

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:
CONSORZIO:



SOCI:



PROGETTAZIONE:
MANDATARIA:



MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

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

GEOTECNICA

TRATTE ALL'APERTO

"Variante 28" – Opere di mitigazione dei movimenti franosi-Tratta all'aperto Catel del Fiego
Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA AV Il Direttore Tecnico Ing. Aristodemo Busillo 07/12/2022	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani	 Ing.R. Zanon/P.Galvanin

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	SCALA:
IF28	01	V	ZZ	RH	OC0101	282	A	-

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per consegna	GdP	07/12/2022	N.Valimeberti/ P.Pazzaglia	07/12/2022	A.Callerio	07/12/2022	R.Zanon P.Galvanin

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 2 di 39

Indice

1	PREMESSA	3
2	ELABORATI DI RIFERIMENTO	4
2.1	VARIANTE 28 – ELABORATI GENERALI.....	4
2.2	VARIANTE 28 – ESITI INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE	4
2.3	VARIANTE 28 – GEOLOGIA E GEOTECNICA	4
2.4	VARIANTE 28- OPERE DI DRENAGGIO VERSANTE	5
3	APPROCCIO METODOLOGICO	6
4	CONTESTO IDROGEOLOGICO, GEOTECNICO E PROGETTUALE	7
4.1	INTRODUZIONE.....	7
4.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO	7
4.3	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	8
4.4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	9
4.5	QUADRO PROGETTUALE DI VARIANTE	10
5	MODELLAZIONE 2D	12
5.1	GEOMETRIA DEL MODELLO E CONDIZIONI APPLICATE	12
5.2	CALIBRAZIONE DEL MODELLO	13
5.2.1	CALIBRAZIONE IN CONDIZIONI DI FALDA MEDIA.....	14
5.2.2	CALIBRAZIONE IN CONDIZIONI DI FALDA MASSIMA	15
6	MODELLAZIONE 3D	17
6.1	CARATTERISTICHE DEL MODELLO.....	17
6.1.1	GEOMETRIA DEL MODELLO	17
6.1.2	CONDIZIONI APPLICATE AL MODELLO	20
6.1.3	CALIBRAZIONE IN CONDIZIONI ANTE-OPERAM.....	20
6.1.4	MODALITÀ DI INSERIMENTO DEGLI ELEMENTI PROGETTUALI NEL MODELLO	22
6.2	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI 3D	25
6.2.1	SIMULAZIONI IN CONDIZIONI DI FALDA MEDIA.....	25
6.2.2	SIMULAZIONE DELLE OPERE DI DRENAGGIO IN CONDIZIONI DI FALDA MASSIMA.....	30
7	CONCLUSIONI	32

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 3 di 39

1 PREMESSA

Nell'ambito del Progetto Esecutivo del Raddoppio Apice-Orsara, 1° lotto funzionale Apice-Hirpinia, il nuovo tracciato ferroviario, procedendo da Bari verso Napoli, prevede nella tratta all'aperto dal km 9+637 a km 10+052 la realizzazione delle opere GI04, GA04, TR04, VI03 (SPA,P1,P2), RI57, NV10 e NV11. Le evidenze restituite dalla strumentazione di monitoraggio installata nel corso della campagna geognostica e di monitoraggio di Progetto Definitivo ed Esecutivo hanno mostrato, durante la stagione invernale 2020/2021, la presenza di movimenti profondi del versante posto in sinistra orografica del fiume Ufita. Il quadro sperimentale che emerge dalle nuove osservazioni delinea la presenza di un movimento di frana profonda, che si estende a monte e a valle della zona di imbocco Nord della galleria Melito, con profondità di circa 20-22 m nella porzione inferiore del versante e di circa 6-10 m verso monte.

La ricostruzione del modello geologico e idrogeologico di riferimento ha permesso di evidenziare come, da un lato, la posizione delle quote di scorrimento indicate dagli inclinometri possa essere messa in relazione con alcune zone scadenti dal punto di vista geomeccanico e come, dall'altro lato, il cinematiso della frana sia fortemente influenzato dalle precipitazioni; in particolare, in presenza di precipitazioni intense, si registra un'accelerazione dei movimenti franosi. Tali elementi sono particolarmente rilevanti in quanto consentono di individuare nell'abbassamento del livello di falda un fattore cruciale a favore della stabilizzazione dell'intero versante e, di conseguenza, di una riduzione delle spinte del terreno sulle opere di stabilizzazione del piazzale RI58 e sulle fondazioni profonde del viadotto VI03.

Il mutato quadro geo-morfologico che emerge dal recente monitoraggio inclinometrico e dagli approfondimenti conoscitivi che sono seguiti, ha richiesto una revisione delle ipotesi progettuali presentate nel Progetto Esecutivo.

Tale revisione costituisce oggetto di variante, denominata "VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090".

La variante, nell'ambito della quale si inserisce la modellazione discussa nel presente rapporto, contempla sia la revisione progettuale delle opere di PE che necessitano di un adeguamento strutturale in funzione del mutato quadro geomorfologico-idrogeologico, sia la progettazione degli interventi atti alla mitigazione dei movimenti franosi sulla tratta d'interesse in corrispondenza della quale si è riattivato il corpo di frana. Tra gli interventi di mitigazione dei movimenti franosi è prevista la realizzazione di un articolato sistema di drenaggio delle acque sotterranee, costituito da quattro pozzi principali, che in fase definitiva saranno collegati tra loro tramite una condotta a gravità. Da questi pozzi drenanti saranno lanciate condotte microfessurate che andranno ad intercettare dei sistemi di trincee drenanti profonde realizzate mediante materiale drenante e inerte. Inoltre, dai pozzi saranno realizzati una serie di dreni radiali che andranno ad intercettare le acque sotterranee a diverse quote.

Lo scopo delle simulazioni numeriche di flusso, i cui risultati sono descritti nel presente rapporto, è il dimensionamento e la verifica dell'efficienza idraulica delle opere al fine di assicurare che gli abbassamenti del livello di falda conseguiti con le opere di drenaggio siano compatibili con il raggiungimento delle condizioni di stabilizzazione del versante.

Le simulazioni sono consistite nella realizzazione di modelli 2D e 3D. I modelli sono stati inizialmente calibrati per le condizioni di falda ante-operam, considerando sia una configurazione di livello di "falda media", relativa ai periodi di assenza di precipitazioni o di piogge poco intense, sia di "falda massima", relativa ai periodi di precipitazioni intense e/o prolungate. Le simulazioni considerano l'evoluzione nel tempo (per il periodo di un anno) degli abbassamenti del livello di falda in presenza sia delle opere drenanti, sia delle opere di fondazione e di sostegno del versante previste dalla Variante 28.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 4 di 39

2 ELABORATI DI RIFERIMENTO

2.1 VARIANTE 28 – ELABORATI GENERALI

IF28.0.1.V.ZZ.RG.MD.00.0.0.281.A VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Relazione Generale

2.2 VARIANTE 28 – ESITI INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE

IF28.0.1.V.ZZ.RG.GE.02.0.5.281.A VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Relazione generale illustrativa

IF28.0.1.V.ZZ.SG.GE.02.0.5.281.A VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Sondaggi e prove in situ - Documentazione tecnica

IF28.0.1.V.ZZ.IG.GE.02.0.5.281.A VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Risultato delle Indagini geofisiche di PED

IF28.0.1.V.ZZ.PR.GE.02.0.5.281.A VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Prove di laboratorio - Documentazione tecnica

IF28.0.1.V.ZZ.RH.GE.02.0.5.281.A VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Monitoraggio geotecnico - Documentazione tecnica

2.3 VARIANTE 28 – GEOLOGIA E GEOTECNICA

IF28.0.1.V.ZZ.RG.GE.01.0.1.281.A VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Relazione geologica, geomorfologica generale

IF28.0.1.V.ZZ.N6.GE.01.0.1.281.A VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Carta geologico - geomorfologica

IF28.0.1.V.ZZ.F6.GE.01.0.1.281.A VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Profilo asse tracciato

IF28.0.1.V.ZZ.W9.GE.01.0.1.281.A VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Sezioni - Tav 1/3

IF28.0.1.V.ZZ.W9.GE.01.0.1.282.A VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Sezioni - Tav 2/3

IF28.0.1.V.ZZ.W9.GE.01.0.1.283.A VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Sezioni - Tav 3/3

IF28.0.1.V.ZZ.RH.OC.01.0.1.281.A VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Relazione Geotecnica Generale

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 5 di 39

2.4 VARIANTE 28- OPERE DI DRENAGGIO VERSANTE

IF28.0.1.V.ZZ.P8.VI.03.0.0.281.A	VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Opere di stabilizzazione e drenaggio - Fasi costruttive: Macrofase A
IF28.0.1.V.ZZ.P8.VI.03.0.0.282.A	VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Opere di stabilizzazione e drenaggio - Fasi costruttive: Macrofase B
IF28.0.1.V.ZZ.P8.VI.03.0.2.000.A	VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Opere di drenaggio versante Est - Planimetria
IF28.0.1.V.ZZ.F9.VI.03.0.2.281.A	VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Opere di drenaggio versante Est - Sezione longitudinale
IF28.0.1.V.ZZ.W9.VI.03.0.2.281.A	VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Opere di drenaggio versante Est - Sezioni trasversali
IF28.0.1.V.ZZ.BZ.VI.03.0.2.281.A	VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Opere di drenaggio versante Est - Dettagli costruttivi

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 6 di 39

3 APPROCCIO METODOLOGICO

La modellazione numerica di flusso del versante in sinistra orografica del fiume Ufita è stata condotta in due fasi:

- realizzazione di un modello 2D per la calibrazione delle condizioni ante-operam (condizioni naturali) utilizzando i dati di monitoraggio dei piezometri presenti sul versante,
- realizzazione di un modello 3D per la calibrazione delle condizioni ante-operam (condizioni naturali) e per la simulazione dell'abbassamento del livello di falda in presenza sia delle opere di drenaggio sia delle opere di fondazione del viadotto e di stabilizzazione del versante previste dal progetto di variante.

In sostanza la fase di simulazione 3D è stata preceduta da una fase preliminare di simulazioni 2D.

Il vantaggio di effettuare delle simulazioni 2D in anticipo rispetto alle simulazioni 3D è stato quello di poter definire in condizioni di minore complessità e in tempi relativamente più rapidi una calibrazione preliminare in condizioni indisturbate (ante-operam) dell'assetto idrogeologico del versante. Infatti, in considerazione di alcune incertezze riguardanti il modello idrogeologico concettuale di dettaglio, attraverso le simulazioni 2D è stato possibile attuare una serie di test di sensibilità, grazie ai quali è stata verificata l'influenza di alcuni parametri idraulici (es. valori e distribuzione spaziale delle conducibilità idrauliche, infiltrazione, etc.). In seguito alla realizzazione di numerosi test è stato possibile selezionare le configurazioni di parametri che consentono di pervenire ad una calibrazione soddisfacente e quanto più possibile realistica dell'assetto idrogeologico del versante. La realizzazione di questo processo di verifica non sarebbe stata possibile, o comunque sarebbe stato molto più laborioso e dispendioso in termini di tempo, attraverso il modello 3D, in quanto l'elevato numero di elementi finiti discretizzati avrebbe implicato dei tempi di simulazione non compatibili con le scadenze progettuali.

A seguito dei vari test di sensibilità e del processo di calibrazione del modello 2D è stato implementato il modello 3D, che al suo interno integra i risultati del modello bidimensionale. Inoltre, nel modello 3D sono state integrate le componenti progettuali principali significative ai fini della previsione dell'evoluzione idrodinamica del versante in frana in seguito al drenaggio dell'acqua sotterranea.

I modelli numerici sono stati realizzati con il codice ad elementi finiti FeFlow 7.4 (DHI), mentre la fase di calibrazione è stata realizzata con il codice FePest 7.5. Le simulazioni 3D sono state condotte in cloud computing sulla piattaforma Microsoft Azure, utilizzando una configurazione di macchine virtuali a 8 processori e 16 Gb di RAM.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 7 di 39

4 CONTESTO IDROGEOLOGICO, GEOTECNICO E PROGETTUALE

4.1 INTRODUZIONE

Il modello geologico-geomorfologico del versante su cui si inseriscono le opere di progetto previste nella "VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090" è descritto negli elaborati della Progettazione Esecutiva. In particolare la descrizione dettagliata del modello geomorfologico (caratteristiche ed indicazione sullo stato di attività dei dissesti) è riportata nel capitolo 4.1.8 della Relazione Geomorfologica di PE (IF2801EZZRGG0103001B).

In seguito ad un'analisi di dati successiva basata sull'attività di monitoraggio inclinometrico e piezometrico del versante in sinistra idrografica dell'Ufita, (sia con l'estensione del periodo di osservazione delle verticali già presenti in sede di PD/PE, sia con l'integrazione del piano di controllo con l'inserimento di nuove verticali) il modello geologico-idrogeologico è stato successivamente aggiornato. Infatti, tale monitoraggio ha consentito di identificare la presenza di movimenti localizzati a diverse quote lungo il versante che nell'insieme possono essere ricondotti agli effetti di cinematismi di roto-traslazione con geometria chiaramente riconoscibile. Tali evidenze hanno reso quindi indispensabile una revisione del modello del PE attraverso l'introduzione di una frana attiva, la cui superficie di scorrimento è ricostruibile dai risultati del monitoraggio. La revisione del modello geologico è presentata nel rapporto "Geotecnica - Report interpretativo monitoraggio geotecnico con evidenze geomorfologiche" (IF2701CZZRHOC0101007B).

Per i dettagli interpretativi e per una descrizione accurata del nuovo modello geologico-geomorfologico e geotecnico si rimanda alle sopra citate relazioni. Nel seguito, si riporta una sintesi delle principali risultanze dello studio, significative ai fini dello scopo del modello numerico di flusso discusso nei capitoli successivi.

4.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

Il quadro conoscitivo oggi disponibile è il risultato dell'integrazione di tutte le indagini che si sono articolate dal 2015 al 2022 nel corso delle varie fasi progettuali per ampliare progressivamente l'area di studio lungo il tracciato ed a monte del portale di imbocco della galleria Melito. Per aggiornare il modello geotecnico di riferimento del progetto alle nuove evidenze, la fase progettuale di PED ha integrato il quadro conoscitivo attraverso nuove verticali inclinometriche. Fra le letture di dicembre 2021 e marzo 2022 tutte le verticali hanno messo in evidenza incrementi di spostamento dell'ordine di 1-2 mm localizzati alle medesime quote che si potevano individuare, seppure in modo meno evidente, già a inizio 2021 dai profili inclinometrici di PD e PE.

L'individuazione di una superficie di scivolamento consente anche di effettuare delle opportune correlazioni sui rapporti stratigrafici, osservando come, nella maggior parte del versante, tale superficie si colloca al contatto tra la facies BNA1b (Membro dei conglomerati e delle sabbie di S. Sossio Baronica) e la facies BNA2 (Litofacies pelitica). In Figura 1 si riporta l'aggiornamento del profilo geologico-stratigrafico lungo il versante in esame che tiene in conto delle evidenze raccolte dalle indagini integrative svolte in sede di PED, oltre che dei successivi aggiornamenti delle letture inclinometriche. La lettura di tutti gli inclinometri posti lungo il versante, F12 e S17bis (PD), SME11, SME10, SME12, VI-03 1bis, VI03 2bis (PE), di cui si dispone di oltre una annualità di letture e degli strumenti di nuova installazione, S1, S5, S6 ed I_A, hanno evidenziato, con certezza, la presenza di movimenti gravitativi in atto lungo il versante. In particolare questi ultimi strumenti, nelle ultime letture comprese tra dicembre 2021 e marzo 2022, mostrano con evidenza tracce di movimenti profondi, con incrementi di spostamento di circa 1-1.2 mm nel periodo compreso tra gennaio e marzo 2022. L'insieme delle letture inclinometriche permette oggi di delineare la presenza di una zona in frana con superficie di scivolamento che si estende a monte e a valle della zona di imbocco Nord della galleria GV4, con profondità di circa 20-22 m nella porzione inferiore del versante e di circa 6-10 m verso monte. La velocità media di spostamento è modesta, dell'ordine dei 5 mm/anno per la verticale SME10, con punte massime di 10-15 mm/anno nei periodi di maggiore attività.

Tali movimenti, interessano il versante da pk 9+550 a pk 10+090, dove si inseriscono le opere dell'imbocco lato Napoli della Galleria Melito, il piazzale RI57, la trincea TR04 e le opere di fondazione della spalla A, della pila 1 e

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 8 di 39

della pila 2 del Viadotto VI03. In particolare, gli strumenti inclinometrici hanno dimostrato che l'area del movimento, caratterizzato da un azimut circa 280°N è planimetricamente interferente con il tracciato del viadotto VI03.

Sono state identificate una serie di concause del movimento, quali: la progressiva erosione al piede del versante da parte del fiume Ufita e la presenza di superfici di faglia che hanno favorito l'impostazione di piani di scivolamento. L'ipotesi più probabile è che il meccanismo originario possa derivare non da un unico cinematisma profondo, alla scala del versante, ma dalla composizione di più cinematismi che si sono attivati progressivamente, secondo un fenomeno retrogressivo.

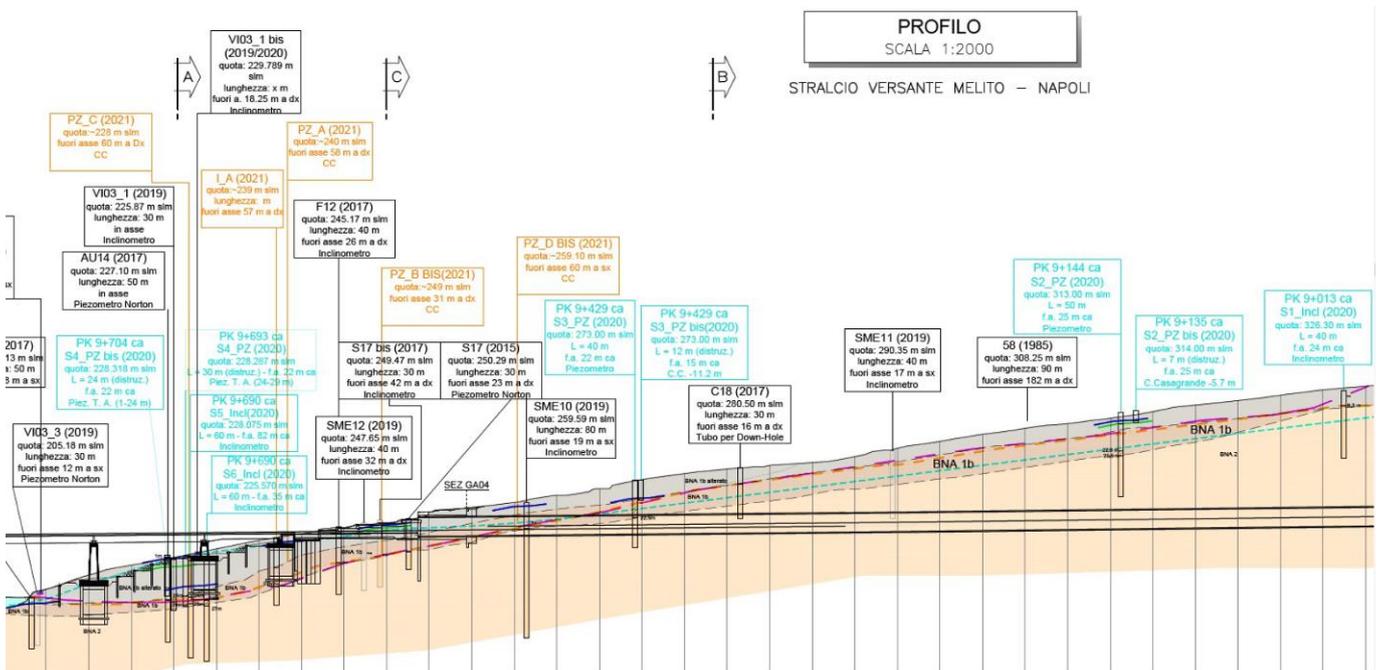


Figura 1. Ricostruzione profilo geologico – stratigrafico – Aprile 2022. La linea tratteggiata rossa identifica la superficie di scorrimento della frana.

4.3 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Le stratigrafie dei sondaggi integrativi e le prove dilatometriche effettuate, mettono in luce da un lato una certa omogeneità granulometrica dei depositi indagati, a prevalenza limoso-argillosa, interrotta localmente da orizzonti più grossolani, e dall'altro una differenza nella risposta meccanica fra i depositi prevalentemente limosi mediamente consistenti più superficiali e quelli profondi marnosi caratterizzati da ottime proprietà meccaniche ed elevata rigidità.

Nella porzione di versante interessata dalle opere, tale netta separazione di comportamento meccanico si identifica con il passaggio della superficie di scorrimento che delimita il cinematisma. La Figura 2, tracciata lungo la direzione di movimento della frana (traccia B-B'; fare riferimento al rapporto di PED "Geotecnica - Report interpretativo monitoraggio geotecnico con evidenze geomorfologiche", IF2701CZZRHOC0101007B), mostra la ricostruzione delle unità geotecniche, ove ai depositi superficiali è stata associata l'unità UG1 e a quelli più profondi l'unità UG2.

L'Unità geotecnica UG1 è riconducibile alle porzioni più alterata, superficiale, della facies litologica BNA1b, mentre l'unità geotecnica UG2 rappresenta le porzioni più consistenti della facies litologica BNA1b, nonché il substrato più competente della facies litologica marnosa BNA2. L'UG1 ha spessore variabile da circa 30m nella zona di valle (S5 ed S6, DM_A), a circa 15m verso metà pendio (DM_D), a 8÷10m nella porzione più a monte (S1, S2, DM_F). L'UG2, nel modello stratigrafico, può considerarsi indefinita.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 9 di 39

Per entrambe le unità geotecniche considerate, le caratteristiche granulometriche indicano la presenza di una matrice pelitica in percentuali tali da condizionarne il comportamento meccanico. Sebbene meno compatti dei terreni più profondi, i materiali della UG1 sono comunque caratterizzati da buona consistenza.

Nella zona bassa del versante, in tutte le verticali indagate (S5, S6 e VI03-1), fra le profondità di 25 e 28m (circa 200m l.m.m.) si ritrova un orizzonte di modesto spessore di terreno a granulometria più grossolana, ben evidenziato anche dalla perdita totale e prolungata del fluido di perforazione registrata (VI03-1) a quote corrispondenti a quelle del fondo valle, durante la perforazione. Il monitoraggio piezometrico mediante celle di Casagrande e piezometri a tubo aperto a cavallo dello strato, conferma come questo orizzonte costituisca un vero e proprio contorno drenante, come dimostrato dal brusco abbassamento della quota piezometrica che si osserva al piede del versante nei periodi caratterizzati da scarse precipitazioni. A tale orizzonte, a livello idraulico costituisce un elemento drenante, è stata associata una specifica unità geotecnica (OD in Figura 2). Nel modello geologico tale orizzonte costituisce la porzione di base della facies BNA1b, caratterizzata da granulometria più grossolana.

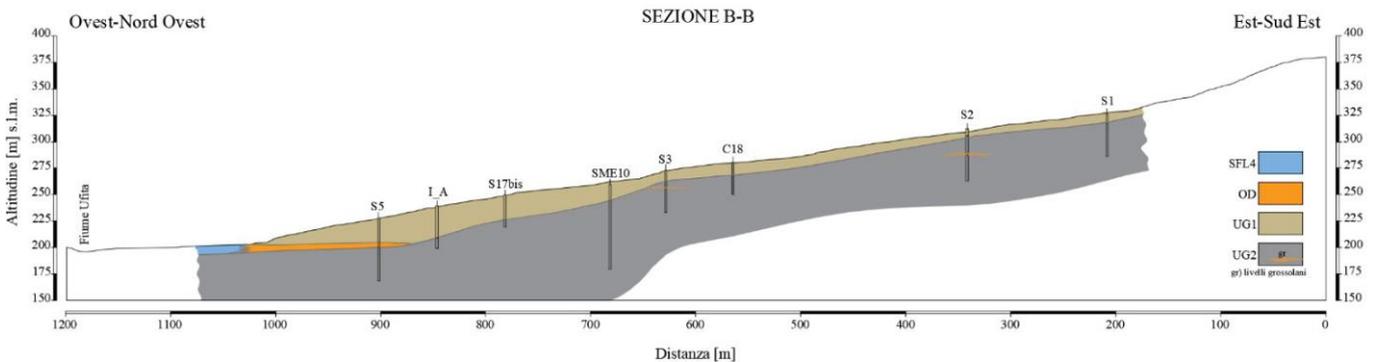


Figura 2. Profilo delle unità geotecniche individuate lungo la traccia della direzione di movimento (traccia B-B').

4.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Le prove idrauliche effettuate nei vari sondaggi consentono di definire i valori di permeabilità delle varie unità geotecniche. L'unità geotecnica UG2 presenta valori del coefficiente di permeabilità molto bassi, dell'ordine di $10^{-9} \div 10^{-10}$ m/s. Peraltro, in corrispondenza di livelli di materiale grossolano, la permeabilità cresce considerevolmente con valori di k dell'ordine di 10^{-6} m/s.

Per quanto riguarda l'unità geotecnica UG1, i valori di permeabilità risultano più dispersi e maggiori di quelli di UG2, in un range compreso indicativamente tra $10^{-7} \div 10^{-9}$ m/s. I valori più elevati, superiori a 10^{-7} m/s, sono stati registrati per le verticali Pz_A, Pz_B e Pz_C.

Alcune evidenze indicano che la superficie di scorrimento possa rappresentare una fascia a permeabilità maggiore e, quindi, costituire una via preferenziale per la circolazione delle acque di falda. Sull'unità geotecnica definita OD, infine, è stata condotta un'unica prova Lefranc che ha restituito il valore di circa 3×10^{-7} m/s. E' interessante notare come mediante il monitoraggio piezometrico si sia potuto identificare che il livello OD costituisca un orizzonte drenante, come dimostrato dal brusco abbassamento della quota piezometrica che si osserva al piede del versante nei periodi caratterizzati da scarse precipitazioni.

Il livello idraulico all'interno del corpo principale varia fra -5m da p.c. e quota p.c., in ragione dell'andamento delle precipitazioni mentre, nella zona secondaria a monte, l'oscillazione della falda è modesta. Il comportamento idraulico all'interno del corpo principale risulta differente fra la zona di frana (forte sensibilità alle precipitazioni) e la sottostante formazione integra: in particolare, è stata evidenziata una correlazione fra velocità di scorrimento locale e le precipitazioni cumulate (60gg). Tale correlazione risulta meno evidente per i piezometri a monte. Le variazioni di livello più consistenti si registrano al piede del versante, ove alcuni piezometri (es. PzC), la cui cella è posta poco al di sopra della superficie di scorrimento ipotizzata (20m da p.c.), registra una forte escursione in corrispondenza dei periodi di precipitazione più intensa. In conclusione, vi sono evidenze che portano a ritenere che in concomitanza degli eventi di "piena" si verifichi un'accelerazione del movimento franoso, con movimenti localizzati alle profondità di 18-20 metri da piano campagna. Pertanto, l'altezza della piezometria all'interno del corpo di frana costituisce un fattore di controllo del cinematiso della frana. La Figura 3 mostra la ricostruzione del

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.			ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.								
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana			COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 10 di 39

livello piezometrico relativamente ad un periodo di di livello massimo di falda (successivo ad un periodo di intense precipitazioni).

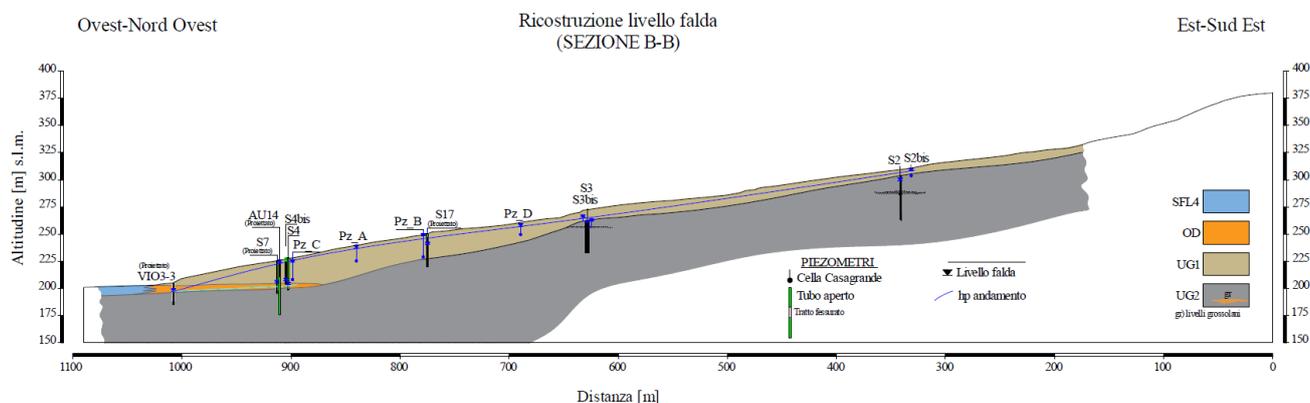


Figura 3. Livello piezometrico all'interno del corpo di frana lungo la sezione B-B' (cfr. rapporto di PED Geotecnica - Report interpretativo monitoraggio geotecnico con evidenze geomorfologiche). La ricostruzione alla base del versante si riferisce un periodo di livello massimo di falda.

4.5 QUADRO PROGETTUALE DI VARIANTE

Per una descrizione dettagliata delle opere inserite nel progetto di variante si rimanda agli elaborati specialistici. In questo paragrafo ci si sofferma sulla descrizione di alcuni elementi progettuali che sono significativi ai fini della modellazione numerica di flusso. Come discusso precedentemente, i dati recentemente raccolti indicano che l'altezza della falda esercita un controllo diretto sui cinematismi della frana. Questo aspetto ha orientato la progettazione nella scelta di introdurre un sistema di drenaggio capace di abbassare il livello piezometrico alla scala di versante. Questo sistema consente di eseguire gli scavi profondi all'asciutto e di incrementare la stabilità dell'intero versante, riducendo così le spinte di progetto sulle fondazioni profonde del viadotto.

In relazione alla particolarità del delicato contesto geomorfologico ed idrogeologico evidenziato tramite gli approfondimenti conoscitivi sopra descritti, all'elevato livello di sismicità del sito e alle caratteristiche del viadotto, che presenta altezze di pile considerevoli, sono stati elaborati interventi di messa in sicurezza della linea da svilupparsi in due differenti fasi operative successive, denominate Fase A e B. La Figura 4 mostra lo schema planimetrico degli interventi in progetto. L'intervento di stabilizzazione del pendio prevede un sistema di opere che interessano tutta la porzione di versante su cui insistono le opere di linea il piazzale e la viabilità di accesso, a partire dall'imbocco della galleria Melito fino al piede del pendio in corrispondenza della strada SP283.

La fase A è volta principalmente alla realizzazione delle prime opere di drenaggio e stabilizzazione profonda del versante, sia a monte del piazzale RI57, sia lungo il viadotto VI03. Il progetto di variante prevede la realizzazione di 4 pozzi strutturali finalizzati al drenaggio delle acque profonde e disposti come indicato con la lettera "b" in Figura 4. I pozzi sono realizzati in fase A, in modo da consentire una regimazione delle pressioni neutre sul piano di scivolamento attivo fin dalle prime fasi di intervento lungo il versante. I pozzi di drenaggio profondi verranno realizzati con pali accostati e secanti che svolgono la duplice funzione di integrare l'azione drenante sul pendio mediante dreni su orizzontali e di raccogliere le acque delle trincee profonde, scaricandole, tramite un collettore di fondo direttamente nell'Ufita a gravità. L'altezza di scavo all'interno dei pozzi raggiunge un massimo di circa 20 m da p.c.; i pozzi sono attrezzati con camere di drenaggio all'interno della quali sono eseguiti dreni a geometria radiale, che consentono di drenare le acque di versante all'interno del corpo di frana (es. schema tipologico di Figura 5). Inoltre, i pozzi drenanti saranno collegati a batterie parallele di trincee drenanti che saranno realizzate con le macchine per l'esecuzione dei pali trivellati. Ogni setto drenante avrà una lunghezza di 7 m e una profondità di 20 m dal piano di lavoro e saranno disposti come mostrato con la lettera "a" in Figura 4. I pali saranno riempiti con materiale arido drenante. Dalla camera di drenaggio di ciascuno dei 4 pozzi saranno eseguite le perforazioni per la posa di tubi di drenaggio profondo che collegano le batterie di trincee drenanti, consentendo quindi il deflusso delle acque convogliate all'interno delle trincee drenanti.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 11 di 39
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana						

La fase B è dedicata alla realizzazione di scavi di sbancamento nella zona di imbocco e del piazzale RI57 e di opere di fondazione profonda della spalla A e delle pile 1 e 2 del viadotto V103, preceduta dai relativi scavi di sbancamento ed esecuzione delle opere provvisorie. Saranno quindi ultimate le elevazioni delle pile e delle spalle in modo da procedere con il varo dell'impalcato del viadotto che avverrà principalmente a spinta utilizzando il piazzale RI57 e le piazzole di lavoro in corrispondenza delle spalle, secondo le fasi già individuate nel progetto esecutivo.

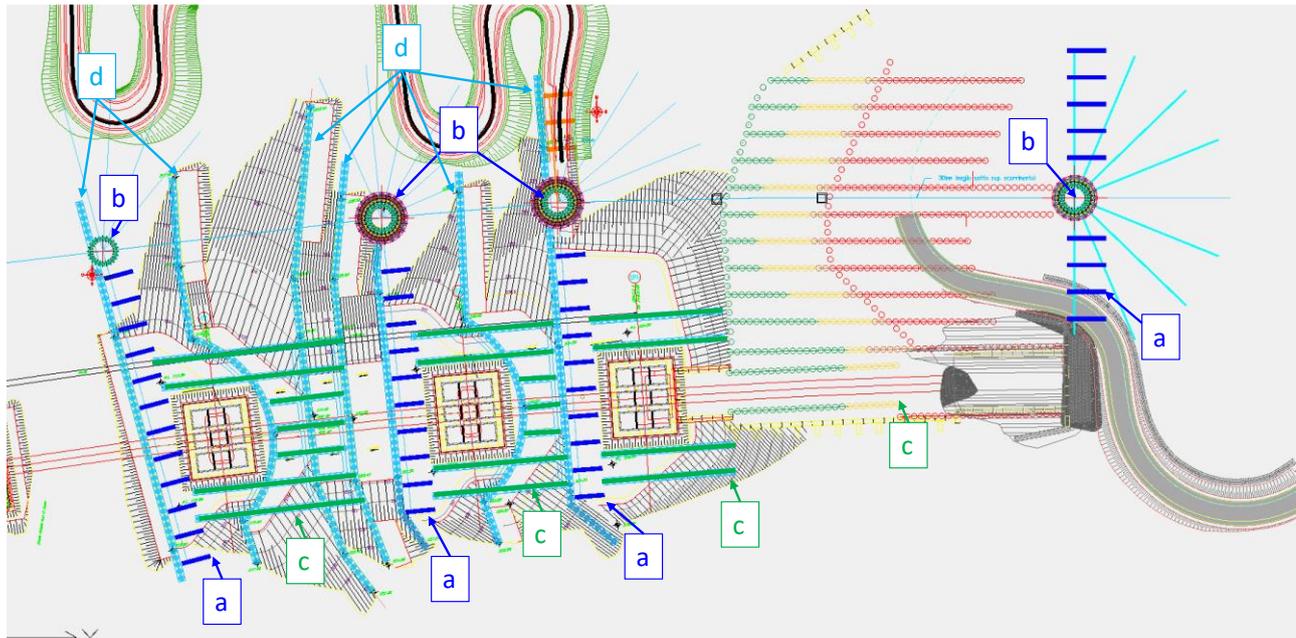


Figura 4. Schema dell'intervento con l'ubicazione delle principali opere di stabilizzazione. Le opere contrassegnate con "b" riguardano i pozzi drenanti da cui dipartono i dreni radiali, mentre con "a" sono indicate le trincee drenanti, attraversate da tubi di drenaggio che convogliano le acque verso i pozzi di drenaggio.

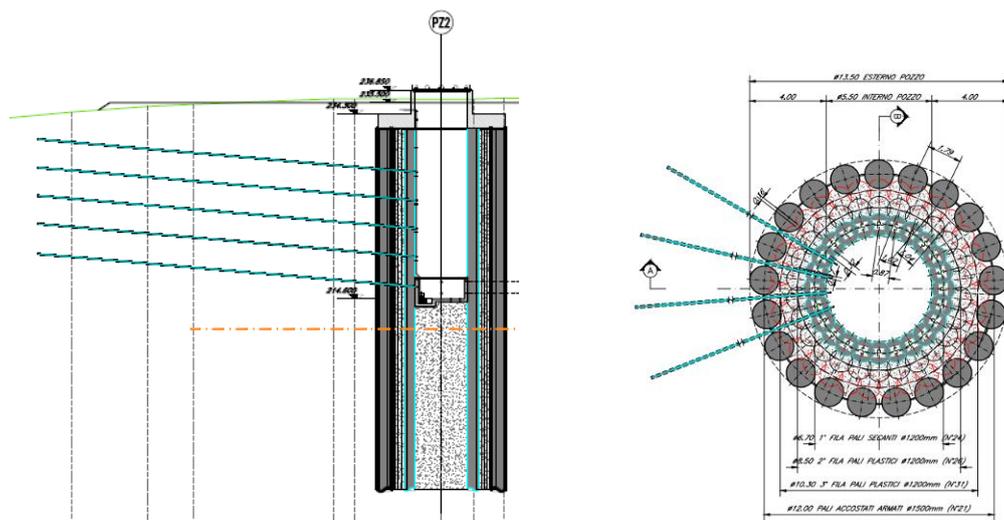


Figura 5. Schema tipologico in sezione (sinistra) e pianta (destra) dei dreni radiali che confluiscono nei pozzi strutturali.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 12 di 39

5 MODELLAZIONE 2D

5.1 GEOMETRIA DEL MODELLO E CONDIZIONI APPLICATE

Nella ricostruzione del modello numerico 2D è stato considerato il profilo geotecnico B-B' mostrato in Figura 1 e derivante dalla ricostruzione riportata nel rapporto di PED precedentemente citato. La dimensione del modello è di ca. 1100 m x 350 m ed è composto da una maglia di elementi finiti triangolari (complessivi 311'300 elementi). Nell'implementazione della maglia di elementi finiti sono stati considerati i limiti delle unità geotecniche UG1, UG2, OD e SFL4 delineati nel sopracitato rapporto. In corrispondenza dei limiti tra unità geotecniche è stato eseguito un affinamento delle maglie di elementi finiti. In aggiunta a quanto riportato nel modello geotecnico, sono stati discretizzati degli elementi finiti che tengono conto della presenza di possibili scarpate intermedie di frana. Questa opzione è stata presa in considerazione in alcuni dei tentativi di calibrazione dello stato naturale della falda sul pendio. All'interno del corpo di frana alcuni piezometri mostrano infatti dei comportamenti differenziati, con risposte più repentine alle precipitazioni rispetto ad altri piezometri adiacenti. Tali comportamenti fanno supporre che il corpo di frana possa non risultare omogeneo dal punto di vista idrogeologico e quindi anche geologico. L'unico elemento che si è ipotizzato possa indurre tali disomogeneità, visto il contesto geologico-geomorfologico, sembrano essere delle locali superfici di scivolamento interne al corpo di frana stesso, che ne determinano una partizione e che hanno comportamento idraulico a sé stante. Queste superfici potrebbero essere difficilmente identificabili sulla base dell'analisi delle carote di sondaggi, data la natura dei materiali difficilmente campionabile senza disturbo. La loro esistenza e natura possono solo essere ipotizzate e valutate in sede di modellazione, così come è stato fatto, per comprendere se esse possano risultare all'origine delle anomalie riscontrate.

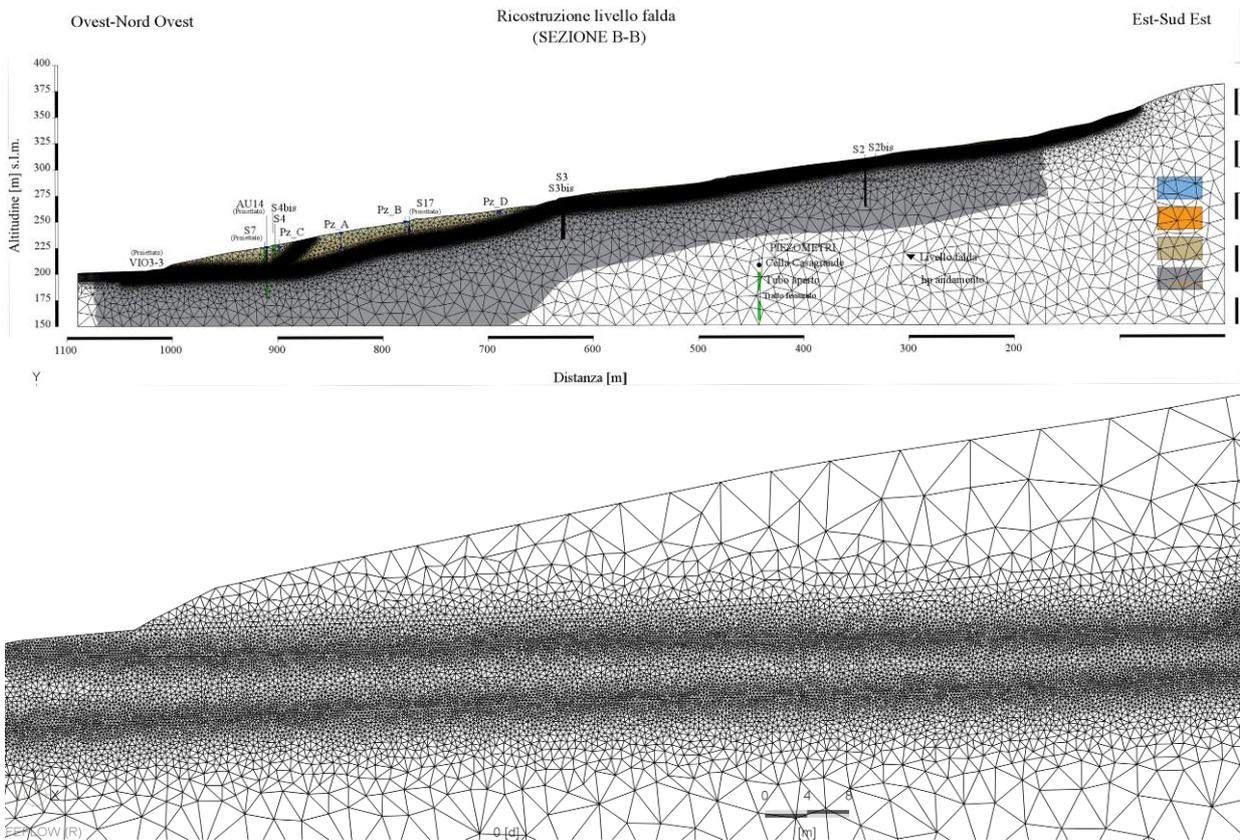


Figura 6. Sezione 2D complessiva con maglia di elementi finiti (sopra) e dettaglio di elementi maggiormente raffinati (sotto).

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 13 di 39

Le modellazioni sono state realizzate tenendo conto della presenza di una zona insatura al di sopra del livello di falda, il che ha implicato l'esecuzione di simulazioni basate sull'equazione di Richards (Richards, 1931), ovvero la relazione che governa i flussi in zona vadosa. In un modello analitico o numerico insaturo, le proprietà idrauliche del terreno sono caratterizzabili da espressioni analitiche che definiscono il grado di ritenzione idrica e conducibilità di un mezzo insaturo in funzione dei parametri che caratterizzano il suolo in esame. Queste funzioni, generalmente, sono riferibili ad una distribuzione unimodale delle dimensioni dei pori. Per le simulazioni numeriche realizzate in questo studio, la relazione che sussiste tra il contenuto volumetrico in acqua (indicato con θ), il potenziale idrico (h), la conducibilità idraulica (k), è stata espressa attraverso la formulazione di Van Genuchten:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^m}$$

ove θ , ovverosia il contenuto volumetrico in acqua, è il rapporto tra il volume d'acqua e il volume totale di una porzione unitaria di acquifero. θ_r [-] è il contenuto d'acqua residuo, ovverosia la porzione d'acqua che non contribuisce al flusso perché bloccato dalle particelle solide per fenomeni di adsorbimento; esso è una frazione del contenuto volumetrico totale che dipende dalle caratteristiche del suolo/acquifero e, seppur in maniera impropria, può essere fatto corrispondere alla frazione di acqua che non può essere rimossa dall'acquifero neanche per disseccamento. θ_s [-] è invece il contenuto volumetrico in acqua alla saturazione, cioè il massimo contenuto in acqua possibile per il suolo/acquifero. n [-] è un parametro ricavato empiricamente che dipende dalla forma dei granuli ed m [-] si ricava invece da n poiché equivale a $1-1/n$. α [m^{-1}] è un altro parametro empirico, definito come l'inverso del valore di ingresso dell'aria, ovverosia del carico negativo oltre il quale l'aria comincia ad entrare nel suolo/acquifero e a spostare le particelle d'acqua; anche tale valore dipende dalla granulometria del mezzo.

Come condizioni idrauliche al contorno sono state applicate delle infiltrazioni lungo la superficie del pendio e un carico idraulico sul Fiume Ufita. Sono state effettuate alcune simulazioni di pre-test finalizzate ad appurare che fosse garantita la stabilità delle soluzioni numeriche (assenza di oscillazioni).

5.2 CALIBRAZIONE DEL MODELLO

Allo scopo di garantire una ricostruzione del contesto idrogeologico del pendio il più affidabile possibile, il processo di calibrazione del modello è stato effettuato attraverso due fasi: (i) calibrazione in condizioni idraulicamente statiche, (ii) calibrazione in condizioni idraulicamente dinamiche. In condizioni statiche è stato ricercato un *best fit* tra le misure di livello effettuate sui piezometri presenti relativamente al periodo precedente alla fase di intensa piovosità e di conseguente risalita dei livelli. In condizioni dinamiche si è tentato di riprodurre con il modello le variazioni di livello misurate nei piezometri in corrispondenza di un periodo di elevata piovosità (autunno-inverno 2021).

In entrambe le fasi di calibrazione sono state effettuate numerose simulazioni nell'ambito delle quali sono stati fatti variare i parametri idraulici dei materiali discretizzati (conducibilità idraulica, coefficiente di immagazzinamento), le condizioni idrauliche al contorno applicate al modello (infiltrazioni) e sono state confrontate anche diverse assunzioni circa la configurazione idraulica del pendio in relazione alla geometria del corpo di frana (es. presenza di diversi corpi franosi con scarpate, contrasti di permeabilità tra diversi settori del pendio). Come riferimenti per la calibrazione sono state utilizzate le misure derivanti dal monitoraggio piezometrico sui piezometri: S7, PzA, PzB, PzC, PzD, S4, S4bis, AU14, S3, S2, S2bis.

Una sintesi dei diversi parametri idraulici e delle diverse condizioni al contorno applicate nell'ambito dei test di calibrazione è riportata in allegato. Come spiegato di seguito, alcune calibrazioni risultate come relativamente soddisfacenti in condizioni stazionarie sono poi risultate insoddisfacenti in condizioni dinamiche, motivo per cui il processo di calibrazione si è svolto con numerosi *trial and error* che hanno comportato una revisione ripetuta del modello. Per ogni simulazione è stato accertato che il bilancio idraulico, dato dal rapporto degli influssi e dei deflussi dal dominio di modellazione fosse in condizioni di equilibrio. La sintesi delle condizioni applicate nei vari test e della qualità dei risultati ottenuti è riportata nell'Allegato 1.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A			ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.			RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana			COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 14 di 39

5.2.1 Calibrazione in condizioni di falda media

Per la calibrazione in condizioni stazionarie sono stati realizzati più di 20 test di simulazione nell'ambito dei quali sono state considerate diverse condizioni idrauliche (permeabilità, infiltrazioni, etc.). Al fine di fornire un risultato il più possibile rappresentativo dello stato effettivo del versante si è cercato di attribuire ai vari materiali delle conducibilità idrauliche simili a quelle derivanti dai risultati delle prove idrauliche.

Al termine della procedura di calibrazione è stato ottenuto un *best fit* modellistico rispondente in maniera soddisfacente ai valori di misura. Tale risultato è stato ottenuto applicando la distribuzione di conducibilità idrauliche illustrata in Figura 3. Il grafico di calibrazione è riportato in Figura 4, mentre in Figura 5 è riportato il confronto tra la ricostruzione piezometrica discussa nel rapporto di PED "Geotecnica - Report interpretativo monitoraggio geotecnico con evidenze geomorfologiche" e quella ottenuta tramite la calibrazione. Da quest'ultima immagine è possibile osservare come vi sia una buona corrispondenza tra la piezometria misurata e quella simulata. Alla base del versante si riscontra una difformità tra le due configurazioni che tuttavia è da attribuire al fatto che la piezometria rappresentata nel modello concettuale fa riferimento ad un periodo di elevata piovosità mentre il modello fa riferimento ad una fase di piovosità medio-basse; per la fase di piovosità elevate si è ottenuta una calibrazione maggiormente rispondente ai dati nella successiva fase di simulazioni effettuata in condizioni dinamiche.

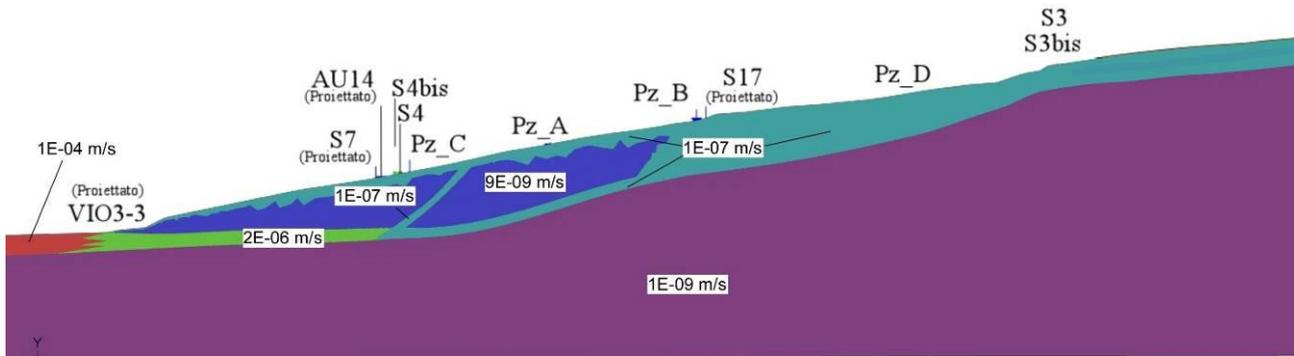


Figura 7. Valori di conducibilità idraulica applicati al modello di best fit.

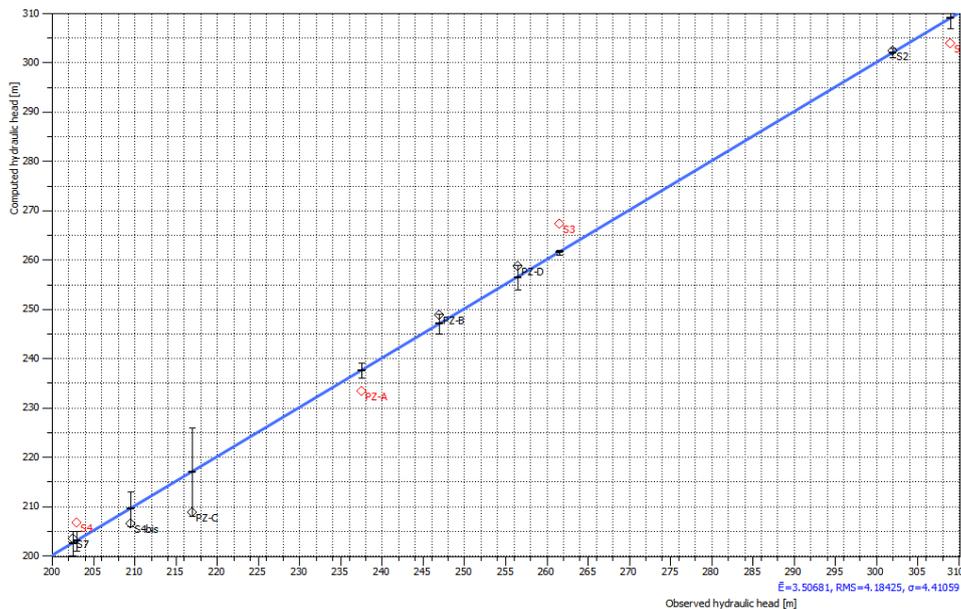


Figura 8. Retta di calibrazione del modello 2D con confronto dei dati simulati e delle misure piezometriche.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.		ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.							
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana		COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 15 di 39

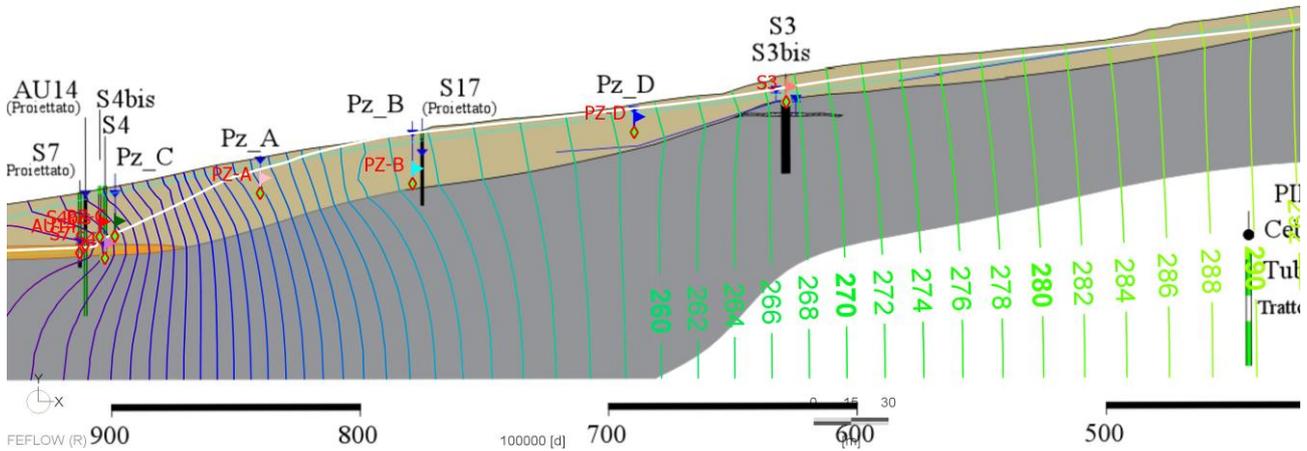


Figura 9. Visualizzazione della distribuzione dei carichi idraulici (linee colorate) e confronto tra la piezometria delineata nel rapporto di PED "Geotecnica - Report interpretativo monitoraggio geotecnico con evidenze geomorfologiche" e piezometria simulata (linea bianca).

In sintesi, al termine della fase di calibrazione del modello è stata ottenuta una distribuzione di valori di conducibilità (Figura 7) che, in relazione al modello geologico, geotecnico ed idrogeologico discusso nei paragrafi 4.2, 4.3 e 4.4, presenta le seguenti caratteristiche:

- all'unità geotecnica UG2 nel modello è stata attribuita una conducibilità di 1×10^{-9} m/s, congruentemente con quanto individuato con le prove idrauliche;
- all'unità UG1 sono stati attribuiti valori diversi in diversi settori del modello. Nella parte più corticale è stato assegnato un valore di 1×10^{-7} m/s, corrispondente alla fascia di alterazione dell'unità geologica BNA1b. Per la porzione sottostante alla fascia di alterazione è stata effettuata un'ulteriore differenziazione tra le conducibilità idrauliche del settore alto del versante, a cui è stata assegnata una conducibilità di 1×10^{-7} m/s e del settore basso, in cui le conducibilità assegnate sono di un ordine di grandezza inferiore e (9×10^{-9} m/s). Si fa notare come sebbene per quest'ultima porzione le prove idrauliche del PzA mostrino dei valori più elevati (di 2.2×10^{-7} m/s), dai vari tentativi di simulazione realizzati non sia stato possibile trovare una soluzione di calibrazione soddisfacente, motivo per cui sono stati assegnati i valori sopra citati. A valle dei numerosi tentativi realizzati, si è giunti alla conclusione che, probabilmente, il valore misurato in PzA sia rappresentativo solo di un contesto locale, mentre a livello più esteso risulta plausibile il valore identificato attraverso la calibrazione del modello;
- alla zona di scivolamento della frana, ubicata alla base dell'unità geotecnica UG1 è stata assegnata, per la parte alta-intermedia del versante una conducibilità idraulica di 1×10^{-7} m/s, in concordanza ad esempio con quanto rilevato dalle prove idrauliche effettuate per quelle profondità dal PzB (3.8×10^{-7} m/s), e per la parte bassa del versante, nel tratto occupato dall'unità geotecnica OD, una conducibilità idraulica di 2×10^{-6} m/s, che risulta simile a quanto ricavato dalle prove idrauliche effettuate a quella profondità nel PzC (8.2×10^{-7} m/s).

Le infiltrazioni assunte affinché si trovasse una calibrazione ottimale sono di bassa entità ed è stato necessario introdurre delle differenziazioni lungo il versante: nel settore di monte sono state applicate delle infiltrazioni di 10 mm/anno, mentre a valle sono state applicate delle infiltrazioni di 30 mm/anno.

5.2.2 Calibrazione in condizioni di falda massima

Per questo tipo di simulazione si è partiti dal risultato di *best fit* ottenuto con la fase precedente (simulazione statica). Per la calibrazione in condizioni dinamiche si è considerato il trend di variazione piezometrica registrato dai piezometri durante il periodo di elevata piovosità avvenuto nell'autunno e inizio inverno del 2021. L'impulso di piovosità a cui consegue un innalzamento dei valori piezometrici è osservabile in Figura 6. Nelle simulazioni sono stati introdotti degli impulsi di infiltrazione della durata di 3 mesi. I risultati ottenuti sono soddisfacenti per quanto riguarda la simulazione dei piezometri PzA, PzB, PzD, mentre sono solo parzialmente soddisfacenti per il PzC e

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.			ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.								
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana			COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 16 di 39

per il Pz4. Per il PzC non è stato possibile riprodurre l'entità delle variazioni misurate in PzC (ca. 25 m misurati, contro ca. 7 m simulati). Per provare ad incrementare il valore di innalzamento sono stati tentativamente inseriti degli orizzonti ad elevata inclinazione che connettono la superficie topografica con la zona in cui è collocata la cella di misura (cfr. Figura 7). Questa ipotesi potrebbe significare, ad esempio, che sono presenti superfici di movimento interne al corpo di frana. Tuttavia, anche con l'inserimento di tali zone non è stato possibile conseguire un innalzamento di livello quale quello osservato nel corso del monitoraggio di PzC. E' possibile che la cella di misura di PzC si collochi in un contesto locale governato da bassi coefficienti di immagazzinamento e da un'elevata interconnessione idraulica con la superficie. Tuttavia, in assenza di dati più vincolanti che consentano di ricostruire il locale contesto del PzC non è possibile riprodurre con il modello tali condizioni. Per quanto riguarda il piezometro S4 si osserva che i dati di monitoraggio indicano che tale piezometro non risente delle variazioni di piovosità e quindi di infiltrazione. Nel modello invece per questo piezometro è visibile un certo grado di influenza alle variazioni di infiltrazione.

In conclusione, si osserva che nonostante alcune locali difformità (piezometri PzC e S4), in generale la calibrazione effettuata in condizioni dinamiche (passaggio da falda media a falda massima) indichi che il modello sia sufficientemente realistico nel rappresentare le variazioni piezometriche restituite dalla rete di monitoraggio piezometrico.

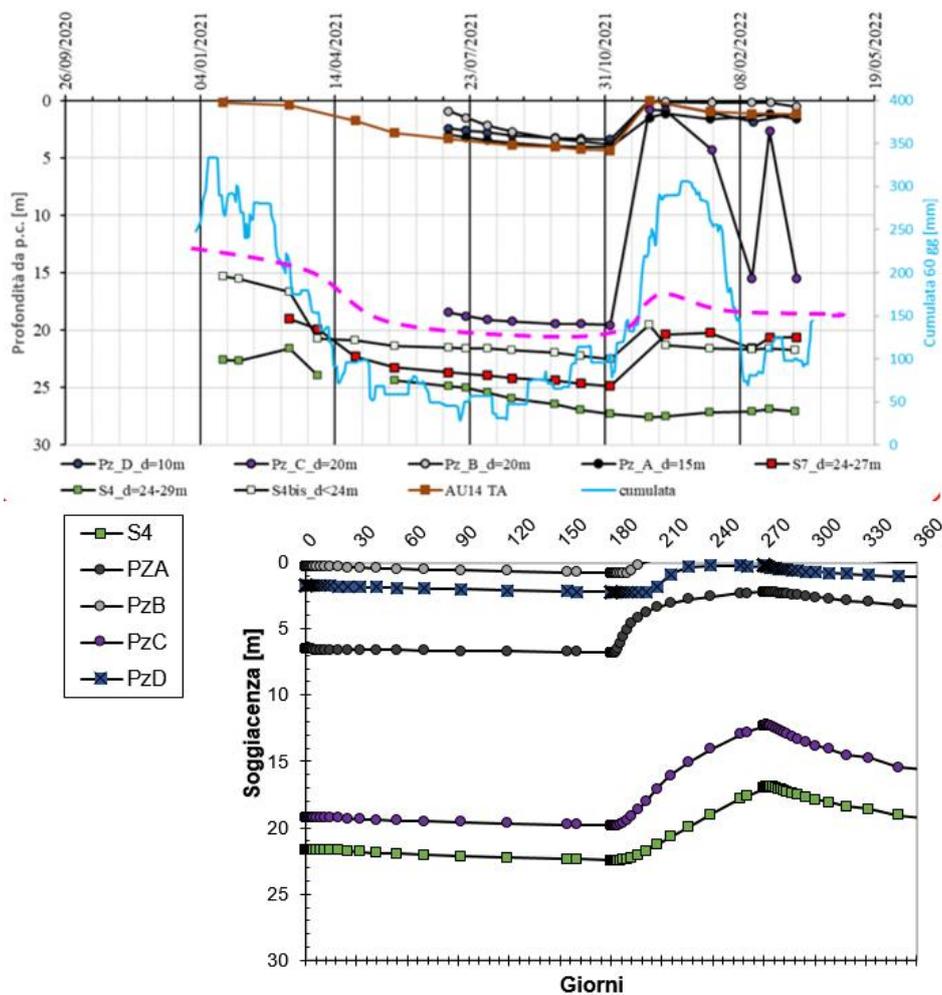


Figura 10. Confronto tra valori misurati (sopra) e valori simulati (sotto) nel corso della fase di calibrazione dinamica.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 17 di 39

6 MODELLAZIONE 3D

6.1 CARATTERISTICHE DEL MODELLO

6.1.1 Geometria del modello

L'implementazione del modello 3D è stata preceduta da una fase di ricostruzione geometrica del corpo di frana, che è stata realizzata in ambiente GIS. Sulla base delle informazioni geologiche, stratigrafiche e geomorfologiche disponibili, sono state tracciate le isobate della superficie di scorrimento della frana. Comprensibilmente, poiché i sondaggi esistenti sono stati realizzati prevalentemente in prossimità del tracciato di progetto, l'affidabilità della ricostruzione diminuisce man a mano che ci si allontana da questo. Ad esempio, i limiti laterali verso nord del corpo franoso sono stati tracciati unicamente sulla base delle evidenze geomorfologiche, quindi in questo caso l'affidabilità della ricostruzione potrebbe essere relativa.

Il modello ha una lunghezza di ca. 1 km e una larghezza di 400-500 m. I limiti del modello sono costituiti, a monte dalla scarpata di frana, a valle dall'asta fluviale del F. Ufita, a Sud dalla scarpata di frana complessa attiva che interferisce sul fondovalle con il F. Ufita, a Nord dal limite di frana ricostruito sulla base di evidenze geomorfologiche; la quota massima è di 375 m, la quota minima è di 173 m

La Figura 12 mostra la ricostruzione delle isobate della superficie di scorrimento della frana. Le isobate sono state successivamente convertite in un file raster per mezzo di un algoritmo di spazializzazione. Il dato così ottenuto è stato importato in Feflow e tale informazione è stata utilizzata per l'implementazione del modello 3D (Figura 14).

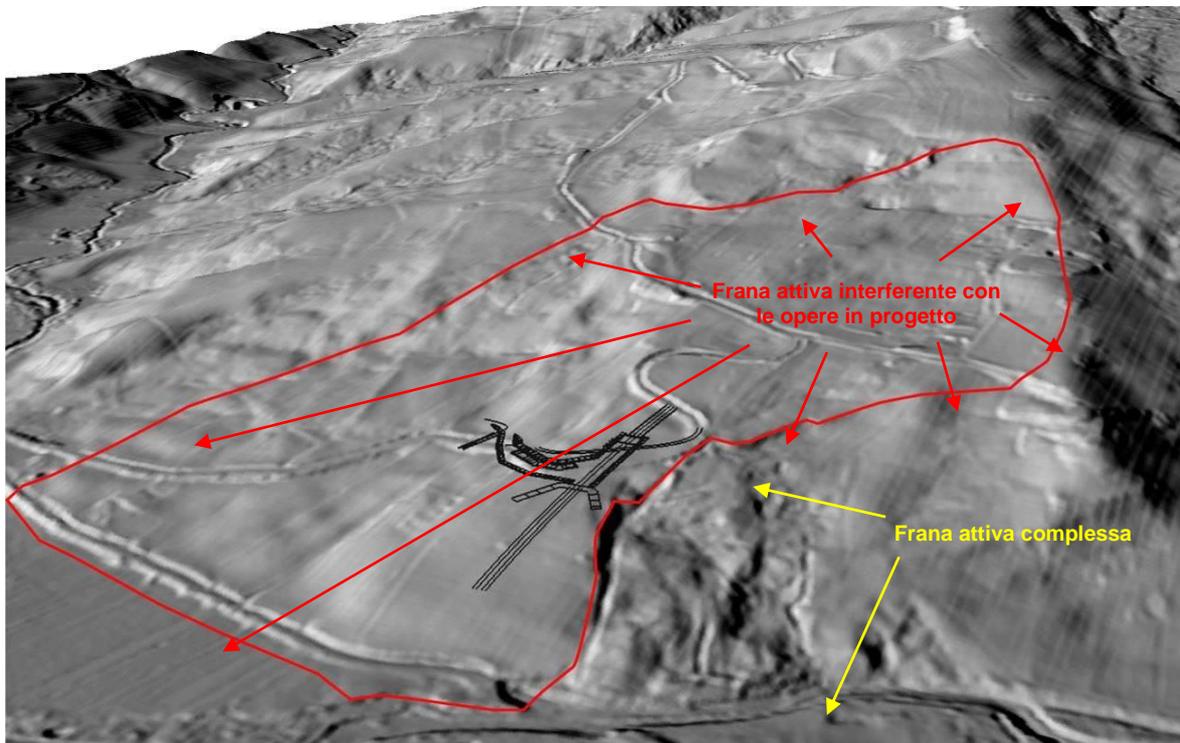


Figura 11. Vista prospettica del versante in frana con visualizzazione del perimetro del modello 3D (in rosso) e del tracciato di progetto. In giallo è riportata la frana attiva complessa che delimita verso S il corpo di frana che interferisce con le opere in progetto.

Le maglie degli elementi finiti del modello sono state raffinate in corrispondenza degli elementi drenanti e delle opere strutturali principali di riferimento. Il dettaglio degli elementi progettuali intergati nel modello è mostrato in Figura 13. Sono stati inseriti una serie di livelli di raffinamento verticali e sono stati raffinate le zone in cui ricadono i punti di controllo utilizzati per la successiva fase di calibrazione e che corrispondono con i piezometri monitorati.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.			ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.								
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana			COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 18 di 39

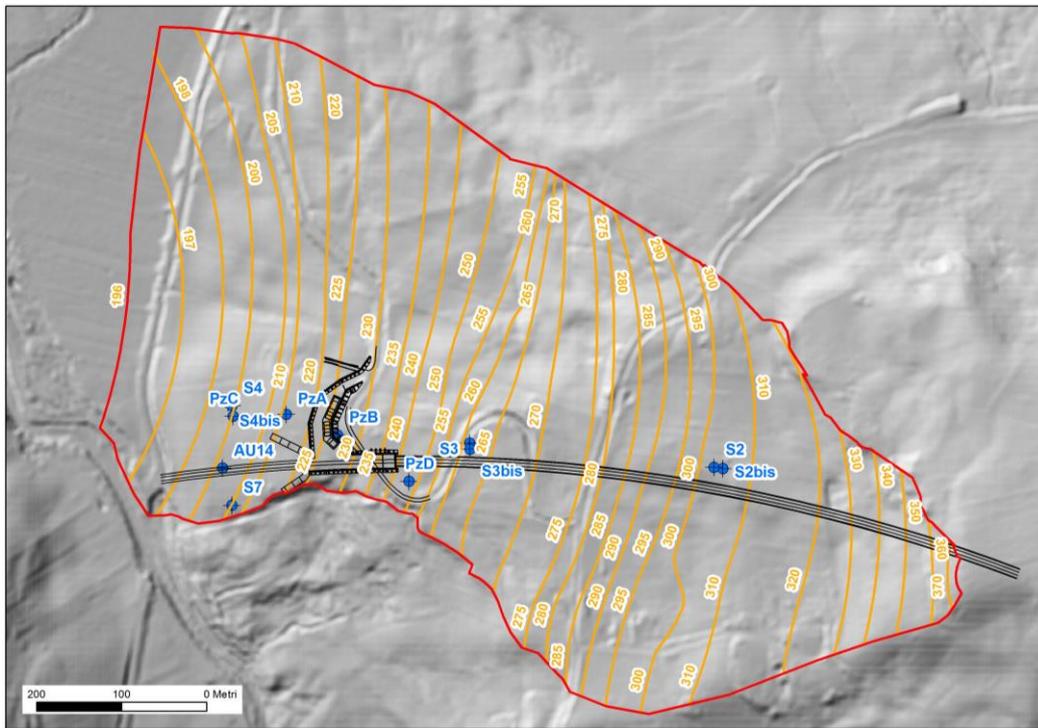


Figura 12. Perimetro del modello 3D (in rosso) e visualizzazione delle isobate della base della superficie di scorrimento della frana (in arancione; valori in m.s.l.m.). In blu è riportata l'ubicazione dei sondaggi attrezzati a piezometro (utilizzati per la calibrazione del modello).

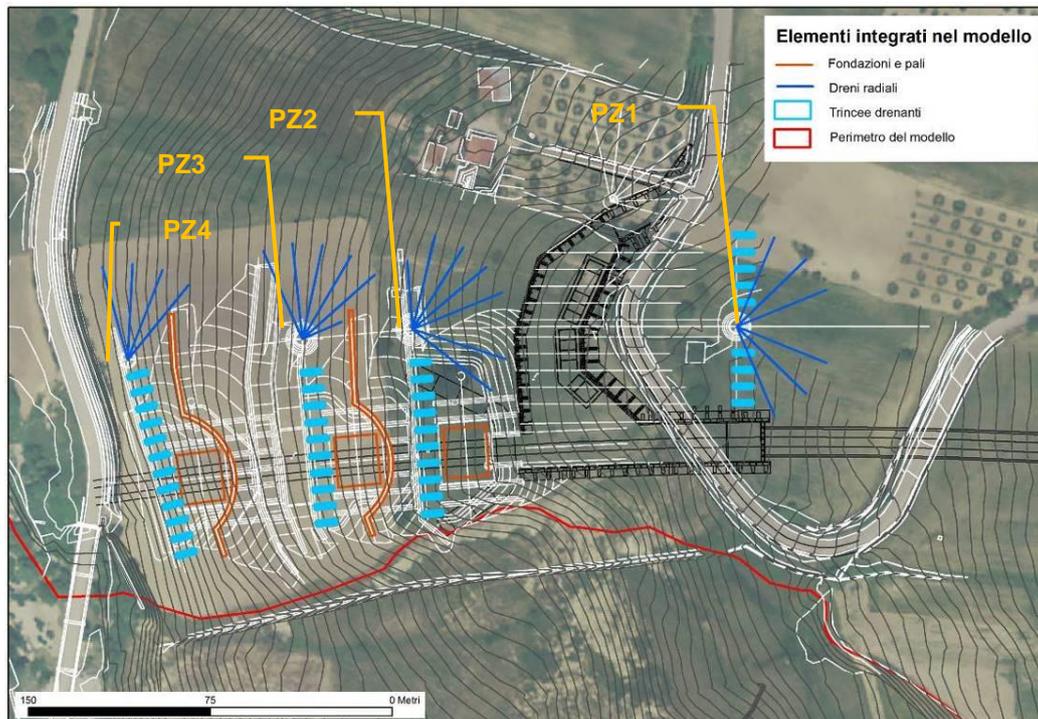


Figura 13. Dettaglio degli elementi progettuali integrati nel progetto. PZ1-PZ3-PZ4-PZ5 costituiscono i pozzi strutturali verso cui vengono convogliate le acque sotterranee drenate (cfr. paragrafo 4.5).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A		ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.							
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana		COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 19 di 39

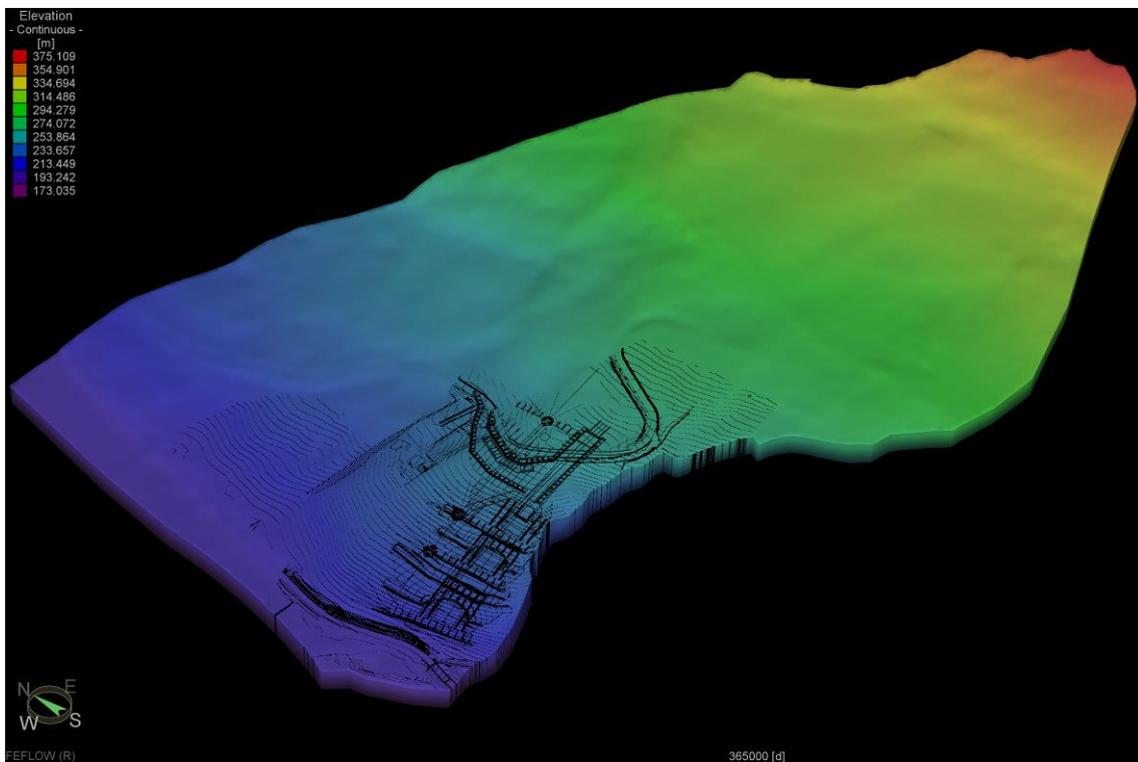


Figura 14. Vista prospettica 3D del solido generato con scala colori riferita alla distribuzione altimetrica. Sono riportati in superficie alcuni elementi progettuali utili a comprendere l'estensione del modello e l'ubicazione delle opere.

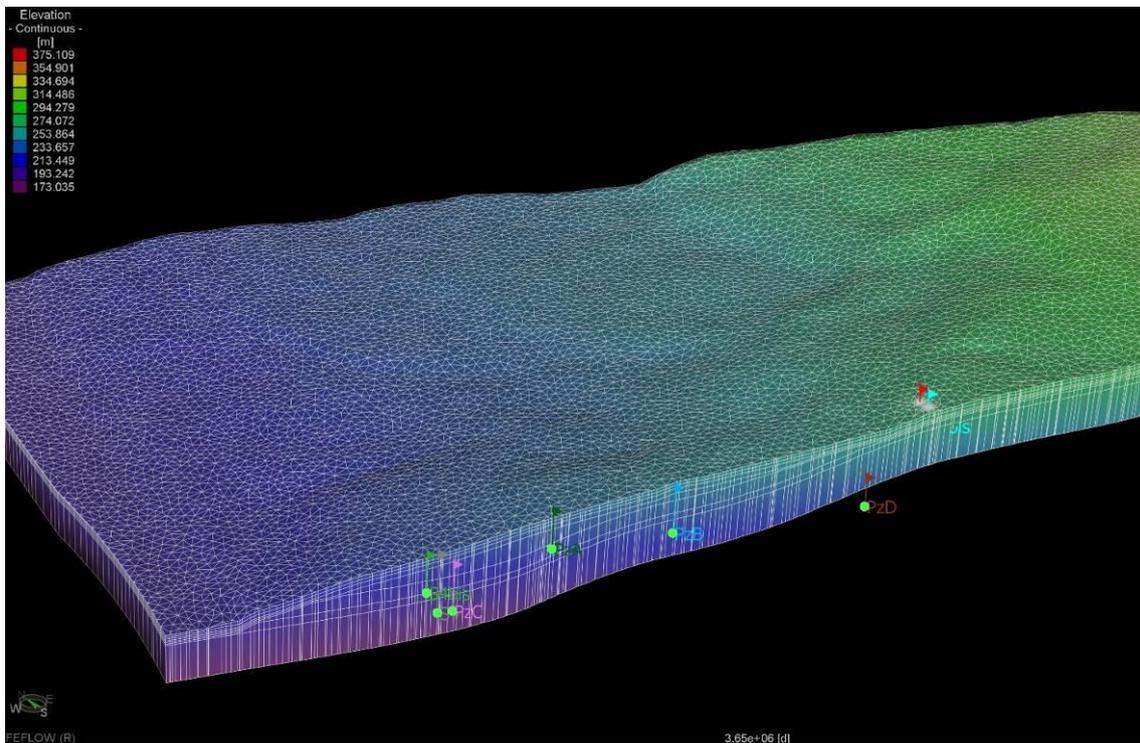


Figura 15. Visualizzazione degli elementi finiti in corrispondenza della traccia della sezione B-B' precedentemente mostrata per il modello 2D. Sono mostrati i punti di controllo corrispondenti ai piezometri utilizzati per la calibrazione.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 20 di 39

Per quanto attiene alla generazione della maglia di elementi finiti va ricordato che Feflow è in grado di generare maglie ad elementi prismatici disposti secondo livelli sovrapposti, e maglie cosiddette “non strutturate, dove gli elementi hanno forma tetraedrica e organizzazione non obbediente a una ripartizione in livelli.

Date queste funzionalità del software di modellazione, in fase di generazione delle maglie di elementi finiti del modello in oggetto, a seconda delle esigenze di raffinamento, si è effettuata una distinzione tra aree a generazione di elementi prismatici e aree in cui, data la loro conformazione geometrica (ad esempio zone in cui gli elementi di drenaggio radiali interferiscono con i limiti delle superfici di frana), la generazione è stata gestita per mezzo di elementi non strutturati tramite l’algoritmo TetGen implementato in Feflow. Il numero totale di elementi finiti così generato è pari a 1'262'650 (Figura 14 e Figura 15).

6.1.2 Condizioni applicate al modello

Per quanto attiene alla distribuzione delle conducibilità idrauliche, la distribuzione ottenuta nel processo di calibrazione del modello 2D ha costituito il riferimento iniziale per l’implementazione delle condizioni nel modello 3D. Lo scenario di permeabilità bidimensionale ottenuto dalle simulazioni 2D è stato estrapolato al modello 3D seguendo una logica di estensione di proprietà simili a corpi geologici o porzioni di corpi geologici che costituiscono la proiezione laterale degli elementi in sezione.

Nel processo di calibrazione che è seguito è stata effettuata qualche locale modifica della distribuzione dei valori di conducibilità inizialmente immessi, ai fini di ottenere una calibrazione ottimale. Come effettuato per le modellazioni 2D (cfr. paragrafo 5.1), anche in questo caso le simulazioni sono state impostate applicando l’equazione di Richards, rappresentativa di un flusso idraulico in un mezzo insaturo. Per questo scopo, è stata utilizzata la formulazione di Van Genuchten (cfr. paragrafo 5.1) per descrivere il rapporto che sussiste tra il contenuto volumetrico in acqua (indicato con θ), il potenziale idrico (h) e la conducibilità idraulica (k) nel mezzo insaturo. Ai parametri dell’equazione di Van Genuchten sono stati assegnati i seguenti valori: $\alpha = 0.1$ 1/m, $n = 2.2$, $m = 0.49$, $\delta = 1.8$. Le porosità sono state differenziate per tipologia di materiale, con valori assegnati compresi tra 0.2-0.4. In assenza di misure vincolanti, il coefficiente di immagazzinamento è stato assegnato ubiquitariamente pari a $1E^{-4}$ 1/m.

Come condizioni idrauliche al contorno sono state poste: (1) delle infiltrazioni variabili sulla superficie topografica (i cui valori sono stati ottimizzati in fase di calibrazione), (2) dei carichi idraulici imposti sul bordo del F. Ufita e (3) dei carichi idraulici sul bordo della scarpata della frana complessa attiva, confinante con la frana oggetto di studio, ubicata sul bordo Sud del modello (cfr. Figura 11). Quest’ultima condizione assume come ipotesi che la frana al limite del modello costituisca un elemento di drenaggio o di ricarica libera; il carico idraulico in corrispondenza di questo limite è stato posto a -3 m rispetto alla superficie topografica.

Tenendo conto dell’elevato numero di elementi finiti e della complessità del processo di calcolo dovuta all’elevato numero di punti di drenaggio, le fasi di simulazione con Feflow e di calibrazione con FePest sono state condotte in cloud computing sulla piattaforma Microsoft Azure, utilizzando una configurazione di macchine virtuali a 8 processori e 16 Gb di RAM.

6.1.3 Calibrazione in condizioni ante-operam

Il processo è avvenuto in passaggi successivi, considerando come parametri di calibrazione la conducibilità idraulica e l’infiltrazione. La distribuzione di valori così ottenuti è illustrata in Figura 16; come si può osservare dal confronto con la Figura 7, la configurazione di valori ottenuta è molto simile a quella ricavata con la calibrazione del modello 2D. L’intervallo di infiltrazioni efficaci varia da 8 mm/anno (colore viola-blu in Figura 17) a 77 mm/anno (colore arancione-rosso in Figura 17). Tale intervallo di valori è coerente con i valori ottenuti in fase di calibrazione del modello 2D.

La calibrazione è stata effettuata considerando le condizioni di carico idraulico medio sul versante. Come discusso nel paragrafo 6.1.4, in una successiva fase di valutazione dell’efficienza delle opere di drenaggio è stata considerata anche la configurazione di “falda massima”.

La qualità della calibrazione ottenuta, definita dal grado di correlazione tra i punti di controllo simulati e misurati è ottimale (Figura 18) e confrontabile con quella ottenuta nella precedente fase di modellazione 2D (Figura 8). Va rimarcato che, essendo i punti di monitoraggio concentrati prevalentemente in prossimità del tracciato di progetto,

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.			ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.								
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana			COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
			IF28	01	V ZZ RH	OC0101 282	A	21 di 39

la ricostruzione del contesto idraulico può essere considerata come affidabile unicamente per questa fascia, mentre per le altre zone il grado di affidabilità potrebbe essere inferiore proprio a causa dell'assenza di dati che consentano di vincolare la ricostruzione fatta.

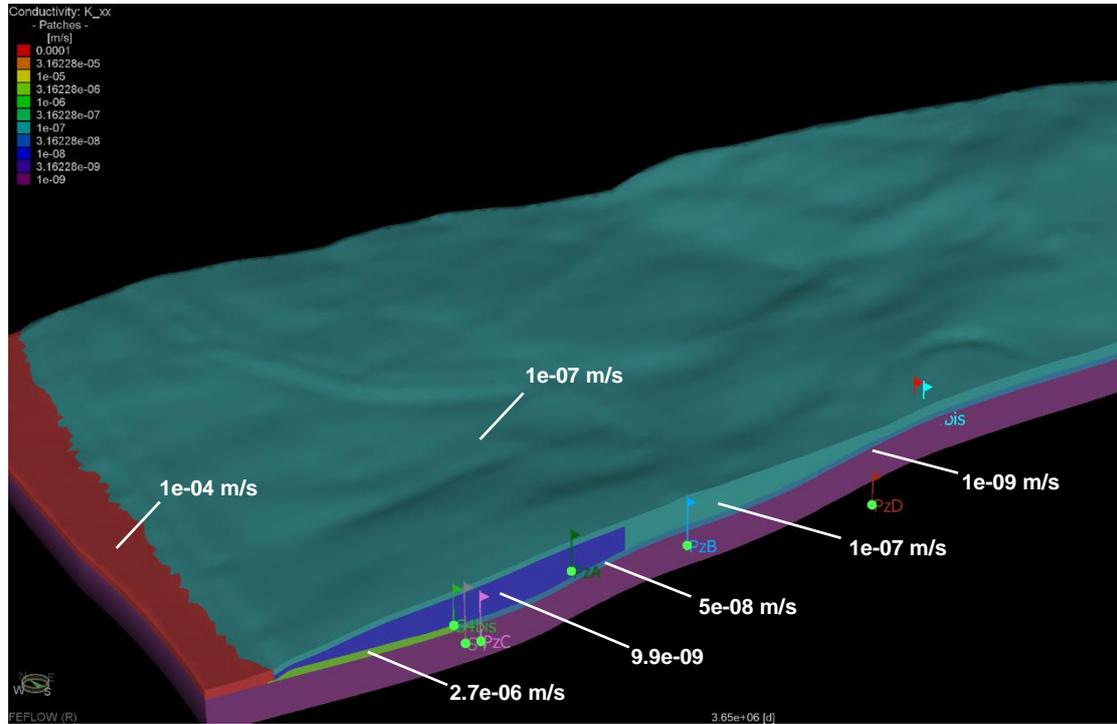


Figura 16. Distribuzione dei valori di conducibilità idraulica ottenuti con la calibrazione del modello 3D (sono mostrati i piezometri utilizzati per la calibrazione). Il modello è sezionato in corrispondenza della traccia della sezione B-B' (cfr. Figura 3).

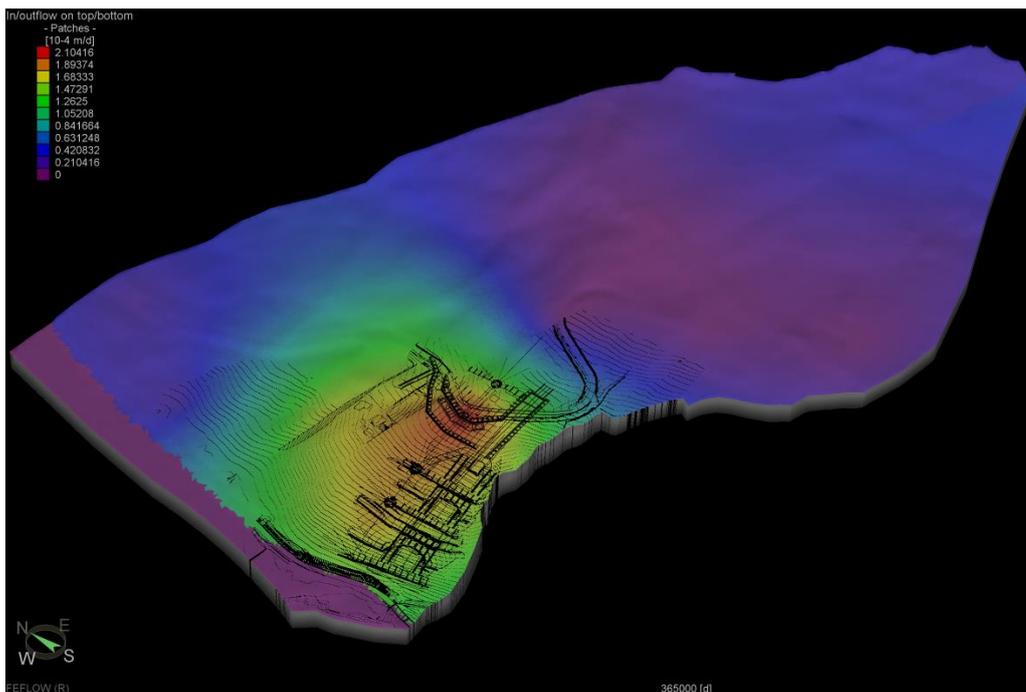


Figura 17. Distribuzione dei valori di infiltrazione efficace ottenuti attraverso la calibrazione. Il modello è sezionato in corrispondenza della traccia della sezione B-B' (cfr. Figura 3).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A			ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.			RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana			COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 22 di 39

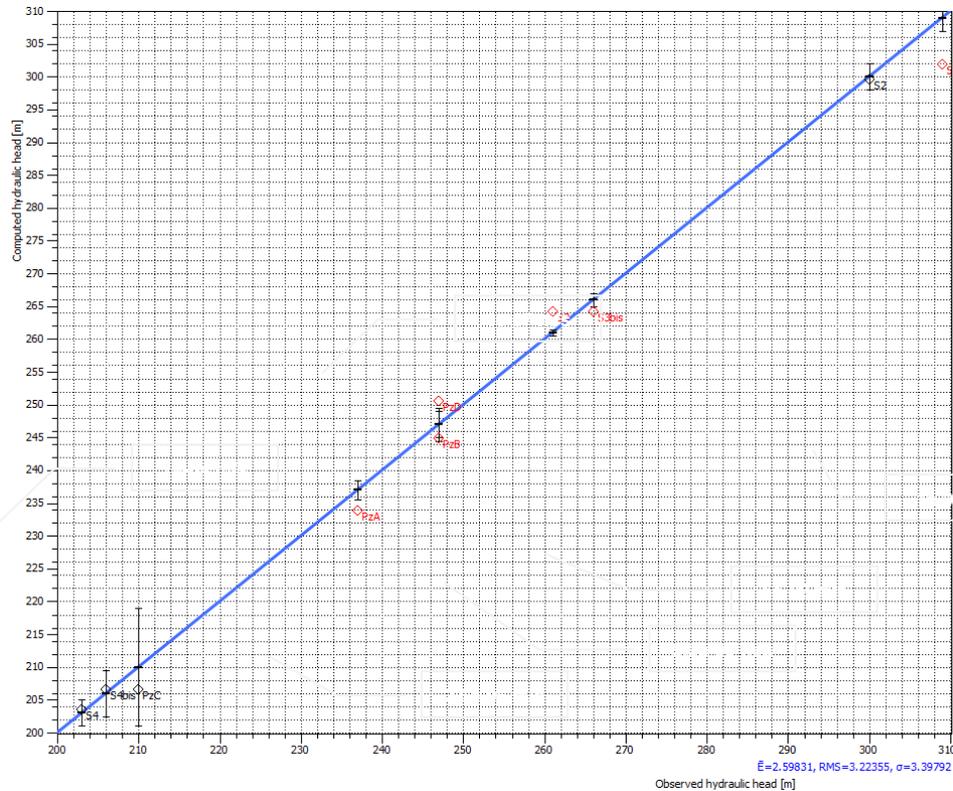


Figura 18. Retta di calibrazione del modello 3D con confronto dei dati simulati e delle misure piezometriche.

6.1.4 Modalità di inserimento degli elementi progettuali nel modello

Le opere previste per il drenaggio delle acque sono quelle descritte nel paragrafo 4.5, consistenti nei dreni radiali e nelle trincee drenanti le cui acque di drenaggio confluiscono nei pozzi strutturali PZ1, PZ3, PZ4 e PZ5 (cfr. Figura 13). Nel modello si è cercato di integrare gli elementi drenanti in maniera quanto più rappresentativa possibile dal punto di vista della distribuzione spaziale e dettaglio progettuale. Il drenaggio è stato simulato applicando una condizione idraulica cosiddetta di *seepage*, ovvero di carico idraulico imposto corrispondente alla quota del nodo e con vincolo di sola fuoriuscita del flusso.

Alle trincee drenanti (Figura 19) sono state attribuite delle permeabilità pari a 1×10^{-4} m/s, congruentemente con quanto previsto per le caratteristiche idrauliche dei materiali di riempimento (ghiaie inerti). Inoltre, congruentemente con quanto previsto negli elaborati di progetto, la quota di minimo idraulico applicata sulle quattro file di trincee drenanti è la seguente: 239 m.s.l.m. (dreni confluenti al PZ1), 215 m.s.l.m. (dreni confluenti al PZ3), 207.9 m.s.l.m. (dreni confluenti al PZ4), 202 m.s.l.m. (dreni confluenti al PZ5). I dreni radiali (Figura 20) sono stati discretizzati in Feflow come allineamenti di punti che seguono l'effettivo layout progettuale; l'allineamento di punti è stato ottenuto attraverso l'implementazione di una maglia di elementi finiti cosiddetta non strutturata, e implementata attraverso l'algoritmo di generazione TetGen.

La Figura 21 mostra i nodi complessivamente utilizzati per simulare il drenaggio e i punti di controllo inseriti nel modello per il controllo degli abbassamenti conseguiti. La Figura 22 mostra le opere di fondazione e sostegno del pendio che sono state considerate nel corso della simulazione. I pozzi di fondazione del viadotto sono stati considerati come opere perfettamente impermeabili, mentre ai diaframmi di pali è stata attribuita una permeabilità media di 1×10^{-9} m/s.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 23 di 39

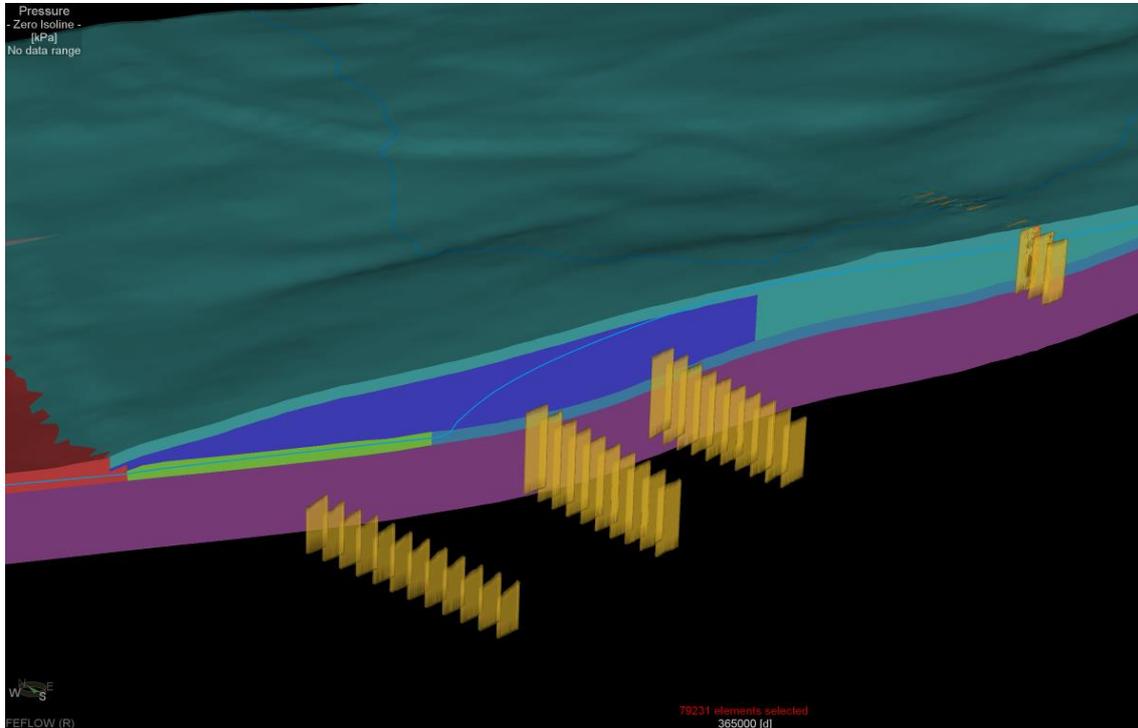


Figura 19. Visualizzazione degli elementi costituenti le trincee drenanti disposte sulle quattro file. Il flusso drenato confluisce ai rispettivi pozzi strutturali PZ1, PZ3, PZ4 e PZ5 rappresentati in Figura 13. Il modello è sezionato in corrispondenza della traccia della sezione B-B' (cfr. Figura 3). La linea blu rappresenta la superficie di falda in condizioni ante-operam.

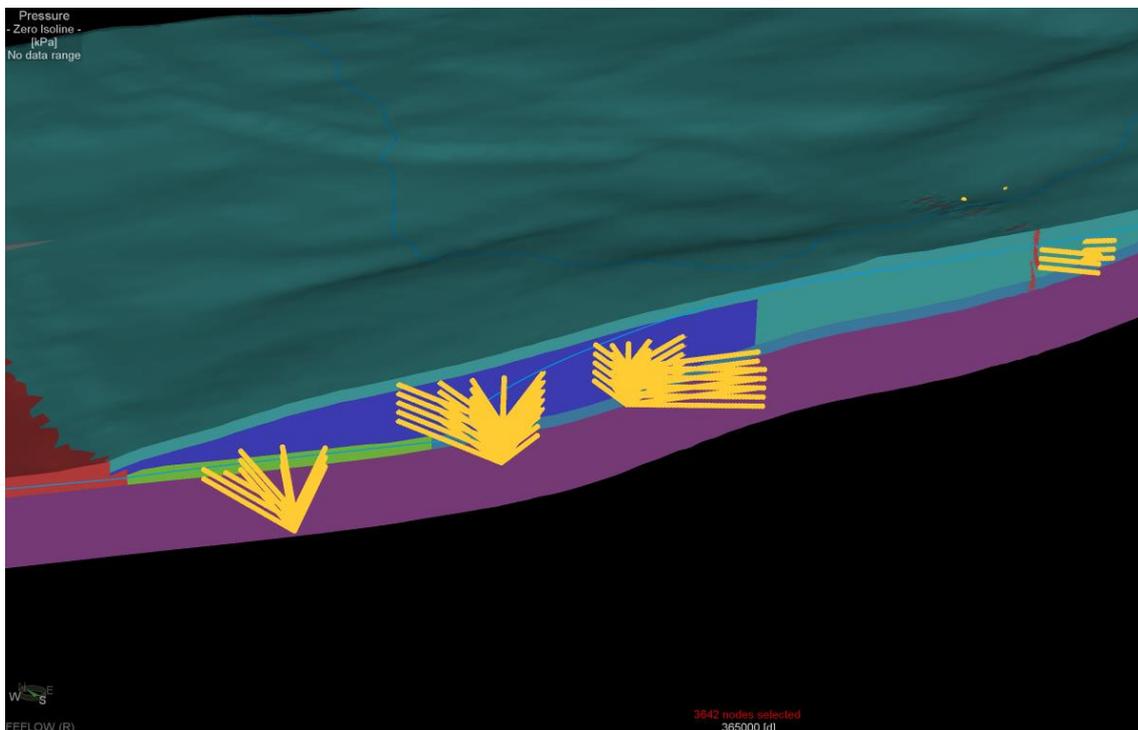


Figura 20. Visualizzazione dei nodi relativi ai dreni radiali confluenti ai pozzi strutturali PZ1, PZ3, PZ4 e PZ5 rappresentati in Figura 13. Il modello è sezionato in corrispondenza della traccia della sezione B-B' (cfr. Figura 3). La linea blu rappresenta la superficie di falda in condizioni ante-operam.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A			ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.								
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana			COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 24 di 39

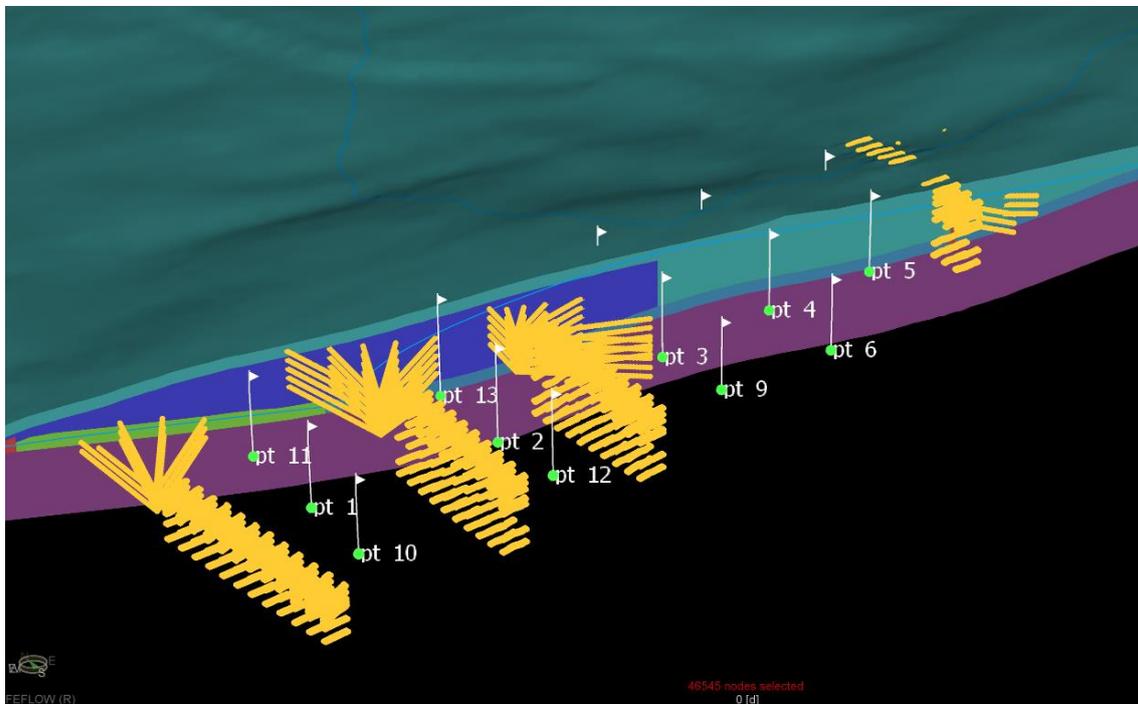


Figura 21. Nodi complessivamente utilizzati per simulare il drenaggio delle varie opere e punti di controllo utilizzati per la verifica degli abbassamenti nel corso del drenaggio.

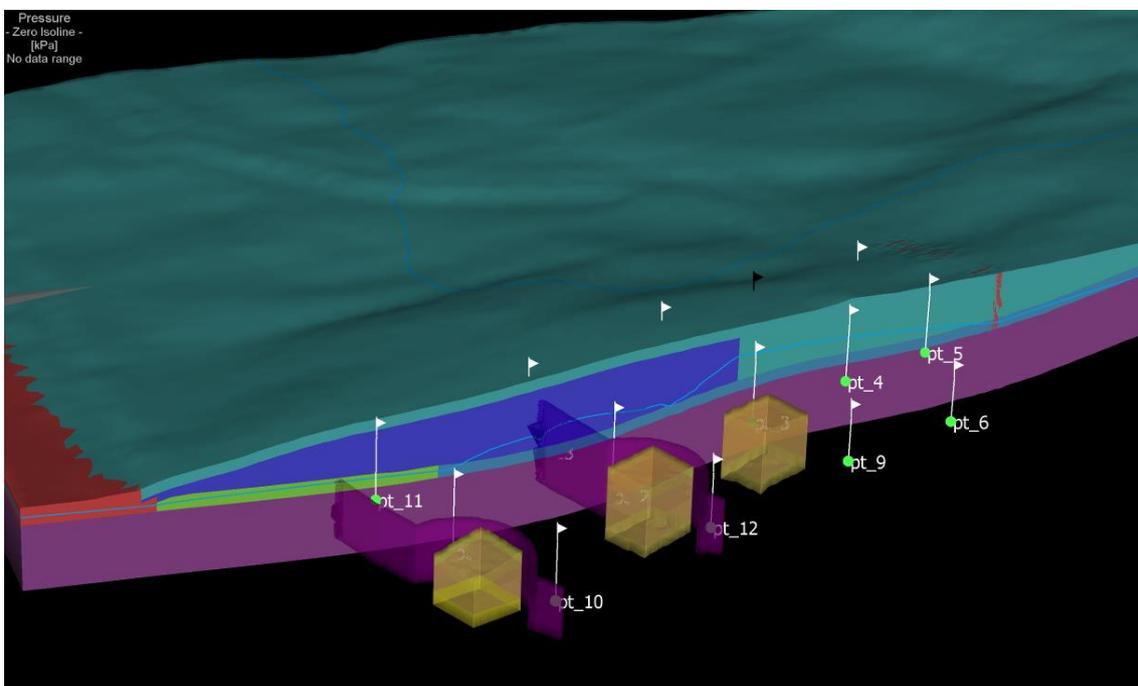


Figura 22. Opere di fondazione e di sostegno del versante integrate nel modello. In giallo sono evidenziati i pozzi di fondazione del viadotto, mentre in viola sono riportati gli allineamenti di pali di sostegno del versante.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 25 di 39

6.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI 3D

6.2.1 Simulazioni in condizioni di falda media

Data la strutturazione di cui sopra, che ha previsto quindi sia l'inserimento di elementi drenanti, sia l'inserimento di elementi non drenanti e costituenti quindi delle barriere al flusso sotterraneo, è stata effettuata una simulazione del drenaggio delle opere drenanti, mostrate nelle figure precedenti, in regime transitorio e considerando la durata di 1 anno. La simulazione considera l'attivazione simultanea del drenaggio attraverso i dreni radiali e le trincee drenanti.

Per valutare l'entità dell'abbassamento conseguito nel tempo sono state estrapolate 3 sezioni ("sez1", "sez2" e "sez3") in corrispondenza delle quali è stata riportata la posizione della falda simulata dopo 0 giorni (situazione iniziale), 10 giorni, 50 giorni e 365 giorni dall'inizio del drenaggio (Figura 24, Figura 26, Figura 28). La sez1 è ubicata in asse al tracciato ferroviario, mentre la sez2 e la sez3 sono ubicate rispettivamente a sud e a nord dei pozzi strutturali. Per definire in dettaglio l'entità degli abbassamenti previsti nelle diverse zone del settore della VI03 sono stati inseriti nel modello una serie di punti di controllo (pt1-14), allineati lungo le tre tracce di sezione. L'andamento del livello piezometrico nel tempo relativo a ciascun punto di controllo è stato rappresentato nei diagrammi di Figura 25 (per la sez1), Figura 27 (per la sez2) e Figura 29 (per la sez3). Come si può osservare dalle varie sezioni e dai diagrammi, l'entità dell'abbassamento della falda varia da zona a zona, in funzione della permeabilità locale e della distanza dalle opere di fondazione e di drenaggio.

I punti 4, 6 e 7, ubicati nella zona del piazzale a metà circa tra le opere di drenaggio di monte (confluenti al PZ1) e di valle (confluenti al PZ3), mostrano un abbassamento del livello piezometrico compreso tra ca. 5 e 9 m rispetto al livello iniziale. I punti 3 e 14, ubicati più a valle rispetto ai punti precedenti in una zona più prossima alle opere drenanti che confluiscono al PZ3, mostrano abbassamenti relativamente maggiori compresi tra 13 m e 16 m. Per gli altri punti si configurano situazioni variabili da zona a zona in funzione delle locali caratteristiche idrogeologiche e delle opere prospicienti. Ad esempio, il pt2 (posto lungo la sez2) ubicato a valle delle trincee drenanti che confluiscono al PZ3 e poco più a monte di un allineamento di pali (cfr. Figura 24), mostra un abbassamento di ca. 8 m. Abbassamenti di analoga entità sono conseguiti lateralmente.

Una situazione un po' differente si configura verso il piede del versante, a valle delle opere drenanti che confluiscono al PZ4, dove i punti 1, 10 e 11 mostrano invece una lieve tendenza all'innalzamento del livello (compresa tra 0.4-1.2 m); probabilmente, tale tendenza all'innalzamento è da imputare alla combinazione della presenza del livello permeabile alla base del corpo di frana (corpo OD indicato nel profilo geotecnico; cfr. Figura 3), che tende a drenare le acque anche da lato, e dell'allineamento di pali posto a valle, che contribuisce ad una riduzione della permeabilità, e quindi ad un rallentamento del flusso diretto verso valle. Tuttavia, va rimarcato che una tendenza all'innalzamento della falda si verifica solo su scala locale ed unicamente a monte di opere di fondazione e sostegno caratterizzate da bassa permeabilità. Infatti, questo lieve innalzamento avviene in un contesto di generale e deciso abbassamento del livello di falda che si osserva in tutti gli altri settori, come si può apprezzare dalle sezioni di Figura 24, Figura 26 e Figura 28. Come si può osservare dalle tre sezioni, dopo 10 giorni la configurazione della superficie di falda risulta considerevolmente modificata rispetto alla condizione iniziale. Dopo 50 giorni la configurazione di falda risulta già prossima a quella stabilizzata (corrispondente alla configurazione a 365 giorni).

Le portate drenate complessivamente dalle opere risultano basse: dopo 5 giorni esse sono pari a circa 1 l/s, mentre dopo 50 giorni a circa 0.5 l/s. Tali valori di portata, molto bassi, trovano giustificazione nella combinazione delle ridotte permeabilità del mezzo (Figura 16) e dei ridotti tassi di infiltrazione efficace (Figura 17), da cui consegue un ingresso di quantità minime di acqua all'interno del corpo franoso.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 26 di 39

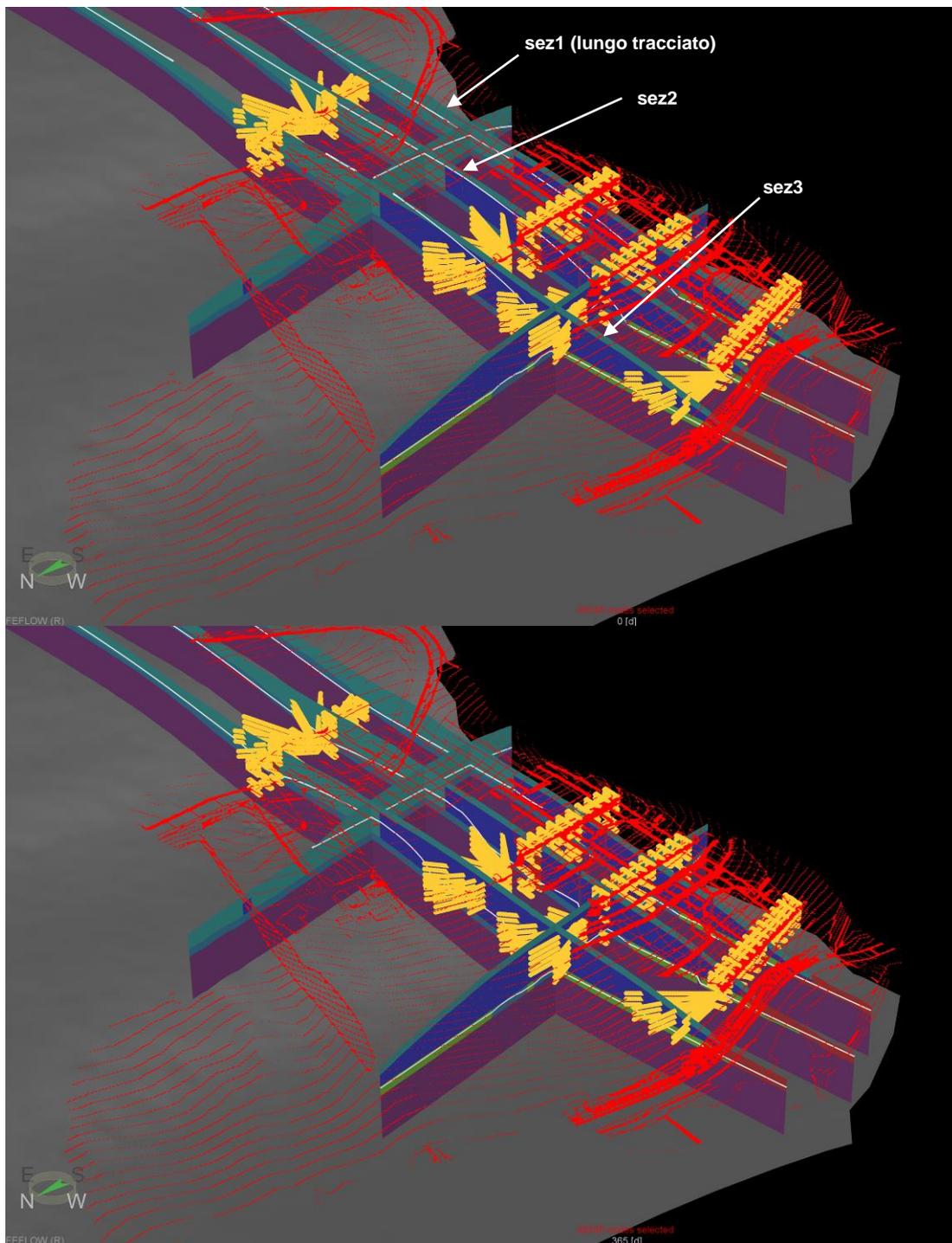


Figura 23. Confronto tra configurazione ante-operam (figura sopra) e dopo 365 giorni dall'inizio del drenaggio (figura sotto). In rosso sono riportate le isoipse e le impronte delle opere in progetto, in giallo i nodi attivati per il drenaggio. La linea bianca rappresenta la superficie di falda. Le sezioni rappresentate sono riportate in traccia nelle successive figure.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A			ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.								
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana			COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 27 di 39

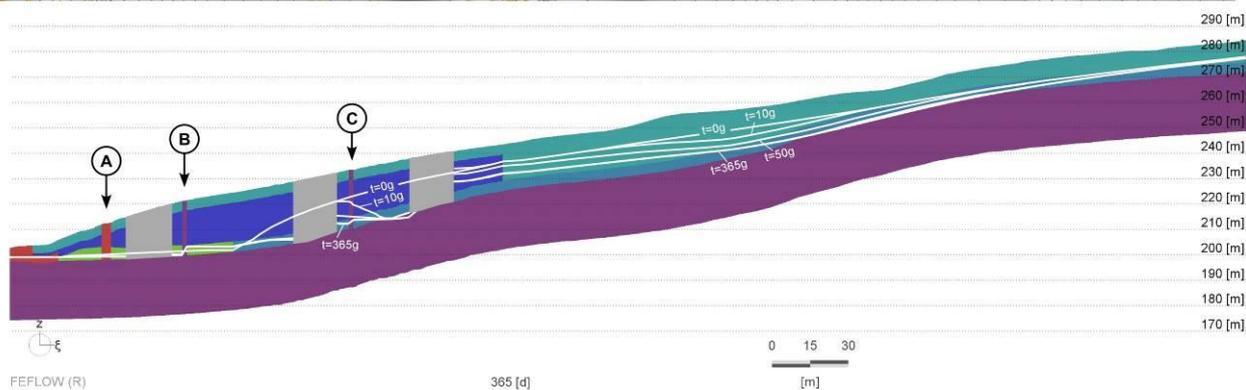
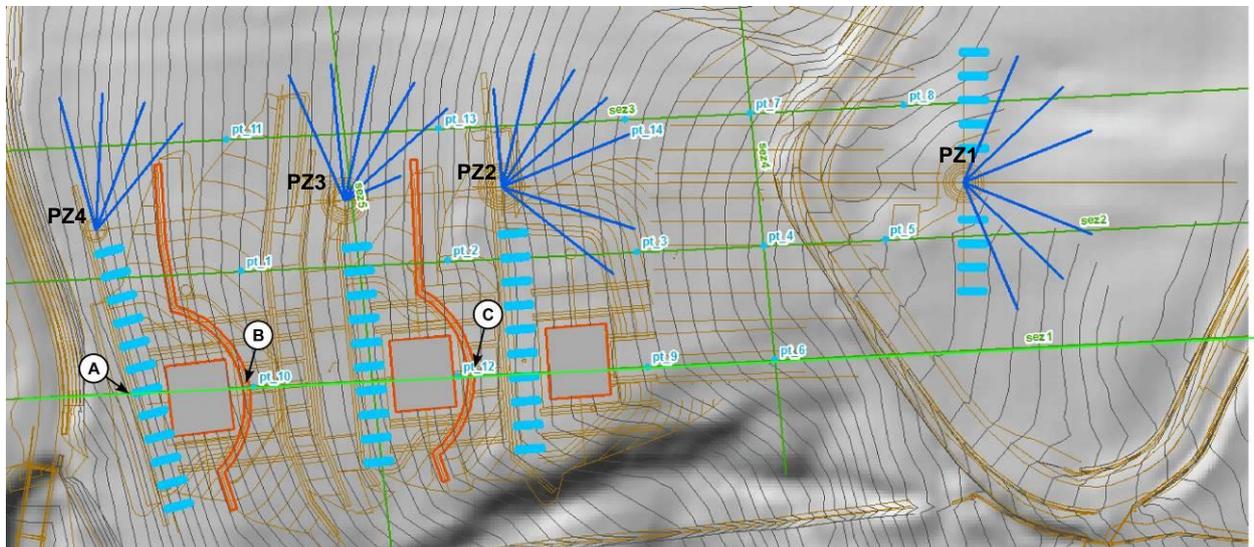


Figura 24. Planimetria e sezione 1 (in verde chiaro) utilizzata per valutare l'abbassamento della falda, in condizioni di livello medio, dopo 5, 10, 50 e 365 giorni. Sono riportate la posizione delle opere strutturali e di drenaggio previste (A-B-C) e l'ubicazione di una serie di punti di controllo utilizzati per valutare localmente l'abbassamento della falda (pt6, pt9, pt10, pt12).

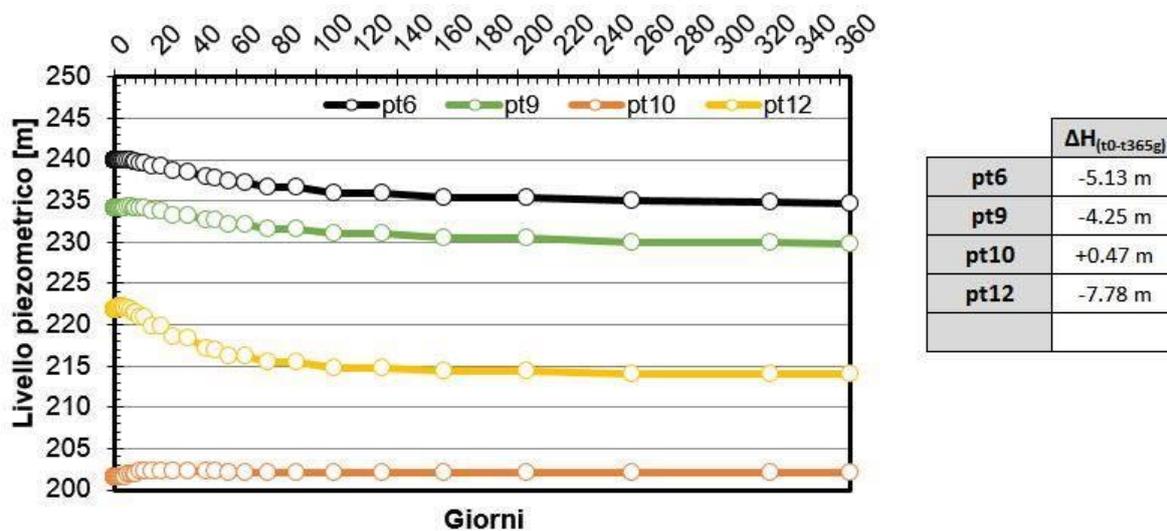


Figura 25. Grafico di abbassamento del livello piezometrico nel corso di 1 anno di drenaggio per i punti pt6, pt9, pt10 e pt12 ricadenti lungo la traccia della sez1 (Figura 24).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.			ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.								
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana			COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 28 di 39

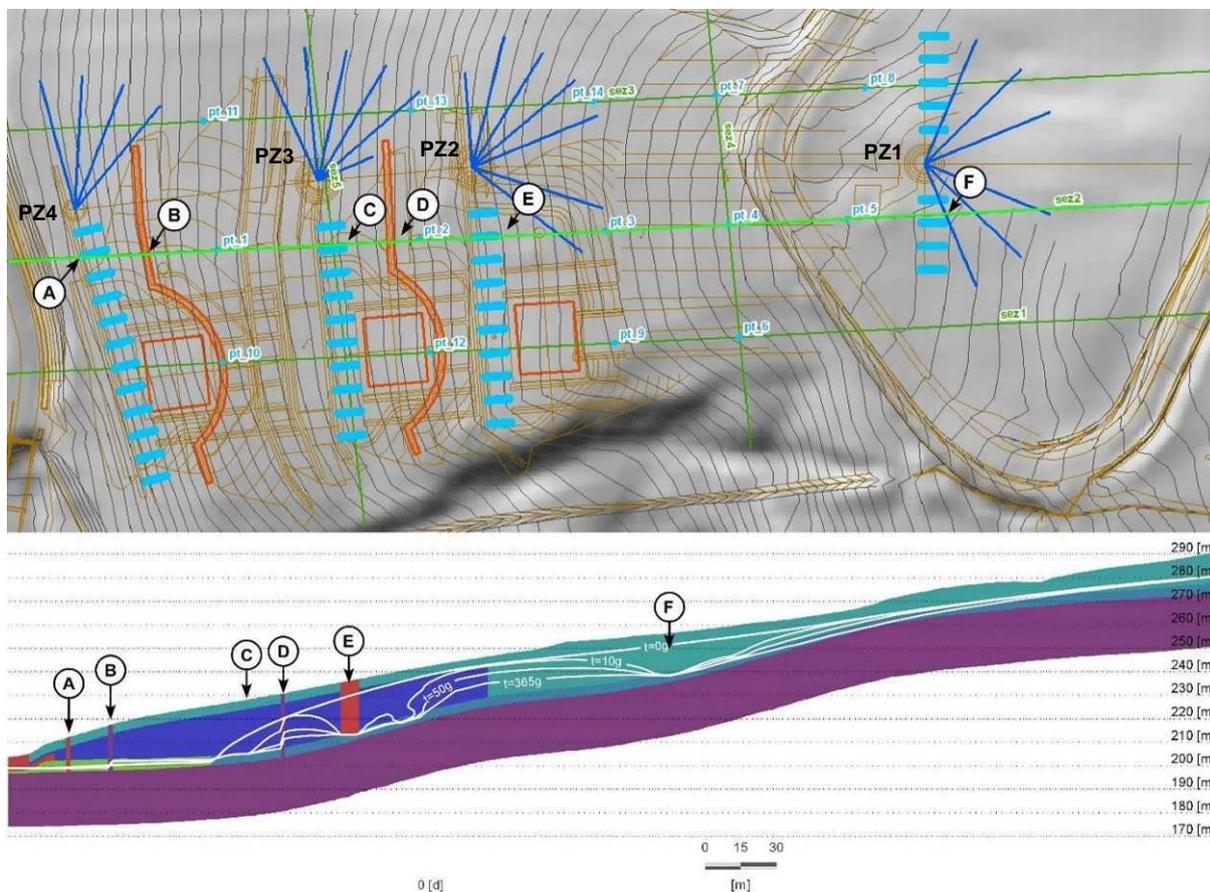


Figura 26. Planimetria e sezione 2 (in verde chiaro) utilizzata per valutare l'abbassamento della falda, in condizioni di livello medio, dopo 5, 10, 50 e 365 giorni. Sono riportate la posizione delle opere strutturali e di drenaggio previste (A-B-C-D-E-F) e l'ubicazione di una serie di punti di controllo utilizzati per valutare localmente l'abbassamento della falda (pt1-pt2-pt3-pt4-pt5).

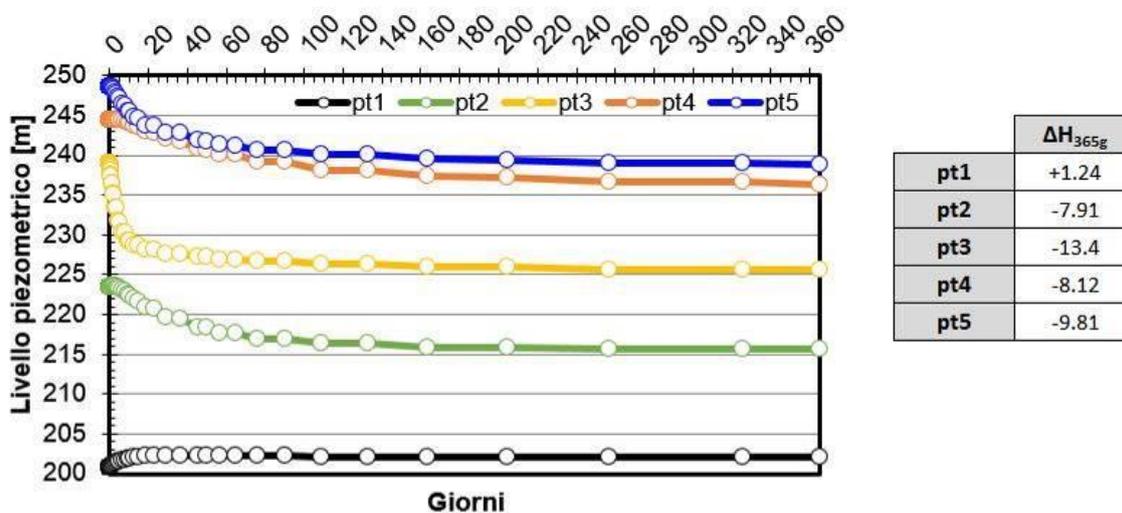


Figura 27. Grafico di abbassamento del livello piezometrico nel corso di 1 anno di drenaggio per i punti pt1, pt2, pt3, pt4 e pt5 ricadenti lungo la traccia della sez2 (Figura 26).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.		ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.							
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana		COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 29 di 39

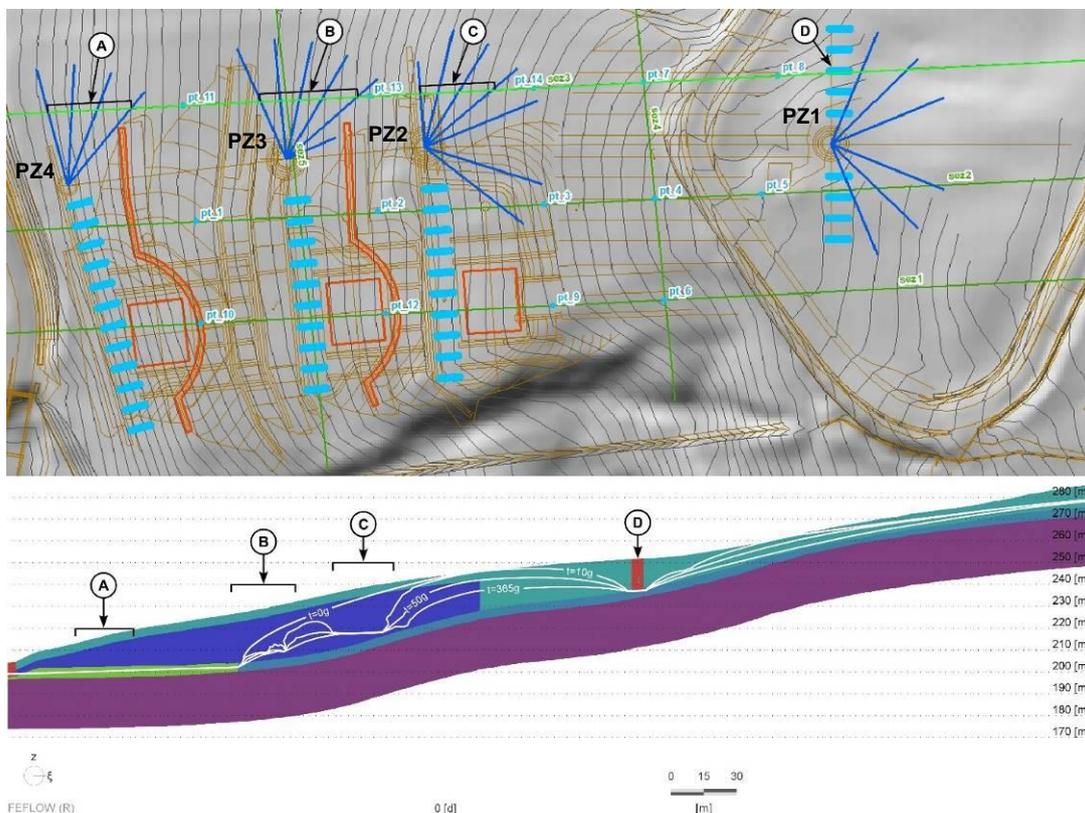


Figura 28. Planimetria e sezione 3 (in verde chiaro) utilizzata per valutare l'abbassamento della falda, in condizioni di livello medio, dopo 5, 10, 50 e 365 giorni. Sono riportate la posizione delle opere strutturali e di drenaggio previste (A-B-C-D) e l'ubicazione di una serie di punti di controllo utilizzati per valutare localmente l'abbassamento della falda (pt7-pt11-pt13-pt14).

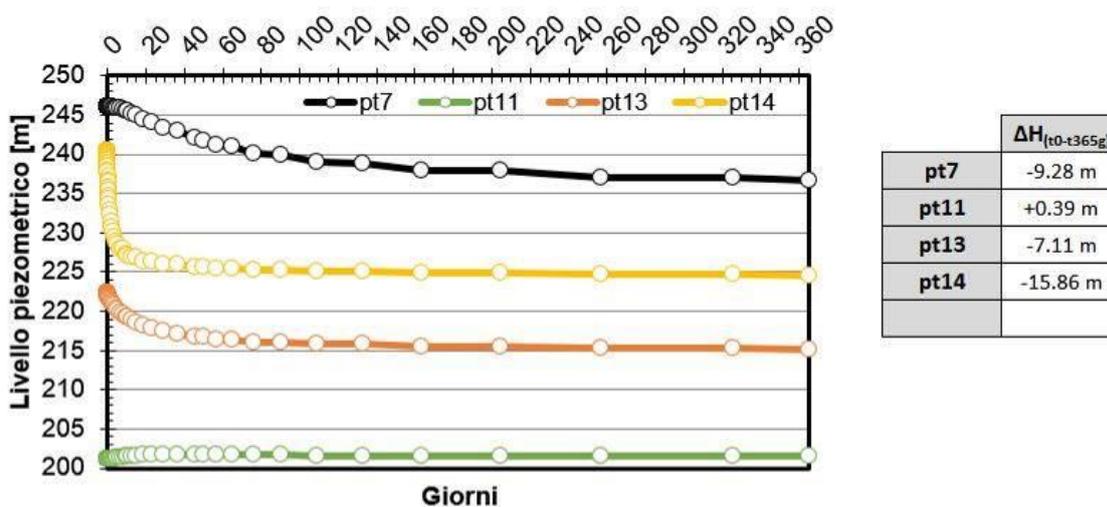


Figura 29. Grafico di abbassamento del livello piezometrico nel corso di 1 anno di drenaggio per i punti pt7, pt11, pt13 e pt14 ricadenti lungo la traccia della sez3 (Figura 28).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A		ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.							
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana		COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 30 di 39

6.2.2 Simulazione delle opere di drenaggio in condizioni di falda massima

Il drenaggio ad opera delle trincee drenanti e dei dreni radiali è stato simulato anche per le condizioni di falda massima. Come già discusso per le modellazioni 2D (cfr. paragrafo 5.2.2), questa configurazione considera l'aumento di livello piezometrico che si verifica a piede del versante per effetto di intense precipitazioni.

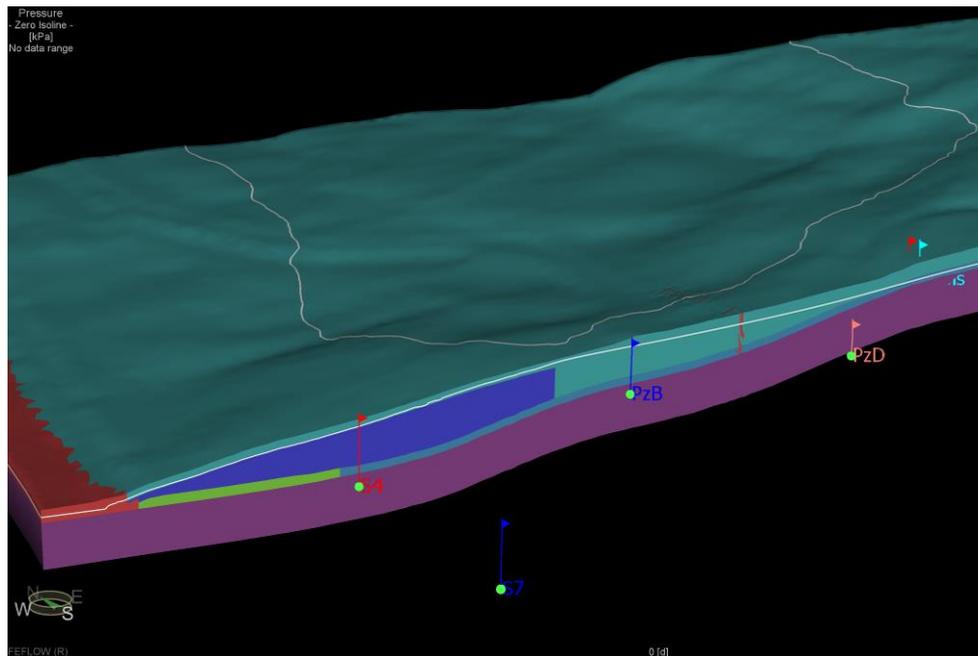


Figura 30. Visualizzazione del livello di falda (linea bianca) ante-operam in condizioni di “falda massima” in corrispondenza della sezione B-B’ (cfr. Figura 3).

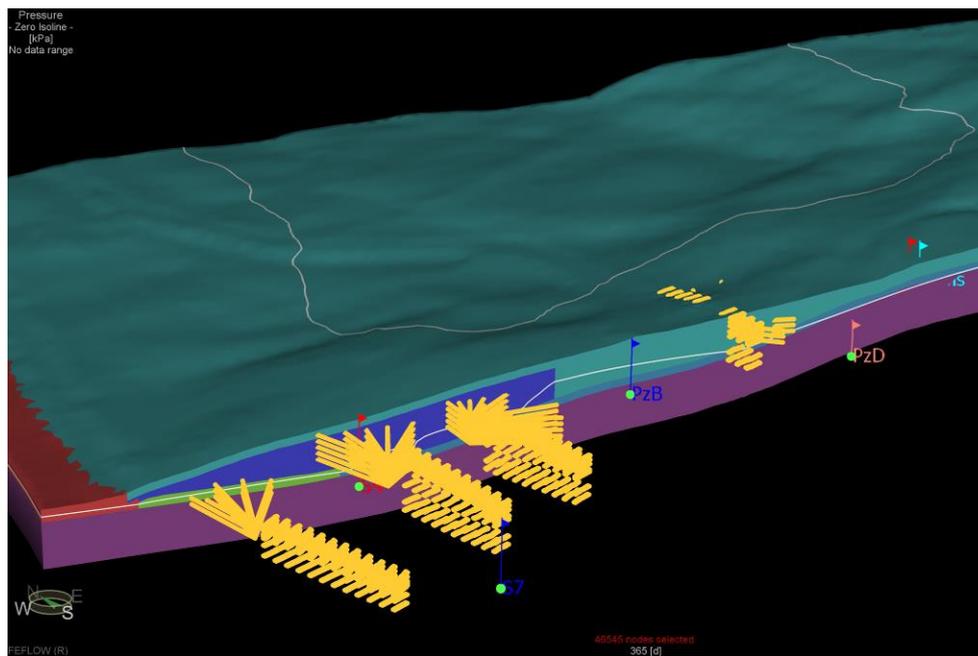


Figura 31. Visualizzazione del livello di falda (linea bianca) dopo un anno dall’inizio del drenaggio.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 31 di 39

La configurazione di falda da cui si è partiti per verificare gli effetti del drenaggio è illustrata in Figura 30: da questa configurazione si può osservare come al piede del versante la falda si collochi ad una quota prossima al piano campagna, così come evidenziato da alcuni piezometri.

A fronte della configurazione iniziale, si rileva come progressivamente l'effetto del drenaggio determini una tendenza all'abbassamento del tutto simile a quella già evidenziata precedentemente in condizioni di falda media. Infatti, dopo 50 giorni la configurazione del livello di falda è del tutto simile a quella ottenuta in condizioni di falda media. A titolo di esempio, si riporta la sezione sez2 con visualizzata l'evoluzione degli abbassamenti nel tempo (Figura 32).

Nei primi giorni, le portate drenate risultano essere di poco maggiori (1-2 l/s) rispetto a quelle stimate per il drenaggio in condizioni di falda media; questo significa che, date le caratteristiche idrauliche del materiale considerato, si ottengono delle variazioni consistenti di livello per deboli variazioni di portata. Dopo 5-10 giorni le portate assumono gli stessi valori definiti per l'altra configurazione con portate di ca. 1 l/s, che tendono a decrescere fino a 0.5 l/s.

Pertanto, le simulazioni numeriche dimostrano che, anche in presenza di una configurazione di livello inizialmente più elevata rispetto alla situazione di falda media, le opere di drenaggio permettono il conseguimento di un consistente e rapido abbassamento di livello pressoché in tutti i settori del tracciato in corrispondenza del versante in frana.

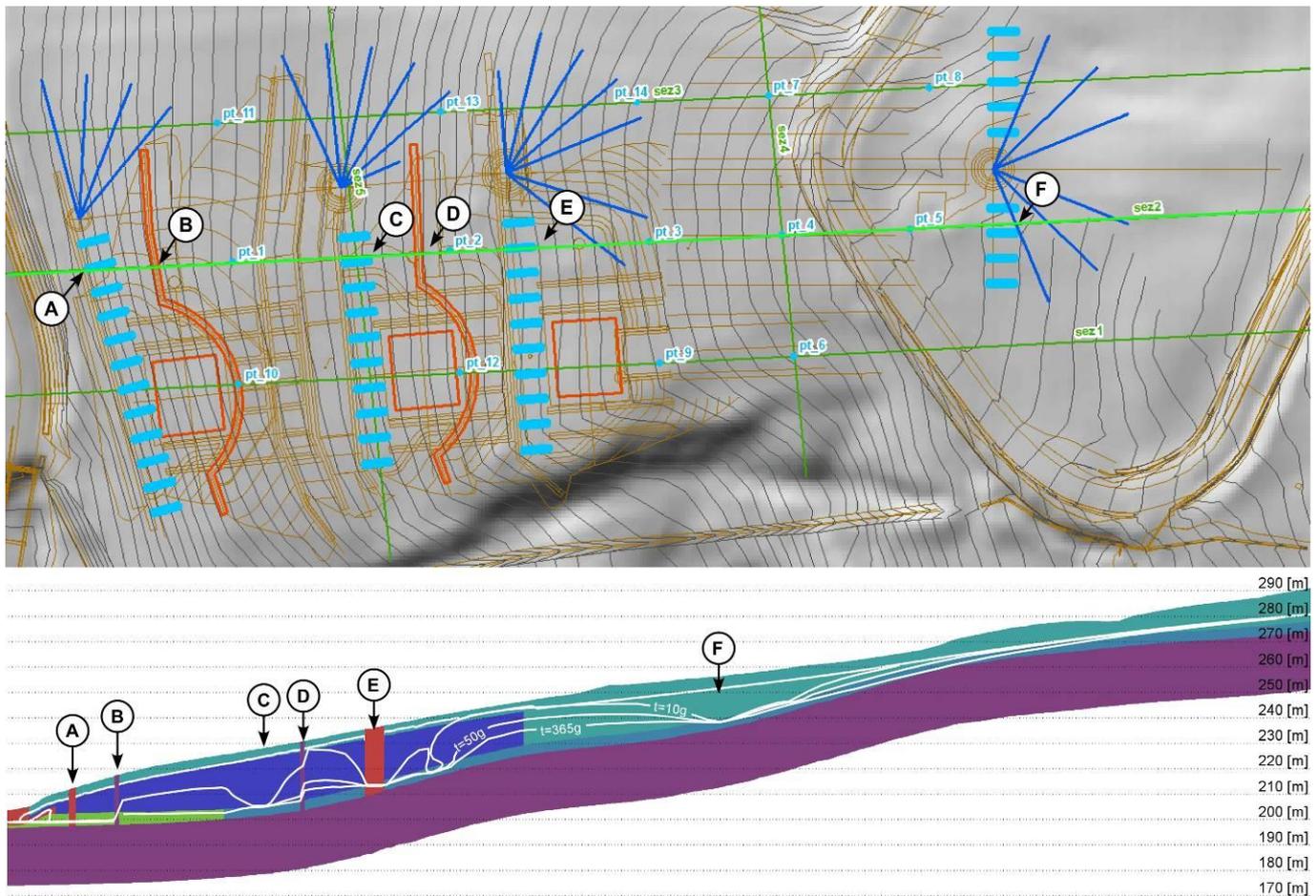


Figura 32. Planimetria e sezione 2 (in verde chiaro) utilizzata per valutare l'abbassamento della falda, in condizioni di livello massimo, dopo 5, 10, 50 e 365 giorni. Sono riportate la posizione delle opere strutturali e di drenaggio previste (A-B-C-D-E-F).

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF28</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td style="text-align: center;">V ZZ RH</td> <td style="text-align: center;">OC0101 282</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">32 di 39</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF28	01	V ZZ RH	OC0101 282	A	32 di 39
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF28	01	V ZZ RH	OC0101 282	A	32 di 39													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana																		

7 CONCLUSIONI

Nel presente studio sono state simulate numericamente le condizioni idrogeologiche esistenti lungo l'allineamento del viadotto posto a ovest dell'imbocco della Galleria Melito.

Partendo dai dati piezometrici e di conducibilità idraulica disponibili, sono state ricostruite le distribuzioni di permeabilità dei terreni che caratterizzano la zona di frana qui riconosciuta e del substrato sottostante non in frana. La simulazioni numeriche, eseguite preliminarmente in 2D e, successivamente in 3D, hanno riguardato l'intera zona di frana riconosciuta tra la porzione di monte (nicchia) ed il piede posto in corrispondenza del Fiume Ufita.

Nella modellazione 3D, dopo aver ottenuto la miglior calibrazione possibile della falda ricostruita lungo il corpo di frana, in condizioni sia statiche che dinamiche, si è proceduto ad introdurre nel modello gli elementi drenanti previsti da progetto per l'abbattimento delle pressioni idrauliche. Oltre agli elementi drenanti sono stati considerati anche i principali elementi non trasparenti rispetto al flusso, ovvero le fondazioni del viadotto e le paratie di pali poste a monte di queste ultime per una maggior stabilizzazione del versante.

Gli esiti del modello possono essere sintetizzati secondo i punti seguenti:

- il sistema di drenaggio si dimostra efficace nel determinare un abbattimento significativo del livello piezometrico lungo il versante, sia in condizioni di livello di falda medio che in condizioni di falda massima e in presenza di impulsi di precipitazione;
- gli abbattimenti ottenuti variano a seconda della posizione rispetto agli elementi drenanti, con valori da alcuni metri a più di una decina di metri; tali abbattimenti sono da ritenersi molto significativi ove si tenga conto del fatto che lo spessore della zona satura è inferiore alla ventina di metri;
- Abbattimenti importanti del livello di falda, non lontani da quelli della situazione di lungo termine si ottengono già dopo circa 50gg dall'inizio del drenaggio. Ad un anno dall'inizio del drenaggio una condizione pseudo-stabilizzata si può già considerare come raggiunta.

Le portate estratte dal sistema di drenaggio sono molto modeste e dell'ordine di 1 l/s o meno in condizioni stabilizzate.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA												
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF28</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td style="text-align: center;">V ZZ RH</td> <td style="text-align: center;">OC0101 282</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">33 di 39</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF28	01	V ZZ RH	OC0101 282	A	33 di 39
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF28	01	V ZZ RH	OC0101 282	A	33 di 39								

ALLEGATO

Sintesi dei parametri utilizzati per le simulazioni in condizioni statiche

	Parametri		Note
Sezione2D_M2	Infiltrazione	inf=-12 mm/anno	sup falda abbastanza calibrata (eccetto piede versante), intercetta sup topo a metà versante
	Conducibilità idraulica	K _{UG1} =1e-7	
		K _{UG2} =1e-9	
		K _{OD} =3e-7	
		<i>nessuna differenz liv scorrimento</i>	
Parametri insaturo	α=0.5 1/m		
Sezione2D_M3	Infiltrazione	inf=-12 mm/anno	sup falda abbastanza calibrata (eccetto piede versante)
	Conducibilità idraulica	K _{UG1} =1e-7 m/s	
		K _{UG2} =1e-9	
		K _{OD} =3e-7	
		K _{LIV SCORR} =2e-7	
Parametri insaturo	α=0.5 1/m		
Sezione2D_M4	rapporto di incremento temporale	i _{MAX} = 1.1	stabile con questa
	Infiltrazione	inf=-15mm/anno	sup falda abbastanza calibrata (eccetto piede versante)
	Conducibilità idraulica	K _{UG1} =1e-7 m/s	
		K _{UG2} =1e-9	
		K _{OD} =5e-7	
		K _{LIV SCORR} =3e-7	
Parametri insaturo	α=0.8 1/m		
Sezione2D_M5	rapporto di incremento temporale	i _{MAX} = 1.1	con I _{max} =1.1 non oscilla, quindi numericamente è importante + questo parametro di α, si abbassa molto la falda (infiltrazioni non sufficienti) rispetto a quella calibrata
	Infiltrazione	inf=-15mm/anno	
	Conducibilità idraulica	K _{UG1} =1e-7 m/s	
		K _{UG2} =1e-9	
		K _{OD} =5e-7	
		K _{LIV SCORR} =3e-7	
Parametri insaturo	α=0.1 1/m		
Sezione2D_M6	rapporto di incremento temporale	i _{MAX} = 1.1	con I _{max} =1.1 non oscilla, quindi numericamente è importante + questo parametro di α, si abbassa molto la falda (infiltrazioni non sufficienti) rispetto a quella calibrata
	Infiltrazione	inf=-12mm/anno	
	Conducibilità idraulica	K _{UG1} =5e-8 m/s	
		K _{UG2} =1e-9	

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.			ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.								
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana			COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 34 di 39

		K _{OD} =5e-7	
		K _{LIV SCORR} =3e-7	
	Parametri insaturo	α=0.1 1/m	
Sezione2D_M7	rapporto di incremento temporale	i _{MAX} = 1.1	con i _{max} =1.1 non oscilla, quindi numericamente è importante + questo parametro di α, si abbassa molto la falda (infiltrazioni non sufficienti) rispetto a quella calibrata
	Infiltrazione	inf=-12mm/anno	
	Conducibilità idraulica	K _{UG1} =5e-8 m/s	
		K _{UG2} =1e-9	
		K _{OD} =3e-7	
		K _{LIV SCORR} =1e-7	
Parametri insaturo	α=0.1 1/m		
Sezione2D_M8	rapporto di incremento temporale	i _{MAX} = 1.3	calibra abbastanza bene il livello. Rimane il problema dell'assenza di differenziazione tra carico idraulico al piede del versante
	Infiltrazione	inf=-30mm/anno	
		K _{CORTIC} =5e-7 m/s	
	Conducibilità idraulica	K _{UG1} =5e-8 m/s	
		K _{UG2} =1e-9	
		K _{OD} =5e-7	
	K _{LIV SCORR} =5e-7		
Parametri insaturo	α=0.1 1/m		
Sezione2D_M9	rapporto di incremento temporale	i _{MAX} = 1.3	
	Infiltrazione costante	inf=-30mm/anno	
		K _{CORTIC} =5e-7 m/s	
	Conducibilità idraulica	K _{UG1} =5e-8 m/s	
		K _{UG2} =1e-9	
		K _{OD} =5e-7	
	K _{LIV SCORR} =5e-7		
Parametri insaturo	α=0.1 1/m		
Sezione2D_M10	rapporto di incremento temporale	i _{MAX} = 1.3	
	Infiltrazione costante	inf=-30mm/anno	
		K _{CORTIC} =5e-7 m/s	
		K _{UG1} =5e-8 m/s	
	Conducibilità idraulica	K _{UG1a} =1e-8 m/s	
		K _{UG2} =1e-9	
	K _{OD} =5e-7		

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.			ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.								
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana			COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 35 di 39

		$K_{LIV\ SCORR}=5e-7$	
	Parametri insaturo	$\alpha=0.1\ 1/m$	
Sezione2D_M11	rapporto di incremento temporale	$i_{MAX} = 1.3$	buona calibrazione
	Infiltrazione costante	$inf=-30mm/anno$	
		$K_{CORTIC}=3e-7\ m/s$	
		$K_{UG1b}=4e-8\ m/s$	
	Conducibilità idraulica	$K_{UG1a}=1e-8\ m/s$	
		$K_{UG2}=1e-9$	
		$K_{OD}=8e-7$	
		$K_{LIV\ SCORR}=5e-7$	
Parametri insaturo	$\alpha=0.1\ 1/m$		
Sezione2D_M12	rapporto di incremento temporale	$i_{MAX} = 1.3$	
	Infiltrazione costante	$inf=-30mm/anno$	
		$K_{CORTIC}=3e-7\ m/s$	
		$K_{UG1b}=3e-8\ m/s$	
	Conducibilità idraulica	$K_{UG1a}=9e-9\ m/s$	
		$K_{UG2}=1e-9$	
		$K_{OD}=1e-6$	
		$K_{LIV\ SCORR}=5e-7$	
Parametri insaturo	$\alpha=0.1\ 1/m$		
Sezione2D_M13	rapporto di incremento temporale	$i_{MAX} = 1.3$	
	Infiltrazione costante	$inf=-30mm/anno$	
		$K_{CORTIC}=3e-7\ m/s$ / $SFL=5e-4\ m/s$	
		$K_{UG1b}=1e-8\ m/s$	
	Conducibilità idraulica	$K_{UG1a}=9e-9\ m/s$	
		$K_{scorrim-alto}=7e-8\ m/s$	
		$K_{UG2}=1e-9$	
		$K_{OD}=2e-6$	
	$K_{LIV\ SCORR}=5e-7$		
Parametri insaturo	$\alpha=0.1\ 1/m$		
Sezione2D_M14	rapporto di incremento temporale	$i_{MAX} = 1.3$	aumentato lo spessore di K_{CORTIC} nella parte alta del versante.
	Infiltrazione costante	$inf=-30mm/anno$	

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.			ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.								
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana			COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 36 di 39

		$K_{CORTIC}=5e-8$ m/s / $SFL=5e-4$ m/s	
		$K_{UG1b}=1e-8$ m/s	
	Conducibilità idraulica	$K_{UG1a}=9e-9$ m/s	
		$K_{scorrim-alto}=6e-8$ m/s	
		$K_{UG2}=1e-9$	
		$K_{OD}=2e-6$	
		$K_{LIV\ SCORR}=5e-7$	
Parametri insaturo	$\alpha=0.1$ 1/m		
Sezione2D_M15	rapporto di incremento temporale	$i_{MAX} = 1.3$	aumentato lo spessore di K_{CORTIC} nella parte alta del versante
	Infiltrazione costante	inf=-20mm/anno (parte alta)	
		inf=-30mm/anno (parte bassa)	
		$K_{CORTIC}=7e-8$ m/s / $SFL=5e-4$ m/s	
		$K_{UG1b}=5e-8$ m/s	
	Conducibilità idraulica	$K_{UG1a}=8e-9$ m/s	
		$K_{scorrim-alto}=7e-8$ m/s	
		$K_{UG2}=1e-9$	
$K_{OD}=1e-6$			
	$K_{LIV\ SCORR}=5e-7$		
Parametri insaturo	$\alpha=0.1$ 1/m		
Sezione2D_M16	rapporto di incremento temporale	$i_{MAX} = 1.3$	(calibrazione con FEPEST) – da scartare per contrasti di permeabilità introdotti
	Infiltrazione costante	inf=-15mm/anno (parte alta)	
		inf=-30mm/anno (parte bassa)	
		$K_{CORTIC}=7e-8$ m/s / $SFL=5e-4$ m/s	
		$K_{UG1b}=3e-8$ m/s	
	Conducibilità idraulica	$K_{UG1a}=8e-9$ m/s	
		$K_{scorrim-alto}=9e-8$ m/s	
		$K_{UG2}=1e-9$	
$K_{OD}=1e-6$			
	$K_{LIV\ SCORR}=5e-7$		
Parametri insaturo	$\alpha=0.1$ 1/m		

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A			ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.								
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana			COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 37 di 39

Sezione2D_M17	rapporto di incremento temporale	$i_{MAX} = 1.3$	(calibrazione con FEPEST) – da scartare per contrasti di permeabilità introdotti
	Infiltrazione costante	$inf = -15\text{mm/anno}$ (parte alta)	
		$inf = -30\text{mm/anno}$ (parte bassa)	
		$K_{CORTIC} = 7e-8$ m/s / $SFL = 5e-4$ m/s	
		$K_{UG1b} = 3e-8$ m/s	
	Conducibilità idraulica	$K_{UG1a} = 8e-9$ m/s	
		$K_{scorrim-alto} = 9e-8$ m/s	
		$K_{UG2} = 1e-9$	
$K_{OD} = 1e-6$			
	$K_{LIV\ SCORR} = 5e-7$		
Parametri insaturo	$\alpha = 0.1$ 1/m		
Sezione2D_M18	rapporto di incremento temporale	$i_{MAX} = 1.3$	RIPARTENZA DA M14. La simulazione mantiene una discreta calibrazione anche inserendo la scarpata
	Infiltrazione costante	$inf = -30\text{mm/anno}$	
		$K_{SFL} = 5E-4$ m/s	
		$K_{SCARPATA\ BASSA} = 6e-8$ m/s	
		$K_{CORTIC} = 5e-8$ m/s	
		$K_{UG1b} = 1e-8$ m/s	
	Conducibilità idraulica	$K_{UG1a} = 9e-9$ m/s	
		$K_{scorrim-alto} = 6e-8$ m/s	
$K_{UG2} = 1e-9$			
$K_{OD} = 2e-6$			
	$K_{LIV\ SCORR} = 5e-7$		
Parametri insaturo	$\alpha = 0.1$ 1/m		
Sezione2D_M19	rapporto di incremento temporale	$i_{MAX} = 1.3$	
	Infiltrazione costante	$inf = -50\text{mm/anno}$	
		$K_{SFL} = 5E-4$ m/s	
		$K_{SCARPATA\ BASSA} = 5e-7$ m/s	
		$K_{CORTIC} = 5e-8$ m/s	
		$K_{UG1b} = 3e-8$ m/s	
	Conducibilità idraulica	$K_{UG1a} = 9e-9$ m/s	
$K_{scorrim-alto} = 4e-7$ m/s			
$K_{UG2} = 1e-9$			

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.			ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.								
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana			COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RH	DOCUMENTO OC0101 282	REV. A	FOGLIO 38 di 39

		K _{OD} =3e-6	Livello ancora basso in PzA e PzB
		K _{LIV SCORR} =4e-7	
	Parametri insaturo	α=0.1 1/m	
Sezione2D_M20	rapporto di incremento temporale	i _{MAX} = 1.3	
	Infiltrazione costante	inf=-10 e -30mm/anno	
	Conducibilità idraulica	K _{SFL} =1E-4 m/s	
		K _{SCARPATA BASSA} =7e-7 m/s	
		K _{CORTIC} =5e-8 m/s	
		K _{UG1b} =2e-8 m/s	
		K _{UG1a} =9e-9 m/s	
		K _{scorrim-alto} =6e-8 m/s	
		K _{UG2} =1e-9	
	K _{OD} =3e-6		
	Parametri insaturo	α=0.1 1/m	
Sezione2D_M21	rapporto di incremento temporale	i _{MAX} = 1.3	Inserimento di un'ulteriore scarpata
	Infiltrazione costante	inf=-25mm/anno	
	Conducibilità idraulica	K _{SFL} =1E-4 m/s	
		K _{SCARPATA BASSA} =5e-7 m/s	
		K _{CORTIC} =1e-7 m/s	
		K _{UG1b} =3e-8 m/s	
		K _{UG1a} =9e-9 m/s	
		K _{scorrim-alto} =1e-7 m/s	
		K _{UG2} =1e-9	
	K _{OD} =3e-6		
	Parametri insaturo	α=0.1 1/m	
Sezione2D_M22	rapporto di incremento temporale	i _{MAX} = 1.3	Allargamento della zona di più elevata permeabilità (1e-7 m/s)
	Infiltrazione costante	inf=-30 e -10mm/anno	
	Conducibilità idraulica	K _{SFL} =1E-4 m/s	
		K _{SCARPATA BASSA} =1e-7 m/s	
		K _{CORTIC} =1e-7 m/s	
		K _{UG1b} =1e-8 m/s	
		K _{UG1a} =9e-9 m/s	
		K _{scorrim-alto} =1e-7 m/s	
		K _{UG2} =1e-9	
	K _{OD} =3e-6		

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<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>IF28</td> <td>01</td> <td>V ZZ RH</td> <td>OC0101 282</td> <td>A</td> <td>39 di 39</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF28	01	V ZZ RH	OC0101 282	A	39 di 39
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF28	01	V ZZ RH	OC0101 282	A	39 di 39													
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana																		

	Parametri insaturo	$\alpha=0.1$ 1/m	
--	--------------------	------------------	--