

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA
S.O. COORDINAMENTO TERRITORIALE SUD.

PROGETTO ESECUTIVO

RIASSETTO NODO DI BARI

TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI C.LE E BARI TORRE A MARE

Opere oggetto di prescrizione della Delibera CIPE n. 1 del 28 gennaio 2015

Sottovia carrabile e ciclopedonale S. Anna

OPERE DI CONSOLIDAMENTO

RELAZIONE DI CALCOLO TAMPONE DI FONDO

SCALA:

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

I A 1 U 0 4 E 7 8 C L N V 0 1 0 0 4 1 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	INTEGRA	GIUGNO 2021	G. FIORELLA	GIUGNO 2021	G. DIMAGGIO	GIUGNO 2021	D. TIBERTI GIUGNO 2021

ITALFERR S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato
Direzione Investimenti
UO Progettazione Sud
Dott. Ing. Danilo Tiberti
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10276

File:IA1U04E78CLNV0100413A.DOC

n. Elab.:

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1	NORMATIVE, RACCOMANDAZIONI, LINEE GUIDA	4
2.2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	4
3	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	5
3.1	METODOLOGIE DI INIEZIONE.....	6
3.1.1	<i>Fasi esecutive iniezione e parametri di controllo</i>	6
3.1.2	<i>Miscela cementizia</i>	8
3.1.3	<i>Controlli in fase di intervento</i>	9
3.2	PROVE PRELIMINARI, CONTROLLI POST-INTERVENTO E COLLAUDO IDRAULICO	9
4	VERIFICA DEL SOLLEVAMENTO DEL FONDO SCAVO	11
5	STIMA DEWATERING	13
5.1	METODOLOGIA DI CALCOLO	13
5.2	PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO.....	13
5.3	FASI DI CALCOLO.....	14
5.4	RISULTATI	17



RIASSETTO NODO DI BARI
PROGETTO DEFINITIVO TRATTA A SUD DI BARI
VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI C.LE E BARI TORRE A MARE

RELAZIONE DI CALCOLO TAMPONE DI FONDO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA1U	04	E 78 CL	NV 01 00 413	A	3 di 17

1 INTRODUZIONE

Nel presente documento sono illustrate le modalità esecutive e le verifiche geotecniche del trattamento di iniezioni cementizie per la realizzazione del tampone a fondo scavo, finalizzato alla realizzazione del sottovia S. Anna relativo alla variante di tracciato tra Bari Centrale e Bari Torre a Mare (opera prescritta dalla Delibera CIPE del 28 gennaio 2015).

Per le fasi provvisionali, la quota di falda di progetto è assunta cautelativamente a +0.0 m s.l.m., considerata la vicinanza del mare anche se le letture piezometriche dei sondaggi indicano falda a -0.5÷-0.6 m s.l.m.. Quindi per la realizzazione del sottovia, gli scavi che si trovano tra le progressive chilometriche 0+050 e 0+190 interferiscono con la falda.

Il terreno a fondo scavo è costituito dalla formazione rocciosa dei Calcari di Bari, che localmente si può presentare alterata e/o con cavità. Quindi nelle zone con scavi profondi e con battente idraulico superiore al metro, si prevede l'esecuzione di un intervento con iniezioni cementizie al fine di realizzare un tampone a permeabilità ridotta per conseguire una drastica diminuzione della quantità di acqua di falda da agottare.

Per quanto concerne lo scavo nelle zone con un battente idraulico inferiore ad 1 m, dove non è previsto il tampone con iniezioni cementizie, è stata eseguita una analisi FEM 2D che ha consentito di stimare la portata di agottamento, di riferimento per il dimensionamento del sistema di dewatering.

La predisposizione di appositi pozzi di emungimento consentirà la verifica delle ipotesi progettuali ed il collaudo del sistema mediante prove di pompaggio preliminari. Gli stessi pozzi verranno attivati durante l'approfondimento degli scavi per deprimere la falda ed agevolare le operazioni di scavo. Le acque di infiltrazione residua a fondo scavo saranno raccolte mediante la predisposizione di trincee e fossi idonee a consentire la loro captazione e sollevamento verso i recapiti finali.

Il campo prova delle iniezioni, propedeutico all'intervento di consolidamento e impermeabilizzazione dei terreni presenti in sito, viene previsto per consentire di definire i parametri (pressioni, volumi e portate), le miscele e la maglia di iniezione più adeguati al tipo di terreno in sito. Il campo prova è oggetto di appositi documenti, a cui si rimanda (vedasi [D4] e [D7]).



RIASSETTO NODO DI BARI
PROGETTO DEFINITIVO TRATTA A SUD DI BARI
VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI C.LE E BARI TORRE A
MARE

RELAZIONE DI CALCOLO TAMPONE DI FONDO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA1U	04	E 78 CL	NV 01 00 413	A	4 di 17

2 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normative, raccomandazioni, linee guida

- [N.1]. Decreto Ministeriale 14/01/2008 – Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.
- [N.2]. Circolare 02/02/2009 C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14/01/2008.
- [N.3]. Decreto Ministeriale LL.PP. 11/3/1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- [N.4]. Circolare LL.PP. 24/9/1988 n.30483 - L.2.2.1974, n.64 - art.1 - Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/3/1988.

2.2 Documentazione di riferimento

- [D1]. 2015 IA1T 03 D 69 RG GE0001 301 A – Tratta a sud di bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari torre a mare. Opere oggetto di prescrizione della Delibera CIPE n. 1 del 28 gennaio. Progetto Definitivo. *Relazione geologica ed idrogeologica.*
- [D2]. IA4Y 00 D 78 GE GE0000 401 A – Tratta a sud di bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari torre a mare Opere oggetto di prescrizione della Delibera CIPE n. 1 del 28 gennaio. Progetto Esecutivo – Sottovia carrabile e ciclopedonale Sant'Anna. Geotecnica – *Relazione geotecnica.*
- [D3]. IA4Y 00 D 78 F7 GE0000 401 A – Tratta a sud di bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari torre a mare Opere oggetto di prescrizione della Delibera CIPE n. 1 del 28 gennaio. Progetto Esecutivo – Sottovia carrabile e ciclopedonale Sant'Anna. Geotecnica – *Profilo geotecnico.*
- [D4]. IA1U 04 E 78 CL NV0100 414 A – Tratta a sud di bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari torre a mare Opere oggetto di prescrizione della Delibera CIPE n. 1 del 28 gennaio. Progetto Esecutivo – Sottovia carrabile e ciclopedonale Sant'Anna. Opere di consolidamento – *Relazione campo prova iniezioni.*
- [D5]. IA1U 04 E 78 PA OC0200 405 A – Tratta a sud di bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari torre a mare Opere oggetto di prescrizione della Delibera CIPE n. 1 del 28 gennaio. Progetto Esecutivo – Sottovia carrabile e ciclopedonale Sant'Anna. Opere di consolidamento – *Planimetria di progetto e sezione longitudinale fase di varo.*
- [D6]. IA1U 04 E 78 PA NV0100 405 A – Tratta a sud di bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari torre a mare Opere oggetto di prescrizione della Delibera CIPE n. 1 del 28 gennaio. Progetto Esecutivo – Sottovia carrabile e ciclopedonale Sant'Anna. Opere di consolidamento – *Planimetria di progetto e sezione longitudinale fase finale di scavo.*
- [D7]. IA1U 04 E 78 BZ NV0100 404 A – Tratta a sud di bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari torre a mare Opere oggetto di prescrizione della Delibera CIPE n. 1 del 28 gennaio. Progetto Esecutivo – Sottovia carrabile e ciclopedonale Sant'Anna. Opere di consolidamento – *Sezioni trasversali tampone di fondo e particolari campo prova.*

3 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Per le fasi provvisoriale la quota di falda di progetto è assunta cautelativamente a +0.0 m s.l.m., considerata la vicinanza del mare, anche se le letture piezometriche dei sondaggi indicano falda a -0.5÷-0.6 m s.l.m.. Quindi per la realizzazione del sottovia, gli scavi tra le progressive chilometriche 0+050 e 0+190 interferiscono con la falda. Il terreno a fondo scavo è costituito dalla formazione rocciosa dei Calcari di Bari che localmente si può presentare alterata, fratturata e/o con cavità. La permeabilità dell'ammasso roccioso individuata dalle prove Lefranc eseguite in sito è compresa fra $1 \cdot E^{-04} \div 3 \cdot E^{-04}$ m/s.

Quindi in presenza di scavi profondi sotto falda, si prevede l'esecuzione di un intervento con iniezioni cementizie al fine di realizzare un tampone a permeabilità ridotta per diminuire la quantità di acqua di falda da agottare.

L'intervento con iniezioni cementizie in roccia viene limitato alla zona con battente idraulico maggiore di 1 m e quindi quando il fondo scavo è a profondità maggiore di -1.0 m s.l.m., tra le progressive chilometriche 0+080 e 0+170 circa.

L'intervento si distingue in due fasi: la prima fase di iniezioni sarà propedeutica allo scavo del varo del monolite (vedasi [D5]); la seconda fase di iniezioni avverrà prima del completamento dello scavo del sottovia (vedasi [D6]).

La maglia di iniezioni cementizie è triangolare equilatera con interasse tra i fori di 1.5 m (Figura 1).

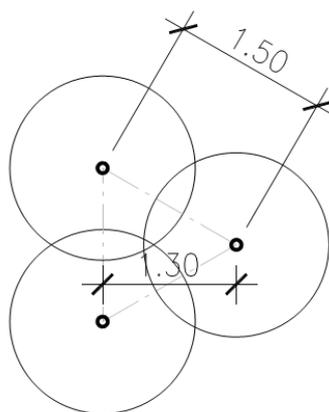


Figura 1 – Maglia iniezioni

La sezione tipologica di intervento è mostrata in Figura 2.

Al di sotto del fondo scavo si realizza il tampone per lo spessore di progetto (vedasi verifiche al sollevamento al capitolo 4), tali iniezioni vengono eseguite da un piano di lavoro intermedio a +2 m s.l.m.. Inoltre si prevedono cinturazioni perimetrali al contorno di scavo con quota testa tampone a +1.0 m s.l.m. al fine di compartimentare la zona trattata; tali iniezioni verranno eseguite da p.c..

Negli elaborati grafici delle opere di consolidamento [D5]÷[D7] si riportano nel dettaglio i diversi tipologici di colonne di iniezioni, le quantità e le fasi realizzative.



RIASSETTO NODO DI BARI
PROGETTO DEFINITIVO TRATTA A SUD DI BARI
**VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI C.LE E BARI TORRE A
MARE**

RELAZIONE DI CALCOLO TAMPONE DI FONDO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA1U	04	E 78 CL	NV 01 00 413	A	7 di 17

- FASE 4÷5: Iniezione della miscela cementizia.

Posizionamento del doppio packer sulla valvola inferiore ed esecuzione iniezione fino al raggiungimento dei target di volume e/o pressione stabiliti.

Ripetizione dell'operazione su ciascuna valvola procedendo dal basso verso l'alto.

Le miscele da utilizzare per il campo prova sono indicate al successivo capitolo; in questa fase progettuale si prospetta l'utilizzo della miscela principale (tipo A). La penetrabilità della miscela potrà essere migliorata con l'utilizzo di un apposito additivo riduttore della viscosità (miscela tipo B), che potrà essere testato in accordo con la DL e l'impresa specialistica incaricata.

L'iniezione verrà condotta secondo un criterio di volume e pressione controllati, con un volume V_p e con pressioni P_{min} e P_{max} predefiniti.

La pressione massima di iniezione è 12-20 bar, mentre la pressione minima 5-10 bar.

Il volume massimo iniettato è 500 l/m, che corrisponde mediamente a 250 l/valvola (per valvole poste ogni 0.50 m).

L'iniezione sarà arrestata al raggiungimento del primo in ordine cronologico tra V_p e P_{max} .

Qualora il volume fosse raggiunto senza che sia simultaneamente raggiunto il livello di pressione minima, si prevede di eseguire una seconda fase di iniezione con la medesima miscela, entro le 24 ore dalla prima passata e dopo una pausa di almeno 8-12 ore.

Si dovrà quindi porre particolare cura al lavaggio dei tubi di iniezione dopo la prima passata di iniezione.

Tale seconda fase di iniezione dovrà essere effettuata con le medesime modalità, ma considerando un volume massimo ridotto al 50% del valore nominale di progetto (250 l/m, mediamente 125 l/valvola).

Se al termine della seconda passata, la pressione di iniezione rimane sensibilmente inferiore a P_{min} , si prevede l'utilizzo della miscela espansiva (tipo C), idonea a confinare le dispersioni incontrollate di miscela.

Le iniezioni saranno eseguite nel rispetto dei seguenti criteri generali:

- progressione delle iniezioni per fori alterni (primari e secondari), iniziando ad operare a partire dall'esterno verso l'interno del trattamento;
- massima spaziatura possibile fra gli iniettori che operano contemporaneamente e rispetto di un tempo almeno pari a 24 ore tra l'iniezione di fori adiacenti;
- controllo e registrazione per ogni valvola iniettata di: portata di iniezione, pressione di iniezione (massima e minima), quantitativo iniettato;
- raggiungimento dei target prefissati di pressione e volumi di iniezione.

Questi valori di pressione massima e volume di iniezione saranno poi tarati in funzione dei dati via via acquisiti durante la sperimentazione.

	RIASSETTO NODO DI BARI PROGETTO DEFINITIVO TRATTA A SUD DI BARI VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI C.LE E BARI TORRE A MARE					
RELAZIONE DI CALCOLO TAMPONE DI FONDO	COMMESSA IA1U	LOTTO 04	CODIFICA E 78 CL	DOCUMENTO NV 01 00 413	REV. A	FOGLIO 8 di 17

3.1.2 Miscela cementizia

Per l'iniezione si prevede una miscela cementizia principale, denominata tipo A, con la seguente composizione (cemento classe 425 ordinario).

Miscela cementizia principale – tipo A:

- Rapporto cemento/acqua (C/A) = 0.4 ÷ 0.7
- Rapporto bentonite/acqua (B/A) = 1÷3%
- Viscosità Marsch: 35÷40'';
- Bleeding: <=5%.

Oltre alla miscela cementizia principale, si riporta la composizione di una miscela di iniezione a maggiorata penetrabilità, denominata tipo B, ottenuta diminuendo il rapporto cemento/acqua ed aumentando quello bentonite/acqua con aggiunta di un additivo riduttore della viscosità. Questa miscela potrà essere necessaria dove le caratteristiche idrogeologiche/geomeccaniche dell'ammasso siano tali da richiedere una riduzione della viscosità della miscela da iniettare.

Miscela cementizia di iniezione a maggiorata penetrabilità – tipo B:

- Cemento classe 425 microfine;
- Rapporto cemento/acqua (C/A) = 0.4 ÷ 0.5;
- Rapporto bentonite/acqua (B/A) = 2÷3%;
- Additivo riduttore della viscosità (dosaggio in funzione del prodotto commerciale individuato);
- Viscosità Marsch: 27÷30'';
- Bleeding: <=5%.

Inoltre viene indicata la composizione per una miscela cementizia di iniezione espansiva, denominata di tipo C, idonea al riempimento di eventuali fratture/vuoti carsici, la cui presenza può comportare la iniezione di volumi molto elevati di miscela tipo A senza raggiungere i valori di pressione desiderati.

La scelta della composizione e del tipo di miscela più idonee al caso in esame sarà fatta sulla base delle risultanze del campo prova.

Miscela cementizia di iniezione espansiva – tipo C:

- Cemento classe 425 ordinario;
- Rapporto cemento/acqua (C/A) = 0.7÷ 0.8;
- Bentonite con rapporto bentonite/acqua (B/A) = 2÷3%;
- Additivo espansivo (q.b. in funzione delle indicazioni del Produttore);
- Fattore di espansione finale: >=100%.

I rapporti ponderali sopra riportati sono da intendersi indicativi. L'esatta composizione della miscela dovrà essere decisa dall'impresa specialistica incaricata, in accordo con la D.L..

	RIASSETTO NODO DI BARI PROGETTO DEFINITIVO TRATTA A SUD DI BARI VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI C.LE E BARI TORRE A MARE					
RELAZIONE DI CALCOLO TAMPONE DI FONDO	COMMESSA IA1U	LOTTO 04	CODIFICA E 78 CL	DOCUMENTO NV 01 00 413	REV. A	FOGLIO 9 di 17

3.1.3 Controlli in fase di intervento

Controlli sui prodotti iniettati (miscele)

Le miscele dovranno essere frequentemente campionate e sottoposte a determinazioni di:

- viscosità Marsch;
- densità;
- bleeding.

Documentazione dell'iniezione

Per ogni verticale di iniezione dovrà essere compilata la scheda di iniezione, indicando:

- identificativo univoco,
- data di esecuzione (data di perforazione, data iniezione sacco otturatore, data iniezione in pressione delle valvole);
- quota piano di lavoro;
- stratigrafia qualitativa stimata durante la perforazione (eventuale intercettazione di cavità/vuoti);
- lunghezza della perforazione;
- lunghezza del tubo introdotto e sue caratteristiche (tratto valvolato, tratto cieco, posizione sacco otturatore, passo delle valvole, diametro, ecc.).

Per l'iniezione del sacco otturatore dovranno essere indicati:

- pressione massima;
- volume iniettato.

Per ogni valvola iniettata dovranno essere indicati:

- numero passata;
- tipo di miscela utilizzata;
- pressione di apertura della valvola;
- pressione di iniezione massima raggiunta;
- pressione minima;
- volume iniettato.

Dovranno essere registrate le perdite di carico e dovrà essere presa nota di ogni anomalia ed ogni altra informazione idonea a verificare la corretta esecuzione.

3.2 Prove preliminari, controlli post-intervento e collaudo idraulico



RIASSETTO NODO DI BARI
PROGETTO DEFINITIVO TRATTA A SUD DI BARI
VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI C.LE E BARI TORRE A MARE

RELAZIONE DI CALCOLO TAMPONE DI FONDO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA1U	04	E 78 CL	NV 01 00 413	A	10 di 17

Prima della realizzazione del campo prova è prevista l'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo (SN1); all'interno del foro di sondaggio andranno eseguite almeno 3 prove Lugeon e/o Lefranc in corrispondenza del tratto da iniettare (si rimanda alla relazione [D4] per i dettagli sul campo prova).

Inoltre si prevede l'esecuzione di n.3 pozzi lato mare (P1, P2, P3) e n.3 pozzi lato monte (P4, P5, P6) per prove di pompaggio al fine di verificare le ipotesi progettuali alla scala di progetto. I pozzi avranno diametro di perforazione 400 mm con tubo 250 mm, base a quota -5.50 m s.l.m. e tratto filtrante da quota +0.00 m a -5.50 m s.l.m.. Tali pozzi verranno mantenuti ed utilizzati come sistema di dewatering durante le successive fasi di scavo (zone esterne ai trattamenti).

Al termine della fase di iniezione, attesa la maturazione della miscela di iniezione, dovranno essere realizzate prove di controllo della riuscita del trattamento di impermeabilizzazione:

- prove di permeabilità tipo Lefranc/Lugeon;
- prove di emungimento da pozzo, da realizzarsi all'interno del tampone (collaudo idraulico del sistema).

In questa fase progettuale si prospettano n.6 sondaggi di verifica, di cui n.4 ubicati lato mare (S-PZ1, S-PZ2, S-PZ3, S-PZ4) e n.2 lato monte (S-PZ5, S-PZ6), eseguiti dal piano di lavoro intermedio (+2.00 m s.l.m.) e spinti per una profondità di 5.00-5.50 m, penetrando quindi il trattamento per 1.0-1.5 m. Si prevede una prova Lefranc/Lugeon all'interno di ciascun foro di sondaggio, in corrispondenza del trattamento.

Gli stessi sondaggi verranno attrezzati come piezometri a tubo aperto (tubo fessurato da 2", con tratto filtrante sopra il trattamento) e verranno utilizzati come verticali di controllo durante le successive prove preliminari di emungimento (collaudo idraulico del sistema).

Relativamente alle prove di emungimento (collaudo idraulico del sistema) si prevede di eseguire n.3 pozzi ubicati lato mare (P_A, P_B, P_C) ed 1 lato monte (P_D) che saranno realizzati dal piano di lavoro intermedio (+2.00 m s.l.m.) fino a 1.00-1.50 m sotto fondo scavo (lunghezza 5.00-5.50 m circa), avendo cura di non oltrepassare lo spessore del trattamento. Indicativamente si prevede diametro 400 mm e tubo fessurato in pvc da 250 mm, tappato al fondo, riempimento con ghiaio calibrato drenante, attrezzato con pompa sommergibile da 6".

L'ubicazione delle verticali è rappresentata negli elaborati grafici a cui si rimanda ([D5]-[D7]). Il numero delle prove di verifica potrà essere comunque incrementato secondo le indicazioni della Direzione Lavori.

Le prove di pompaggio dovranno essere programmate e condivise tra progettista, Direzione Lavori ed Impresa Specialistica, nella successiva fase di cantierizzazione.

4 VERIFICA DEL SOLLEVAMENTO DEL FONDO SCAVO

Si riporta nel seguito una tabella riepilogativa con la verifica all'equilibrio del fondo scavo, nella condizione di raggiungimento della massima quota di fondo scavo per ciascun concio.

La verifica è eseguita considerando a favore di sicurezza il tappo impermeabile, con distribuzione delle pressioni dovute alla falda idrostatiche. La falda è considerata a quota +0.00 s.l.m.; il peso di volume del calcare di Bari viene assunto cautelativamente pari a 23 kN/m³.

La verifica è eseguita con riferimento alle indicazioni della Normativa, applicando alle azioni i coefficienti indicati nella tabella 2.6. I e tabella 6.2.III delle NTC 2008, delle quali si riporta di seguito uno stralcio.

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 6.2.III – Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sollevamento.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	SOLLEVAMENTO (UPL)
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9
	Sfavorevole		1,1
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0
	Sfavorevole		1,5
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0
	Sfavorevole		1,5

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Le verifiche sono riportate nella tabella seguente.

VERIFICA AL SOLLEVAMENTO						
CONCIO	Quota fondo scavo [m] s.l.m.	Quota fondo tampone [m] s.l.m.	Peso tampone+terreno [kPa]	Sottospinta acqua [kPa]	Ed [kPa]	Rd [kPa]
Concio 5	-1.53	-4.0	56.51	40.0	44.0	51.1
Concio 6	-1.78	-5.0	74.06	50.0	55.0	66.7
Concio 6 monolite	-4.10	-9.0	112.70	90.0	99.0	101.4
vasca	-4.15	-9.0	111.55	90.0	99.0	100.4
Concio 7	-2.34	-5.0	61.18	50.0	55.0	55.1
Concio 8 e 9	-1.84	-5.0	72.68	50.0	55.0	65.4
Concio 11	-1.51	-5.0	80.27	50.0	55.0	72.2
Concio 12	-1.26	-4.0	63.02	40.0	44.0	56.7

Le verifiche sono soddisfatte, in quanto il valore delle azioni di sollevamento Ed è sempre inferiore al valore della resistenza dovuta al peso del tampone Rd.

	<p>RIASSETTO NODO DI BARI PROGETTO DEFINITIVO TRATTA A SUD DI BARI VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI C.LE E BARI TORRE A MARE</p>					
<p>RELAZIONE DI CALCOLO TAMPONE DI FONDO</p>	<p>COMMESSA IA1U</p>	<p>LOTTO 04</p>	<p>CODIFICA E 78 CL</p>	<p>DOCUMENTO NV 01 00 413</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 13 di 17</p>

5 STIMA DEWATERING

Per quanto concerne lo scavo nelle zone con un battente idraulico inferiore ad 1 m, dove non è previsto il tampone con iniezioni cementizie, è stata eseguita una analisi FEM 2D al fine di determinare la portata di acqua da agottare. Nell'analisi è stata modellata una sezione di scavo considerando la falda in sito ad 1 m sopra il fondo scavo e quindi con agottamento per la fase finale di scavo (filtrazione) con riferimento ad un valore di permeabilità del calcare di Bari di $3 \cdot E^{-04}$ m/s (valore massimo di permeabilità da prove in sito).

5.1 Metodologia di calcolo

L'analisi è stata effettuata per mezzo del codice numerico Plaxis v.2015, un codice di calcolo agli elementi finiti utilizzabile per eseguire analisi di stabilità e di deformazione nell'ambito di molteplici applicazioni geotecniche e di interazione terreno-struttura. Il programma permette di simulare situazioni riconducibili a condizioni di deformazione piane (plain strain).

Il terreno è generalmente discretizzato tramite elementi triangolari a 15 nodi, disposti a generare una mesh di calcolo opportunamente infittita nelle zone di massimo gradiente tensionale.

Presenta una vasta libreria di legami costitutivi attribuibili ai terreni. Sono disponibili inoltre elementi strutturali di vario tipo che consentono di simulare diaframmi, pali, ancoraggi ecc.

Plaxis generalmente viene utilizzato per analisi in tensioni efficaci quindi, nei problemi che coinvolgono la determinazione delle pressioni neutre, le stesse possono essere generate attraverso l'analisi del moto di filtrazione in regime stazionario; quest'ultimo richiede l'introduzione delle condizioni al contorno per la quota piezometrica e per le condizioni di flusso (superfici impermeabili, punti di emungimento, sorgenti etc.).

Per modellare la risposta meccanica dello scheletro solido, sono stati impiegati legami costitutivi elasto-plastici che permettono di cogliere le deformazioni irreversibili che si sviluppano nel volume al contorno dello scavo. L'esistenza di deformazioni plastiche implica la necessità di considerare, nell'analisi, l'andamento dei carichi con il proseguire dell'esecuzione delle opere; infatti, la soluzione del problema, a differenza del caso elastico, dipende anche dal percorso tensionale seguito.

Pertanto, l'analisi è stata sviluppata in fasi successive per riprodurre tutte le principali lavorazioni previste per la sezione esaminata: le condizioni finali di ciascuna fase saranno le condizioni iniziali per la fase successiva. Per la definizione delle fasi modellate si fa riferimento a quanto riportato nel paragrafo 5.3.

5.2 Parametri geotecnici di calcolo

Cautelativamente per le analisi di stabilità si considera una stratigrafia uniforme con 2 m di terreno ed a seguire CBAalt.

Le unità stratigrafiche coinvolte sono state modellate con elementi finiti bidimensionali caratterizzati da un legame costitutivo elasto-plastico alla Mohr-Coulomb.

Di seguito si riportano i parametri geotecnici di calcolo:

Unità S - Sabbia

$\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E' = 30 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo

Unità CBAalt - Calcarei di Bari alterati

$\gamma = 24.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 30 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E' = 200 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo
$k = 3 \cdot E^{-04} \text{ m/s}$	permeabilità

Falda: +0.0 m s.l.m. (1 m sopra il fondo scavo: quindi si prevede agottamento acqua per tenere lo scavo asciutto).

5.3 Fasi di calcolo

La procedura di calcolo è stata sviluppata in diversi steps di calcolo successivi:

- inizializzazione geostatica;
- scavi successivi in corrispondenza delle scarpate;
- raggiungimento del fondo scavo finale con agottamento falda a fondo scavo con battente di circa 1 m.

Le fasi di calcolo considerate sono illustrate nelle figure seguenti mentre i risultati delle analisi saranno riportati nel paragrafo successivo.

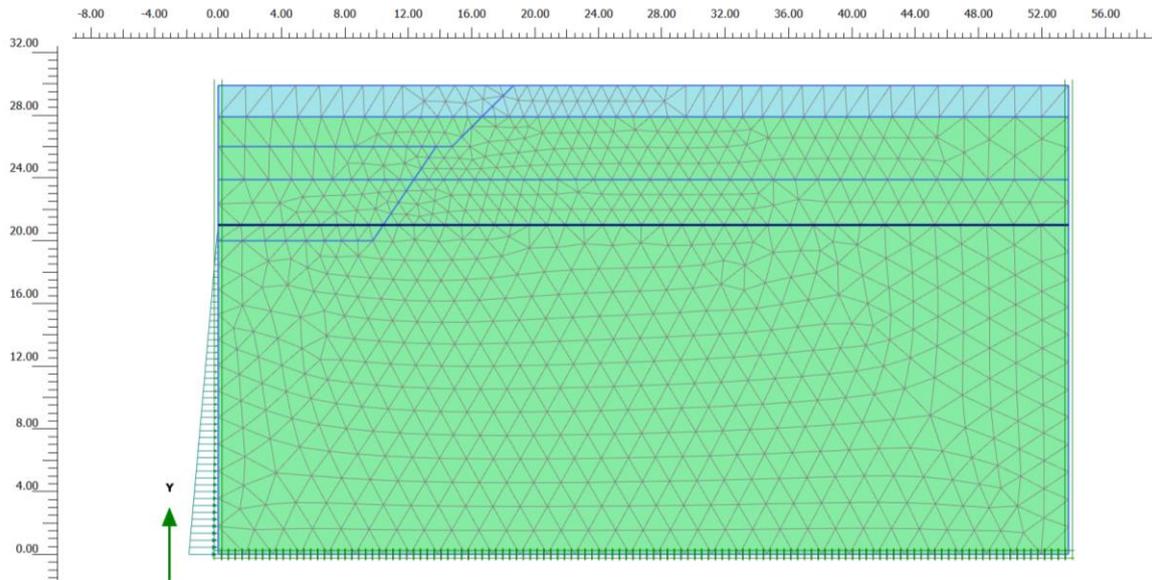


Figura 3 – Inizializzazione

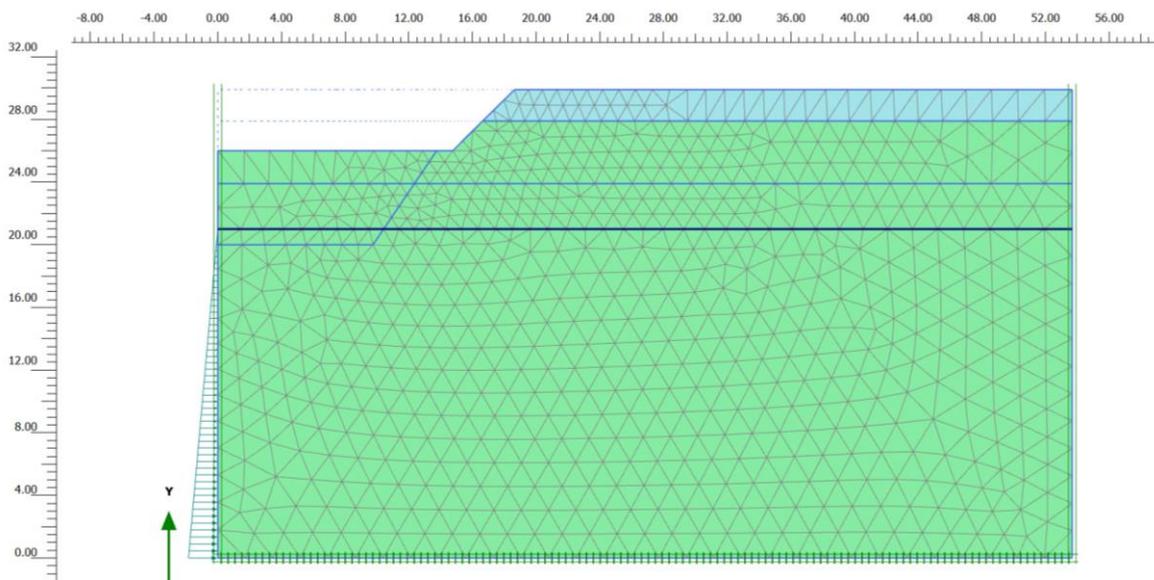


Figura 4 – Scavo 1

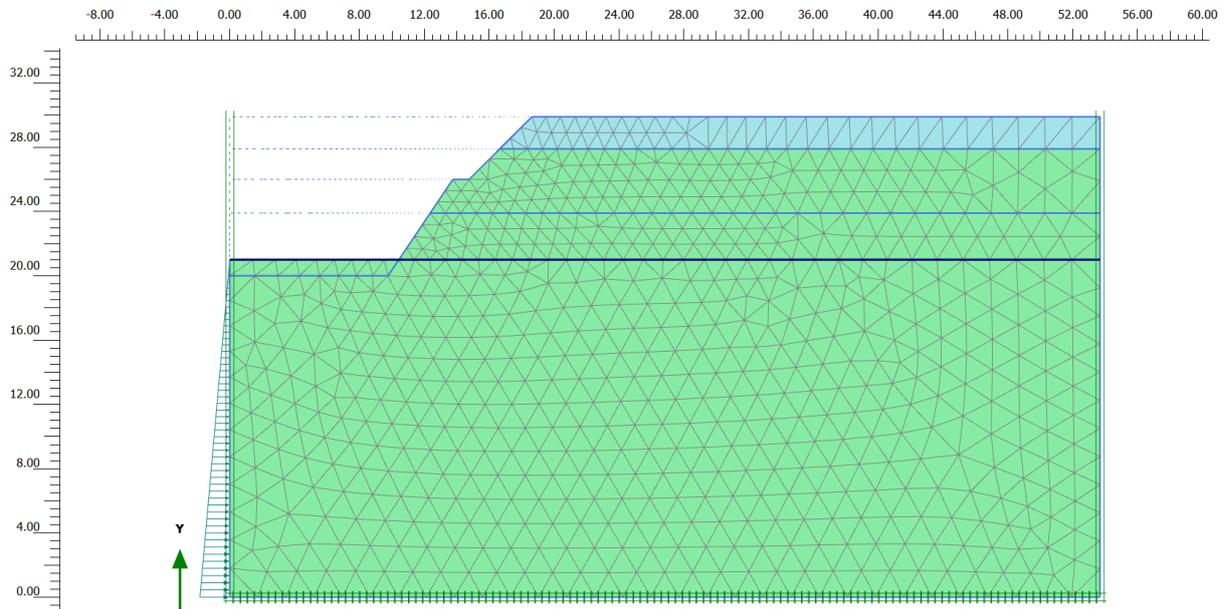


Figura 5 – Scavo 2

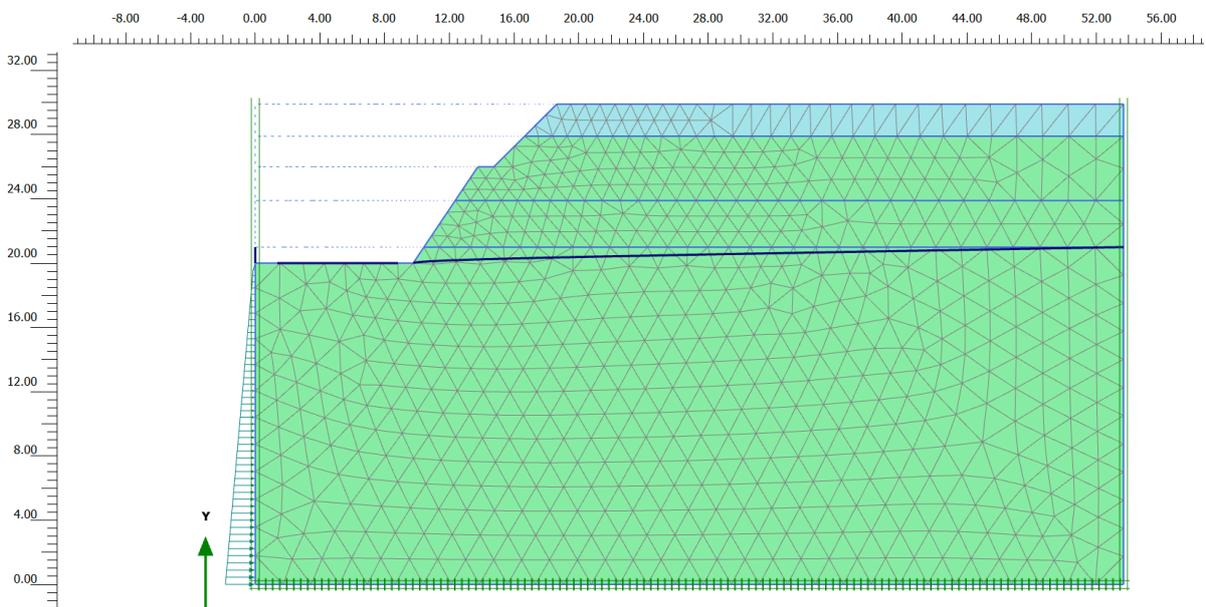


Figura 6 – Fase finale (raggiungimento del fondo scavo+filtrazione)

5.4 Risultati

I risultati delle analisi FEM 2D svolte sono descritti nel seguito e illustrati attraverso i grafici ritenuti più rappresentativi.

La portata di flusso intercettata a fondo scavo vale $q = 0.11 \cdot E^{-03} \text{ m}^3/\text{s}$ (vedasi Figura 8). In funzione della condizione di simmetria considerata nel modello di calcolo (metà scavo), la portata totale da agottare a fondo scavo (per metro di sviluppo longitudinale di scavo) è di:

$$Q = 2 \cdot 86400 \cdot 0.11 \cdot E^{-03} = 20 \text{ m}^3 / \text{giorno} / \text{m}.$$

Considerando che lo sviluppo longitudinale di scavo sotto falda senza trattamento di iniezioni cementizie, è di circa 50 m (complessivi), la portata massima totale da agottare è di $1000 \text{ m}^3 / \text{giorno}$. Tale valore dovrà essere preso come riferimento per il dimensionamento del sistema di dewatering con adeguato margine di sicurezza.

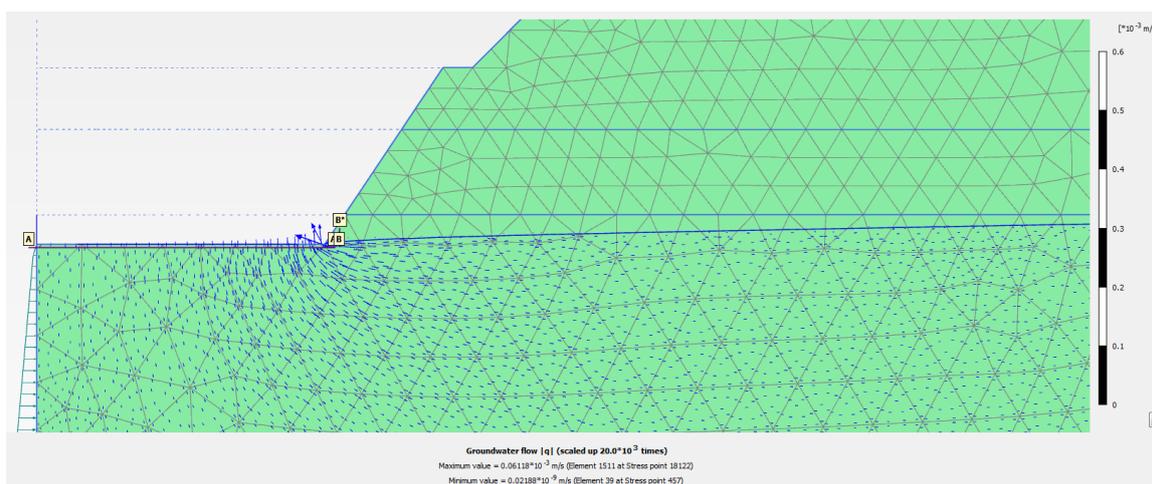


Figura 7 – Fase di scavo finale



Figura 8 – Fase di scavo finale (linee di flusso e valore di portata di calcolo) – $q = 0.11 \cdot E^{-03} \text{ m}^3/\text{s}$