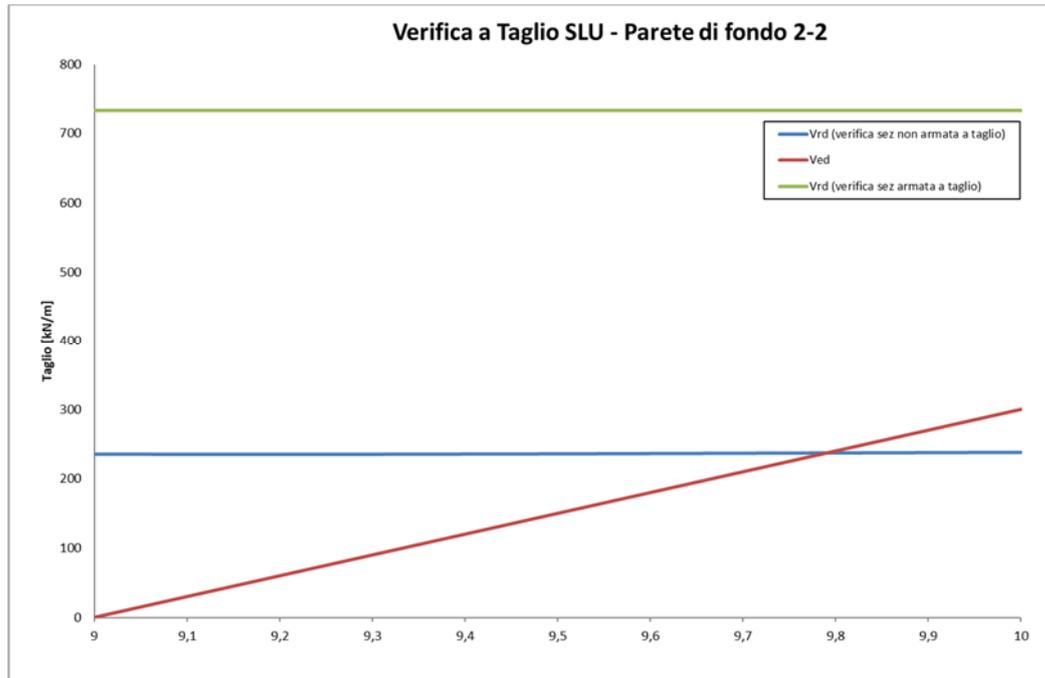


Figura 8-46. Verifica a taglio allo SLU Parete di chiusura Dir. 2-2

8.4.4.4 VERIFICHE SLE

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

Nello specifico, le verifiche agli SLE di fessurazione della calotta e nella soletta evidenziano l'apertura di fessure la cui ampiezza è comunque inferiore ai limiti normativi.

Anche le verifiche SLE di tensione per la calotta che per la soletta risultano soddisfatte sia lato calcestruzzo che lato acciaio rispettando i valori limite imposti sia dalla Normativa vigente che dal Manuale di Progettazione RFI.

Stato limite di Tensione:

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 81 di 90

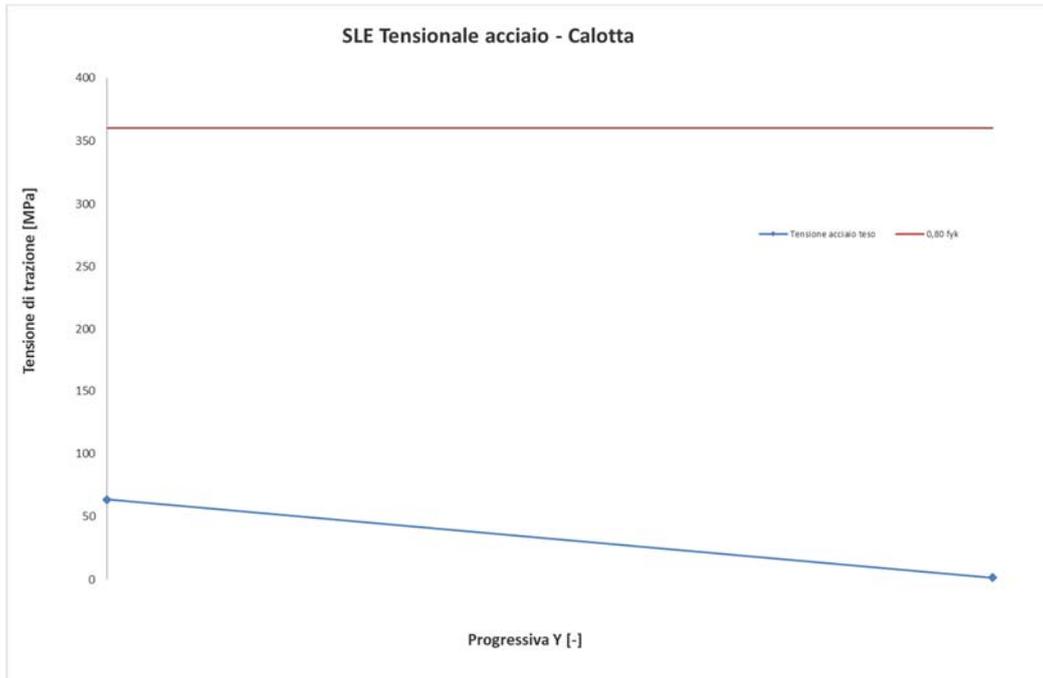


Figura 8-47. Verifica tensionale allo SLE nell'acciaio

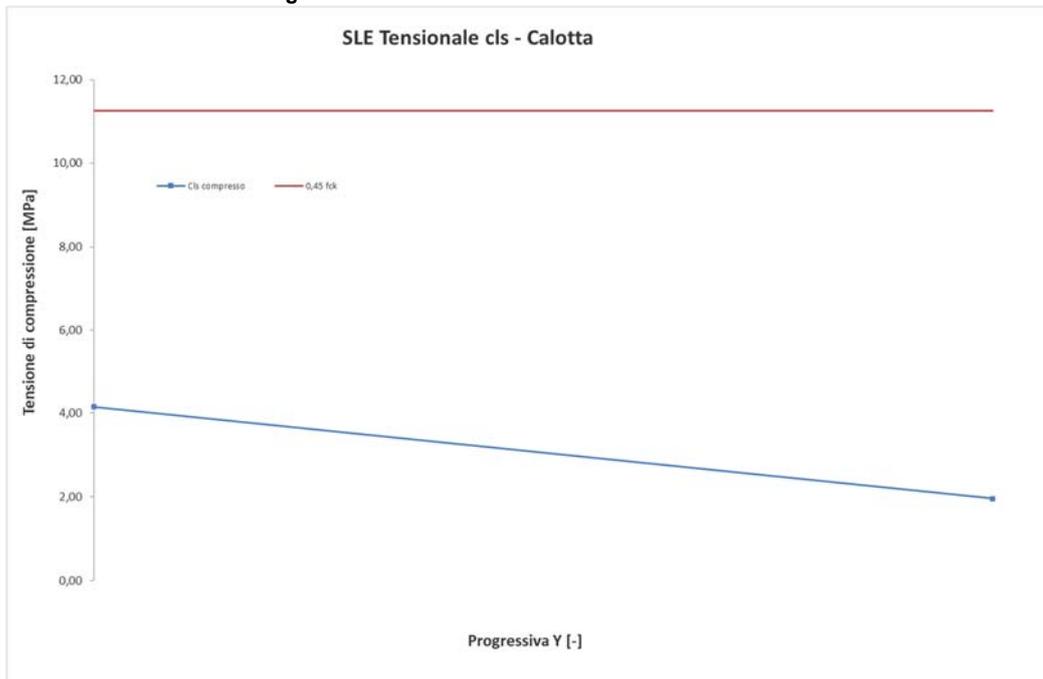


Figura 8-48. Verifica tensionale allo SLE nel calcestruzzo

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 82 di 90

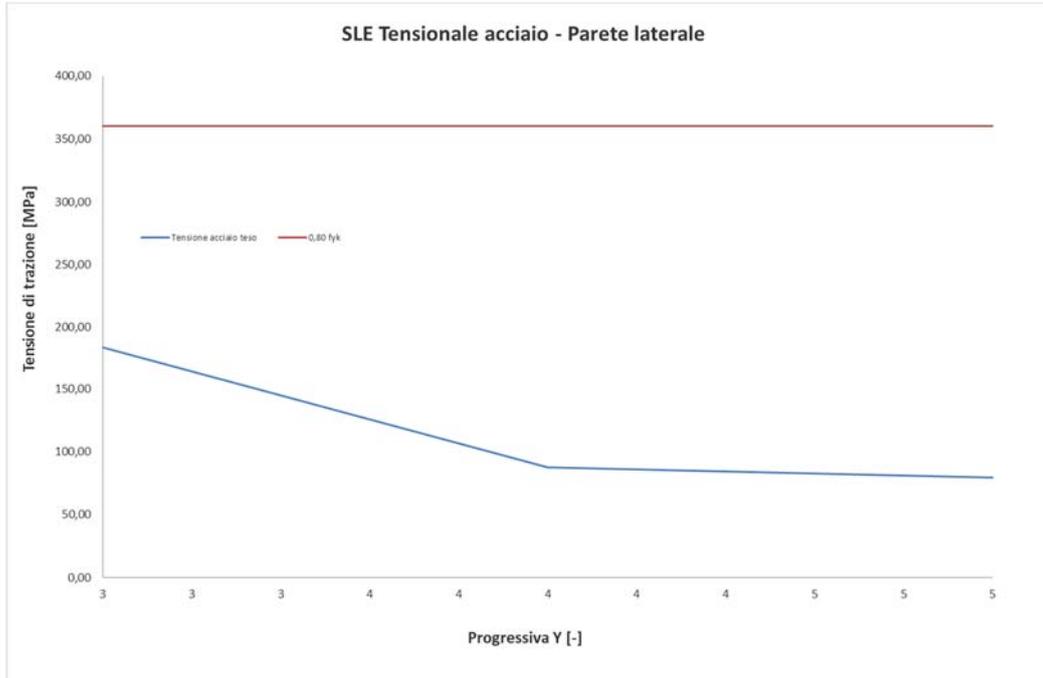


Figura 8-49. Verifica tensionale allo SLE nell'acciaio

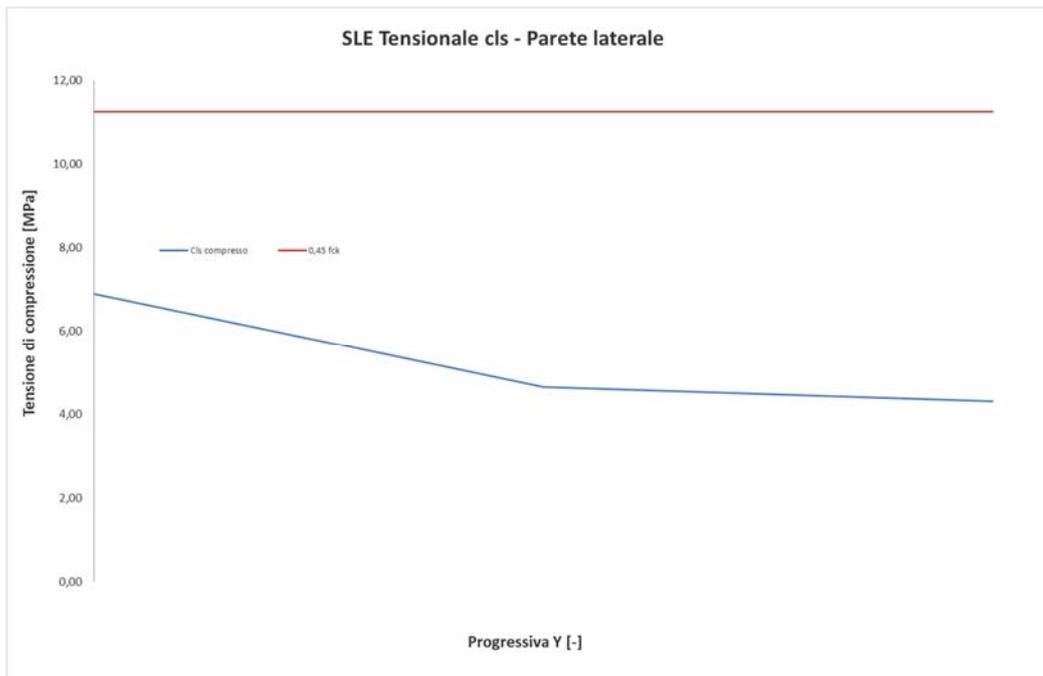


Figura 8-50. Verifica tensionale allo SLE nel calcestruzzo

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 83 di 90

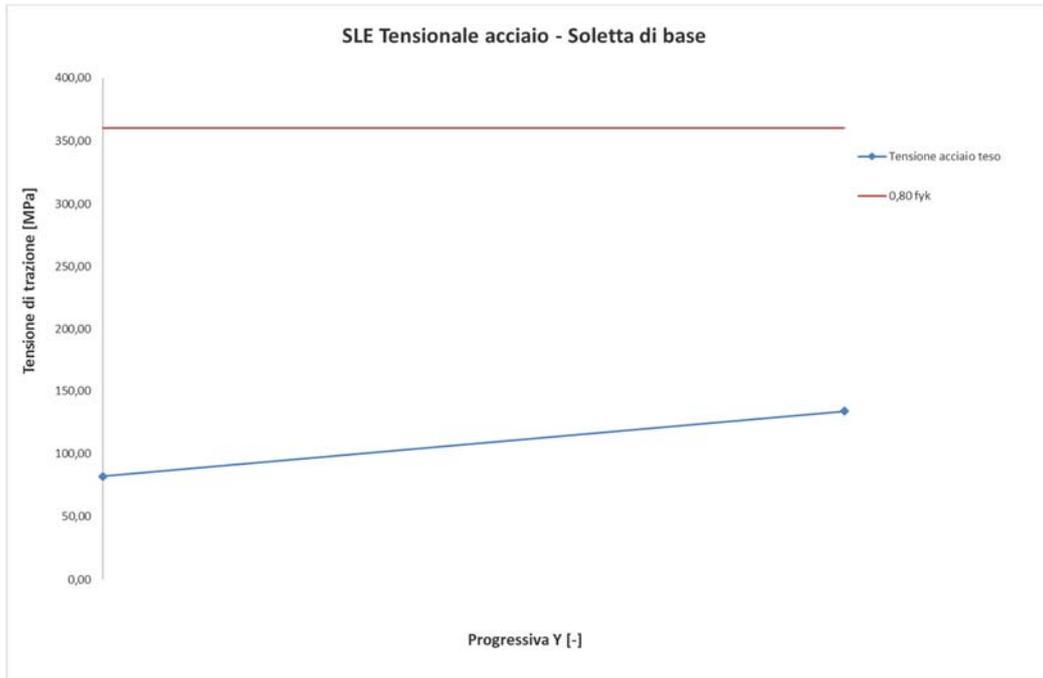


Figura 8-51. Verifica tensionale allo SLE nell'acciaio

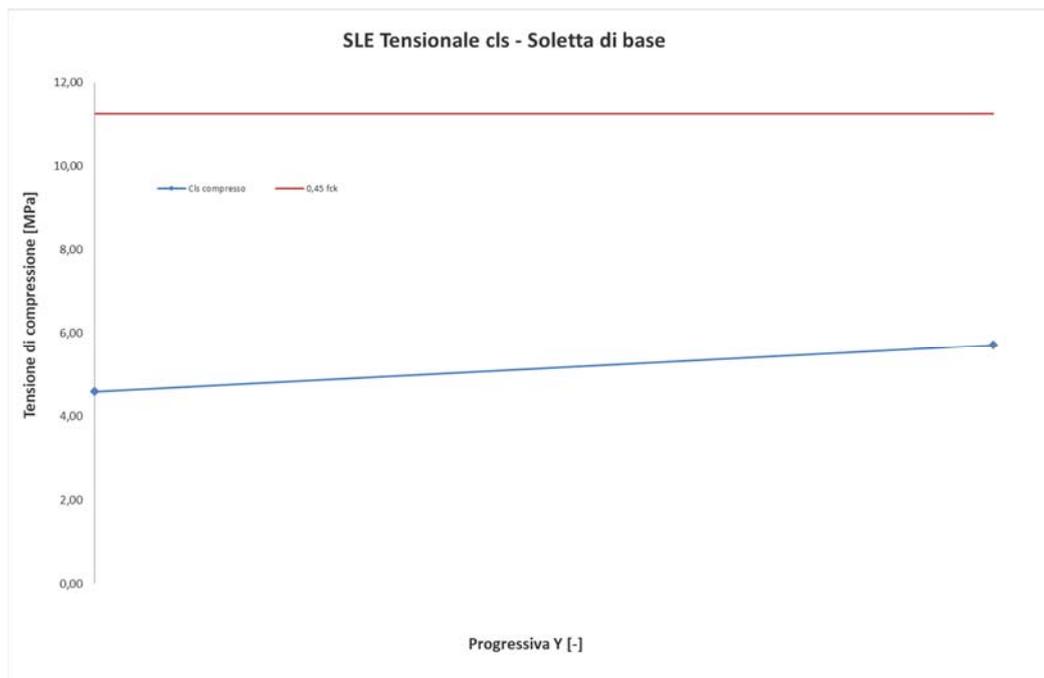


Figura 8-52. Verifica tensionale allo SLE nel calcestruzzo

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 84 di 90

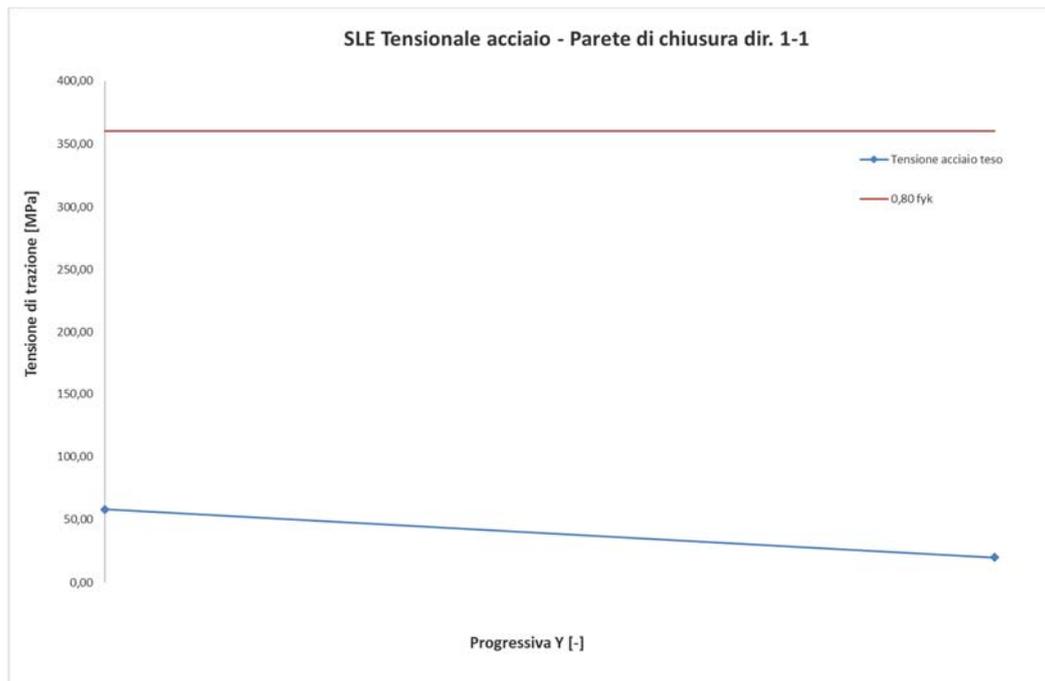


Figura 8-53. Verifica tensionale allo SLE nell'acciaio

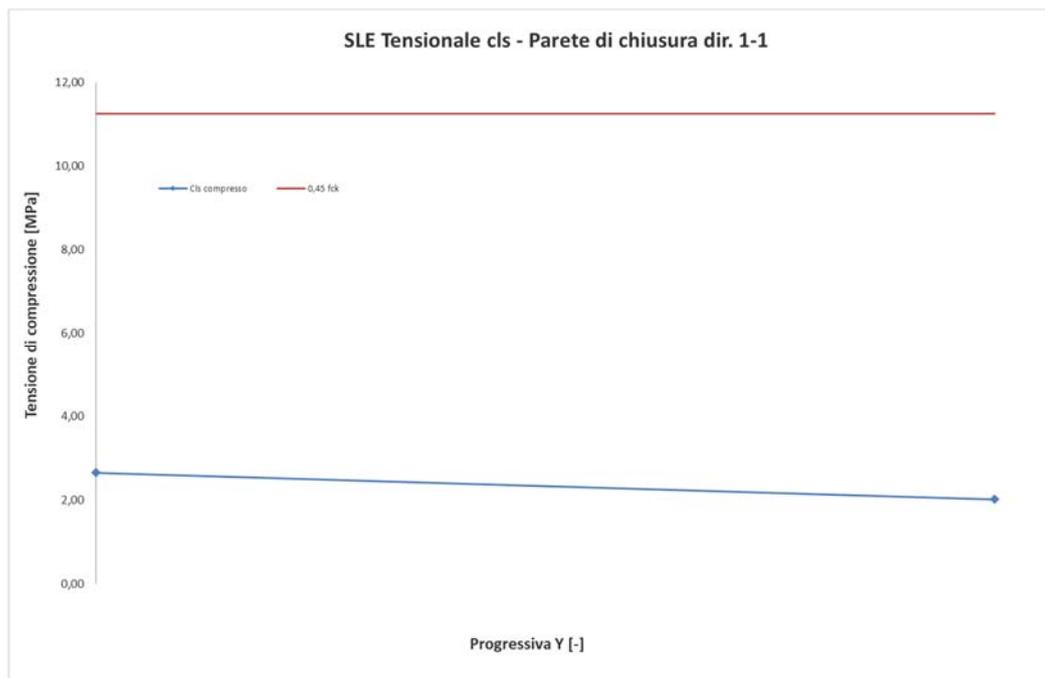


Figura 8-54. Verifica tensionale allo SLE nel calcestruzzo

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 85 di 90

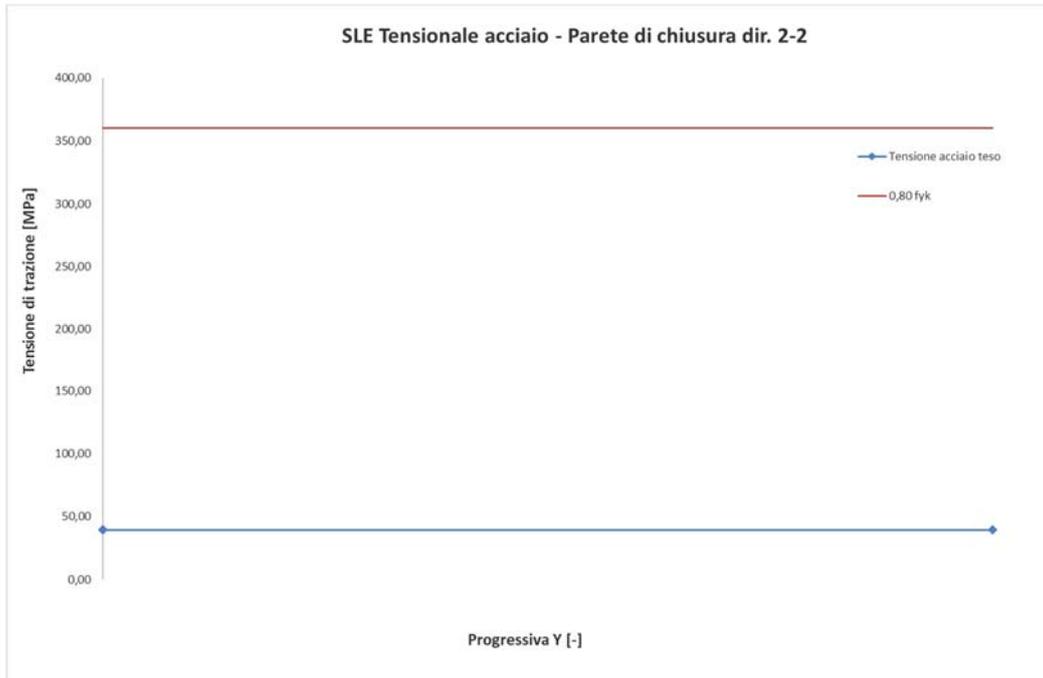


Figura 8-55. Verifica tensionale allo SLE nell'acciaio

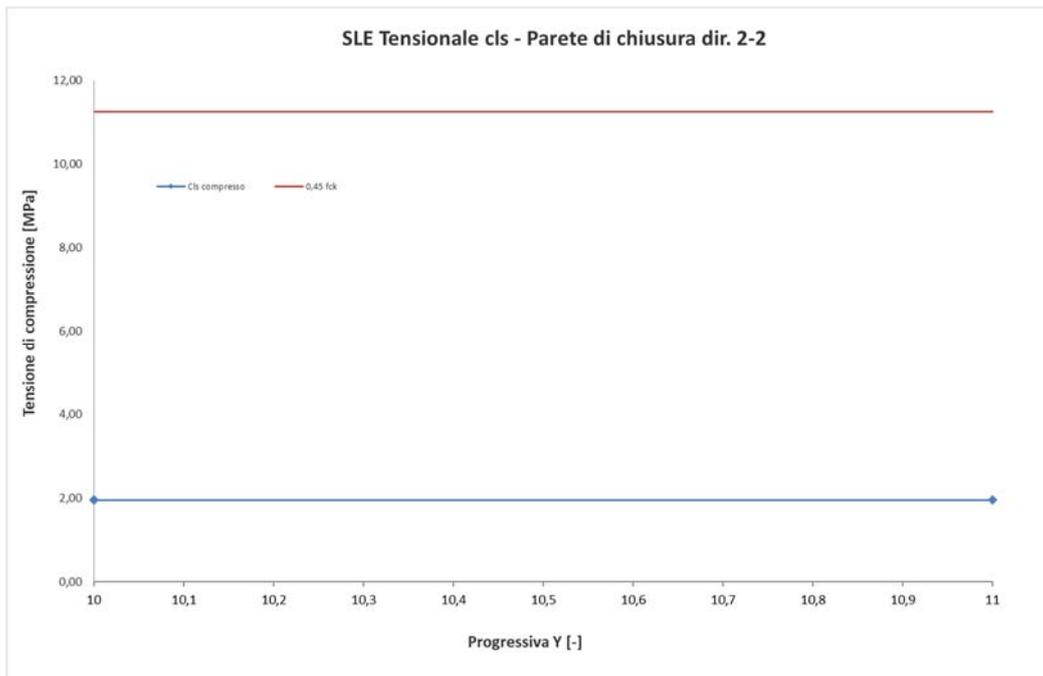


Figura 8-56. Verifica tensionale allo SLE nel calcestruzzo

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 86 di 90

Stato limite di ampiezza delle lesioni:

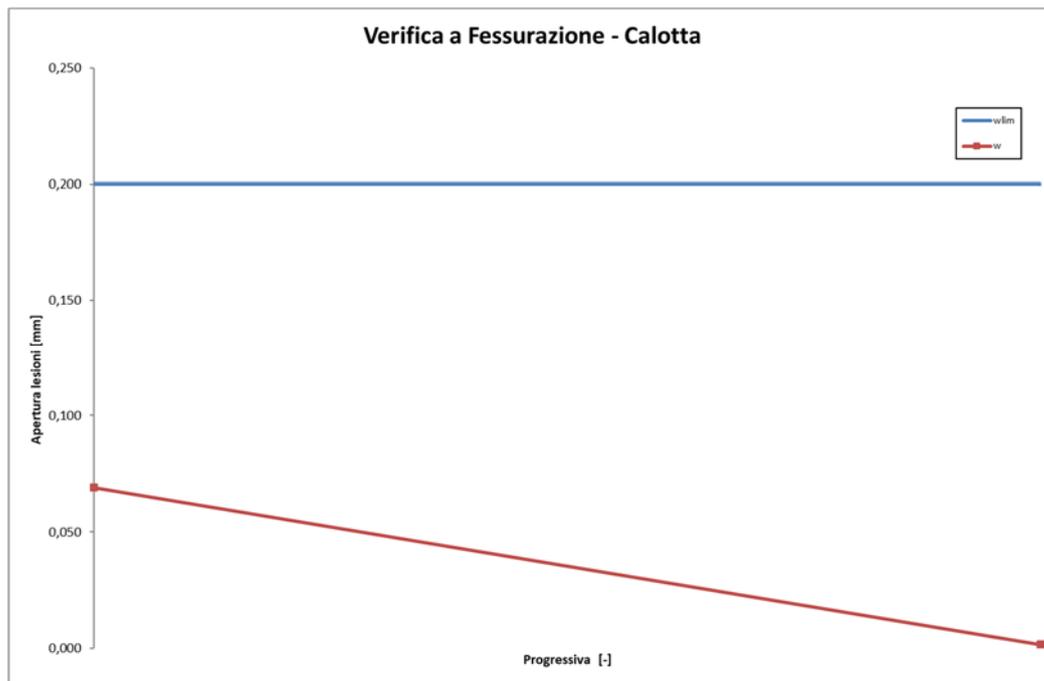


Figura 8-57. Verifica a fessurazione - Calotta

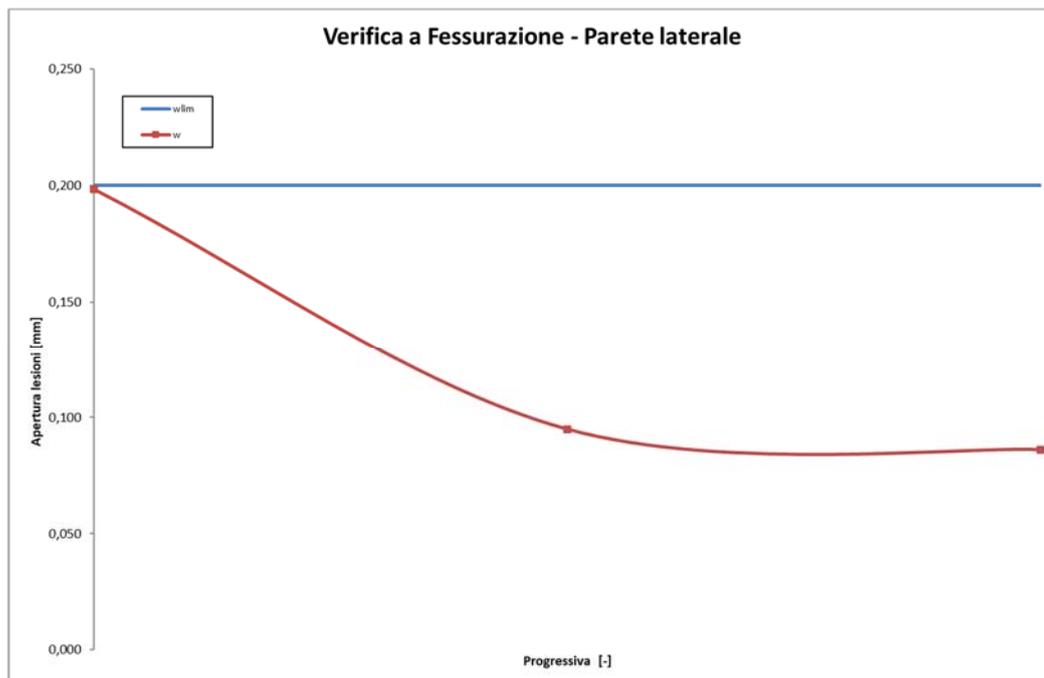


Figura 8-58. Verifica a fessurazione – Parete laterale

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 87 di 90

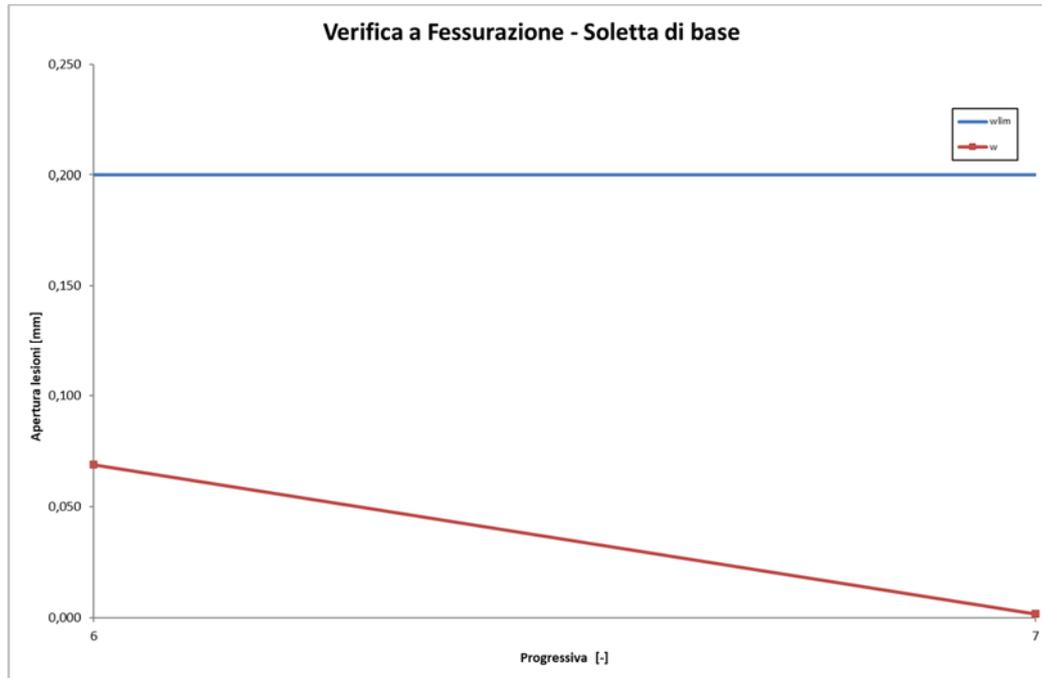


Figura 8-59. Verifica a fessurazione – Soletta di base

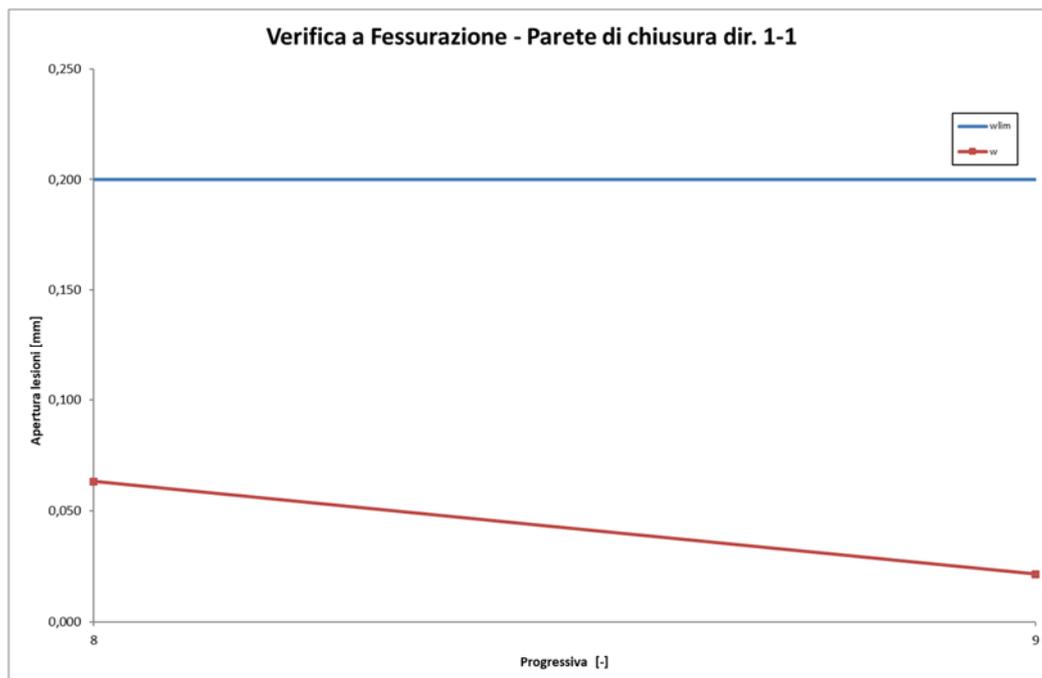


Figura 8-60. Verifica a fessurazione – Parete di chiusura Dir. 1-1

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. FOGLIO C 88 di 90

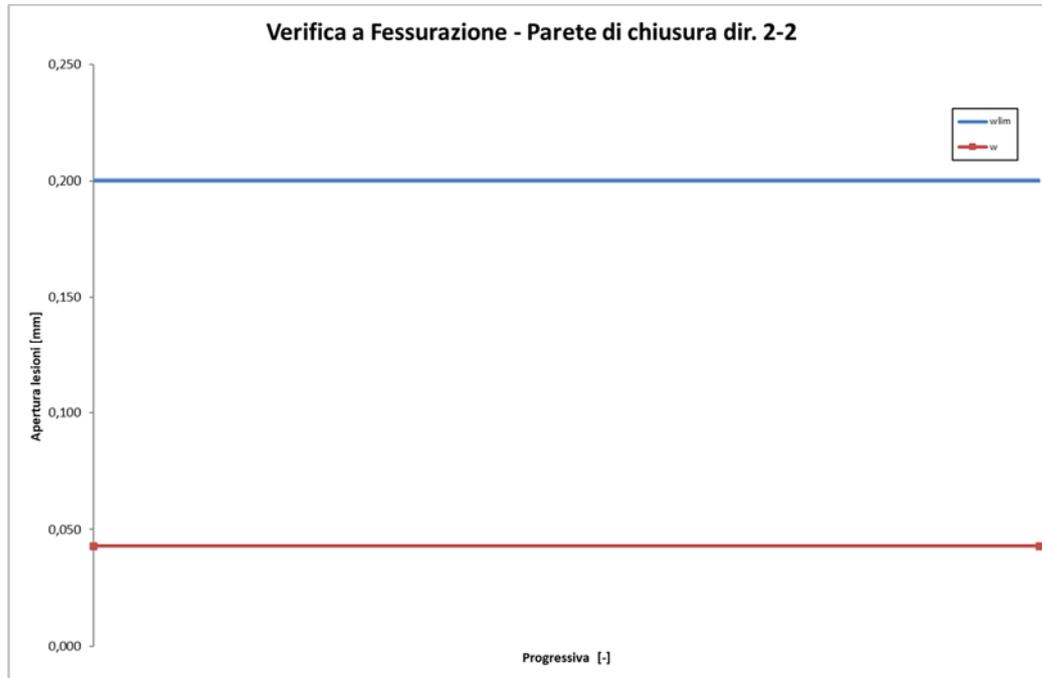


Figura 8-61. Verifica a fessurazione – Parete di chiusura Dir. 2-2

A seguire si riporta una tabella riassuntiva degli spessori e dell'incidenza delle armature previste ai fini del soddisfacimento delle verifiche allo SLU/SLE:

Tabella 8-13. Tabella incidenze nicchia T3

	Spessore [m]	Incidenza [kg/m ³]
Calotta	0.6	45
Pareti laterali	0.6	45
Soletta di base	0.6	45
Parete di fondo	0.6	45

Tabella 8-14. Sintesi dei calcoli per la definizione delle incidenze delle armature

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. FOGLIO C 89 di 90

Vcls (m ³)	0,6	passo correnti	0,2	m		
γ acc (kg/m ³)	7850	passo spille rad	0,4	m		
		passo spille long	0,2	m		
Nicchia 3 tipo C						
	Φ (mm)	Peso/ m (kg/ m)	L (m)	n (-)	α (-)	P tot (kg)
armatura radiale	14	1,208	1	10	1,1	13,3
armatura long	10	0,617	1	10	1,1	6,8
armatura spille	10	0,617	0,5	12,50	1,1	4,2
TOT fless						20,1
TOT shear						4,2
INCIDENZA= Ptot/V (kg/m³)	35,00					
INCIDENZA= Ptot/V (kg/m³)	10,00					
INCIDENZA,TOT= Ptot/V (kg/m³)	45,00					

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO GN Tradizionale – Relazione di calcolo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RH	DOCUMENTO GN0700 002	REV. C	FOGLIO 90 di 90

9 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione delle principali tipologie di nicchie, nel tratto in tradizionale, della galleria di linea Hirpinia inclusa nel raddoppio della linea ferroviaria Hirpinia – Orsara; tale progetto si inserisce nel più ampio ambito di riqualificazione e potenziamento dell'itinerario ferroviario Roma - Napoli – Bari.

La progettazione delle nicchie è stata condotta secondo il metodo ADECO-RS, articolandosi nelle seguenti fasi:

1. Fase conoscitiva (cap. 6): questa fase è stata dedicata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico di inserimento in cui saranno realizzate le opere, considerati anche i dati relativi alle precedenti fasi progettuali, ed ha portato alla definizione del modello geotecnico di sottosuolo utilizzato per le successive fasi del progetto.
2. Fase di diagnosi (cap.7): in questa fase è stata eseguita la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione, per la determinazione delle categorie di comportamento; sulla base delle analisi condotte, il comportamento del fronte allo scavo risulta stabile a breve termine per la nicchia 2 tipo A e instabile per la nicchia 3 tipo C, per la quale sono previsti idonei interventi di consolidamento.
3. Fase di terapia (cap.8): le soluzioni progettuali sono state analizzate verificandone l'adeguatezza ed efficacia in tutte le fasi costruttive previste ed in condizioni di esercizio.

Il progetto è completato dal piano di monitoraggio da attuare nella fase realizzativa, nel quale sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso e delle opere al procedere dello scavo e verificarne la rispondenza con le previsioni progettuali.