

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:  
CONSORZIO:



SOCI:



PROGETTAZIONE:  
MANDATARIA:



MANDANTI:



## PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

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

TRATTE ALL'APERTO - AMBITO DEPOSITI FRANA GALLERIA GROTTAMINARDA

Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA AV Il Direttore Tecnico Ing. Vincenzo Moriello 11/03/2022	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani 11/03/2022	 Ing. G. Cassani

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	SCALA:
IF28	01	V	ZZ	RB	OC0101	001	B	-

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per consegna	M. Di Minico	26/11/2021	A. Zimbaldi	26/11/2021	M. Gatti	26/11/2021	Ing. G. Cassani    11/03/2022
B	Revisione per istruttoria	M. Di Minico	11/03/2022	A. Zimbaldi	11/03/2022	M. Gatti	11/03/2022	

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</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>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 2 di 57

## Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>6</b>
3.1	<b>LEGGI E NORMATIVE COGENTI .....</b>	<b>6</b>
3.2	<b>NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI.....</b>	<b>6</b>
3.3	<b>PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF).....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....</b>	<b>7</b>
4.1	<b>DOCUMENTI REFERENZIATI.....</b>	<b>7</b>
4.2	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>7</b>
4.3	<b>DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>FASE CONOSCITIVA.....</b>	<b>9</b>
5.1	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>PROCEDURA OPERATIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI .....</b>	<b>13</b>
7.1	<b>NOTE GENERALI .....</b>	<b>13</b>
7.2	<b>ELABORAZIONE PROVE DI LABORATORIO.....</b>	<b>13</b>
7.2.1	<b>PROPRIETA' FISICHE.....</b>	<b>13</b>
7.2.2	<b>PROPRIETA' MECCANICHE .....</b>	<b>13</b>
7.3	<b>ELABORAZIONE PROVE IN SITU.....</b>	<b>14</b>
7.3.1	<b>NOTE INTRODUTTIVE .....</b>	<b>14</b>
7.3.2	<b>PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (SPT).....</b>	<b>14</b>
7.3.3	<b>PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA PIEZOCONICA (CPTu).....</b>	<b>20</b>
7.3.4	<b>POCKET PENETROMETER.....</b>	<b>23</b>
7.3.5	<b>PROVE PRESSIOMETRICHE.....</b>	<b>23</b>
7.3.6	<b>PROVE DILATOMETRICHE.....</b>	<b>23</b>
7.3.7	<b>PROVE LEFRANC .....</b>	<b>23</b>
7.4	<b>DETERMINAZIONE MODULI ELASTICI OPERATIVI .....</b>	<b>24</b>
<b>8</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>25</b>
8.1	<b>NOTE INTRODUTTIVE .....</b>	<b>25</b>
8.2	<b>INDAGINI DISPONIBILI .....</b>	<b>26</b>
8.3	<b>UNITÀ FYR – CORPO DI FRANA .....</b>	<b>27</b>

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio  Soci  	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>																	
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria  Mandanti  	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>3 di 57</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	3 di 57
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	3 di 57													
<b>PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale																		

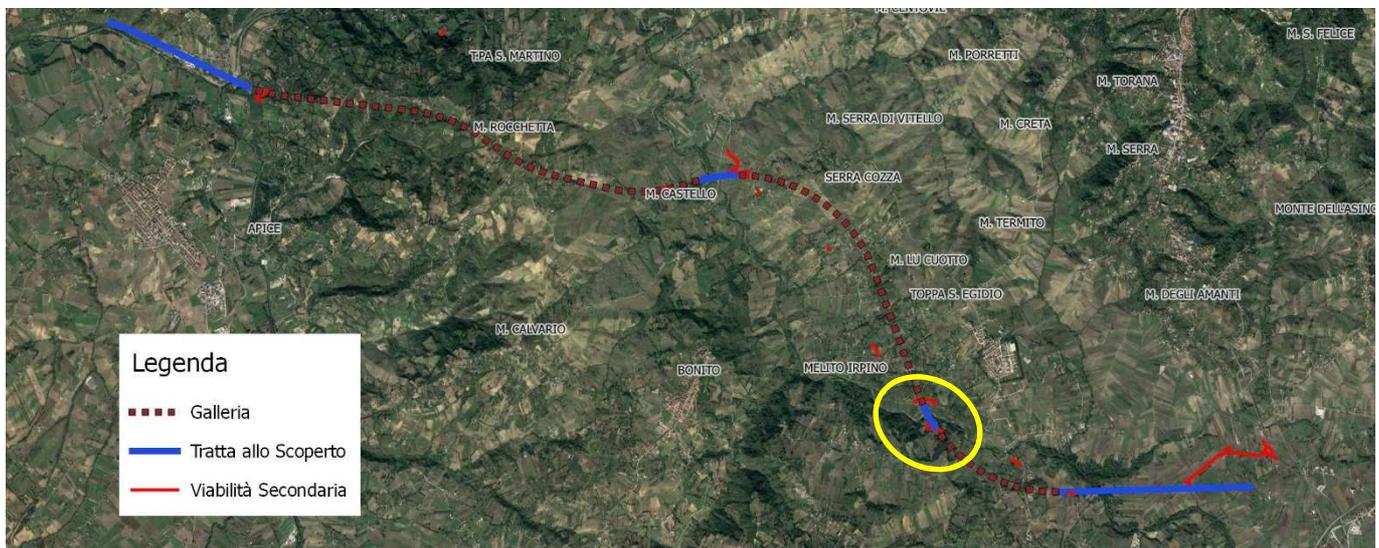
8.3.1	DESCRIZIONE GEOLOGICO-STRATIGRAFICA – UNITÀ FYR – CORPO DI FRANA .....	27
8.3.2	PROPRIETÀ FISICHE – UNITÀ FYR – CORPO DI FRANA.....	28
8.3.3	PROPRIETÀ MECCANICHE DI RESISTENZA – UNITÀ FYR – CORPO DI FRANA.....	32
8.3.4	PROPRIETÀ MECCANICHE DI DEFORMABILITÀ – UNITÀ FYR – CORPO DI FRANA.....	35
8.3.5	CONDUCIBILITÀ IDRAULICA – UNITÀ FYR – CORPO FRANA.....	37
8.4	UNITÀ FYRC .....	38
8.4.1	DESCRIZIONE GEOLOGICO-STRATIGRAFICA – UNITÀ FYRC .....	38
8.4.2	PROPRIETÀ FISICHE – UNITÀ FYRC .....	38
8.4.3	PROPRIETÀ MECCANICHE DI RESISTENZA – UNITÀ FYRC .....	42
8.4.4	PROPRIETÀ MECCANICHE DI DEFORMABILITÀ – UNITÀ FYRC.....	45
8.4.5	CONDUCIBILITÀ IDRAULICA – UNITÀ FYRC .....	47
8.5	MONITORAGGIO PIEZOMETRICO .....	48
8.6	QUADRO DI SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI .....	51
<b>9</b>	<b>ANALISI CHIMICHE .....</b>	<b>52</b>
9.1	NOTE INTRODUTTIVE .....	52
9.2	ESITO DELLE ANALISI.....	53
<b>10</b>	<b>BACK-ANALYSIS DELLA SUPERFICIE DI FRANA .....</b>	<b>54</b>

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGILO 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> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 4 di 57

## 1 PREMESSA

La presente relazione illustra e riassume i risultati dello studio di caratterizzazione geotecnica nell'ambito dei depositi di frana della tratta all'aperto compresa tra la pk 4+695 e la pk 5+090 a supporto del progetto esecutivo di Variante 21 della galleria Grottaminarda, inclusa nel raddoppio ferroviario della tratta compresa tra Apice ed Orsara, sulla linea Caserta – Foggia, itinerario Napoli – Bari.

L'inquadramento geotecnico – geomeccanico delle unità interagenti con il tracciato in sotterraneo è completato dalla "Relazione di caratterizzazione geotecnica geomeccanica generale" [13].



**Figura 1-1 – Inquadramento del tracciato e della tratta in esame**

La seguente relazione geotecnica di variante è principalmente costituita da 2 parti: la prima parte riguarda la determinazione dei parametri caratteristici di rigidità e di deformabilità dei terreni presenti nella zona di imbocco, mentre nella seconda parte si procede alla individuazione della superficie di scorrimento alla base del corpo di frana, in funzione dei dati di monitoraggio attualmente a disposizione, e dei relativi parametri residui.

Nell'elaborato IF2801VZZRGGE0101001 "Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+09, Relazione geologica, geomorfologica generale" è riportata l'evoluzione dell'assetto geologico-geomorfologico dell'imbocco, partendo da quanto presentato in PD a quanto prodotto in PE e PED, fino all'ultimo aggiornamento comprensivo della campagna integrativa.

I dati raccolti nelle campagne d'indagine pregresse sono raccolti in 3 documenti:

- IF2801VZZSGGE0005001 "Sondaggi geognostici e prove in foro"
- IF2801VZZIGGE0005001 "Indagini geofisiche"
- IF2801VZZPRGE0005001 "Prove di laboratorio".

Nella "Relazione generale illustrativa" IF2801VZZRGGE0205002 sono descritte le indagini integrative, i cui risultati sono raggruppati in 3 documenti:

- IF2801VZZSGGE0205001 "Sondaggi e prove in situ - Documentazione tecnica "
- IF2801VZZIGGE0205001 "Indagini geofisiche - Documentazione tecnica "
- IF2801VZZPRGE0205001 "Prove di laboratorio - Documentazione tecnica "

Le indagini integrative sono riportate in planimetria e in sezione negli elaborati grafici:

- IF2801VZZP6GE0205001 "Indagini integrative - Planimetria di inquadramento"
- IF2801VZZF6GE0205001 "Indagini integrative geognostiche - Profilo e Sezioni AA-BB"

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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>IF28</td> <td>01</td> <td>V ZZ RB</td> <td>OC0101 001</td> <td>B</td> <td>5 di 57</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF28	01	V ZZ RB	OC0101 001	B	5 di 57													
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>																		

La ricostruzione geologica aggiornata in base agli ultimi dati a disposizione è riportata graficamente nelle tavole:  
 IF2801VZZN7GE0101001 "Carta geologico - geomorfologica"  
 IF2801VZZFZGE0101001 "Profilo asse tracciato - Sezioni AA - BB area versante in frana"

Il PEV della Variante n°21, il cui studio è stato autorizzato con ODS 668, sviluppato in ragione del cinematismo in essere sul versante dell'imbocco Grottaminarda NA, presuppone l'esecuzione di n° 05 pozzi a protezione e rinforzo delle opere d'imbocco, del sedime della linea ferroviaria, nonché della spalla "A" e della pila "P1" del viadotto VI02. A seguito dei colloqui tecnici intercorsi tra il Consorzio HIRPINIA e ITALFERR il 11/02/2022 e il 14/02/2022, successivi alle istruttorie al PEV, nonché alle indicazioni contenute all'interno delle stesse in merito alla richiesta di "ri-fasizzazione" delle opere, è stata valutata l'ipotesi di eseguire in prima fase, oltre alle opere provvisorie d'imbocco, quelle di sottofondazione della spalla SPA e pila P1, procrastinando in seconda fase l'esecuzione di tutti i pozzi di schermatura e drenaggio, nonché l'opera di fondazione a presidio della linea ferroviaria tra SPA e imbocco GI02. Tale richiesta è motivata dall'esigenza di approfondire, quanto più possibile compatibilmente con le tempistiche di esecuzione delle opere, la conoscenza del modello geologico sulla base dei risultati del monitoraggio geotecnico in corso d'opera che potrebbe portare a riconsiderare il progetto dei pozzi di protezione.

Il modello geologico alla base dello studio di variante essenzialmente è basato sui dati desunti dagli inclinometri VI02\_1, VI02\_2, B01, B02 e sulle evidenze geomorfologiche di versante, nonché sulla delimitazione del corpo di frana cartografato come stabilizzato nelle precedenti fasi progettuali.

A seguito dei succitati confronti avuti con ITF, HAV ha rivisitato tale modello tenendo in conto anche delle letture effettuate tra novembre 2021 e febbraio 2022, della strumentazione installata nell'ottobre 2021 per lo sviluppo del PED. Tale rivisitazione ha comportato una diminuzione dello spessore del corpo di frana nella parte superiore del versante e una conferma della coltre in movimento nella parte inferiore del versante. Si evidenzia quanto segue:

- Relativamente alla porzione di monte del versante, l'unico aggiornamento disponibile a Febbraio 2022 riguarda l'inclinometro B01. Da quest'ultima lettura risulterebbe uno spostamento di 0,2mm in superficie, che va a zero a profondità di 2,00m. Tale supposto incremento si va a sommare al movimento precedente pari a 0,3mm, per un totale di 0,5mm. Pertanto i dati di spostamento rilevati fino a questo momento non si possono ritenere ad oggi del tutto significativi, anche se possono rappresentare un primo indizio da verificare con il proseguo del monitoraggio, nello spirito del metodo osservazionale adottato.
- Per quanto riguarda l'estensione verso monte della superficie di scorrimento del movimento franoso, sulla base dei dati forniti il movimento risulta chiaramente rilevato nel B02 a partire da circa 9m di profondità ad indicare, apparentemente, una emersione dell'ipotetico piano di scorrimento rilevato a circa 20 metri nella parte bassa del versante (rif. Inclinometri VI02-1 e VI020-2).
- L'ipotesi formulata dall'Appaltatore che prolunga la superficie di scorrimento fino all'inclinometro B01, sulla base dei dati fin qui esaminati, si deve considerare un'ipotesi cautelativa basata, al momento, principalmente su evidenze morfologiche (quale la rottura di pendenza del versante) e sugli indizi derivati dalle prime attività di monitoraggio che dovranno necessariamente essere confermati con le prossime letture.
- In ogni caso, il modello della frana così concepito può essere considerato accettabile allo scopo di formulare un'ipotesi cautelativa finalizzata al dimensionamento delle fondazioni del viadotto e delle opere provvisorie d'imbocco nella fase attuale di progettazione.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 6 di 57

## 2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione è dapprima esposto un inquadramento geologico, geomorfologico del contesto in esame, quindi sono di seguito esposti i criteri generali e le procedure operative utilizzate per l'implementazione della caratterizzazione geotecnica dei terreni posti lungo il tracciato dell'opera.

A seguire è descritta dettagliatamente la serie di elaborazioni condotte per pervenire all'identificazione dei parametri fisico – meccanici di progetto, per ciascuna unità geotecnica individuata.

Nello studio si è fatto riferimento ai risultati delle indagini integrative per il progetto di variante, oltre che ai risultati della campagna di indagini geognostiche in sito appositamente realizzate nel corso del 2021 in fase di Progettazione Esecutiva di Dettaglio e ai risultati delle campagne indagini pregresse svolte in fase di Progettazione esecutiva (2019), Progettazione Definitiva [7] (2015 e 2017) e Preliminare [6] (2008).

## 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

### 3.1 LEGGI E NORMATIVE COGENTI

Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 14/01/2008, "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";

Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°617 del 02/02/2009, "Istruzioni per l'applicazione delle "nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14/01/2008".

### 3.2 NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI

Rif. [3] SIG, "Linee guida per la progettazione, l'appalto e la costruzione di opere in sotterraneo", 1997.

### 3.3 PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF)

Rif. [4] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 A "Manuale di Progettazione delle opere civili" datato Dic 2016;

Rif. [5] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 "Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali" datato Dicembre 2015.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 7 di 57

## 4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

### 4.1 DOCUMENTI REFERENZIATI

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

Rif. [6] ITALFERR, Progetto Preliminare (2007);

Rif. [7] ITALFERR, Progetto Definitivo (2017)

### 4.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Nel presente documento si fa inoltre riferimento ai seguenti elaborati allegati al progetto:

Rif. [8] U. O. Geologia, documento n° IF2801EZZRGGE0101001, “Relazione geologica generale”;

Rif. [9] U. O. Geologia, documento n° IF2801EZZRGGE0103001, “Relazione geomorfologica generale”;

Rif. [10] U. O. Geologia, documento n° IF2801EZZRGGE0102001, “Relazione idrogeologica generale”;

Rif. [11] U. O. Geologia, documento n° IF2801VZZRGGE0101001, “Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+09, Relazione geologica, geomorfologica generale”;

Rif. [12] U. O. Geotecnica, documento n° IF2801EZZRBOC0101001, “Relazione geotecnica generale “;

Rif. [13] U. O. Geotecnica, documento n° IF2801EZZRBOC0201001, “Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale “;

Rif. [14] U. O. Geologia, documento n° IF2801VZZSGGE0005001, “Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+09 - Sondaggi geognostici e prove in foro”;

Rif. [15] U. O. Geologia, documento n° IF2801VZZIGGE0005001, “Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+09” Indagini geofisiche”;

Rif. [16] U. O. Geologia, documento n° IF2801VZZPRGE0005001, “Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+09, Prove di laboratorio”;

Rif. [17] U. O. Geologia, documento n° IF2801EZZRHGE0105001, “Monitoraggio geotecnico - Documentazione tecnica”;

Rif. [18] U. O. Geologia, documento n° IF2801VZZRGGE0205002, “Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+09” Relazione generale illustrativa”;

Rif. [19] U. O. Geologia, documento n° IF2801VZZRHGE0205001, “Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+09, Monitoraggio geotecnico - Documentazione tecnica”;

Rif. [20] U. O. Geologia, documento n° IF2801VZZSGGE0205001, “Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+09, Sondaggi geognostici e prove in foro”;

Rif. [21] U. O. Geologia, documento n° IF2801VZZIGGE0005001, “Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+09, Indagini geofisiche”;

Rif. [22] U. O. Geologia, documento n° IF2801VZZPRGE0005001, “Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+09, Prove di laboratorio”.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td data-bbox="726 302 853 369"> <b>COMMESSA</b>  IF28 </td> <td data-bbox="853 302 965 369"> <b>LOTTO</b>  01 </td> <td data-bbox="965 302 1109 369"> <b>CODIFICA</b>  V ZZ RB </td> <td data-bbox="1109 302 1284 369"> <b>DOCUMENTO</b>  OC0101 001 </td> <td data-bbox="1284 302 1380 369"> <b>REV.</b>  B </td> <td data-bbox="1380 302 1474 369"> <b>FOGLIO</b>  <b>8 di 57</b> </td> </tr> </table>						<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> <b>8 di 57</b>
<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> <b>8 di 57</b>							
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>												

### 4.3 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

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

Rif. [23] U. O. Geologia, documento n° IF2801VZZP6GE0205001, “Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+09” Indagini integrative - Planimetria di inquadramento”;

Rif. [24] U. O. Geologia, documento n° IF2801VZZF6GE0205001, “Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+09, Indagini integrative geognostiche - Profilo e Sezioni AA- BB”.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 9 di 57

## 5 FASE CONOSCITIVA

### 5.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Per quanto riguarda le caratteristiche geologiche e geomorfologiche per la tratta in esame si rimanda al documento specialistico n°IF2801VZZRGGE0101001 “Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+09, Relazione geologica, geomorfologica generale” [11].

La ricostruzione geomorfologica di PD rilevava la presenza di alcuni corpi di frana quiescente non interferenti con le opere a progetto, ma che rasentavano il tracciato ferroviario.

Nella fase di PE, sulla base dei sondaggi integrativi, dell’analisi delle foto aeree, dell’analisi dei dati e di un rilievo geomorfologico di dettaglio, è stata ripermetrata e definita la presenza di un corpo di frana (scivolamento rotazionale traslativo) stabilizzato. Il settore coinvolto dal fenomeno evidenzia la presenza, verso monte, di una evidente nicchia di distacco di forma arcuata, la cui porzione nord-occidentale è costituita da una dorsale in calcari. La morfologia della conca individuata dalla nicchia (linea verde) evidenzia un avvenuto processo di svuotamento. Nella porzione di nicchia di frana a monte dell’imbocco della galleria, costituita dalla suddetta dorsale, in base ai dati disponibili nella fase di PE, non si sono raccolte evidenze di attività in corso.

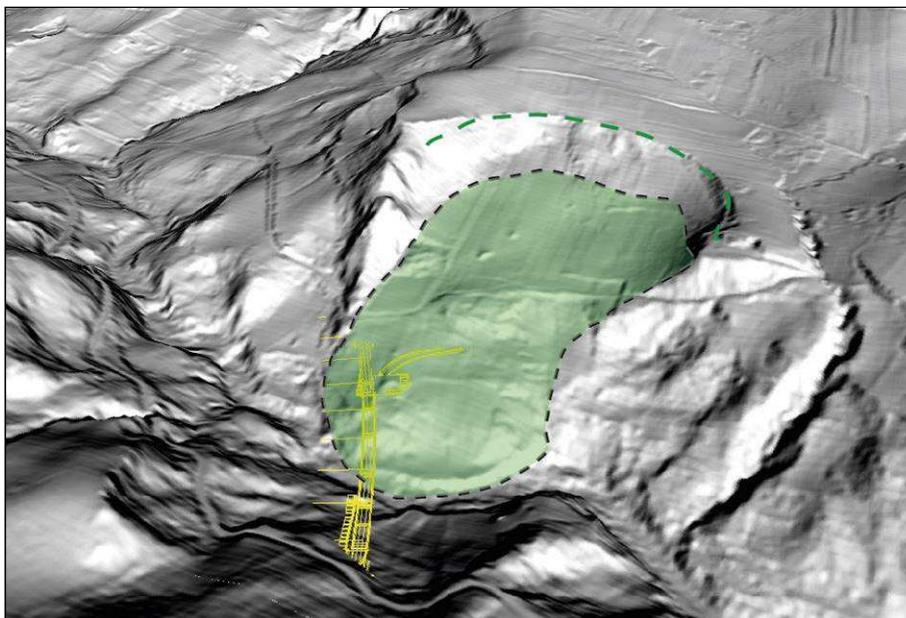


Figura 5-1 – Immagine Lidar del versante in esame

Dal punto di vista litologico – stratigrafico, i depositi sono costituiti da argille limose con intercalazioni sabbiose inglobanti elementi lapidei carbonatici di varia pezzatura, con alterazione più o meno pronunciata.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 10 di 57

All'interno del corpo di frana sono visibili, in affioramento, megablocchi di dimensione fino a decametrica, costituiti da brecce calcaree cementate derivanti dallo smembramento, all'interno del corpo di frana, di corpi sedimentari riferibili all'unità calcarea del Flysch Rosso.

I depositi di frana si estendono fra il piede della superficie che delimita la nicchia di distacco e la base del versante destro orografico della valle dell'Ufita, spingendosi quindi in parte anche sul versante opposto (destra idrografica) a quello da cui è partito il movimento.

Il corpo d'accumulo presenta morfologie molto dolci con blandi cambiamenti di pendenza che indicano un rimodellamento ben marcato.

La morfologia del corpo di accumulo presenta una conformazione priva di evidenze di deformazioni recenti (es. dossi, avvallamenti) e mostra un profilo pressoché rettilineo lungo la maggior parte del pendio.

Il Fiume Ufita incide la base del deposito di frana e, come riportato nella cartografia geomorfologica di PE, in prossimità del viadotto è presente un terrazzamento che rimodella parte della porzione inferiore del corpo di frana.

All'epoca dell'esecuzione dello studio geologico-geomorfologico di PE, la strada comunale che attraversa il corpo di frana non presentava lesioni o segni di deformazione.

In fase di studio geologico-geomorfologico di PE, la frana non presentava alcuna evidenza di riattivazione e le evidenze geomorfologiche, sopra sinteticamente descritte, consentivano di descrivere il fenomeno franoso come stabilizzato.

Nella fase di studio e emissione del PE sono stati installati inclinometri e piezometri per il monitoraggio del versante:

- Inclinometro VI02-1 (ubicato in corrispondenza della pila 1 del VI02)
- Inclinometro VI02-2 (ubicato in corrispondenza della Spalla A del VI02).

Le letture disponibili all'emissione degli elaborati di PE (da aprile a luglio 2020) non fornivano elementi utili per una loro interpretazione ed impiego nella definizione del quadro geomorfologico, mentre nella primavera del 2021, dopo uno storico di letture di circa 18 mesi, hanno fornito evidenza di deformazioni profonde.

- una mobilitazione profonda delle coltri argillose, con localizzazione dei massimi gradienti di spostamento differenziale fra le profondità di 20-21 m nel caso della verticale VI 02-1 e fra 18-19 m nel caso della verticale VI 02-2;
- una ulteriore deformazione locale che interessa i primi 3 metri di coltre, su entrambe le verticali monitorate.

I movimenti rilevati sono ragionevolmente da mettere in relazione all'elevata piovosità dell'inverno 20-21, che ha determinato, presumibilmente, anche un'accentuazione dell'azione erosiva del Torrente Ufita. E' importante rilevare che, nel periodo tra novembre 2020 e marzo 2021, i dati idrologici evidenziano che il Torrente Ufita ha registrato una variazione importante dell'altezza idrometrica, da un minimo di 0.5 m ad un massimo di 2.5-3.3 m.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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 data-bbox="726 302 853 365"> <b>COMMESSA</b>  IF28 </td> <td data-bbox="853 302 965 365"> <b>LOTTO</b>  01 </td> <td data-bbox="965 302 1109 365"> <b>CODIFICA</b>  V ZZ RB </td> <td data-bbox="1109 302 1284 365"> <b>DOCUMENTO</b>  OC0101 001 </td> <td data-bbox="1284 302 1380 365"> <b>REV.</b>  B </td> <td data-bbox="1380 302 1476 365"> <b>FOGLIO</b>  11 di 57 </td> </tr> </table>						<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 11 di 57
<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 11 di 57							
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>												

Alla luce del quadro restituito dagli inclinometri installati in fase di PE, si è reso quindi necessario procedere all'integrazione della strumentazione di monitoraggio geotecnico del versante in oggetto, per poter addivenire a un quadro interpretativo quanto più solido, nell'ottica di mettere in atto le migliori soluzioni progettuali a garanzia dell'esercizio della linea.

Nel seguito, dopo aver caratterizzato gli strati presenti nella zona di imbocco, nel paragrafo 10 verrà analizzata la stabilità della coltre in frana, a partire dal modello geologico di progetto.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 12 di 57

## 6 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO

Per la definizione del modello geotecnico dell'opera in progetto sono stati utilizzati i dati relativi alle campagne geotecniche pregresse di seguito elencate:

- Campagna indagini 1984-1985 (Concessione delle prestazioni integrate occorrenti per la progettazione definitiva del raddoppio e potenziamento della linea Caserta - Foggia e per la progettazione esecutiva e la realizzazione delle opere occorrenti per una prima fase di raddoppio e potenziamento della suddetta linea);
- Campagna indagini Italferr 2005 – Linea Apice Orsara
- Campagna indagini Italferr 2006 – Linea Caserta Foggia
- Campagna indagini Italferr 2008 - Progettazione preliminare per il "Raddoppio tratta Orsara – Apice - Soluzione Sud");
- Campagna indagini 2015 – Itinerario Napoli – Bari - Raddoppio Apice Orsara – Progetti DSI: PD Apice Orsara – Tratta Apice – Stazione Irpinia
- Campagna indagini 2017 – Itinerario Napoli – Bari - Raddoppio Apice Orsara – Progetto PD Apice Orsara – I Lotto Funzionale Apice – Hirpinia
- Campagna indagini 2019 – Itinerario Napoli – Bari - Raddoppio Apice Orsara – Progetto PE Apice Orsara – I Lotto Funzionale Apice – Hirpinia
- Campagna indagini 2021 – Itinerario Napoli – Bari - Raddoppio Apice Orsara – Progetto PED Apice Orsara – I Lotto Funzionale Apice – Hirpinia

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 13 di 57

## 7 PROCEDURA OPERATIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

### 7.1 NOTE GENERALI

L'attività di caratterizzazione oggetto del presente documento è finalizzata alla definizione dei parametri geotecnici che competono alle differenti unità individuate nella successione stratigrafica restituita dal Profilo Geologico.

Si propone qui di seguito l'iter logico/operativo seguito nell'attività di caratterizzazione condotta:

**Fase 1:** Identificazione delle unità omogenee da un punto di vista composizionale/litologico: stante la ricostruzione della successione litostratigrafica emersa dal Profilo Geologico, sono state preliminarmente individuate le unità geotecniche discriminate in funzione della dimensione prevalente dei grani; si è proceduto pertanto a distinguere le unità prevalentemente ghiaiose/sabbiose dalle unità a carattere marcatamente coesivo.

**Fase 2:** Elaborazione risultati prove in situ/in laboratorio/geofisiche afferenti alle singole unità: l'intero campione risultati dalle prove di laboratorio e delle prove in situ è stato filtrato analizzando separatamente tutte le determinazioni provenienti dai campioni prelevati entro la medesima unità litologicamente omogenea individuata (si veda punto precedente). Si è così finalizzata la caratterizzazione fisico-meccanica delle varie unità, individuando peraltro eventuali partizioni interne nell'ambito delle medesime, evidenziate da locali variazioni dei parametri geotecnici significativi.

**Fase 3:** Caratterizzazione geotecnica delle unità: sulla scorta delle elaborazioni condotte sui campioni dati afferenti alle specifiche unità litologicamente omogenee, si è definito il set di parametri geotecnici ad uso progettuale (parametri fisici, meccanici – resistenza e deformabilità), ovvero:

- peso di volume naturale ( $\gamma$ );
- coesione efficace ( $c'$ )
- angolo di attrito interno di picco ( $\phi$ )
- coesione non drenata ( $C_u$ )
- parametri fisici per la definizione delle proprietà idromeccaniche dei terreni (conducibilità idrauliche, coefficienti di consolidazione primaria e secondaria, modulo e coefficienti di compressibilità edometrici)
- modulo elastico a basse deformazioni ( $E_0$ ) – sulla base della disponibilità di prove per la caratterizzazione dinamica dei terreni
- moduli elastici operativi ( $E'$ ), desunti dai moduli elastici a piccole deformazioni e dalle risultanze dell'interpretazione delle prove in situ e in laboratorio.

### 7.2 ELABORAZIONE PROVE DI LABORATORIO

#### 7.2.1 PROPRIETA' FISICHE

Sono state studiate le seguenti proprietà fisiche a partire dai risultati delle prove di laboratorio geotecnico:

- peso specifico di volume
- limiti di Atterberg: limite liquido, plastico
- indici di plasticità e di consistenza

Le curve granulometriche sono state classificate secondo quanto riportato dalle Raccomandazioni AGI (1977).

#### 7.2.2 PROPRIETA' MECCANICHE

Le seguenti proprietà meccaniche di resistenza sono state valutate dai risultati delle prove di laboratorio:

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> <b>14 di 57</b>

### Angolo d'attrito efficace e coesione efficace

- Prova di taglio diretto consolidata drenata
- Prova triassiale consolidata non drenata
- Prova triassiale consolidata drenata

### Angolo d'attrito residuo e coesione residua

- Prova di taglio residuo

### Coesione non drenata

- Prova triassiale consolidata non drenata
- Prova triassiale non consolidata non drenata
- Prova di compressione non confinata

## **7.3 ELABORAZIONE PROVE IN SITU**

### **7.3.1 NOTE INTRODUTTIVE**

Sono descritte a seguire le procedure operative e le valutazioni progettuali nell'ambito dell'elaborazione delle prove geotecniche in situ:

- Prove penetrometriche dinamiche (SPT)
- Prove penetrometriche statiche con punta piezoconica (CPT)
- Pocket penetrometer
- Prove pressiometriche
- Prove dilatometriche
- Prove Lefranc

### **7.3.2 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (SPT)**

#### Densità Relativa (Dr)

La determinazione del parametro Dr è effettuata sulla base del valore N<sub>spt</sub> misurato nel corso delle prove penetrometriche adottando le correlazioni di natura empirica disponibili in letteratura.

Nell'ambito della presente attività di caratterizzazione, anche alla luce della riscontrata eterogeneità nella composizione granulometrica delle unità a frazione più grossolana, si è presupposta la corrispondenza fra i valori N<sub>SPT</sub> derivate da prove con campionatore a punta chiusa e campionatore standard a punta aperta, attingendo pertanto al set di correlazioni empiriche sviluppate per quest'ultima metodologia esecutiva.

L'interpretazione dei valori N<sub>spt</sub> al fine di ricostruire la distribuzione del parametro Dr con la profondità è stata condotta scegliendo le formulazioni qui di seguito esposte, in relazione all'affidabilità delle correlazioni medesime ed all'analogia fra contesto litologico di implementazione ed unità geotecnica di applicazione. Per ogni correlazione citata è fornita la relazione empirica N<sub>spt</sub> – Dr, corredata da eventuali note di commento.

#### Cubrinowski e Ishihara (1999)

Litologia di applicazione preferenziale: sabbie e ghiaie limose

$$D_r = \left\{ \frac{(N_{SPT})_{78\%} \cdot \left(0.23 + \frac{0.06}{D_{50}}\right)^{1.7}}{9} \cdot \left(\frac{98}{\sigma'_{v0}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{k_{0,NC}}{k_{0,OC}}\right)^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{2}} \cdot 100[\%]$$

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO 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</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 15 di 57

essendo:

- $D_r$  [%] = densità relativa
- $(N_{SPT})_{78\%}$  [/] = numero di colpi/30cm associabile ad un'energia trasferita alle aste pari al 78% di quella teorica
- $D_{50}$  [mm] = diametro delle particelle corrispondente al passante 50%
- $\sigma'_{v0}$  [kPa] = pressione verticale efficace geostatica
- $k_{0,NC}$  [/] = coefficiente di spinta a riposo del terreno normal-consolidato
- $k_{0,OC}$  [/] = coefficiente di spinta a riposo del terreno sovra-consolidato

Si osserva che:

- L'espressione sopra indicata è applicabile al caso di energia trasferita alle aste pari al 78%, mentre in Italia normalmente l'energia trasferita alle aste è inferiore al 78% e pari mediamente al 60%; nell'applicazione della formula, il valore  $N_{SPT}$  misurato, assunto pari a  $(N_{SPT})_{60\%}$ , deve pertanto essere corretto in base alla seguente relazione:

$$- \quad (N_{SPT})_{78\%} = (N_{SPT})_{60\%} \cdot \frac{60}{78}$$

- In presenza di terreni sabbioso-ghiaiosi ( $D_{50} > 1\text{mm}$ ) al valore  $(N_{SPT})_{60\%}$  non è stata apportata alcuna correzione, per tenere conto della presenza di particelle di ghiaia (si veda ad esempio Clayton (1995), Skempton (1986), Tokimatsu & Yoshimi (1983))

- In caso di raggiungimento delle condizioni di rifiuto, l'interpretazione è stata effettuata facendo riferimento ad un valore  $N_{SPT}$  calcolato come segue:

- $N_{SPT} = 100$                       se le condizioni di rifiuto sono raggiunte nel primo tratto di 15cm o nel secondo tratto di 15cm

- $N_{SPT} = N_2 + \frac{50}{a} \cdot 15 \leq 100$                       se le condizioni di rifiuto sono raggiunte nel terzo tratto di 15cm

essendo  $a$  l'affondamento misurato (in cm) per un numero di colpi pari a 50 e  $N_2$  il numero di colpi misurato per l'affondamento del secondo tratto di 15cm. l'interpretazione delle prove è stata effettuata nell'ipotesi di terreni normal-consolidati.

### Skempton (1986)

Litologia di applicazione preferenziale: limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

$$D_r = \left( \frac{(N'_{SPT})_{60}}{60} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot 100 [\%]$$

essendo:

$$(N'_{SPT})_{60\%} = C_N \cdot (N_{SPT})_{60\%} \quad [/]$$

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGIO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 16 di 57

numero di colpi/30cm associabile ad un'energia trasferita alle aste pari al 60% di quella teorica, modificato per tenere conto del livello tensionale verticale efficace geostatico agente

$$(N_{SPT})_{60\%} [I]$$

numero di colpi/30cm associabile ad un'energia trasferita alle aste pari al 60% di quella teorica

$$C_N = \left( \frac{100}{\sigma'_{v0}} \right)^{1/2} [I]$$

fattore da applicarsi al numero di colpi/30cm per tenere conto del livello tensionale verticale efficace geostatico agente,  $\sigma'_{v0}$  (Liao & Whitman, 1986)

Si rileva che:

L'interpretazione delle prove è stata effettuata nell'ipotesi di  $N_{SPT}$  misurato =  $(N_{SPT})_{60\%}$

#### Bazaraa (1986)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

$$D_r = \left[ \frac{N_{SPT}}{20 \cdot (1 + 2\sigma'_v)} \right]^{1/2} \quad \text{per } \sigma'_{v0} < 70 \text{ KPa}$$

$$D_r = \left[ \frac{N_{SPT}}{20 \cdot (3.25 + 0.5\sigma'_v)} \right]^{1/2} \quad \text{per } \sigma'_{v0} > 70 \text{ KPa}$$

#### Schultze & Mezembach (1961)

Litologia di applicazione preferenziale: per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

$$\ln(D_r) = 0.478 \cdot \ln(N_{SPT}) - 0.262 \cdot \ln(\sigma'_{v0}) + 2.84$$

nelle quali:

- $N_{SPT}$  [I] = numero di colpi/30cm misurato
- $\sigma'_{v0}$  [kPa] = pressione verticale efficace geostatica

#### Meyerhof

Litologia di applicazione preferenziale: materiali incoerenti

$$D_R = 0.21 \cdot \sqrt{\frac{N_{spt}}{\frac{\sigma'_{v0}}{P_a} + 0.7}}$$

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO 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 Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 17 di 57

### Yoshida & Kokusho

Litologia di applicazione preferenziale: materiali incoerenti

$$D_R = 0.22 \cdot N_{spt}^{0.57} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{P_a}\right)^{-0.14} \quad \text{per sabbia fine}$$

$$D_R = 0.18 \cdot N_{spt}^{0.57} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{P_a}\right)^{-0.14} \quad \text{per sabbia 75%, ghiaia 25\%}$$

$$D_R = 0.25 \cdot N_{spt}^{0.44} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{P_a}\right)^{-0.13} \quad \text{per sabbia 50%, ghiaia 50\%}$$

$$D_R = 0.25 \cdot N_{spt}^{0.46} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{P_a}\right)^{-0.12} \quad \text{per tutti i terreni granulari}$$

### Angolo di attrito di picco ( $\phi$ )

#### Schmertmann 1977

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

- $\phi = 28 + 0.14 D_r$  per sabbia fine uniforme
- $\phi = 31.5 + 0.115 D_r$  per sabbia media uniforme – Sabbia fine ben gradata
- $\phi = 34.5 + 0.10 D_r$  per sabbia grossa uniforme – Sabbia media ben gradata
- $\phi = 38 + 0.08 D_r$  per ghiaietto uniforme – Sabbie e ghiaie poco limose

#### Shioi-Fukuni 1982 (Japanese National Railway)

Litologia di applicazione preferenziale: sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose

$$\phi' = 0.3 N_{SPT} + 27$$

#### Shioi-Fukuni 1982 (Road Bridge Specification)

Litologia di applicazione preferenziale: sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (condizioni ottimali per profondità di prova > 8 m. sopra falda e > 15 m. per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq

$$\phi' = (15 N_{SPT})^{0.5} + 15$$

#### Owasaki & Iwasaki (1959)

Litologia di applicazione preferenziale: sabbie - sabbie medie e grossolane, ghiaiose (condizioni ottimali per profondità > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq

$$\phi' = (20 N_{SPT})^{0.5} + 15$$

nelle quali:

$N_{SPT}$  [I] = numero di colpi/30cm misurato

#### Bolton (1986)

Litologia di applicazione preferenziale: sabbie (con selezione dell'angolo di attrito a volume costante  $\phi'_{cv}$ )

$$\phi' - \phi'_{cv} = mDI \quad (< 12^\circ)$$

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO <b>18 di 57</b>

essendo:

- $m = 3$  (condizioni assialsimmetriche) oppure  $m = 5$  (condizioni di deformazione piana)
- $DI = D_r(10 - \ln p'_f) - 1$ , dove  $p'_f$  è la pressione efficace media a rottura, da esprimersi in kPa

#### Kulhawy & Mayn (1980)

Litologia di applicazione preferenziale: materiali incoerenti

$$D_R = \sqrt{\frac{C_N \cdot N_{spt}}{60}}$$

$$C_N = \begin{cases} \frac{2}{1 + \frac{\sigma'_{v0}}{P_a}} & \text{per sabbie fini} \\ \frac{3}{2 + \frac{\sigma'_{v0}}{P_a}} & \text{per sabbie grosse} \end{cases}$$

#### Peck, Hamson & Thornburn (1974)

Litologia di applicazione preferenziale: materiali incoerenti

$$\phi [^\circ] = 27.1 + 0.3 \cdot C_N \cdot N_{spt} - 0.00054 \cdot (C_N \cdot N_{spt})^2$$

$$C_N = \begin{cases} \frac{2}{1 + \frac{\sigma'_{v0}}{P_a}} & \text{per sabbie fini} \\ \frac{3}{2 + \frac{\sigma'_{v0}}{P_a}} & \text{per sabbie grosse} \end{cases}$$

#### **Coesione non drenata**

Il valore di coesione non drenata è stato determinato a partire dal valore di  $N_{spt}$  misurato in foro di sondaggio mediante la correlazione di Stroud (1974):

$$C_u = f_1 \cdot N_{60}$$

Con  $f_1=5$ .

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio Soci <b>HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 19 di 57

### Velocità onde di taglio

Autore	Correlazione	applicabilità
Ohta & Goto (1978)	$v_s = 62.1 \cdot N_{SPT}^{0.22} \cdot z^{0.23}$	per terreni argillosi
Lee (1992)	$v_s = 84.5 \cdot N_{SPT}^{0.12} \cdot (z+1)^{0.25}$	per terreni argillosi
Ohta & Goto (1978)	$v_s = 67.8 \cdot N_{SPT}^{0.22} \cdot z^{0.23}$ (sabbia fine) $v_s = 63.9 \cdot N_{SPT}^{0.22} \cdot z^{0.23}$ (sabbia media) $v_s = 66.7 \cdot N_{SPT}^{0.22} \cdot z^{0.23}$ (sabbia grossolana)	per terreni sabbiosi
Seed et al. (1986)	$v_s = 85.0 \cdot N_{SPT}^{0.17} \cdot z^{0.20}$	per terreni sabbiosi
Ohta & Goto (1978)	$v_s = 92.3 \cdot N_{SPT}^{0.22} \cdot z^{0.23}$	per terreni ghiaiosi
Ohta & Goto (1978)	$v_s = 61.6 \cdot N_{SPT}^{0.25} \cdot z^{0.22}$	per tutte le tipologie di terreno

### Modulo Elastico di Young (E<sub>y</sub>)

#### D'Appolonia (1970)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

$$E_y = 0.756 \cdot N_{SPT} + 18.75 \text{ [MPa]}$$

#### Schultze & Mezembach (1961)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

$$E_Y = C_1 + C_2 \cdot N_{SPT} \pm S.E.$$

dove C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub> dipendono dal tipo di terreno e S.E. è la deviazione standard:

- C<sub>1</sub> = 52, C<sub>2</sub> = 3.3, S.E. = 19.3 per sabbia fine
- C<sub>1</sub> = 39, C<sub>2</sub> = 4.5, S.E. = 36.4 per sabbia media
- C<sub>1</sub> = 24, C<sub>2</sub> = 5.3, S.E. = 21.1 per sabbia limosa
- C<sub>1</sub> = 12, C<sub>2</sub> = 5.8, S.E. = 9.0 per limo siltoso e sabbia limosa
- C<sub>1</sub> = 43, C<sub>2</sub> = 11.8, S.E. = 42.3 per sabbia ghiaiosa
- C<sub>1</sub> = 38, C<sub>2</sub> = 10.5, S.E. = 93.2 per sabbia e ghiaia

ed essendo:

N<sub>SPT</sub> [/] = numero di colpi/30cm misurato

APPALTATORE: Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO 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 Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 20 di 57

### **Modulo Edometrico ( $E_d$ )**

#### Begemann (1974)

Litologia di applicazione preferenziale: limo con sabbia, sabbia e ghiaia

$$E_d = 40 + 12 \cdot [(N_{SPT})_{60} - 6] \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

#### Schmertmann (1970)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

$$E_d = 15 \cdot (N_{SPT})_{60} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

#### Wrench & Nowataki (1985)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

$$E_d = 2.22 \cdot (N_{SPT})_{60} \cdot 0.888 \text{ [MPa]}$$

nelle quali:

$(N_{SPT})_{60\%}$  [I] = numero di colpi/30cm associabile ad un'energia trasferita alle aste pari al 60% di quella teorica

### **7.3.3 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA PIEZOCONICA (CPTU)**

La prova CPTu fornisce informazioni affidabili sulle caratteristiche meccaniche (resistenza, rigidità e compressibilità) del terreno e sul Soil Behaviour Type Index (SBT).

#### **Soil behaviour Type Index**

Robertson (1990) propone un grafico che sulla base della resistenza di punta normalizzata e il Friction ratio normalizzato, fornisce una guida per identificare la tipologia di terreni e il comportamento meccanico tipico di questi presenti in situ (nell'area limitrofa alla prova). Le zone sono individuate anche grazie alla densità, storia tensionale, sensitività e grado di cementazione dei materiali.

Per semplificare l'utilizzo del grafico SBTn, le variabili  $Q_t$  e  $F_r$  possono essere combinate in una variabile Soil Behavior Type Index,  $I_c$ , dove  $I_c$  è il raggio di cerchi concentrici che rappresentano i contorni di ogni zona del grafico.

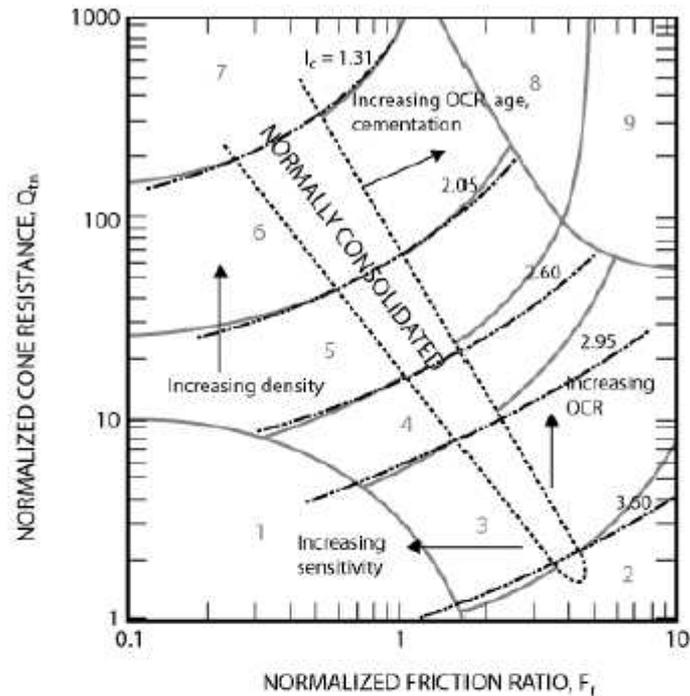
I profili di  $I_c$  (Soil Behaviour type index) lungo la profondità forniscono un riferimento affidabile del tipo di terreno presente in situ e interessato dalla prova. Confrontando i risultati dei profili di  $I_c$  con i risultati ottenuti dall'analisi di campioni in laboratorio, studi indipendenti hanno mostrato che il grafico di Robertson ha più dell'80 % di affidabilità.

$$I_c = ((3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2)^{0.5}$$

Dove:

$$\begin{aligned}
 Q_t &= \text{normalized cone penetration resistance (dimensionless)} \\
 &= (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma'_{vo} \\
 F_r &= \text{normalized friction ratio, in \%} \\
 &= (f_s / (q_t - \sigma_{vo})) \times 100\%
 \end{aligned}$$

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 21 di 57



Zone	Soil Behavior Type	I <sub>c</sub>
1	Sensitive, fine grained	N/A
2	Organic soils – clay	> 3.6
3	Clays – silty clay to clay	2.95 – 3.6
4	Silt mixtures – clayey silt to silty clay	2.60 – 2.95
5	Sand mixtures – silty sand to sandy silt	2.05 – 2.6
6	Sands – clean sand to silty sand	1.31 – 2.05
7	Gravelly sand to dense sand	< 1.31
8	Very stiff sand to clayey sand*	N/A
9	Very stiff, fine grained*	N/A

\* Heavily overconsolidated or cemented

Figura 7-1 – Normalized CPT Soil Behavior Type(SBTn) chart, (Robertson 1990, updated by Robertson 2010)

### Coazione non drenata

Lunne et al. (1997) propone per argille normalconsolidate – leggermente sovraconsolidate:

$$Cu = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_k}$$

Con:

$$N_k = 18 - 15.45 * 1.15 \text{ se } B > 1.15$$

$$N_k = 18 - 15.45 * B \text{ se } B \leq 1.15$$

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 22 di 57

Dove:

$q_t$  = resistenza di punta

$\sigma_{v0}$  = sforzo verticale in situ

**Angolo d'attrito**

Mayne (2006) suggerisce per materiali coesivi normalconsolidati e  $0.1 \leq B_q \leq 1.0$ :

$$\phi' \text{ (deg)} = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} [0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t]$$

Dove:

$B_q$  = pressione dei pori normalizzata

$Q_t$  = resistenza di punta normalizzata

Kulhawy e Mayne (1990) suggeriscono per sabbie pulite, non cementate quarzose:

$$\phi' = 17.6 + 11 \log (Q_{tn})$$

Robertson e Campanella (1983) suggeriscono una correlazione per calcolare l'angolo d'attrito di picco per sabbie non cementate, moderatamente compressibili:

$$\tan \phi' = \frac{1}{2.68} \left[ \log \left( \frac{q_c}{\sigma'_{v0}} \right) + 0.29 \right]$$

Dove:

$q_c$  = resistenza di punta

$\sigma'_{v0}$  = sforzo efficace verticale in situ

**Modulo elastico edometrico**

Mitchell e Gardner suggeriscono per terreni argillosi in generale:

$$Ed \left( \frac{kg}{cm^2} \right) = \alpha q_c$$

Dove:

$q_c$  = resistenza di punta

$\alpha$  = coefficiente legato alla natura del terreno come riportato nel prospetto seguente

Argille di bassa plasticità (CL)	$q_c < 0.7$	(MPa)	$3 < \alpha < 8$
	$0.7 < q_c < 2$	(MPa)	$2 < \alpha < 5$
	$q_c > 2$	(MPa)	$1 < \alpha < 2.5$
Limi di bassa plasticità (ML)	$q_c < 2$	(MPa)	$1 < \alpha < 3$
	$q_c > 2$	(MPa)	$3 < \alpha < 6$
Limi e argille di alta plasticità (MH, CH)	$q_c < 2$	(MPa)	$2 < \alpha < 6$
Limi organici (OL)	$q_c < 1.2$	(MPa)	$2 < \alpha < 8$
Torba e argilla organica (Pt, OH)	$50 < w_n < 100$		$1.5 < \alpha < 4$
	$100 < w_n < 200$		$1 < \alpha < 1.5$
	$w_n > 200$		$0.4 < \alpha < 1$

Figura 7-2 – Coefficiente  $\alpha$  per calcolo modulo edometrico (Mitchell e Gardner)

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 23 di 57

### 7.3.4 POCKET PENETROMETER

Le prove speditive di pocket penetrometer sulle carote di sondaggio sono state elaborate per calcolare la coesione non drenata:

$$Q_{ult} = 2 C_u$$

### 7.3.5 PROVE PRESSIOMETRICHE

Le prove in foro pressiometriche sono state interpretate correlando il modulo pressiometrico a piccole deformazioni con un coefficiente reologico  $\alpha$  scelto secondo quanto proposto da Briaud (1992):

$$E_0 = \alpha \cdot E_m$$

Con:

- $\alpha = 1.0$ : terreni argillosi
- $\alpha = 0.5$ : terreni sabbiosi fini
- $\alpha = 0.3$ : terreni sabbiosi medi
- $\alpha = 0.25$ : terreni ghiaiosi.

### 7.3.6 PROVE DILATOMETRICHE

Le prove dilatometriche in foro hanno fornito i valori di modulo elastico in carico scarico per i 3° cicli rispettivamente. Nelle elaborazioni della presente relazione è stato considerato il modulo in scarico corrispondente al 3° ciclo di carico

### 7.3.7 PROVE LEFRANC

Le prove Lefranc sono state eseguite su terreni a carico costante o a carico variabile a seconda della litologia oggetto di test.

Le prove forniscono i valori di conducibilità idraulica.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 24 di 57

## 7.4 DETERMINAZIONE MODULI ELASTICI OPERATIVI

La determinazione del modulo elastico utilizzabile in calcoli geotecnici è influenzata dal livello deformativo cui è soggetto il terreno a seguito del fenomeno studiato e quindi del relativo fattore di sicurezza adottato. In particolare, il livello deformativo può essere legato al parametro:

$$\frac{q}{q_{ult}} = \frac{1}{FOS}$$

Con:

q= tensione mobilitata,

q<sub>ult</sub>= tensione ultima,

FOS = fattore di sicurezza

Secondo Burns & Mayne (1996) si può quindi determinare il rapporto tra il modulo operativo da utilizzare e il modulo elastico a piccole deformazioni E<sub>0</sub> mediante la relazione seguente:

$$\frac{E}{E_0} = 1 - \left( \frac{q}{q_{ult}} \right)^{0.3}$$

Considerando i due casi quindi:

- Rilevati, FOS=1.375,
- Fondazioni e opere di sostegno, FOS=3

È possibile calcolare il rapporto tra i moduli come segue:

$E \approx \frac{E_0}{10}$  per il cedimento di rilevati;

$E \approx \frac{E_0}{5}$  per il cedimento di opere di sostegno e per le fondazioni.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO 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 Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 25 di 57

## 8 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 8.1 NOTE INTRODUTTIVE

Nel seguito si riporta la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei depositi di frana all'imbocco lato Napoli della Galleria Grottaminarda. Nello studio si è fatto riferimento ai risultati della campagna di indagini geognostiche in sito appositamente realizzate nel corso del 2021 nell'ambito della presente fase progettuale, nonché alle indagini disponibili in campagne pregresse. Al termine della galleria Grottaminarda, alla pk 4+695, il tracciato si sviluppa all'aperto per un breve tratto (fino alla pk 5+090) attraversando nuovamente il F. Ufita, che scorre incassato in una valle stretta dai fianchi alti, soprattutto nel versante settentrionale in destra idraulica. Le due zone di imbocco affacciate sulla valle del F. Ufita (galleria Grottaminarda lato Napoli e galleria Melito lato Bari), sono ubicate a mezza costa lungo versanti costituiti da terreni appartenenti al Flysch Rosso (FYR). La parte alta del fronte di imbocco della galleria naturale Grottaminarda è impostata nei depositi di una frana complessa che si estende a valle fino al F. Ufita, mentre la parte bassa interessa il Flysch Rosso, nella litofacies di tipo "c".

All'interno della frana sono visibili in affioramento dei megablocchi di dimensione fino a decametrica, costituiti da breccie calcaree cementate derivanti dallo smembramento, all'interno del corpo di frana di corpi sedimentari riferibili all'unità FYR 2 del Flysch Rosso. La caratterizzazione geotecnica è stata svolta considerando cautelativamente la sola matrice. L'assetto litologico sopra discusso trova conferma nei risultati delle sezioni sismiche realizzate in questo settore. Dalla sezione SRT\_PE04 le velocità  $V_p$  e  $V_s$  forniscono un'indicazione di velocità relativamente bassa sulla pk dell'imbocco della galleria Grottaminarda lato Napoli.

Le Unità geotecniche individuate nella tratta all'aperto in sinistra idrografica da pk 4+695 a pk 4+960 sono:

- FYR – corpo di frana;
- FYRc: depositi caotici.

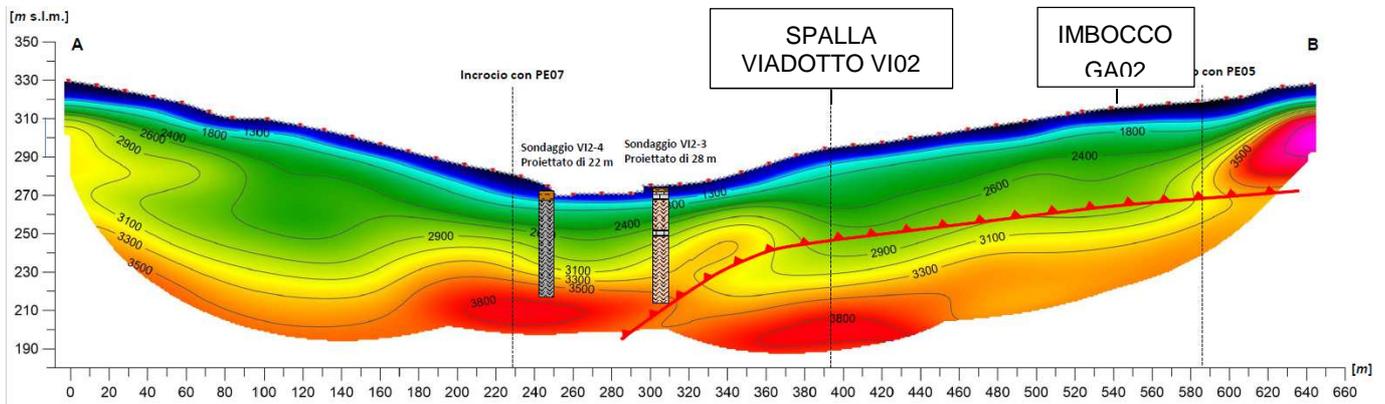


Figura 8-1 – Tomografia sismica SRT\_PE04 – Onde  $V_p$

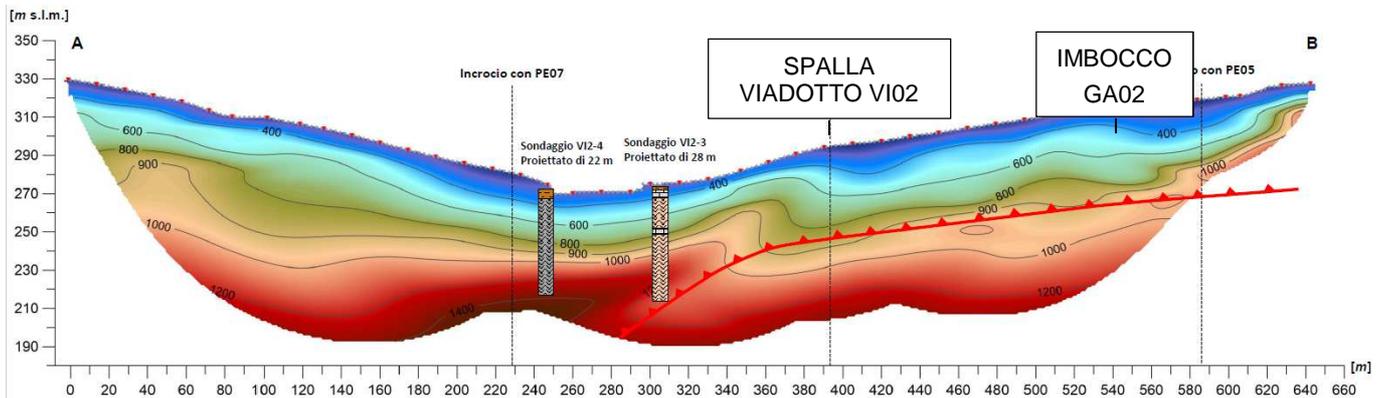


Figura 8-2 – Tomografia sismica SRT\_PE04 – Onde  $V_s$

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 26 di 57

## 8.2 INDAGINI DISPONIBILI

La caratterizzazione geotecnica della tratta all'aperto valle Ufita è stata definita sulla base delle risultanze delle prove in situ e/o in laboratorio condotte nell'ambito dei sondaggi geognostici compresi nell'area di interesse ed elencati di seguito.

ID sond.	Campagna indagine	Prove in foro			Prove di laboratorio	
		SPT	PP	Lefranc	Prop. Fisiche	Prop. Meccaniche di resistenza
-	anno					
AU6	2017	X	X	X	X	X
AU7	2017	X	X	X	X	X
S10	2015	X	X	X	X	X
C10	2017	X	X	-	X	X
VI02-1	2019	X	X	X	X	X
VI02-2	2019	X	X	X	X	X
M2	2006	X	-	-	-	-
IN21-A01	2021	X	-	X	-	-
IN21-A02bis	2021	X	-	X	X	X
IN21-A03	2021	X	-	X	X	X
IN21-A04	2021	X	-	X	X	X
IN21-B01	2021	X	-	X	-	-
IN21-B02	2021	X	-	X	X	X
IN21-B03	2021	X	-	X	X	X
IN21-C01	2021	X	-	X	X	X
IN21-C02	2021	X	-	X	X	X

Tabella 8-1 – Indagini geognostiche di riferimento

Le indagini geofisiche nella tratta oggetto di studio sono le seguenti:

- Sismica a rifrazione e riflessione SRT\_PE\_4, SRT\_PE\_5 e SRT\_PE\_6
- Sismica in foro Downhole VI02-2
- Stendimento sismico lungo il versante come indicato nel documento n° IF2801VZZP6GE0205001A, "Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+09" Indagini integrative - Planimetria di inquadramento" [23].

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 27 di 57

### 8.3 UNITÀ FYR – corpo di frana

#### 8.3.1 DESCRIZIONE GEOLOGICO-STRATIGRAFICA – UNITÀ FYR – CORPO DI FRANA

I depositi appartenenti al corpo di frana stabilizzata si estendono a valle fino al F. Ufita. Essi sono costituiti da argille limose con intercalazioni sabbiose inglobanti elementi lapidei carbonatici di varia pezzatura, con alterazione più o meno pronunciata. All'interno della frana sono visibili in affioramento dei megablocchi di dimensione fino a decametrica, costituiti da brecce calcaree cementate derivanti dallo smembramento, all'interno del corpo di frana di corpi sedimentari riferibili all'unità FYR 2 del Flysch Rosso. In molti casi questi blocchi risultano fortemente detensionati o disarticolati. Alcuni sondaggi, come ad esempio VI02\_03 e S10 hanno attraversato in frana blocchi di brecce calcaree potenti fino a 7 m. In altri casi, come per esempio nel sondaggio VI02\_01, sono stati intercettati blocchi di dimensioni di ordine metrico; in altri casi ancora, come in VI02\_02, i blocchi hanno spessore massimo di 30 cm. La caratterizzazione geotecnica è stata svolta considerando cautelativamente la sola matrice.

All'interno del singolo sondaggio non esistono evidenze nette che consentano di delimitare in maniera precisa il passaggio tra depositi di frana e formazioni sottostanti. La porzione di ciascun sondaggio, considerata nella caratterizzazione geotecnica dello strato instabilizzato, è definita in funzione dello spessore di frana individuato per interpolazione partendo dai dati inclinometrici.

Si rimanda all'elaborato sul monitoraggio geotecnico [19] per i dettagli sulle letture inclinometriche.



Figura 8-3 – Cassetta di sondaggio IN21-B02 – Unità FYR – corpo di frana

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 28 di 57

### 8.3.2 PROPRIETÀ FISICHE – UNITÀ FYR – CORPO DI FRANA

#### Proprietà fisiche da laboratorio

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggi mostrano la presenza di una componente sia grossolana che fine.

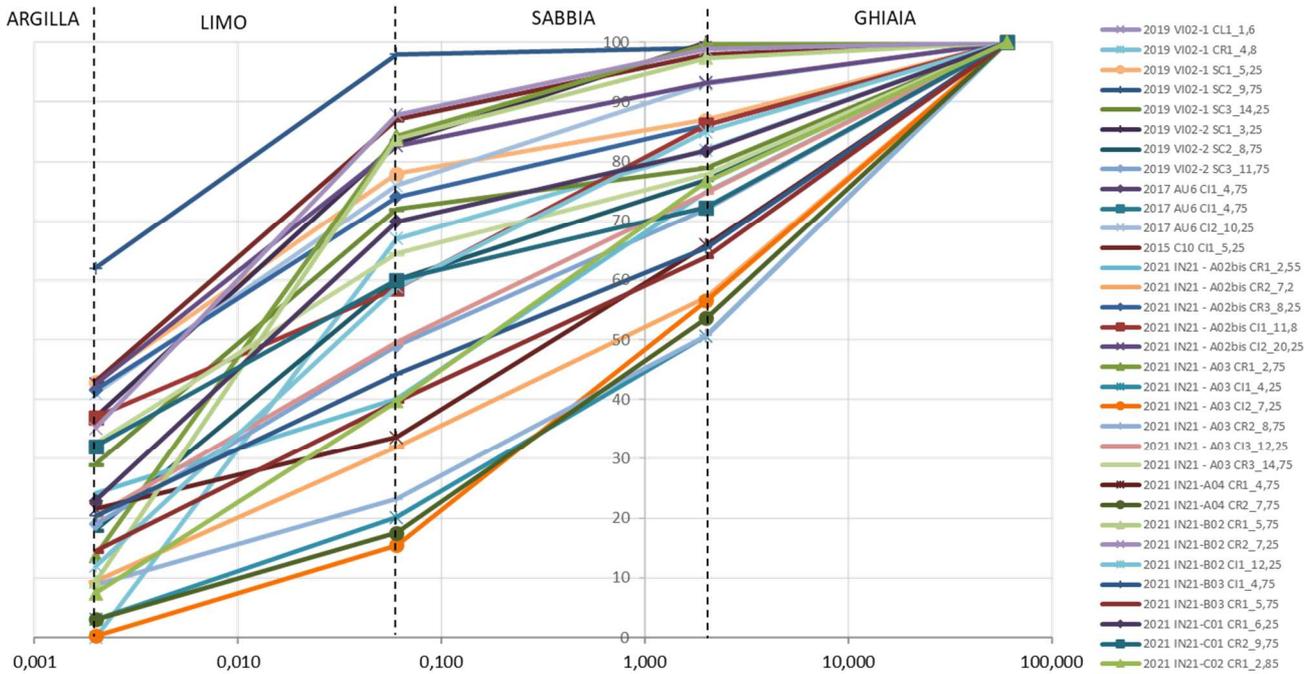


Figura 8-4: Curve granulometriche (Unità FYR, corpo di frana)

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGIO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 29 di 57

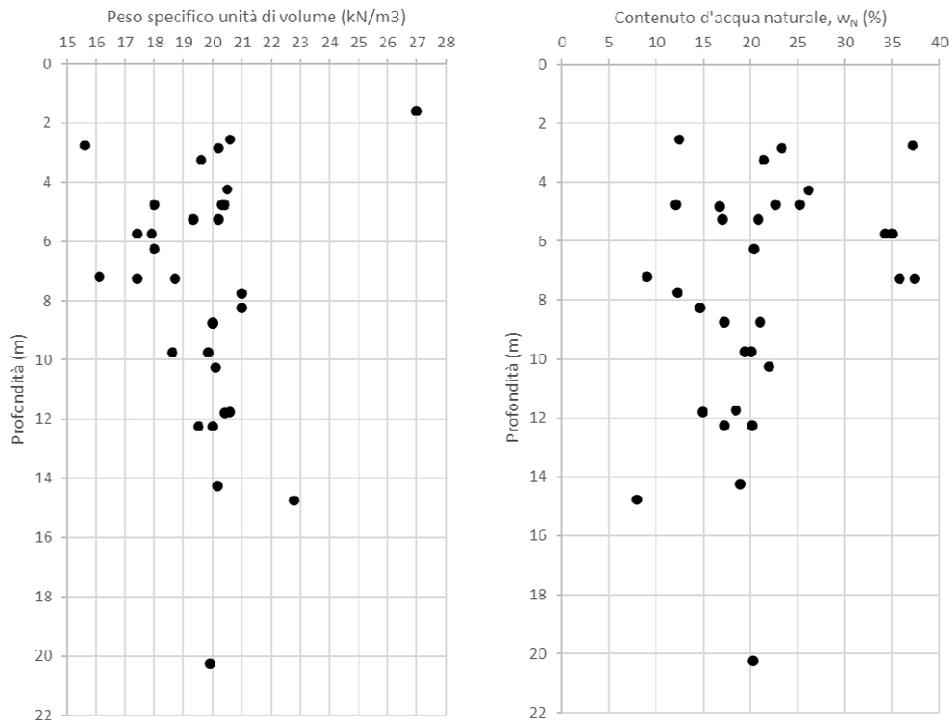


Figura 8-5: Peso specifico unità di volume e Contenuto d'acqua naturale (Unità FYR, corpo di frana)

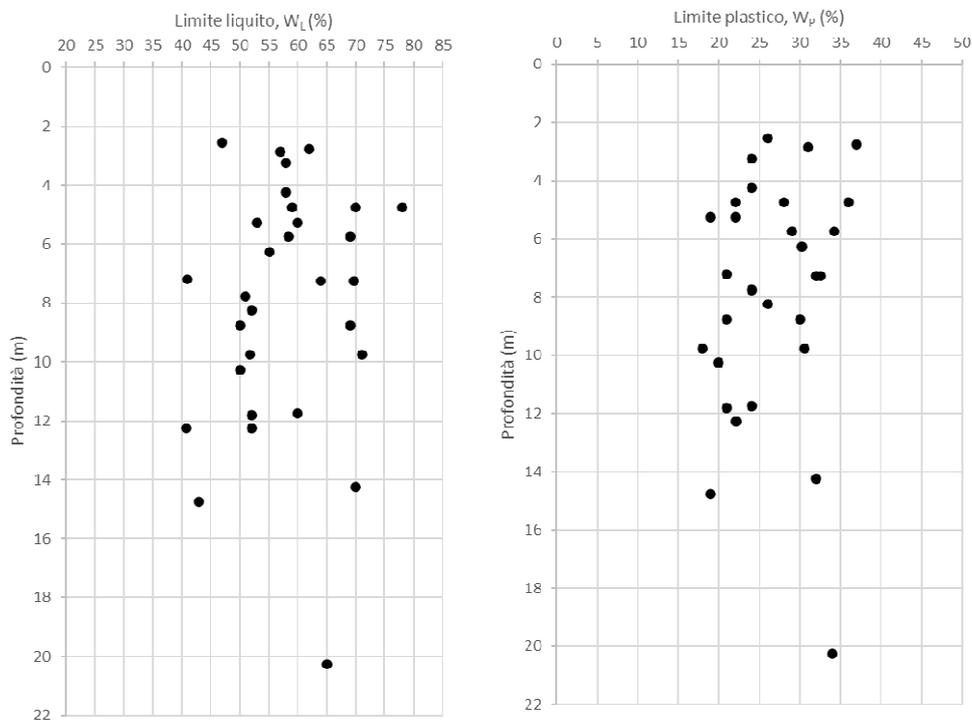


Figura 8-6: Limite liquido e limite plastico (Unità FYR, corpo di frana)

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO 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 IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 30 di 57
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>						

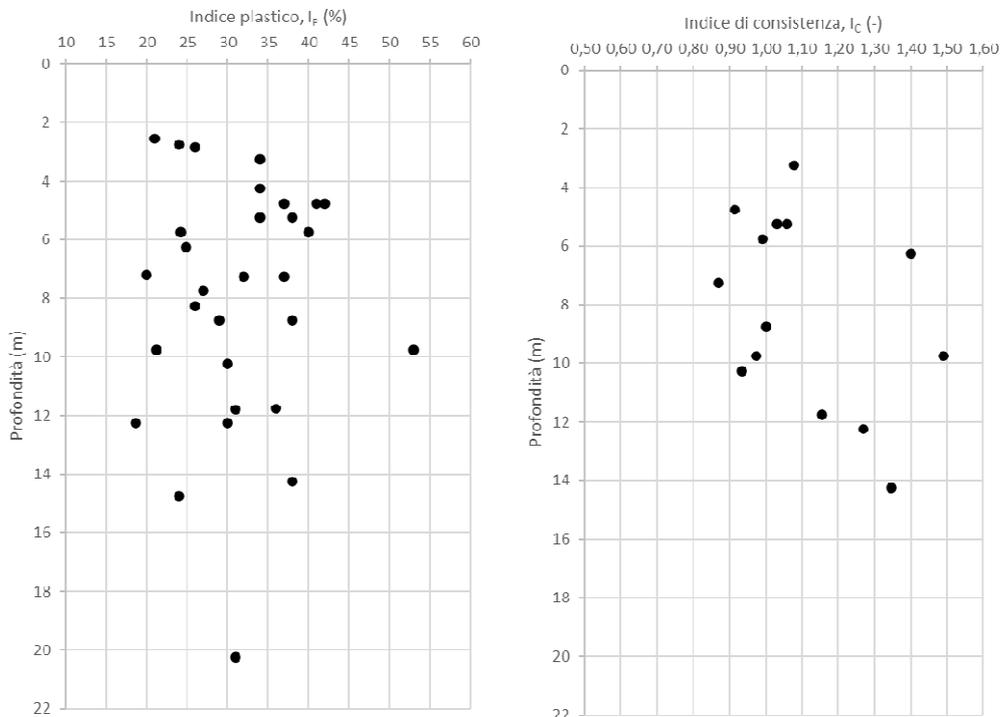


Figura 8-7: Indice plastico e indice di consistenza (Unità FYR, corpo di frana)

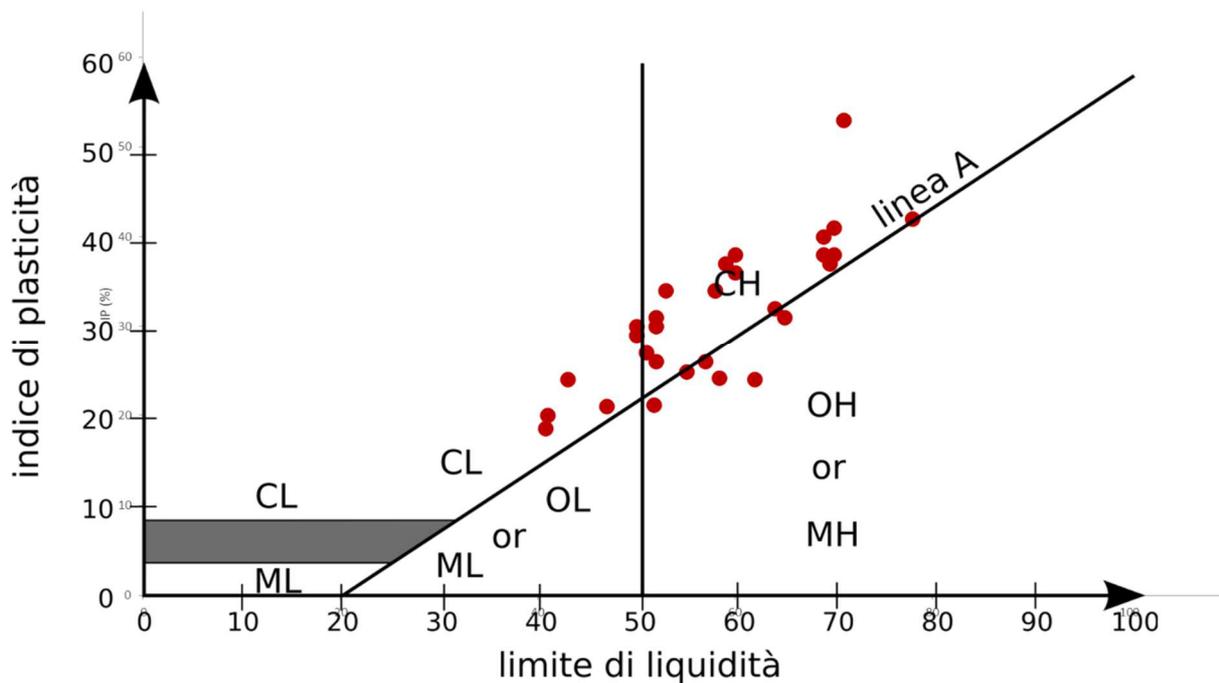
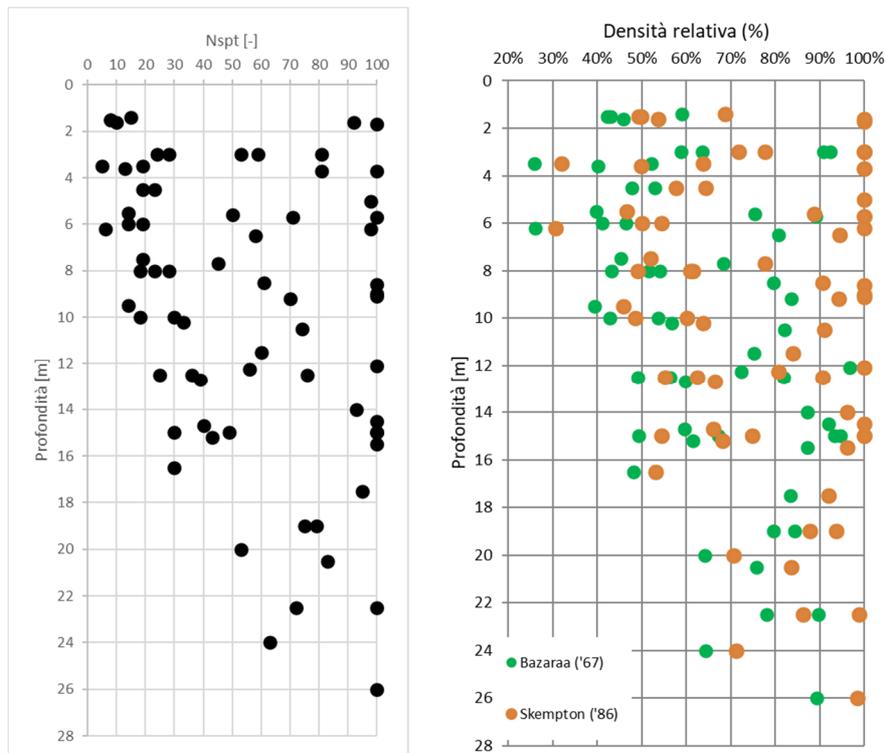


Figura 8-8 –Carta di plasticità (Unità FYR, corpo di frana).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 31 di 57

**Proprietà fisiche da prove in foro SPT**



**Figura 8-9: Nspt e Densità relativa da prove Nspt (Unità FYR, corpo di frana)**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 32 di 57

### 8.3.3 PROPRIETÀ MECCANICHE DI RESISTENZA – UNITÀ FYR – CORPO DI FRANA

#### Proprietà meccaniche di resistenza da prove di laboratorio

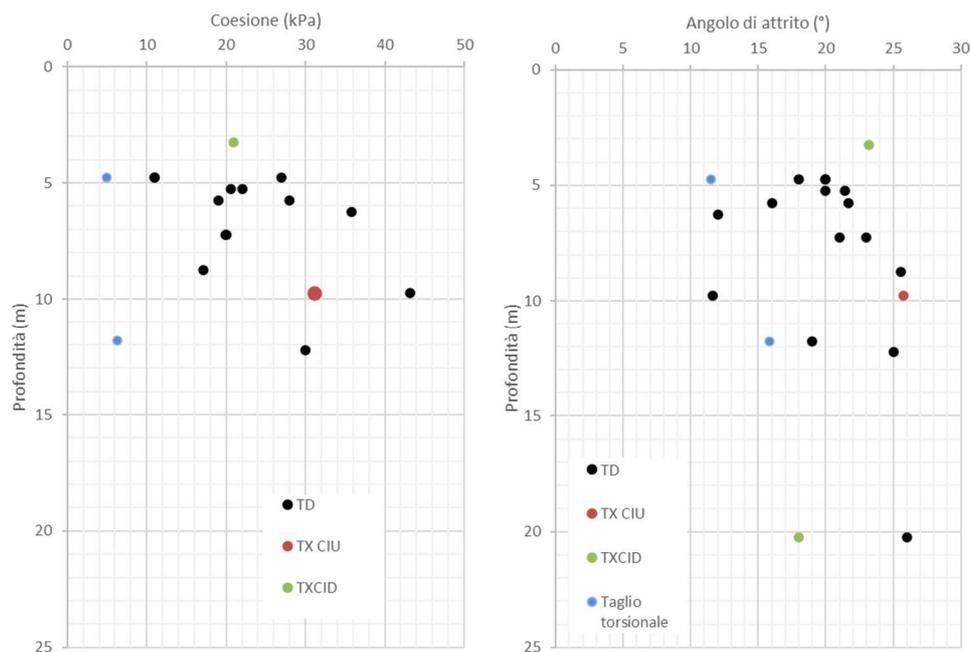


Figura 8-10 – Coesione efficace e Angolo d’attrito di picco (Unità FYR, corpo di frana)

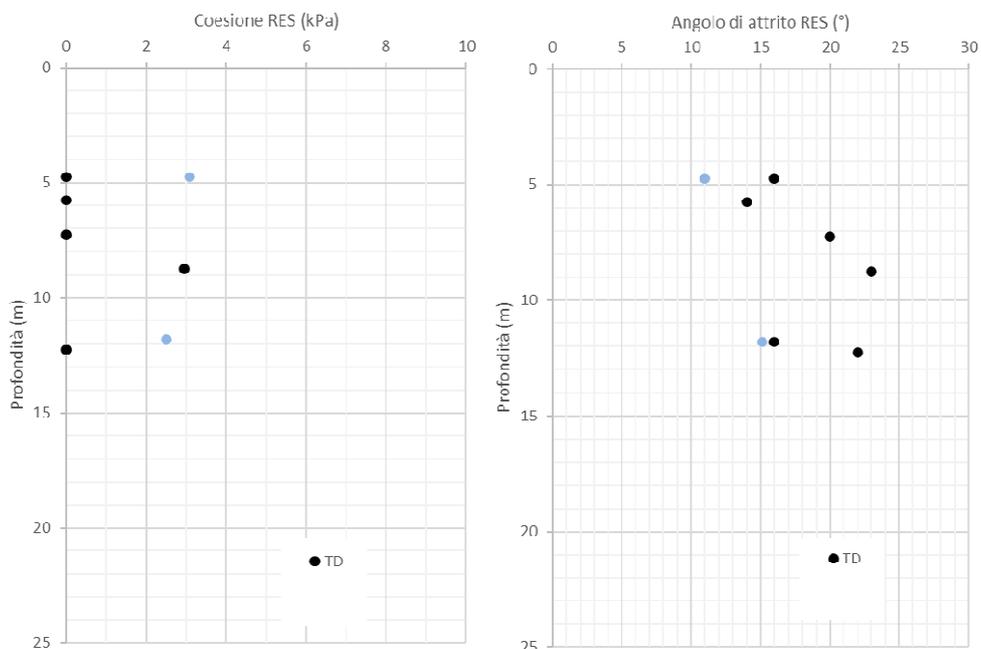


Figura 8-11 – Coesione efficace e Angolo d’attrito residui (Unità FYR, corpo di frana)

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> <b>33 di 57</b>

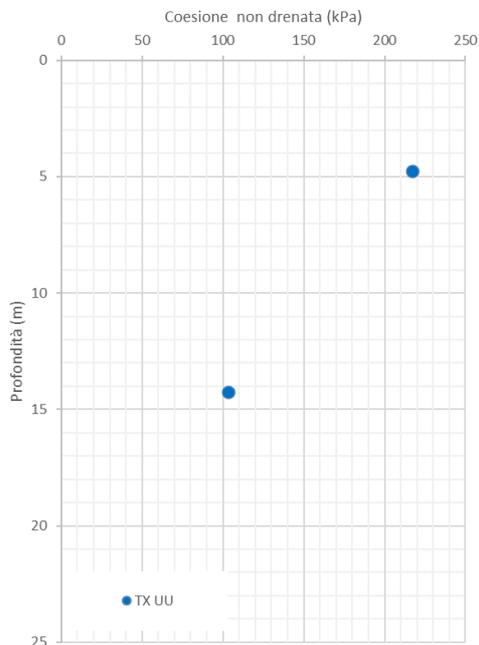


Figura 8-12 – Coesione non drenata (Unità FYR, corpo di frana)

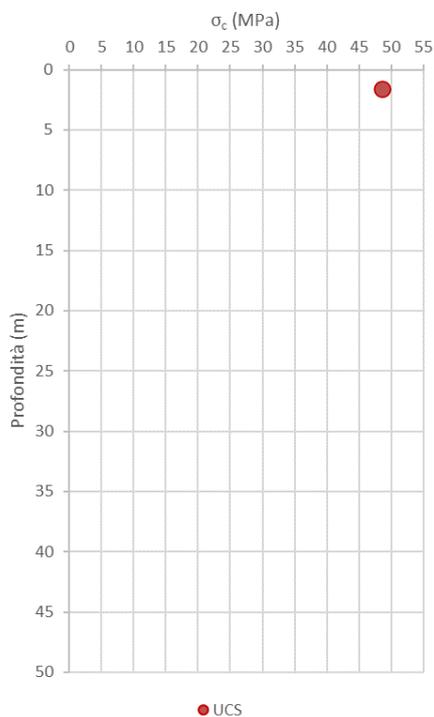
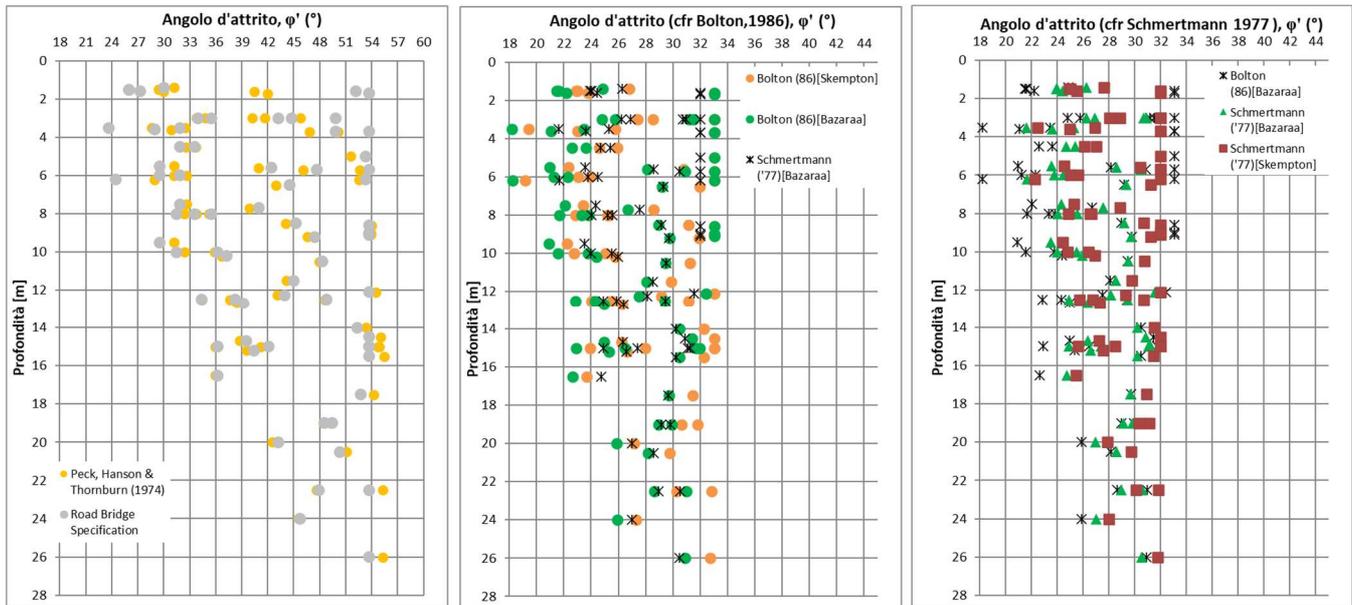


Figura 13: resistenza a compressione monoassiale (Unità FYR, corpo di frana).

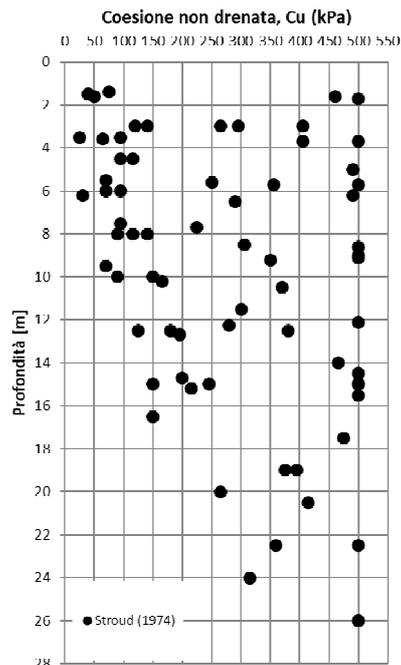
<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 34 di 57

**Proprietà meccaniche di resistenza da prove in foro SPT**

I seguenti grafici riportano: correlazione di Peck, Hanson & Thornburn (1974) e Road Bridge Specification; correlazione di Schmertmann utilizzando i valori di densità relativa calcolati con Bazaaraa ('86) e Skempton ('67); correlazione di Bolton utilizzando i valori di densità relativa calcolati con Bazaaraa ('86) e Skempton ('67); correlazioni di Schmertmann e Bolton utilizzando i valori di densità relativa calcolati con Bazaaraa ('86) e Skempton ('67).



**Figura 8-14 – Angolo d'attrito da prove SPT (Unità FYR, corpo di frana).**



**Figura 8-15 – Coesione non drenata da prove SPT (Unità FYR, corpo di frana)**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>		COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 35 di 57

**Proprietà meccaniche di resistenza da prove in foro Pocket Penetrometer**

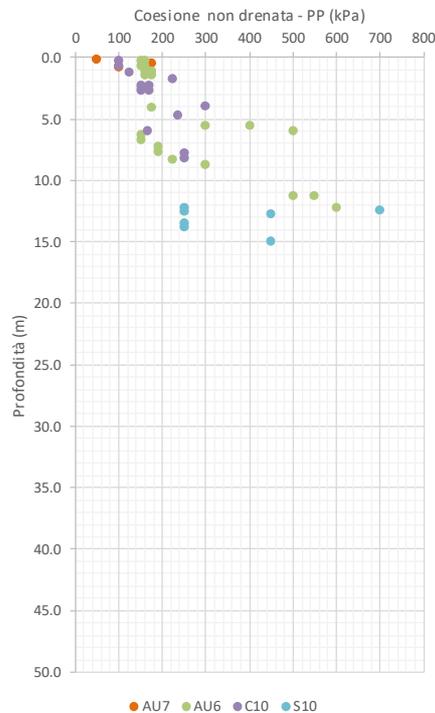


Figura 8-16 – Coesione non drenata da prove PP (Unità FYR, corpo di frana)

**8.3.4 PROPRIETÀ MECCANICHE DI DEFORMABILITÀ – UNITÀ FYR – CORPO DI FRANA**

**Proprietà meccaniche di deformabilità da prove in foro SPT**

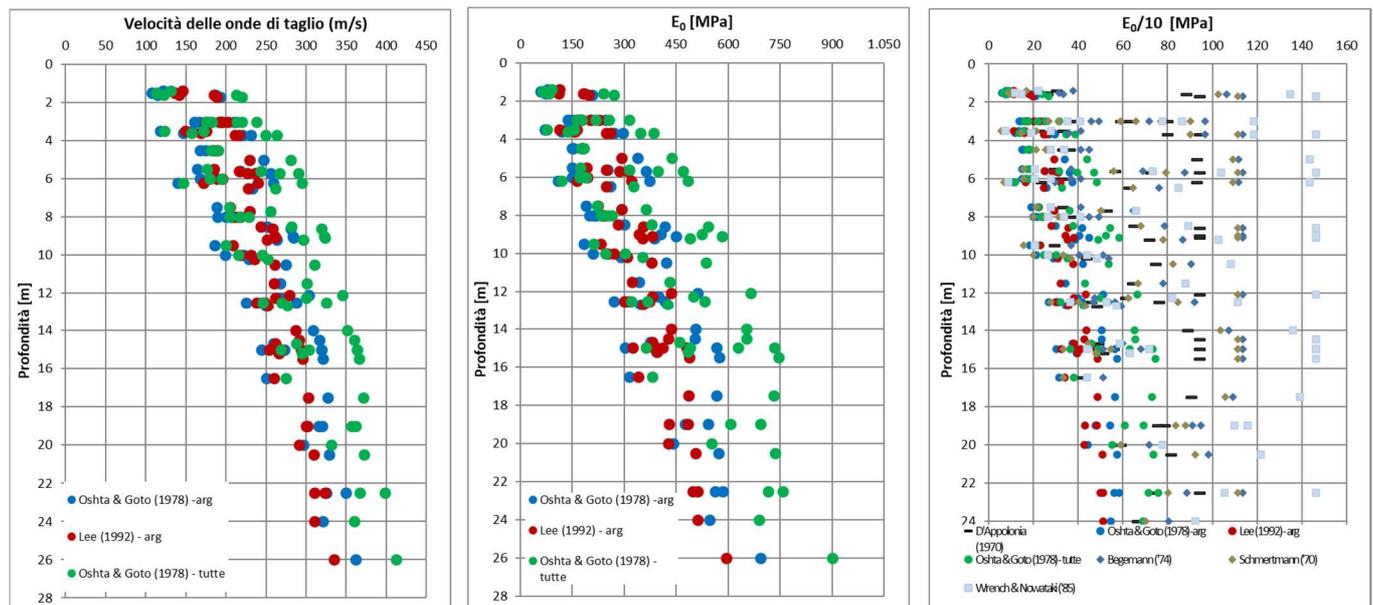


Figura 8-17 – Velocità onde di taglio e modulo elastico a piccole deformazioni e modulo elastico operativo E0/10 da prove SPT (Unità FYR, corpo di frana)

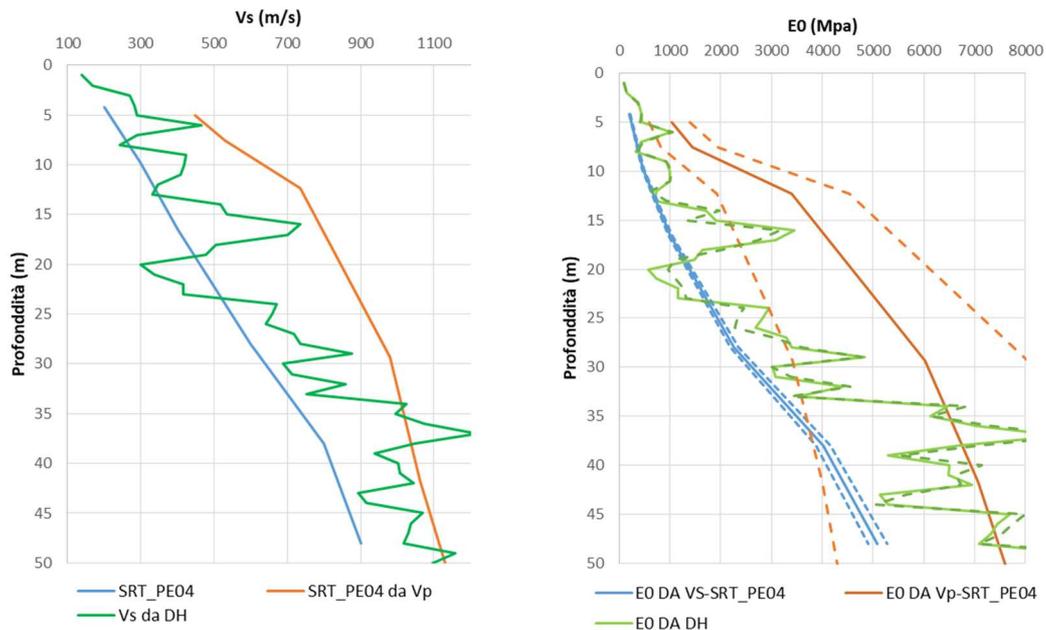
<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 36 di 57

**Proprietà meccaniche di deformabilità da indagini geofisiche**

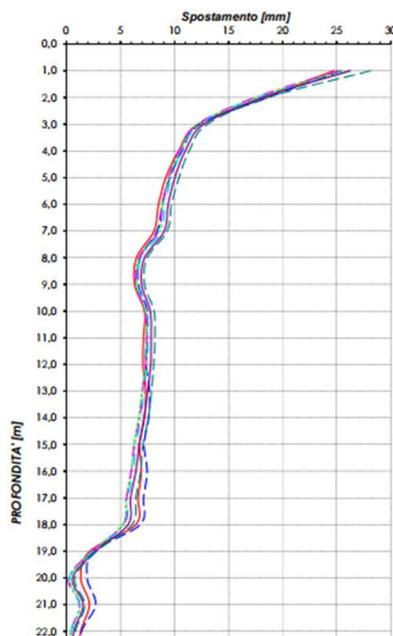
La sezione scelta per l'analisi delle onde di taglio e compressione è quella in corrispondenza della verticale di sondaggio VI02-2 in corrispondenza della quale è stata eseguita una prova sismica in foro Down-hole.

Nei grafici sotto riportati sono rappresentati dei range di modulo elastico a piccole deformazioni determinati a partire da una variabilità imposta ai coefficienti di poisson a piccole deformazioni.

A circa 8m e 20m di profondità si nota una riduzione della Vs nella DH rispetto al trend di valori crescenti con la profondità, correlabile con le indicazioni di movimento fornite dall'inclinometro installato nel VI02.



**Figura 8-18 –Velocità onde di taglio e modulo elastico a basse deformazioni da ind. Geofisiche (Unità FYR, corpo di frana)**



**Figura 8-19 –Risultante degli spostamenti differenziali integrali su inclinometro in VI02-2**

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 37 di 57

### 8.3.5 CONDUCEBILITÀ IDRAULICA – UNITÀ FYR – CORPO FRANA

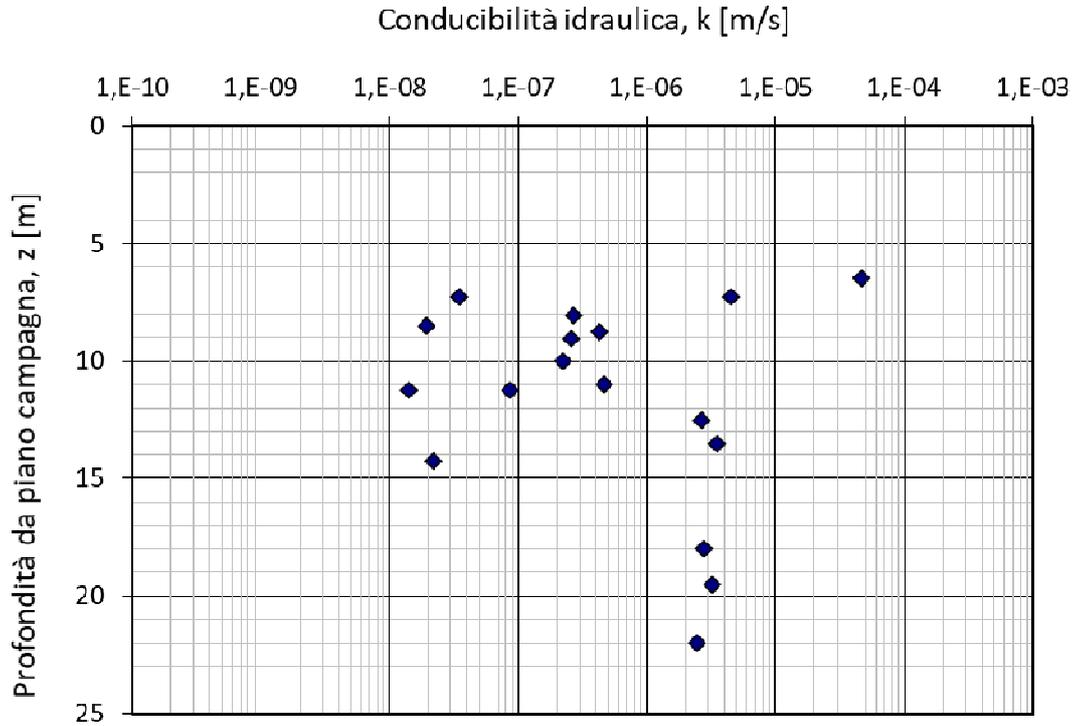


Figura 8-20 –Conducibilità idraulica da prove Lefranc CV (Unità FYR, corpo di frana)

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 38 di 57

## 8.4 UNITÀ FYRc

### 8.4.1 DESCRIZIONE GEOLOGICO-STRATIGRAFICA – UNITÀ FYRC

Al di sotto del corpo di frana stabilizzato sono presenti terreni del caotico del Flysch Rosso, contraddistinti in questo settore dalla litofacies di tipo "c". L'Unità è formata da depositi perlopiù a supporto di matrice, costituiti da elementi angolosi da centimetrici a pluri-decimetrici ed in alcuni casi metrici/plurimetrici costituiti da brecce calcaree cementate derivanti dallo smembramento, all'interno del corpo di frana, di corpi sedimentari riferibili all'unità FYR 2 del Flysch Rosso. La caratterizzazione geotecnica è stata svolta considerando cautelativamente la sola matrice.



Figura 8-21 – Cassetta di sondaggio IN21-A03 – Unità FYRc.

### 8.4.2 PROPRIETÀ FISICHE – UNITÀ FYRC

#### Proprietà fisiche da laboratorio

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggi mostrano la presenza di una componente sia grossolana che fine.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>		<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 39 di 57

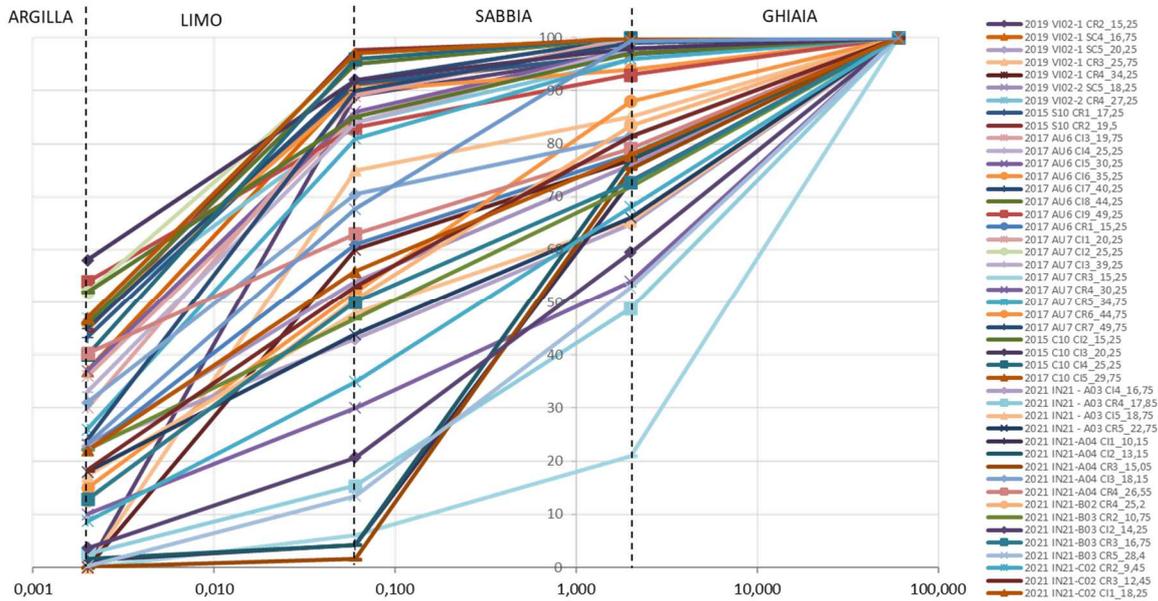


Figura 8-22 – Curve granulometriche (Unità FYRc)

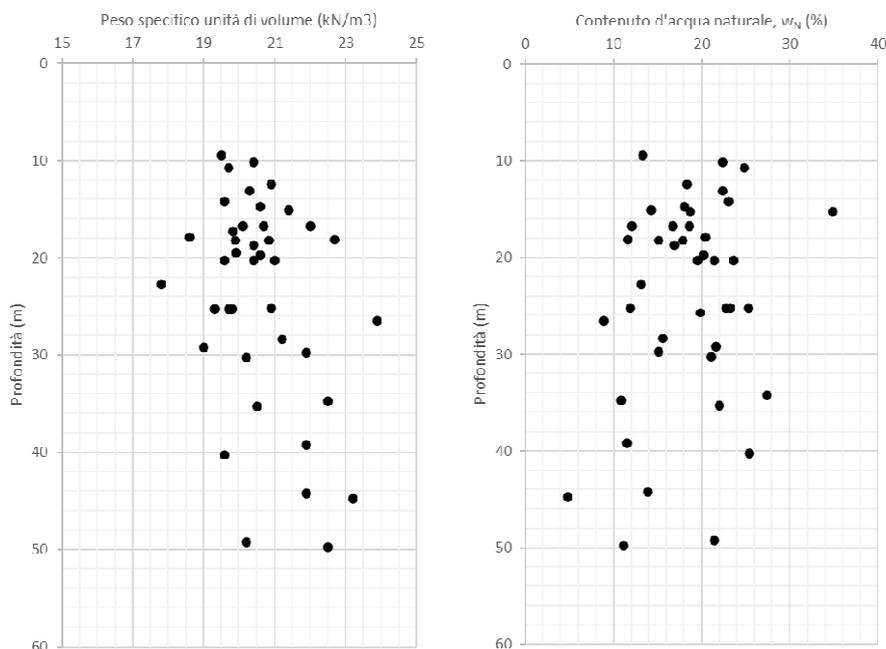
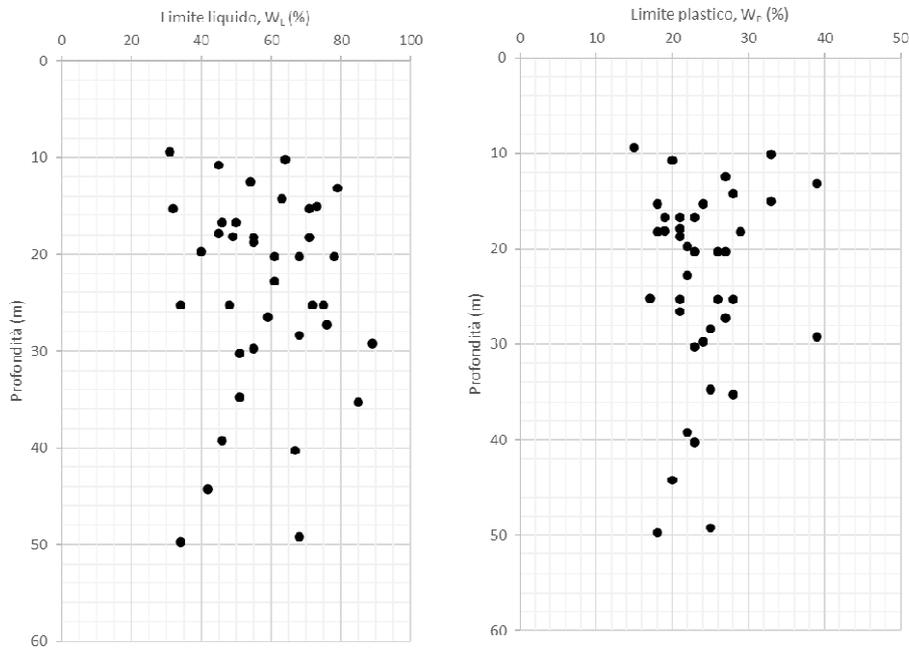
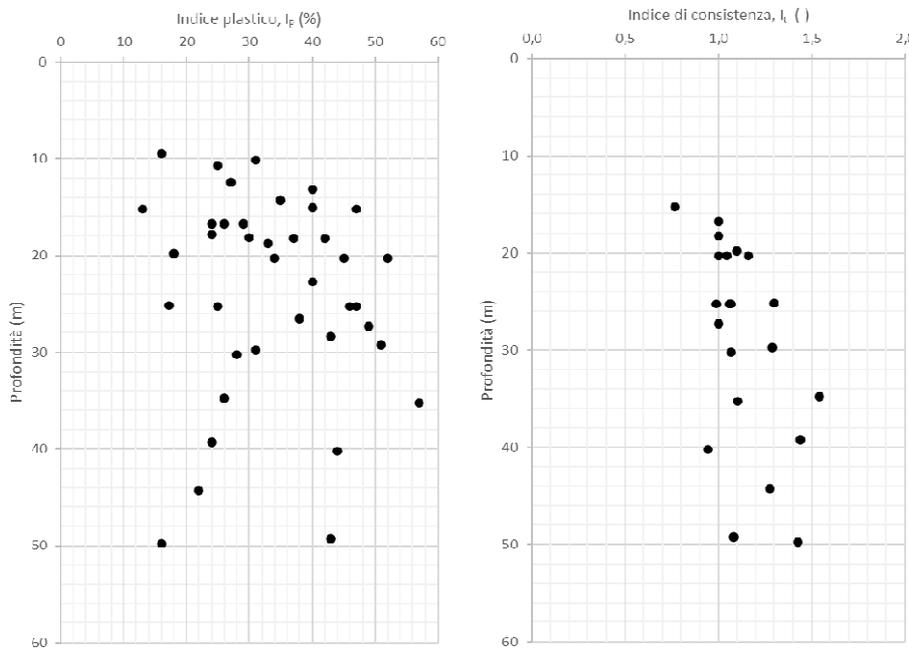


Figura 8-23 – Peso specifico unità di volume, contenuto d'acqua naturale (Unità FYRc)

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 40 di 57



**Figura 8-24 – Limite liquido, limite plastico (Unità FYRc).**



**Figura 8-25 – Indice di plasticità e indice di consistenza –Unità FYRc**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO 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 IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 41 di 57
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale						

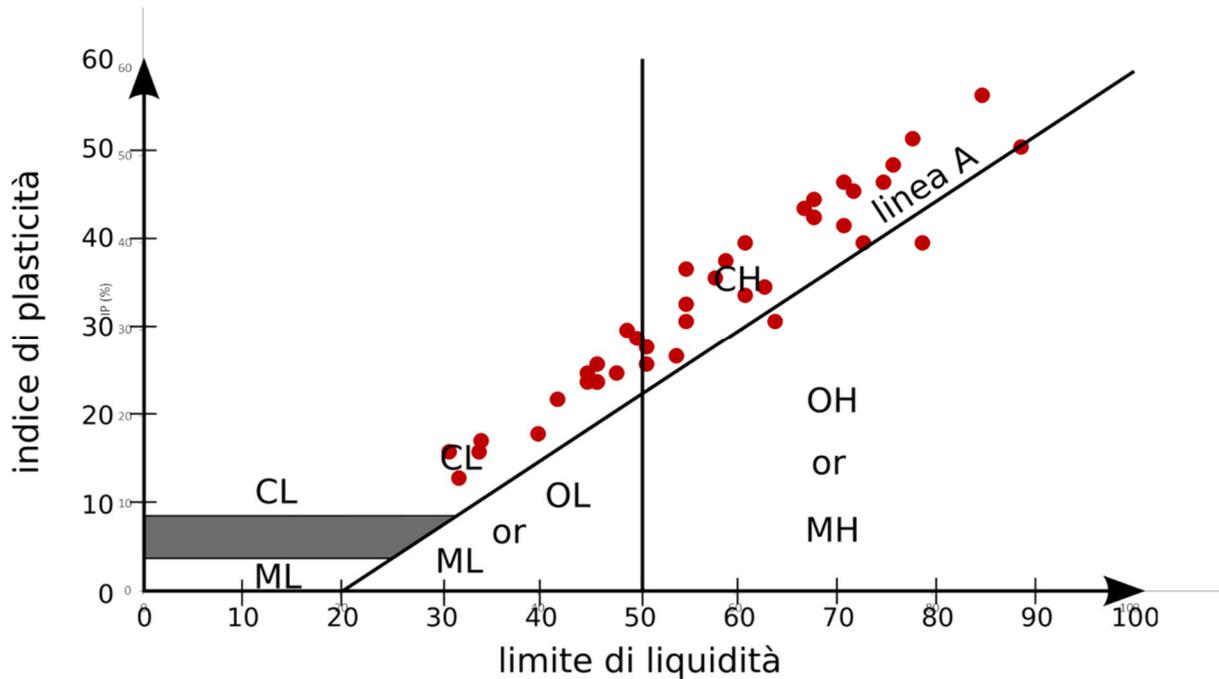


Figura 8-26 –Carta di plasticità (Unità FYRc)

**Proprietà fisiche da prove in foro SPT**

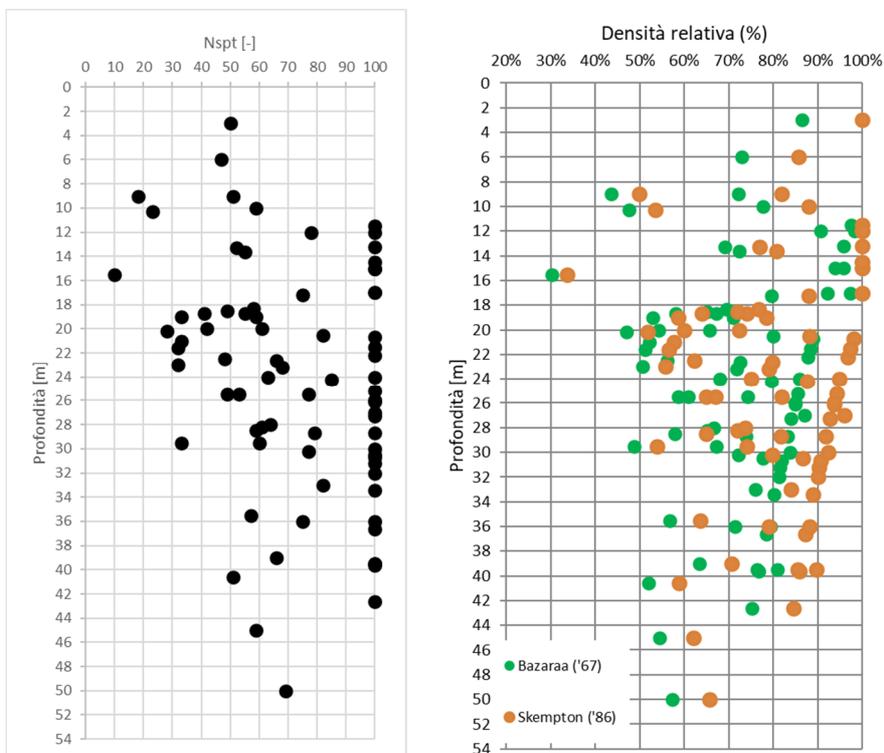


Figura 8-27 – Nspt e Densità relativa da prove Nspt –Unità FYRc

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGILO 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 IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 42 di 57
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale						

### 8.4.3 PROPRIETÀ MECCANICHE DI RESISTENZA – UNITÀ FYRC

#### Proprietà meccaniche di resistenza da prove di laboratorio

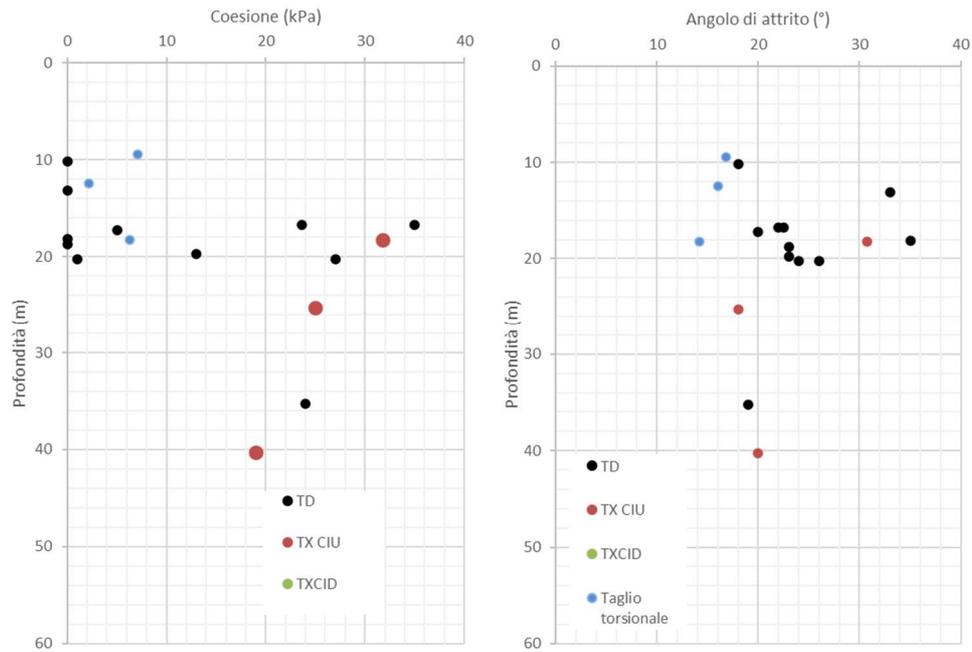


Figura 8-28 – Coesione efficace e angolo d'attrito–Unità FYRc

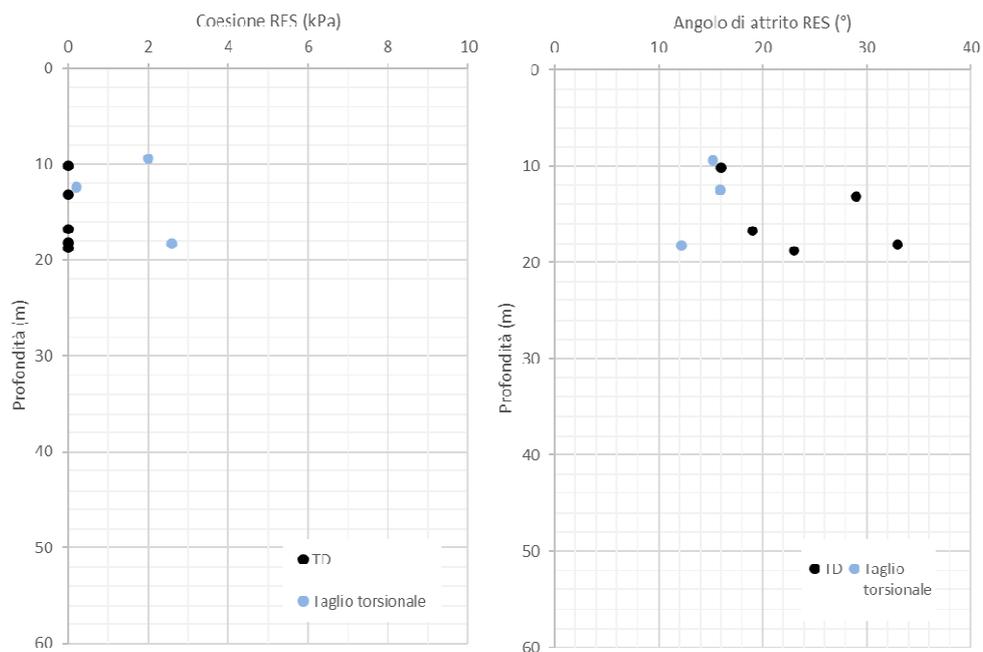


Figura 29-30: coesione efficace e angolo d'attrito residui.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 43 di 57

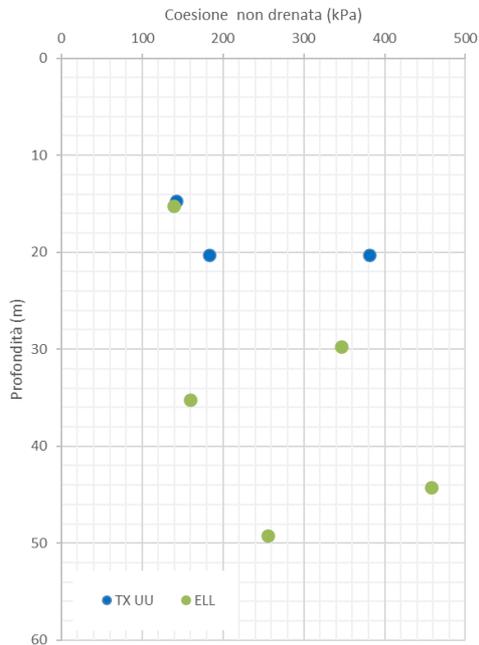


Figura 8-31 – Coazione non drenata –Unità FYRc

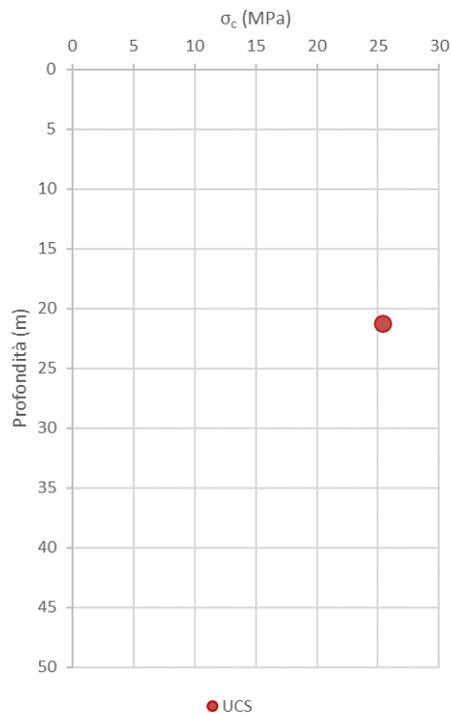


Figura 8-32 – Sforzo di compressione monoassiale a rottura –Unità FYRc.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 44 di 57

### Proprietà meccaniche di resistenza da prove in foro SPT

I seguenti grafici riportano: correlazione di Peck, Hanson & Thornburn (1974) e Road Bridge Specification; correlazione di Schmertmann utilizzando i valori di densità relativa calcolati con Bazaaraa ('86) e Skempton ('67); correlazione di Bolton utilizzando i valori di densità relativa calcolati con Bazaaraa ('86) e Skempton ('67); correlazioni di Schmertmann e Bolton utilizzando i valori di densità relativa calcolati con Bazaaraa ('86) e Skempton ('67).

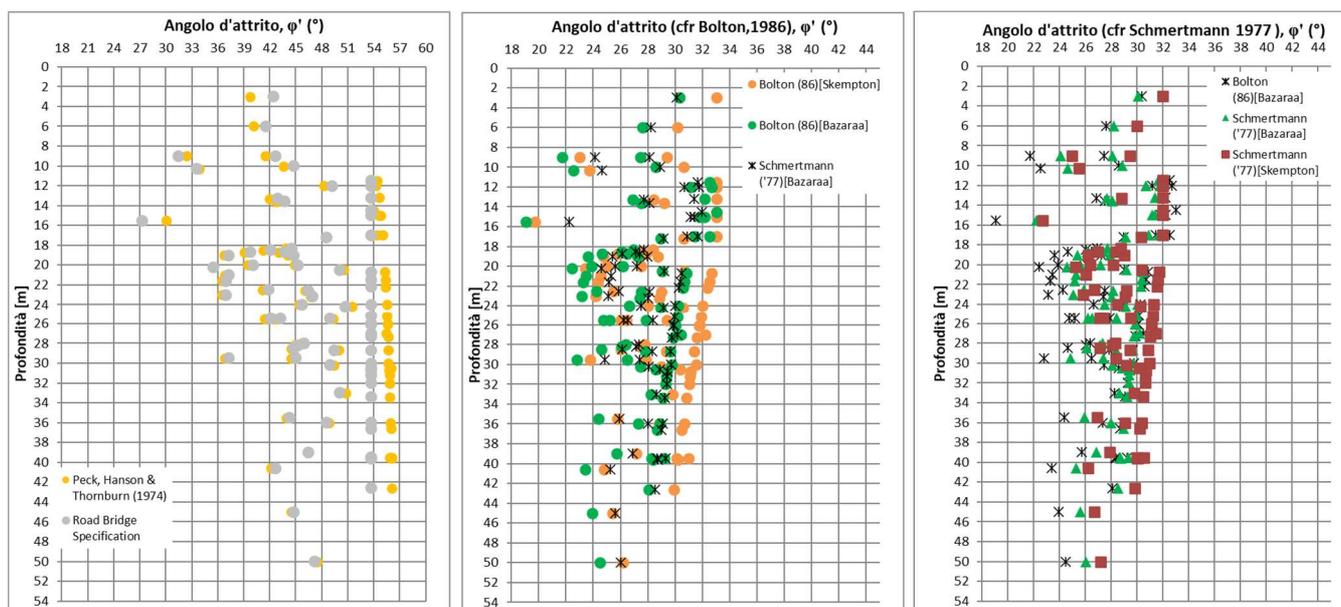


Figura 8-33 – Angolo d'attrito da prove SPT –Unità FYRc

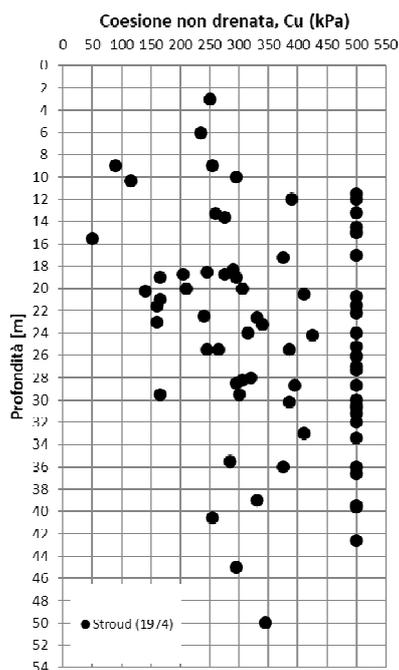


Figura 8-34 – Coesione non drenata da prove SPT –Unità FYRc

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>		COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 45 di 57

**Proprietà meccaniche di resistenza da prove in foro Pocket Penetrometer**

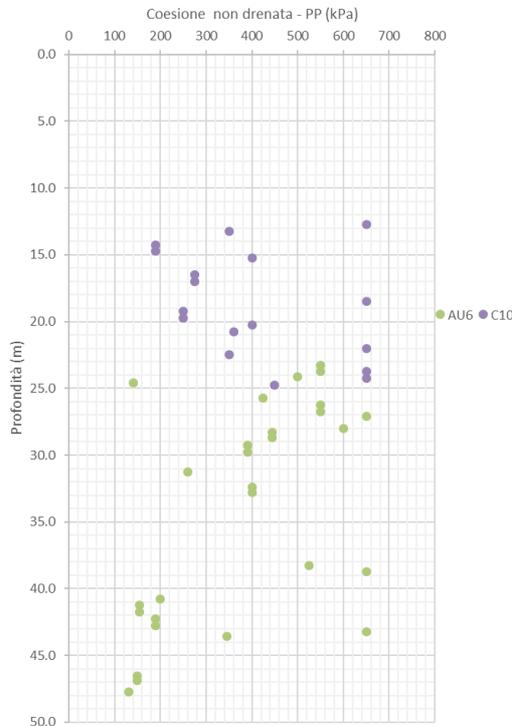


Figura 8-35 – Coesione non drenata da prove PP- Unità FYRc.

**8.4.4 PROPRIETÀ MECCANICHE DI DEFORMABILITÀ – UNITÀ FYRC**

**Proprietà meccaniche di deformabilità da prove in foro SPT**

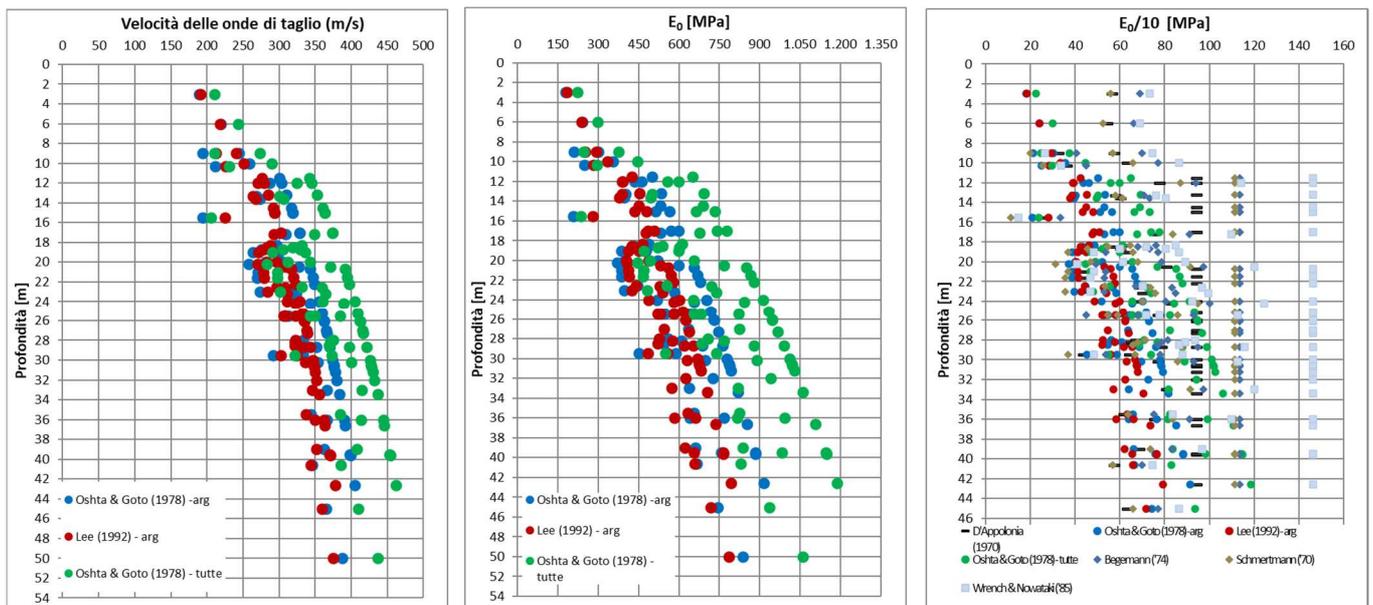


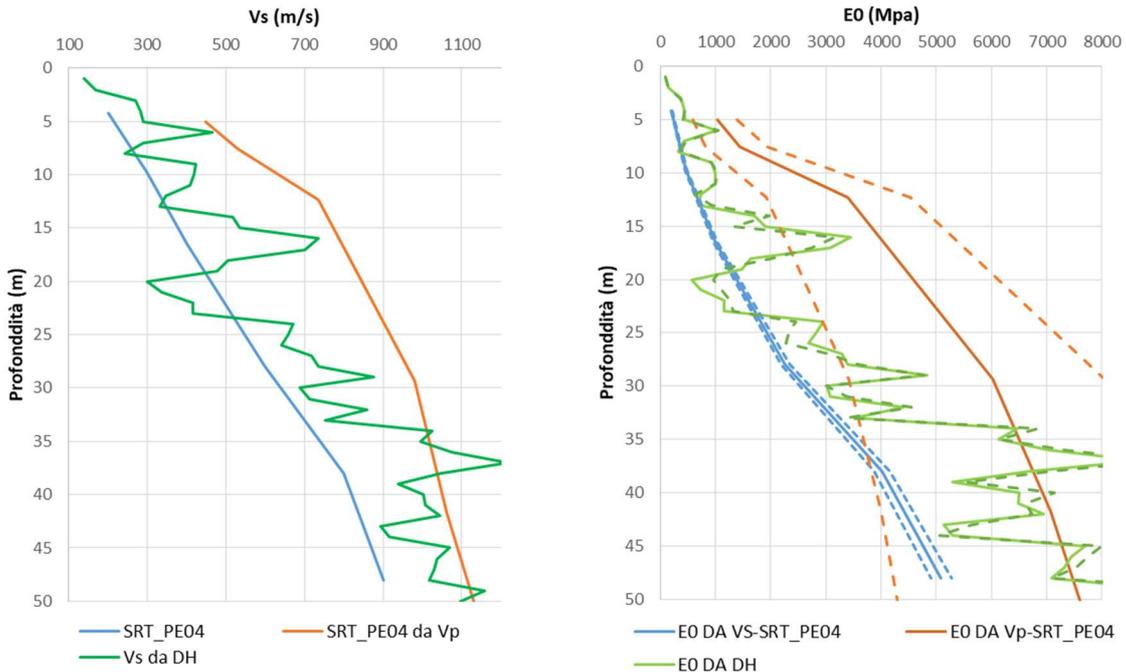
Figura 8-36 – Velocità onde di taglio e modulo elastico a piccole deformazioni e modulo elastico operativo E0/10 da prove SPT – Unità FYRc

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 46 di 57

**Proprietà meccaniche di deformabilità da indagini geofisiche**

La sezione scelta per l'analisi delle onde di taglio e compressione è quella in corrispondenza della verticale di sondaggio VI02-2 in corrispondenza della quale è stata eseguita una prova sismica in foro Down-hole.

Nei grafici sotto riportati sono rappresentati dei range di modulo elastico a piccole deformazioni determinati a partire da una variabilità imposta ai coefficienti di poisson a piccole deformazioni.



**Figura 8-37 –Velocità onde di taglio e modulo elastico a basse deformazioni da ind. geofisiche– Unità FYRc**

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 47 di 57

### 8.4.5 CONDUCEBILITÀ IDRAULICA – UNITÀ FYRC

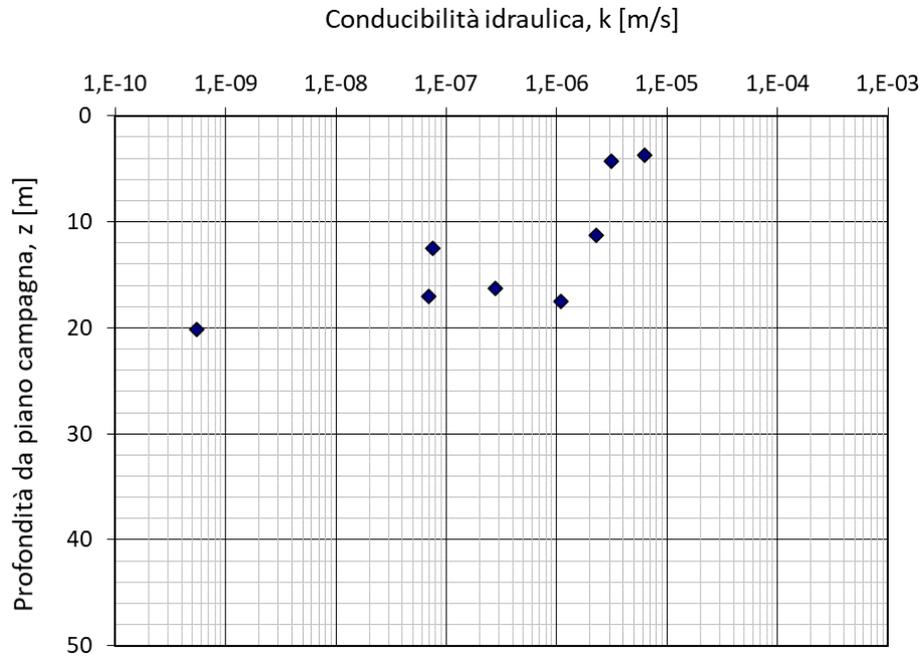


Figura 8-38 –Conducibilità idraulica da prove Lefranc CV– Unità FYRc

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio Soci <b>HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO 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 IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 48 di 57
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>						

## 8.5 MONITORAGGIO PIEZOMETRICO

Nel seguito si riporta il monitoraggio piezometrico della tratta in esame.

Si presentano le misurazioni disponibili alla data di redazione del presente documento che fanno riferimento ai piezometri installati durante la Campagna indagini 2017 di PD [17] (piezometri AU-7, C10, S10), dei quali solo il piezometro S10 è ancora in funzione. Inoltre si presentano le misurazione disponibili per i piezometri della Campagna indagini integrative 2021 di PED [19].

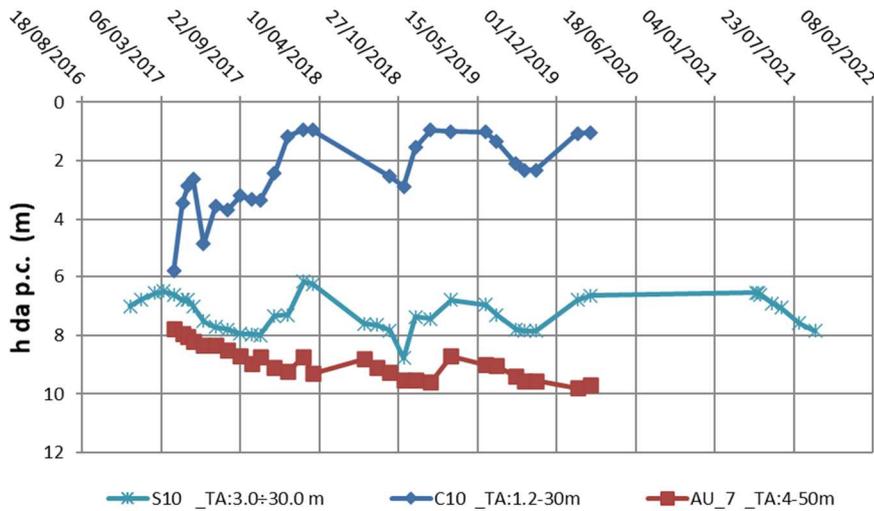
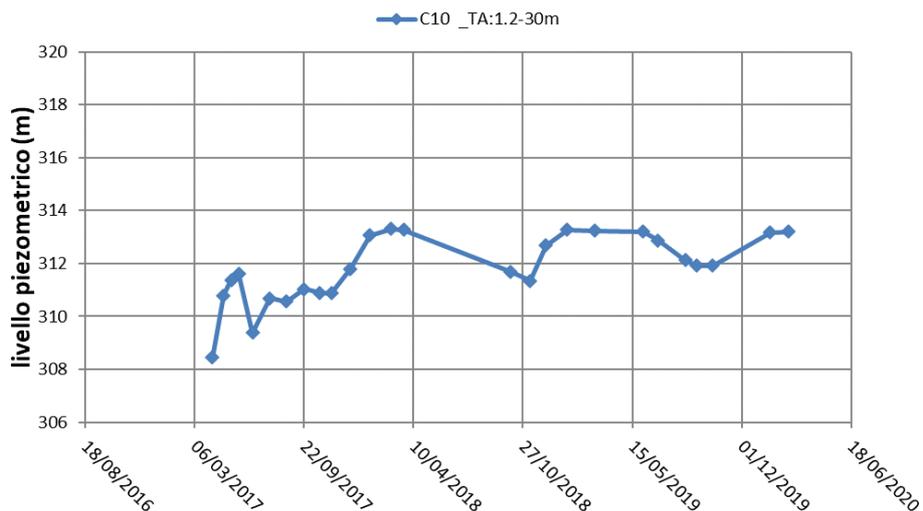


Figura 8-39 – Altezza di falda rispetto al piano campagna, piezometri PD.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio Soci <b>HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>		COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 49 di 57

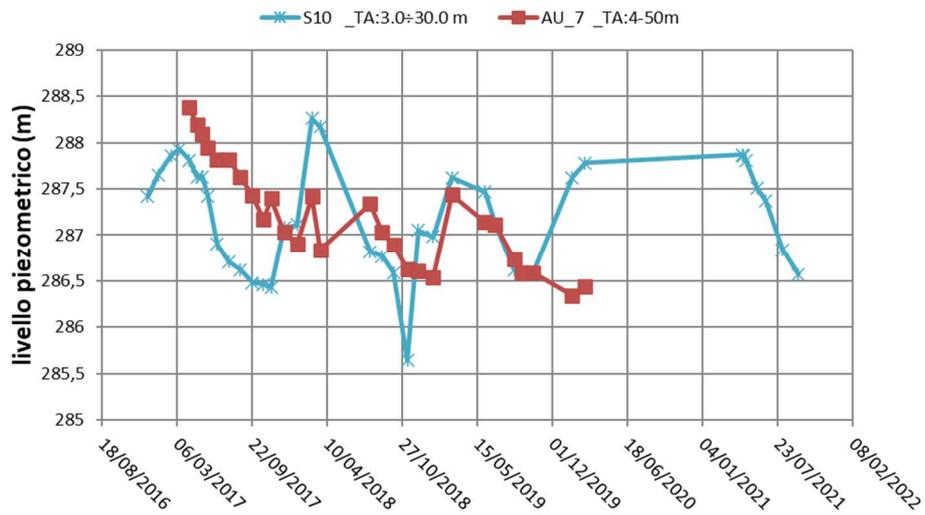


Figura 8-40 – Altezza di falda in quote assolute, piezometri PD.

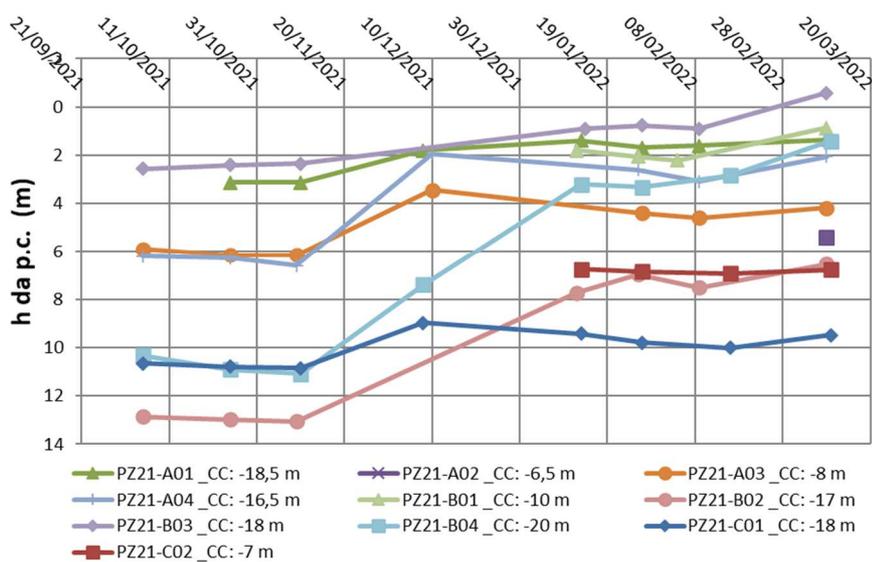


Figura 8-41 – Altezza di falda rispetto al piano campagna, piezometri PED.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio Soci <b>HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>		COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 50 di 57

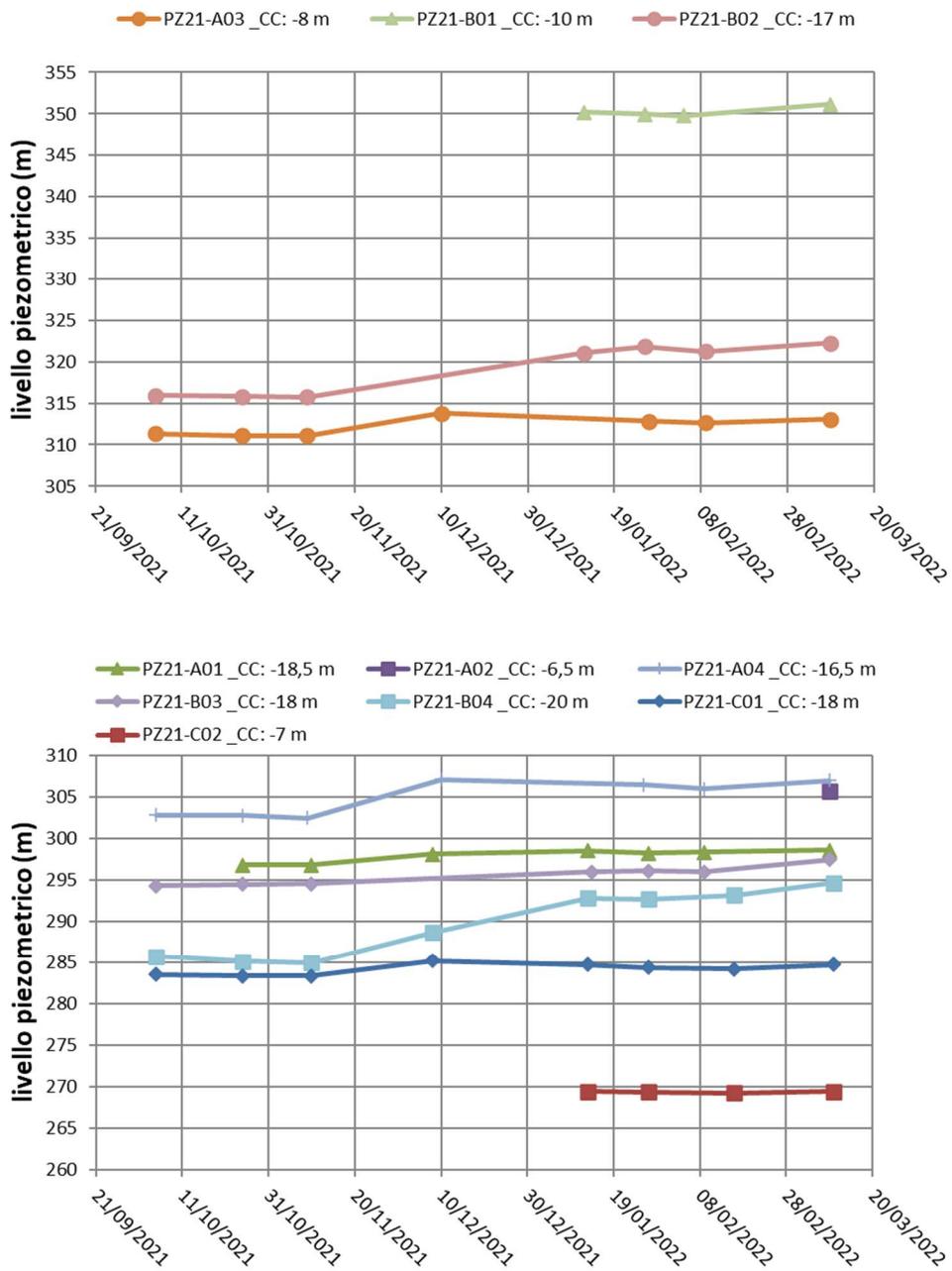


Figura 8-42 – Altezza di falda in quote assolute, piezometri PED.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 51 di 57

## 8.6 QUADRO DI SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Unità		FYR - corpo di frana	FYR	FYRc
Intervalli profondità da p.c.			< 20m	> 20m
<i>Proprietà</i>	<i>u.m.</i>	<i>range</i>	<i>range</i>	<i>range</i>
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	17÷21	19.5÷22	19.5÷23
$w_N$	%	15÷25	10÷25	10÷26
$w_L$	%	50÷70	40÷75	40÷76
$w_P$	%	18÷35	20÷33	20÷30
$I_P$	%	20÷40	20÷45	20÷50
$I_c$	-	0.9÷1.3	1.0÷1.2	1.0÷1.3
$c'$	kPa	10÷30	10÷25	20÷30
$\phi'$	°	16÷25	22÷24	20÷22
$c'$ residui	kPa	0÷5	-	-
$\phi'$ residui	°	14÷23	-	-
$C_u$	kPa	50 ÷ 180	150÷400	250÷500
$E_0$	MPa	200÷500 (*)	500÷1200 (*)	1200÷3000 (**)
$E_0/5$	MPa	40÷100 (*)	100÷240(*)	240÷600(**)
$E_0/10$	MPa	20÷50(*)	50÷120(*)	120÷300 (**)
$k$	m/s	$5 \cdot 10^{-7} \div 5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-5}$

(\*) indica aumento lineare con la profondità

(\*\*) indica aumento lineare con la profondità fino ai 35 m, successivamente si assume un valore costante pari a 3000 Mpa

**Tabella 8-2 – Sintesi parametrizzazione geotecnica**

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 52 di 57

## 9 ANALISI CHIMICHE

### 9.1 NOTE INTRODUTTIVE

Nell'ambito della Campagna di Indagini di PE (2019) [12,15] sono state condotte analisi chimiche finalizzate alla valutazione dell'aggressività dei terreni, sottoponendo ai test di laboratorio i campioni rimaneggiati prelevati nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo in corrispondenza delle tratte all'aperto. La valutazione del rischio di attacco chimico per le opere in sotterraneo è riportata nella Relazione di caratterizzazione geotecnica geomeccanica generale [13]. In corrispondenza delle tratte all'aperto non sono state analizzate in laboratorio le acque di falda.

Sui campioni di terreno sono state condotte le analisi chimiche volte alla determinazione dei seguenti indicatori (UNI EN 206-1):

Caratteristica chimica	Metodo di prova chimica di riferimento	XA1	XA2	XA3
<b>Acqua nel terreno</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	EN 196-2	≥200 e ≤600	>600 e ≤3000	>3000 e ≤6000
pH	ISO 4316	≤6,5 e ≥5,5	<5,5 e ≥4,5	<4,5 e ≥4,0
CO <sub>2</sub> mg/l aggressiva	prEN 13577:199-9	≥15 e ≤40	>40 e ≤100	>100 fino a saturazione
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	ISO 7150-1 oppure ISO 7150-2	≥15 e ≤30	>30 e ≤60	>60 e ≤100
<b>Terreno</b>				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/kg <sup>a1</sup> totale	EN 196-2 <sup>b1</sup>	≥2000 e ≤3000 <sup>c1</sup>	>3000 <sup>c1</sup> e ≤12000	>12000 e ≤24000
Acidità ml/kg	DIN 4030-2	>200 Baumann Gully	Non incontrato in pratica	

<sup>a1</sup> I terreni argillosi con una permeabilità minore di 10<sup>-5</sup> m/s possono essere classificati in una classe inferiore

<sup>b1</sup> Il metodo di prova prescrive l'estrazione di SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> mediante acido cloridrico; in alternativa si può usare l'estrazione con acqua se nel luogo di impiego del calcestruzzo c'è questa pratica.

<sup>c1</sup> Il limite di 3000 mg/kg, deve essere ridotto a 2000 mg/kg se esiste il rischio di accumulo di ioni solfato nel calcestruzzo causato da cicli di essiccamento/bagnatura oppure suzione capillare.

Figura 9-1 - Prospetto 2 della norma UNI EN 206-1

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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>IF28</td> <td>01</td> <td>V ZZ RB</td> <td>OC0101 001</td> <td>B</td> <td>53 di 57</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF28	01	V ZZ RB	OC0101 001	B	53 di 57													
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>																		

Il prospetto 2 della norma UNI EN 206-1 elenca i valori limite per ogni agente aggressivo contemplato dalla classe di esposizione XA: a fronte della determinazione degli indicatori da analisi chimica del terreno o dell'acqua in esso contenuta è possibile ricavare l'eventuale classe di aggressione chimica. Si specifica che gli ambienti chimicamente aggressivi, classificati nel prospetto UNI EN 206-1, si riferiscono al suolo naturale con presenza d'acqua, temperature dell'acqua/terreno comprese tra 5° e 25°C ed una velocità dell'acqua sufficientemente bassa da poter essere approssimata a condizioni statiche. La condizione più gravosa rilevata dagli indicatori misurati nei due mezzi terreno-acqua, determina la classe di esposizione. Se due o più caratteristiche di aggressività appartengono alla stessa classe, l'esposizione sarà classificata nella classe più elevata successiva, salvo il caso che uno studio specifico provi che ciò non sia necessario.

## 9.2 ESITO DELLE ANALISI

Per quanto riguarda le analisi chimiche effettuate sui campioni prelevati da sondaggi della Campagna Geognostica Integrativa di PE si può assumere per il calcestruzzo l'assenza di rischio di attacco chimico.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> V ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0101 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 54 di 57

## 10 BACK-ANALYSIS DELLA SUPERFICIE DI FRANA

Definiti i parametri caratteristici di rigidezza e di deformabilità dei terreni presenti nella zona di imbocco, si procede nel seguito alla determinazione dei parametri residui relativi alla superficie di scorrimento di progetto alla base del corpo di frana, in funzione dei dati di monitoraggio attualmente a disposizione.

Si rimanda alla “Relazione geologica, geomorfologica generale” IF2801VZZRGGE0101001B, in particolare al par. 2.4.2, per l’elenco dei dati inclinometrici che hanno portato alla individuazione della possibile superficie di frana interpolante i dati a disposizione e alla definizione della superficie di scivolamento di progetto, definita di dimensioni maggiori date le incertezze e il ridotto periodo di monitoraggio.

Al fine di valutare al meglio i parametri residui lungo la superficie di scorrimento di progetto, si analizzano 2 sezioni che intercettano le opere di imbocco provvisoria e definitiva, orientate secondo la direzione di scorrimento prevista e tenendo conto della profondità del corpo di frana ottenuta dalle evidenze dei sondaggi.

Nel dettaglio, la sezione A-A interessa principalmente le paratie di imbocco, con corpo di frana profondo al più 14m, mentre la sezione B-B intercetta i pali, che formano gli archi innestati sui pozzi strutturali definitivi, e più a valle le opere definitive della spalla e prima pila del viadotto VI02, in corrispondenza dei quali il corpo di frana aumenta di spessore a 18-20m.

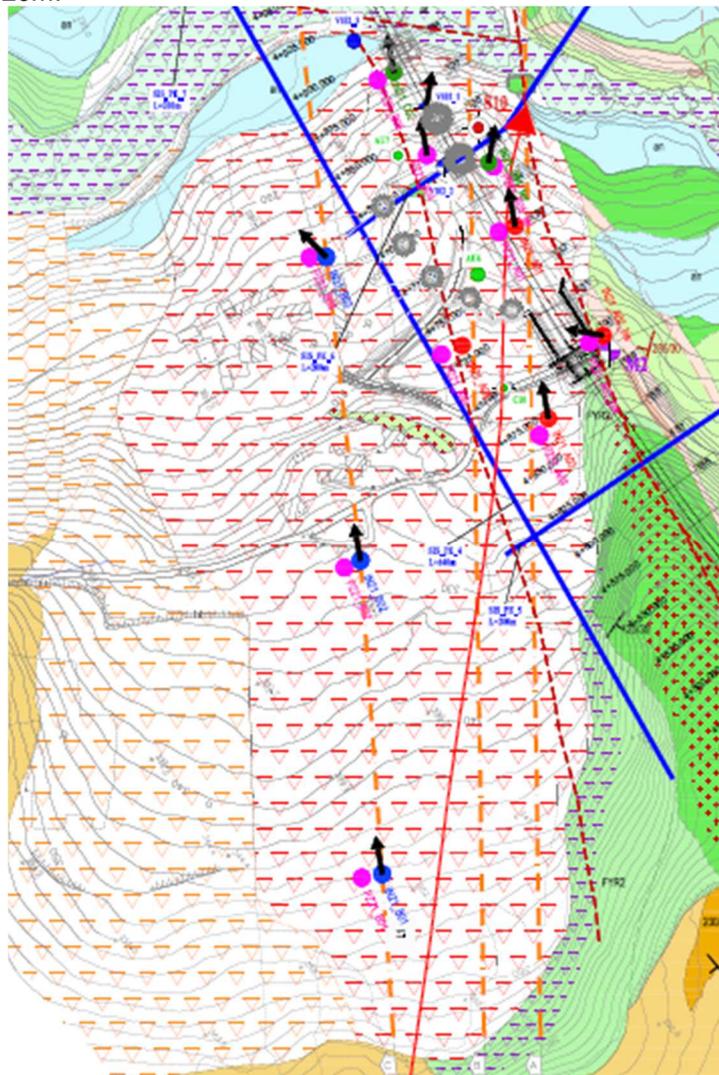


Figura 10-1 – Planimetria imbocco GA02 e viadotto VI02 con monitoraggio di PE, PED, integrativo – Elab. IF2801VZZN7GE0101001

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	
PROGETTO ESECUTIVO Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale	

<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b>					
<b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF28	01	V ZZ RB	OC0101 001	B	55 di 57

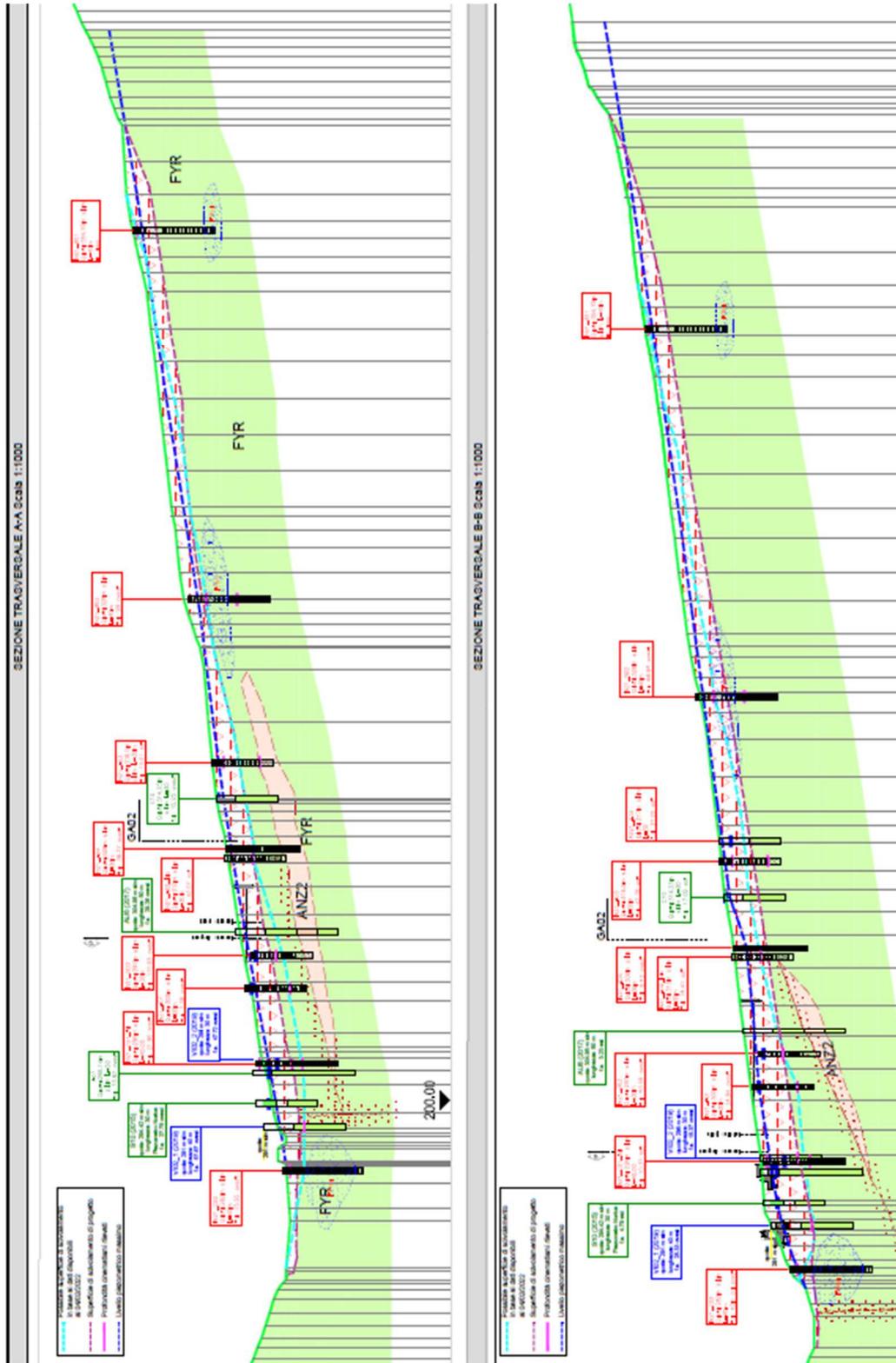


Figura 10-2 – Sezione di analisi AA (a sinistra) e BB (a destra) – Elaborato IF2801VZZFZGE0101001

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 56 di 57

Per determinare i parametri residui per la superficie di frana, si riproducono le sezioni geologiche di progetto nel programma GEO SLOPE, imponendo la superficie di scorrimento desunta dai dati a disposizione e la superficie piezometrica relativa ai massimi livelli monitorati, così come riportato sulle sezioni geologiche. Si inseriscono i 2 strati di FYR, con i rispettivi parametri di resistenza derivati dalla caratterizzazione geotecnica, intervallati da uno strato di 1m di spessore in corrispondenza della superficie di scorrimento.



Figura 10-3 – Modello di calcolo in GEOSLOPE – sezione AA

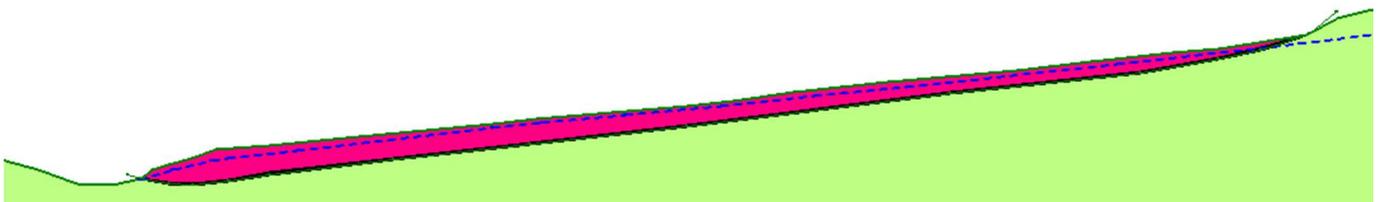


Figura 10-4 – Modello di calcolo in GEOSLOPE – sezione BB

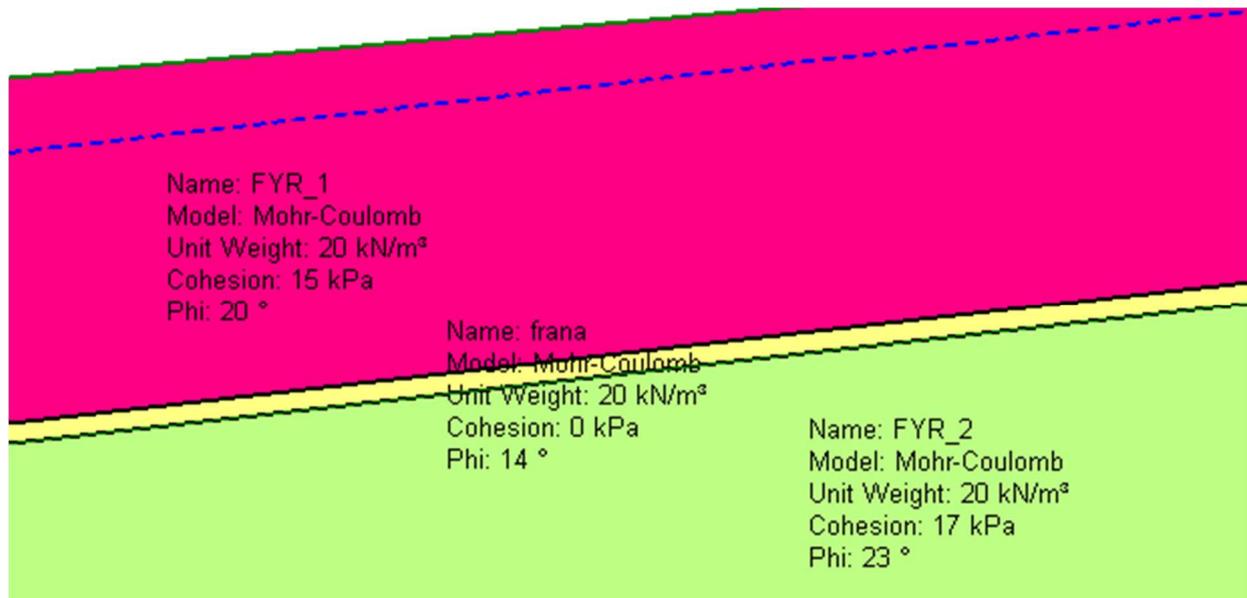


Figura 10-5 – Dettaglio della stratigrafia

L'analisi di stabilità è eseguita in modo iterativo al fine di ottenere la condizione di incipiente collasso (FS=1) secondo il criterio di Morgenstern-Price, impostando la superficie di scivolamento al passaggio sul terreno sottostante: in entrambi i modelli si arriva all'equilibrio limite imponendo al terreno in frana  $\gamma=20\text{kN/m}^3$ ,  $c'=0\text{kPa}$  e  $\Phi'=14^\circ$ .

In allegato sono presenti gli allegati di calcolo.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO 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</b> Variante 21 – opere di mitigazione movimenti franosi tra la <b>PK 4+695 e PK 5+090 - Relazione Geotecnica Generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA V ZZ RB	DOCUMENTO OC0101 001	REV. B	FOGLIO 57 di 57

1.019

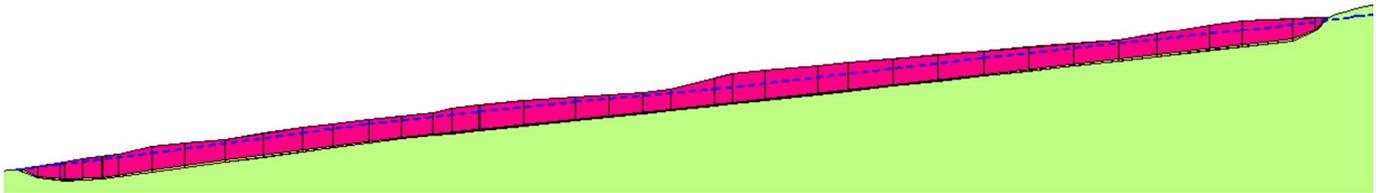


Figura 10-6 – Risultato backanalysis in GEOSLOPE – sezione AA

1.012

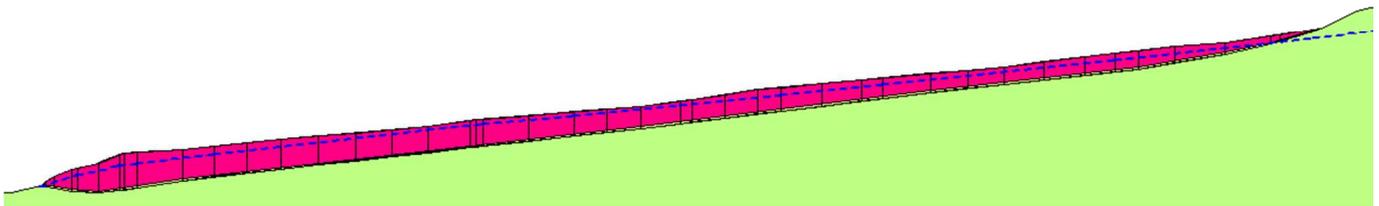


Figura 10-7 – Risultato backanalysis in GEOSLOPE – sezione BB

Come detto nella Premessa della relazione, la backanalysis è realizzata sul modello geologico di progetto, che risulta cautelativo rispetto ad una possibile rivisitazione del modello geologico alla luce delle letture inclinometriche ad oggi disponibili (marzo 2022).

Per il dimensionamento delle singole opere presenti nella zona di imbocco si rimanda alle specifiche relazioni di calcolo. Si chiarisce che la validità del risultato ottenuto in back-analysis sul modello geologico di progetto ad oggi disponibile è confermata per il progetto delle paratie ad arco dell'imbocco e della struttura della SPA e del plinto della pila P1, le prime opere ad essere realizzate.

Per le restanti opere, come i pozzi strutturali, è prevista una successiva rivalutazione, se necessaria, del modello geologico in funzione dei dati inclinometrici che verranno registrati nei mesi a venire, avendo quindi il tempo per una possibile ottimizzazione delle soluzioni previste ad oggi.

Le diverse opere vengono analizzate anche in fase sismica, inserendo ulteriori considerazioni rispetto all'analisi in fase statica. Rimandando alle singole relazioni di calcolo per i dettagli, si evidenzia come per le opere di prima fase, per le quali si considera la superficie di frana di progetto considerata cautelativa rispetto ai dati di monitoraggio a disposizione, si è proceduto alla valutazione della lunghezza d'onda del sisma (riducendo quindi la porzione di corpo di frana agente simultaneamente sull'opera di sostegno) per stimare la sollecitazione sismica pseudostatica ed equiversa al pendio.

# Allegato 0 - Verifica di stabilità

## SEZIONE A-A

### 1 PROJECT SETTINGS

Length(L) Units: [meters](#)  
Time(t) Units: [Seconds](#)  
Force(F) Units: [kN](#)  
Pressure(p) Units: [kPa](#)  
Strength Units: [kPa](#)  
Unit Weight of Water: [9.807 kN/m<sup>3</sup>](#)  
View: [2D](#)

### 2 ANALYSIS SETTINGS

#### 2.1 SLOPE/W ANALYSIS

Kind: [SLOPE/W](#)  
Method: [Morgenstern-Price](#)  
Settings  
    Apply Phreatic Correction: [No](#)  
    Side Function  
        Interslice force function option: [Half-Sine](#)  
    PWP Conditions Source: [Piezometric Line](#)  
    Use Staged Rapid Drawdown: [No](#)  
SlipSurface  
    Direction of movement: [Right to Left](#)  
    Allow Passive Mode: [No](#)  
    Slip Surface Option: [Fully-Specified](#)  
    Critical slip surfaces saved: [1](#)  
    Optimize Critical Slip Surface Location: [No](#)  
    Tension Crack  
        Tension Crack Option: [\(none\)](#)  
FOS Distribution  
    FOS Calculation Option: [Constant](#)  
Advanced  
    Number of Slices: [30](#)  
    Optimization Tolerance: [0.01](#)  
    Minimum Slip Surface Depth: [0.1 m](#)  
    Minimum Slice Width: [0.1 m](#)  
    Optimization Maximum Iterations: [2000](#)  
    Optimization Convergence Tolerance: [1e-007](#)  
    Starting Optimization Points: [8](#)  
    Ending Optimization Points: [16](#)  
    Complete Passes per Insertion: [1](#)

### 3 MATERIALS

#### 3.1 FRANA

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>

Cohesion: 0 kPa

Phi: 14 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

#### 3.2 FYR\_2

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>

Cohesion: 17 kPa

Phi: 23 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

#### 3.3 FYR\_1

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>

Cohesion: 15 kPa

Phi: 20 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

### 4 SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: (420.32571, 491.06515) m

Right Coordinate: (1092.5119, 509.47679) m

### 5 FULLY SPECIFIED SLIP SURFACES

#### 5.1 FULLY SPECIFIED SLIP SURFACE 1

	X (m)	Y (m)
	532.35583	535.95543
	538.2575	527.7967
	546.3869	523.4745
	556.4935	522.1457
	571.3371	522.8338
	590.7796	526.5233

	619.3341	531.7856
	688.1958	543.858
	793.4016	558.4512
	915.749	576.6446
	983.4123	586.8301
	1036.3439	595.155
	1045.1425	599.951
	1050.4127	607.7967
	1053.4544	615.63352

## 6 PIEZOMETRIC LINES

### 6.1 PIEZOMETRIC LINE 1

#### 6.1.1 Coordinates

	X (m)	Y (m)
	538.2575	527.7967
	554.7429	530.3956
	590.7793	536.631
	649.5172	547.1237
	675.4729	551.5988
	718.8188	558.3424
	756.3326	563.3727
	810.4803	569.8329
	915.749	586.2756
	1016.4543	600.6422
	1063.1278	608.4785
	1097.2051	614.2

## 7 REGIONS

	Material	Points	Area (m <sup>2</sup> )
Region 1	FYR_1	51,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,63,62,61,60,59,58,57,56,55,54,53,52	5905.1825
Region 2	FYR_2	33,34,35,36,37,49,50,1,2,3,4,5,6,7,8,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48	38272.334
Region 3	frana	63,33,48,47,46,45,44,43,42,41,40,39,38,8,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62	516.01959

## 8 POINTS

	X (m)	Y (m)
Point 1	433.6718	547.7967
Point 2	453.1905	539.7967
Point 3	472.4508	533.7967
Point 4	477.0836	531.7967
Point 5	481.7625	527.7967
Point 6	487.6037	527.7967
Point 7	510.8176	525.7967
Point 8	538.2575	527.7967
Point 9	556.4935	531.7967
Point 10	563.7196	533.7967
Point 11	577.5875	535.7967
Point 12	590.7796	539.7967
Point 13	603.5752	541.7967
Point 14	619.3341	543.7967
Point 15	649.5172	549.7967
Point 16	661.7759	551.7967
Point 17	675.3305	553.7967
Point 18	700.5166	557.7967
Point 19	708.1129	559.7967

Point 20	718.6932	561.7732
Point 21	736.0602	563.7967
Point 22	756.3326	565.7967
Point 23	782.4601	567.7967
Point 24	793.4016	569.7967
Point 25	817.3369	577.7967
Point 26	830.471	579.7967
Point 27	851.0423	581.7967
Point 28	862.6881	583.7967
Point 29	915.749	589.7967
Point 30	968.5209	595.7967
Point 31	1003.7795	603.7967
Point 32	1016.4543	605.7967
Point 33	1050.4127	607.7967
Point 34	1053.6492	609.7967
Point 35	1062.9981	613.2432
Point 36	1078.9065	617.7967
Point 37	1090.0544	622.2217
Point 38	546.3869	523.4745
Point 39	556.4935	522.1457
Point 40	571.3371	522.8338
Point 41	590.7796	526.5233
Point 42	619.3341	531.7856
Point 43	688.1958	543.858
Point 44	793.4016	558.4512
Point 45	915.749	576.6446
Point 46	983.4123	586.8301
Point 47	1036.3439	595.155
Point 48	1045.1425	599.951

Point 49	1092.5119	509.47679
Point 50	420.32571	491.06515
Point 51	539.49795	528.06879
Point 52	546.37249	524.4745
Point 53	556.39405	523.1457
Point 54	571.23566	523.8338
Point 55	590.75076	527.5233
Point 56	619.28089	532.7856
Point 57	688.09913	544.858
Point 58	793.36187	559.4512
Point 59	915.71123	577.6446
Point 60	983.34145	587.8301
Point 61	1036.2786	596.155
Point 62	1045.1014	600.951
Point 63	1049.5392	607.74526

## 9 CRITICAL SLIP SURFACES

	Number	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1	1	1.019	(784.963, 627.797)	204.068	(1050.41, 607.797)	(538.258, 527.797)

# SEZIONE B-B

## 1 PROJECT SETTINGS

Length(L) Units: [meters](#)

Time(t) Units: [Seconds](#)

Force(F) Units: [kN](#)

Pressure(p) Units: [kPa](#)

Strength Units: [kPa](#)

Unit Weight of Water: [9.807 kN/m<sup>3</sup>](#)

View: [2D](#)

## 2 ANALYSIS SETTINGS

### 2.1 SLOPE/W ANALYSIS

Kind: [SLOPE/W](#)

Method: [Morgenstern-Price](#)

Settings

Apply Phreatic Correction: [No](#)

Side Function

Interslice force function option: [Half-Sine](#)

PWP Conditions Source: [Piezometric Line](#)

Use Staged Rapid Drawdown: [No](#)

SlipSurface

Direction of movement: [Right to Left](#)

Allow Passive Mode: [No](#)

Slip Surface Option: [Fully-Specified](#)

Critical slip surfaces saved: [1](#)

Optimize Critical Slip Surface Location: [No](#)

Tension Crack

Tension Crack Option: [\(none\)](#)

FOS Distribution

FOS Calculation Option: [Constant](#)

Advanced

Number of Slices: [30](#)

Optimization Tolerance: [0.01](#)

Minimum Slip Surface Depth: [0.1 m](#)

Minimum Slice Width: [0.1 m](#)

Optimization Maximum Iterations: [2000](#)

Optimization Convergence Tolerance: [1e-007](#)

Starting Optimization Points: [8](#)

Ending Optimization Points: [16](#)

Complete Passes per Insertion: [1](#)

### 3 MATERIALS

#### 3.1 FRANA

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 0 kPa  
Phi: 14 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

#### 3.2 FYR\_2

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 17 kPa  
Phi: 23 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

#### 3.3 FYR\_1

Model: Mohr-Coulomb  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 15 kPa  
Phi: 20 °  
Phi-B: 0 °  
Pore Water Pressure  
Piezometric Line: 1

### 4 SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: (420.32571, 491.06515) m  
Right Coordinate: (1092.5119, 509.47679) m

### 5 FULLY SPECIFIED SLIP SURFACES

#### 5.1 FULLY SPECIFIED SLIP SURFACE 1

	X (m)	Y (m)
	532.35583	535.95543
	538.2575	527.7967
	546.3869	523.4745
	556.4935	522.1457
	571.3371	522.8338
	590.7796	526.5233

	619.3341	531.7856
	688.1958	543.858
	793.4016	558.4512
	915.749	576.6446
	983.4123	586.8301
	1036.3439	595.155
	1045.1425	599.951
	1050.4127	607.7967
	1053.4544	615.63352

## 6 PIEZOMETRIC LINES

### 6.1 PIEZOMETRIC LINE 1

#### 6.1.1 Coordinates

	X (m)	Y (m)
	538.2575	527.7967
	554.7429	530.3956
	590.7793	536.631
	649.5172	547.1237
	675.4729	551.5988
	718.8188	558.3424
	756.3326	563.3727
	810.4803	569.8329
	915.749	586.2756
	1016.4543	600.6422
	1063.1278	608.4785
	1097.2051	614.2

## 7 REGIONS

	Material	Points	Area (m <sup>2</sup> )
Region 1	FYR_1	51,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,63,62,61,60,59,58,57,56,55,54,53,52	5905.1825
Region 2	FYR_2	33,34,35,36,37,49,50,1,2,3,4,5,6,7,8,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48	38272.334
Region 3	frana	63,33,48,47,46,45,44,43,42,41,40,39,38,8,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62	516.01959

## 8 POINTS

	X (m)	Y (m)
Point 1	433.6718	547.7967
Point 2	453.1905	539.7967
Point 3	472.4508	533.7967
Point 4	477.0836	531.7967
Point 5	481.7625	527.7967
Point 6	487.6037	527.7967
Point 7	510.8176	525.7967
Point 8	538.2575	527.7967
Point 9	556.4935	531.7967
Point 10	563.7196	533.7967
Point 11	577.5875	535.7967
Point 12	590.7796	539.7967
Point 13	603.5752	541.7967
Point 14	619.3341	543.7967
Point 15	649.5172	549.7967
Point 16	661.7759	551.7967
Point 17	675.3305	553.7967
Point 18	700.5166	557.7967
Point 19	708.1129	559.7967

Point 20	718.6932	561.7732
Point 21	736.0602	563.7967
Point 22	756.3326	565.7967
Point 23	782.4601	567.7967
Point 24	793.4016	569.7967
Point 25	817.3369	577.7967
Point 26	830.471	579.7967
Point 27	851.0423	581.7967
Point 28	862.6881	583.7967
Point 29	915.749	589.7967
Point 30	968.5209	595.7967
Point 31	1003.7795	603.7967
Point 32	1016.4543	605.7967
Point 33	1050.4127	607.7967
Point 34	1053.6492	609.7967
Point 35	1062.9981	613.2432
Point 36	1078.9065	617.7967
Point 37	1090.0544	622.2217
Point 38	546.3869	523.4745
Point 39	556.4935	522.1457
Point 40	571.3371	522.8338
Point 41	590.7796	526.5233
Point 42	619.3341	531.7856
Point 43	688.1958	543.858
Point 44	793.4016	558.4512
Point 45	915.749	576.6446
Point 46	983.4123	586.8301
Point 47	1036.3439	595.155
Point 48	1045.1425	599.951

Point 49	1092.5119	509.47679
Point 50	420.32571	491.06515
Point 51	539.49795	528.06879
Point 52	546.37249	524.4745
Point 53	556.39405	523.1457
Point 54	571.23566	523.8338
Point 55	590.75076	527.5233
Point 56	619.28089	532.7856
Point 57	688.09913	544.858
Point 58	793.36187	559.4512
Point 59	915.71123	577.6446
Point 60	983.34145	587.8301
Point 61	1036.2786	596.155
Point 62	1045.1014	600.951
Point 63	1049.5392	607.74526

## 9 CRITICAL SLIP SURFACES

	Number	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1	1	1.019	(784.963, 627.797)	204.068	(1050.41, 607.797)	(538.258, 527.797)