

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 VIADOTTI

VI03-VIADOTTO UFITA ROCCHETTA DA KM 9+637.00 A KM 10+52.00

“Variante 28” – Opere di mitigazione dei movimenti franosi-Tratta all’aperto Catel del Fiego

Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA AV Il Direttore Tecnico Ing. Aristodemo Busillo 28/07/2023	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani	 Alpina S.p.A Ing.P.Galvanin GES: Ing. D. Segato

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	SCALA:
IF28	01	V	ZZ	CL	VI0302	281	B	-

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per consegna	P.Pazzaglia	21/02/2023	A.Cozzi	21/02/2023	P.Galvanin	21/02/2023	P.Galvanin   28/07/2023
B	Revisione a seguito istruttoria	P.Pazzaglia	28/07/2023	A.Cozzi	28/07/2023	P.Galvanin	28/07/2023	

APPALTATORE: Consorzio                      Soci HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario                      Mandanti ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 2 di 72

## Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
2.1	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO PE – VIADOTTO VI03.....	6
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO PEV.....	6
2.2.1	DOCUMENTI GENERALI .....	6
2.2.2	VIADOTTO VI03.....	6
<b>3</b>	<b>REVISIONE DEL MODELLO GEOTECNICO ALLA LUCE DEL QUADRO SPERIMENTALE DI PED .....</b>	<b>9</b>
3.1	MISURE INCLINOMETRICHE NEL CORSO DEL PED: 2021-2022.....	10
3.2	MONITORAGGIO PIEZOMETRICO .....	13
3.3	CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INDIVIDUATE .....	13
<b>4</b>	<b>DESCRIZIONE DELL’INTERVENTO PREVISTO .....</b>	<b>20</b>
4.1	ELEMENTI CHE COSTITUISCONO L’INTERVENTO .....	20
4.2	FASI COSTRUTTIVE .....	21
<b>5</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE .....</b>	<b>22</b>
5.1	SICUREZZA DELL’OPERA .....	22
5.1.1	QUADRO NORMATIVO.....	22
5.1.2	APPROCCI E COMBINAZIONI UTILIZZATE .....	24
5.1.3	DETERMINAZIONE DELL’ACCELERAZIONE CRITICA E DEGLI SPOSTAMENTI PLASTICI .....	25
<b>6</b>	<b>CARICHI E AZIONI.....</b>	<b>27</b>
6.1	CARICHI VARIABILI .....	27
6.2	AZIONI DELLE COLTRI INSTABILI.....	27
6.3	AZIONE SISMICA IN CONFIGURAZIONE PROVVISORIA DI SCAVO E DEFINITIVA .....	27
6.3.1	DEFINIZIONE DEI VALORI DI ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESI NEL SITO.....	27
<b>7</b>	<b>ANALISI NUMERICHE DELLE OPERE IN PROGETTO.....</b>	<b>30</b>
7.1	MODELLO GEOMETRICO E SEZIONI DI ANALISI DEL CORPO DI FRANA .....	31
7.1.1	SEZIONE A-A’ .....	32
7.1.2	SEZIONE C-C’ .....	33
7.2	PARAMETRI GEOTECNICI.....	34
7.1	CARATTERISTICHE MECCANICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI.....	35
7.1.1	RIGIDEZZA A TAGLIO E RESISTENZA OPERATIVE DELLE FONDAZIONI A POZZO .....	36
7.1.2	RIGIDEZZA A TAGLIO E RESISTENZA OPERATIVA DEI SETTI DI PALI ACCOSTATI.....	38

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <span style="margin-left: 100px;">Soci</span>   	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>																	
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <span style="margin-left: 100px;">Mandanti</span>   	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>3 di 72</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	3 di 72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	3 di 72													

<b>7.2</b>	<b>MODELLAZIONE CONDIZIONI DI FALDA NEL VERSANTE .....</b>	<b>40</b>
7.2.1	ASPETTI GENERALI.....	40
7.2.2	ANALISI CONDIZIONI INIZIALI INDISTURBATE.....	40
7.2.3	MODELLAZIONE SOLUZIONE PROGETTUALI DRENAGGIO PROFONDO .....	42
<b>7.3</b>	<b>ANALISI PRELIMINARI: STABILITÀ ALLA SCALA DEL VERSANTE ED ALLA SCALA DELL'OPERA .....</b>	<b>43</b>
<b>7.4</b>	<b>STABILITÀ LOCALE.....</b>	<b>46</b>
<b>7.5</b>	<b>FASI DI ANALISI .....</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI.....</b>	<b>50</b>
8.1	SINTESI .....	51
8.2	PARATIE TRASVERSALI - RISULTATI DELLE ANALISI DI SICUREZZA .....	53
8.2.1	COMBINAZIONI SLU.....	53
8.2.2	COMBINAZIONI SLV.....	55
8.3	PENDIO – SPOSTAMENTI PLASTICI ATTESI IN CONDIZIONI SLV.....	60
8.4	POZZI DI FONDAZIONE – SOLLECITAZIONI DOVUTE AL SISMA IN CONDIZIONI SLV DRAIN (FASE 27) .....	61
<b>9</b>	<b>STIMA INCIDENZA ARMATURE PALI.....</b>	<b>64</b>
9.1	PALI SETTI STABILIZZANTI.....	64
9.2	PALI OPERE SOSTEGNO OS1-OS2 .....	65
9.3	PALI OPERE DI SOSTEGNO OS3÷OS7 .....	65
<b>10</b>	<b>ALLEGATO 1 - DETERMINAZIONE DEL CONTRIBUTO RESISTENTE LIMITE DEI PALI: METODO DI VIGGIANI (1981).....</b>	<b>66</b>
<b>11</b>	<b>ALLEGATO 2 – SOLLECITAZIONI AGENTI SUL SETTO PERIMETRALE (FRA A-A' E C-C').....</b>	<b>70</b>

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>4 di 72</b>

## 1 PREMESSA

La presente relazione illustra e riassume i risultati delle analisi delle condizioni di stabilità nell'area del viadotto VI03 precedentemente ed in seguito alla realizzazione degli interventi di stabilizzazione e consolidamento previsti nell'ambito della progettazione esecutiva di dettaglio del raddoppio del 1° lotto funzionale Apice-Hirpinia della tratta Apice-Orsara (itinerario Napoli-Bari). Il documento contiene altresì una valutazione delle azioni agenti sulle opere provvisoriale e fondali a seguito del sisma di progetto.

Il Viadotto Ufita Melito - VI03, a doppio binario, si estende dal km 9+637 a km 10+052 della Tratta Apice-Orsara - 1° Lotto Funzionale Apice-Hirpinia per uno sviluppo complessivo di 415 m in corrispondenza del Torrente Ufita.

Esso si colloca in un contesto geomorfologico complesso all'interno del quale, le indagini e le analisi svolte in sede di PED, oltre ad aggiornare il quadro sperimentale disponibile, hanno consentito di definire un nuovo modello geotecnico di riferimento del versante, risultato della integrazione di tutte le informazioni di carattere geologico e geotecnico disponibili.

È emersa, quindi, la necessità di una modifica sostanziale del precedente modello che preveda la presenza di un fenomeno di dissesto profondo che interessa l'intero versante ed in particolare le opere fondali del viadotto VI03.

La presenza di tale dissesto profondo ha imposto di un adeguamento/integrazione delle opere di stabilizzazione del versante già presenti in sede di PE con riferimento sia agli interventi strutturali, sia a quelli di drenaggio.

Prima dell'avvio della fase di sviluppo vero e proprio del progetto di variante, a seguito dell'approvazione del documento "Report interpretativo monitoraggio geotecnico con evidenze geomorfologiche - Tratta all'aperto Castel del Fiego, da pk 9+550 a pk 10+090" del 15/04/2022 (cod. IF2701CZZRHOC0101007B, l'Appaltatore, di concerto con l'ATI dei progettisti, ha presentato in data 17/05/22 una proposta tecnica d'intervento, oggetto di successive analisi e approfondimenti, svolte in diversi incontri tecnici e documenti esplicativi.

L'esito finale di tali confronti è sintetizzato nel documento "Criteri di calcolo per lo sviluppo del Progetto di Variante VI03-Lato Bari", del 18/07/22, sottoscritto tra le parti, che si considera parte integrante del presente PEV. Esso contiene le linee guida di indirizzo per lo sviluppo del progetto, ivi incluse le metodologie di verifica per giungere ad un corretto dimensionamento degli interventi.

A seguito dei confronti tecnici con ITF, pertanto, sono stati individuati una serie di interventi di stabilizzazione del versante e mitigazione del potenziale impatto di detti movimenti sulle opere oggetto della presente relazione a fronte delle azioni attese in condizioni dinamiche.

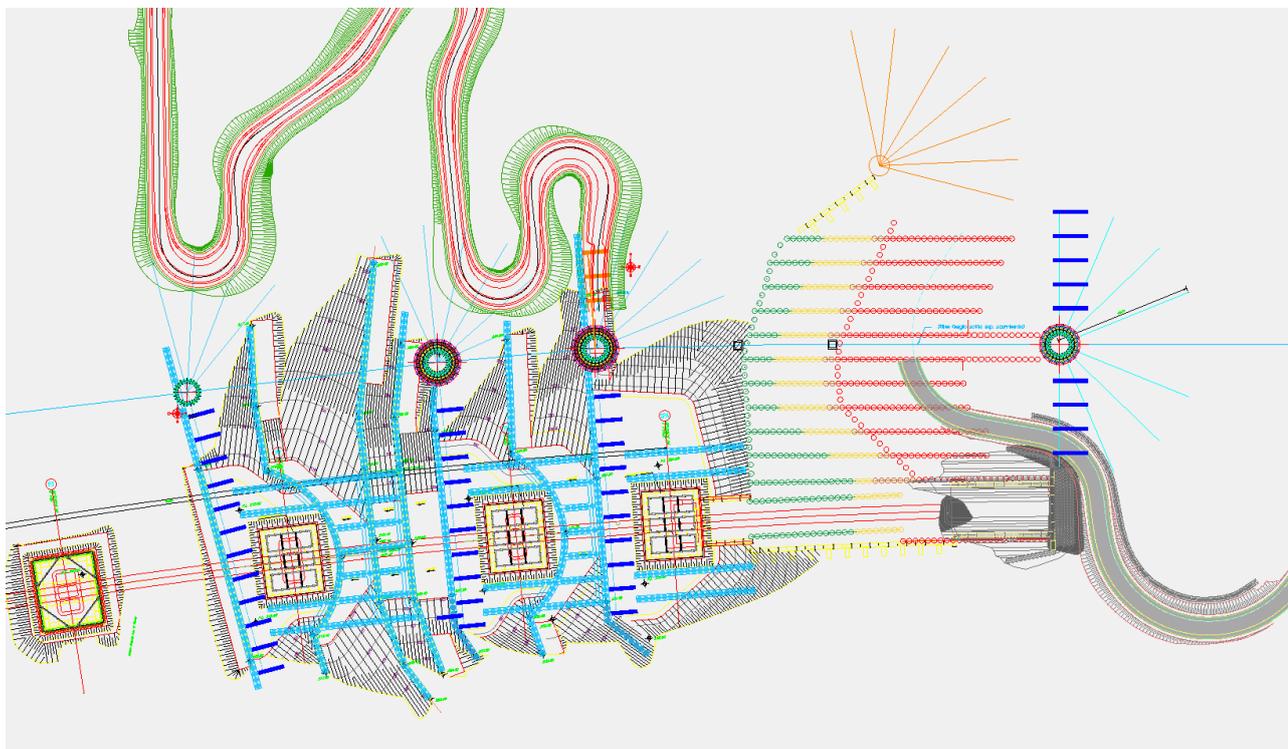
Si prevedono una serie di lavorazioni propedeutiche alla realizzazione degli scavi delle fondazioni che permettano di garantire il soddisfacimento dei requisiti di norma nelle fasi costruttive e di esercizio dell'opera.

Tali lavorazioni consistono in:

- realizzazione delle opere di drenaggio profondo del versante prima dell'inizio delle operazioni di sbancamento iniziale;
- sbancamenti propedeutici e realizzazione delle opere di sostegno (paratie parallele alle curve di livello e che consentano di proteggere ogni successivo scavo di ribasso) e consolidamento (setti di irrigidimento a monte delle pile) delle aree interessate dalle fondazioni del viadotto. Tutte le opere di consolidamento sono state concepite in modo da assecondare la morfologia del versante, con un sistema di banche, piste di cantiere e stradelli che si allineano per quanto possibile alle isoipse in modo tale da minimizzare gli scavi non sostenuti in ogni fase e, quindi, minimizzare il detensionamento della coltre instabile;
- scavo dei piazzali di imposta delle fondazioni e realizzazione delle fondazioni profonde delle pile e della spalla A.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>5 di 72</b>

I risultati della impostazione progettuale sopra definiti sono illustrati nella planimetria visualizzata nell'immagine successiva.



Si riconoscono i seguenti elementi caratterizzanti la soluzione progettuale per il viadotto in oggetto:

- pozzi drenanti da cui partono dreni a raggera che intercettano i setti drenanti profondi spinti a profondità tali da intercettare il cambio stratigrafico presente a circa 20-22 m dal piano campagna;
- la presenza di 7 allineamenti di paratie di pali di diametro 1000 mm e interasse 1.20 m spinti circa 8m all'interno della formazione intatta sottostante il movimento gravitativo. Detti allineamenti consentono di realizzare una gradonatura del profilo del terreno con asportazione di circa 5 metri di materiale circa.
- Setti stabilizzanti di pali, ortogonali alle curve di livello, disposti ai lati delle fondazioni e a monte al fine di creare degli "archi" di schermatura delle spinte di frana e di separazione delle stesse dalle fondazioni profonde.
- le gradonature sono raccordate con il versante utilizzando le opere di sostegno OS realizzate in fase di scavo configurate per riprofilare il versante e consentire allo stesso tempo il raccordo dei vari piani di lavoro con i gradoni della riprofilatura. Le pendenze di raccordo/riprofilatura tra gradonatura e pendio esistente sono variabili tra il 12 ed il 20%, sempre inferiori all'angolo naturale di declivio;
- gli interventi di stabilizzazione sono disposti anche a valle delle pile per prevenire eventuali scivolamenti delle masse residuali da monte verso valle;
- i muri "verdi" tipo crib-wall utilizzati per mascherare le palificate e "ricucire" morfologicamente il profilo del terreno.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>6 di 72</b>

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO PE – VIADOTTO VI03

1° lotto funzionale Apice-Hirpinia della tratta Apice-Orsara (itinerario Napoli-Bari) –Viadotto Ufita Rocchetta da Km 9+637 a Km 10+052 – PROGETTO ESECUTIVO:

- Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versanti – IF2801EZZCLVI0302000B.
- Relazione di calcolo fondazioni spalla A e B – IF2801EZZCLVI0303001B;
- Relazione di calcolo fondazioni pile P1 e P2 – IF2801EZZCLVI0303002B.

1° lotto funzionale Apice-Hirpinia della tratta Apice-Orsara (itinerario Napoli-Bari) – PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO:

- Report interpretativo monitoraggio geotecnico con evidenze geomorfologiche. Tratta all'aperto Castel del Fiego, da pk 9+550 a pk 10+090 del 20/10/2021 - IF2701CZZRHOC0101007A
- Report interpretativo monitoraggio geotecnico con evidenze geomorfologiche. Tratta all'aperto Castel del Fiego, da pk 9+550 a pk 10+090 del 14/04/2022 - IF2701CZZRHOC0101007B

### 2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO PEV

#### 2.2.1 Documenti generali

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| IF28.0.1.V.ZZ.RG.MD.00.0.0.281.  | VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Relazione Generale  |
| IF28.0.1.V.ZZ..RG.GE.01.0.1.280. | 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   |
| IF28.0.1.V.ZZ.RH.OC.01.0.1.282.  | VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Modellazione numerica di flusso per la verifica delle soluzioni progettuali di drenaggio del corpo di frana |

#### 2.2.2 Viadotto VI03

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| IF28.0.1.V.ZZ.P9.VI.03.0.0.000. | VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Pianta fondazioni e sezioni  |
| IF28.0.1.V.ZZ.P9.VI.03.0.0.003. | VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Pianta impalcato e prospetto   |
| IF28.0.1.V.ZZ.P8.VI.03.0.0.281. | 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 |

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>7 di 72</b>

IF28.0.1.V.ZZ.P8.VI.03.0.0.282.	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.LZ.VI.03.0.2.000.	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 versante e opere provvisoriale: Fase 1 - Planimetria e sezione
IF28.0.1.V.ZZ.LZ.VI.03.0.2.002.	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 versante e opere provvisoriale: Fase 2 - Planimetria e sezione long.
IF28.0.1.V.ZZ.LZ.VI.03.0.2.004.	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 versante e opere provvisoriale: Fase 3 - Planimetria e sezione long.
IF28.0.1.V.ZZ.B9.VI.03.0.2.000.	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 versante: Paratie di pali OS1, OS2 e OS3 - Sviluppata e sezioni
IF28.0.1.V.ZZ.B9.VI.03.0.2.001.	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 versante: Paratie di pali OS3, OS4 e OS5 - Sviluppata e sezioni
IF28.0.1.V.ZZ.B9.VI.03.0.2.281.	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 versante: Paratie di pali OS6, OS7 - Sviluppata e sezioni
IF28.0.1.V.ZZ.P8.VI.03.0.2.000.	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.	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.	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.	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
IF28.0.1.V.ZZ.BA.VI.03.0.2.281.	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 - Pozzi drenanti P1 e P4 - Carpenterie: piante e sezioni
IF28.0.1.V.ZZ.BA.VI.03.0.2.282.	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 - Pozzi drenanti P2 e P3 - Carpenterie: piante e sezioni
IF28.0.1.V.ZZ.BZ.VI.03.0.2.283	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 - Pozzi drenanti - Dettagli costruttivi
IF28.0.1.V.ZZ.BZ.VI.03.0.4.002.	VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Manufatto transizione spalla A - Planimetria, profilo e sezioni
IF28.0.1.V.ZZ.L8.VI.03.0.2.281.	VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Monitoraggio opere di stabilizzazione e drenaggio viadotto VI03 - Versante Est
IF28.0.1.V.ZZ.CL.VI.03.0.3.281.	VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Relazione di calcolo fondazioni spalla A
IF28.0.1.V.ZZ.CL.VI.03.0.3.282.	VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Relazione di calcolo fondazioni pila P1

<b>APPALTATORE:</b> <u>Conorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>																	
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>	<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 CL</td> <td>VI0302 281</td> <td>B</td> <td>8 di 72</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF28	01	V ZZ CL	VI0302 281	B	8 di 72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF28	01	V ZZ CL	VI0302 281	B	8 di 72													
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>																		

- IF28.0.1.V.ZZ.CL.VI.03.0.3.283. VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Relazione di calcolo fondazioni pila P2
- IF28.0.1.V.ZZ.CL.VI.03.0.3.284. VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Relazione di calcolo pozzi drenanti
- IF28.0.1.V.ZZ.CL.VI.03.0.3.285. VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versanti
- IF28.0.1.V.ZZ.CL.VI.03.0.2.281. VARIANTE 28 - Opere di mitigazione dei movimenti franosi - Tratta all'aperto Castel del Fiego - da pk 9+550 a pk 10+090 - Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 9 di 72

### 3 REVISIONE DEL MODELLO GEOTECNICO ALLA LUCE DEL QUADRO SPERIMENTALE DI PED

Il quadro sperimentale oggi disponibile è il risultato della integrazione di tutte le indagini che si sono articolate dal 2015 ad oggi 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.

La planimetria di Figura 3.1 fornisce il quadro di insieme delle indagini eseguite nell'area a partire da quelle per il PD.

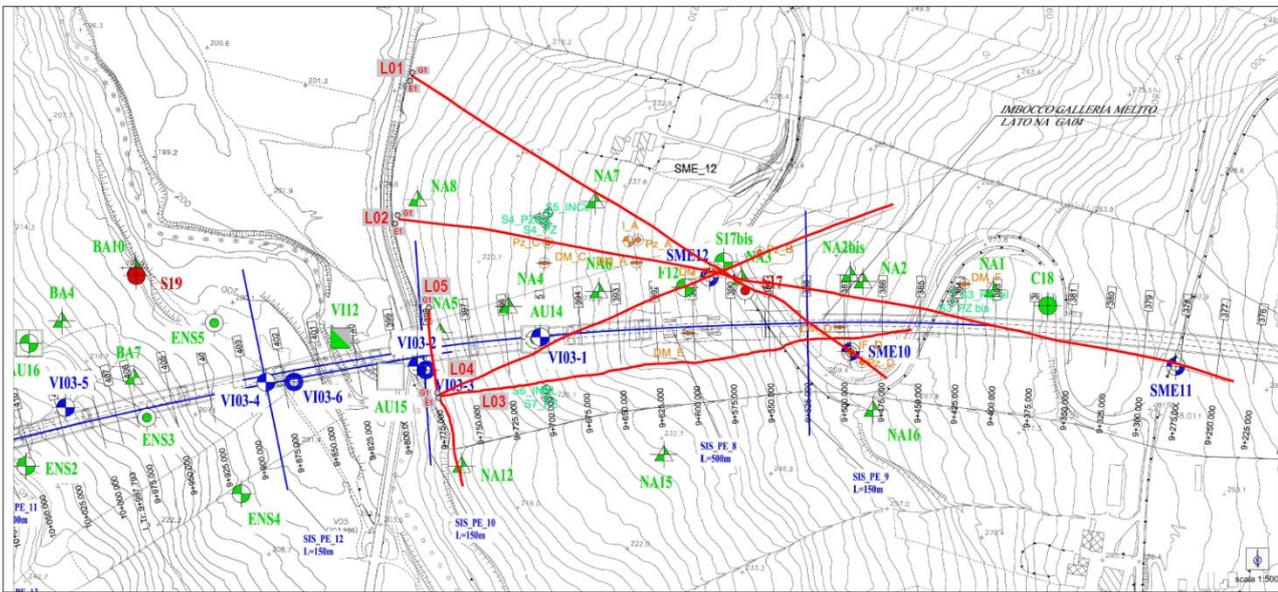


Figura 3.1 - Planimetria indagini completa (PD, PE, FASE 1 PED, FASE 2 PED, FASE 3 PED)

Le risultanze sperimentali delle indagini eseguite in sede di PED sono sintetizzate nel seguito ed illustrate nella relazione IF2701CZZRHOC0101007B\_Allegato a cui si rimanda per maggior dettaglio.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>10 di 72</b>

### 3.1 MISURE INCLINOMETRICHE NEL CORSO DEL PED: 2021-2022

Per aggiornare il modello geotecnico di riferimento del progetto alle nuove evidenze, la fase progettuale di PED ha previsto di integrare il quadro sperimentale attraverso nuove verticali inclinometriche identificate, procedendo da valle verso monte come S6, S5, IA ed S1.

Fra le letture di dicembre 2021 e marzo 2022 tutte le verticali hanno messo in evidenza incrementi di spostamento dell'ordine di 1-2mm localizzati alle medesime quote che si potevano individuare, seppure in modo meno evidente, già a inizio 2021 dai profili inclinometrici di PD e PE. Tale trend è confermato dalle recenti letture di ottobre 2022.

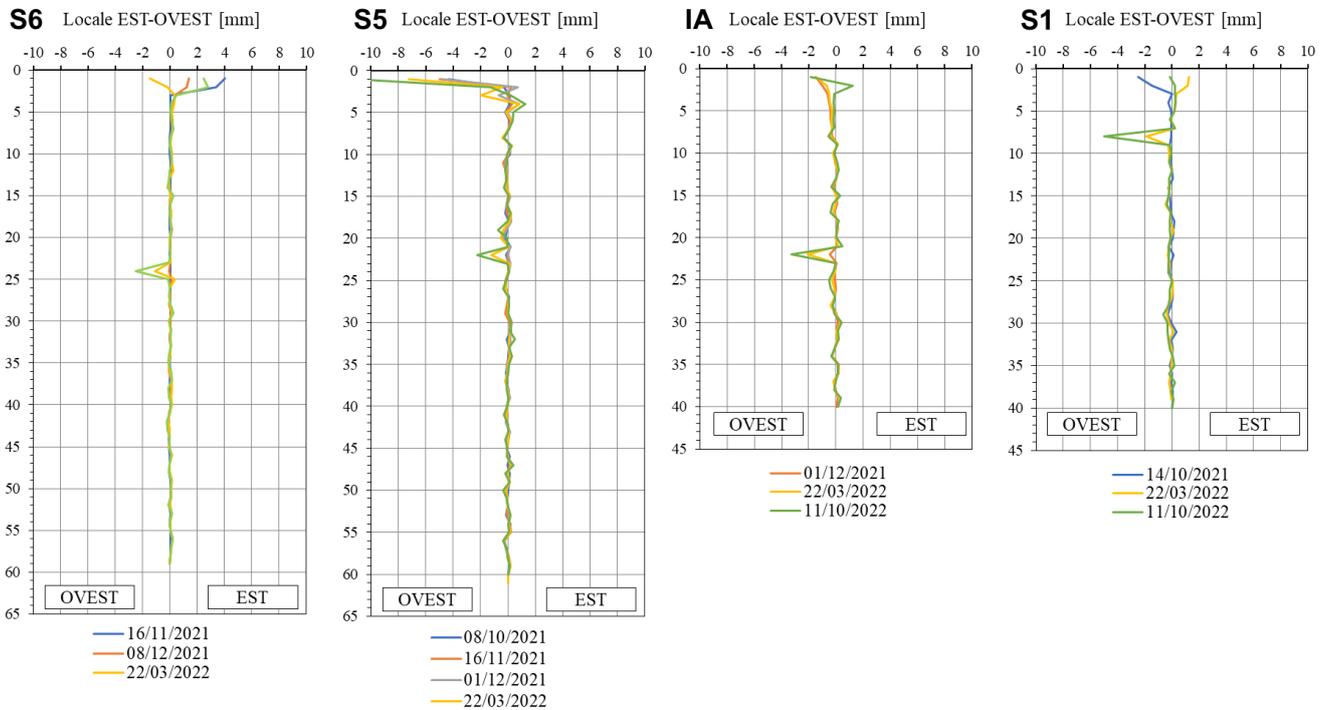


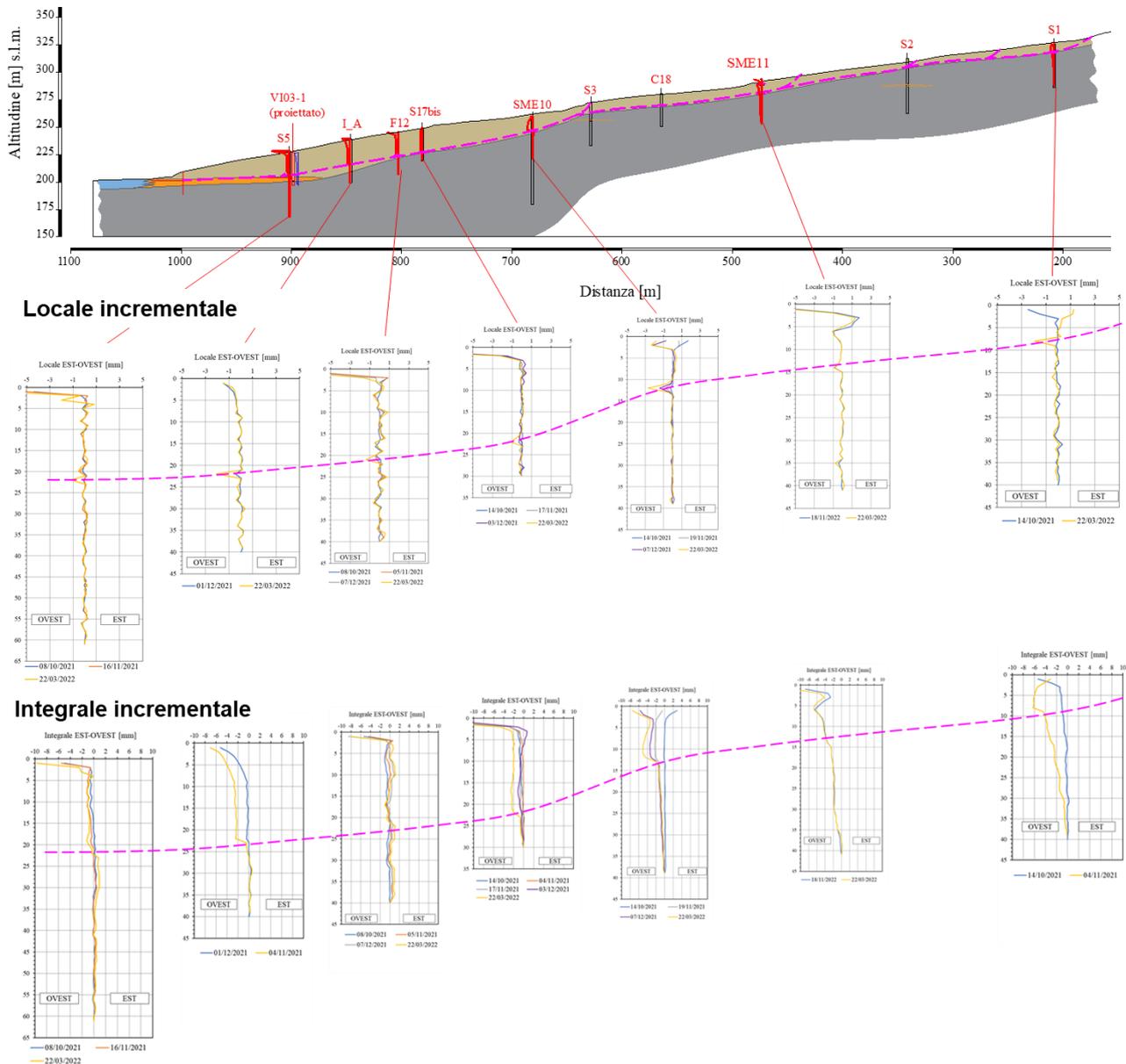
Figura 3.2 – Inclinometri PED. Spostamenti locali in direzione Est-Ovest fra il 14/09/2021 ed l'11/10/2022.

Il quadro sperimentale che emerge dalle nuove osservazioni delinea la presenza di un cinematisma di frana profonda, che si estende a monte e a valle della zona di imbocco Nord della galleria GV4, con profondità di circa 20÷24 m nella porzione inferiore del versante e di circa 6÷10 m verso monte.

La traccia della superficie di scorrimento è delineata in Figura 3.3, in base alle profondità dove si localizzano gli spostamenti lungo i profili inclinometrici sia incrementali che integrali.

In Figura 3.4 sono invece illustrati gli andamenti nel tempo degli spostamenti alle rispettive profondità dove sono localizzati. La velocità media di spostamento è modesta, dell'ordine dei 5mm/anno per la verticale SME10, con punte massime di 10÷15 mm/anno nei periodi di maggiore attività.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>								
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>11 di 72</b>



**Figura 3.3 – Sezione B-B'. Profili inclinometrici incrementali in direzione Est-Ovest.**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio      Soci <b>HIRPINIA AV      WEBUILD S.P.A.      ASTALDI S.P.A</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A      NET ENGINEERING S.P.A.      ALPINA S.P.A.</b>								
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>12 di 72</b>

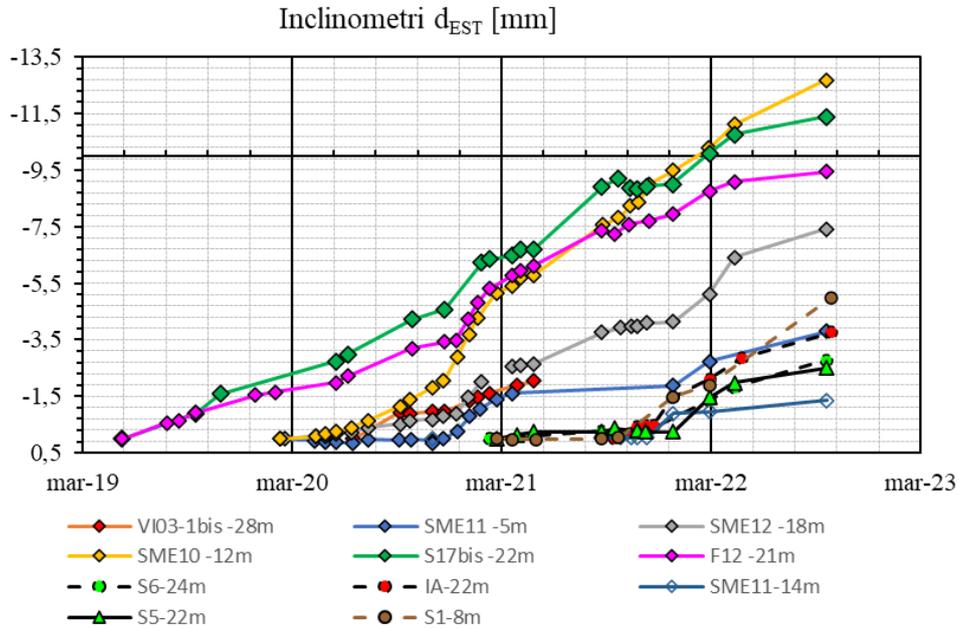


Figura 3.4 – Andamento nel tempo degli spostamenti inclinometrici alle profondità di scorrimento.

Dalle misure inclinometriche risulta in sostanza la presenza di un fenomeno di frana profonda che interessa l'intero versante, con superficie di rottura coincidente con il contatto fra la formazione superficiale di argille sabbiose e limose (BNA 1b in PD) e quella profonda, marnosa (BNA2 in PD).

In planimetria gli strumenti inclinometrici indicano che l'area del movimento, caratterizzato da un azimut circa 280°N è interferente con il tracciato del viadotto.

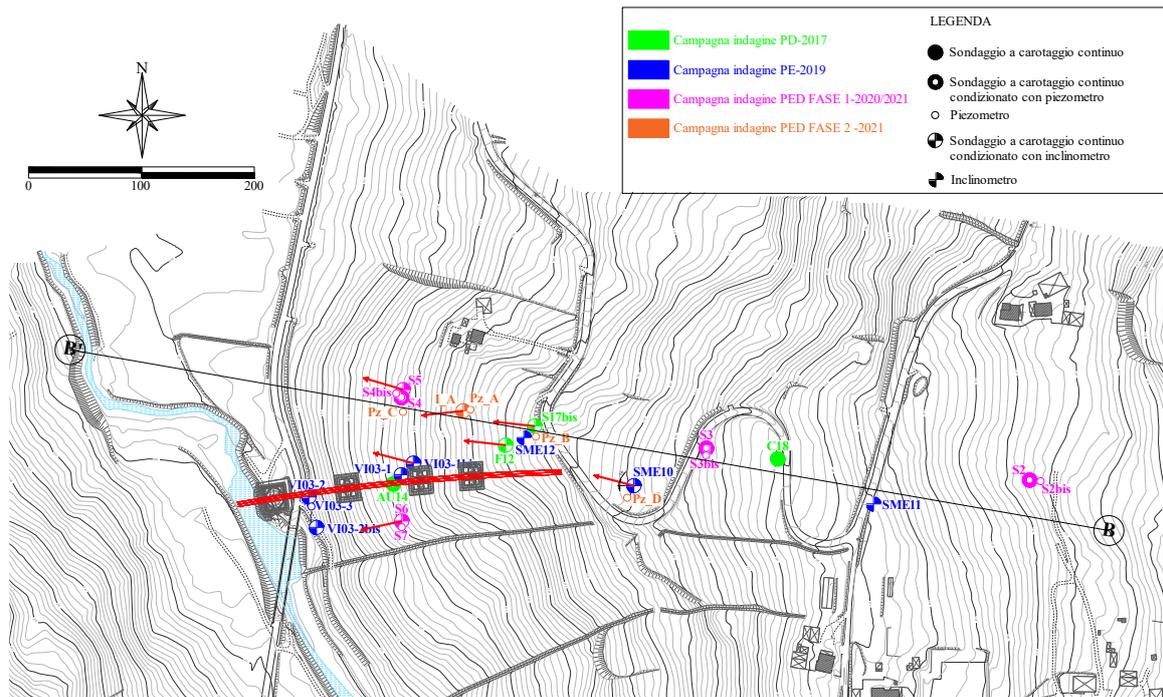


Figura 3.5 – Planimetria dell'area oggetto di studio. Posizione delle verticali inclinometriche rispetto alla posizione del viadotto VI03

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 13 di 72

### 3.2 MONITORAGGIO PIEZOMETRICO

In sede di PED il quadro sperimentale disponibile è stato implementato con l'installazione di verticali piezometriche di tipo Norton (S4, S4bis, S7) e a cella di Casagrande (S2, S2bis, S3, S3bis, PzA, PzB, PzC e PzD), con sensori collocati in prossimità della superficie di scorrimento ipotizzata (PzC e PzD).

Le nuove misure piezometriche, sintetizzate in Figura 3.6 mettono in luce nella parte del pendio interessata dalle opere in progetto, come all'interno del corpo di frana, il livello freatico rimanga sempre prossimo al p.c. mentre al di sotto della presunta superficie di scorrimento il livello rimane più basso, circa 20m da p.c..

Altro dato di interesse è che la cella PzC posta a 20 m da p.c., poco al di sopra della superficie di scorrimento ipotizzata registra una forte escursione in corrispondenza dei periodi di precipitazione più intensa, sollevandosi da circa -20m fino a p.c., fra l'inizio di novembre e l'inizio di dicembre 2021. Lo strumento sembra infatti influenzato dalla presenza del sottostante livello granulare posto a circa 24m da p.c..

In ultimo, l'andamento delle quote piezometriche rilevato dagli strumenti al piede del pendio è in generale correlabile con quello delle precipitazioni cumulate a 60 giorni. Tale correlazione risulta meno evidente per i piezometri a monte.

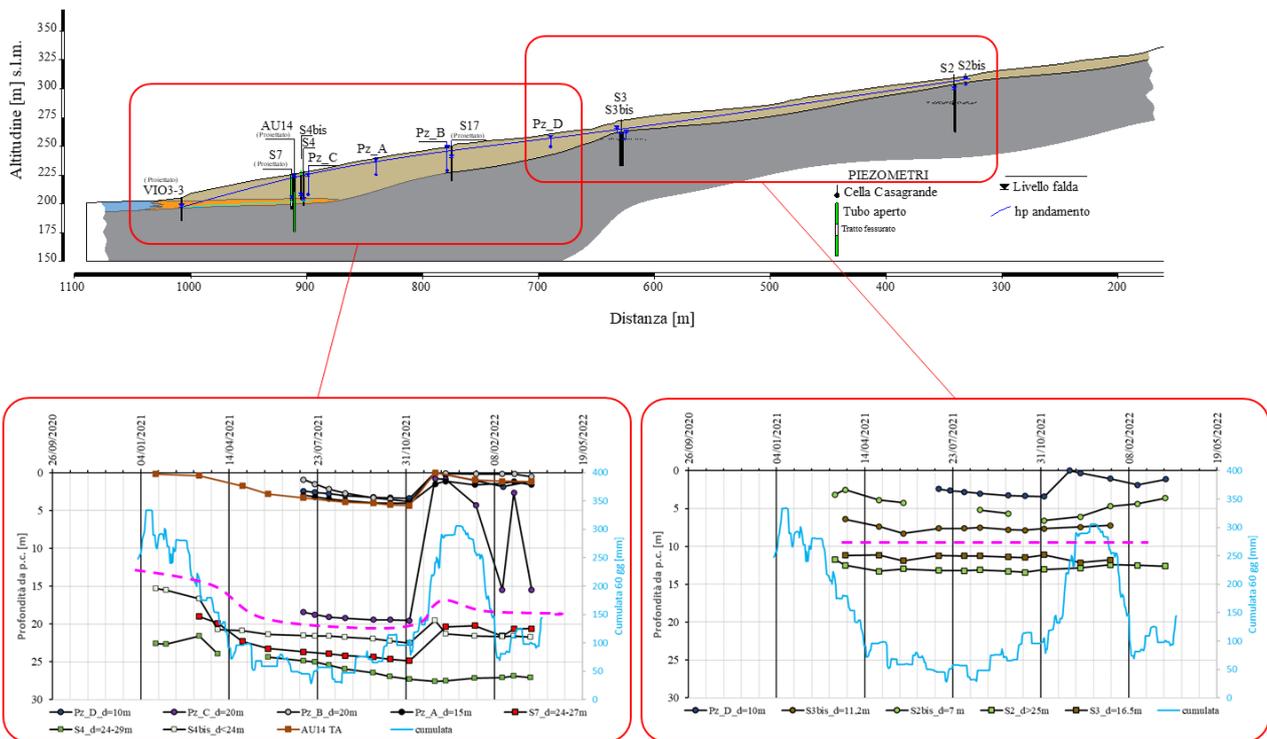


Figura 3.6 – misure piezometriche campagna integrativa di PED

### 3.3 CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INDIVIDUATE

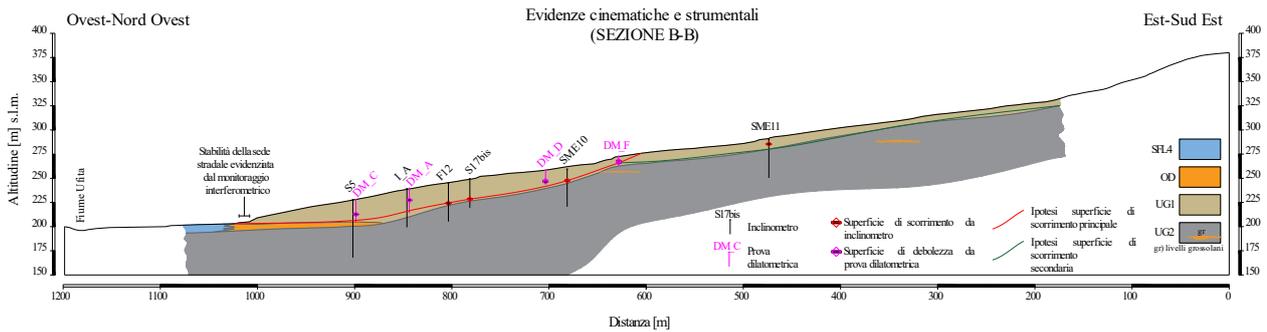
Nel settore del viadotto VI03, tra il piano campagna ed una profondità variabile che raggiunge al massimo i 25 m si ritrovano terreni disturbati (BN1 e BN2) che ricadono all'interno del corpo frana (UG\_1) costituiti da limo argilloso ed argilla limosa di colore marroncino. Materiale da mediamente a molto consistente.

Al di sotto di tale unità, si ritrovano i materiali che costituiscono la formazione B2N integra (UG2) ovvero argilla da debolmente marnosa a marnosa, debolmente scagliosa, con intercalazioni centimetriche di argilla sabbiosa

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>								
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>14 di 72</b>

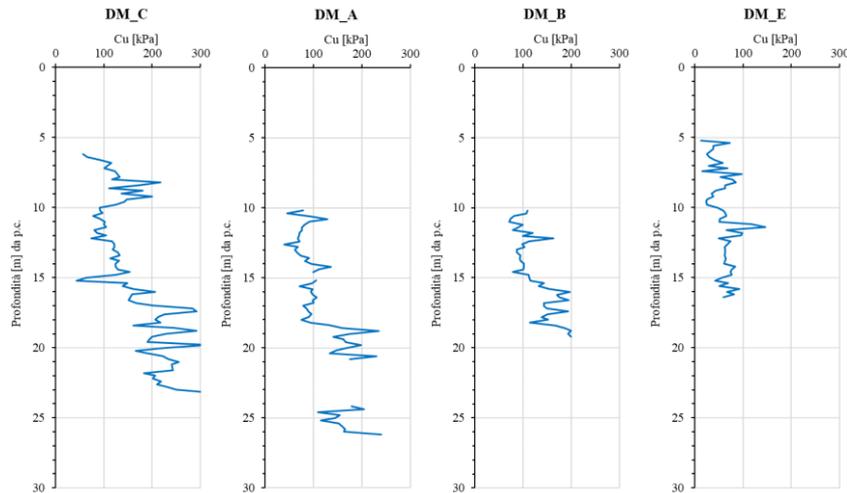
grigiastra, presenza di occasionali clasti subcentimetrici di natura marnoso-calcareo e/o calcareo-marnosa di colore biancastro ed avana. Materiale estremamente consistente.

Nella zona del piede, al contatto fra le due unità si rinviene la presenza di uno strato a matrice fine con la presenza di materiale granulare. Detto strato, di modesto spessore, potrebbe avere influenza sul modello idraulico del versante, ma non condiziona il modello meccanico pertanto nel seguito si caratterizzano solo le unità UG1 e UG2.



**Figura.3.7 – Profilo stratigrafico del versante lato Napoli della galleria Melito**

Tale differenziazione in termini meccanici è evidente dai profili delle prove DMT che si interrompono in corrispondenza del passaggio alla unità UG2 in virtù della elevata consistenza della stessa. Nella parte inferiore del versante (DM\_A, DM\_B, DM\_C) la resistenza non drenata (cu) dell'unità UG1 risulta compresa fra 80 e 200 kPa.



**Figura 3.8 –Valori di cu determinati sulla base delle prove DM eseguite nell'area del viadotto VI01**

La Figura 3.9 riassume le caratteristiche geotecniche essenziali delle unità comprese nel volume significativo delle opere, così come dettagliati nella relazione GES. La tabella riporta anche i principali parametri meccanici che possono essere assegnati alle alluvioni ghiaiose sulla base delle principali correlazioni di letteratura con i valori delle prove SPT.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 15 di 72

Figura 3.9 – Quadro sinottico delle proprietà geotecniche dei terreni

			UG1	UG2	G Alluvioni
Peso di volume	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]		18,5 ÷ 20,0	19,5 ÷ 21,5	19
Peso specifico dei grani	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]		25,8 ÷ 26,2	25,8 ÷ 26,2	
Indice di plasticità	IP [-]		17,4 ÷ 29	13,7 ÷ 21,5	
Contenuto d'acqua	w [%]		25 ÷ 40	25 ÷ 40	
Indice dei vuoti	$e_0$ [-]		0,6 ÷ 0,8	0,4 ÷ 0,58	
Coeff. di spinta a riposo	$k_0$ [-]	da DMT	0,6 ÷ 1,0	> 1	
Coeff. di permeabilità	K [m/s]		10 <sup>-7</sup> ÷ 10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup> ÷ 10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-5</sup> ÷ 10 <sup>-7</sup>
Caratteristiche di resistenza residua	$\phi'$ [°]	da TDr o TA	14	14	
Caratteristiche di resistenza al picco	$c_p' / \phi_p'$ [kPa] [°]	da TD	14/26	18/25 <sup>1</sup>	
		da TRX-CIU	27/28	35/28 <sup>2</sup>	
		da SPT <sup>3</sup>	-	-	0/40
Caratteristiche di resistenza in tensioni totali	$c_u$ [kPa]	da DMT	60 ÷ 150	-	
		da Vs (Moon & Ku; 2018)	50 ÷ 210	250 ÷ 800	
Modulo elastico	$E'$ [MPa]	da TRIASSIALI ( $E_{50}$ )	10 ÷ 40	40 ÷ 80	
		Operativo a basse deformazioni	$E' = 2 \cdot G \cdot (1 + \nu)$ Cfr. Figura 3.13		
		da SPT <sup>4</sup>	-	-	60
Velocità onde di taglio	$V_s$ [m/s]	da DH (C18)	120 ÷ 170	400 ÷ 500	
		da Sismica rifrazione	140 ÷ 350	400 ÷ 800 <sup>5</sup>	
Modulo di taglio a piccole deformazioni	$G_0$ [MPa]	da Vs rifrazione	30 ÷ 100	330 ÷ 1300	
		Jamiolkowski et al., 1994	50 ÷ 120 (80)	150 ÷ 250 (160)	

<sup>1</sup> La maggiore resistenza risultante dalle prove triassiali rispetto a quelle delle prove di taglio diretto si può interpretare come l'effetto della stratificazione che caratterizza la formazione e che favorisce la rottura lungo superfici piane nelle prove di taglio diretto (Castellanos B.A., Brandon T.L., 2013).

<sup>2</sup> Per le porzioni dell'unità UG2 di profondità superiore a circa 40m si farà riferimento all'involuppo di rottura del campione VI03-2 DM3:  $c'_p = 48$  kPa e  $\phi'_p = 28^\circ$ .

<sup>3</sup> VI03\_4

<sup>4</sup> VI03\_4

<sup>5</sup> Compresse fra 25 e 50m



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A.</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>								
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>17 di 72</b>

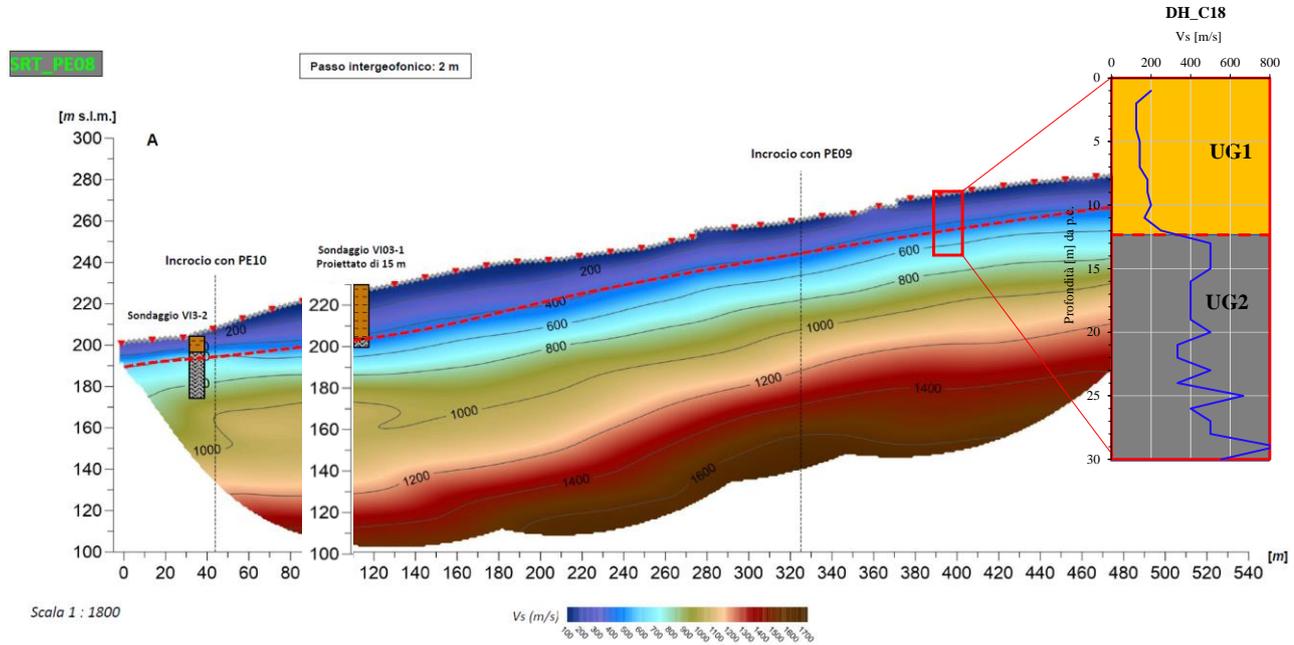


Figura 3.11 – Profilo VI03 prove Down-Hole sondaggio C18 e sismica a rifrazione

Attraverso l'utilizzo di correlazioni fra la velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) e le caratteristiche di resistenza dei terreni proposta da Moon & Ku (2018)

$$c_u = 0,009(V_s)^{1.51}(PI)^{0.3}$$

è possibile estendere anche a profondità elevate il campo di conoscenza delle caratteristiche geotecniche alle profondità più elevate per cui fra i 30 e i 50 m i valori di coesione non drenata media variano fra 400 e 8006 kPa. Tali valori medi risultano realistici alla luce del rinvenimento di frequenti campioni litoidi su varie verticali di sondaggio (cfr. SME10 CL1÷CL5 e VI03-2 CL1÷CL2).

<sup>6</sup> La correlazione si giustifica sulla base delle note relazioni di letteratura fra modulo di rigidezza e resistenza in condizioni non drenate.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>18 di 72</b>

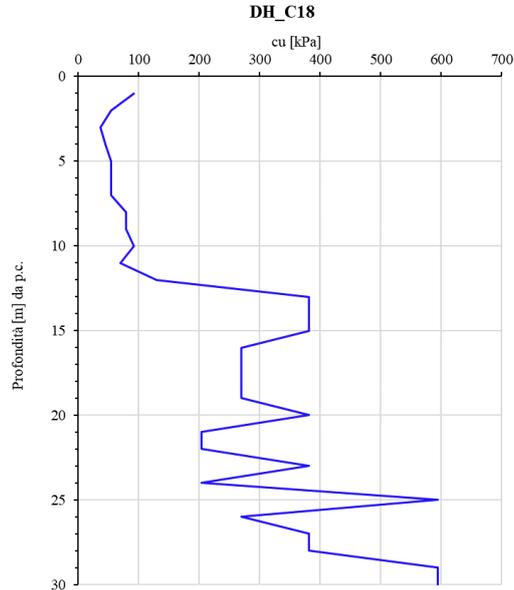


Figura.3.12 – Profilo di coesione non drenata definito sulla base delle velocità Vs Down-Hole sondaggio C18 adottando la correlazione di Moon & Ku (2018)

Visti i valori piuttosto elevati ottenuti dalle velocità delle onde sismiche si sono considerati anche i valori di G0 sulla base delle correlazioni di letteratura con le caratteristiche fisiche dei materiali:

$$\frac{G_{max}}{p'_{ref}} = D \cdot \frac{(2.97 - e)^2}{(1 + e)} \cdot \left(\frac{p'}{p'_{ref}}\right)^n \quad (\text{Jamiolkowsky et al. 1994})$$

I valori così stimati sono generalmente più contenuti dei precedenti e applicabili all'intera unità UG1 e alle porzioni più superficiali (non litoidi) della UG2.

Partendo dai valori medi considerati per il modulo di taglio a piccole deformazioni, in Figura 3.13 si riporta la curva di decadimento attesa per le due unità (riferita ad un indice di plasticità, IP, pari a 30) adottando per il Yref la correlazione di Zhang et al. (2005) e per la curva la relazione iperbolica di Hardin & Drnevich (1972).

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{\left(1 + \frac{Y}{Y_{ref}}\right)}$$

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>								
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>19 di 72</b>

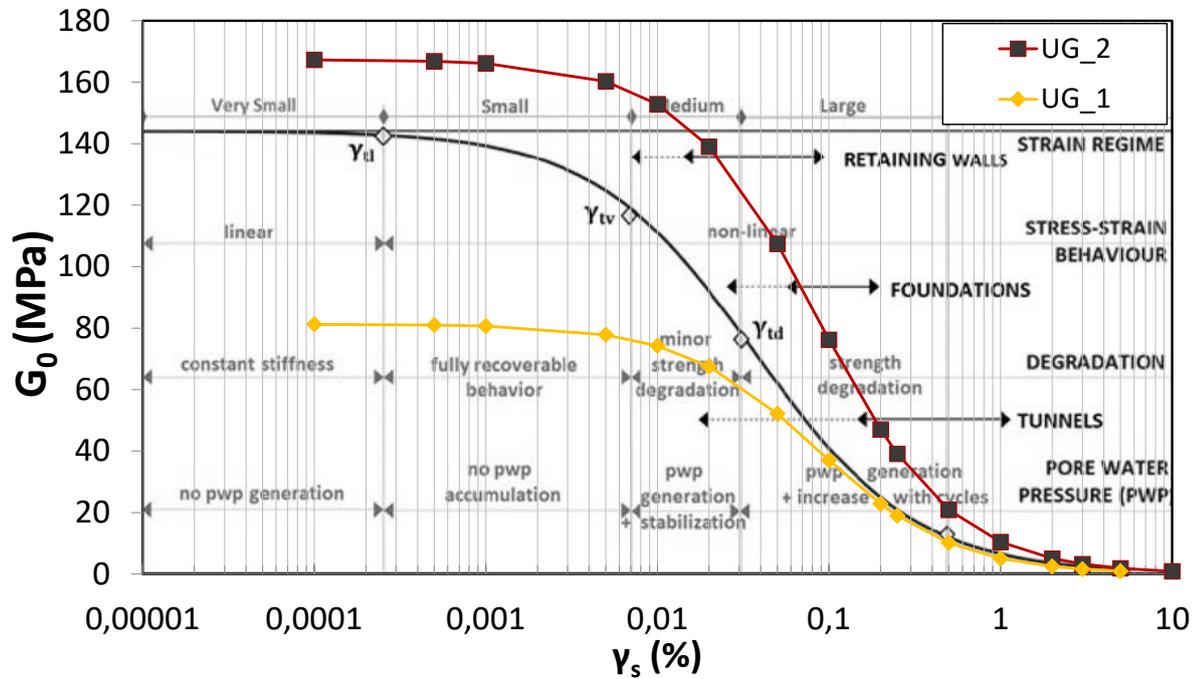


Figura 3.13 – Curva di decadimento attesa per le due unità adottando la correlazione di Zhang et al. (2005). IP=30. I campi di deformazione associati alle differenti opere geotecniche sono quelli indicati da Mair (1993).

APPALTATORE: Conorzio <b>HIRPINIA AV</b>	Soci <b>WEBUILD S.P.A.</b>	<b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>			
PROGETTAZIONE: Mandatara <b>ROCKSOIL S.P.A</b>	Mandanti <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b>	<b>ALPINA S.P.A.</b>				
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>20 di 72</b>

## 4 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PREVISTO

### 4.1 ELEMENTI CHE COSTITUISCONO L'INTERVENTO

Come accennato nei paragrafi introduttivi, l'intervento di stabilizzazione del pendio prevede un sistema di opere che interessano tutta la porzione di versante interessata, a partire dall'imbocco della galleria Melito fino al piede del pendio in corrispondenza della strada SP283 (Figura 4.1).

Rimandando alla relazione generale di cui al § 2.2.1, per la descrizione di dettaglio delle caratteristiche geometriche e strutturali delle singole opere, le principali linee di azione dell'intervento proposto, visualizzate in figura, sono:

- a) trincee per il drenaggio profondo alla scala del versante;
- b) pozzi drenanti;
- c) "setti strutturali/irrigidenti" (denominati SS negli elaborati di progetto) a protezione delle pile del viadotto;
- d) paratie per la realizzazione dei piazzali (denominate OS negli elaborati di progetto);

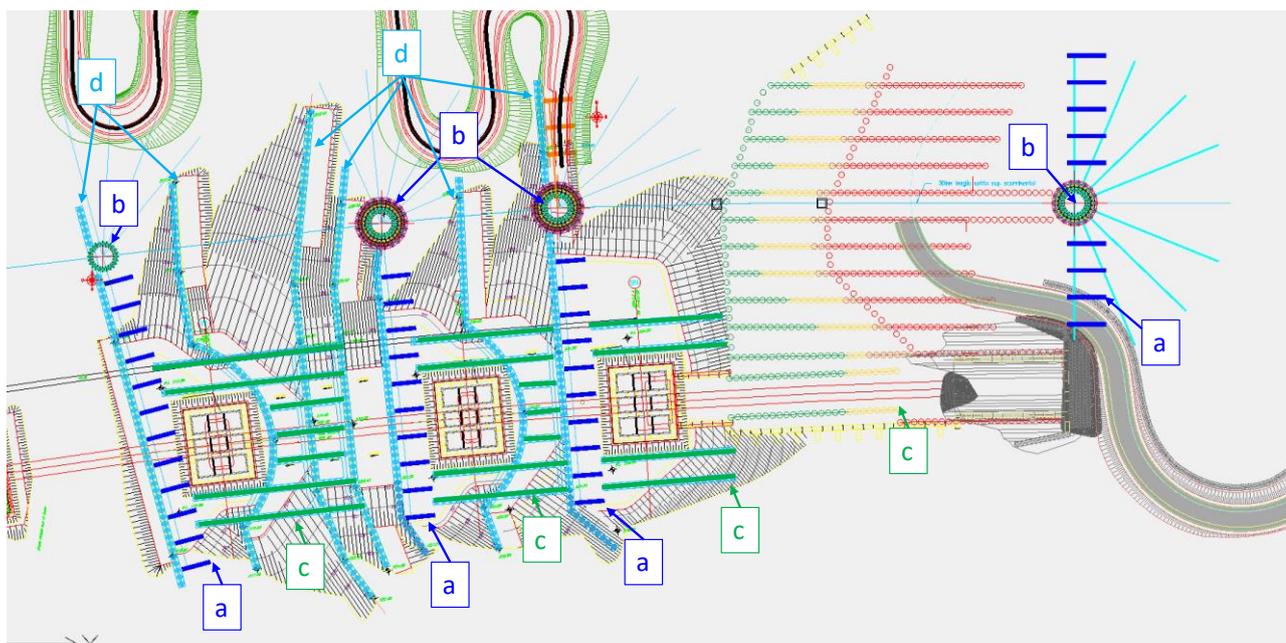


Figura 4.1 – planimetria dell'intervento con l'ubicazione delle principali opere di stabilizzazione.

Per quanto riguarda l'area del viadotto VI03, gli interventi del piazzale RI57 e all'imbocco GI04 consentono di contenere le azioni indotte dal movimento franoso sulle fondazioni delle pile, limitandole a quelle derivanti dalla porzione di pendio che si trova subito a monte della spalla e lateralmente alle fondazioni delle pile, laddove non sono stati realizzati i setti irrigidenti.

Gli elementi costruttivi previsti per la protezione delle opere di fondazione del viadotto rispetto agli effetti del fenomeno di dissesto sono:

- Drenaggio profondo attraverso la realizzazione di **pali secanti in terreno granulare (a)** (diametro 0.8 m x 7m) approfonditi per circa 20 m dal piano di lavoro e collegati a **pozzi drenanti terminali (b)**;

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>21 di 72</b>

- archi di protezione delle pile costituiti da allineamenti di **setti irrigidenti SS (c)** formati da pali  $\phi 1500/1,8m$  accostati disposti lungo la direzione del versante e collegati alle **paratie di pali trasversali OS (d)** al versante  $\phi 1500/1,8m$  poste a protezione degli scavi.

La sistemazione definitiva del versante è realizzata con muri “verdi” tipo crib-wall utilizzati per mascherare le palificate e “ricucire” morfologicamente lo stesso, in modo del tutto analogo a quanto previsto nel PE approvato.

## 4.2 FASI COSTRUTTIVE

L'intervento è articolato per fasi costruttive, con una sequenza di cui occorre tenere conto al fine della corretta valutazione delle sollecitazioni sulle opere di presidio che devono esser realizzate e i riflessi sulla stabilità del pendio; di seguito una sintetica descrizione delle fasi, per dettagli si rimanda agli elaborati di cui al § 2.2.2.

1. Predisposizione del versante alla realizzazione delle opere di sostegno propedeutiche alla viabilità di cantiere mediante la realizzazione della pista di servizio e degli stradelli di accesso da cui realizzare le opere.
2. Realizzazione palificate manufatto di transizione tra la trincea TR04 e la spalla A del viadotto VI03.
3. Esecuzione opere di sostegno allineamenti OS1, OS3, OS4, OS5 e OS7 prevedendo opportuno scavo a vuoto, dove necessario, al fine di minimizzare gli sbancamenti provvisori lungo il tracciato.
4. Esecuzione pozzi di drenaggio con esclusione dello scarico di fondo a gravità per il convogliamento delle acque nell'Ufita.
5. Messa in esercizio sistema di drenaggio da pozzi mediante pompaggio provvisorio e del relativo monitoraggio idrogeologico e deformativo a completamento di quanto installato a monte.
6. Realizzazione scavi di sbancamento progressivi per raggiungere le quote di lavoro da cui realizzare i diaframmi di fondazione della spalla e delle pile e contestuale esecuzione dei setti di pali stabilizzanti sulle gradonature (SS-SPA, SS-P1 e SS-P2), laddove previsti.
7. Realizzazione opere di sostegno allineamenti OS2 e OS6.
8. Completamento delle file di pali disposti a pettine nelle piazzole di lavoro dei plinti delle pile e della spalla (SS-P1 e SS-P2 allineamenti OS-3 e OS-7)
9. Realizzazione di eventuali azioni correttive e integrazioni al sistema di drenaggio sulla base delle evidenze del monitoraggio idrogeologico e deformativo di versante.
10. Esecuzione diaframmi profondi di fondazione delle pile del viadotto (eventuali pali plasitici).
11. Completamento scarico di fondo pozzi.
12. Ultimazione opere di finitura superficiale (drenaggio superficiale e muri verdi tipo “crib-wall”
13. Smantellamento piste di cantiere e ultimazione viabilità di accesso ai pozzi per manutenzione lungo il versante.

APPALTATORE: Conorzio                      Soci HIRPINIA AV                  WEBUILD S.P.A.                  ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara                      Mandanti ROCKSOIL S.P.A.                  NET ENGINEERING S.P.A.                  ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 22 di 72

## 5 VERIFICHE GEOTECNICHE

### 5.1 SICUREZZA DELL'OPERA

#### 5.1.1 Quadro normativo

Il presente documento è redatto in conformità alle prescrizioni del **Decreto Ministeriale Infrastrutture del 14 gennaio 2008** "Approvazione delle Nuove Norma Tecniche per le Costruzioni), nel seguito indicato come **NTC2008**.

Le verifiche di sicurezza sono svolte secondo il metodo semi-probabilistico con l'applicazione di coefficienti di sicurezza parziali ad ogni singola causa di incertezza (sollecitazioni, materiali, resistenze, schemi di calcolo etc...), proporzionati all'influenza ed al grado di incertezza di norma attribuibili al parametro considerato.

I dimensionamenti delle opere tengono conto dei possibili Stati Limite Ultimi (**SLU**) per le condizioni statiche e dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (**SLV**) per le condizioni sismiche.

#### VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU E SLV)

Per ogni stato limite ultimo è stato verificato il rispetto della condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore della azione (o dell'effetto dell'azione) e  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Gli effetti delle azioni di progetto possono essere calcolati applicando il coefficiente di sicurezza parziale direttamente sulle azioni o sull'effetto finale:

$$E_d = E(\gamma F F_k, X_k / \gamma_M, a_d),$$

$$E_d = \gamma_E E(F_k, X_k / \gamma_M, a_d).$$

$E_d$	effetti delle azioni di progetto, azioni di progetto
$F_k$	azioni di progetto caratteristiche
$X_k$	parametri caratteristici dei materiali (parametri caratteristici dei terreni)
$a_d$	geometria di progetto
$\gamma_F$	coefficienti parziali per le azioni
$\gamma_E$	coefficienti parziali per gli effetti delle azioni
$\gamma_M$	coefficiente parziali per i materiali

Le NTC2008 forniscono un solo gruppo di valori numerici, valido sia per  $\gamma_F$  che per  $\gamma_E$ .

Le azioni di progetto,  $E_d$ , possono essere calcolate in modi distinti che si differenziano per come agisce il coefficiente di sicurezza parziale: sulle azioni, sull'effetto delle azioni o su entrambe.

L'entità delle azioni influenza anche i valori delle resistenze geotecniche di progetto, per le quali la fattorizzazione può avvenire, a sua volta, agendo sui parametri del terreno, sulle resistenze calcolate o su entrambe.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>23 di 72</b>

Le resistenze  $R_d$ , possono essere calcolate in modi distinti che si differenziano per come agisce il coefficiente di sicurezza parziale: sulle azioni, sull'effetto delle azioni o su entrambe. L'entità delle azioni influenza infatti anche i valori delle resistenze geotecniche:

$$R_d = R(\gamma_F F_k, X_k / \gamma_M, a_d) / \gamma_R$$

$R_d$	resistenza di progetto
$F_k$	azioni di progetto caratteristiche
$X_k$	parametri caratteristici dei materiali (parametri caratteristici dei terreni)
$a_d$	geometria di progetto
$\gamma_F$	coefficienti parziali per le azioni
$\gamma_M$	coefficienti parziali per i materiali (parametri geotecnici dei terreni)
$\gamma_R$	coefficienti parziali per le resistenze

Le NTC2008 hanno definito uno specifico approccio progettuale per ogni opera o verifica geotecnica tra i due possibili approcci (Approccio 1 e Approccio 2) che sono stati recepiti in Italia dall'Eurocodice 7. Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti, ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto. Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti. Per ciascuna combinazione prevista i coefficienti parziali definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3) sono indicati nelle successive tabelle.

Inoltre, i carichi variabili vengono combinati utilizzando il coefficiente di combinazione indicato al §2.5.2 delle NTC2008.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 24 di 72

Figura 5.1. Coefficienti parziali sulle azioni caratteristiche (o sull'effetto delle azioni caratteristiche):  $\gamma_F$  (o  $\gamma_E$ ).

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale	A1	A2
Permanenti	Sfav.	$\gamma_{G1}$	1.3	1.0
	Fav.	$\gamma_{G1}$	1.0	1.0
Permanenti non strutturali	Sfav.	$\gamma_{G2}$	1.5	1.3
	Fav.	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8
Variabili	Sfav.	$\gamma_{Qi}$	1.5	1.3
	Fav.	$\gamma_{Qi}$	0	0

Figura 5.2. Coefficienti parziali sui parametri caratteristici del terreno:  $\gamma_M$

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coeff. parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	M1	M2
Tangente della resistenza a taglio	$\phi'$	$\gamma_{\phi'}$	1	1.25
Coesione efficace	$c'$	$\gamma_{c'}$	1	1.25
Resistenza non drenata	$c_u$	$\gamma_{c_u}$	1	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1	1

Figura 5.3. Coefficiente parziale  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi delle opere in materiali sciolti e fronti di scavo

Resistenza	Simbolo	R2
	$\gamma_R$	1.1

Figura 5.4. Coefficiente parziale  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

Resistenza	Simbolo	R3
	$\gamma_T$	1.3

Figura 5.5. Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

### 5.1.2 Approcci e combinazioni utilizzate

Nel presente progetto si sono utilizzati:

- per la verifica delle opere di sostegno degli sbancamenti in fase esecutiva (**palificate trasversali OS**): Approccio 1 con le due combinazioni: A1+M1+R1 e A2+M2+R1;

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>25 di 72</b>

- per la verifica della stabilità globale del pendio naturale le indicazioni di cui al capitolo 6.3 e 7.11.3.5 delle NTC.
- In particolare, per le **palificate trasversali**, le verifiche in condizioni temporanee rispetto all'escavo dei piazzali e delle strade di cantiere e al relativo transito dei mezzi vengono eseguite secondo l'approccio a) mentre nel lungo termine, quegli stessi elementi diventano interventi di stabilizzazione rispetto alla superficie di scorrimento e per la loro verifica si fa riferimento al capitolo 6.3.5 relativo al dimensionamento degli interventi di stabilizzazione.
- Le **verifiche in condizioni sismiche del pendio** sono state sviluppate con il **metodo degli spostamenti** facendo riferimento ad un meccanismo di collasso che si innesca lungo la superficie di scorrimento preesistente.
- Le **sollecitazioni in condizioni sismiche dei pozzi di fondazione delle pile** sono state determinate applicando il carico dovuto all'inerzia in maniera pseudostatica e impedendo al terreno di fondazione di plasticizzare fino al raggiungimento dell'accelerazione di progetto.

### 5.1.3 Determinazione dell'accelerazione critica e degli spostamenti plastici

In linea con le tendenze più recenti, che privilegiano nella progettazione ingegneristica l'impiego di metodi di tipo prestazionale, le **verifiche in condizioni sismiche del pendio** sono state sviluppate adottando come indice di prestazione lo spostamento permanente indotto dal sisma, valutato attraverso il metodo degli spostamenti.

Tale scelta è risultata opportuna in quanto - come indicato nel documento di sintesi dei criteri di progettazione condiviso con ITF - tra gli elementi di valutazione della efficacia dei sistemi di stabilizzazione proposti, vi è anche quello di verificare che il coefficiente di riduzione dell'azione sismica adottato nelle di stabilità del pendio sia effettivamente compatibile con il requisito di sostanziale indeformabilità delle fondazioni profonde del viadotto.

La teoria del blocco rigido, sulla quale si basano i metodi degli spostamenti, è stata introdotta da Newmark nella metà degli anni '60 [NEWMARK,1965] per lo studio della stabilità in condizioni sismiche di dighe in terra e rilevati arginali; successivamente, numerosi altri autori ne hanno esteso l'applicazione a differenti problemi di natura geotecnica, che includono analisi di stabilità di pendii e rilevati.

Nel metodo di Newmak il pendio è assimilato ad un blocco rigido che scorre su un piano orizzontale ogni qual volta si verifica che l'accelerazione sismica supera l'accelerazione critica  $a_{crit}$ , vale a dire l'accelerazione che determina il raggiungimento di un coefficiente di sicurezza unitario.

Gli spostamenti cumulati si calcolano tramite doppia integrazione rispetto al tempo dell'accelerazione relativa fra blocco e piano di scivolamento. Ogni intervallo di integrazione parte dall'istante di tempo in cui l'accelerazione supera la soglia, cioè l'accelerazione critica, e termina quando la velocità relativa tra piano di scivolamento e blocco diventa pari a zero, annullandosi. Lo spostamento è determinato mediante doppia integrazione.

La relazione adottata per valutare gli spostamenti plastici permanenti è quella proposta da Gaudio, D., Rauseo, R., Masini, L., and Rampello, S. (Seismic performance of slopes from an updated version of the Italian seismic database. Bulletin of Earthquake Engineering. 2020) basata sull'integrazione parametrica di una versione aggiornata del database sismico italiano che include gli eventi sismici registrati sul territorio italiano nell'arco temporale 1972–2017, includendo quindi i terremoti distruttivi dell'Aquila del 2009, dell'Emilia del 2012 e del Centro Italia del 2016.

Le curve upper-bound (94° percentile) per ciascun gruppo di terreno sono illustrate in figura seguente per una PGA confrontabile con quella di progetto; il rapporto fra coefficiente sismico di snervamento  $k_y = \frac{a_{crit}}{a}$  e di progetto

$k_{max} = \frac{a_{max}}{a}$  corrisponde al coefficiente  $\beta$ , indicato in NTC 2008, di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>								
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>26 di 72</b>

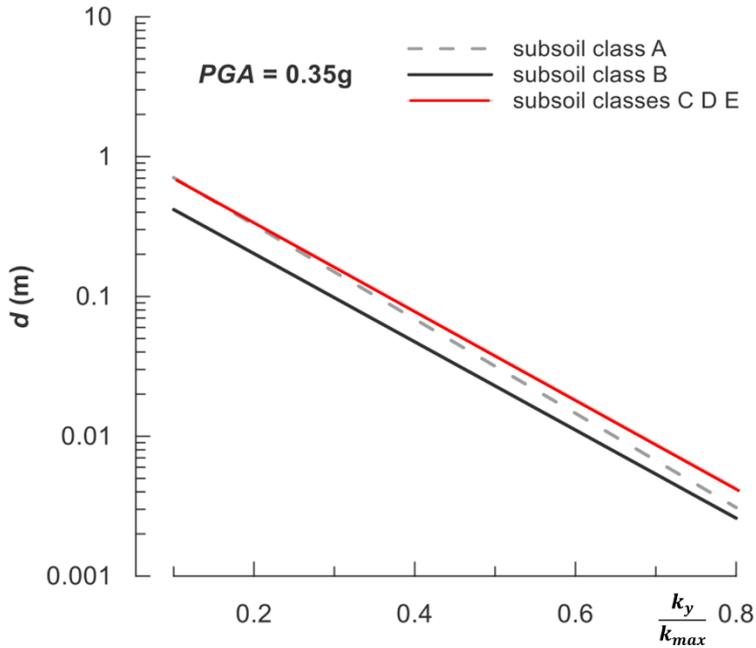


Figura 5.6- Curve upper bound di spostamento plastico in condizioni sismiche. In rosso quella relativa alla classe di suolo C (da Gaudio et al. 2020)

La relazione fra il coefficiente  $\beta$  e lo spostamento  $d$  (in m) per le classi di terreno C, D ed E è dato dalla relazione:

$$\beta = -\frac{\ln \frac{d_y}{B_1}}{A}$$

A coefficienti A e B per il calcolo dello spostamento  $d$  (94° percentile) forniti da Gaudio et al. (2020) sono riportati in tabella seguente. Fra parentesi sono riportati per confronto i medesimi coefficienti proposti da Rampello et al. (2010)

Subsoil	Classes C D E ( <i>soft</i> )			
	A	$B_1$ (m)	$\sigma$ (m)	$R^2$
0.35	7.30 (7.40)	1.47 (0.75)	1.07	0.68
0.25	7.31 (7.54)	0.86 (0.78)	1.04	0.70
0.15	7.38 (8.05)	0.51 (1.16)	1.07	0.69
0.05	7.47 (8.07)	0.20 (0.59)	1.15	0.66

Si noti che, per il sito in esame - con riferimento alla accelerazione massima indicata al successivo paragrafo 6.3, il coefficiente  $\beta$  suggerito dalle NTC 2008, sarebbe pari a 0.28, valore che corrisponde ad uno spostamento plastico atteso di circa 10 cm. Nella impostazione del progetto si è ricercata una configurazione di opere di stabilizzazione tale da garantire spostamenti plastici in corrispondenza del pendio stabilizzato - ed in particolare nella fascia interessata del viadotto - tale da minimizzare detti spostamenti. In tal modo è possibile da evitare che sulle fondazioni delle pile possano accumularsi spostamenti rilevanti e quindi azioni di notevole intensità, come meglio descritto nei successivi paragrafi.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>27 di 72</b>

## 6 CARICHI E AZIONI

### 6.1 CARICHI VARIABILI

Sul piano campagna per una larghezza pari a 5.0 m è stato considerato il carico accidentale  $Q_k = 20$  kPa rappresentativo dei mezzi di cantiere che possono circolare nei pressi delle opere provvisorie durante i lavori.

### 6.2 AZIONI DELLE COLTRI INSTABILI

Come sarà mostrato nelle analisi successive, una volta realizzati tutti gli interventi si osserva un incremento dei fattori di sicurezza del pendio, per cui si assume che gli interventi a lungo termine (opere di sostegno, pozzi di fondazione e trincee drenanti) non possano più, in condizioni statiche, essere oggetto di spostamenti a causa dell'evoluzione del movimento franoso. Tale condizione non si verifica, localmente, per la porzione di terreno al piede del movimento che rimane invariato nelle condizioni attuali.

Le verifiche in condizioni sismiche sono state sviluppate con il metodo degli spostamenti facendo riferimento ad un meccanismo di collasso che si innesca lungo la superficie di scorrimento preesistente.

I meccanismi locali che si sviluppano in condizioni sismiche al piede del versante o nelle regioni poste a monte dell'area di studio che sono oggetto di altri interventi di stabilizzazione vengono esclusi dalle analisi impedendo in quei cluster la possibilità di sviluppo di fenomeni plastici (cluster elastico).

Per valutare la spinta massima sui pozzi in condizioni sismiche le analisi in condizioni sismiche della frana vengono spinte fino alla massima accelerazione di progetto escludendo la plasticizzazione dei pozzi stessi e dei terreni che si trovano al di sotto della superficie di scorrimento.

Gli spostamenti delle masse instabili e gli effetti di interazione con le opere di sostegno sono illustrati nel successivo capitolo, relativo alla modellazione numerica degli interventi stessi.

### 6.3 AZIONE SISMICA IN CONFIGURAZIONE PROVVISORIA DI SCAVO E DEFINITIVA

#### 6.3.1 Definizione dei valori di accelerazione massima attesi nel sito

Nelle fasi di scavo transitorie, la cui durata è inferiore a 2 anni (vedasi paragrafo 2.4.1 delle NTC2008) le verifiche sismiche sono omesse.

Nelle fasi definitive è prevista l'applicazione dell'accelerazione pseudostatica all'intero versante, utilizzando l'approccio indicato dalle NTC 2008.

Per Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) si intende che l'opera a seguito del terremoto subisce rotture e crolli delle componenti non strutturali e impiantistiche e significativi danni di componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali (creazione di cerniere plastiche secondo il criterio della gerarchia delle resistenze), mantenendo ancora un margine di sicurezza (resistenza e rigidità) nei confronti delle azioni verticali.

La vita nominale ( $V_N$ ) dell'opera è stata assunta pari a 75 anni, la classe d'uso assunta è la III, il periodo di riferimento ( $V_R$ ) per l'azione sismica, data la vita nominale e la classe d'uso, vale quindi:

$$V_R = V_N C_u = 112,5 \text{ anni.}$$

Il valore di probabilità di superamento del periodo di riferimento  $PVR$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, è  $PVR(SLV) = 10\%$ .

Il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$  espresso in anni vale:

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>28 di 72</b>

$$T_R(SLV) = -\frac{V_r}{\ln(1 - P_{vr})} = 1068 \text{ anni}$$

Allo stato limite ultimo SLV, in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame, si ha un valore dell'accelerazione massima al sito  $a_g = 0,381 \text{ g}$ .

Solo per il calcolo delle sollecitazioni agenti sulla pila 2 del viadotto si è fatto riferimento ad una vita nominale  $VN=100$  anni, con le modalità meglio esplicitate nella relazione di calcolo IF28.0.1.V.ZZ.CL.VI.03.0.3.283.A a cui si rimanda per dettagli.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, è necessario determinare la categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche dell'area in esame. Sulla base dei depositi presenti in sito, si assume una categoria di sottosuolo di tipo C, "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_s,30$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s, corrispondente a ( $15 < NSPT,30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu,30 < 250 \text{ kPa}$  nei terreni a grana fina").

Dal punto di vista geomorfologico le aree oggetto degli interventi sono a debole pendenza (20% max come già indicato); pertanto rientrano nella classe T1, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $\leq 15^\circ$ ". L'accelerazione massima attesa al suolo per le verifiche allo stato limite ultimo risulta pertanto:

$$a_{g,max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_I \cdot a_g = 1,179 \cdot 1,0 \cdot 0,380 = 0,448 \text{ g. (SLV)}$$

dove  $S$  è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ).

Quando si utilizzano metodi di analisi di tipo pseudostatico il campo di accelerazione interno al pendio è assunto uniforme e le componenti orizzontale e verticale dell'accelerazione vengono applicate al baricentro della massa in frana. Su frane di elevato spessore ( $h > 6\text{m}$ ) i coefficienti sismici devono essere valutati in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume significativo.

Trattandosi dell'analisi di un versante lungo circa 200-300m, in condizioni prossime all'equilibrio limite e con una superficie di scorrimento posta a circa 20m da p.c. è lecito ipotizzare una marcata non contemporaneità dell'azione sismica all'interno del corpo di frana.

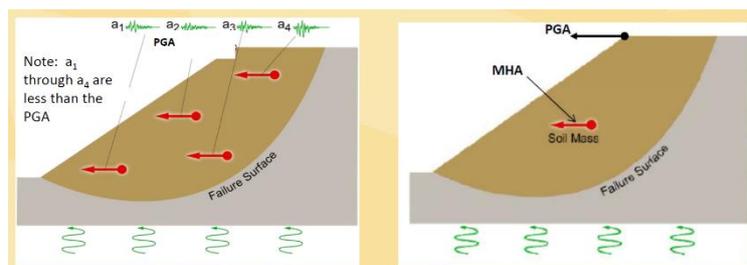


Figura 6.1 – Non contemporaneità dell'azione sismica per spessori di

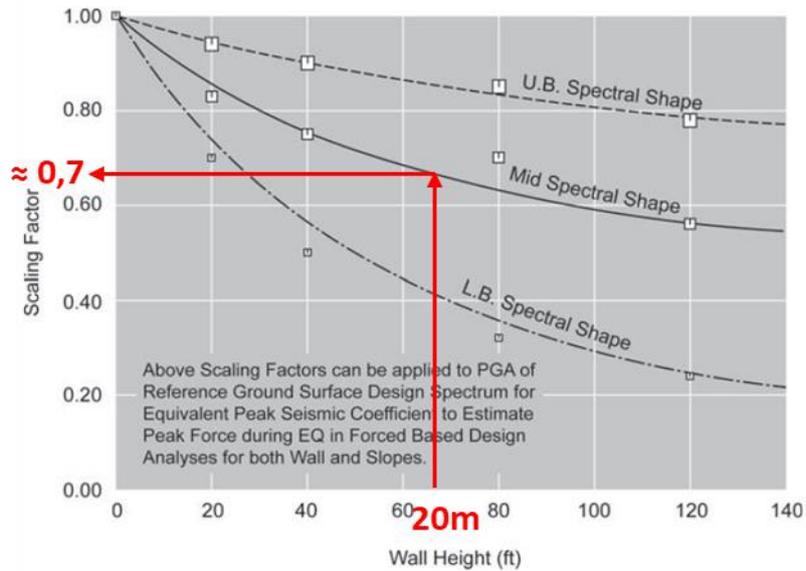
Per tenere conto di tale fenomeno il coefficiente sismico orizzontale in condizioni di campo libero deve essere opportunamente ridotto.

L'NCHRP7, sulla base di una serie di analisi di wave scattering basate su tre serie di time histories cronologiche per differenti forme spettrali (limite inferiore, medio e superiore), indica i fattori di riduzione che possono essere applicati al picco di accelerazione al suolo per pendii caratterizzati da altezze superiori a 6m.

<sup>7</sup> NCHRP 12-70 / FHWA (2011)

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>29 di 72</b>

*Il coefficiente di riduzione del coefficiente sismico riferito a forme spettrali medie è circa 0,7 che è confrontabile con il coefficiente di deformabilità  $\alpha$  da applicare nel caso delle paratie per la classe di terreno C su altezze simili.*



L'accelerazione di progetto per le verifiche di stabilità sarà dunque:

- SLV:                       $k_h = 0,7 \cdot (a_{max}/g) = 0,7 \cdot 0,448 = 0,313$   
                                  $k_v = \pm 0,5 \cdot k_h = \pm 0,5 \cdot 0,313 = \pm 0,1565$

Dunque, per le verifiche delle opere allo SLV si assumono i valori dei coefficienti sismici  $k_h$  e  $k_v$  i valori 0,313 e  $\pm 0,1565$ , rispettivamente.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 30 di 72

## 7 ANALISI NUMERICHE DELLE OPERE IN PROGETTO

Nel caso in esame, tutte le analisi in condizioni statiche (Stato Limite Ultimo e Stato Limite di Servizio) e sismiche (effettuate utilizzando il metodo pseudostatico) sono state condotte con l'impiego di un software dedicato alla risoluzione di problemi di tipo geotecnico, **Plaxis 2D**.

Il codice di calcolo **Plaxis 2D** utilizza il metodo degli elementi finiti (F.E.M.); si basa su una discretizzazione del mezzo (definizione della mesh) con l'ipotesi che gli elementi si scambino le azioni solo attraverso i punti nodali; in tali punti nel rispetto dell'equilibrio e della congruenza, attraverso la definizione dei legami costitutivi, si ottengono delle equazioni le cui soluzioni determinano gli spostamenti nodali. Una volta noti gli spostamenti ai nodi attraverso la definizione delle cosiddette funzioni di forma si ottengono le deformazioni e quindi gli spostamenti di tutti i punti costituenti l'elemento, dai quali, passando di nuovo per i legami costitutivi, si può risalire allo stato tensionale.

Le principali proprietà del programma sono:

Automatic mesh generation: per la definizione della mesh Plaxis utilizza elementi triangolari che vengono generati in maniera completamente automatica, con la possibilità di raffittire gli stessi in corrispondenza di punti di interesse;

Interfaces: sono utilizzate per simulare l'interazione tra le strutture e il terreno; è quindi possibile definire per uno strato sottile a contatto con la struttura dei valori di attrito e adesione che non sono necessariamente gli stessi del terreno circostante;

Advanced soil model, è possibile utilizzare per il terreno modelli più avanzati rispetto a quello di Mohr-Coulomb;

Staged construction: è possibile simulare processi di costruzione e di scavo per fasi successive permettendo quindi una valutazione più realistica dello stato tensionale iniziale e della sua variazione al progredire dell'intervento.

Phi-c reduction: per la valutazione delle condizioni di stabilità globale sono state condotte analisi tipo phi-c reduction. Con tale analisi vengono ridotte progressivamente le caratteristiche di resistenza del terreno ( $\tan \phi'$  e  $c'$ ) fino al completo sviluppo del meccanismo di rottura.

Il fattore di riduzione così definito:

$$SF = \frac{\text{resistenza disponibile}}{\text{resistenza a rottura}} = \frac{\tan \phi'_{input}}{\tan \phi'_{reduced}} = \frac{c'_{input}}{c'_{reduced}}$$

può essere inteso come il margine di sicurezza rispetto ad un fenomeno di instabilità globale.

Il pedice **input** si riferisce alla caratteristica di resistenza adottata per l'analisi in esame, mentre il pedice **reduced** si riferisce alla caratteristica di resistenza per la quale si sviluppa il primo cinematisma di rottura.

Se l'analisi Phi-c reduction viene lanciata a valle di una fase SLE (con parametri caratteristici) il valore di SF può essere assimilato ad un coefficiente di sicurezza globale; se viene lanciata a valle di uno SLU (con parametri ridotti), SF può essere assimilato al margine di sicurezza sulle resistenze:  $\gamma_R$ .

Secondo quanto imposto dalle NT20018 deve essere verificata la seguente disuguaglianza:

$$E_d \leq R_d$$

e quindi anche

$$E_d \leq \frac{R(\gamma_{M2})}{\gamma_{R2}}$$

dove  $E_d$  è il valore della azione (o dell'effetto dell'azione) di progetto e  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico, che può essere valutato come rapporto tra la resistenza calcolata con i parametri ridotti del terreno,  $R(\gamma_{M2})$  e il fattore parziale  $\gamma_{R2} = 1,1$  per le verifiche in condizioni statiche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>31 di 72</b>

Il software utilizzato è stato validato. Per i terreni presenti si è utilizzato un modello elasto-plastico perfetto con criterio di resistenza di rottura alla Mohr – Coulomb.

La distribuzione delle pressioni nel volume di terreno analizzato viene generata in condizioni di flusso stazionario (Steady State) imponendo delle specifiche condizioni al contorno di partenza.

### 7.1 MODELLO GEOMETRICO E SEZIONI DI ANALISI DEL CORPO DI FRANA

L'area del viadotto è perimetrata sul lato sud da un evidente fenomeno di dissesto attivo, già noto in fase di PE, caratterizzato, sulla base delle prove penetrometriche DPSH di PD (cfr. NA\_15) da una profondità di scorrimento di circa 10 m. Verso Nord l'area è interessata dal meccanismo profondo illustrato precedentemente che presenta una superficie di scorrimento a circa 20÷25m da p.c e che interferisce direttamente con il viadotto.

Gli interventi previsti consentono di conseguire le condizioni di stabilità in condizioni statiche per tutta l'area interessata dalle opere di sostegno necessarie alla realizzazione dei pozzi di fondazione delle pile e della spalla del viadotto. In condizioni sismiche, il volume di terreno in asse al viadotto, consolidato dagli archi di protezione (c+d), subirà spostamenti plastici permanenti certamente inferiori rispetto alle zone esterne determinando una interazione fra le due aree come visualizzato in Figura 7.1.

Queste sollecitazioni vengono prese in carico dai setti perimetrali che hanno appunto la funzione di assorbire le sollecitazioni di trascinamento determinate sul volume di terreno più stabile in asse viadotto, rappresentato in figura dalla sezione A-A', dal terreno presente esternamente ad esso, rappresentato dalla sezione C-C'. La determinazione delle sollecitazioni derivanti da tale interazione è presentata al capitolo 11 (Allegato 2).

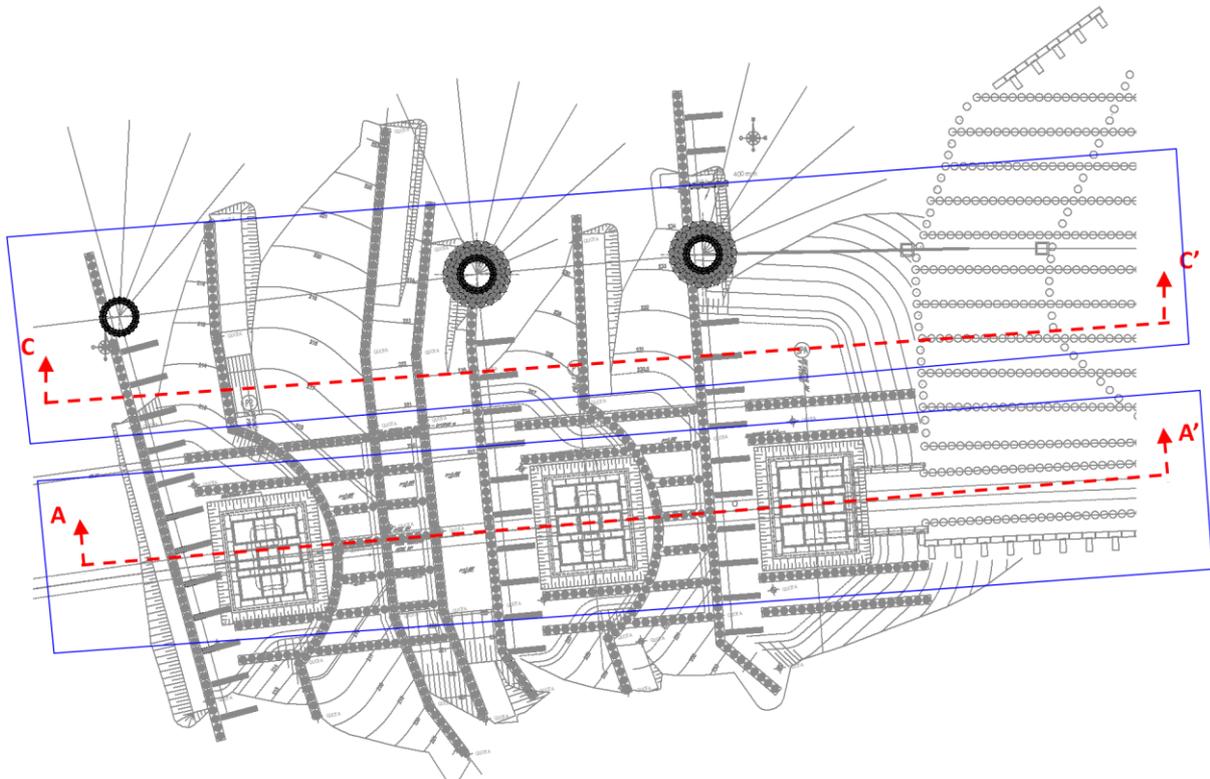


Figura 7.1 – Aree di versante analizzate e ubicazione delle sezioni di analisi

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 32 di 72

Per l'analisi del problema e il dimensionamento delle opere di stabilizzazione si sono individuate 2 sezioni di calcolo principali:

- A-A'. Sezione posta in asse al tracciato che consente di analizzare il versante fino a monte dell'imbocco della GI04 tenendo conto di tutte le fasi esecutive necessarie per la realizzazione delle opere. La sezione è rappresentativa della zona presidiata dai setti di irrigidimento e dalle paratie trasversali, in questo modo, è possibile tenere conto della mutua interazione di tutte le opere di sostegno e scavo sull'interno versante, senza limitarsi a porzioni specifiche indipendenti una dall'altra. Le sezioni sono utilizzate anche per svolgere delle analisi di stabilità ante-operam e post-operam, come descritto nel seguito;
- C-C'. Sezione parallela al tracciato sul lato nord, compresa fra l'allineamento di setti irrigidenti esterni alla pila e i pozzi drenanti.

L'ubicazione di ciascuna delle due sezioni è illustrata in figura seguente.

### 7.1.1 Sezione A-A'

Il modello di analisi riferito alla sezione A-A' è duplice:

- un **modello "esteso"**, che considera l'intero versante di cui vengono analizzate le condizioni di stabilità ante-operam e nel corso delle principali lavorazioni necessarie a predisporre i piazzali per la realizzazione delle fondazioni a pozzo;

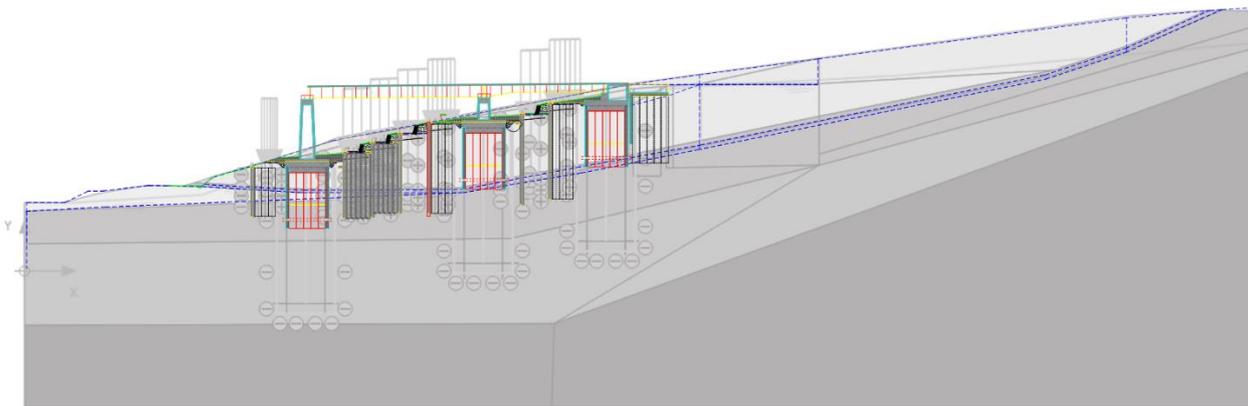


Figura 7.2 Modello A-A' per la verifica delle condizioni ante - operam

- un modello "locale" in cui l'interazione fra le opere del viadotto e il movimento franoso è stata analizzata tenendo conto che l'area potenzialmente instabile è delimitata a monte dalla presenza degli allineamenti di diaframmi che sostengono il piazzale RI57. Il modello si estende in profondità fino al di sotto delle fondazioni a pozzo (L=50m).

A monte di Spalla 1 viene riprodotto il volume del piazzale RI57 per tenere in conto il contributo dei fenomeni di interazione con tale zona che è comunque stabilizzata. La mesh termina verso monte con una zona di transizione a p.c. orizzontale volta ad evitare i fenomeni di interferenza con il bordo.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>33 di 72</b>

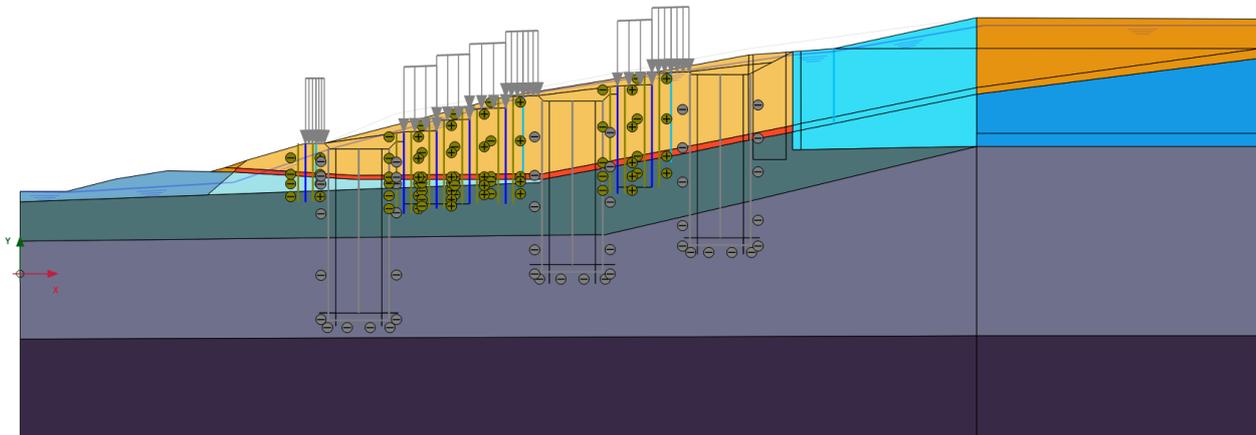


**Figura 7.3 - Modello A-A' per la verifica delle fasi costruttive e post-operam**

Le opere a presidio del piazzale sono costituite, lato monte e lato valle, da setti di pali accostati  $\phi 1500/1,8m$  collegati in sommità da un cordolo e progettati per resistere interamente alle spinte esercitate dalle masse instabili, nell'ipotesi che il terreno a valle non fornisca alcun contrasto; esse, quindi, rappresentano elementi fissi per la verifica del Versante Est e, come tali, sono oggetto di specifica verifica (cfr. doc. IF28.0.1.V.ZZ.CL.RI.57.0.0.001.A).

### 7.1.2 Sezione C-C'

Il modello di analisi riferito alla sezione C-C' coincide con quello A-A' a meno della presenza delle pile e dei setti di irrigidimento:



**Figura 7.4 - Modello C-C' per la verifica delle fasi costruttive e post-operam**

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 34 di 72

## 7.2 PARAMETRI GEOTECNICI

Per i terreni presenti nel volume significativo dell'opera sono stati adottati i parametri geotecnici indicati nella seguente tabella.

Le ipotesi alla base dei parametri assegnati ai materiali "Fondazioni" e "Setti equivalenti" sono illustrate al paragrafo 7.1.

Param.	U.M.	Alluvioni 10 <sup>-6</sup> m/s	Fondazioni	Setti stabilizzanti (SS) equivalenti	Superficie di scorrimento	UG1	UG2	UG2_120
		Alluvioni 10 <sup>-5</sup> m/s	Fondazioni EL			UG1_EL	UG2 EL	UG2_120 EL
Model.	[-]	MC	MC	MC	MC	MC/EL <sup>8</sup>	MC	MC/EL
$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19,00	21,00	19,50	18,50	19,50	21,00	21,00
$k^9$	[m/s]	1x10 <sup>-6</sup> /10 <sup>-4</sup>		1x 10 <sup>-7</sup>	1x 10 <sup>-7</sup>	1x 10 <sup>-7</sup>	1x 10 <sup>-7</sup>	1x 10 <sup>-7</sup>
$E_{50}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	60.000	145.000	136.000	20.000	20.000	80.000	120.000
$\nu$	-	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
$c'_k$	[kPa]	0	165	122	0	14	35	48
$\varphi'_k$	[°]	38	28	14	14	26	28	28
$\frac{c'_k}{\gamma_{M(A2)}}$	[kPa]	0	-	-	-	11,2	25	-
$\frac{\varphi'_k}{\gamma_{M(A2)}}$	[°]	32	-	-	-	21	23	-
MC:	Mohr-Coulomb							
EL:	Elastico							
$\gamma$ :	Peso di volume							
$E_{50}$ :	modulo elastico alla deformazione corrispondente al 50% del carico di rottura							
$k$ :	coefficiente di permeabilità							
$\nu$ :	coefficiente di Poisson							
$c'$ ; $\varphi'$ :	parametri di resistenza							

Alla superficie di scorrimento sono state assegnate le medesime caratteristiche fisiche e deformative dell'unità UG1, ma adottando l'involuppo di resistenza in condizioni residue ( $\varphi'_{res}=14^\circ$ ).

<sup>8</sup> In alcune fasi, ad elementi della mesh che, in virtù della geometria locale, determinano fenomeni di plasticizzazione secondari oppure ai cluster di contorno, viene assegnato un comportamento elastico in modo da permettere lo sviluppo del SF alla scala del cinematisimo oggetto di studio.

<sup>9</sup> Il valore di permeabilità del livello drenante è differenziato in accordo a quanto illustrato al paragrafo 7.4

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>35 di 72</b>

Le paratie trasversali di pali  $\phi 1500/1.8\text{m}$  propedeutiche alla realizzazione dei piazzali dei pozzi di fondazione sono modellate mediante elementi strutturali tipo piastra (plate) sono stati inseriti nel modello con le seguenti caratteristiche di rigidezza e di resistenza:

### ELEMENTI STRUTTURALI - PLATE

No.	Type	Identification	EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]	$M_{yl}^{10}$ [kNm/m]	v [-]
1	Elasto plastico	Pali 1500/1800	24.543.693	3.451.457	$6000/1,8 = 3333$	0,20

### 7.1 CARATTERISTICHE MECCANICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Le caratteristiche di rigidezza da attribuire nelle analisi al pozzo di fondazione e ai setti di consolidamento sono state definite considerando cautelativamente la somma delle rigidezze dei singoli diaframmi che costituiscono il pozzo, su un volume di terreno esteso, in senso trasversale prendendo a riferimento una striscia di, per circa 36m secondo lo schema di Figura 7.5.

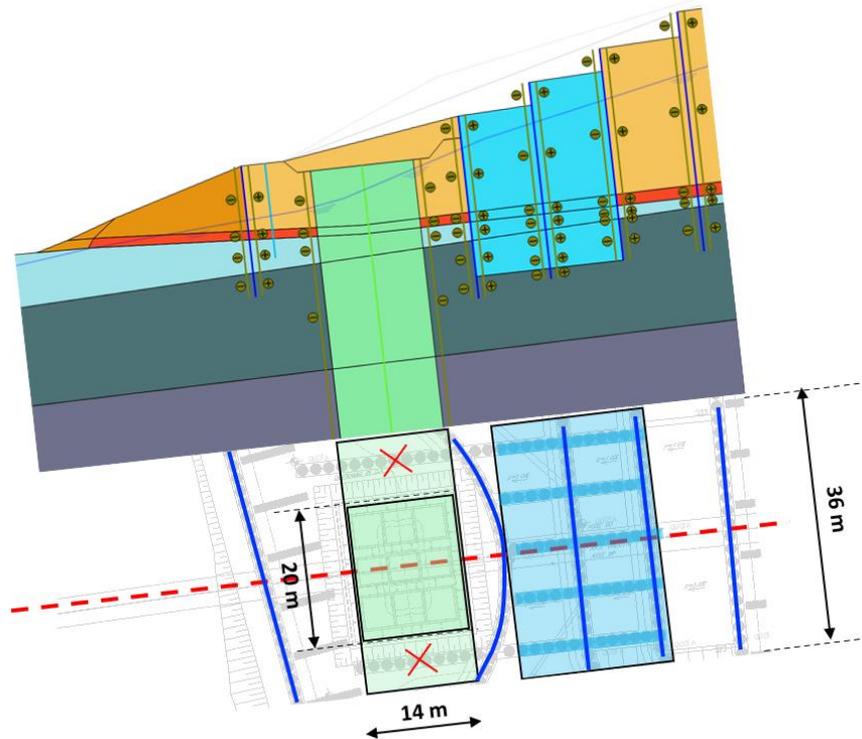


Figura 7.5 – Volume di influenza considerato per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e rigidezza della sezione A-A' in corrispondenza dei pozzi e dei setti irrigidenti con indicazione delle paratie trasversali di pali  $\phi 1500/1.8\text{m}$

APPALTATORE: Conorzio Soci <b>HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 36 di 72

### 7.1.1 Rigidezza a taglio e resistenza operative delle fondazioni a pozzo

Le caratteristiche di rigidezza da attribuire al pozzo di fondazione sono state definite considerando cautelativamente la somma delle rigidezze del pozzo e del volume di terreno esteso, in senso trasversale, per circa 36 m e in senso longitudinale L=14 m (**area in verde in pianta** di Figura 7.5. L'assunzione è a carattere di sicurezza in quanto i setti stabilizzanti SS a fianco della pila sono trascurati nella definizione delle rigidezze e delle resistenze.

Tale larghezza è contenuta all'interno dei setti irrigidenti e rappresenta il volume di terreno potenzialmente interagente con il pozzo.

Il modulo di Young equivalente assegnato al pozzo ed al terreno circostante è stato stimato tenendo conto delle rigidezze flessionali dei due elementi secondo la formula seguente:

$$E'_{eq} = \frac{E_{pozzo\ eq} \cdot J_{pozzo\ eq} + J_{terreno-pozzo} \cdot E_{terreno}}{J_{terreno}}$$

Il valore di  $(E_{pozzo\ eq} \cdot J_{pozzo\ eq})$  è stato valutato facendo riferimento alla parte iniziale della curva "push over" di cui alla relazione di calcolo delle pile di fondazione. L'analisi è stata svolta con il software Pozzi-J.

La curva si presenta non lineare in virtù della plasticizzazione progressiva del terreno prodotta dalla rotazione del pozzo; si fa notare come, dal punto di vista geotecnico non è presente una vera e propria soglia di resistenza limite pertanto come valore di resistenza operativa a cui associare la rigidezza dell'elemento pozzo è stato individuato quel valore di forza di taglio che produce uno spostamento orizzontale in testa dell'ordine dei 5cm.

Lo schema statico di riferimento è quello della trave a mensola illustrato in Figura 7.6 per cui vale la seguente relazione:

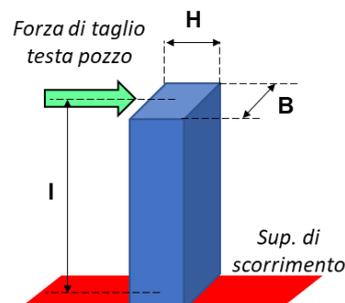
$$f = \frac{P \cdot l^3}{3 \cdot E_{pozzo\ eq} \cdot J_{pozzo\ eq}}$$

Poiché

$$J_{pozzo\ eq} = \frac{B \cdot H^3}{12}$$

con riferimento al solo pozzo di dimensioni B x H = 20m x 14m ed una lunghezza l = 20m si avrà che:

l	20	m
H	14	m
B	20	m
P	75000	kN
J <sub>pozzo eq</sub>	4573	m <sup>4</sup>
f	0,05	m
E <sub>pozzo eq</sub>	874.636	kPa



Adottando per il terreno un modulo E' pari a 20MPa, cautelativo in base alla variabilità del parametro per l'unità geotecnica UG1 (cfr. quadro sinottico di Figura 3.9), si avrà un modulo equivalente E'<sub>eq</sub> del cluster riferito al pozzo di fondazione pari a circa 500 MPa.

APPALTATORE: Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	IF28	01	V ZZ CL	VI0302 281	B	37 di 72

Larghezza cluster	36	m
B	20	m
H	14	m
J terreno-pozzo	3659	m <sup>4</sup>
E terreno	20.000	kPa
E' <sub>eq</sub>	494.798	kPa

Per individuare una soglia plastica da utilizzare nelle analisi si fa riferimento alla resistenza offerta dal pozzo a fronte di uno spostamento in testa di circa 7 cm; tale valore corrisponde allo spostamento plastico atteso, valutato mediante il metodo degli spostamenti di Newmark (cfr. §5.1.3), per il pendio (sez. C-C') in SLV nella condizione di efficienza del sistema di drenaggio. I risultati dell'analisi a cui si fa riferimento sono presentati al successivo capitolo 8.3 (sezione C-C' permanente, ID=T) dove si può osservare che gli spostamenti plastici SLV in corrispondenza della pila risultano, in qualsiasi condizione, inferiori al cm e dunque in campo elastico.

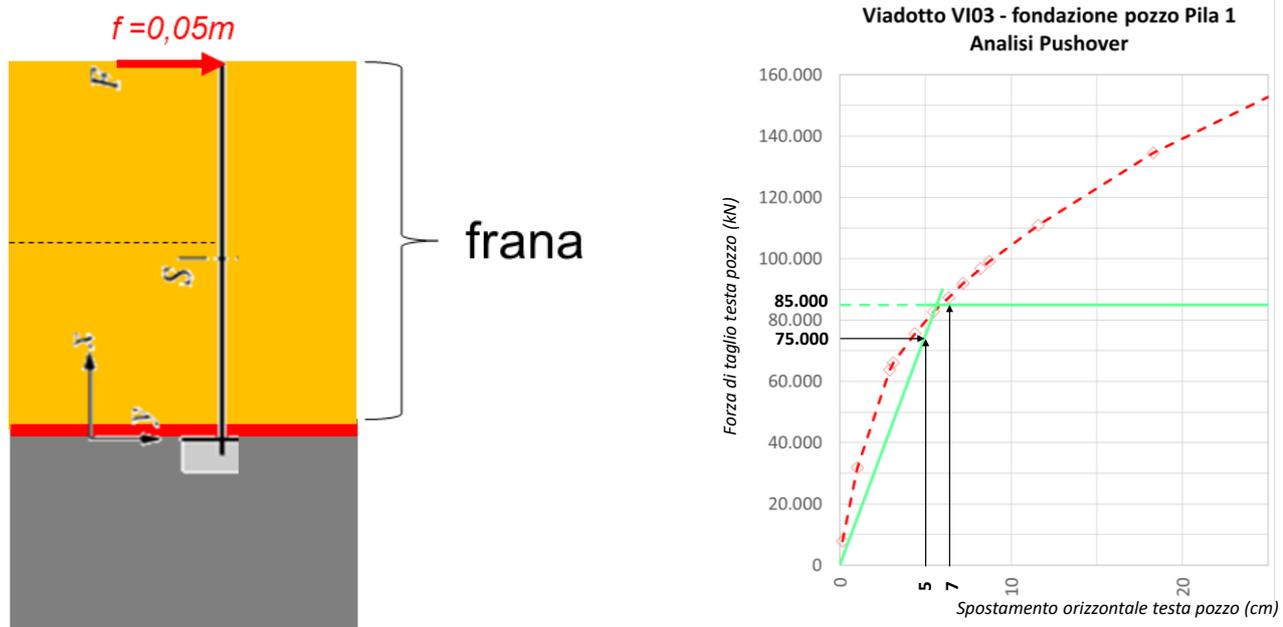


Figura 7.6 – Schema statico e curva *forza unitaria-spostamento* per il pozzo di fondazione

Facendo riferimento alla curva di comportamento del pozzo di Figura 7.6, si ottiene il valore di resistenza testa pozzo par ad 86000kN. La resistenza al taglio  $\tau$  equivalente del cluster 14 m x 36 m che rappresenta il terreno interessato dalle fondazioni, sarà dunque:

$$\tau = \frac{85000}{14 \cdot 36} \approx 168 \text{ kPa}$$

Tale contributo costituisce la componente di resistenza per coesione che viene assegnata al cluster *Fondazioni*: (cfr. tabella §7.2)

$$c'_{eq} = 168 \text{ kPa}$$

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 38 di 72

### 7.1.2 Rigidezza a taglio e resistenza operativa dei setti di pali accostati

La risposta dei setti alle azioni orizzontali è stata valutata utilizzando lo schema statico del tipo “shear type” riportato in figura seguente. Tale è infatti il meccanismo resistente atteso per il palo, utilizzando il metodo proposto da Viggiani<sup>11</sup> (1981; Allegato 1).

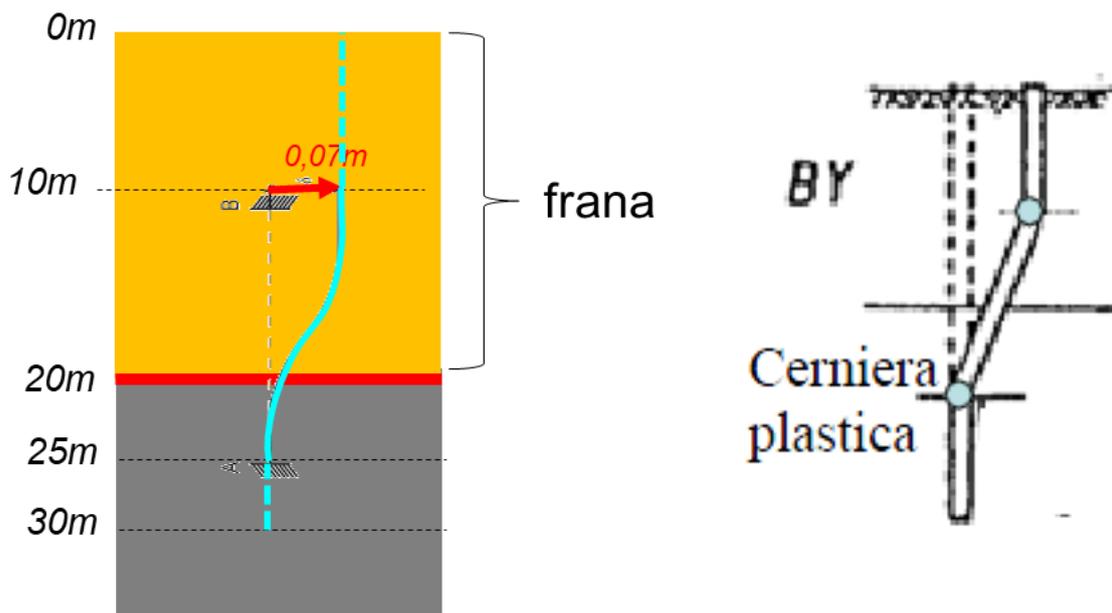


Figura 7.7 – Schema statico dei pali appartenenti ai setti stabilizzanti (SS) e meccanismo di rottura corrispondente (Viggiani 1981)

In particolare, si fa riferimento ai setti di stabilizzazione denominati “SS” composti da pali  $\phi 1500$  ad interasse longitudinale  $i_l=1,8m$  di lunghezza  $L\approx 30m$  collegati in testa da una trave di correa posti a interasse orizzontale  $i_h=7m$ .

I pali, con  $M_{y(N=0)} \approx 5650$  kNm, attraversano per i primi  $20\div 22m$  il deposito in frana a cui viene assegnata una  $c_u\approx 80$  kPa e per i restanti  $8m$  la formazione integra caratterizzata da  $c_u\approx 250$  kPa. Sotto queste condizioni il carico limite orizzontale geotecnico risulta associato legato alla formazione di una doppia cerniera plastica e pertanto dipendente dal valore del momento plastico  $M_y$  del palo.

Il valore del momento plastico  $M_y$  è determinato a partire dall’armatura dei pali; si è quindi considerata per ciascun palo un’armatura composta da  $32 \phi 32$  a cui corrisponde un carico limite orizzontale di tipo geotecnico  $T_{By}$  pari a  $3050$  kN.

Per la determinazione delle caratteristiche meccaniche da assegnare al cluster nelle analisi si fa riferimento alla resistenza offerta dal palo a fronte di uno spostamento in testa di circa  $7$  cm che, come spiegato al paragrafo precedente, corrisponde allo spostamento plastico atteso, valutato mediante il metodo degli spostamenti di Newmark per il pendio (sez. C-C’) in SLV nella condizione di efficienza del sistema di drenaggio.

Adottando la relazione:

<sup>11</sup> Viggiani C. (1981). “Ultimate Lateral Load on Piles Used to Stabilize Landslides. Proc.10th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engng. Stockholm, 3, 555-560.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  WEBUILD S.P.A.                  ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                  Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                  NET ENGINEERING S.P.A.                  ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>39 di 72</b>

$$f = \frac{F \cdot l^3}{12 \cdot E_{cls} \cdot J_{palo}}$$

Si ottiene una forza su ciascun palo pari a circa 1550 kN.

$E_{cls}$	25.000.000	kPa
$l$	15	m
$F$	1546	kN/m
$J_{palo}$	0,2485	$m^4$
$f$	0,07	m

Considerato il meccanismo resistente del setto, vengono associate al continuo equivalente che rappresenta l'intero volume di terreno consolidato, una resistenza al taglio  $\tau$  ed una rigidezza a taglio  $G$  equivalente definita sulla base dello schema di Figura 7.8, per cui:

$$\tau = \frac{F}{i_l \cdot i_h} = \frac{1550}{1,8 \cdot 7} \approx 122 \text{ kPa}$$

Tale contributo si considera come una componente di resistenza per coesione relativo al cluster che rappresenta il terreno interessato dalle fondazioni:

$$c'_{eq} = 122 \text{ kPa}$$

$$\gamma = \frac{0,07}{30} \approx 0,233\%$$

$$G = \frac{122}{0,0023} \approx 52,3 \text{ MPa}$$

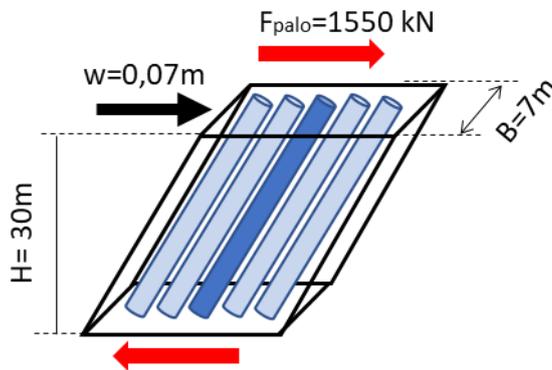


Figura 7.8 – schema per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e rigidezza della dei setti stabilizzanti (SS)

Adottando un coefficiente di Poisson  $\nu=0,3$  il modulo di Young equivalente risulterà:

$$E' = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot G = 2,6 \cdot 52,3 = 136 \text{ MPa}$$

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>40 di 72</b>

## 7.2 MODELLAZIONE CONDIZIONI DI FALDA NEL VERSANTE

### 7.2.1 Aspetti generali

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 cinematismo della frana sia fortemente influenzato dalle precipitazioni; in particolare, in presenza di precipitazioni intense, si registra un'accelerazione dei movimenti franosi.

Gl interventi di drenaggio sono stati dimensionati attraverso l'elaborazione di un opportuno modello idrogeologico tridimensionale per tenere conto della complessità dell'intervento e della scala di versante in cui esso di colloca; tale modello è stato tarato attraverso analisi 2D sia statiche che dinamiche al fine di riprodurre non solo l'andamento piezometrico alla scala di versante, ma anche la risposta dinamica dell'acquifero in funzione di quanto osservato a scala reale, tramite i piezometri installati.

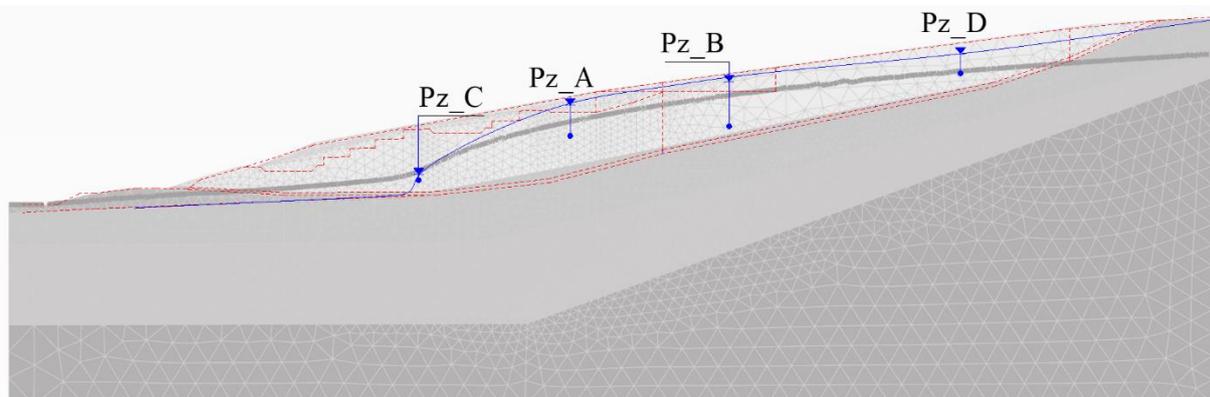
I risultati delle modellazioni di flusso alla scala di versante sono riportate nel documento IF28.0.1.V.ZZ.RH.OC.01.0.1.282.A, a cui si rimanda per opportuni dettagli. Tale modellazione ha permesso di orientare e confermare le soluzioni progettuali. Le analisi condotte hanno permesso di dimostrare che le condizioni di un consistente abbassamento della falda a lungo termine sono effettivamente raggiunte sia in condizioni di normali apporti idrici, sia in presenza di forti eventi piovosi e che dopo un anno circa dall'inizio del drenaggio le condizioni di abbassamento della falda lungo l'intero versante possono ritenersi stabilizzate.

Al fine di effettuare le analisi di stabilità del versante e giungere al dimensionamento delle opere, i risultati ottenuti mediante la modellazione tridimensionale sopra richiamata sono stati riprodotti all'interno dei modelli bidimensionali considerati nel presente documento.

### 7.2.2 Analisi condizioni iniziali indisturbate

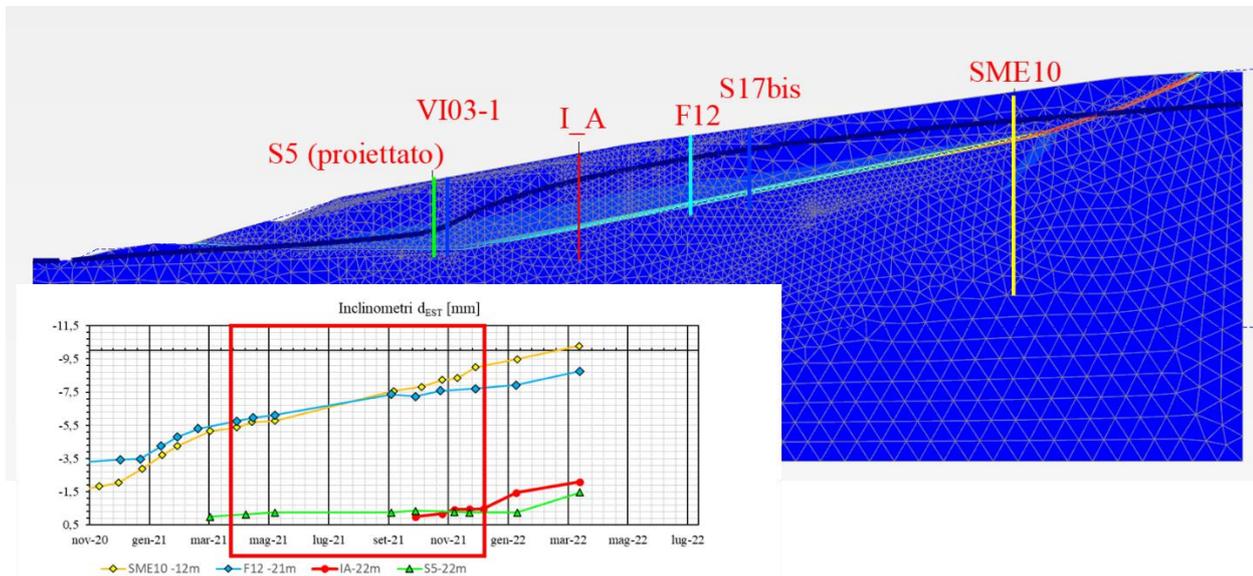
Anche in questo caso è stata condotta, quindi, una taratura iniziale dei modelli per riprodurre le condizioni di falda iniziale e quelle di lungo termine, in presenza di drenaggio attivo.

Dal punto di vista idraulico (Figura 7.9), il modello 2D ha confermato che differenziando opportunamente la permeabilità fra lo strato di alluvioni (più permeabile  $k \approx 1e-5$  m/s) rinvenuto al piede del versante e le altre unità ( $k \approx 1e-7$  m/s), l'andamento delle pressioni interstiziali in condizioni stazionaria (steady state) è simile a quello osservato nel corso dei mesi non piovosi.



**Figura 7.9 - Confronto fra comportamento idraulico monitorato nei mesi non piovosi e il livello freatico ricostruito dal modello imponendo una permeabilità più elevata nelle alluvioni in condizioni steady state**

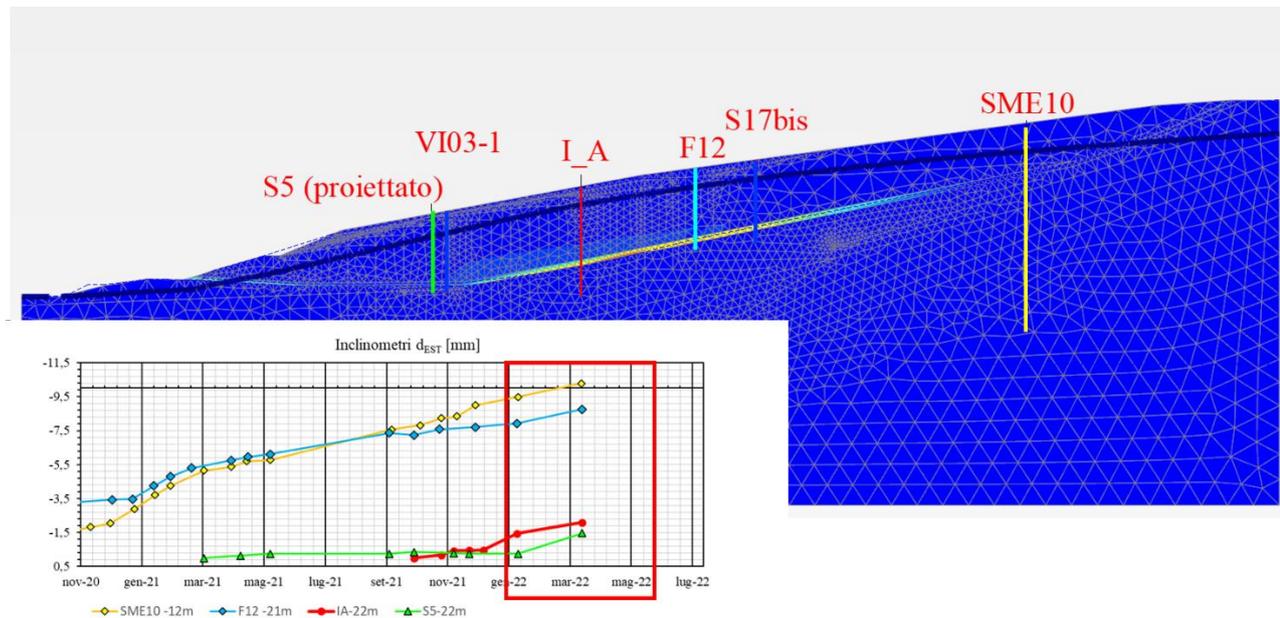
<b>APPALTATORE:</b> Consorzio Soci <b>HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.</b>								
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>41 di 72</b>



**Figura 7.10 – Periodo non piovoso. Localizzazione delle deformazioni deviatoriche imponendo una permeabilità più elevata nelle alluvioni in condizioni steady state (SF=1,13)**

Nel periodo non piovoso le deformazioni di versante coinvolgono le verticali poste più a monte ma non quelle a valle.

Durante il periodo piovoso tale condizione di “drenaggio” da parte delle alluvioni alla base del versante non risulta efficace per via di probabili apporti idrici lungo vie preferenziali. Nelle analisi, dunque, la permeabilità delle alluvioni ricadenti al di sotto del corpo di frana viene ridotta di 1 ordine di grandezza ( $k=1 \times 10^{-5}$  m/s) e ciò determina l’innalzamento della falda in corrispondenza delle verticali S5 e VI03 come osservato nel corso del monitoraggio.



**Figura 7.11 – Periodo piovoso. Localizzazione delle deformazioni deviatoriche in condizioni steady state con falda alta e permeabilità omogenea dei terreni (SF=1,016)**

Ovviamente alle due condizioni sono associati differenti valori dei fattori di sicurezza.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>42 di 72</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>						

### 7.2.3 Modellazione soluzione progettuali drenaggio profondo

Le batterie di setti drenanti profondi sono state modellate all'interno dei modelli di calcolo attraverso elementi drain che sono elementi monodimensionali all'interno dei quali è assegnato un carico univoco e che costituiscono una condizione idraulica al contorno per le analisi.

Le quote di scarico riportate nelle analisi per i tre pozzi drenanti profondi che interessano il viadotto VI03 sono state determinate a partire dagli appositi elaborati di progetto, considerando le quote di scarico di fondo dei pozzi, riferendo le quote stesse alla quota di zero assunta nel modello di calcolo.

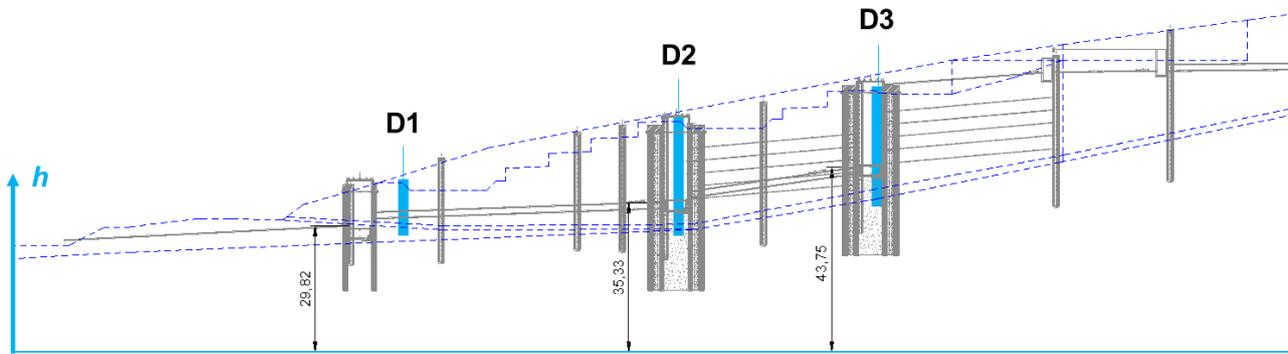


Figura 7.12 – quote di scarico dei pozzi da utilizzare come riferimento per il carico degli elementi drain

Agli elementi drain utilizzati per le analisi vengono assegnate le quote di carico indicato in tabella.

No.	Type	Behaviour	h [m]
D1	Drain	Normal	30
D2	Drain	Normal	36
D3	Drain	Normal	45

Gli elementi drenanti hanno permesso considerare le condizioni di falda ribassata nelle analisi di stabilità, per effetto della presenza dei dreni stessi in accordo con i risultati delle modellazione 3D descritta nell'elaborato IF2801VZZRBOC0101282A e con quanto riportato nei successivi § 8.

Di seguito si riporta un confronto fra la piezometrica relativa alla fase di attivazione dei drenaggi profondi (linea blu) e quella che emerge dal sopra citato modello 3D a lungo termine (linea rossa); anche in questo caso i risultati delle due analisi risultano coerenti tenendo ovviamente conto del fatto che la sezione di analisi PLAXIS è piana e vuole rappresentare una situazione che media fra la sezione 1 in asse viadotto e quella 2 subito esterna.

APPALTATORE: Conorzio <b>HIRPINIA AV</b>	Soci <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>				
PROGETTAZIONE: Mandatara <b>ROCKSOIL S.P.A</b>	Mandanti <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>43 di 72</b>

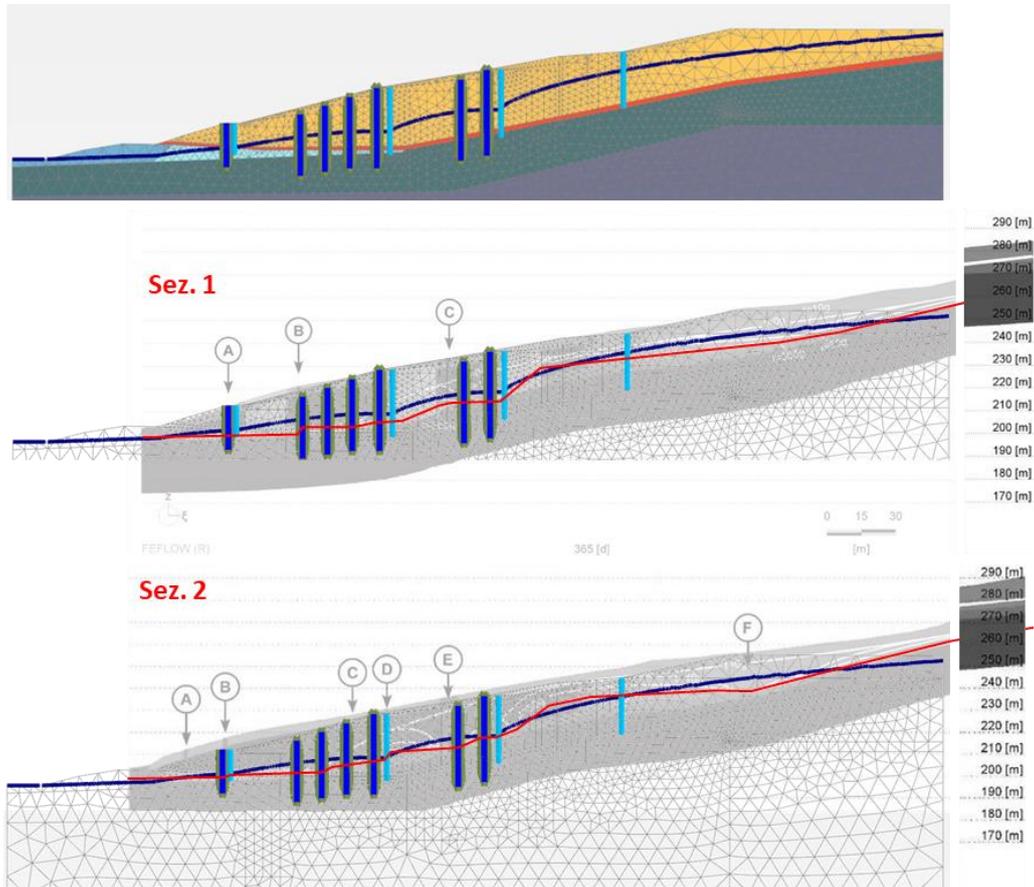


Figura 7.13 – Confronto fra la piezometrica ottenuta con l’attuale modello PLAXIS (linea blu) e quella determinata mediante specifico modello idraulico 3D sulle sezioni adiacenti (linea rossa)

### 7.3 ANALISI PRELIMINARI: STABILITÀ ALLA SCALA DEL VERSANTE ED ALLA SCALA DELL’OPERA

Le condizioni ante operam sono state valutate su una sezione A-A’ estesa all’intera superficie critica individuata, così come le successive operazioni di scavo necessarie alla messa in opera degli elementi stabilizzanti costituiti da paratie trasversali e setti longitudinali costituiti da pali  $\phi 1500/1,8\text{m}$ .

Le fasi successive per le quali i cinematismi possibili vengono limitati dalle opere del piazzale RI57, sono state analizzate facendo riferimento ad un modello con la medesima geometria, ma esteso solo fino all’imbocco della galleria GI04.

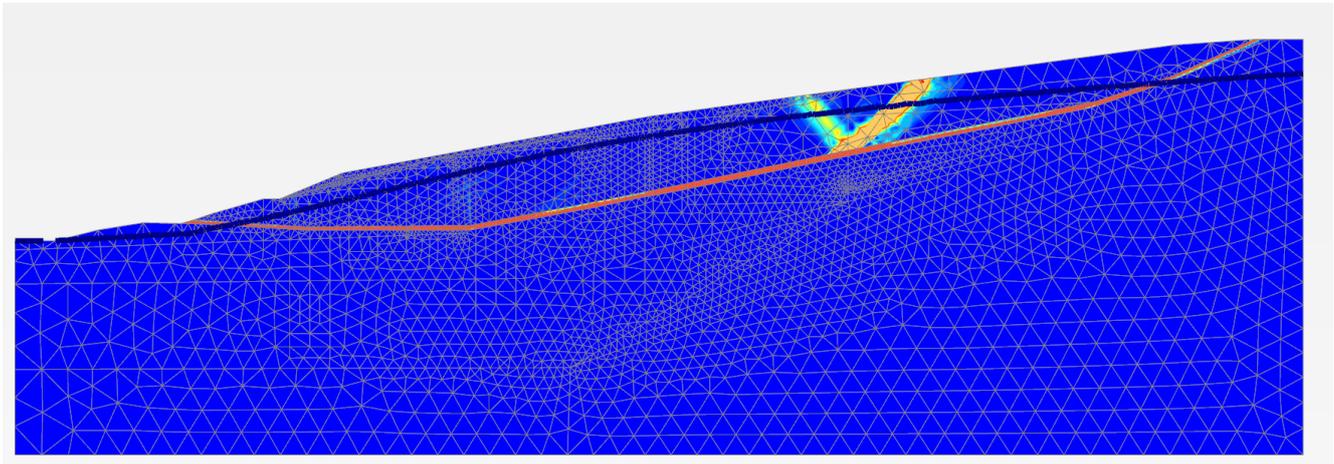
T Trattandosi di analisi FEM il fattore di sicurezza critico risulterà di poco superiore all’unità per motivi legati alla convergenza numerica, si ipotizza dunque raggiunta la condizione “critica” ad un  $SF=1,033$ .

La Figura 7.14 mostra il campo delle deformazioni deviatoriche e dei punti di plasticizzazione dell’analisi in condizione statica. Si osserva che quando la falda è prossima al p.c. il fattore di sicurezza (SF) diviene prossimo all’unità e il cinematismo che ne risulta prevede la rottura per scorrimento al taglio localizzato nel cluster “superficie di scorrimento” coerentemente con le determinazioni sperimentali di cui al § 3.

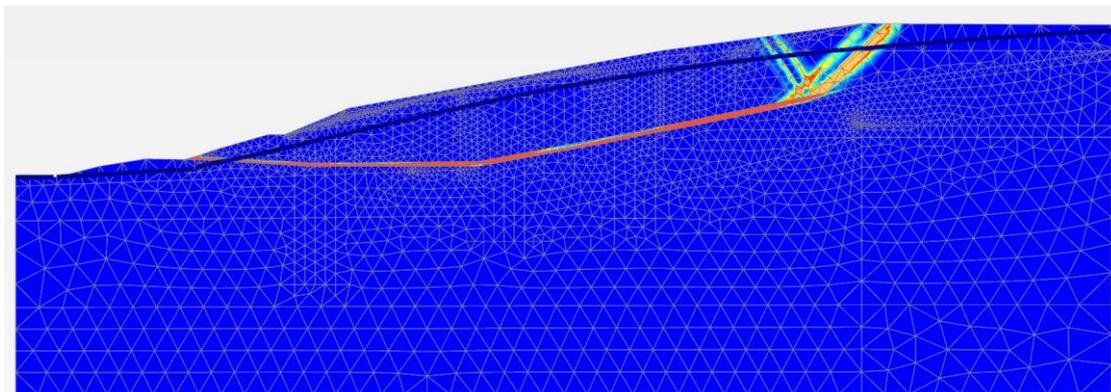
In Figura 7.15 si riporta la medesima condizione ottenuta per il modello limitato a monte dal piazzale RI57. Anche in questo caso, a parità di condizioni idrauliche si determinano condizioni “critiche” ( $SF=1,005$ ).

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>44 di 72</b>

Il motivo di tale risultato è che, data la sua estensione, il versante risulta assimilabile ad un pendio indefinito e pertanto considerare una porzione risulta indifferente.



**Figura 7.14 –Localizzazione delle deformazioni deviatoriche in condizioni statiche (SF=1,033)**



**Figura 7.15 –Localizzazione delle deformazioni deviatoriche in condizioni statiche con modello limitato a monte dal piazzale R157 (SF=1,005)**

A riprova di ciò si riporta di seguito la verifica del pendio indefinito per le medesime condizioni al contorno ( $z_w < 5m$  da p.c.).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>								
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>45 di 72</b>

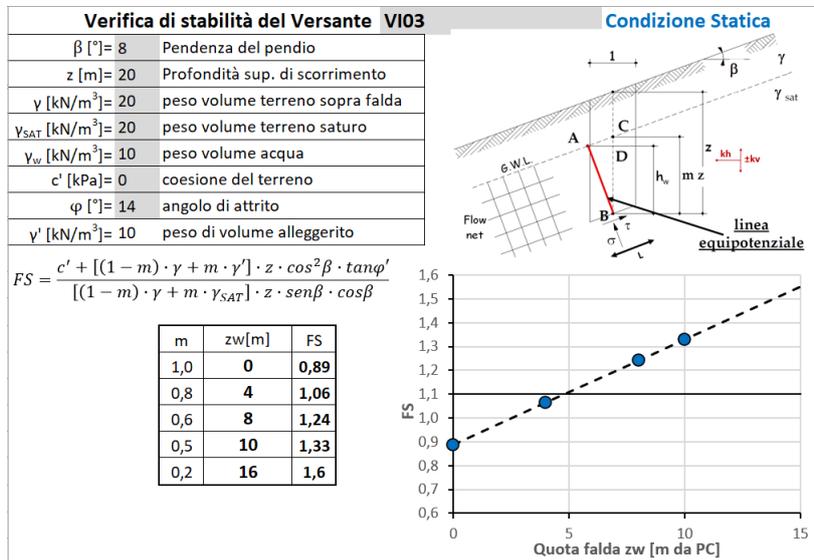


Figura 7.16 – Verifica “a pendio indefinito” in condizioni statiche del versante (SF=1,06 per zw=4m)

Nell’analisi numerica preliminare estesa a tutto il versante si è fatto riferimento alle seguenti fasi realizzative dell’opera:

	ID	Fase	Fase preced:	Descrizione	Falda	Drain	SF
Sez. A-A': transitorio	Ape	0	N/A	Generazione dello stato tensionale litostatico con procedura “gravity loading”	Bassa	Off	
	Bep	1	0	Falda estiva - falda prossima a alluvioni in S5 e VI03-1	Alta Steady St	Off	1,13
	Cpe	1	0	Falda invernale - falda prossima a p.c. in S5 e VI03-1	Alta Steady St	Off	1,016
	Dep	3	1	Scavi preliminari (no drenaggio)	Alta Steady St	Off	< 1
	Epe	18	1	Scavi preliminari + drenaggio	Alta Steady St	On	1,15
	Fpe	2	1	Scavi preliminari + setti longitudinali (no drenaggio)	da fase preced.	Off	1,20
	Gpe	7	1	Scavi preliminari + paratie trasversali $\phi 1500/1.8m$ (no drenaggio)	da fase preced.	On	1,46

In condizioni invernali, emerge la necessità, preliminarmente agli scavi preliminari, di realizzare le paratie di pali trasversali in modo da prevenire una riduzione del coefficiente di sicurezza in tale fase.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>46 di 72</b>

## 7.4 STABILITÀ LOCALE

La superficie di scorrimento del cinematismo studiato fuoriesce a monte della strada provinciale SP 283; in condizioni sismiche le analisi indicano la plasticizzazione di una porzione molto limitata di terreno collocata in quella zona che è però attualmente presidiata da un'opera di sostegno in gabbioni che si estende per un lungo tratto oltre il viadotto.



Figura 7.17 – opera di sostegno in gabbioni a monte della Strada vicinale Isca di Cozza alla base del pendio

Nelle analisi, al cluster di cui sopra viene assegnato un legame costitutivo elastico.

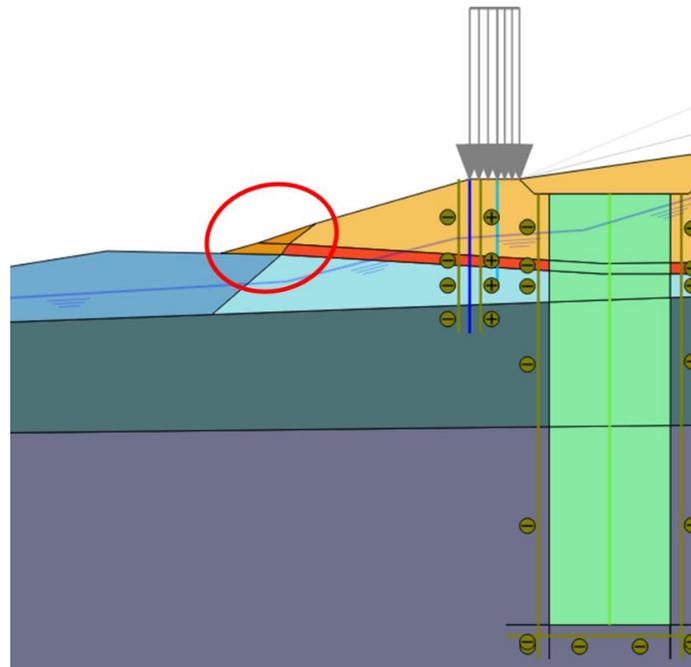
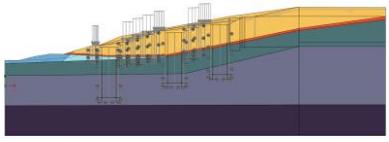
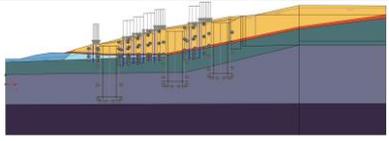
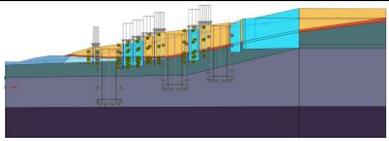
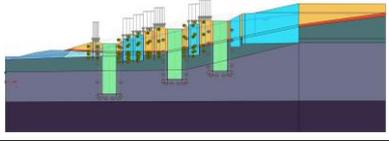
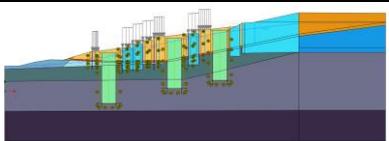
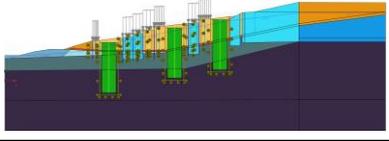


Figura 7.18 – cluster con legame costitutivo elastico finalizzati ad evitare i fenomeni di plasticizzazione localizzati in corrispondenza della Strada vicinale Isca di Cozza alla base del pendio

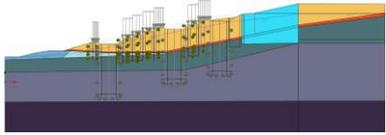
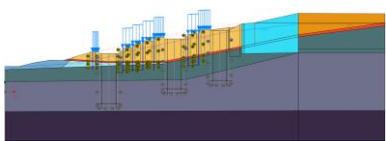
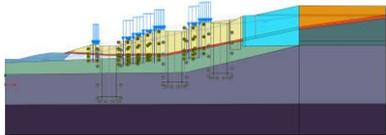
<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A.</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>			<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA          I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>47 di 72</b>

## 7.5 FASI DI ANALISI

Nell'analisi numerica si è fatto riferimento alle fasi realizzative illustrate in tabella seguente:

	ID	Fase	Fase preced:	Descrizione	Falda	Drain	
Sez. A-A' : transitorio	A	0	N/A	Generazione dello stato tensionale litostatico con procedura "gravity loading"	Bassa	Off	
	B	1	0	Falda alta - falda prossima a p.c.	Alta Steady St	Off	
	C	2	1	Realizzazione degli scavi preliminari + attivazione paratie trasversali $\phi 1500/1.8m$ - falda alta	da fase preced.	Off	
	D	3	2	Attivazione drenaggio profondo	Alta Steady St	On	
	E	4	3	Attivazione setti longitudinali e scavo piazzale R157	da fase preced.	On	
	F	5	4	Scavo piazzali pozzi di fondazione	da fase preced.	On	
	G	6	5	Attivazione pozzi di fondazione	da fase preced.	On	
Sez A-A' : permanente	H	7	6	Ripristino morfologia piazzali	da fase preced.	On	
	I	8	7	SLV - Accelerazione critica $kh=0,22$ Drenaggio attivato	da fase preced.	On	
	L	9	7	Disattivazione drenaggio	Alta Steady St	Off	
	M	10	9	SLV - Accelerazione critica $kh=0,22$ Drenaggio disattivato	da fase preced.	Off	
	N	11	8	Accelerazione di progetto $kh=0,31$ . Pozzi elastici, Drenaggio Attivato. UG2_120 elastico. 14	Alta Steady St	On	
	O	12	9	Accelerazione di progetto $kh=0,31$ . Pozzi	Alta Steady	Off	

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>								
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>48 di 72</b>

	ID	Fase	Fase preced:	Descrizione	Falda	Drain	
				elastici, Drenaggio disattivato. UG2_120 elastico.12	St		
Sez. C-C' : transitorio no drenaggio	<b>P</b>	13	2	Scavo strade cantiere + setti RI57. Drenaggio disattivato	Alta Steady St	Off	
	<b>Q</b>	14	13	SLU11 - (parametri geotecnici caratteristici, sovraccarico 1,5/1,3 q=23,07kPa) – SOLLECITAZIONI RISULTANTI DA AMPLIFICARE per 1,3.	da fase preced.	Off	
	<b>R</b>	15	13	SLU12 - (parametri geotecnici ridotti, sovraccarico 1,3q=26kPa).	da fase preced.	Off	
Sez. C-C' : permanente	<b>S</b>	16	2	Scavo strade cantiere + setti RI57. Drenaggio attivato	Alta Steady St	On	
	<b>T</b>	17	16	SLV - (sisma kh=0,13, parametri geotecnici caratteristici)	da fase preced.	On	
Sez. C-C' : permanente no drenaggio	<b>U</b>	18	2	Scavo strade cantiere + setti RI57. Drenaggio disattivato	Alta Steady St	Off	
	<b>V</b>	19	18	SLV - (sisma kh=0,08, parametri geotecnici caratteristici).	da fase preced.	Off	

in Figura 7.19 vengono indicate le fasi ed i cluster ai quali è stato assegnato un legame costitutivo elastico per evitare fenomeni di plasticizzazione secondari oppure dei cluster di boundary.

<sup>12</sup> Fase finalizzata a massimizzare le spinte sismiche dovute alla massa in frana sul pozzo di fondazione.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>49 di 72</b>

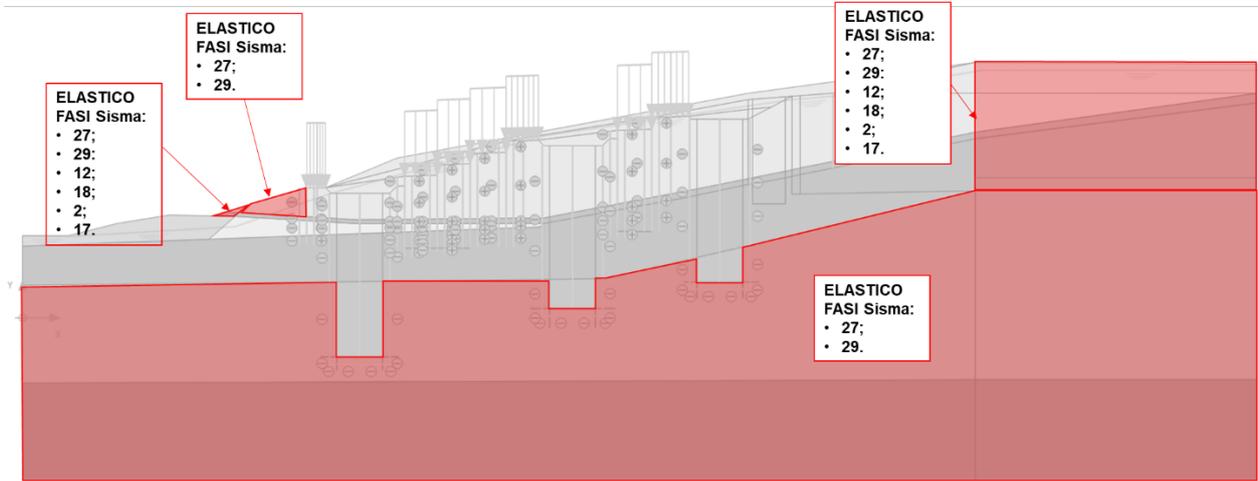


Figura 7.19 –individuazione delle fasi ed i cluster ai quali è stato assegnato un legame costitutivo elastico

Nel capitolo seguente sono presentati i risultati ottenuti dalle analisi numeriche descritte.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>																	
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>	<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 style="text-align: center;">IF28</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td style="text-align: center;">V ZZ CL</td> <td style="text-align: center;">VI0302 281</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">50 di 72</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF28	01	V ZZ CL	VI0302 281	B	50 di 72
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF28	01	V ZZ CL	VI0302 281	B	50 di 72													
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>																		

## 8 RISULTATI DELLE ANALISI

In base alle condizioni di carico considerate, nel seguito si presentano:

- sintesi dei risultati relativi alle fasi di analisi considerate;
- le sollecitazioni sulle paratie trasversali allo stato limite ultimo (SLU);
- le accelerazioni critiche associate alla stabilità globale del pendio nelle condizioni sismiche (SLV);
- le sollecitazioni sui pozzi di fondazione dovute al movimento franoso allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

APPALTATORE: Conorzio Soci <b>HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>51 di 72</b>

## 8.1 SINTESI

In tabella seguente si riporta una sintesi dei risultati associati alle fasi di analisi

	ID	Fase	Fase preced:	Descrizione	Falda	Drain	SF	$\beta$
Sez. A-A': transitorio	<b>A</b>	0	N/A	Generazione dello stato tensionale litostatico con procedura "gravity loading"	Bassa	Off	-	
	<b>B</b>	1	0	Falda alta - falda prossima a p.c.	Alta Steady St	Off	1,005	
	<b>C</b>	2	1	Realizzazione degli scavi preliminari + attivazione paratie trasversali $\phi 1500/1.8m$ - falda alta	da fase preced.	Off	1,623	
	<b>D</b>	3	2	Attivazione drenaggio profondo	Alta Steady St	On	1,94	
	<b>E</b>	4	3	Attivazione setti longitudinali e scavo piazzale RI57	da fase preced.	On	2,3	
	<b>F</b>	5	4	Scavo piazzali pozzi di fondazione	da fase preced.	On	2,21	
	<b>G</b>	6	5	Attivazione pozzi di fondazione	da fase preced.	On	2,25	
Sez A-A': permanente	<b>H</b>	7	6	Ripristino morfologia piazzali	da fase preced.	On	2,27	
	<b>I</b>	8	7	SLV - Accelerazione critica $k_h=0,22$ <u>Drenaggio attivato</u>	da fase preced.	On	1,032	0,7
	<b>L</b>	9	7	Disattivazione drenaggio	Alta Steady St	Off	-	
	<b>M</b>	10	9	SLV - Accelerazione critica $k_h=0,22$ <u>Drenaggio disattivato</u>	da fase preced.	Off	1,023	0,7
	<b>N</b>	11	8	Accelerazione di progetto $k_h=0,31$ . Pozzi elastici, <u>Drenaggio Attivato</u> . UG2_120 elastico. Fase finalizzata a massimizzare le spinte sismiche dovute alla massa in frana sul pozzo di fondazione.	Alta Steady St	On	-	1
	<b>O</b>	12	9	Accelerazione di progetto $k_h=0,31$ . Pozzi elastici, <u>Drenaggio disattivato</u> . UG2_120 elastico. Fase finalizzata a massimizzare le spinte sismiche dovute alla massa in frana sul pozzo di fondazione.	Alta Steady St	Off	-	1
Sez. C-C': transitorio no drenaggio	<b>P</b>	13	2	Scavo strade cantiere + setti RI57. Drenaggio disattivato	Alta Steady St	Off	1,865	
	<b>Q</b>	14	13	SLU11 - (parametri geotecnici caratteristici, sovraccarico 1,5/1,3 $q=23,07kPa$ ) - SOLLECITAZIONI RISULTANTI DA	da fase preced.	Off		

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>								
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>52 di 72</b>

	ID	Fase	Fase preced:	Descrizione	Falda	Drain	SF	$\beta$
				AMPLIFICARE per 1,3.				
	<b>R</b>	15	13	SLU12 - (parametri geotecnici ridotti, sovraccarico 1,3q=26kPa).	da fase preced.	Off		
Sez. C-C': permanente	<b>S</b>	16	2	Scavo strade cantiere + setti R157. Drenaggio attivato	Alta Steady St	On		
	<b>T</b>	17	16	SLV - (sisma $k_h=0,13$ , parametri geotecnici caratteristici)	da fase preced.	On	1,319 <sup>13</sup>	0,42
Sez. C-C': permanente no drenaggio	<b>U</b>	18	2	Scavo strade cantiere + setti R157. Drenaggio disattivato	Alta Steady St	Off		
	<b>V</b>	19	18	SLV - (sisma $k_h=0,076$ , parametri geotecnici caratteristici).	da fase preced.	Off	1,28 <sup>14</sup>	0,24

<sup>13</sup> L'accelerazione critica determina il raggiungimento del momento plastico sui pali  $M_p \approx 3300 \text{ kNm}$

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 53 di 72

## 8.2 PARATIE TRASVERSALI - RISULTATI DELLE ANALISI DI SICUREZZA

Le **palificate trasversali**, funzionano in condizioni temporanee come opere di sostegno propedeutiche allo scavo dei piazzali e delle piste di cantiere e al relativo transito dei mezzi. In tali condizioni le verifiche (SLU) vengono eseguite in accordo al capitolo 6.5.3.1.2 (Paratie) adottando l'approccio 1.

In condizioni di lungo termine (SLV) quegli stessi elementi non dovranno più comportarsi da opere di sostegno e verranno dunque verificati come interventi di consolidamento del versante con riferimento al capitolo 6.3.5 relativo al dimensionamento degli interventi di stabilizzazione.

### 8.2.1 Combinazioni SLU

L'andamento delle caratteristiche di sollecitazione lungo le due paratie nelle combinazioni di carico SLU è riportato in Figura 8.1 (SLU 1.1) e Figura 8.2 (SLU 1.2) con riferimento alla Sez. C-C' in condizioni transitorie ed in assenza di drenaggio (ID. O e P). Si osserva che nonostante la presenza degli scavi e del sovraccarico da traffico di cantiere il valore massimo del momento flettente e dell'azione tagliante si colloca generalmente in corrispondenza del piano di scivolamento per entrambe le combinazioni considerate. Si precisa che nei grafici seguenti la corrispondenza tra n° dell'allineamento considerato nelle analisi e nome dell'allineamento delle palificate indicate negli elaborati grafici è il seguente: OS1= All.7; OS2=All.6; OS3=All.5; OS4=All.4; OS5=All.3; OS6=All.2; OS7=All.1.

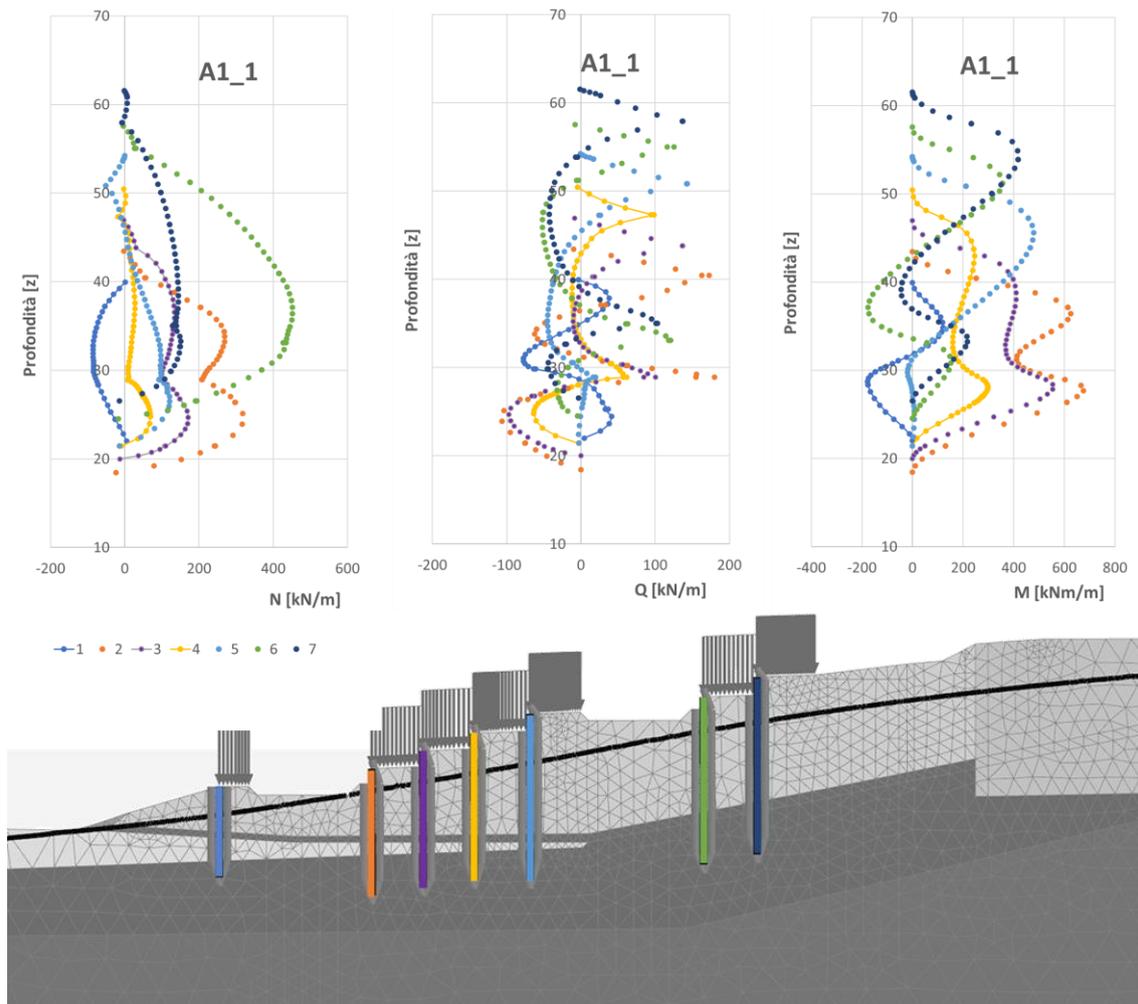


Figura 8.1- Analisi SLU 1.1: diagramma di sforzo normale, taglio e momento flettente agente sulla paratia. Azioni amplificate (A1)

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A.</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>								
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>54 di 72</b>

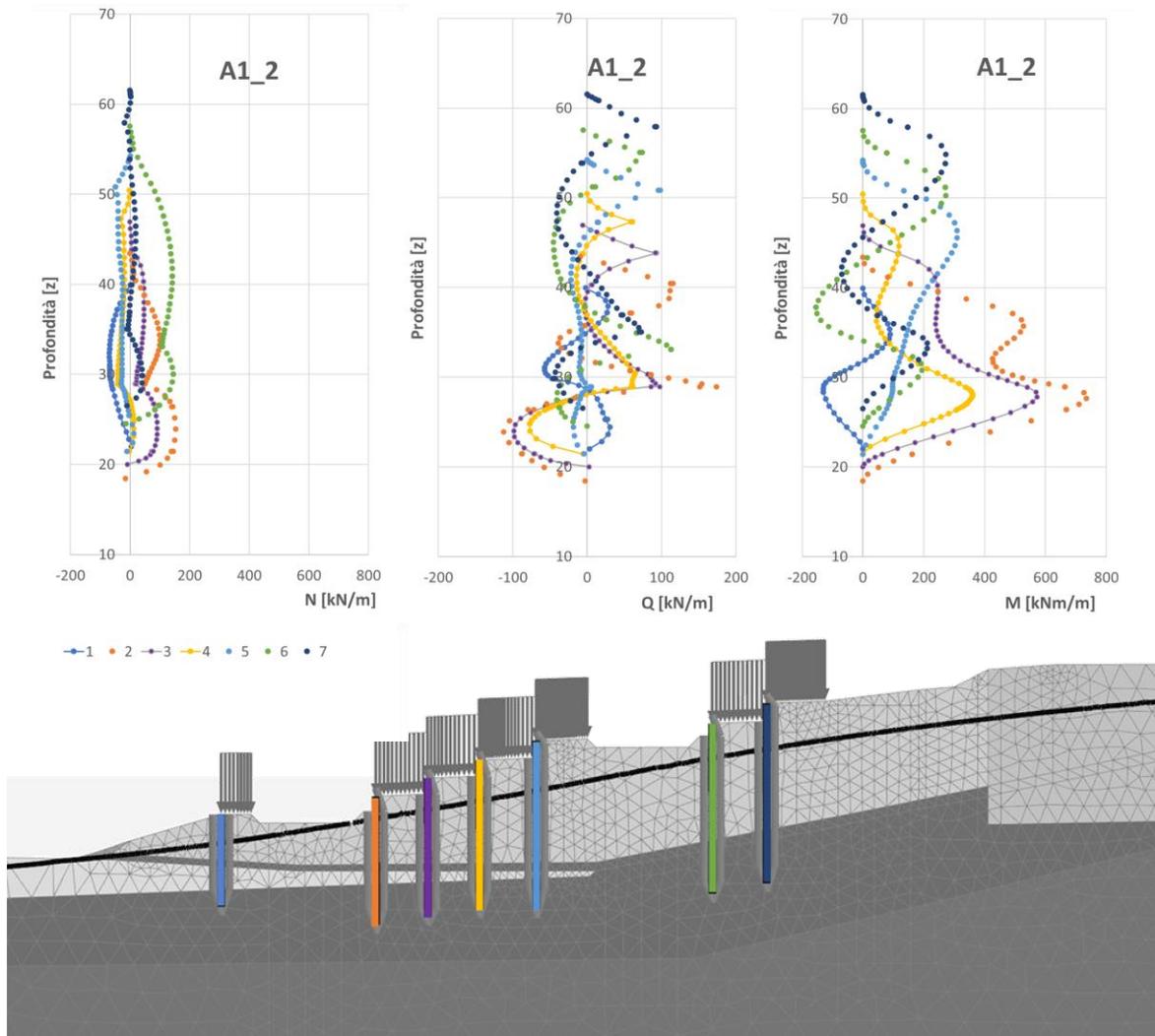


Figura 8.2- Analisi SLU 1.2: diagramma di sforzo normale, taglio e momento flettente agente sulla paratia

Nella tabella seguente sono riportati i valori di sollecitazione massima per ogni fila di paratie per le combinazioni SLU\_1.1 (A1+M1+R3) utilizzate per il dimensionamento strutturale dei pali. I valori delle sollecitazioni sul singolo palo sono ricavati dalle azioni a metro lineare del modello piano, moltiplicando per l'interasse dei pali (1.8m).

Opera di sostegno	Sollecitazioni SLU max /m di paratia			Sollecitazioni SLU max su singolo palo		
	Azione assiale (kN/m)	Taglio (kN/m)	Momento (kNm/m)	Azione assiale palo (kN)	Taglio palo (kN)	Momento palo (kNm)
OS1-AII.7	151.3	137.3	416.9	272.4	247.2	750.5
OS2-AII.6	451.6	125.3	356.4	812.8	225.5	641.5
OS3-AII.5	120.8	142.9	478.0	217.5	257.3	860.4
OS4-AII.4	69.0	98.5	297.4	124.2	177.4	535.3
OS5-AII.3	171.0	137.6	555.0	307.9	247.7	999.0
OS6-AII.2	317.2	180.3	675.6	571.0	324.5	1216.1
OS7-AII.1	85.4	77.4	177.3	153.8	139.4	319.1

APPALTATORE: Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>								
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>55 di 72</b>

### 8.2.2 Combinazioni SLV

Per le combinazioni SLV sono mostrati gli andamenti di sforzo assiale, taglio e momento, con riferimento alle analisi della sezione C-C' **permanente** (ID T) e **permanente no drenaggio** (ID V) che determinano il raggiungimento del momento plastico sui pali e quindi rappresentano le condizioni più sfavorevoli per il dimensionamento strutturale.

Essendo un intervento di stabilizzazione del versante le analisi adottano parametri geotecnici caratteristici.

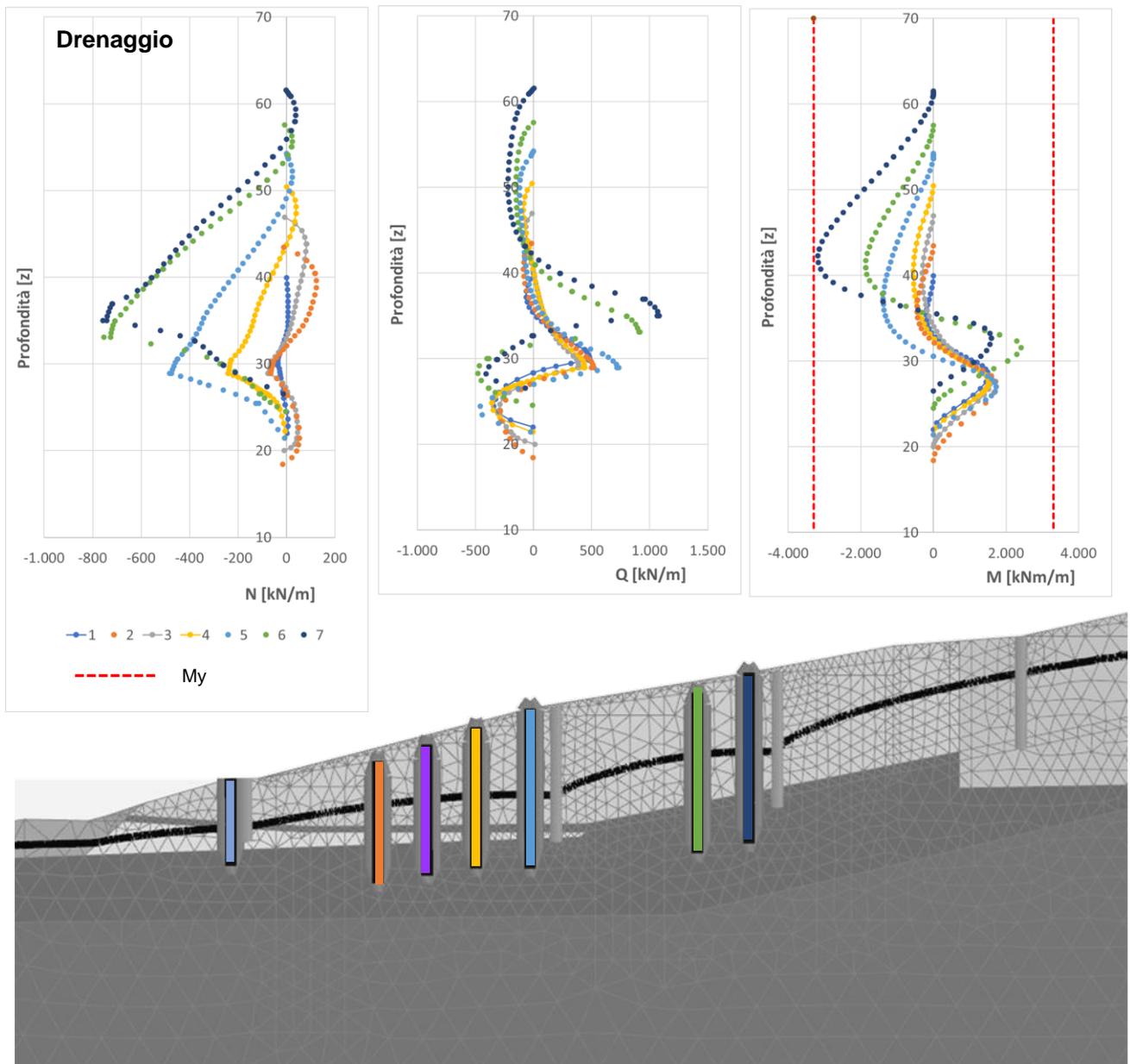


Figura 8.3- Analisi SLV. C-C' permanente (ID T): diagramma di sforzo normale, taglio e momento flettente agente per metro di paratia.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>56 di 72</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>								

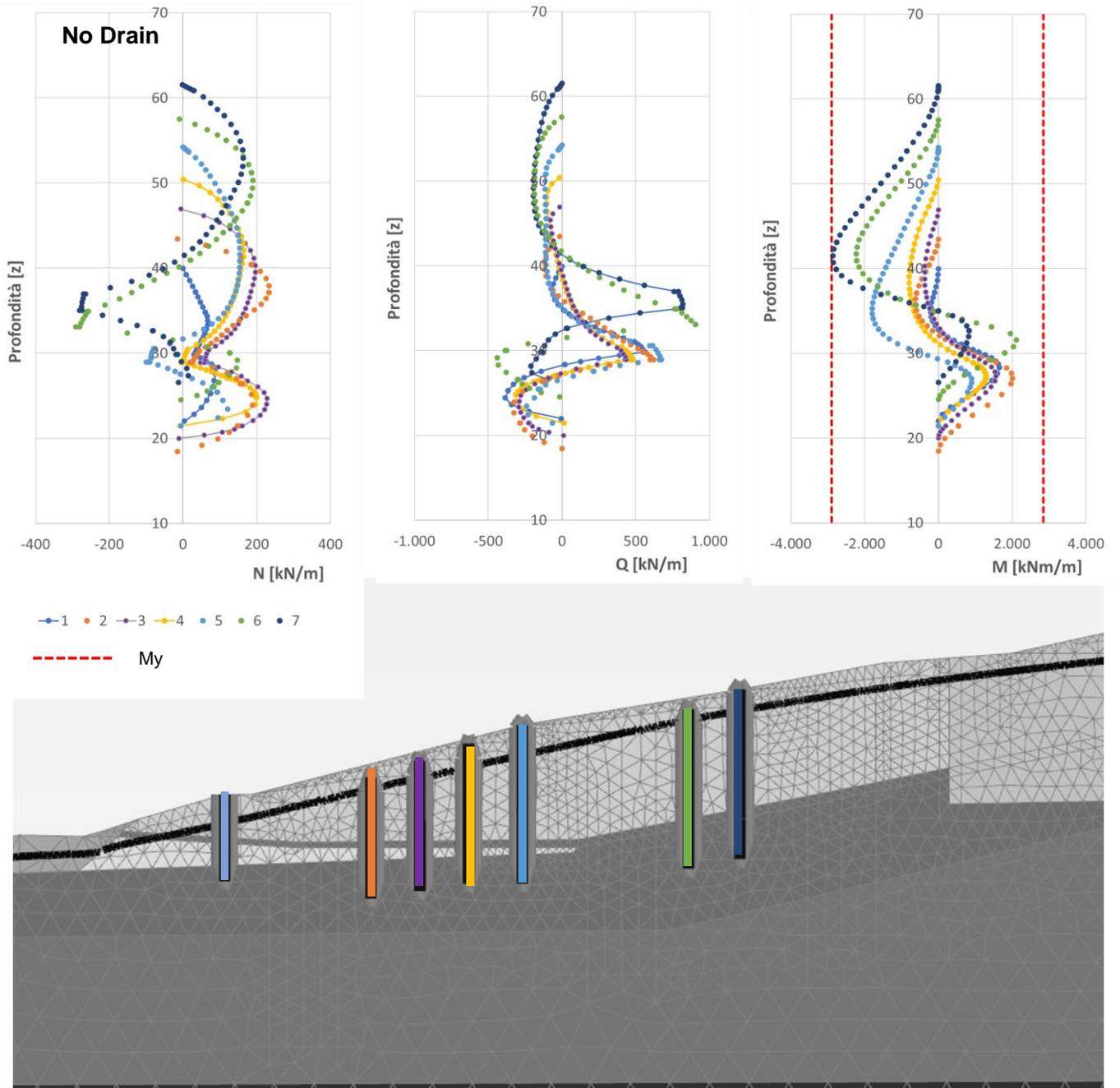


Figura 8.4- Analisi SLV. C-C' permanente No Drain (ID V): diagramma di sforzo normale, taglio e momento flettente agente per metro di paratia.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 57 di 72

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori di sollecitazione massima per ogni fila di paratie per le combinazioni SLV in presenza e in assenza di drenaggio utilizzate per il dimensionamento strutturale dei pali.

Opera di sostegno	Sollecitazioni SLV-drain max /m di paratia			Sollecitazioni SLV-drain max su singolo palo		
	Azione assiale (kN/m)	Taglio (kN/m)	Momento (kNm/m)	Azione assiale palo (kN)	Taglio palo (kN)	Momento palo (kNm)
OS1-AII.7	757.9	1080.9	3185.0	1364.3	1945.6	5733.0
OS2-AII.6	753.5	916.5	2420.1	1356.3	1649.7	4356.3
OS3-AII.5	481.6	735.3	1729.9	866.8	1323.5	3113.8
OS4-AII.4	241.0	442.1	1518.4	433.8	795.8	2733.1
OS5-AII.3	83.2	391.4	1555.2	149.7	704.6	2799.3
OS6-AII.2	123.4	519.9	1726.3	222.1	935.9	3107.4
OS7-AII.1	36.4	485.6	1502.5	65.5	874.1	2704.5

Opera di sostegno	Sollecitazioni SLV-no drain max /m di paratia			Sollecitazioni SLV-no drain max su singolo palo		
	Azione assiale (kN/m)	Taglio (kN/m)	Momento (kNm/m)	Azione assiale palo (kN)	Taglio palo (kN)	Momento palo (kNm)
OS1-AII.7	279.91	819.55	2,866.67	503.8	1475.2	5160.0
OS2-AII.6	291.70	906.47	2,228.08	525.1	1631.6	4010.5
OS3-AII.5	154.67	675.35	1,793.25	278.4	1215.6	3227.9
OS4-AII.4	200.50	481.50	1,288.76	360.9	866.7	2319.8
OS5-AII.3	227.54	437.57	1,552.14	409.6	787.6	2793.8
OS6-AII.2	233.17	620.76	2,012.48	419.7	1117.4	3622.5
OS7-AII.1	91.88	560.91	1,655.10	165.4	1009.6	2979.2

### Dimensionamento strutturale dei pali

Le palificate OS1 e OS 2 risultano maggiormente sollecitate e quindi sono armate con armatura longitudinale pari a 36  $\phi$  32 e staffatura max  $\phi$  14/10).

Di seguito sono riportate le verifiche per le condizioni di taglio e momento più gravose, considerando presente o assente l'azione assiale con riferimento alla paratia OS1 che risulta più sollecitata. Le sollecitazioni SLE sono desunte dalle sollecitazioni massime SLU riportate nella precedente tabella al § 8.2.1 dividendo le stesse per un fattore 1.3.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 58 di 72

geometria					sollecitazioni e risultati				
sezione trasversale					SLE		SLU		
D	c	d	passo	interferro	M <sub>Ek</sub>	576.9 [kNm]	M <sub>Ed</sub>	5733.0 [kNm]	
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	N <sub>Ek</sub>	-625.2 [kN]	N <sub>Ed</sub>	-1475.0 [kN]	
150	6.0	141.0	11.5	8.3	presso-flessione		V <sub>Ed</sub>	1945.6 [kN]	
armatura longitudinale					M <sub>cr</sub>	1105.2 [kNm]	presso-flessione		
n <sub>barre</sub>	φ	r <sub>i</sub>	A <sub>sl</sub>	c <sub>i</sub>	quota asse neutro		M <sub>Rd</sub>	6584.8 [kNm]	
[mm]	[mm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm]	y <sub>n</sub>	70.50 [cm]	FS	1.15	
36	32	66	289.53	9.00	tensioni e fessure		taglio		
					σ <sub>c,min</sub>	-2.0 [MPa]	V <sub>Rdc</sub>	618.9 [kN]	
					σ <sub>s,min</sub>	-25.8 [MPa]	predisporre armatura a taglio		
					σ <sub>s,max</sub>	29.6 [MPa]			
					k <sub>2</sub>	0.5	V <sub>Rds</sub>	2383.6 [kN]	
armatura a taglio					ε <sub>sm-ε<sub>cm</sub></sub>	- [%]	V <sub>Rdmax</sub>	3960.6 [kN]	
Tipo	φ	p	A <sub>sw</sub>		S <sub>r,max</sub>	- [cm]	θ	25.0 [°]	
[mm]	[mm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]		w <sub>k</sub>	- [mm]	sezione	ductile	
spirale	14	10	3.08		a <sub>l</sub>				
					114.4 [cm]				

materiali				legenda	
calcestruzzo		acciaio			<ul style="list-style-type: none"> <li>d riferito all'asse barra</li> <li>c copriferro netto</li> <li>M &gt;0, se tese fibre inferiori</li> <li>N &gt;0, se di trazione</li> <li>V in valore assoluto</li> </ul>
R <sub>ck</sub>	30 [MPa]	f <sub>yk</sub>	450 [MPa]		
f <sub>ck</sub>	24.9 [MPa]	γ <sub>s</sub>	1.15		
γ <sub>c</sub>	1.5	f <sub>yd</sub>	391.3 [MPa]		
α <sub>cc</sub>	0.85	E <sub>s</sub>	200000 [MPa]		
f <sub>cd</sub>	14.1 [MPa]	ε <sub>uk</sub>	75 [%]		
v	0.5	<b>valori limite</b>			
ε <sub>c2</sub>	2.0 [%]	0.55	13.7 [MPa]		
ε <sub>cu2</sub>	3.5 [%]	0.75	337.5 [MPa]		
α <sub>e</sub>	15.0	k <sub>4</sub>	0.425		
k <sub>t</sub>	0.6	w <sub>k,lim</sub>	0.3 [mm]		
k <sub>1</sub>	0.8				
k <sub>3</sub>	3.4				

Figura 8.5- Verifiche armature pali OS1-OS2 – Condizioni SLE/SLV- Nmax

geometria					sollecitazioni e risultati				
sezione trasversale					SLE		SLU		
D	c	d	passo	interferro	M <sub>Ek</sub>	576.9 [kNm]	M <sub>Ed</sub>	5733.0 [kNm]	
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	N <sub>Ek</sub>	-10.0 [kN]	N <sub>Ed</sub>	0.0 [kN]	
150	6.0	141.0	11.5	8.3	presso-flessione		V <sub>Ed</sub>	1945.6 [kN]	
armatura longitudinale					M <sub>cr</sub>	977.4 [kNm]	presso-flessione		
n <sub>barre</sub>	φ	r <sub>i</sub>	A <sub>sl</sub>	c <sub>i</sub>	quota asse neutro		M <sub>Rd</sub>	6055.8 [kNm]	
[mm]	[mm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm]	y <sub>n</sub>	50.47 [cm]	FS	1.06	
36	32	66	289.53	9.00	tensioni e fessure		taglio		
					σ <sub>c,min</sub>	-1.9 [MPa]	V <sub>Rdc</sub>	410.2 [kN]	
					σ <sub>s,min</sub>	-23.4 [MPa]	predisporre armatura a taglio		
					σ <sub>s,max</sub>	51.0 [MPa]			
					k <sub>2</sub>	0.5	V <sub>Rds</sub>	2383.6 [kN]	
armatura a taglio					ε <sub>sm-ε<sub>cm</sub></sub>	- [%]	V <sub>Rdmax</sub>	3960.6 [kN]	
Tipo	φ	p	A <sub>sw</sub>		S <sub>r,max</sub>	- [cm]	θ	25.0 [°]	
[mm]	[mm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]		w <sub>k</sub>	- [mm]	sezione	ductile	
spirale	14	10	3.08		a <sub>l</sub>				
					114.4 [cm]				

materiali				legenda	
calcestruzzo		acciaio			<ul style="list-style-type: none"> <li>d riferito all'asse barra</li> <li>c copriferro netto</li> <li>M &gt;0, se tese fibre inferiori</li> <li>N &gt;0, se di trazione</li> <li>V in valore assoluto</li> </ul>
R <sub>ck</sub>	30 [MPa]	f <sub>yk</sub>	450 [MPa]		
f <sub>ck</sub>	24.9 [MPa]	γ <sub>s</sub>	1.15		
γ <sub>c</sub>	1.5	f <sub>yd</sub>	391.3 [MPa]		
α <sub>cc</sub>	0.85	E <sub>s</sub>	200000 [MPa]		
f <sub>cd</sub>	14.1 [MPa]	ε <sub>uk</sub>	75 [%]		
v	0.5	<b>valori limite</b>			
ε <sub>c2</sub>	2.0 [%]	0.55	13.7 [MPa]		
ε <sub>cu2</sub>	3.5 [%]	0.75	337.5 [MPa]		
α <sub>e</sub>	15.0	k <sub>4</sub>	0.425		
k <sub>t</sub>	0.6	w <sub>k,lim</sub>	0.3 [mm]		
k <sub>1</sub>	0.8				
k <sub>3</sub>	3.4				

Figura 8.6- Verifiche armature pali OS1-OS2 – Condizioni SLE/SLV- Nmin

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 59 di 72

Per le altre palificate è possibile adottare una armatura inferiore, di seguito le verifiche per il gruppo OS3-OS7, con riferimento all'involuppo delle sollecitazioni per questo gruppo (armatura longitudinale pari a 26  $\phi$  30 e staffatura max  $\phi$  12/10).

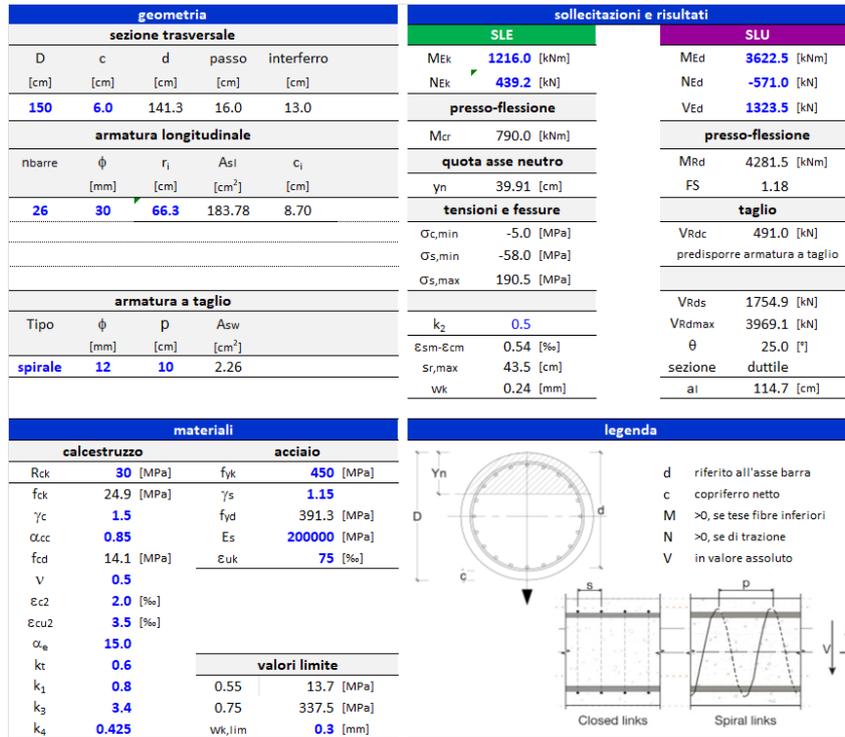


Figura 8.7- Verifiche armature pali OS3-OS7 – Condizioni SLE/SLV- Nmax

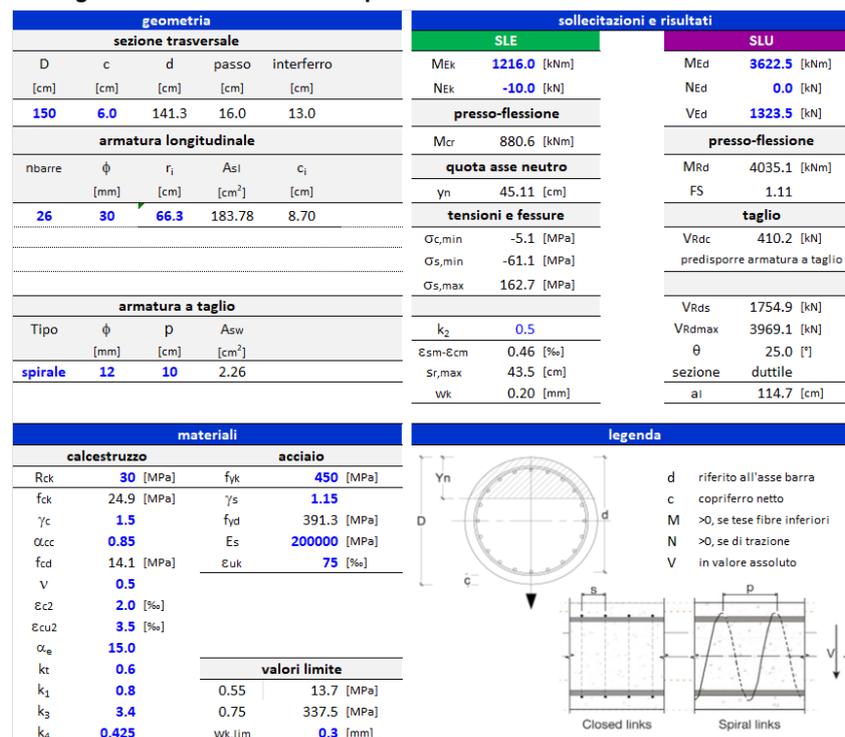


Figura 8.8- Verifiche armature pali OS3-OS7 -- Condizioni SLE/SLV- Nmin

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 60 di 72

### 8.3 PENDIO – SPOSTAMENTI PLASTICI ATTESI IN CONDIZIONI SLV

Le analisi di stabilità generale del sistema geotecnico sono state effettuate con il codice FEM Plaxis con la tecnica della riduzione dei parametri (c-φ reduction method).

Le analisi vengono eseguite utilizzando i valori caratteristici di resistenza dei terreni facendo riferimento alla resistenza a grandi deformazioni (resistenza residua) per il volume di terreno che simula la superficie di scorrimento determinata sulla base del monitoraggio disponibile.

E' stata adottata una procedura ricorsiva che prevede la riduzione progressiva della accelerazione applicata ai modelli fino a raggiungere l'accelerazione critica in corrispondenza di una delle seguenti condizioni:

- un fattore di sicurezza unitario,
- la plasticizzazione di uno degli elementi strutturali inseriti nel modello.

Nota l'accelerazione critica si è provveduto a stimare il coefficiente  $\beta$  corrispondente e lo spostamento plastico residuo atteso con il metodo indicato al precedente § 5.1.3. Le condizioni considerate sono allo SLV; le accelerazioni critiche e i risultati vengono presentati nella tabella seguente.

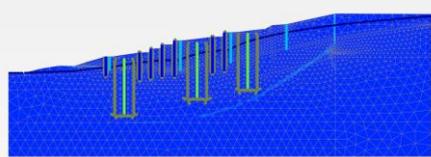
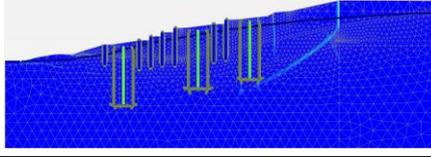
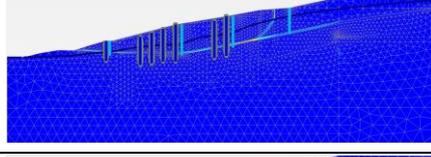
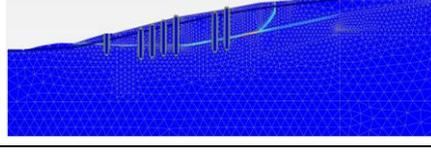
	ID	Fase	Fase preced:	Descrizione	SF	$\beta^{14}$	$d_y$ [m]	
Sez A-A': permanente	I	8	7	SLV - Accelerazione critica $k_h=0.22$	1,032	0,7	0,009	
Sez A-A': permanente no drenaggio	M	9	7	SLV - Accelerazione critica $k_h=0.22$	1,023	0,7	0,009	
Sez. C-C': permanente	T	17	16	SLV - (sisma $k_h=0.13$ , parametri geotecnici caratteristici)	1,32 <sup>15</sup>	0,42	0,07	
Sez. C-C': permanente no drenaggio	V	19	18	SLV - (sisma $k_h=0.076$ , parametri geotecnici caratteristici).	1,28 <sup>17</sup>	0,24	0,25	

Figura 8.9- Spostamenti plastici calcolati per le differenti condizioni analizzate

<sup>14</sup> Il valore del coefficiente riduttivo  $\beta$  è espresso come rapporto fra  $k_y$  e coefficiente sismico di progetto valutato tenendo conto del coefficiente riduttivo di wave scattering ovvero  $0,7 \cdot 0,448 = 0,313$  (cfr §6.3).

<sup>15</sup> L'accelerazione critica corrispondente è quella che determina il raggiungimento del momento plastico (cfr. Figura 8.4, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**)

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>61 di 72</b>

Si osserva come in asse al viadotto lo spostamento plastico del movimento franoso è dell'ordine del centimetro ed associato alla formazione di bande di taglio profonde all'interno dell'unità UG2. Esternamente al viadotto, con il drenaggio attivo, lo spostamento plastico si attesta attorno ai 7 cm mentre diviene 25 cm in assenza di drenaggio.

Si nota anche che i coefficienti  $\beta$  ottenuti sono tutti superiori rispetto al limite di norma (0.28) e questo perché la presenza degli interventi è tale da limitare fortemente gli spostamenti attesi. In asse al viadotto essi sono ridotti a valori inferiori al centimetro e quindi compatibili con l'ipotesi di "indeformabilità" richiesta per garantire il corretto funzionamento delle pile stesse anche in presenza di un evento sismico di rilevante entità.

La modellazione effettuata evidenzia, quindi, come la realizzazione del drenaggio consente di contenere efficacemente gli spostamenti del pendio a valori molto bassi anche nelle zone esterne ai setti SS di stabilizzazione: il mantenimento dei drenaggi attivi limita l'interferenza fra il pendio posto sul lato più esterno (sezione C-C') e l'area delle fondazioni del viadotto oggetto di studio e quindi le azioni assorbite dai setti SS. In altre parole, gli effetti di trascinarsi del terreno a lato dei pozzi di fondazione è di entità limitata, ciò che determina condizioni di carico e di spostamento sulle pile nettamente più contenute, come dimostrato anche nel successivo § 11.

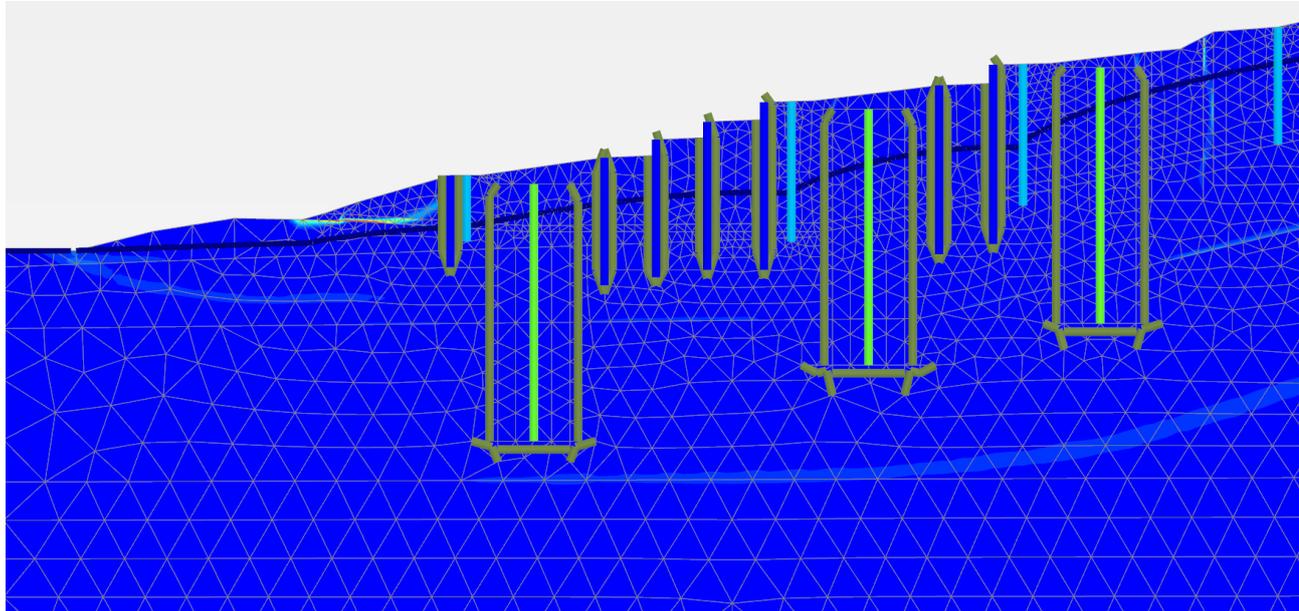
#### **8.4 POZZI DI FONDAZIONE – SOLLECITAZIONI DOVUTE AL SISMA IN CONDIZIONI SLV DRAIN (FASE 27)**

Ai fini di consentire il dimensionamento e la verifica dei pozzi di fondazione delle pile si è, infine, proceduto ad un ultimo set di analisi volto alla determinazione delle sollecitazioni normali agenti alle interfacce di monte e di valle dei pozzi stessi, per effetto delle accelerazioni imposte e degli spostamenti residui della massa di terreno a monte di ciascun pozzo.

A favore di sicurezza, considerato il valore estremamente ridotto degli spostamenti determinato con le analisi di cui al paragrafo precedente, nella condizione sismica si è operato con accelerazione massima ( $\beta=1$ ) e drenaggio attivo. Tale condizione è stata imposta nei modelli impedendo la formazione di cinematismi profondi mediante l'adozione nei terreni della formazione profonda di un legame costitutivo puramente elastico (UG2\_120 EL). Nell'analisi qui presentata, si esclude l'ipotesi di contemporaneità fra inefficienza del sistema di drenaggio e sisma di massima entità, ipotesi che si ritiene statisticamente non probabile; la suddetta ipotesi serve esclusivamente a valutare le azioni massime che possono essere trasferite ai pozzi, da utilizzare come dato di input per le analisi strutturali oggetto delle specifiche relazioni di cui al § 2.2.2.

Applicando l'accelerazione di progetto, si osserva lo sviluppo di meccanismi plastici sul lato di valle della Pila 2 mentre per pila 1 e Spalla 1 il terreno rimane in posto perché confinato dai setti e dalle pile poste a valle.

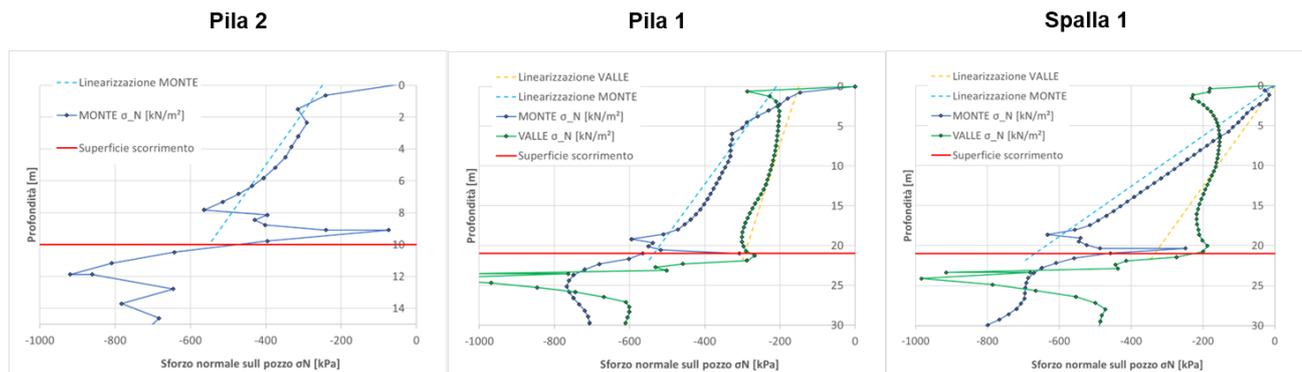
<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>								
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>62 di 72</b>



**Figura 8.10- Deformazioni deviatoriche per l'analisi con  $\beta=1$  finalizzata alla determinazione delle spinte sismiche sui pozzi di fondazione**

Nell'analisi considerata, i pali trasversali, superato il limite di snervamento non forniscono più contributo; per spingere le analisi fino all'accelerazione di progetto il cluster a valle di Pila 2 è stato posto elastico, ma nei diagrammi di spinta sismica su quest'ultima è stato trascurato il contributo del terreno sul lato di valle che è stato invece considerato per le altre fondazioni.

L'andamento delle caratteristiche di sollecitazione lungo i pozzi delle Pile 1 e 2 e Spalla 1 in condizioni sismiche sotto l'accelerazione di progetto ( $\beta$ ) è riportato in figura seguente nell'ipotesi di drenaggio attivo.



**Figura 8.11- Spinte sui pozzi di fondazione determinate in fase 27 (drenaggio attivo)**

I valori di spinta linearizzati fra monte e valle e le relative differenze sono riassunti in tabella seguente.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Conorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>63 di 72</b>

		<b>MONTE</b>	<b>VALLE</b>	<b>Δ MONTE-VALLE</b>
	<b>z [m]</b>	<b><math>\sigma_N</math> [kN/m<sup>2</sup>]</b>	<b><math>\sigma_N</math> [kN/m<sup>2</sup>]</b>	<b><math>\sigma_N</math> [kN/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Pila 2</b>	0	-250	0	-250
	10	-550	0	-550
<b>Pila 1</b>	0	-210	-150	-60
	22	-550	-300	-250
<b>Spalla 1</b>	0	0	0	0
	22	-700	-350	-350

Figura 8.12 - Valori di spinta linearizzati monte-valle per i pozzi di formazione in condizione di drenaggio attivo e  $\beta=1$

I valori riportati in tabella sono stati assunti per il dimensionamento e la verifica dei pozzi di fondazione; per le verifiche si rimanda agli appositi elaborati di progetto.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>64 di 72</b>

## 9 STIMA INCIDENZA ARMATURE PALI

### 9.1 PALI SETTI STABILIZZANTI

Tabella ferri						
ARMATURA SETTI SS-SPA D1500mm LUNGH. MEDIA = 28 m						
POS.	N.	DIAM.	LUNG. (cm)	P.U.	LUNG. TOT. (cm)	PESO (kg)
1	32	32	1200	6.313	38400	2424
2	32	32	1200	6.313	38400	2424
3	32	32	850	6.313	27200	1717
7	1	14	68773.64992	1.208	68773.64992	831
8	1	14	58457.60244	1.208	58457.60244	706
9	1	14	38398.62121	1.208	38398.62121	464
11	21	26	450	4.168	9450	394

**Kg**

**8961**

AREA PALO (m<sup>2</sup>)                      **1.77**

LUNGH. PALO (m)                      **28.00**

VOLUME (m<sup>3</sup>)                      **49.46**

INCIDENZA DI CALCOLO (kg/m<sup>3</sup>)                      **181.2**

Incremento percentuale % (\*)                      **2.5**

INCIDENZA DI PROGETTO (kg/m<sup>3</sup>)                      **185.7**

APPALTATORE: Consorzio Soci <b>HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 65 di 72

## 9.2 PALI OPERE SOSTEGNO OS1-OS2

Tabella ferri						
ARMATURA SETTI SS-SPA D1500mm LUNGH. = 28 m						
POS.	N.	DIAM.	LUNG. (cm)	P.U.	LUNG. TOT. (cm)	PESO (kg)
1	36	32	1200	6.313	43200	2727
2	36	32	1200	6.313	43200	2727
3	36	32	850	6.313	30600	1932
6	0	30	840	5.549	0	0
7	1	14	68773.64992	1.208	68773.64992	831
8	1	14	58457.60244	1.208	58457.60244	706
9	1	14	38398.62121	1.208	38398.62121	464
11	21	26	450	4.168	9450	394

<b>Kg</b>	<b>9782</b>
AREA PALO (m <sup>2</sup> )	<b>1.77</b>
LUNGH. PALO (m)	<b>28.00</b>
VOLUME (m <sup>3</sup> )	<b>49.46</b>
INCIDENZA DI CALCOLO (kg/m <sup>3</sup> )	<b>197.8</b>
Incremento percentuale % (*)	<b>2.5</b>
INCIDENZA DI PROGETTO (kg/m <sup>3</sup> )	<b>202.7</b>

## 9.3 PALI OPERE DI SOSTEGNO OS3÷OS7

Tabella ferri						
ARMATURA SETTI OS D1500mm LUNGH. MEDIA = 28 m						
POS.	N.	DIAM.	LUNG. (cm)	P.U.	LUNG. TOT. (cm)	PESO (kg)
1	26	30	1200	5.549	31200	1731
2	26	30	1200	5.549	31200	1731
3	26	30	850	5.549	22100	1226
7	1	12	25814.09932	0.888	25814.09932	229
8	1	12	21941.98442	0.888	21941.98442	195
9	1	12	14412.87212	0.888	14412.87212	128
11	21	26	450	4.168	9450	394

<b>Kg</b>	<b>5634</b>
AREA PALO (m <sup>2</sup> )	<b>1.77</b>
LUNGH. PALO (m)	<b>28.00</b>
VOLUME (m <sup>3</sup> )	<b>49.46</b>
INCIDENZA DI CALCOLO (kg/m <sup>3</sup> )	<b>113.9</b>
Incremento percentuale % (*)	<b>2.5</b>
INCIDENZA DI PROGETTO (kg/m <sup>3</sup> )	<b>116.8</b>

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 66 di 72

## 10 ALLEGATO 1 - Determinazione del contributo resistente limite dei pali: metodo di Viggiani (1981)

Per la valutazione del contributo resistente dei pali costituenti i "setti" a pettine vengono adottate le espressioni analitiche proposte da Viggiani (1981) per un palo rigido isolato di lunghezza  $L$ , infisso in uno strato instabile orizzontale denominato strato 1 di spessore  $l_1$  e un sottosuolo stabile denominato strato 2 per una lunghezza  $l_2 = \lambda l_1$ .

Nella trattazione proposta,  $T$  rappresenta il carico limite orizzontale del palo,  $c_u$  rappresenta la resistenza non drenata del terreno,  $M_y$  rappresenta il momento di plasticizzazione del palo,  $L$  rappresenta la lunghezza del palo e  $D$  il diametro del palo.

La formulazione è valida per condizioni non drenate, in cui entrambi gli strati sono modellati come mezzi rigido-plastici e caratterizzati da resistenze non drenate pari rispettivamente a  $c_{u1}$  e  $c_{u2}$ . Seguendo l'approccio proposto da Broms (1964), si individuano 6 possibili meccanismi di rottura, corrispondenti a pali infinitamente resistenti (meccanismi A, B, C) e pali con possibili formazioni di cerniere plastiche ovvero con valori finiti del momento di plasticizzazione  $M_y$  (meccanismi B1, BY, B2) rappresentati in figura.

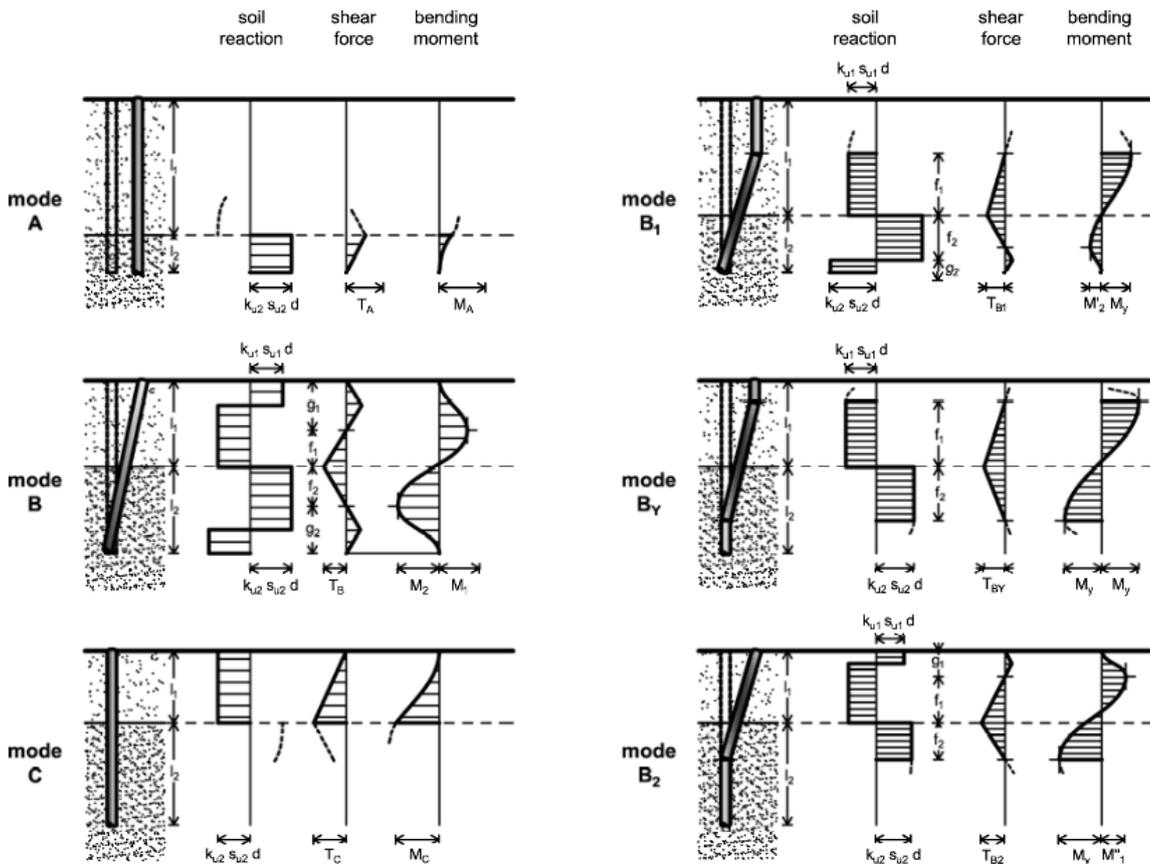


Figura 10.1- - Meccanismi di rottura di palo infinitamente resistente (colonna sinistra) e di palo con cerniere plastiche

Si definiscono le quantità adimensionali:

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>								
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>67 di 72</b>

$$\frac{T_A}{k_2 \cdot c_{u,2} \cdot D \cdot l_2} = 1$$

$$\frac{T_B}{k_1 \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1} = \sqrt{\left(\frac{1+\lambda}{1+\chi}\right)^2 + \frac{\lambda^2 + \chi}{\chi \cdot (1+\chi)} - \frac{1+\lambda}{1+\chi}}$$

$$\frac{M_1}{k_1 \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1^2} = \frac{1}{4} \cdot \left(1 - \frac{T_B}{k \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1}\right)^2$$

$$\frac{M_2}{k_1 \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1^2} = \frac{1}{4 \cdot \chi} \cdot \left(\lambda - \frac{T_B}{k_1 \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1}\right)^2$$

$$\frac{T_C}{k_1 \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1} = 1$$

$$\frac{T_{B1}}{k_1 \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1} = \frac{\lambda}{\chi + 2} \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot \chi + 2}{\lambda} + \frac{\chi + 2}{\lambda^2} \cdot \frac{4 \cdot M_y}{k_1 \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1^2}} - 1\right)$$

$$\frac{M_2'}{k_1 \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1^2} = \frac{1}{4 \cdot \chi} \cdot \left(\lambda - \chi \cdot \frac{T_{B1}}{k_1 \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1}\right)^2$$

$$\frac{T_{B2}}{k_1 \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \chi} \cdot \left(\sqrt{1 + (1 + 2 \cdot \chi) \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot M_y}{k_1 \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1^2}\right)} - 1\right)$$

$$\frac{M_1''}{k_1 \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1^2} = \frac{1}{4} \cdot \left(1 - \frac{T_{B2}}{k_1 \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1}\right)^2$$

$$\lambda' = \chi \cdot \frac{\sqrt{2 + 2\chi} - 1}{1 + 2\chi}$$

$$\lambda'' = \chi + \sqrt{2\chi^2 + 2\chi}$$

$$\bar{\chi} = \frac{2M_y}{k_1 \cdot c_{u,1} \cdot D \cdot l_1^2} - 1$$

$$\bar{\lambda} = \chi \cdot \sqrt{\frac{1 + \bar{\chi}}{1 + \chi}}$$

Dove:

k<sub>1</sub>=costante di reazione del palo nella porzione instabile;

k<sub>2</sub>=costante di reazione del palo nella porzione stabile;

In accordo a quanto proposto da Viggiani i valori adottati per le costanti di reazione sono: k<sub>2</sub>=8 e k<sub>1</sub>=4.

Per determinare quale sarà il meccanismo di collasso a cui andrà soggetto il palo occorre seguire il diagramma di flusso riportato in figura che permette di determinare il meccanismo di rottura del palo e di conseguenza il valore T<sub>pile</sub> corrispondente:

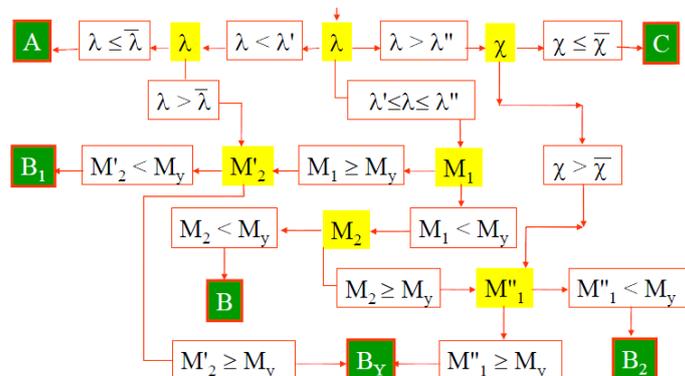
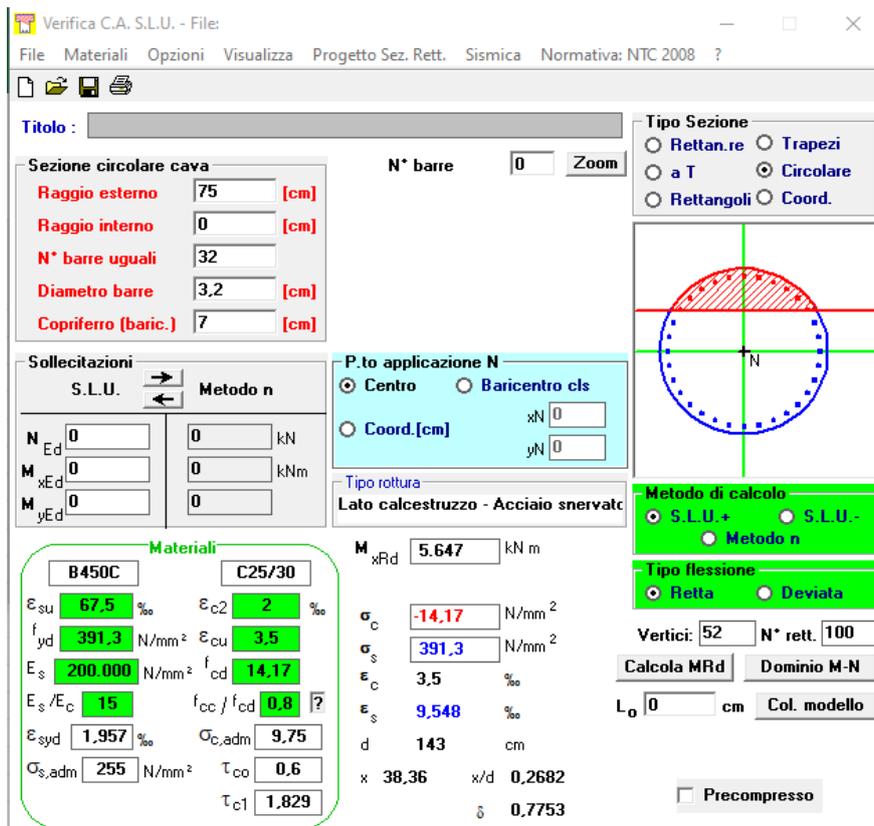


Figura 10.2 –diagramma di flusso per la determinazione della modalità di rottura del palo e del T<sub>pile</sub> corrispondente

APPALTATORE: Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>68 di 72</b>
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>						

I pali, con  $M_{y(N=0)} \approx 5650$  kNm, attraversano per i primi 20÷22m il deposito in frana a cui viene assegnata una  $c_u \approx 80$  kPa e per i restanti 8m la formazione integra caratterizzata da  $c_u \approx 250$  kPa. Sotto queste condizioni il carico limite orizzontale geotecnico risulta associato ad un modo di rottura a palo lungo (TBy) legato alla formazione di una doppia cerniera plastica e pertanto dipendente dal valore del momento plastico  $M_y$  del palo.

Il valore del momento plastico  $M_y$  è determinato considerando per il palo un'armatura composta da 32  $\phi 32$  secondo la geometria nello schema di figura seguente.



Il valore del taglio resistente TBy corrispondente risulta pari a 3050 kN.

$M_1$	12083	(kNm)		$T_A$	24000	(kN)
$M'_1$	19014	(kNm)		$T_B$	5743	(kN)
$M_y$	5650	(kNm)		$T_{B1}$	3241	(kN)
$M_2$	27775	(kNm)		$T_{By}$	3058	(kN)
$M'_2$	35912	(kNm)		$T_{B2}$	4518	(kN)

$\chi$	$\lambda'$	$\lambda$	$\lambda''$	$\underline{\chi}$	$\underline{\lambda}$
0,160	0,063	0,364	0,769	-0,951	0,033

L'armatura a taglio necessaria per assicurare la resistenza di progetto TBy è pari a:

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>69 di 72</b>

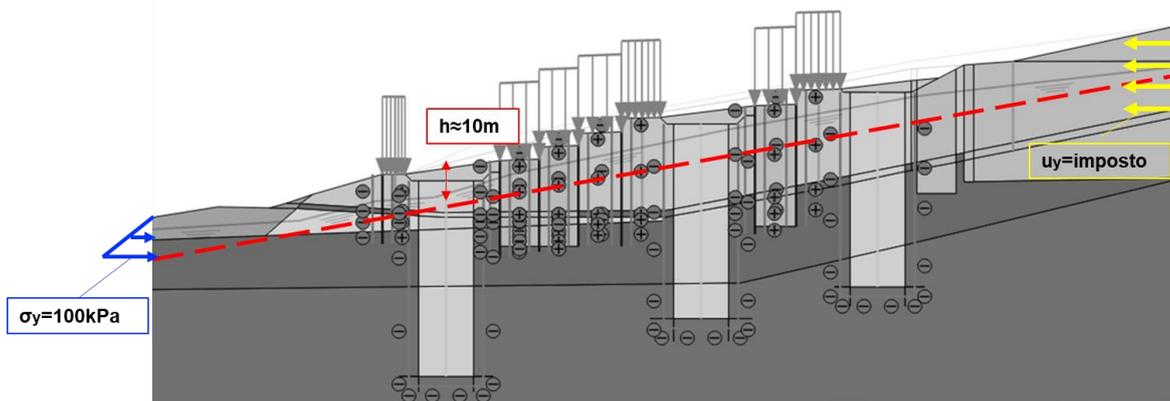
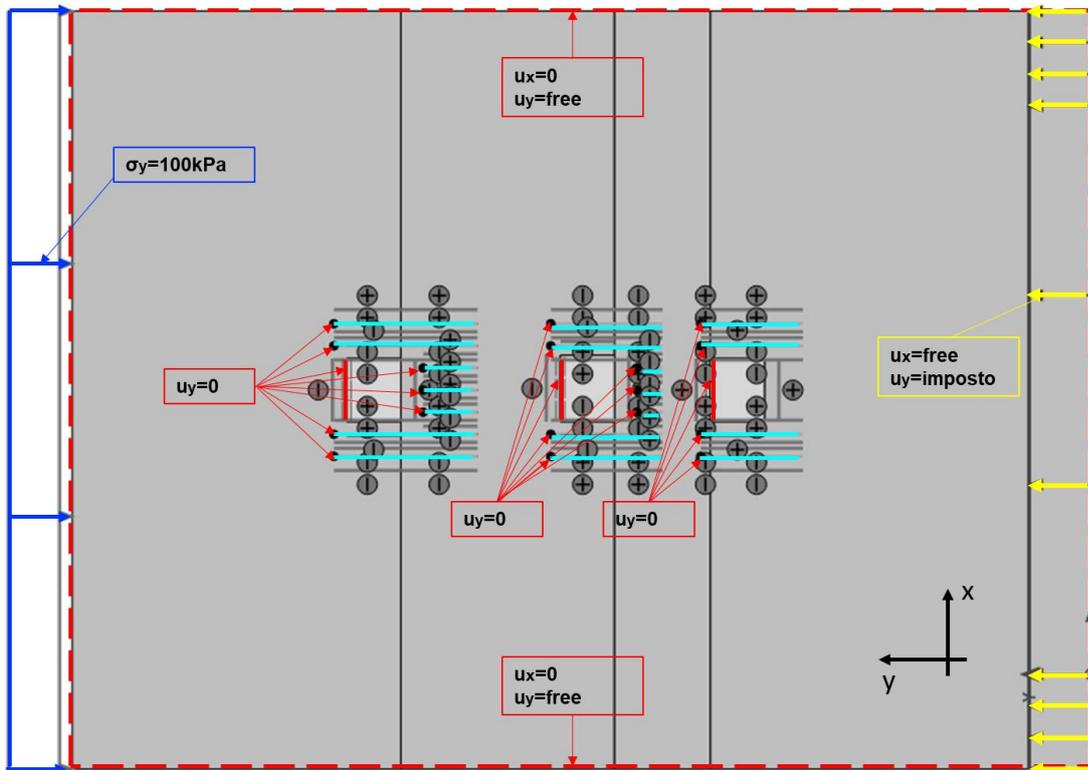
<b>armatura a taglio</b>			
Tipo	$\phi$ [mm]	$\rho$ [cm]	$A_{sw}$ [cm <sup>2</sup> ]
<b>spirale</b>	<b>14</b>	<b>7.5</b>	3.08

<b>taglio</b>	
$V_{Rdc}$	411.6 [kN]
predisporre armatura a taglio	
$V_{Rds}$	3178.5 [kN]
$V_{Rdmax}$	3960.6 [kN]
$\theta$	25.0 [°]
sezione	duttile

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      WEBUILD S.P.A.                      ASTALDI S.P.A.</b>			<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.                      ALPINA S.P.A.</b>								
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>			COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>V ZZ CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0302 281</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>70 di 72</b>

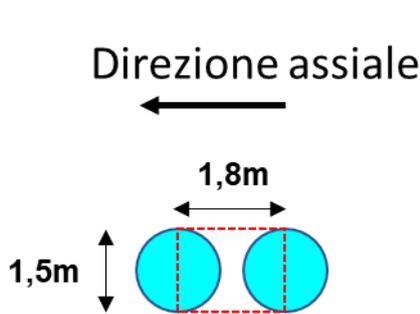
## 11 ALLEGATO 2 – Sollecitazioni agenti sul setto perimetrale (fra A-A' e C-C')

Per la valutazione delle sollecitazioni sul setto di bordo fra sezione A-A' e C-C', il cui contributo resistente viene trascurato nelle analisi effettuate, è stato sviluppato un modello numerico semplificato che rappresenta l'area del viadotto ad una profondità media di 10m da p.c.



APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV WEBUILD S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ CL	DOCUMENTO VI0302 281	REV. B	FOGLIO 71 di 72

Il modello, è costituito da un unico terreno di peso trascurabile con le proprietà meccaniche della unità UG1, dai pozzi, praticamente indeformabili ed elastici e dai setti a cui è stata data una deformabilità assiale paria alla rigidzza pesata cls terreno in asse al setto secondo lo schema seguente:



$$A_{palo/1,8} = \pi \cdot \left(\frac{1,5}{2}\right)^2 = 1,77m^2$$

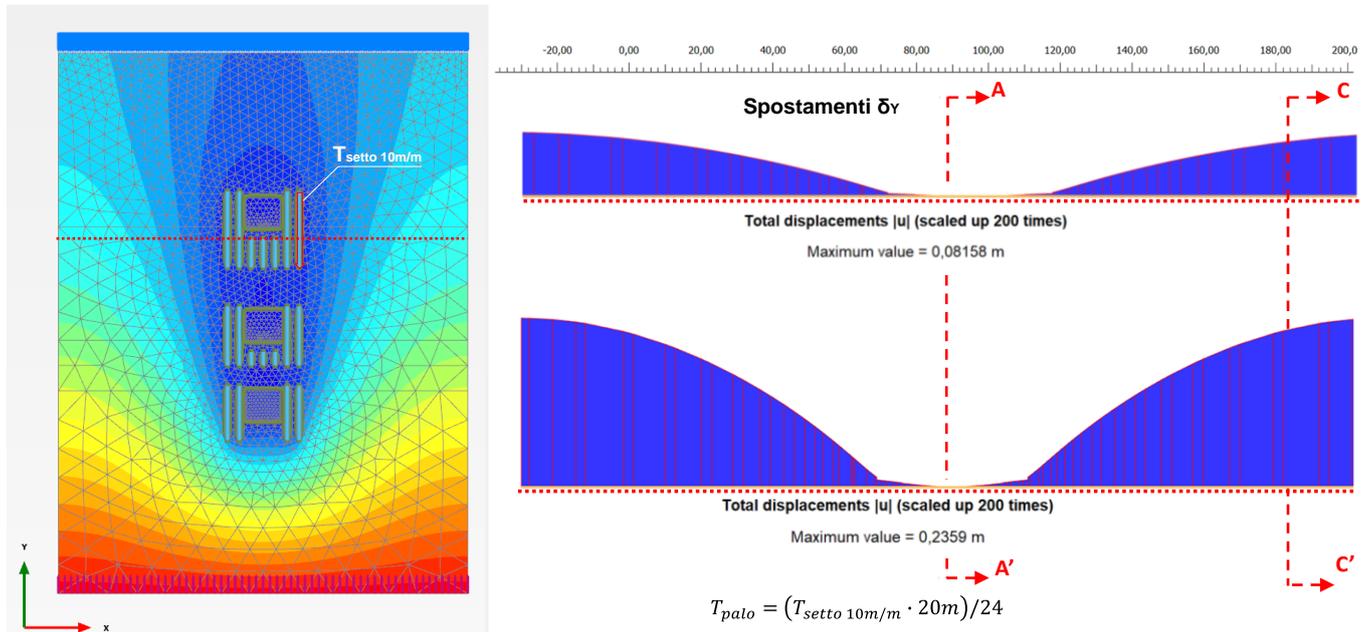
$$A_{terr/1,8} = 1,5 \cdot 1,8 - A_{palo} = 0,93m^2$$

$$EA_{setto} = \left( E_{palo} \cdot \frac{A_{palo}}{1,8} + E_{terr} \cdot \frac{A_{terr}}{1,8} \right) / 1,8$$

$$= \frac{(25000000 \cdot 1,77 + 20000 \cdot 0,93)}{1,8} \approx 24000000kPa$$

Lo stato tensionale è determinato imponendo in una prima fase una pressione di bordo  $\sigma_h$  uguale a  $\sigma_v$  ( $k_0=1$ ) e mantenendo fermo il bordo destro.

In una seconda fase, dopo aver attivato e vincolato pozzi e setti al bordo destro viene assegnato uno spostamento imposto  $\delta_y$  tale da determinare in corrispondenza della pila di valle una deformazione differenziale fra sezione in asse viadotto A-A' ed esterna C-C confrontabile con quella plastica determinata in Figura 8.9 (circa 7cm in condizioni drenate e circa 24 in condizioni di mancanza di drenaggio).



La forza tagliante media sul setto alla profondità di 10m ( $T_{setto10m/m}$ ) a valle dello spostamento viene integrata sulla altezza di frana ( $h=20m$ ) e presa in carico in egual misura da ciascuno dei 24 pali del setto in virtù della presenza della trave di ripartizione.

$$T_{palo} = (T_{setto10m/m} \cdot 20m) / 24$$

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>WEBUILD S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> <b>Relazione di calcolo opere di stabilizzazione versante Est</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>V ZZ CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>VI0302 281</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>72 di 72</b>

Si avrà dunque:

- nel caso di drenaggio attivo (Sez. C-C' permanente, ID=T)
  - $\delta_y \approx 7$  cm;
  - $T_{setto\ 10m/m} \approx 800$  kN/m;
  - $T_{palo} \approx 350$  kN/m.
- nel caso di drenaggio non attivo (Sez. C-C' permanente, ID=V)
  - $\delta_y \approx 24$  cm;
  - $T_{setto\ 10m/m} \approx 1100$  kN/m;
  - $T_{palo} \approx 920$  kN/m.

Tali valori di sollecitazione possono essere presi in carico dai setti perimetrali la cui soglia di resistenza al taglio può essere cautelativamente stimata pari a circa 3100kN (cfr. T<sub>BY</sub> Cap. 10 ALLEGATO 1).