

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:

HIRPINIA - ORSARA AV

SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



## PROGETTO ESECUTIVO

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

GN00-GENERALE

GALLERIE DI LINEA

ELABORATI GENERALI

Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA - ORSARA AV Il Direttore Tecnico Ing. P. M. Gianvecchio 16/01/2023	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani	 Ing. G. Cassani

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

IF3A   02   E   ZZ   RG   GN0000   001   D   -

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	C08.00 – Emissione 180gg	M. Di Minico	08/02/2022	A. Zimbaldi	08/02/2022	M. Gatti	08/02/2022	Ing. G. Cassani    16/01/2023
B	C08.01 – A valle del contraddittorio	V. Tuccio	08/06/2022	A. Zimbaldi	08/06/2022	M. Gatti	08/06/2022	
C	C 08.03 – A valle del contraddittorio	V. Tuccio	30/09/2022	A. Zimbaldi	30/09/2022	M. Gatti	30/09/2022	
D	C 08.04 – A valle del contraddittorio	P. Poli	16/01/2023	A. Zimbaldi	16/01/2023	M. Gatti	16/01/2023	

File: IF3A02EZZRGGN0000001D.docx

n. Elab.: -

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 2 di 184

## Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>6</b>
1.1	DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO.....	6
<b>2</b>	<b>SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>8</b>
3.1	LEGGI E NORMATIVE COGENTI .....	8
3.2	NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI.....	8
3.3	PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF).....	8
<b>4</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>8</b>
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	8
4.2	DOCUMENTI SUPERATI.....	8
<b>5</b>	<b>DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO.....</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>FASE CONOSCITIVA.....</b>	<b>11</b>
6.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	11
6.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	15
<b>7</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>17</b>
<b>8</b>	<b>PROCEDURA OPERATIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI .....</b>	<b>18</b>
8.1	NOTE GENERALI .....	18
8.2	ELABORAZIONE PROVE DI LABORATORIO.....	19
8.2.1	PROPRIETÀ FISICHE.....	19
8.2.2	PROPRIETÀ MECCANICHE .....	19
8.2.3	RIGONFIAMENTO .....	19
8.3	ELABORAZIONE PROVE IN SITU.....	20
8.3.1	NOTE INTRODUTTIVE .....	20
8.3.2	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (SPT).....	20
8.3.3	POCKET PENETROMETER.....	21
8.3.4	PROVE PRESSIOMETRICHE.....	21
8.3.5	PROVE DILATOMETRICHE.....	21
8.4	DETERMINAZIONE MODULI ELASTICI OPERATIVI.....	22
<b>9</b>	<b>PROCEDURA OPERATIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI .....</b>	<b>23</b>

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 3 di 184

<b>9.1</b>	<b>NOTE GENERALI .....</b>	<b>23</b>
<b>9.2</b>	<b>CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI .....</b>	<b>23</b>
9.2.1	<b>VALUTAZIONE DEL PARAMETRO RMR D'AMMASSO SECONDO BIENIAWSKY 1989.....</b>	<b>24</b>
<b>9.3</b>	<b>PROPRIETÀ MECCANICHE .....</b>	<b>27</b>
<b>9.4</b>	<b>PROPRIETÀ DI DEFORMABILITÀ .....</b>	<b>27</b>
<b>9.5</b>	<b>CRITERIO DI ROTTURA DI HOEK BROWN .....</b>	<b>27</b>
9.5.1	<b>RELAZIONE TRA IL CRITERIO DI ROTTURA HB E MOHR COULOMB .....</b>	<b>29</b>
<b>10</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA-GEOMECCANICA .....</b>	<b>30</b>
<b>10.1</b>	<b>FORMAZIONE DEL FLYSCH DI FAETO .....</b>	<b>30</b>
10.1.1	NOTE INTRODUTTIVE .....	30
10.1.2	SONDAGGI DI RIFERIMENTO .....	31
10.1.3	CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO .....	32
10.1.4	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLA MATRICE ROCCIOSA.....	36
10.1.5	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA - FAEAM.....	38
10.1.6	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA - FAEMA.....	42
10.1.7	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA - FAEC .....	46
10.1.8	RIEPILOGO PARAMETRI FAE .....	51
<b>10.2</b>	<b>ARGILLE E SABBIE DEL VALLONE MERIDIANO .....</b>	<b>56</b>
10.2.1	NOTE INTRODUTTIVE .....	56
10.2.2	SONDAGGI DI RIFERIMENTO .....	56
10.2.3	PROPRIETÀ FISICHE.....	57
10.2.4	PROPRIETÀ MECCANICHE DI RESISTENZA .....	60
10.2.5	PROPRIETÀ MECCANICHE DI DEFORMABILITÀ.....	65
10.2.6	STATO DI SFORZO .....	68
10.2.7	RIGONFIAMENTO .....	68
10.2.8	CONDUCIBILITÀ IDRAULICA .....	70
10.2.9	RIEPILOGO PARAMETRI BVNB.....	71
<b>10.3</b>	<b>MARNE ARGILLOSE DEL TOPPO CAPUANA.....</b>	<b>72</b>
10.3.1	NOTE INTRODUTTIVE .....	72
10.3.2	SONDAGGI DI RIFERIMENTO .....	73
CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA .....		74
10.3.3	RIEPILOGO PARAMETRI TPC .....	78
<b>10.4</b>	<b>FLYSCH ROSSO.....</b>	<b>79</b>
10.4.1	NOTE INTRODUTTIVE .....	79
10.4.2	SONDAGGI DI RIFERIMENTO .....	80
10.4.3	PROPRIETÀ FISICHE.....	81
10.4.4	PROPRIETÀ MECCANICHE DI RESISTENZA .....	84
10.4.5	PROPRIETÀ MECCANICHE DI DEFORMABILITÀ.....	90
10.4.6	RIGONFIAMENTO .....	92
10.4.7	CREEP.....	93

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 4 di 184

10.4.8	STATO DI SFORZO .....	94
10.4.9	CONDUCIBILITÀ IDRAULICA .....	95
10.4.10	RIEPILOGO PARAMETRI FYR .....	96
10.5	ARGILLITI POLICROME DEL CALAGGIO.....	97
10.5.1	NOTE INTRODUTTIVE .....	97
10.5.2	SONDAGGI DI RIFERIMENTO .....	98
10.5.3	PROPRIETÀ FISICHE.....	99
10.5.4	PROPRIETÀ MECCANICHE DI RESISTENZA .....	102
10.5.5	PROPRIETÀ MECCANICHE DI DEFORMABILITÀ.....	106
10.5.6	RIGONFIAMENTO .....	108
10.5.7	STATO DI SFORZO .....	110
10.5.8	CONDUCIBILITÀ IDRAULICA .....	111
10.5.9	RIEPILOGO PARAMETRI APC.....	112
10.6	EVAPORITI DI MONTE CASTELLO CALCAREO-BRECCIOSI .....	113
10.6.1	NOTE INTRODUTTIVE .....	113
10.6.2	SONDAGGI DI RIFERIMENTO .....	114
10.6.3	CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA .....	115
10.6.4	RIGONFIAMENTO .....	121
10.6.5	STATO DI SFORZO .....	122
10.6.6	CONDUCIBILITÀ IDRAULICA .....	123
10.6.7	RIEPILOGO PARAMETRI CTLA.....	124
10.7	PELITI DI DIFESA GRANDE .....	125
10.7.1	NOTE INTRODUTTIVE .....	125
10.7.2	SONDAGGI DI RIFERIMENTO .....	125
10.7.3	PROPRIETÀ FISICHE.....	126
10.7.4	PROPRIETÀ MECCANICHE DI RESISTENZA .....	129
10.7.5	PROPRIETÀ MECCANICHE DI DEFORMABILITÀ.....	135
10.7.6	RIGONFIAMENTO .....	137
10.7.7	STATO DI SFORZO .....	138
10.7.8	CONDUCIBILITÀ IDRAULICA .....	139
10.7.9	RIEPILOGO PARAMETRI STF2.....	140
10.8	MEMBRO PELITICO-ARENACEO DEL FIUME MISCANO .....	141
10.8.1	NOTE INTRODUTTIVE .....	141
10.8.2	SONDAGGI DI RIFERIMENTO .....	141
10.8.3	PROPRIETÀ FISICHE.....	142
10.8.4	PROPRIETÀ MECCANICHE DI RESISTENZA .....	145
10.8.5	PROPRIETÀ MECCANICHE DI DEFORMABILITÀ.....	151
10.8.6	RIGONFIAMENTO .....	152
10.8.7	STATO DI SFORZO .....	154
10.8.8	CONDUCIBILITÀ IDRAULICA .....	155
10.8.9	RIEPILOGO PARAMETRI BNA2.....	156
10.9	MEMBRO DI FLUMERI DELLE MOLASSE DI ANZANO.....	157



<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>																	
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</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>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RG</td> <td>GN0000 001</td> <td>D</td> <td>5 di 184</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RG	GN0000 001	D	5 di 184
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RG	GN0000 001	D	5 di 184													
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>																		

<b>10.9.1</b>	NOTE INTRODUTTIVE .....	<b>157</b>
<b>10.9.2</b>	SONDAGGI DI RIFERIMENTO .....	<b>157</b>
<b>10.9.3</b>	PROPRIETÀ FISICHE.....	<b>158</b>
<b>10.9.4</b>	PROPRIETÀ MECCANICHE DI RESISTENZA .....	<b>161</b>
<b>10.9.5</b>	PROPRIETÀ MECCANICHE DI DEFORMABILITÀ.....	<b>167</b>
<b>10.9.6</b>	RIGONFIAMENTO .....	<b>167</b>
<b>10.9.7</b>	STATO DI SFORZO .....	<b>169</b>
<b>10.9.8</b>	CONDUCIBILITÀ IDRAULICA .....	<b>170</b>
<b>10.9.9</b>	RIEPILOGO PARAMETRI ANZ2 .....	<b>171</b>
<b>10.10</b>	<b>FORMAZIONE DEL TORRENTE FIUMARELLA .....</b>	<b>172</b>
<b>10.10.1</b>	NOTE INTRODUTTIVE .....	<b>172</b>
<b>10.10.2</b>	SONDAGGI DI RIFERIMENTO .....	<b>172</b>
<b>10.10.3</b>	PROPRIETÀ FISICHE.....	<b>173</b>
<b>10.10.4</b>	PROPRIETÀ MECCANICHE DI RESISTENZA .....	<b>176</b>
<b>10.10.5</b>	PROPRIETÀ MECCANICHE DI DEFORMABILITÀ.....	<b>181</b>
<b>10.10.6</b>	STATO DI SFORZO .....	<b>183</b>
<b>10.10.7</b>	CONDUCIBILITÀ IDRAULICA .....	<b>183</b>
<b>10.10.8</b>	RIEPILOGO PARAMETRI TFR.....	<b>184</b>

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 6 di 184

## 1 PREMESSA

La presente relazione illustra l'attività di caratterizzazione geotecnica e geomeccanica delle unità interagenti con le opere in sotterraneo nella tratta in scavo meccanizzato oggetto di progettazione, nell'ambito della stesura del Progetto Esecutivo del Raddoppio della Tratta Hirpinia-Orsara, secondo lotto della tratta in variante Apice-Orsara.

### 1.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

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

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



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

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

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

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

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consortio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>																	
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF3A</td> <td style="text-align: center;">02</td> <td style="text-align: center;">E ZZ RG</td> <td style="text-align: center;">GN0000 001</td> <td style="text-align: center;">D</td> <td style="text-align: center;">7 di 184</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RG	GN0000 001	D	7 di 184
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RG	GN0000 001	D	7 di 184													
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo</b>																		

## 2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nel presente documento sono definiti i parametri geotecnici delle formazioni che interessano il tracciato della galleria Hirpinia, nella tratta realizzata mediante scavo meccanizzato, impiegati nelle analisi statiche riportate nell'elaborato di progetto "Relazione di calcolo tratta in meccanizzato" Rif. [13].

È dapprima esposto un inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico e geotecnico 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 e la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi posti lungo il tracciato dell'opera in sotterraneo.

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

Nello studio si è fatto riferimento ai risultati della campagna di indagini geognostiche in sito appositamente realizzate nel corso del 2021-2022 e ai risultati delle campagne indagini pregresse svolte in fase di Progettazione Definitiva (2018) e Preliminare (2017).

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>8 di 184</b>

### 3 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

#### 3.1 **LEGGI E NORMATIVE COGENTI**

Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" (pubblicato sulla G.U. n.42 del 20 febbraio 2018);

Rif. [2] Circolare 7 – 21/01/2019.

#### 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] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 D "Manuale di Progettazione delle opere civili" datato 31/12/2019;

Rif. [6] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 "Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali" datato Dicembre 2015;

Rif. [7] RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 C "Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili" datato 21/12/2018

### 4 **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

#### 4.1 **DOCUMENTI REFERENZIATI**

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

Rif. [8] ITALFERR, Progetto Definitivo Itinerario Napoli Bari, Raddoppio tratta Bovino-Orsara (2018).

Rif. [9] ITALFERR, Progetto Definitivo Itinerario Napoli Bari, Raddoppio tratta Apice-Orsara, 2nd lotto funzionale Hirpinia-Orsara (2018).

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

Rif. [10] U. O. Geologia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.RG.GE.01.0.1.001, "Relazione geologica generale";

Rif. [11] U. O. Geologia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.RG.GE.01.0.3.001, "Relazione geomorfologica generale";

Rif. [12] U. O. Geotecnica, documento n° IF3A02EZZRBGE0206001, "Relazione di caratterizzazione geotecnica/geomeccanica generale";

Rif. [13] U. O. Geotecnica, documento n° IF3A02EZZRHGN0100001, "Relazione di calcolo tratta in meccanizzato".

#### 4.2 **DOCUMENTI SUPERATI**

Non sono presenti documenti superati.

### 5 **DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO**

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

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>9 di 184</b>

- Rif. [14] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.002, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 2 ";
- Rif. [15] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.003, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 3 ";
- Rif. [16] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.004, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 4 ";
- Rif. [17] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.005, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 5 ";
- Rif. [18] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.006, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 6 ";
- Rif. [19] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.007, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 7 ";
- Rif. [20] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.008, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 8 ";
- Rif. [21] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.009, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 9 ";
- Rif. [22] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.010, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 10 ";
- Rif. [23] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.011, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 11 ";
- Rif. [24] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.012, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 12 ";
- Rif. [25] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.013, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 13 ";
- Rif. [26] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.014, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 14 ";
- Rif. [27] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.015, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 15 ";
- Rif. [28] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.016, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 16 ";
- Rif. [29] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.017, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Pari - Tav. 17 ";
- Rif. [30] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.020, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 2 ";
- Rif. [31] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.021, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 3 ";
- Rif. [32] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.022, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 4 ";
- Rif. [33] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.023, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 5 ";
- Rif. [34] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.024, "Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 6 ";

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>																	
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</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>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RG</td> <td>GN0000 001</td> <td>D</td> <td>10 di 184</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RG	GN0000 001	D	10 di 184
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RG	GN0000 001	D	10 di 184													
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo</b>																		

- Rif. [35] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.025, “Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 7 “;
- Rif. [36] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.026, “Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 8 “;
- Rif. [37] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.027, “Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 9 “;
- Rif. [38] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.028, “Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 10 “;
- Rif. [39] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.029, “Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 11 “;
- Rif. [40] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.030, “Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 12 “;
- Rif. [41] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.031, “Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 13 “;
- Rif. [42] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.032, “Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 14 “;
- Rif. [43] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.033, “Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 15 “;
- Rif. [44] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.034, “Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 16 “;
- Rif. [45] U. O. Galleria Naturale Hirpinia, documento n° IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.035, “Profilo geotecnico /geomeccanico - Galleria Hirpinia - Binario Dispari - Tav. 17 “.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 11 di 184

## 6 FASE CONOSCITIVA

La fase conoscitiva prevede l'acquisizione degli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dallo scavo delle opere in sotterraneo.

### 6.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La galleria Hirpinia si sviluppa lungo il fronte esterno della catena sud appenninica, nel settore in cui sono presenti diverse unità tettoniche in contatto tra loro per sovrascorrimento e ricoperte da potenti successioni plioceniche. L'assetto tettonico generale è caratterizzato da tipiche strutture a pieghe (anticlinali e sinclinali), da thrust a basso angolo e da faglie trascorrenti, nel complesso legate alle fasi compressive tardo terziarie a cui si sommano le deformazioni da faglie ad alto angolo quaternarie.

Le analisi effettuate ed i rilievi di campo condotti hanno permesso di distinguere e cartografare differenti unità geologiche, relative sia a sequenze sedimentarie di substrato che a successioni clastiche di copertura.

Nei settori di stretto interesse progettuale, quindi, sono state riconosciute e perimetrare le unità geologiche, di seguito descritte dal basso verso l'alto stratigrafico.

#### Unità della Daunia

All'interno dell'unità della Daunia troviamo:

- **Argilliti policrome del Calaggio** (APC) affiorano localmente nel settore centrale dell'area di intervento, lungo i versanti che bordano il fondovalle del Torrente Cervaro e del Vallone del Confine, indicativamente tra le pk 51 e 56 circa. Si tratta di depositi marini di bacino e base scarpata costituiti da argille, argille marnose e marne di colore grigio-azzurro, verde e rossastro, in strati da molto sottili a sottili, con locali intercalazioni di torbiditi calcaree grigio chiare; a luoghi si rinvengono passaggi di calcilutiti e calcari marnosi di colore grigio, in strati da sottili a medi, ricchi di noduli di pirite e hard ground, in alternanza con marne calcaree silicizzate e selci rosa e violacee; a varie altezze stratigrafiche sono presenti orizzonti lenticiformi costituiti da alternanze di calcareniti torbiditiche biancastre, calcareniti glauconitiche verdastre, calcilutiti grigiobiancastre e argille marnose grigie e rossastre; nella parte alta della successione si rinvengono intercalazioni di diatomiti di colore nerastro, fissili, con nuclei sulfurei giallognoli e clasti di gesso cristallino millimetrico. L'unità presenta uno spessore massimo di circa 170 m ed è riferibile al Tortoniano medio – Messiniano superiore.
- **Flysch di Faeto** (FAE) consiste in depositi marini di bacino e base di scarpata, costituiti da calcareniti, calcilutiti e calcari marnosi di colore grigio e biancastro, in strati da sottili a medi, con frequenti intercalazioni di argille limose e argille marnose grigie e grigio-verdastre; a luoghi si rinvengono passaggi di micro-conglomerati e calciruditi bioclastiche di colore grigio, in strati da medi a spessi; localmente sono presenti orizzonti di brecciole calcaree e porzioni a struttura caotica riferibili a slumps. Poggia con contatto stratigrafico graduale sulla Formazione di Monte Sidone e passa per alternanza, verso l'alto, alle marne argillose del Toppo Capuana. Lo spessore massimo stimato è di circa 700 m, l'età è compresa tra il Burdigaliano superiore (?) e il Messiniano inferiore. L'analisi delle stratigrafie dei sondaggi ha permesso di differenziare il Flysch del Faeto in diversi membri con caratteristiche litologiche e, di conseguenza, meccaniche diverse ai fini del comportamento allo scavo della galleria: *facies argilloso-marnoso-calcarea (FAE-am)*, caratterizzata da argille grigie e sottili strati calcarenitici e marnosi; *facies marnoso-argilloso-calcarea (FAE-ma)*, costituita da marne e calcari con frequenti intervalli argillosi; *facies calcarea-argillosa (FAE-C)*, costituita prevalentemente da calcari ben stratificati a cui si intercalano sottili strati di argille. La formazione contiene anche banchi di calciruditi e conglomerati.
- **Marne argillose di Toppo Capuana** (TPC) sono depositi marini di bacino, costituiti da argille limose, argille marnose e marne di colore grigio e grigio-azzurro, in strati da medi a molto spessi, generalmente a laminazione piano-parallela, con locali passaggi di sabbie e sabbie limose grigie e giallastre; a luoghi si rinvengono intercalazioni di arenarie, siltiti e calcilutiti di colore grigio e giallastro, in strati da sottili a medi. Lo spessore massimo è di circa 250 m. L'età è compresa tra il Tortoniano superiore e il Messiniano inferiore.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 12 di 184

- **Evaporiti di Monte Castello (CTL)** affiora in lembi di limitata estensione nel settore centrale della zona di studio, in particolare nella zona compresa tra il torrente Cervaro ed il torrente di Vena ed in corrispondenza della porzione più elevata del rilievo di Monte Castello, che risulta appena al di fuori dell'areale di studio. Si tratta di depositi marini di bacino evaporitico, ed al suo interno comprende una litofacies a composizione calcareo-brecciosa (CTLa) che risulta in parziale eteropia con la parte basale della formazione. Le Evaporiti di Monte Castello (CTL) sono costituite da gessi selenitici macrocristallini di colore grigio chiaro, massivi o in strati molto spessi, in alternanza con marne gessose, gessosiltiti, gessoareniti e gessoruditi grigie e biancastre; a luoghi si rinvengono passaggi di argille grigio-verdastre con intercalazioni di cineriti bianche. Tale formazione presenta uno spessore massimo di circa 230 m ed è riferibile al Messiniano inferiore.

### Unità di Frigento

È rappresentata dalla formazione del **Flysch Rosso (FYR)**. Si tratta di depositi marini di bacino e base scarpata.

È costituita da argille, argille marnose e marne di colore rossastro, grigio-azzurro e verdastro, scagliose o sottilmente laminate, con subordinate intercalazioni di calcari marnosi, calcilutiti e calcareniti rosa e biancastre, talora con noduli e lenti di selce scura e abbondanti resti di nummuliti e alveoline; a luoghi si rinvengono passaggi di radiolariti e argille silicizzate di colore rossastro e grigioverdastro, in strati da molto sottili a sottili. Essa mostra uno spessore massimo di circa 800 m ed è ascrivibile al Cretacico superiore – Burdigaliano superiore.

La litofacies calcareo-clastica (FYRa) è costituita da calcareniti torbiditiche di colore biancastro, in strati da medi a spessi, gradate e laminate, con frequenti passaggi di calcari marnosi bianco-giallastri, calcilutiti grigie e calciruditi con abbondanti resti di nummuliti e alveoline; a luoghi si rinvengono livelli di argille e argille marnose di colore grigio e rossastro, in strati da sottili a medi, e locali passaggi di marne calcaree silicizzate. Essa mostra uno spessore massimo di circa 150 m ed è ascrivibile al Cretacico superiore - Burdigaliano superiore.

Il membro calcareo-marnoso (FYR2) è costituito da calciruditi e calcareniti di colore grigio e biancastro, in strati da medi a spessi, con abbondanti resti di nummuliti e alveoline e locali intercalazioni di argille marnose e marne rossastre e verdastre. Questi litotipi presentano uno spessore massimo di circa 250 m e sono riferibili al Cretacico superiore - Eocene superiore.

### Unità sinorogene del Messiniano Superiore

Questa sequenza è composta da un unico gruppo, denominato Gruppo di Altavilla, rappresentato da una successione continentale alto-miocenica di genesi fluvioacustre, denominata Formazione del Torrente Fiumarella (TFR), e da una successione marina alto-miocenica di lago-mare, Molasse di Anzano (ANZ).

La **formazione del Torrente Fiumarella (TFR)**, è costituita da depositi continentali di lago e piana alluvionale ed al suo interno comprende una litofacies a composizione conglomeratico-arenacea. E' costituita da argille limose e argille sabbiose di colore nerastro, grigio-verdastro e marrone, laminate o in strati molto sottili, con diffusi passaggi di sabbie grigie e giallastre, marne sabbiose verdastre e limi detritici scuri con frustoli carboniosi e clasti di gesso; a luoghi si rinvengono livelli di arenarie di colore giallastro, massive o mal-stratificate, e lenti di conglomerati disorganizzati in scarsa matrice sabbiosa; a piu altezze stratigrafiche sono presenti passaggi di argille e argille marnose varicolori e nerastre, scagliettate e fortemente caoticizzate. Tali litotipi presentano uno spessore massimo di circa 300 m e sono ascrivibili al Messiniano superiore.

In prossimità della confluenza tra il Torrente Fiumarella e il Vallone Masciano, sono presenti lembi di ridotta estensione della litofacies conglomeratico-arenacea (TFRa), costituita da conglomerati a clasti eterometrici prevalentemente calcareo-marnosi, da sub-arrotondati ad arrotondati, mal-stratificati o in strati molto spessi, in matrice sabbiosa di colore grigio e marrone, da scarsa ad abbondante. Tali litotipi mostrano uno spessore massimo di circa 80 m e sono riferibili al Messiniano superiore.

La **formazione delle Molasse di Anzano (ANZ)** è costituita da due distinti membri a composizione arenaceo-marnosa e conglomeratico-arenacea, tra loro largamente eteropici.

- Il membro arenaceo-marnoso costituito dal Membro di Vallone di Fassa (ANZ1), costituito da microconglomerati e arenarie quarzoso-feldspatiche di colore grigio e giallastro,
- Il membro di Flumeri (ANZ2) costituito da argille limose, argille marnose e marne di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili, ricche di sostanza organica e resti vegetali, con frequenti intercalazioni di sabbie e sabbie limose grigie; a luoghi si rinvengono passaggi di arenarie di colore giallo-brunastro, in strati da sottili a medi,



APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 13 di 184

con diffuse clay chips verdastre e frequenti impronte di fondo. Questi litotipi mostrano uno spessore massimo di circa 250 m e sono riferibili al Messiniano superiore.

### Unità a limiti inconformi del Pliocene

Tale sequenza è composta da una sola unità sedimentaria, il Supersintema di Ariano Irpino, rappresentato da tre successioni marine infra-plioceniche di piattaforma, transizione, spiaggia emersa e laguna, rispettivamente denominate:

- **Formazione della Baronia:** Tale formazione affiora nel settore centro-meridionale dell'area di studio, in corrispondenza dei rilievi collinari presenti tra il fondovalle del torrente Cervaro e quello del torrente Fiumarella. Si tratta di depositi marini di piattaforma, transizione, spiaggia emersa e laguna. Nella formazione della Baronia rientra il **Membro pelitico-arenaceo del Fiume Miscano (BNA2)**, costituito da strati di argille limose e argille limoso-marnose di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili, con locali intercalazioni di sabbie limose grigie e rari resti di molluschi; a luoghi si rinvengono passaggi di arenarie e sabbie di colore grigio e giallastro, massive o mal-stratificate, talora a laminazione pianoparallela. Tali litotipi presentano uno spessore massimo di circa 800 m e sono riferibili al Pliocene Inferiore.
- **Formazione di Sferracavallo:** La formazione affiora nel settore centrale dell'area di studio, lungo i rilievi che bordano il fondovalle del Torrente Cervaro. Si tratta di depositi marini di piattaforma, transizione e spiaggia emersa, costituiti da tre distinti membri a composizione arenaceo-sabbiosa, argilloso-sabbiosa e calcarenitico-arenacea. Rientra nella formazione di Sferracavallo i **Peliti di Difesa Grande (STF2)**. Il membro affiora nel settore centrale della zona di interesse progettuale, lungo una fascia a direzione NW-SE estesa tra Camporeale e il Torrente di Vena, approssimativamente tra le pk 56 e 59. Si tratta di argille limose e argille marnose di colore grigio, in strati da molto sottili a sottili, con frequenti intercalazioni di sabbie limose grigie e giallastre e abbondanti resti di molluschi; alla base della successione si rinvengono alternanze di conglomerati, sabbie e limi arrossati di geni continentali. Il membro in esame mostra uno spessore massimo di circa 500 m ed è ascrivibile al Pliocene medio.
- **Sintema di Bovino.** Il sintema di Bovino (BVN) affiora diffusamente nella porzione nord-orientale della tratta in esame, lungo i rilievi che bordano il fondovalle del Torrente Cervaro. Si tratta di depositi marini di piattaforma e transizione, costituiti da due distinti membri a composizione argilloso-sabbiosa e arenaceo-conglomeratica. Il membro argilloso-sabbioso (BVNb) costituisce gran parte della sequenza stratigrafica, mentre quello arenaceo-conglomeratico (BVNa) risulta intercalato al precedente e in parziale eteropia con lo stesso. Questo sintema mostra uno spessore massimo di circa 250 m ed è riferibile al Pliocene medio. **Le Arenarie e Conglomerati di Castello Schiavo (BVNa)** sono costituiti da arenarie quarzoso-feldpastiche di colore grigio e giallastro, in strati da medi a molto spessi, in alternanza con conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in strati molto spessi e di forma irregolare, in matrice sabbiosa e calcareo-sabbiosa di colore grigio e giallastro, generalmente scarsa; nella parte bassa della successione si rinvengono conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in strati generalmente molto spessi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, da scarsa ad abbondante. Lo spessore massimo è di circa 100 m. Questa successione è attribuita al Pliocene medio. **Le Argille e Sabbie del Vallone Meridiano (BVNb)** sono costituiti da argille, argille limose e argille marnose di colore grigio e grigio scuro, in strati da medi a molto spessi, talora a laminazione piano-parallela, con frequenti intercalazioni di sabbie limose, siltiti e arenarie grigie e giallastre; a luoghi si rinvengono lenti ciottolose a elementi ben arrotondati e strati di marne sabbiose a laminazione piano-parallela; talora sono presenti spessi orizzonti di arenarie e siltiti di colore grigio, in strati da sottili a medi, con diffuse intercalazioni di sabbie e abbondanti resti di molluschi. Lo spessore massimo è di circa 250 m. L'età di tale successione è ascritta al Pliocene Medio.

### Depositi continentali quaternari

Questi depositi sono rappresentati da cinque differenti sequenze sedimentarie, quella dei Depositi ubiquitari formati, delle Unità dei bacini dei torrenti minori, delle Unità del bacino del Fiume Calore, del Tavolore della Puglia e quella dei Depositi ubiquitari in formazione, ampiamente affioranti in tutta l'area di studio. I terreni in questione ricoprono in discordanza i diversi termini litologici del substrato e, in generale, risultano caratterizzati da differenti paleosuoli e superfici erosive.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consortio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>																	
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</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>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RG</td> <td>GN0000 001</td> <td>D</td> <td>14 di 184</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RG	GN0000 001	D	14 di 184
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RG	GN0000 001	D	14 di 184													
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sottterraneo</b>																		

Il profilo geologico evidenzia anche che le numerose frane presenti in superficie non interferiscono con lo scavo della galleria, quasi sempre molto profonda rispetto al piano campagna, fatta eccezione per alcuni settori come alle pk 41+500, 44+800, 60+200, 66 e alla Finestra F5, dove potrebbe essere utile, comunque, approfondire il modello geologico e definire la quota della superficie di scorrimento delle frane.

Per quanto concerne gli imbocchi della galleria Hirpinia, quello orientale deve tener conto della presenza di un corpo detritico che potrebbe essere legato ad un antico corpo di frana il cui stato di attività dovrà essere definito con maggiore dettaglio attraverso uno studio geologico dedicato.

Per approfondimenti sullo studio geologico si rimanda agli specifici elaborati progettuali.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 15 di 184

## 6.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area interessata dal tracciato della galleria "Hirpinia", da un punto di vista geomorfologico, può essere divisa in 4 tronchi principali:

- 1) Panni-Savignano
- 2) Savignano - Alta Valle del Cervaro
- 3) Alta Valle Cervaro- Villanova del Battista
- 4) Piana Grottaminarda

**1. Panni - Savignano:** il paesaggio del primo tronco è fortemente controllato dalla presenza di un sistema a pieghe est-vergenti a basso raggio di curvatura che interessa in questa zona il fronte della catena sud appenninica e che determina la presenza di una serie di valli e dorsali montuose (dorsale di Panni e Savignano) allungate in direzione NO-SE (Di Nocera et al., 2006; Torre et al. 2011; Vitale & Ciarcia, 2013). Le dorsali, con la caratteristica forma a "cuesta/hogback", coincidono con l'affioramento delle porzioni carbonatiche della formazione del Flysch del Faeto o con i membri più resistenti delle successioni plioceniche. I processi dominanti sono rappresentati dai processi fluviali e dai processi gravitativi. La tipologia di frana più diffusa è quella dei colamenti che presentano generalmente uno stato di attività quiescente o attivo. Le dimensioni dei fenomeni sono molto variabili, ma si può in generale affermare che i piani di scorrimento solo in alcuni casi superano i 30 metri di profondità. In asse galleria le situazioni da tenere sotto attenzione sono quelle in cui la presenza di incisioni vallive (per esempio la valle del Torrente Avella tra le pk 44+300 e 45) determina una riduzione degli spessori della copertura. Situazione di criticità per possibili interazioni tra depositi di frana e/o depositi detritico-colluviali rimobilizzabili con il tracciato ferroviario sono invece da segnalare all'imbocco della galleria Hirpinia lato Foggia, al pk 41+500, per cui si rimanda al paragrafo dedicato;

**2. Savignano - Alta Valle del Cervaro:** questo tratto è dominato da paesaggi collinari a bassa pendenza impostati sulle successioni a prevalente componente argillosa riconducibili alla formazione del Flysch Rosso (Pescatore et al., 1996; Basso et al., 2002; Patacca & Scandone, 2007). I versanti sono caratterizzati dalla presenza diffusa di colamenti in stato sia attivo che quiescente, ma con piani di scorrimento superficiali. In asse alla galleria vanno controllate le situazioni in sinistra idrografica del vallone del Confine (pk 52+300) e del vallone di Vena (pk 53+600). Discorso a parte merita la porzione terminale di questo tratto, coincidente con l'alta valle del T. Cervaro. Questa porzione di valle è impostata lungo una faglia diretta a direzione NO-SE che ribassa i terreni pliocenici verso SO ed è caratterizzata dalla presenza di un fondovalle pianeggiante in aggradazione, con tracciato chiaramente meandriforme. Tale situazione, generalmente caratteristica delle zone terminali dei corsi d'acqua, rappresenta una vistosa anomalia oro/idrografica, essendo localizzata nella parte alta della testata valliva ed in prossimità dello spartiacque Tirreno/Adriatico. La presenza poi di depositi recenti (CRV, Pleistocene superiore? - Olocene, da foglio Carg 433 - Ariano Irpino) nel fondovalle suggerisce una possibile attività recente lungo questa faglia con conseguente aggradazione nel blocco di letto. Tale faglia quindi, che la galleria attraversa al pk 56+350 circa, potrebbe essere considerata come attiva e quindi con potenziale sismogenetico.

**3. Alta Valle Cervaro- Villanova del Battista:** Il terzo segmento è caratterizzato da un paesaggio collinare impostato sulle successioni Plioceniche che, nella porzione meridionale, vengono in contatto con i terreni argillosi delle formazioni messiniane (Amore et al., 1988; Cantalamessa et al, 1988; Ciarcia & Vitale, 2013; Di Celma et al., 2016). Il reticolo idrografico è caratterizzato da un pattern angolato a controllo strutturale che identifica un set di faglie e fratture ad orientazione prevalente NO-SE e NE-SO. Anche in questo tratto i versanti sono interessati da diffusi fenomeni franosi (colamenti) in vario stato di attività.

In asse galleria si segnalano i colamenti attivi in sinistra idrografica del vallone Regina (pk 60+000), e nella parte alta del vallone Masciano (pk 62+200 e pk 63+000). Nella porzione terminale di questo tratto, la situazione più critica sembra essere rappresentata dal versante sud-occidentale della dorsale di Villanova del Battista, caratterizzato da una zona in frana attiva in asse galleria tra il pk 65+500 e il pk 66+000. Anche in questo caso, in base ai dati disponibili, i fenomeni franosi non intercettano il cavo galleria.

**4. Piana Grottaminarda:** l'ultimo tratto della galleria Hirpinia interessa la Piana di Grottaminarda, ubicata alla confluenza del torrente Fiumarella nel fiume Ufita (Basso et al., 1996; Matano & Di Nocera, 1999; Giocoli et al., 2008a e 2008b). Questa zona è caratterizzata da un paesaggio prevalentemente pianeggiante e dalla presenza di

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>																	
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</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>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RG</td> <td>GN0000 001</td> <td>D</td> <td>16 di 184</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RG	GN0000 001	D	16 di 184
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RG	GN0000 001	D	16 di 184													
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo</b>																		

vari ordini di terrazzi fluviali. In particolare, l'ultimo tratto della galleria soggiace ad una superficie terrazzata fluviale di natura erosionale, intagliata nelle successioni messiniane di substrato, ubicata intorno ai 380 m. s.l.m., e ricoperta da una sottile coltre di depositi colluviali (indicati con la sigla b2, Olocene, nel Foglio Carg 433 – Ariano Irpino) e alluvionali (indicati con la sigla SFL4 – Pleistocene Superiore – Olocene, nel Foglio Carg 433 – Ariano Irpino). Il terrazzo è bordato verso NO da una scarpata di altezza metrica, marcatamente rettilinea e orientata NE-SO, che interrompe la continuità laterale della piana alluvionale attiva del Torrente Fiumarella. Anche in questo caso si configura quindi la possibile presenza di una faglia ad attività recente in prossimità del tracciato della galleria Hirpinia. Esistono inoltre altre evidenze morfostrutturali che consentono di considerare il bacino di Grottaminarda come una piccola conca intramontana di neoformazione (Pleist sup?), bordata da lineamenti tettonici attivi.

Lo studio condotto ha consentito di riconoscere alcune criticità geomorfologiche che possono interagire con il tracciato ferroviario, riconducibili a corpi di frana e a faglie attive.

I corpi di frana ritenuti da attenzionare sono stati riconosciuti alle pk 41+500, 44+800, 60+200 e 66, nonché in corrispondenza della Finestra F5. In tutti questi casi, i corpi non interagiscono, in base agli elementi ad oggi disponibili, con il tracciato ferroviario. Stante la ridotta copertura della galleria si suggerisce di prevedere comunque un monitoraggio inclinometrico.

Sono inoltre state riconosciute alcune faglie attive nell'intorno del tracciato e per quanto concerne tale problematica, sono stati individuati due settori in cui sono presenti indizi geomorfologici di tettonica recente. Questi includono corsi d'acqua susseguenti, scarpate rettilinee e variazioni dell'alveo fluviale e si riconoscono nel bacino di Grottaminarda e nell'alta valle del Fiume Cervaro.

Per approfondimenti sullo studio geomorfologico si rimanda agli specifici elaborati progettuali.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>											
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td data-bbox="738 315 836 360">COMMESSA IF3A</td> <td data-bbox="874 315 932 360">LOTTO 02</td> <td data-bbox="979 315 1059 360">CODIFICA E ZZ RG</td> <td data-bbox="1129 315 1238 360">DOCUMENTO GN0000 001</td> <td data-bbox="1318 315 1358 360">REV. D</td> <td data-bbox="1410 315 1481 360">FOGLIO 17 di 184</td> </tr> </table>						COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 17 di 184
COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 17 di 184							
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo</b>												

## 7 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 Italferr 2017 - Raddoppio tratta Hirpinia - Orsara - Bovino;
- Campagna indagini Italferr 2018 - Raddoppio tratta Orsara-Bovino e tratta Hirpinia-Orsara;
- Campagna indagini PE 2021 - Raddoppio tratta Hirpinia - Orsara – Bovino.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo</b>	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 18 di 184

## **8 PROCEDURA OPERATIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI**

### **8.1 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 compositivo/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 ( $\varphi$ )
- 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.
- Modulo elastico non drenato, definito a partire dal modulo elastico  $E'$  secondo la relazione:  $E_u = \frac{3E'}{2(1+\nu)}$

Per un valore del coefficiente di Poisson  $\nu=0.3$ , risulta  $E_u=1.15E'$ .

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>19 di 184</b>

## 8.2 ELABORAZIONE PROVE DI LABORATORIO

### 8.2.1 Proprietà fisiche

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

- peso specifico di volume

### 8.2.2 Proprietà meccaniche

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

#### Angolo d'attrito efficace e coesione efficace

- Prova di taglio diretto consolidata drenata
- Prova triassiale consolidata non drenata
- Prova triassiale consolidata drenata: involucro delle sollecitazioni di rottura sui tre provini

#### 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

#### Modulo elastico

- Prova di colonna risonante

Nel corso della prova di RC vengono misurate la frequenza di risonanza e la rotazione del provino. Dal valore della prima grandezza è possibile risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) e quindi al modulo G iniziale a piccoli livelli deformativi, che è possibile correlare al modulo elastico  $E_0$  tramite coefficiente di Poisson.

### 8.2.3 Rigonfiamento

Per lo studio del rigonfiamento sono state analizzate prove a rigonfiamento impedito e prove di Huder-Amberg.

Per quanto riguarda le prove di rigonfiamento impedito, sono concepite per misurare la tensione assiale necessaria per impedire il rigonfiamento di un provino confinato radialmente e immerso in acqua.

La prova di Huder-Amberg è costituita da una fase di carico e una fase di scarico, quest'ultima preceduta da una fase di immissione d'acqua nel provino. Per ogni valore step di carico costante è stata misurata la deformazione verticale di rigonfiamento. I valori di deformazioni verticali cumulate alla fine di ogni step sono stati messi in relazione con il logaritmo dello sforzo assiale applicato per ogni step in fase di scarico. Il coefficiente angolare della retta di interpolazione di questi dati è definito coefficiente "k" di rigonfiamento. È stata valutata anche la pressione di rigonfiamento massima, ovvero lo sforzo per il quale le deformazioni subite dal provino sono nulle.

Per approfondimenti riguardo le prove di rigonfiamento si rimanda alle raccomandazioni ISRM (1980).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 20 di 184

## 8.3 ELABORAZIONE PROVE IN SITU

### 8.3.1 Note introduttive

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

### 8.3.2 Prove penetrometriche dinamiche (SPT)

#### 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  $f_1=5$ .

#### 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 ( $E_y$ )

D'Appolonia (1970)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie.

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

Schultze & Mezembach (1961)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie.

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

dove  $C_1$  e  $C_2$  dipendono dal tipo di terreno e S.E. è la deviazione standard:

- $C_1 = 52$ ,  $C_2 = 3.3$ , S.E. = 19.3 per sabbia fine
- $C_1 = 39$ ,  $C_2 = 4.5$ , S.E. = 36.4 per sabbia media
- $C_1 = 24$ ,  $C_2 = 5.3$ , S.E. = 21.1 per sabbia limosa



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>21 di 184</b>

- $C_1 = 12$ ,  $C_2 = 5.8$ , S.E. = 9.0 per limo siltoso e sabbia limosa
- $C_1 = 43$ ,  $C_2 = 11.8$ , S.E. = 42.3 per sabbia ghiaiosa
- $C_1 = 38$ ,  $C_2 = 10.5$ , S.E. = 93.2 per sabbia e ghiaia

ed essendo:

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

### 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:

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

### 8.3.3 Pocket penetrometer

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

$$- Q_{ult} = 2 C_u$$

### 8.3.4 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.

### 8.3.5 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

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sottterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>22 di 184</b>

## 8.4 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 quindi i casi:

- Rilevati, FOS=1.375,
- Fondazioni e opere di sostegno, FOS=2 ÷ 3
- Tunnel, FOS= 1.375 ÷ 2

È possibile calcolare il rapporto tra i moduli come segue:

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

$E \approx \frac{E_0}{3} \div \frac{E_0}{5}$  per il cedimento di opere di sostegno e per le fondazioni;

$E \approx \frac{E_0}{5} \div \frac{E_0}{10}$  per gallerie.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 23 di 184

## 9 PROCEDURA OPERATIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

### 9.1 NOTE GENERALI

Preliminarmente all'attività di analisi ed elaborazione dei risultati emersi dalle campagne indagini, si è proceduto all'individuazione, nell'ambito delle unità geologiche, delle formazioni aventi simili caratteristiche geomeccaniche. È stata quindi condotta, per ogni gruppo geomeccanico così individuato, l'attività di studio di cui si propone qui di seguito lo schema logico/operativo.

**Fase 1:** qualificazione geo-meccanica dell'unità geologica. Laddove opportuno, ovvero per formazioni caratterizzate dall'alternanza sufficientemente regolare di litologie ben differenziate, si è proceduto all'attribuzione dell'appropriata tipologia compositiva/strutturale ed è stato così classificato l'ammasso roccioso tramite attribuzione del parametro GSI.

**Fase 2:** analisi completa del campione di risultati raccolti nell'ambito delle campagne di indagini geognostiche eseguite, con particolare attenzione alle seguenti proprietà della matrice rocciosa:

- **Caratteristiche fisiche** (peso di volume naturale e contenuto d'acqua);
- **Caratteristiche di resistenza** (compressione mono-assiale da prove di carico non confinato ed elaborazione dei Point Load Strength Tests, trazione indiretta);
- **Caratteristiche di deformabilità** (moduli elastici da prove in laboratorio di compressione mono-assiale a controllo di deformazione, moduli elastici da misure delle onde soniche di compressione e taglio su provini testati in laboratorio in compressione non confinata).

**Fase 3:** individuazione della singola o delle molteplici componenti litologiche costituenti le singole formazioni analizzate.

**Fase 4:** Definizione delle caratteristiche fisiche, di resistenza e deformabilità delle litologie costituenti le formazioni della matrice rocciosa:

- Peso di volume naturale;
- Resistenza a compressione mono-assiale (UCS);
- Parametro di resistenza *m<sub>i</sub>* di Hoek-Brown.
- Modulo Elastico della matrice rocciosa intatta;

e dell'ammasso roccioso:

- Peso di volume naturale;
- Resistenza a compressione dell'ammasso ( $\sigma_{cm}$ );
- Modulo Elastico dell'ammasso roccioso.

### 9.2 CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

La caratterizzazione geomeccanica delle formazioni rocciose presenti è stata realizzata facendo riferimento alla classificazione dell'ammasso roccioso proposta da Bieniawski (1989), allo schema concettuale di mezzo continuo (omogeneo o stratificato) e ai criteri di rottura proposti e aggiornati da Hoek & Brown a partire dal 1980.

In particolare:

- Il parametro RMR "Rock Mass Rating" verrà stimato sulla base di quanto descritto nel paragrafo 9.2.1; il parametro GSI (Geological Strength Index) verrà valutato con la seguente espressione (vedi Sjöberg, 1997):

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

- Le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso verranno stimate sulla base di quanto riportato nel paragrafo 9.4.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 24 di 184

### 9.2.1 Valutazione del parametro RMR d'ammasso secondo Bieniawsky 1989

Per ogni litotipo il parametro RMR'89 viene stimato in accordo a quanto proposto in Bieniawski (1989), ovvero come somma dei seguenti indici:

- Resistenza alla compressione semplice della roccia intatta

<b>R1 - RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA</b>					
Classe	R	$\sigma_c$ (MPa)	$i_s$ 50 PLT		Coeff.
Medio alta		> 250	> 10		<b>15</b>
Alta	44-58	110-250	4-10		<b>10-15</b>
Medio - alta	32-43	60 - 110	2-4		<b>6-10</b>
Moderata	12-31	20 - 60	1-2		<b>3-6</b>
Bassa	<12	10-20	<1		<b>2-3</b>
Molto bassa	0	<10			<b>1</b>

- Qualità della roccia RQD

<b>R2 - RQD</b>			
Qualità	%	s (cm)*	Coeff.
Eccellente	90-100	>19	<b>18-20</b>
Buona	75-90	10,9-19	<b>15-18</b>
Discreta	50-75	6-10,5	<b>10-15</b>
Bassa	25-50	3,5-6	<b>6-10</b>
Molto bassa	<25	<3,5	<b>3-6</b>

- Spaziatura delle discontinuità

<b>R3 - SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA'</b>			
			Coeff.
Molto larga	> 1,8 m		<b>20</b>
Larga	0.6 - 1,8 m		<b>12-19</b>
Moderata	20 - 60 cm		<b>8-12</b>
Stretta	8-20 cm		<b>6-8</b>
Molto stretta	< 8 cm		<b>5</b>

- Condizioni delle discontinuità

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sottterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D FOGLIO 25 di 184

<b>R4 - CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'</b>			
			<b>Coeff.</b>
<b>PERSISTENZA</b>	Molto bassa	< 1m (0-10%)	6
	Bassa	1-3m (10-25%)	4
	Media	3-10m (25-50%)	2
	Alta	10-20m (50-100)	1
	Molto alta	> 20 m (100%)	0
<b>APERTURA</b>	molto chiusi	nessuna	6
	chiusi	< 0,1 mm	5
	moderat. aperti	0,1-1,0 mm	4
	aperti	1 - 5 mm	1
	molto aperti	> 5 mm	0
<b>RUGOSITA'</b>	molto rugose	16-18 18-20	6
	rugose	12-14 14-16	5
	legg. rugose	8-10 10-12	3
	piane	4-6 6-8	1
	levigate	0-2 2-4	0
<b>RIEMPIMENTO</b>	Nessuno		6
	compatto < 5mm		5
	Compatto > 5mm		3
	Sciolto < 5mm		1
	sciolto > 5mm		0
<b>ALTERAZIONE</b>	Non alterata		6
	Leggermente alterata		5
	Moderatamente alterata		3
	Altamente alterata		1
	Suolo residuale		0

- Condizioni idriche dell'ammasso

<b>R5 - CONDIZIONI IDRICHE AMMASSO</b>			
Condizioni generali	Venute d'acqua per 10 m di lunghezza (l/min)	$\sigma_w/\sigma_h$	Coeff.
Asciutta	nessuna	0	15
Umida	<10	<0,1	10
Bagnata	10-25	0,1-0,2	7
Stillicidio	25-125	0,2-0,5	4
Venute	>125	>0,5	0

- Correzione per l'orientazione

<b>R6 - CORREZIONE PER L'ORIENTAZIONE</b>			
Immersione	Inclinazione		Coeff.
parallela all'asse galleria	reggipoggio	45-90	0
		20-45	-2
	franapoggio	45-90	-5
		20-45	-10
perpendicolare all'asse galleria	45-90	-12	
	20-45	-5	
Qualsiasi	<20		-5

Il valore del parametro RMR ottenuto ci consente di definire la classe d'ammasso secondo Bieniawski (1989).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. FOGLIO D 26 di 184

CLASSE DI BIENIAWSKI				
I ottima	II buona	III discreta	IV scadente	V molto scad.
100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

Tendenzialmente nella valutazione di RMR'89 (RMR in dry conditions) utilizzato per la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi:

- Non si terrà conto dell'indice che descrive qualitativamente l'orientamento più o meno favorevole delle discontinuità (incluse quelle dovute alla stratificazione) rispetto alle opere da realizzare; ove rilevante/possibile tale aspetto verrà messo in conto nella definizione del modello geometrico da utilizzare nelle analisi di progetto.
- L'indice legato alla presenza dell'acqua verrà assunto pari a quello associabili a condizioni "dry". Gli effetti della presenza dell'acqua verranno messi in conto nella definizione del modello geotecnico da utilizzare nelle analisi di progetto.

In presenza di ammassi rocciosi caratterizzati da marcata eterogeneità, ovvero da alternanza di strati competenti e di strati con caratteristiche geotecniche più scadenti, il valore di GSI valutato sulla base di RMR<sub>89</sub> verrà messo a confronto anche con quello stimabile sulla base della carta proposta da Hoek et al. (1998) e da Hoek, Marinos and Marinos (2007) per formazioni flyschoidi.

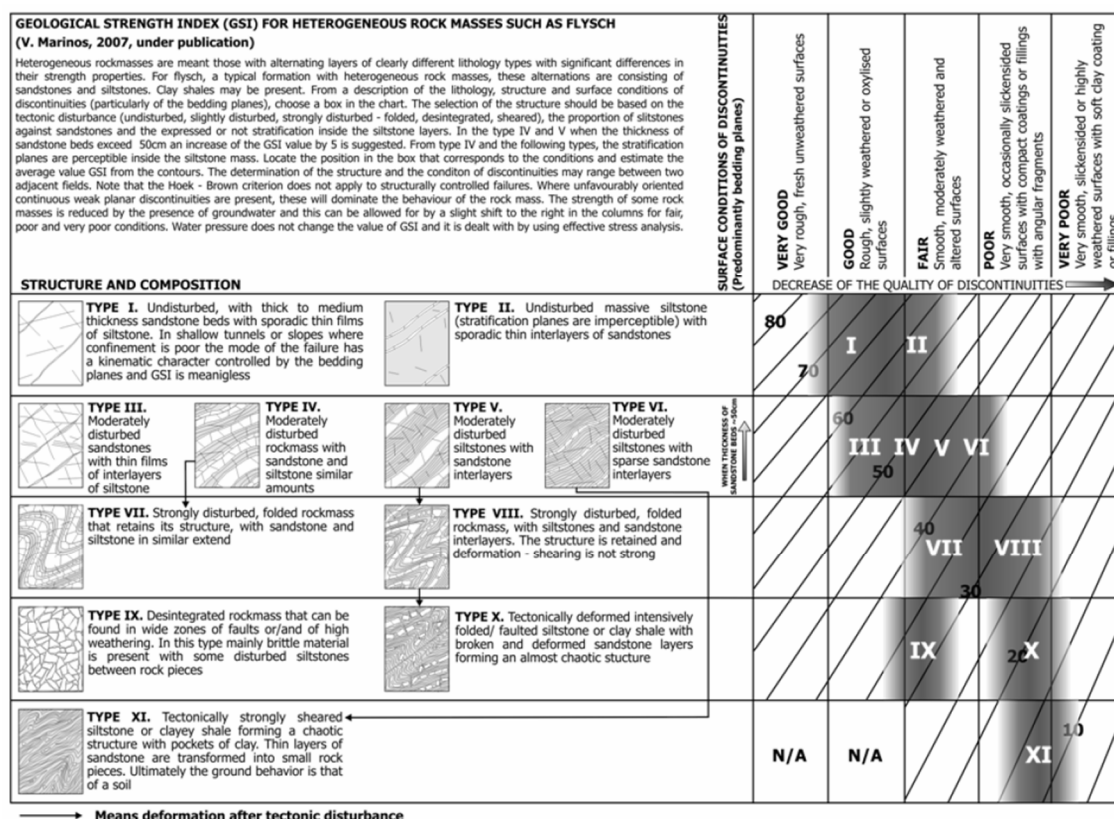


Tabella 9-1 – Grafico di riferimento per calcolo GSI per rocce eterogenee come i flysch (Hoek, Marinos and Marinos, 2007)

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>27 di 184</b>

### 9.3 PROPRIETÀ MECCANICHE

I parametri di resistenza sono stati valutati a partire dai valori delle sollecitazioni a rottura misurati nel corso delle prove di point load test, di compressione monoassiale, triassiale e di trazione indiretta (metodo brasiliano).

### 9.4 PROPRIETÀ DI DEFORMABILITÀ

I parametri di deformabilità sono stati valutati a partire dai valori misurati in:

- prove di compressione monoassiale a controllo di deformazione: modulo elastico tangente corrispondente al 50 % della sollecitazione a rottura
- misure delle onde soniche di taglio e compressione: mediante le relazioni elastiche, utilizzando il coefficiente di Poisson misurato durante la prova, è possibile ricavare il modulo elastico a piccole deformazioni;
- prove dilatometrica: è stato considerato il modulo in scarico corrispondente al 3° ciclo di carico
- prove pressiometrica: si considera il modulo elastico misurato nel tratto pseudoelastico

### 9.5 CRITERIO DI ROTTURA DI HOEK BROWN

In accordo a quanto riportato in Brown & Hoek (1988), Hoek & Brown (1988) e Hoek, Kaiser & Bawden (1995) (vedi anche Sjöberg, 1997), Hoek et al. (2002), l'ammasso roccioso verrà descritto per ogni litotipo dal seguente criterio di rottura:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \cdot \left( m_b \cdot \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^\alpha$$

essendo:

$$m_b = m_i \cdot e^{\frac{GSI-100}{28-14D}}$$

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3D}}$$

D: fattore che dipende dal grado di disturbo dell'ammasso roccioso che assume i seguenti valori in funzione delle metodologie realizzative dell'opera

- D = 0 per "undisturbed rock masses"
- D = 0.3 per "disturbed rock masses" – situazione associata alla condizione residua dell'ammasso.

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left( e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right)$$

In generale, per ogni litotipo il coefficiente  $m_i$  verrà valutato sulla base dei risultati di prove triassiali su provini di roccia intatta e di un criterio di rottura analogo a quello dell'ammasso roccioso, con GSI = 100. In mancanza di dati sperimentali si farà riferimento a quanto riportato ad una serie di valori di letteratura come riferimento, riportati nella tabella seguente:

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 28 di 184

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates* (21 ± 3)	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2	Claystones 4 ± 2
			Breccias (19 ± 5)		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
	Organic				Chalk 7 ± 2	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6		
	Foliated**		Gneiss 28 ± 5	Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3	Diorite 25 ± 5		
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	Obsidian (19 ± 3)
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

\* Conglomerates and breccias may present a wide range of  $m_i$  values depending on the nature of the cementing material and the degree of cementation, so they may range from values similar to sandstone to values used for fine grained sediments.

\*\*These values are for intact rock specimens tested normal to bedding or foliation. The value of  $m_i$  will be significantly different if failure occurs along a weakness plane.

Tabella 9-2 – Valori di riferimento della costante  $m_i$  della roccia intatta in base al tipo di roccia (Hoek, Kaiser e Bawden, 1995)



APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D FOGLIO 29 di 184

### 9.5.1 Relazione tra il criterio di rottura HB e Mohr Coulomb

L'involuppo di rottura in sforzi principali efficaci valido per Hoek Brown può essere linearizzato nel criterio di rottura di Mohr Coulomb al fine di ottenere dei parametri di resistenza meccanica equivalenti ( $c'$  e  $\phi'$ ).

$$\phi' = \sin^{-1} \left[ \frac{6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

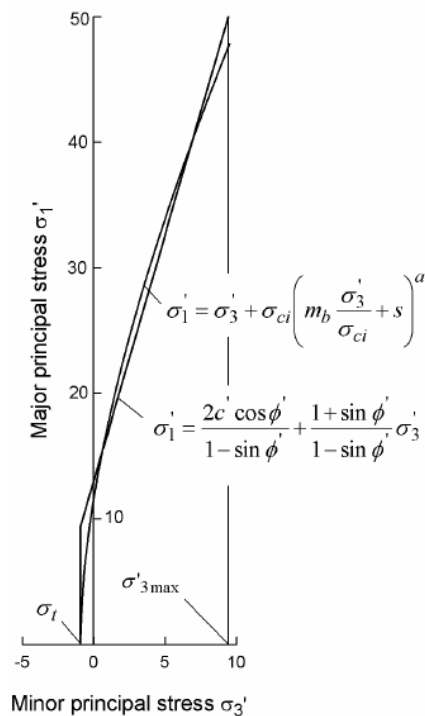
$$c' = \frac{\sigma_{ci} \left[ (1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n} \right] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \left( 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1} \right) / ((1+a)(2+a))}}$$

Il valore di  $\sigma'_{3 \max}$  per tunnel profondi è funzione dello sforzo litostatico agente in profondità

$$\sigma'_{3n} = \sigma'_{3 \max} / \sigma_{ci}$$

$$\frac{\sigma'_{3 \max}}{\sigma_{cm}} = 0.47 \left( \frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94}$$

La seguente Figura mostra la relazione tra il maggiore e il minore sforzo principale per Hoek Brown e l'equivalenza con il criterio di Mohr Coulomb.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>30 di 184</b>

## 10 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA-GEOMECCANICA

### 10.1 FORMAZIONE DEL FLYSCH DI FAETO

#### 10.1.1 Note introduttive

Il Flysch di Faeto è un deposito appartenente all'Unità tettonica della Daunia costituito da calcareniti, calcilutiti e calcari marnosi, con intercalazioni frequenti di argille limose, argille marnose e marne, con a luoghi strati di arenarie. Lo scavo della galleria Hirpinia interessa la formazione del Flysch di Faeto per un tratto consistente, complessivamente circa 5800 m. Dall'analisi delle stratigrafie di sondaggio è emersa la presenza di diverse facies:

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



Figura 10-1 – Carote prelevate nella litofacies FAEam, sondaggio IF16G04.

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

CASSETTA 25 (120.0 – 125.0 m)



Figura 10-2 – Carote prelevate nella litofacies FAEm, sondaggio IF16G07.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA          II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 31 di 184

CASSETTA 26 (125.0 – 130.0 m)

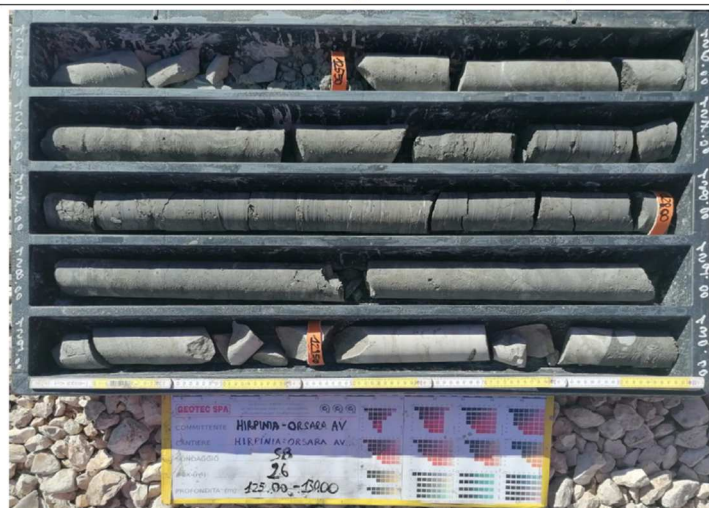


Figura 10-3 – Carote prelevate nella litofacies FAEm, sondaggio S08.

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

CASSETTA 62 (305.0 – 310.0 m)



Figura 10-4 – Carote prelevate nella litofacies FAEc, sondaggio IF16G06.

Per ognuna delle facies sopra elencate si è proceduto alla caratterizzazione geomeccanica della matrice e dell'ammasso roccioso seguendo l'iter logico operativo descritto al Capitolo di riferimento.

### 10.1.2 Sondaggi di riferimento

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

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

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sottterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 32 di 184

Caratteristiche sondaggio		Prove in foro		Prove lab rocce					Prove lab terreni					GSI	
ID sond.	Lungh. (m)	Dilatom.	Pressiom.	UCS	PLT	TX	Trazione	Vel ultras.	TXUU	TXCIU	TxCID	TD	ELL		Rigonfiamento
IO S1	100	2		3								6		-	
IF16G04	155	4		1	4	3		4							X
IO S4	240	2		3	1										X
IF16G06	310	4		4		3		5		1					X
IF16G07	260	4				3		3				3			X
IF16GHOR	60	6		3	2	3		5							X
S7	280	4										13	7	3	13
S8	200	3		1		1									

Tabella 10-1 – Sondaggi di riferimento per la caratterizzazione e loro caratteristiche.

### 10.1.3 Classificazione geomeccanica dell'ammasso

Sulla base dei dati raccolti, scaturiti dai rilievi strutturali, dalle colonne stratigrafiche ricavate dai sondaggi è stato valutato l'indice di qualità GSI per l'ammasso utilizzando il parametro RMR di Bieniawski come illustrato nel Capitolo di riferimento.

L'analisi delle stratigrafie integrata con la descrizione dei campioni prelevati da sondaggi ha permesso di identificare 3 unità litologiche principali all'interno della formazione FAE: calcarea, marnoso argillosa e argilloso-marnosa. I risultati ottenuti da prove di compressione monoassiale e Point Load Tests ha evidenziato all'interno delle principali litologie la presenza di sotto-gruppi con valori di resistenza a compressione e qualità della roccia molto diversi e, di conseguenza diversi intervalli di GSI. I gruppi geomeccanici individuati alla luce delle precedenti considerazioni, insieme con i valori di GSI e  $\sigma_{ci}$  corrispondenti, sono riassunti di seguito. Gli intervalli di GSI individuati risultano coerenti con la classificazione proposta da Hoek, Marinos and Marinos (2007) per formazioni strutturalmente complesse quali i Flysch. Si sono considerati 3 litofacies principali, individuando per ciascuna i gruppi geomeccanici:

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

Litofacies	Gruppo Geomeccanico	$\sigma_{ci}$	GSI
		[MPa]	[-]
FAEc	Roccia calcarea	16 ÷ 46	45 ÷ 55
	Calcarenite media	30 ÷ 45	45 ÷ 55
	Calcarenite buona	55 ÷ 70	55 ÷ 65
FAEam	Marna argillosa	5 ÷ 7	45 ÷ 60
FAEm	Marna calcarea	3 ÷ 10 [11-20] (*)	45 ÷ 60

(\*) i valori di resistenza a compressione per provini in marna calcarea fanno riferimento a prove realizzate su campioni fortemente fratturati. Ai fini della caratterizzazione geomeccanica della litofacies FAEm si è fatto riferimento ai valori di resistenza a compressione utilizzati per la tratta Orsara-Bovino Rif. [12]. Il range utilizzato è riportato tra parentesi.

Tabella 10-2 – FAE – Riepilogo gruppi geomeccanici.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 33 di 184

Per ciascun gruppo geomeccanico individuato è stata indicata la litofacies del FAE in cui una certa litologia risulta essere dominante. La caratterizzazione geomeccanica delle litofacies che verrà illustrata nei seguenti paragrafi è stata condotta alla luce di queste considerazioni.

Nel caso di attraversamento delle zone di faglia l'ammasso roccioso può presentarsi fortemente fratturato e brecciato. In questi casi, considerando le classi di GSI definite da Hoek, Marinos and Marinos (2007) per i flysch, è stato utilizzato un range di indice GSI di 30-40.

Di seguito si riportano i risultati della classificazione condotta per ogni verticale di indagine interessante l'Unità del FAE per la galleria Orsara. I grafici riportano anche indicazione della descrizione stratigrafica e del contatto riportato sul Profilo Geologico.

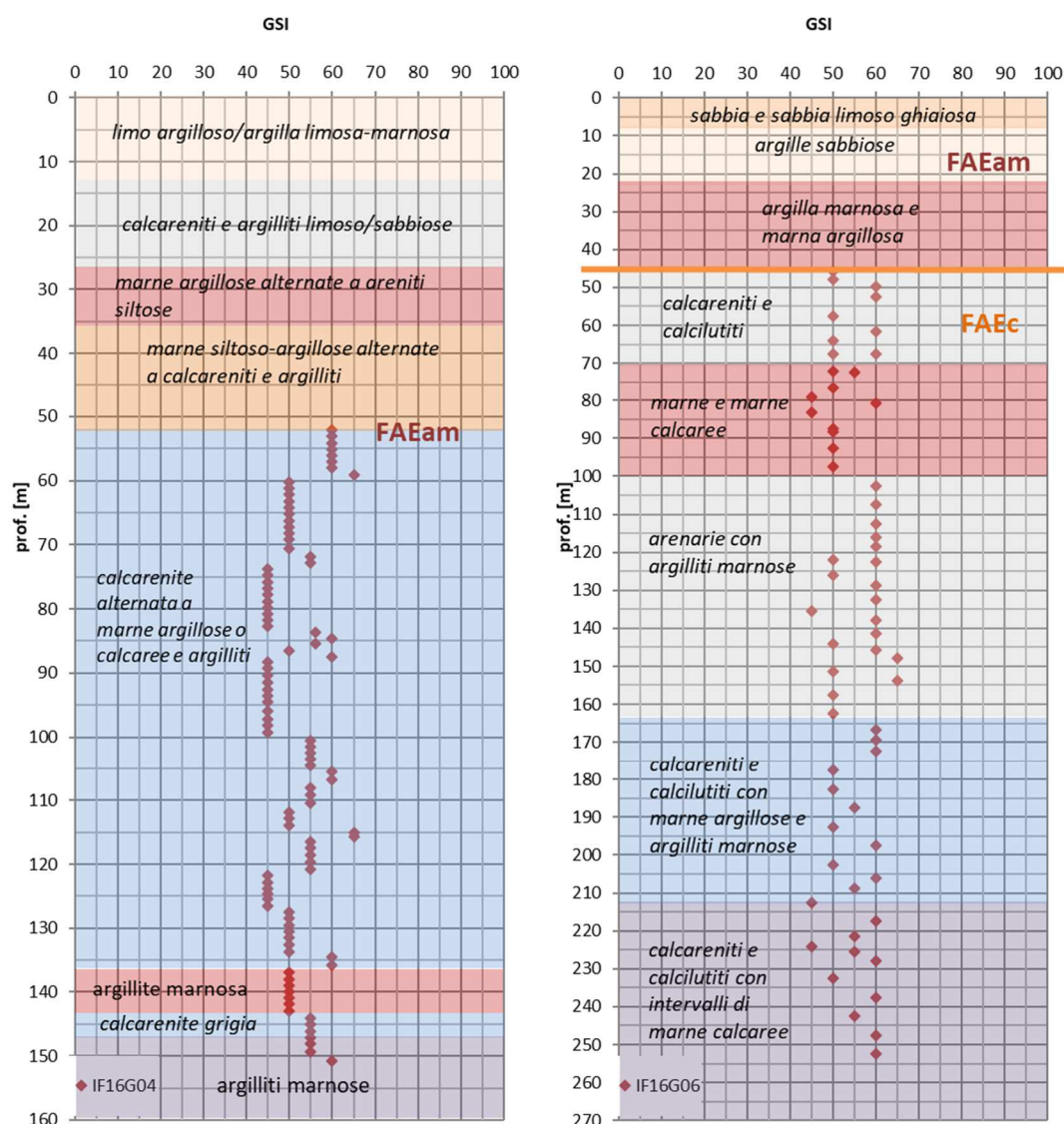


Figura 10-5 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità, dei sondaggi IF16G04 e IF16G06.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>34 di 184</b>

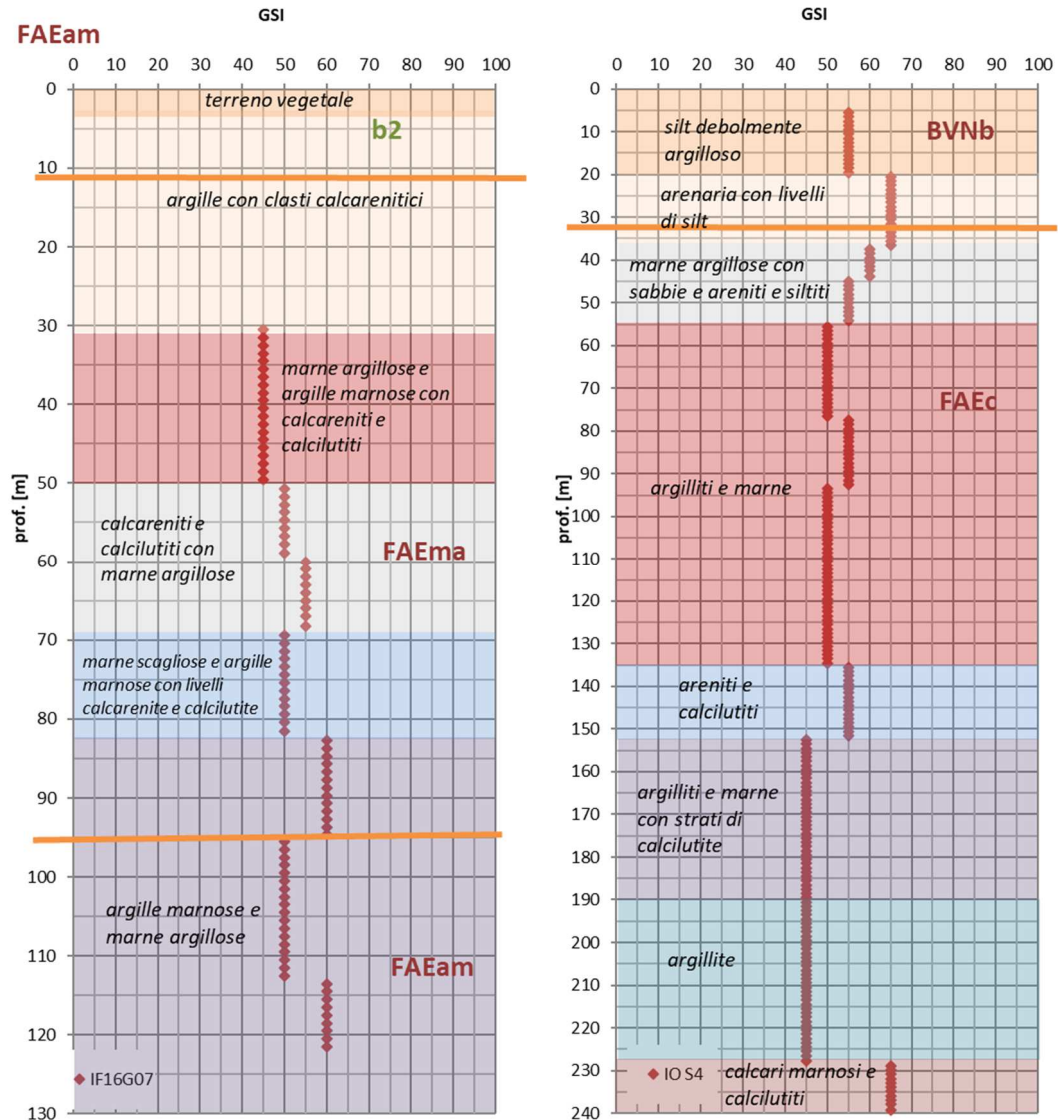


Figura 10-6 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità, dei sondaggi IF16G07 e IO-S4.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>				
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETRI-FER M-INGEGNERIA</b>	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO <b>IF3A 02 E ZZ RG GN0000 001 D 35 di 184</b>				
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sottterraneo</b>					

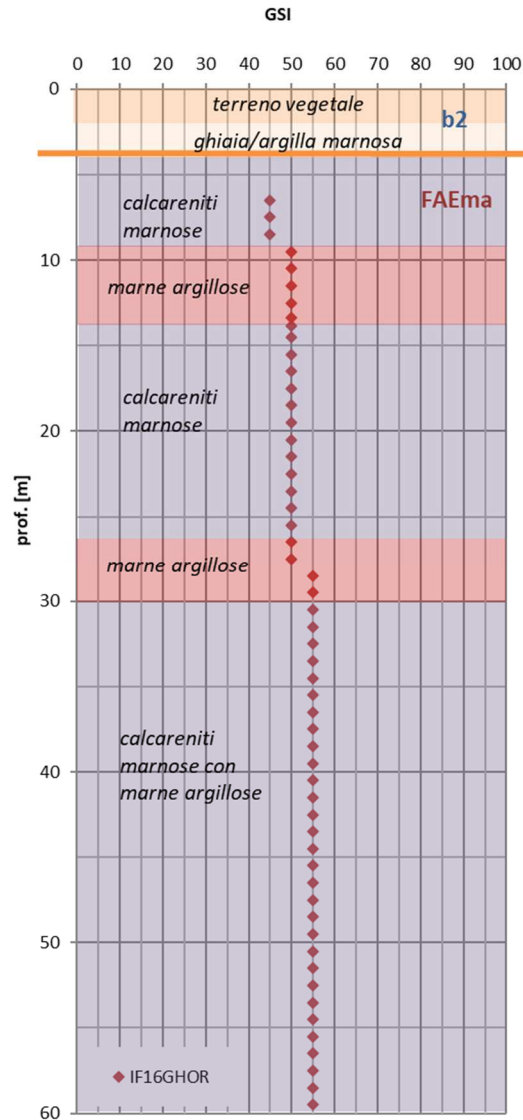


Figura 10-7 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità, dei sondaggi IF16GHOR.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>36 di 184</b>

#### 10.1.4 Caratterizzazione geomeccanica della matrice rocciosa

Adottando un mezzo continuo equivalente per l'ammasso roccioso, la determinazione dei parametri di resistenza è stata eseguita a partire dalle caratteristiche della matrice rocciosa intatta adottando il criterio di resistenza di Hoek & Brown, illustrato al Paragrafo 9.5. Noto il GSI e la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta per ciascun gruppo geomeccanico, è necessario determinare la costante  $m_i$  della roccia intatta dall'elaborazione dei risultati di prove di compressione triassiale. I dati considerati per il calcolo sono riportati di seguito.

ID sondaggio	ID campione	Descrizione	Tipo prova	prof. campione	$\sigma_3$	$\sigma_1$
				[m]	MPa	MPa
IF16G06	CI4	marna calcarea	Triassiale	284,5	3	20,8
					6	28,7
					9	36,9
IF16G06	CI5	calcarenite	Triassiale	289,625	3	43,2
					6	54
					9	69,7
IF16G06	CI6	marna calcarea	Triassiale	294,5	3	33,6
					6	44,8
					9	55,4
IF16G07	CI1	calcarenite	Triassiale	234,3	1	43,2
					3	56,7
					6	72,72
IF16G07	CI2	siltite marnosa	Triassiale	239,3	1	18,4
					3	24,1
					6	33,25
IF16G07	CI6	siltite marnosa	Triassiale	257,3	1	16,1
					3	22,8
					6	31,69

Tabella 10-3 – Risultati prove triassiali.

A partire dai valori di sforzo a rottura è stato costruito l'involuppo risultante usando il software di Rocscience "Roclab". I parametri di resistenza ottenuti sono i seguenti:

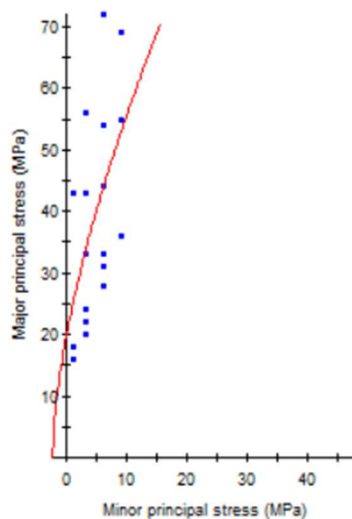
- $\sigma_{ci}=20.4$  MPa
- $m_i= 8.231$

I dati disponibili non sono sufficienti per poter fare un calcolo di questi parametri per ciascuna litofacies del FAE. Il valore di  $m_i$  è stato considerato univoco per l'intera formazione, mentre per le varie litofacies si è fatto riferimento ai valori di resistenza a compressione per la roccia intatta da prove di laboratorio.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>																	
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RG</td> <td>GN0000 001</td> <td>D</td> <td>37 di 184</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RG	GN0000 001	D	37 di 184
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RG	GN0000 001	D	37 di 184													
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo</b>																		

mi:                       sigci:  MPa



**Figura 10-8 –Interpolazione involucro di rottura.**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>38 di 184</b>

### 10.1.5 Caratterizzazione geomeccanica - FAEam

#### Proprietà fisiche

È stata condotta un'analisi dei dati disponibili relativamente alla determinazione delle proprietà fisiche della litofacies argilloso-marnosa del Flysch del Faeto.

Il peso per unità di volume risulta essere variabile tra  $22 \div 26 \text{ KN/m}^3$ .

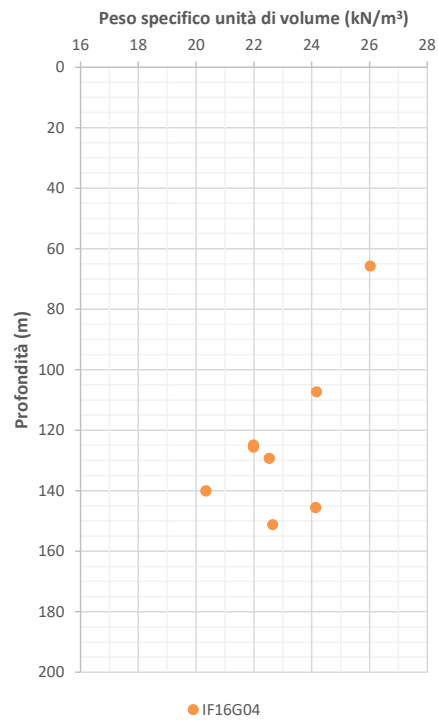


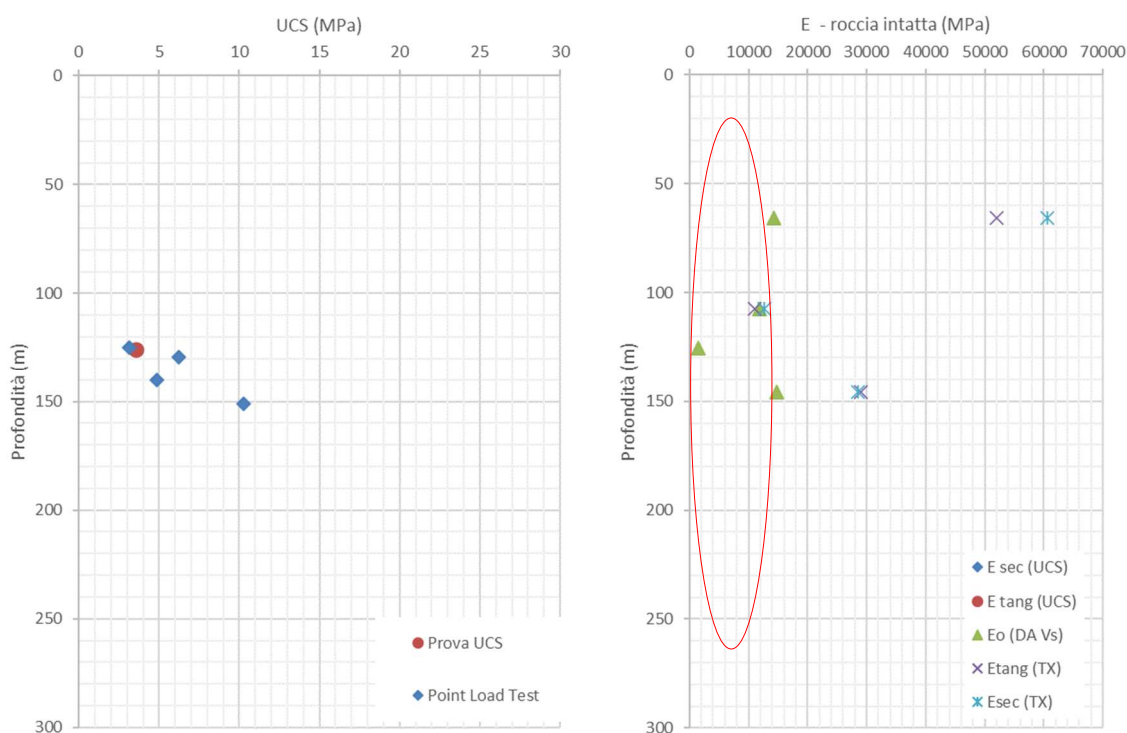
Figura 10-9 – Peso specifico per unità di volume (FAEam).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>39 di 184</b>

### Proprietà meccaniche

I valori di resistenza a compressione dell'ammasso sono ricavati da prove di compressione monoassiale e Point Load Test. Per la litofacies FAEam è stato considerato il range di resistenza a compressione monoassiale del gruppo geomeccanico della marna argillosa, pari a 5 ÷ 7 MPa.

Il modulo elastico per la roccia intatta è stato ricavato da prove di compressione monoassiale, prove triassiali e da prove ultrasoniche a partire dai valori di velocità delle onde di taglio Vs. I valori di modulo elastico sono molto variabili, essendoci componenti calcaree e calcarenitiche all'interno della formazione oltre che la componente più scadente di natura argilloso marnosa. Per questo motivo per la litofacies FAEam sono stati considerati i valori più bassi di modulo elastico per la roccia intatta, con valore medio di 5 GPa.



**Figura 10-10 – Resistenza a compressione (sx) e modulo elastico per la roccia intatta (FAEam).**

Di seguito si riportano i risultati di prove dilatometriche e i moduli elastici operativi da prove a velocità ultrasonica che permettono di definire il modulo elastico per l'ammasso roccioso. I valori di modulo di deformabilità per l'ammasso dedotti dalle prove ultrasoniche sono stati ricavati a partire dal modulo iniziale  $E_0$  assumendo un rapporto  $E/E_0=0.1$ , in funzione del livello di deformazione atteso a seguito dello scavo della galleria e in accordo coi risultati ottenuti da prove dilatometriche. Il modulo elastico dell'ammasso roccioso caratteristico per la litologia in esame è riportato nel Paragrafo 10.1.8 ed è stato valutato in base al GSI dell'ammasso. I valori ottenuti sono in accordo coi valori di modulo elastico operativo da prove ultrasoniche e i risultati da prove dilatometriche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>40 di 184</b>

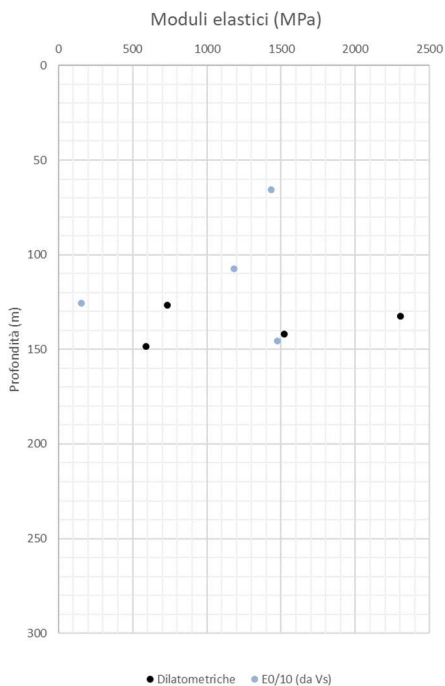


Figura 10-11 – Modulo elastico da prove dilatometriche e modulo elastico operativo da prove a velocità ultrasonica (FAEam).

### Stato di sforzo

Lo stato di sforzo in situ è stato valutato a partire dai risultati di prove dilatometriche eseguite nell'ambito delle Campagne indagini 2017-2018-2021.

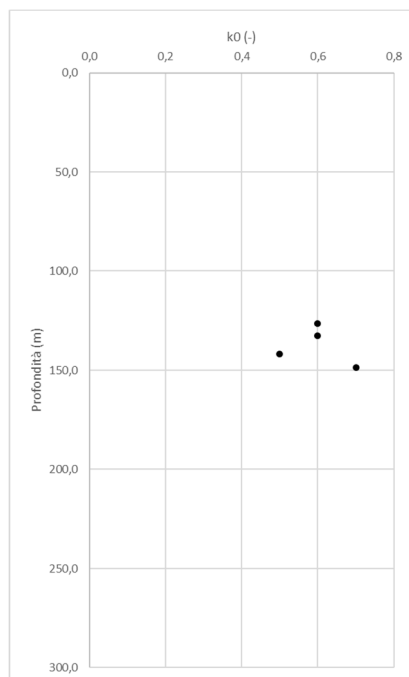


Figura 10-12 – Coefficiente di spinta a riposo da prove dilatometriche (FAEam).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>41 di 184</b>

### Conducibilità idraulica

Il grafico seguente illustra i valori di conducibilità idraulica misurati con prove Lefranc e Lugeon per la litofacies FAEam. Il suo valore risulta variabile tra  $8 \cdot 10^{-9}$  m/s e  $6 \cdot 10^{-6}$  m/s.

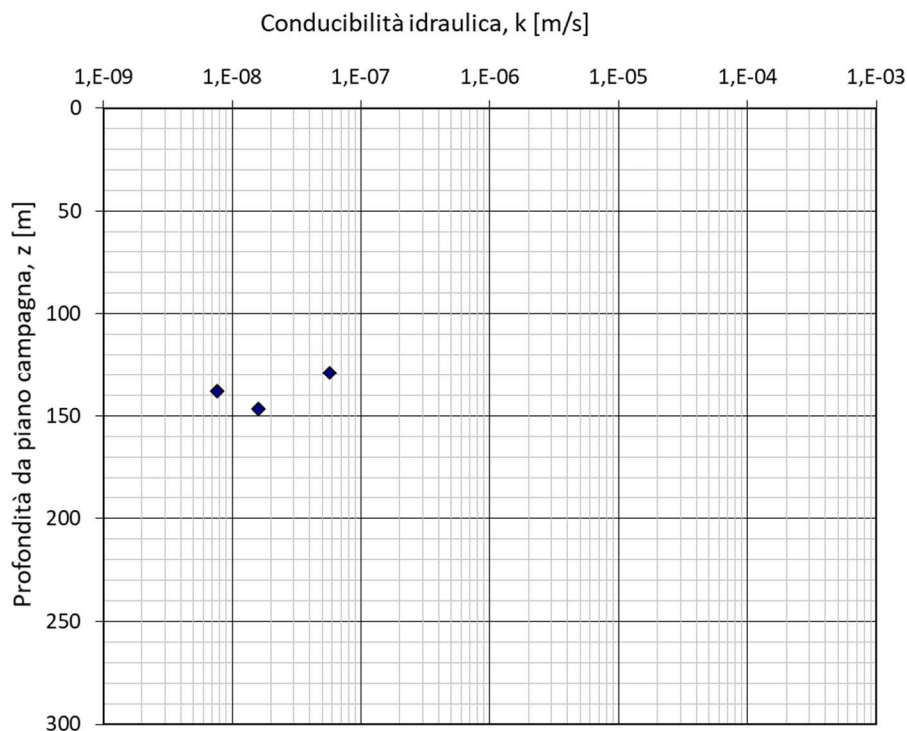


Figura 10-13 – Conducibilità idraulica (FAEam).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>42 di 184</b>

## 10.1.6 Caratterizzazione geomeccanica - FAEmA

### Proprietà fisiche

È stata condotta un'analisi dei dati disponibili relativamente alla determinazione delle proprietà fisiche della litofacies marnoso-argillosa del Flysch del Faeto.

Il peso per unità di volume risulta essere variabile tra  $24 \div 27 \text{ KN/m}^3$ . Non si è tenuto conto dei valori più bassi (range  $18 \div 20 \text{ KN/m}^3$ ), riferendosi a provini prelevati in materiale argilloso e, pertanto, non rappresentativi dell'ammasso roccioso.

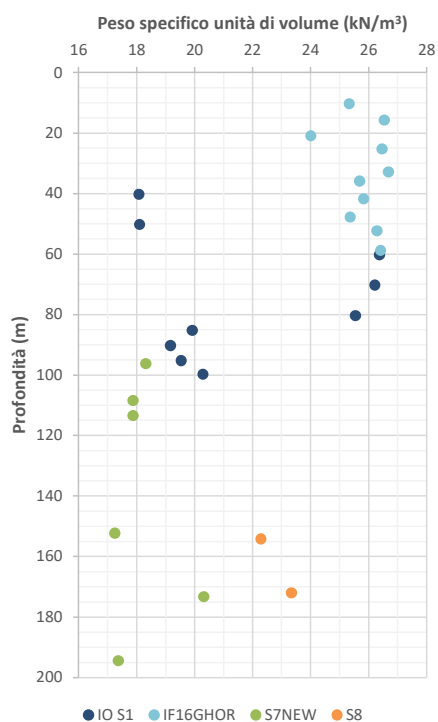


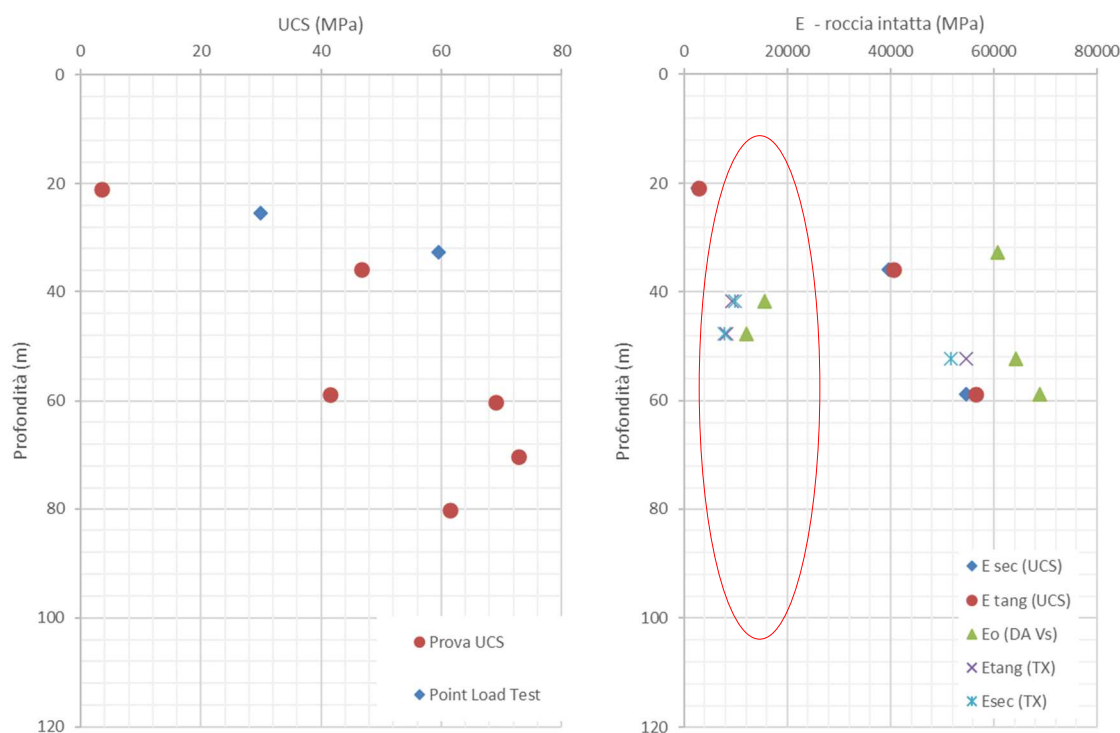
Figura 10-14 – Peso specifico per unità di volume (FAEmA).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>43 di 184</b>

### Proprietà meccaniche

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

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



**Figura 10-15 – Resistenza a compressione e modulo elastico per la roccia intatta (FAEma).**

Di seguito si riportano i risultati di prove dilatometriche e i moduli elastici operativi da prove a velocità ultrasonica che permettono di definire il modulo elastico per l'ammasso roccioso. I valori di modulo di deformabilità per l'ammasso dedotti dalle prove ultrasoniche sono stati ricavati a partire dal modulo iniziale  $E_0$  assumendo un rapporto  $E/E_0=0.1$ , in funzione del livello di deformazione atteso a seguito dello scavo della galleria e in accordo coi risultati ottenuti da prove dilatometriche. Il modulo elastico dell'ammasso roccioso caratteristico per la litologia in esame è riportato nel Paragrafo 10.1.8 ed è stato valutato in base al GSI dell'ammasso. I valori ottenuti sono in accordo coi valori di modulo elastico operativo da prove ultrasoniche e i risultati da prove dilatometriche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>44 di 184</b>

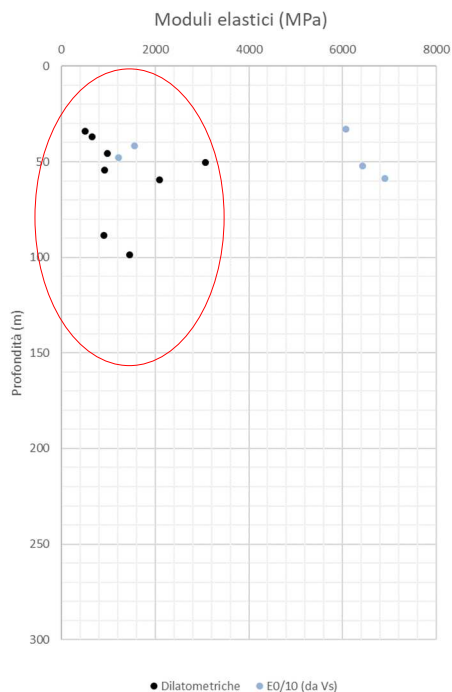


Figura 10-16 – Modulo elastico da prove dilatometriche e moduli elastici operative da prove a velocità ultrasonica (FAEma).

**Stato di sforzo**

Lo stato di sforzo in situ è stato valutato a partire dai risultati di prove dilatometriche eseguite nell’ambito delle Campagne indagini 2017-2018-2021.

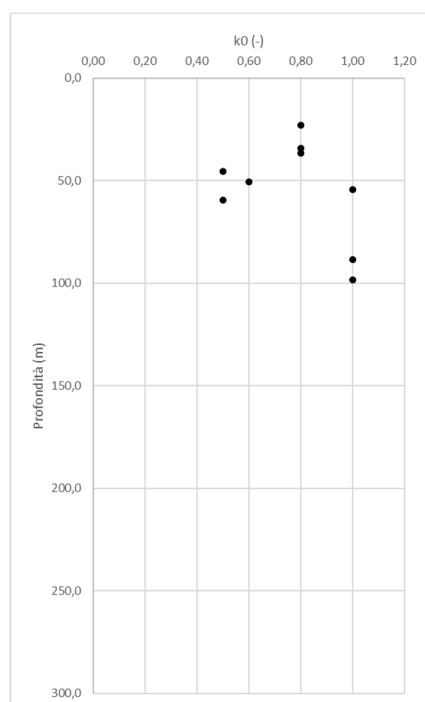


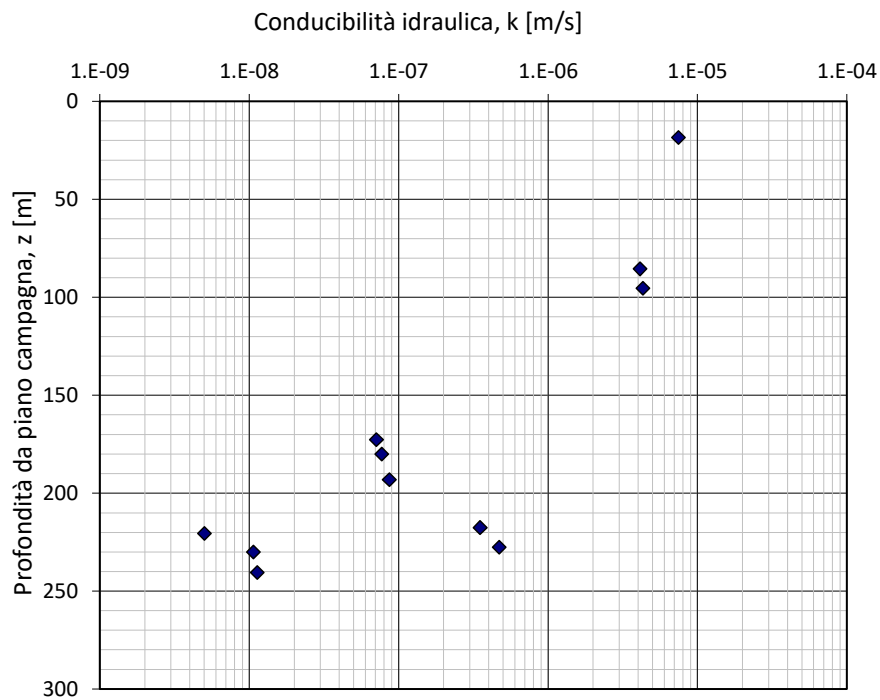
Figura 10-17 – Coefficiente di spinta a riposo (FAEma).



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>45 di 184</b>

### Conducibilità idraulica

Il grafico seguente illustra i valori di conducibilità idraulica misurati con prove Lefranc per la litofacies FAEma. Il suo valore si attesta intorno  $1.4 \cdot 10^{-7}$  m/s.



**Figura 10-18 – Conducibilità idraulica (FAEma).**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>46 di 184</b>

### 10.1.7 Caratterizzazione geomeccanica - FAEc

#### Proprietà fisiche

È stata condotta un'analisi dei dati disponibili relativamente alla determinazione delle proprietà fisiche della litofacies calcarea-calcarenitica del FLYSCH del Faeto.

Il peso per unità di volume risulta essere variabile tra  $20 \div 26 \text{ KN/m}^3$ , con un valore che si attesta sui  $26 \text{ KN/m}^3$  per i campioni di natura calcarea-calcarenitica, caratteristici della litofacies in esame.

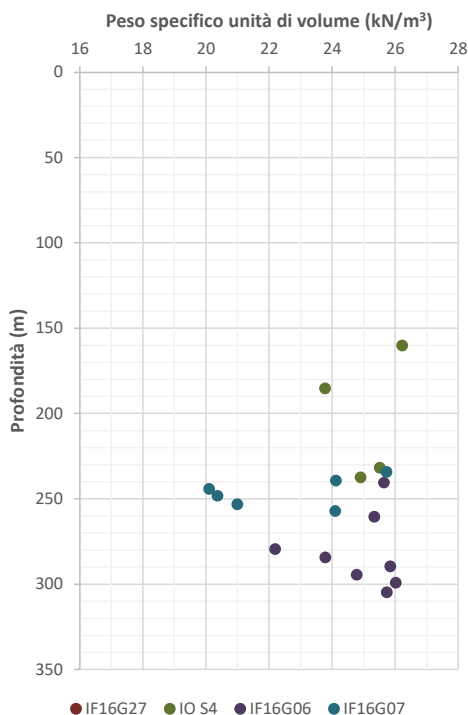
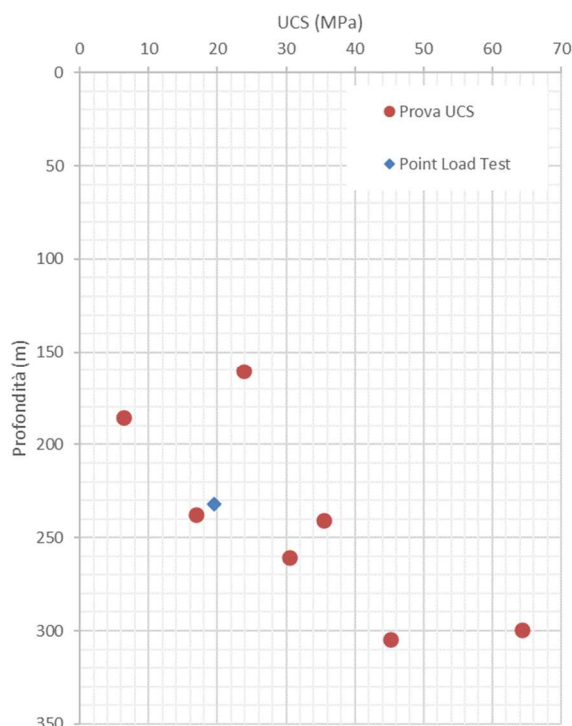


Figura 10-19 – Peso specifico per unità di volume (FAEc).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>47 di 184</b>

### Proprietà meccaniche

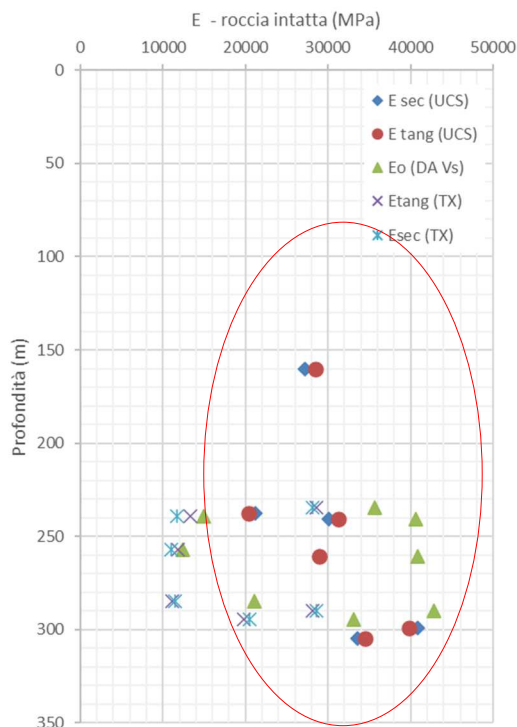
I valori di resistenza a compressione dell'ammasso sono ricavati da prove di compressione monoassiale e Point Load Test. Considerata la natura calcarea e calcarenitica dominante nella facies in esame, per la litofacies FAEc sono stati considerati i range di resistenza a compressione monoassiale dei gruppi geomeccanici calcareo e calcarenitico, con valori di resistenza inferiori compresi tra 16 ÷ 46 MPa per le componenti più scadenti dell'ammasso, e valori più elevati compresi tra 55 ÷ 70 MPa per le componenti più buone, meno fratturate.



**Figura 10-20 – Resistenza a compressione (FAEc).**

Il modulo elastico per la roccia intatta è stato ricavato da prove di compressione monoassiale, prove triassiali e da prove ultrasoniche a partire dai valori di velocità delle onde di taglio Vs. I valori di modulo elastico risultano essere nettamente superiori a quelli delle litofacies analizzate in precedenza. Per la litofacies FAEc il modulo elastico per la roccia intatta risulta variabile tra 20 ÷ 40 GPa.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>48 di 184</b>



**Figura 10-21 – Moduli elastici per la roccia intatta (FAEma).**

Di seguito si riportano i risultati di prove dilatometriche e i moduli elastici operativi da prove a velocità ultrasonica che permettono di definire il modulo elastico per l'ammasso roccioso. I valori di modulo di deformabilità per l'ammasso dedotti dalle prove ultrasoniche sono stati ricavati a partire dal modulo iniziale  $E_0$  assumendo un rapporto  $E/E_0=0.1$ , in funzione del livello di deformazione atteso a seguito dello scavo della galleria e in accordo coi risultati ottenuti da prove dilatometriche. Il modulo elastico dell'ammasso roccioso caratteristico per la litologia in esame è riportato nel Paragrafo 10.1.8 ed è stato valutato in base al GSI dell'ammasso. I valori ottenuti sono in accordo coi valori di modulo elastico operativo da prove ultrasoniche e i risultati da prove dilatometriche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO <b>IF3A                      02                      E ZZ RG                      GN0000 001                      D                      49 di 184</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>						

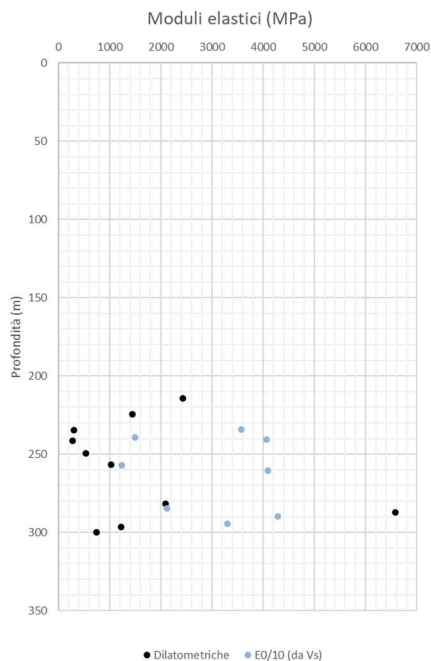


Figura 10-22 – Modulo elastico da prove dilatometriche e moduli elastici operative da prove a velocità ultrasonica (FAEc).

### Stato di sforzo

Lo stato di sforzo in situ è stato valutato a partire dai risultati di prove dilatometriche eseguite nell'ambito delle Campagne indagini 2017-2018-2021.

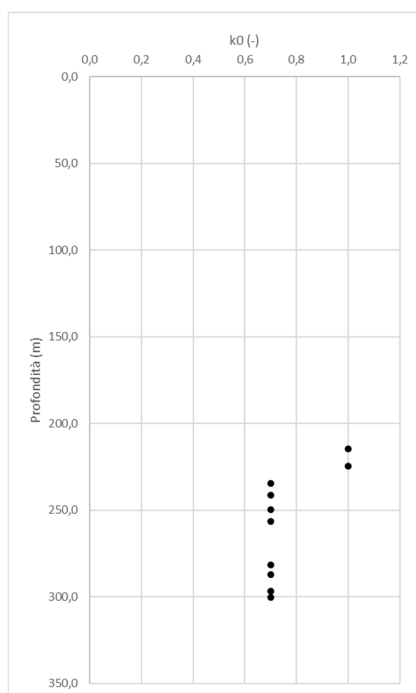


Figura 10-23 – Coefficiente di spinta a riposo da prove dilatometriche (FAEc).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>50 di 184</b>

### Conducibilità idraulica

Il grafico seguente illustra i valori di conducibilità idraulica misurati con prove Lefranc e Lugeon per la litofacies FAEc. Il suo valore risulta variabile tra  $10^{-8}$  m/s e  $10^{-4}$  m/s.

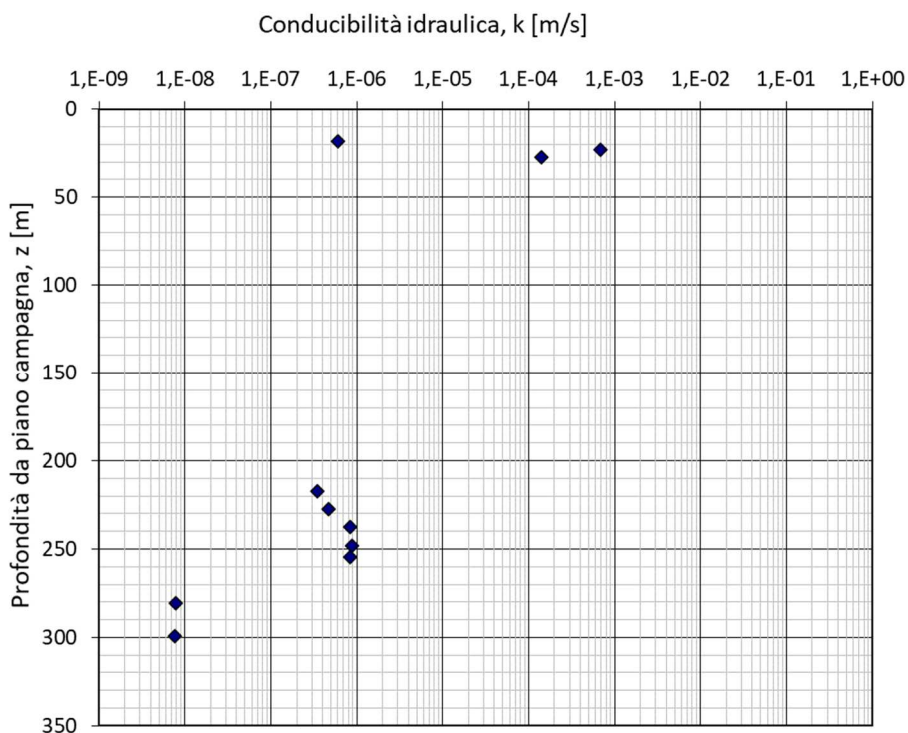


Figura 10-24 – Conducibilità idraulica (FAEc).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sottterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 51 di 184

### 10.1.8 Riepilogo parametri FAE

La caratterizzazione geomeccanica condotta sulla base delle indagini e prove descritte nei paragrafi precedenti, ha condotto alla definizione dei seguenti intervalli di valori rappresentativi dei principali parametri geotecnici per le sotto Unità del FAE individuate:

<b>FAEam</b>							
Parametro	u.m	Coperture [m]					
		90-110	235-280	280-320	320-370		
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	24	24	24	24		
UCS	MPa	3 - 10	3 - 10	3 - 10	3 - 10		
mi	-	8	8	8	8		
D	-	0	0	0	0		
Ei	MPa	5000	5000	5000	5000		
<b>GSI (45-60)</b>	45	$\sigma_{cm}$	MPa	0.84	0.84	0.84	0.84
		c'	kPa	200-225	350-385	385-415	415-450
		$\phi'$	°	29-30	22-24	22-24	21-23
		Erm	MPa	1100	1100	1100	1100
	50	$\sigma_{cm}$	MPa	0.94	0.94	0.94	0.94
		c'	kPa	220-245	380-420	420-450	450-490
		$\phi'$	°	30-32	24-25	23-25	22-25
		Erm	MPa	1540	1540	1540	1540

Tabella 10-4 – FAEam - Riepilogo parametri geotecnici/geomeccanici.

<b>FAEma</b>										
Parametro	u.m	Coperture [m]								
		55-90	105-150	150-200	200-250	250-300	300-320	320-370		
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	25	25	25	25	25	25	25		
UCS	MPa	10 - 20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20		
mi	-	8	8	8	8	8	8	8		
D	-	0	0	0	0	0	0	0		
Ei	MPa	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000	11 000		
<b>GSI (45-60)</b>	45	$\sigma_{cm}$	MPa	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	
		c'	kPa	195-250	275-335	335-400	400-450	455-505	505-525	525-570
		$\phi'$	°	34-38	30-33	28-30	26-28	25-26	25	24-25
		Erm	MPa	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
	55	$\sigma_{cm}$	MPa	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	
		c'	kPa	215-280	305-370	370-435	435-495	495-550	550-570	570-620
		$\phi'$	°	35-39	32-34	30-32	28-30	27-28	26-27	25-26
		Erm	MPa	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300

Tabella 10-5 – FAEma - Riepilogo parametri geotecnici/geomeccanici.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 52 di 184

FAEc						
Parametro		u.m	Coperture [m]			
			200-240	240-300	300-370	
γ		kN/m <sup>3</sup>	26	26	26	
UCS		MPa	16-45	16-45	16-45	
			55-70	55-70	55-70	
mi		-	8	8	8	
D		-	0	0	0	
Ei		MPa	20 000	20 000	20 000	
<b>GSI (45-55)</b>	45	σ <sub>cm</sub>	MPa	2.2-6.3	2.2-6.3	2.2-6.3
		c'	kPa	640-710	710-805	805-910
		φ'	°	35-36	33-35	32-33
		E <sub>rm</sub>	MPa	4400	4400	4400
<b>GSI (55-65)</b>	55	σ <sub>cm</sub>	MPa	9.68-12.32	9.68-12.32	9.68-12.32
		c'	kPa	1160-1250	1250-1385	1385-1535
		φ'	°	43-44	41-43	40-41
		E <sub>rm</sub>	MPa	8100	8100	8100

**Tabella 10-6 – FAEc - Riepilogo parametri geotecnici/geomeccanici.**

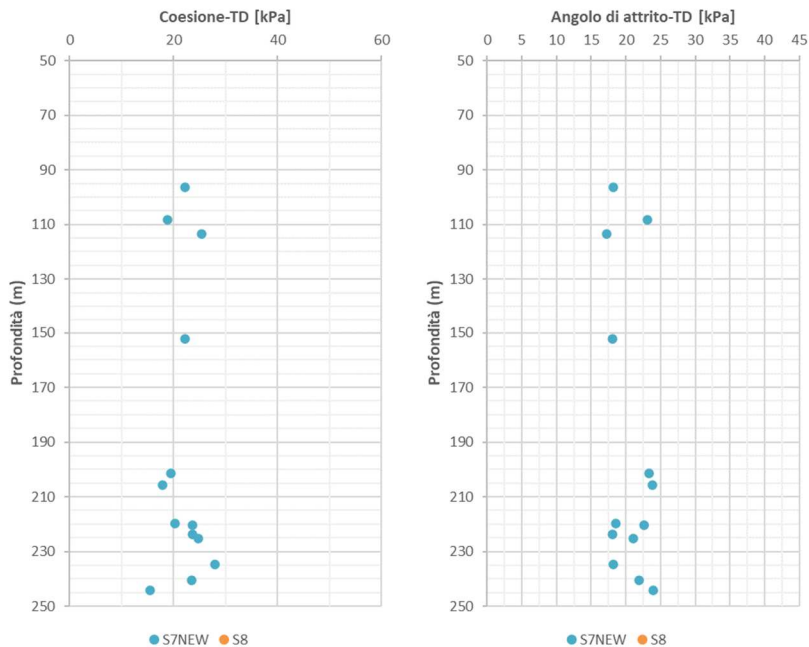
Si segnala che in corrispondenza dell'imbocco lato Bari il profilo geologico-geotecnico di previsione segnala la presenza di una coltre detritica, di origine eluvio-colluviale (costituita da limo ghiaioso e ghiaia) con spessore variabile da 10 a 5 m da p.c e, al di sotto, la formazione del Flysch di Faeto nella sua componente marnoso-argillosa. Per la coltre detritica, pur in assenza al momento di indagini dirette, si suggeriscono i seguenti parametri (assai prossimi a quelli della vicina unità RPL1a caratterizzata nella relazione delle tratte all'aperto):

γ (kN/m <sup>3</sup> )	c' <sub>k</sub> (kPa)	φ <sub>k</sub> (°)	k <sub>0</sub> (-)	E (MPa)
20.0	0.0	35.0	0.43	50.0

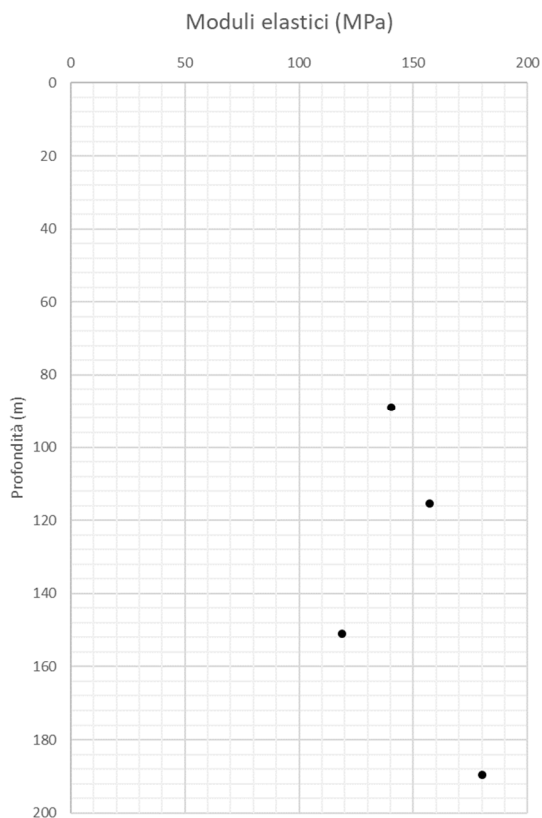
Si evidenzia inoltre che, a seguito dell'esame dei risultati delle verticali geognostiche condotte, la zona di passaggio tra il FAEc ed FYR, indicativamente tra le pk. 50+200 e 51+250, è stata identificata come appartenente alla Formazione del FAE e risulta caratterizzata da alternanze tra FAE/am e FAE/ma. L'esame dei risultati delle prove geotecniche di laboratorio, relative ai sondaggi S7new e S8, hanno di contro fornito valori di resistenza più simili a quelli del FYR, probabilmente anche a causa del fatto che i provini si riferiscono alla parte più argillosa del Flysch del Faeto. Si riportano i risultati delle prove di taglio diretto, eseguite in laboratorio sui campioni prelevati dal sondaggio S7new, e i moduli elastici derivati dalle prove dilatometriche sui sondaggi S7new e S8.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>53 di 184</b>



**Figura 10-25 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio di TD (FAE).**



**Figura 10-26 - Modulo elastico da prove dilatometriche**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>54 di 184</b>

Le 3 prove dilatometriche su S8 sono state eseguite alle seguenti profondità:

- DRT1 (88.4-89.4 m)
- DRT2 (150.6-151.6 m)
- DRT3 (189.0-190.0 m)

Si evidenzia come anche nel caso della prova DRT3 che restituisce il maggiore modulo elastico (190MPa), la prova avrebbe potuto dare anche risultati migliori se fosse stata realizzata 3m sopra.

Dall'esame delle cassette, il materiale, caratterizzato da parametri di resistenza bassi, potrebbe risentire della perforazione stessa, facendo registrare anche una certa fragilità con conseguente abbattimento del modulo elastico, mentre l'indagine sismica SIS\_04, essendo una prova non invasiva, conduce a valori di rigidezza ben più alti.

### CASSETTA 38 (185.0 – 190.0 m)



In dettaglio, dal profilo delle Vs dell'indagine sismica SIS\_04 risulta che a quota cavo le Vs più basse sono comunque superiori a 1300m/s, corrispondenti a un modulo elastico (derivato come  $E_0/10$ ) superiore a 1000MPa.

In sede di analisi strutturale, per questa tratta di passaggio tra FAEc e FYR si possono quindi considerare:

- il peso proprio del FAE/am, pari a 24kN/m<sup>3</sup>, al fine da massimizzare il carico geostatico;
- i parametri di resistenza pari a quelli minimi del FYR ( $c'=40\text{kPa}$  e  $\Phi'=24^\circ$ );
- un modulo elastico di 700MPa, intermedio tra i risultati locali delle prove dilatometriche e quelli più globali dell'indagine sismica.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo		COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>55 di 184</b>

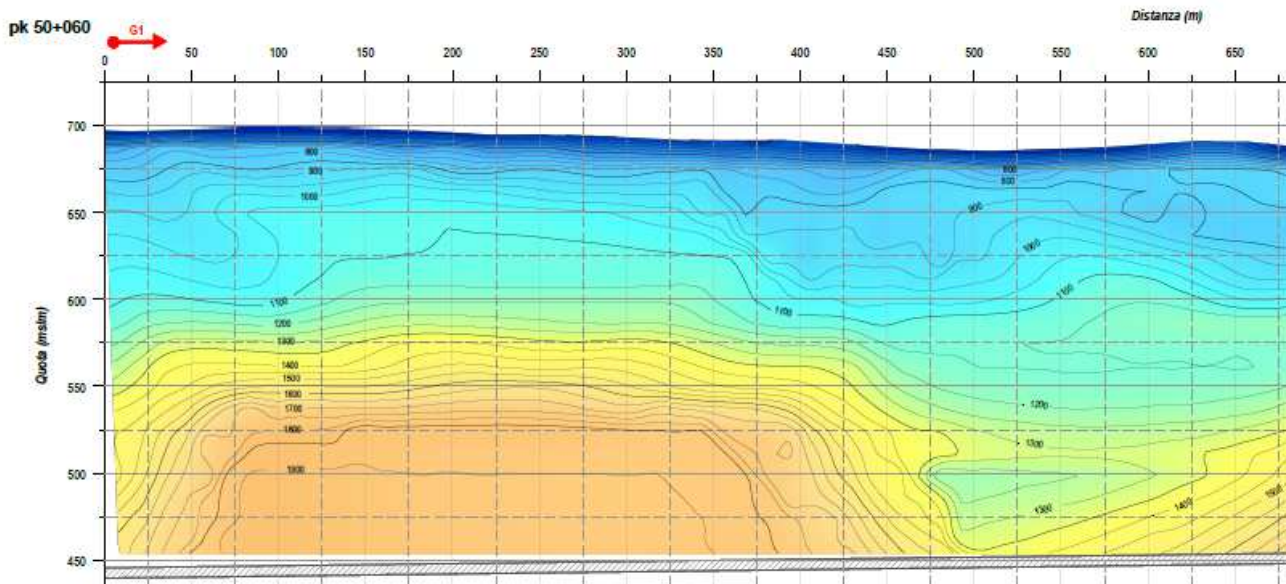


Figura 27 – Vs da SIS\_04 – 1di2

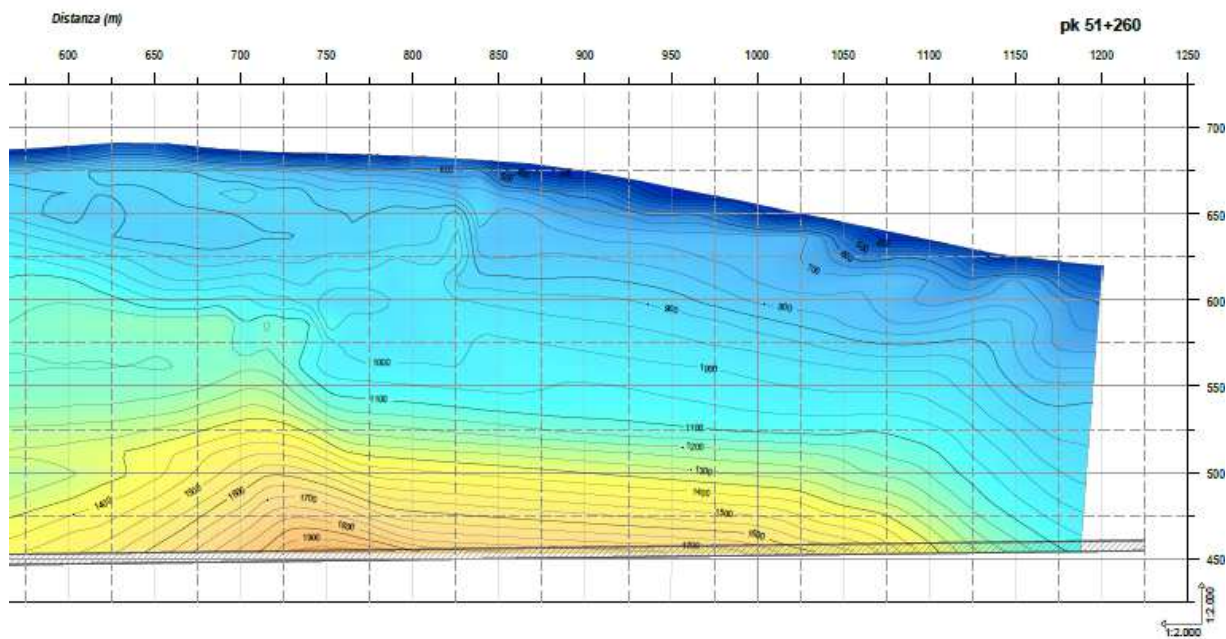


Figura 28 – Vs da SIS\_04 – 2di2

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 56 di 184

## 10.2 ARGILLE E SABBIE DEL VALLONE MERIDIANO

### 10.2.1 Note introduttive

Lo scavo della galleria Hirpinia intercetta l'Unità BVNb con coperture comprese tra 20-180 m.

Dalle indagini eseguite si riscontra che la formazione è costituita da argille, argille limose e argille marnose con intercalazioni di sabbie limose, siltiti e arenarie.

Il materiale è stato caratterizzato a partire dai risultati di prove di laboratorio e prove in foro.



Figura 10-29 – Carote prelevate a quota cavo relative alla formazione BVNb, sondaggio S4.

### 10.2.2 Sondaggi di riferimento

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

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

Caratteristiche sondaggio		Prove in foro		Prove lab rocce					Prove lab terreni					
ID sond.	Lungh. (m)	Dilatam.	Pressiom.	UCS	PLT	TX	Trazione	Vel ultras.	TXUU	TXCIU	TxCID	TD	ELL	Rigonf
IO S2	200	2			2							2		
IF16G05	45	4		1				2			1	3	1	
IF16G27	90	3		2	1	5		4				4		
S03	220	2		7	7			7						
S4	85	2	2	5						1		7	4	1

Tabella 10-7 – Sondaggi di riferimento per la caratterizzazione e loro caratteristiche.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>57 di 184</b>

### 10.2.3 Proprietà fisiche

È stata condotta un'analisi dei dati disponibili relativamente alla determinazione delle proprietà fisiche della formazione.

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggi mostrano la prevalenza dei termini limosi e argillosi. Il terreno è classificabile come limo con argilla.

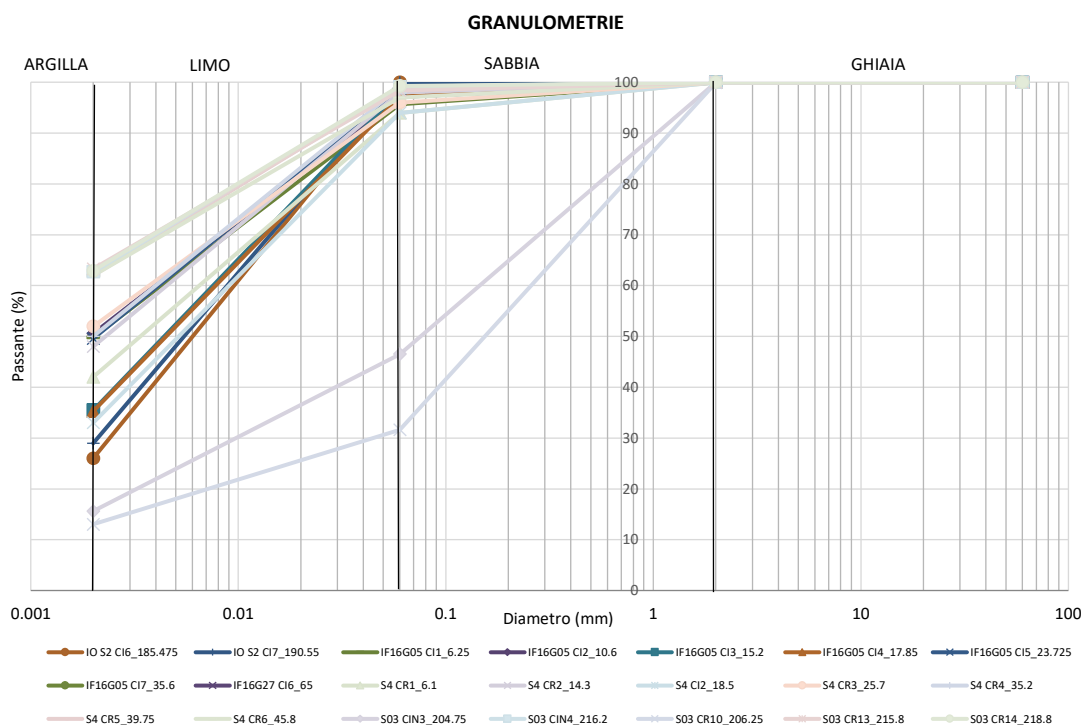


Figura 10-30 – Curve granulometriche relative alla formazione BVNb.

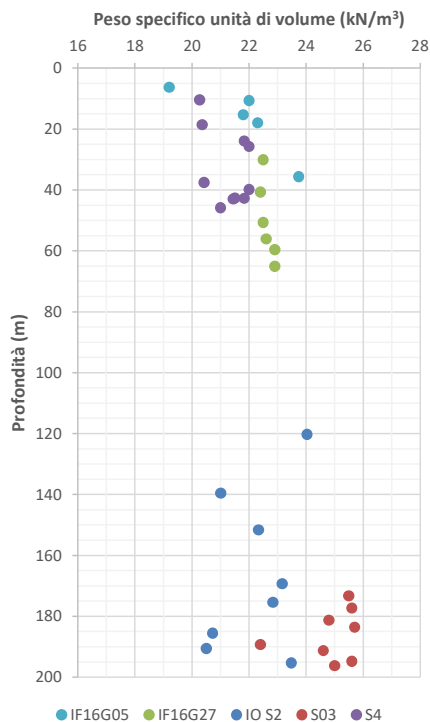
Il peso per unità di volume è variabile tra  $20 \div 23 \text{ KN/m}^3$  per i campioni prelevati entro 100m di profondità, mentre varia tra  $20 \div 26 \text{ KN/m}^3$  a profondità superiori.

Il contenuto d'acqua naturale  $w_N$  è variabile tra  $7 \div 20\%$ , intervallo che si mantiene pressoché costante con la profondità nel volume indagato.

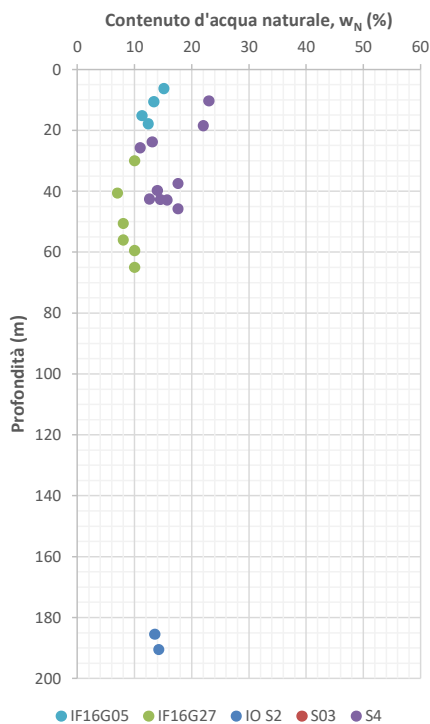
Gli intervalli di variabilità dei limiti di Atterberg sono i seguenti:

- Limite liquido  $w_L$ :  $40 \div 80\%$
- Limite plastico  $w_P$ :  $17 \div 35\%$
- Indice di plasticità  $I_p$ :  $20 \div 46\%$
- Indice di consistenza  $I_c$ :  $1.0 \div 1.8$

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sottterraneo</b>	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO <b>IF3A                      02                      E ZZ RG                      GN0000 001                      D                      58 di 184</b>



**Figura 10-31 – Peso specifico per unità di volume (BVNb).**



**Figura 10-32 – Contenuto d'acqua naturale (BVNb).**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETRI-FER M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>59 di 184</b>

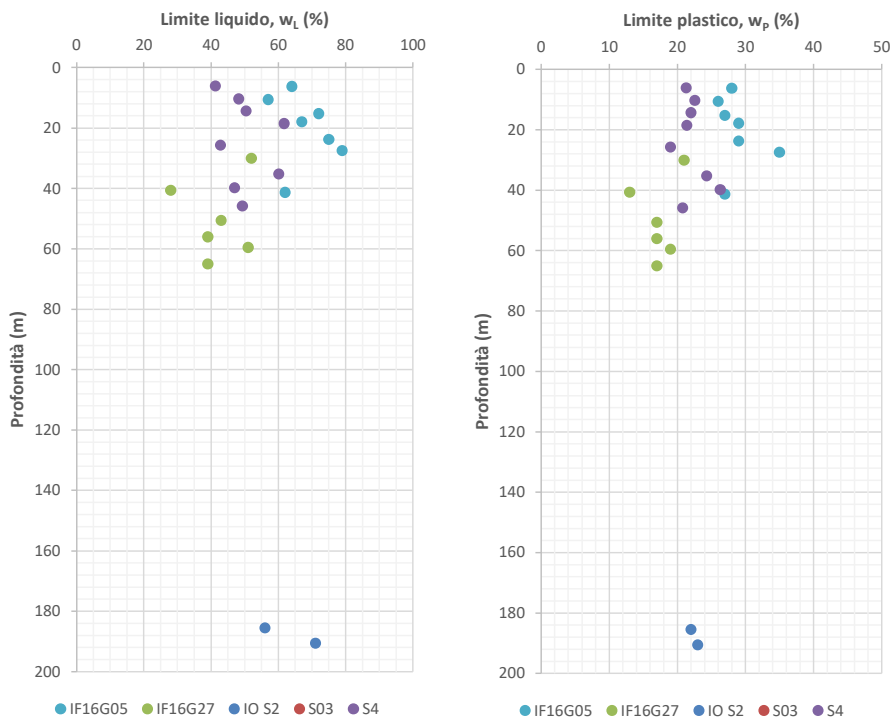


Figura 10-33 – Limite liquido e limite plastico (BVNb).

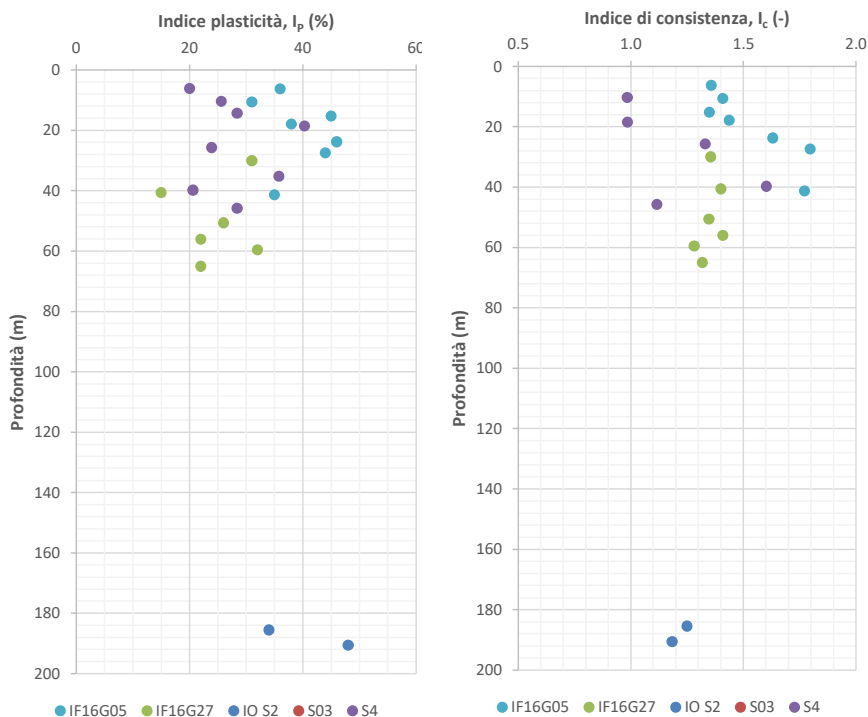


Figura 10-34 – Indice plastico ed indice di consistenza (BVNb).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>60 di 184</b>

## 10.2.4 Proprietà meccaniche di resistenza

### Prove in foro

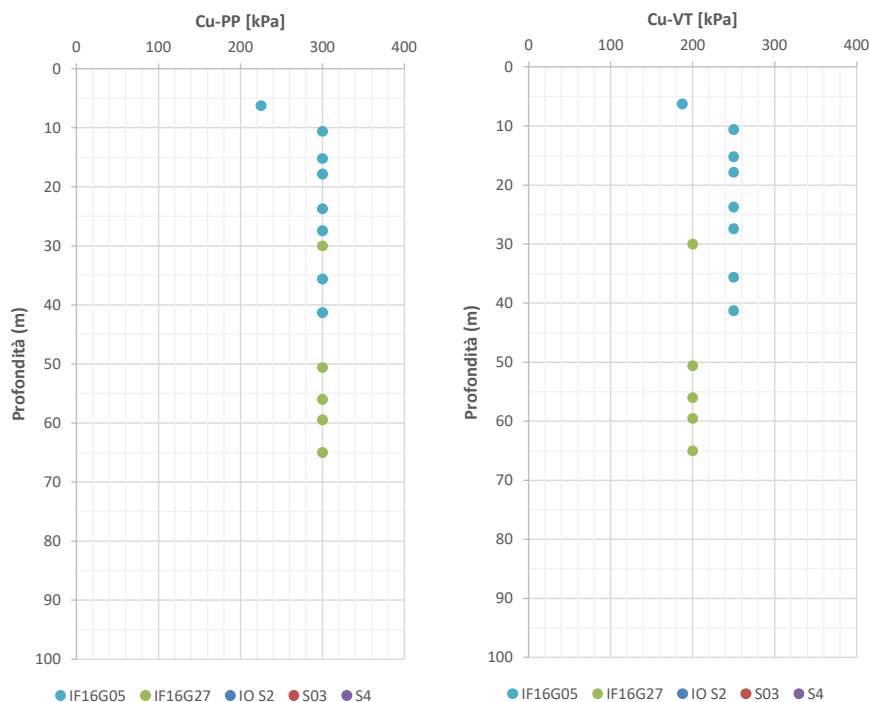


Figura 10-35 - Coesione non drenata da Pocket Penetrometer e Vane Test (BNb).

I valori di resistenza non drenata da Pocket Penetrometer si ricavano dal valore di resistenza alla punta, come illustrato nel Capitolo 8, paragrafo 8.3.3. I valori di coesione non drenata  $C_u=300\text{kPa}$  vanno intesi come valori minimi, ottenuti da una resistenza alla punta maggiore di  $600\text{kPa}$ . Dai risultati disponibili risulta che la coesione non drenata assume prevalentemente valori superiori ai  $300\text{kPa}$ .

Di seguito si riportano i valori di coesione non drenata da prove SPT, ottenuti applicando la correlazione di Stroud (1974), e da prove dilatometriche.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>61 di 184</b>

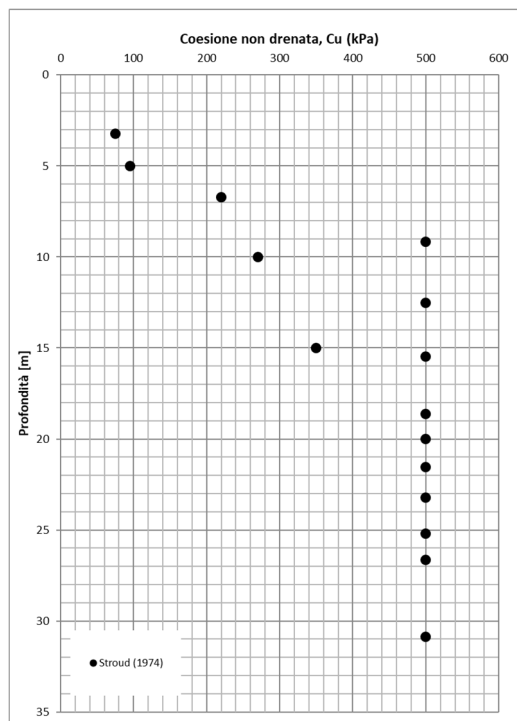


Figura 10-36 - Coesione non drenata da SPT (BVNb).

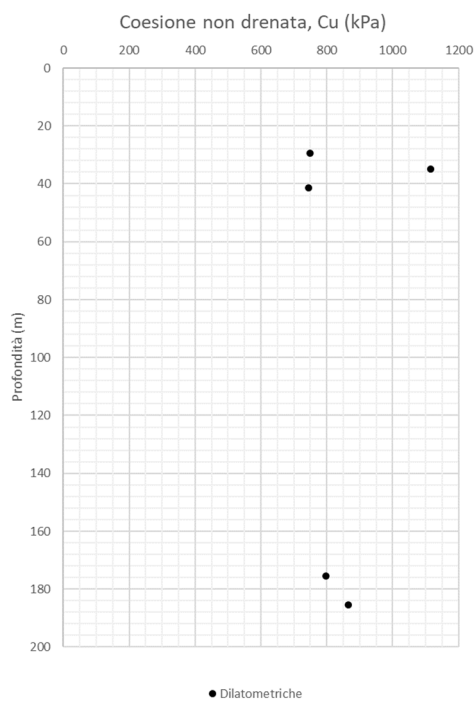


Figura 10-37 – Coesione non drenata da prove dilatometriche (BVNb).

I valori di coesione non drenata da prove dilatometriche variano tra 750 kPa-1100 kPa.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>62 di 184</b>

### Prove di laboratorio

Sono stati analizzati i risultati da prove di laboratorio su campioni indisturbati per definire le proprietà meccaniche della formazione. Sono state eseguite prove di taglio diretto, di compressione triassiale consolidata drenata (CID) e di compressione triassiale consolidata non drenata (CIU) per definire i parametri di coesione efficace ( $c'$ ) e angolo d'attrito ( $\phi'$ ). Si osserva che alcuni campioni a prevalenza sabbiosa sono caratterizzati da ridotti valori di coesione a fronte di più elevati angoli di attrito. Tali dati sono associabili alla presenza della formazione BVNa, evidenziata lungo la verticale del sondaggio S03, la quale risulta costituita da arenarie, in alternanza con conglomerati a clasti in matrice sabbiosa e calcareo-sabbiosa. Tuttavia, data la scarsità di dati, la caratterizzazione della formazione BVNa è stata Inclusa in quella della formazione BVNb.

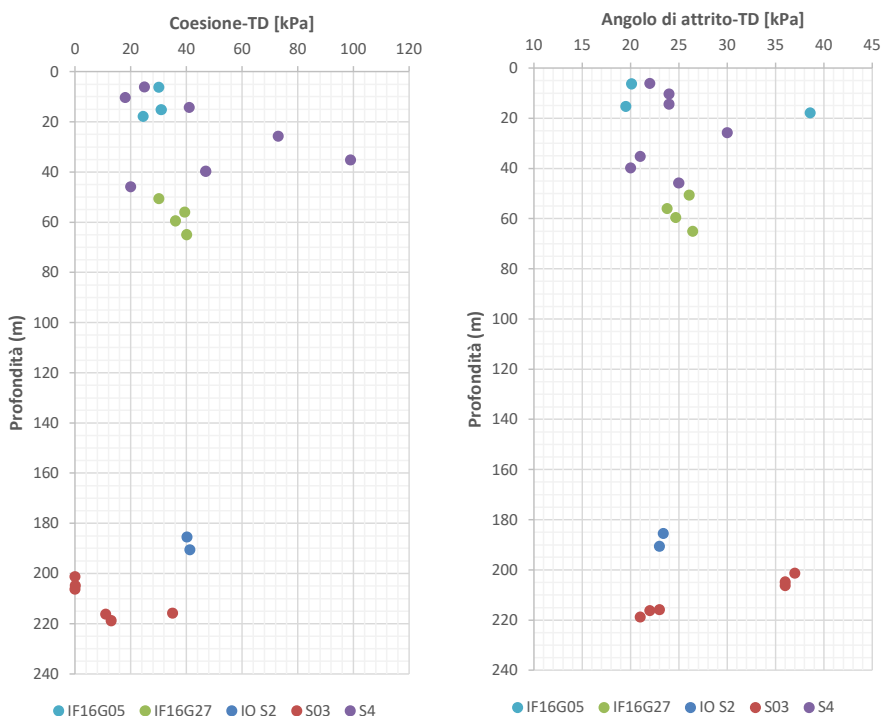


Figura 10-38 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio di TD (BVNb).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>63 di 184</b>

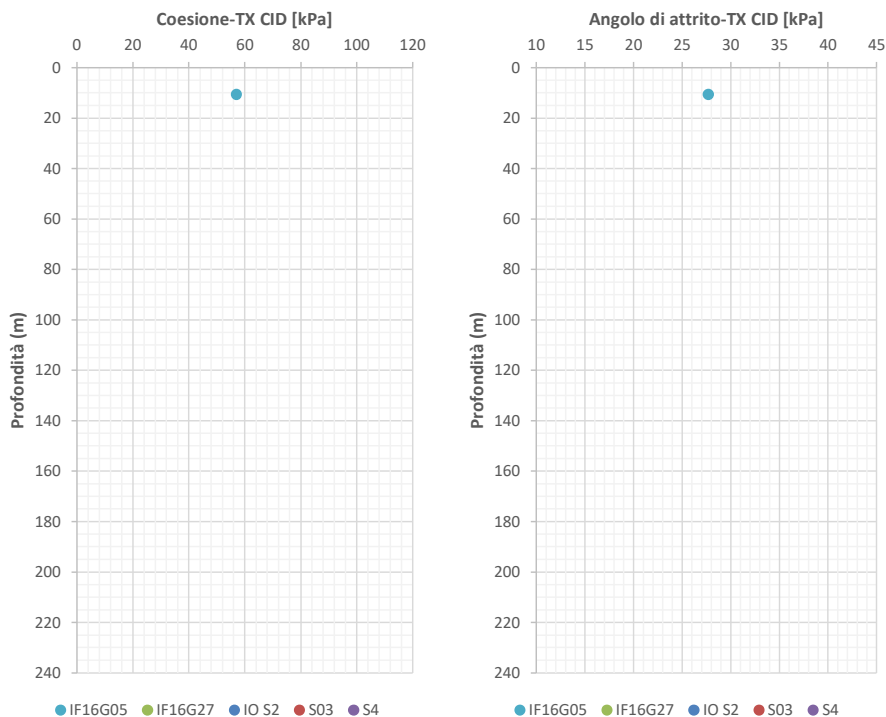


Figura 10-39 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio di TX CID (BVNb).

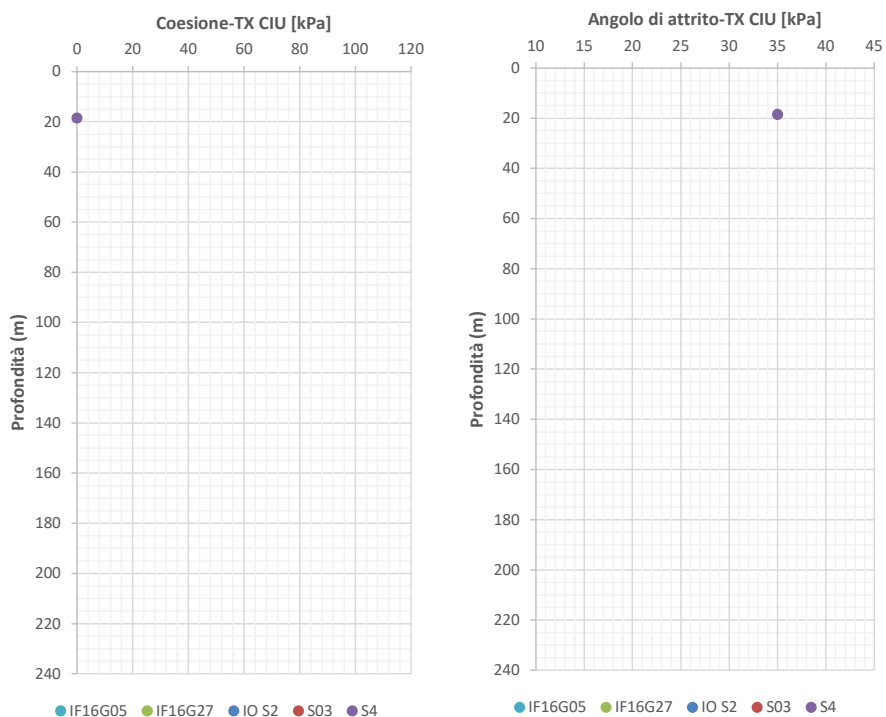


Figura 10-40 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio di TC CIU (BVNb).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV   WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>64 di 184</b>

Per la determinazione del range di variazione dei parametri di resistenza di seguito descritto si è ritenuto opportuno escludere i risultati ottenuti da prove di laboratori eseguite su campioni rimaneggiati o disturbati.

La coesione efficace aumenta con la profondità da un valore di 25 kPa fino ad un massimo di 40 kPa a 65 m e a 190 m di profondità.

I valori di angolo d'attrito sono stati ricavati da prove di taglio diretto e prove triassiali CID. L'angolo d'attrito non mostra variazioni significative con la profondità ma assume valori tra 20°±39°, con valori concentrati nel range 24°±28°.

Per la formazione in esame non essendo disponibili prove di laboratorio per determinare la coesione non drenata, per caratterizzare il materiale si è fatto riferimento alle prove di laboratorio TXCIU e TXUU realizzate nella formazione BVNb lungo la galleria Orsara, nonché dalle prove ELL commentate nel seguito (Rif. [8], Rif. [12]).

Considerato che le prove di laboratorio sono state realizzate su campioni prelevati a profondità inferiori a quelle interessate dallo scavo della galleria e che i risultati ottenuti risultano essere nettamente inferiori a quanto ricavato da prove in foro per la galleria Hirpinia, i risultati delle prove triassiali disponibili sono stati analizzati interpolando i valori di coesione non drenata in funzione della pressione di cella (o pressione di confinamento) applicata nell'esecuzione della prova. La pressione di confinamento può essere ricondotta allo sforzo geostatico cui è sottoposto il materiale in sito, e dunque, in questo modo, è possibile correlare la coesione non drenata con la profondità.

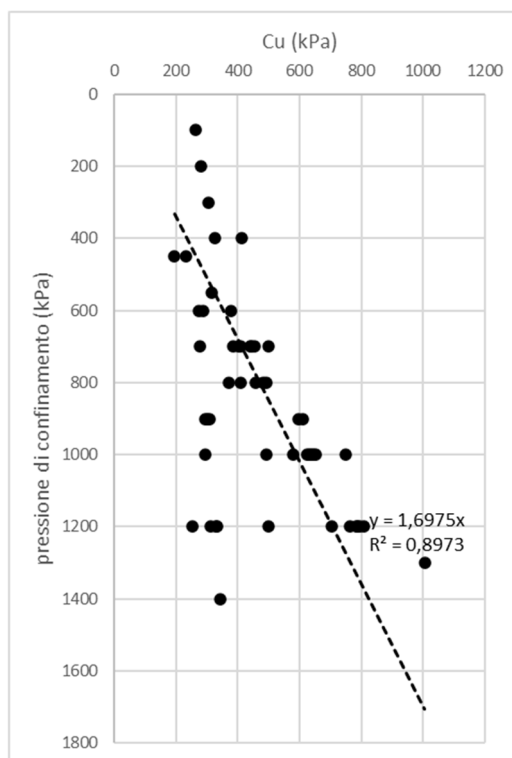


Figura 10-41 – Correlazione della coesione non drenata con la pressione di confinamento da prove TXCIU e TXUU (BVNb).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>		COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>65 di 184</b>

Copertura	Livello falda	$\gamma$	m	q	$p_c'$	Cu/Fs
[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]	[kPa]	[kPa]
20	15	22	1,6975	0	290	<b>300</b>
50	45	22			650	<b>350</b>
100	90	22			1300	<b>400</b>
150	140	22			1900	<b>700</b>
180	170	22			2260	<b>850</b>
200	190	22			2500	<b>1000</b>

I valori di Cu ottenuti per interpolazione lineare sono stati divisi cautelativamente per un coefficiente di sicurezza pari a 1.5, tenuto conto del grado di dispersione R<sup>2</sup> dei dati a disposizione e dei risultati forniti da prove dilatometriche.

Ulteriori indicazioni relativi alla Cu sono state ottenute da prove di compressione ad espansione libera ELL.

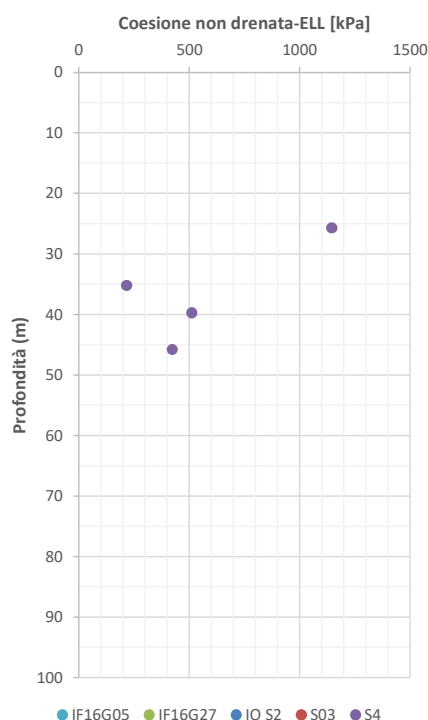


Figura 10-42 – Coesione non drenata da prove di compressione ad espansione libera ELL (BVNb).

### 10.2.5 Proprietà meccaniche di deformabilità

Per determinare le proprietà di deformabilità della formazione si è fatto riferimento ai risultati ottenuti da prove dilatometriche eseguite nei fori di sondaggio. A basse profondità sono stati considerati anche i risultati ottenuti tramite correlazioni empiriche da prove SPT.

Inoltre, in Figura 10-45 sono riportati i risultati ricavati dalle prove di velocità ultrasonica.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	

I valori di modulo di deformabilità  $E'$  dedotti da prove SPT sono stati ricavati a partire dal modulo iniziale  $E_0$  assumendo un rapporto  $E/E_0=0.2$ , in funzione del livello di deformazione atteso a seguito dello scavo della galleria e sulla base dei risultati ottenuti da prove dilatometriche.

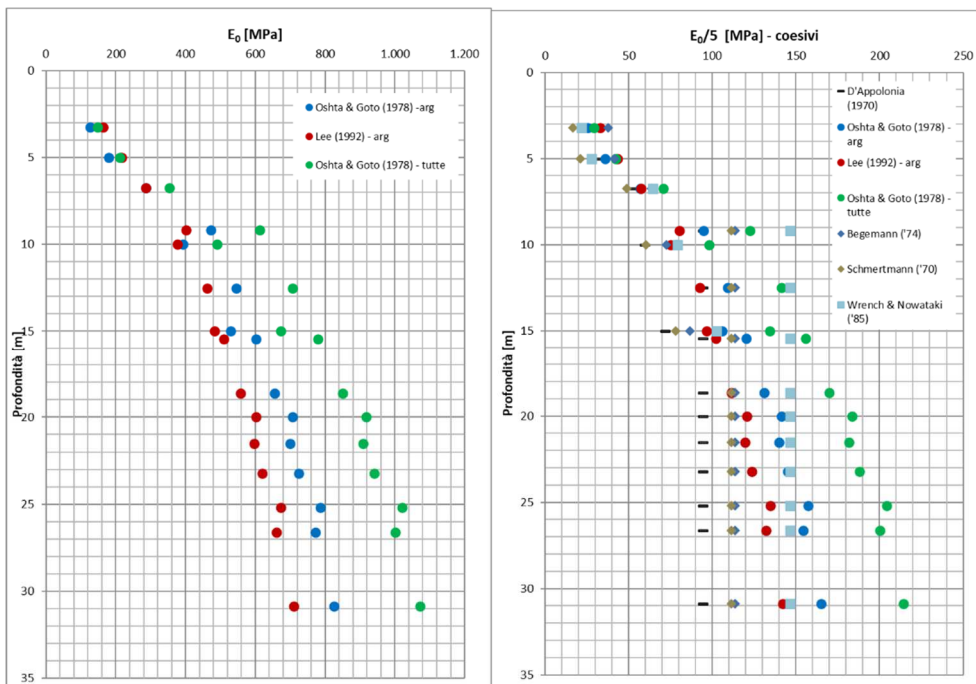


Figura 10-43 - Modulo elastico e modulo elastico operativo da prove SPT (BVNb).

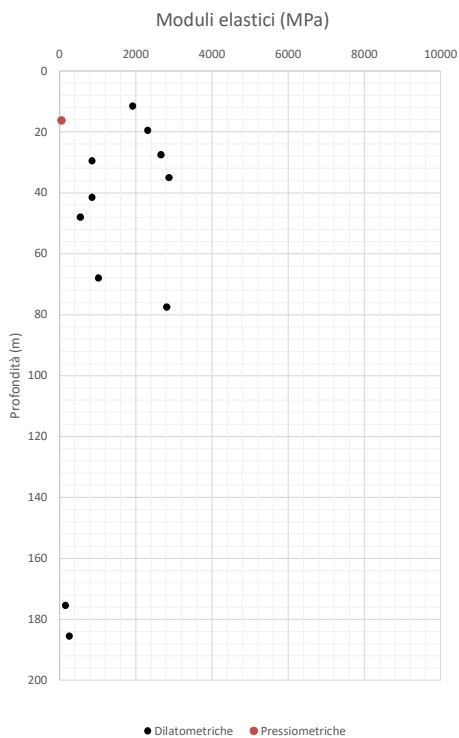
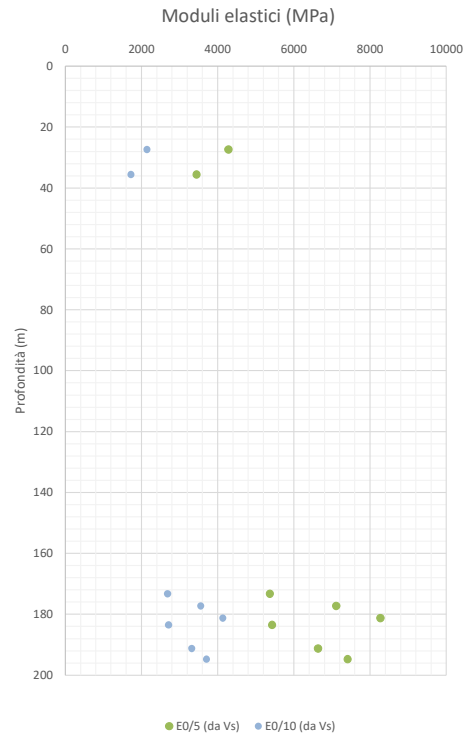


Figura 10-44 - Modulo elastico da prove dilatometriche e pressiometriche (BVNb).

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>				
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>				
<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>67 di 184</b>



**Figura 10-45 - Modulo elastico da prove di velocità ultrasonica (BVNb).**

Le prove analizzate mostrano una grande variabilità di risultati, senza definire uno specifico andamento con la profondità. Ai fini della caratterizzazione geotecnica del materiale si è dunque deciso di considerare un range di valori intermedio, compreso tra 500MPa e 1000 MPa per profondità comprese tra 20m÷100m e 1000 MPa ÷ 3000 MPa per profondità maggiori di 100 m.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>68 di 184</b>

## 10.2.6 Stato di sforzo

Lo stato di sforzo in situ è stato valutato a partire dai risultati di prove dilatometriche eseguite nell'ambito delle Campagne indagini 2017-2018-2021.

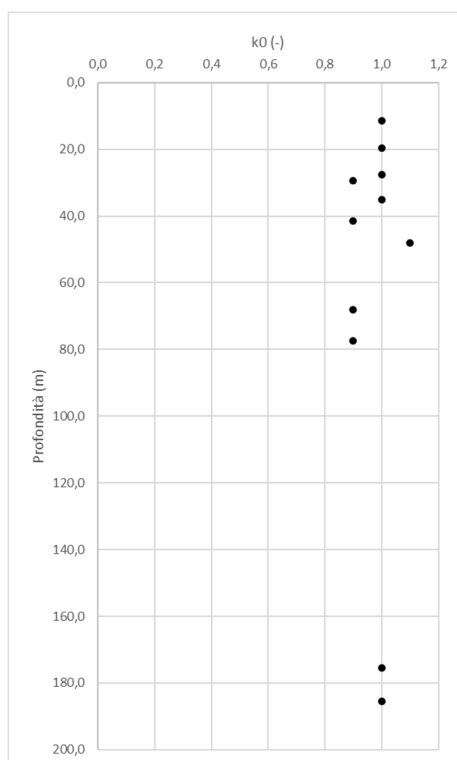


Figura 10-46 – Coefficiente di spinta a riposo da prove dilatometriche - BVNb.

## 10.2.7 Rigonfiamento

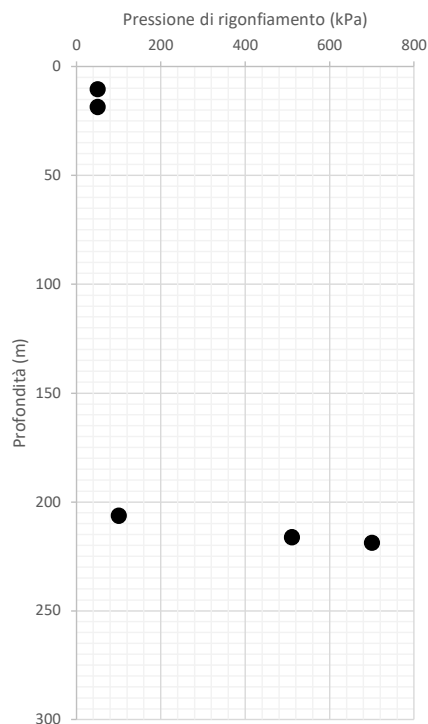
Sono state eseguite 5 prove di rigonfiamento impedito su campioni nell'Unità BVNb I valori di pressione  $\sigma_R$  tali da impedire il rigonfiamento in cella edometrica sono riportati di seguito:

ID sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\sigma_R$
[-]	[-]	[m]	[kPa]
S4	CI1	10,30	50
S4	CI4	18,50	50
S3	CIN4	216,20	510
S3	CR10	206,25	100
S3	CR14	218,80	700

Tabella 10-8 – Pressioni di rigonfiamento da prove di rigonfiamento impedito – BVNb.



<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>69 di 184</b>



**Figura 10-47 - pressione di rigonfiamento (BVNb).**

I valori di pressione di rigonfiamento sono fortemente influenzati dal disturbo del campione, dalla presenza di minerali rigonfianti e dal rilascio tensionale del materiale in seguito al campionamento dalle condizioni di situ. Questi fattori determinano la forte variabilità nei risultati ottenuti.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>70 di 184</b>

### 10.2.8 Conducibilità idraulica

Il grafico seguente illustra i valori di conducibilità idraulica misurati con prove Lefranc e Lugeon per la formazione BVNb. Il suo valore, per profondità superiori a 80 m, si attesta intorno a un valore medio  $4.8 \cdot 10^{-8}$  m/s.

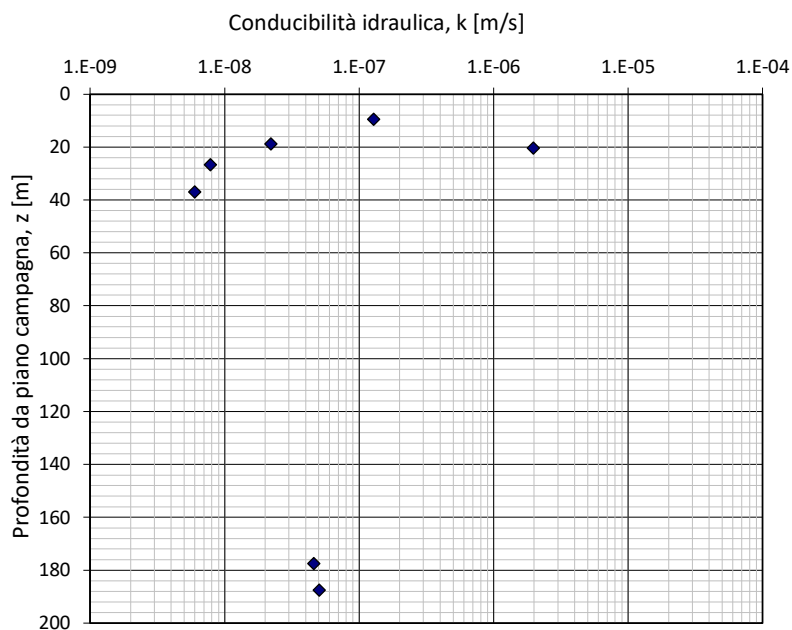


Figura 10-48 - Conducibilità idraulica - BVNb.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 71 di 184

### 10.2.9 Riepilogo parametri BVNb

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e prove descritte nei paragrafi precedenti, ha condotto alla definizione dei seguenti intervalli di valori rappresentativi dei principali parametri geotecnici per l'Unità BVNb:

BVNb/BVNa			
Parametri	u.m	Copertura (m) p.c.-20÷180	
		20÷100	100÷180
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	20÷23	20÷23
c'	kPa	25÷40	40
C <sub>u</sub>	kPa	300÷400(*)	400÷1100(*)
$\phi'$	°	20÷25	25÷28
E'	MPa	500÷1000	1000÷3000

(\*) lineare con profondità

**Tabella 10-9 – BVNb - Riepilogo parametri geotecnici**

Il tracciato in progetto intercetta per un tratto di 120m le Arenarie e Conglomerati di Castello Schiavo (BVNa), con coperture variabili tra 180 m e 200 m. Si tratta di arenarie quarzoso-feldspatiche in alternanza con conglomerati in matrice sabbiosa e calcareo-sabbiosa.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 72 di 184

## 10.3 MARNE ARGILLOSE DEL TOPPO CAPUANA

### 10.3.1 Note introduttive

La formazione delle Marne Argillose del Toppo Capuana è caratterizzata da depositi marini di bacino costituiti da argille limose, argille marnose e marne con locali passaggi di sabbie e sabbie limose, con a luoghi intercalazioni di arenarie, siltiti e calcilutiti. Lo scavo della galleria Hirpinia interessa la formazione per un tratto di circa 600-700 m, con coperture variabili tra 110-200 m.

#### CASSETTA 17 (80.0 – 85.0 m)



Figura 10-49 – Carote relative alla formazione TPC, sondaggio IF16G27.

#### CASSETTA 1 (160.0 – 165.0 m)



Figura 10-50 - Carote relative alla formazione TPC, sondaggio S6.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 73 di 184

### 10.3.2 Sondaggi di riferimento

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

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

Caratteristiche sondaggio		Prove in foro		Prove lab rocce					Prove lab terreni					GSI	
ID sond.	Lungh. (m)	Dilatam.	Pressiom.	UCS	PLT	TX	Trazione	Vel ultras.	TXUU	TXCIU	TxCID	TD	ELL		Rigonf
IF16G27	90	3		2	1	5		4				4			
S5	140	3		4	11			4							
S6	210	3		2	10			2							

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>74 di 184</b>

## Caratterizzazione geomeccanica

### Proprietà fisiche

È stata condotta un'analisi dei dati disponibili relativamente alla determinazione delle proprietà fisiche della formazione TPC.

Il peso per unità di volume risulta essere variabile tra  $23 \div 26 \text{ KN/m}^3$ .

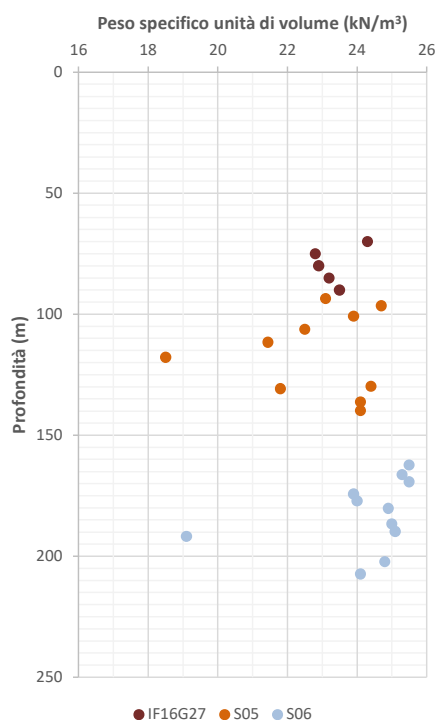


Figura 10-51 – Peso specifico per unità di volume (TPC).

### Proprietà meccaniche

L'indice di qualità GSI per la formazione TPC è stato determinato in fase di PE per la galleria Orsara, sulla base dei dati raccolti, scaturiti dai rilievi strutturali, dalle colonne stratigrafiche ricavate dai sondaggi, come illustrato nell'elaborato Rif. [12]. L'indice GSI, dunque, risulta compreso tra 40-55 per la formazione in esame. Considerati i pochi dati disponibili e la presenza di carote prevalentemente non alterate per la verticale d'indagine analizzata, si è deciso di considerare un indice GSI ridotto, compreso tra 35-50, per la caratterizzazione del materiale.

Adottando un mezzo continuo equivalente per l'ammasso roccioso, la determinazione dei parametri di resistenza è stata eseguita a partire dalle caratteristiche della matrice rocciosa intatta adottando il criterio di resistenza di Hoek & Brown, illustrato al Paragrafo 9.59.5. Noto il GSI e la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta, è necessario determinare la costante  $m_i$  della roccia intatta. È stato preso il valore da letteratura per una siltite  $m_i=7$ .

La resistenza a compressione è stata ricavata da prove di compressione monoassiale e da Point Load Test e presenta valori compresi tra 10 e 25 MPa. Dai dati disponibili è possibile, quindi, definire in maniera cautelativa un valore medio di resistenza a compressione di 14 MPa.

Il modulo elastico per la roccia intatta è stato ricavato da prove triassiali e da prove ultrasoniche a partire dai valori di velocità delle onde di taglio Vs. Il modulo elastico per la roccia intatta risulta variabile tra  $5 \div 20 \text{ GPa}$ . Considerati

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>75 di 184</b>

i dati disponibili, è stato scelto un valore di modulo elastico cautelativo, corrispondente al valore minimo del range di variabilità e pari a 5 GPa.

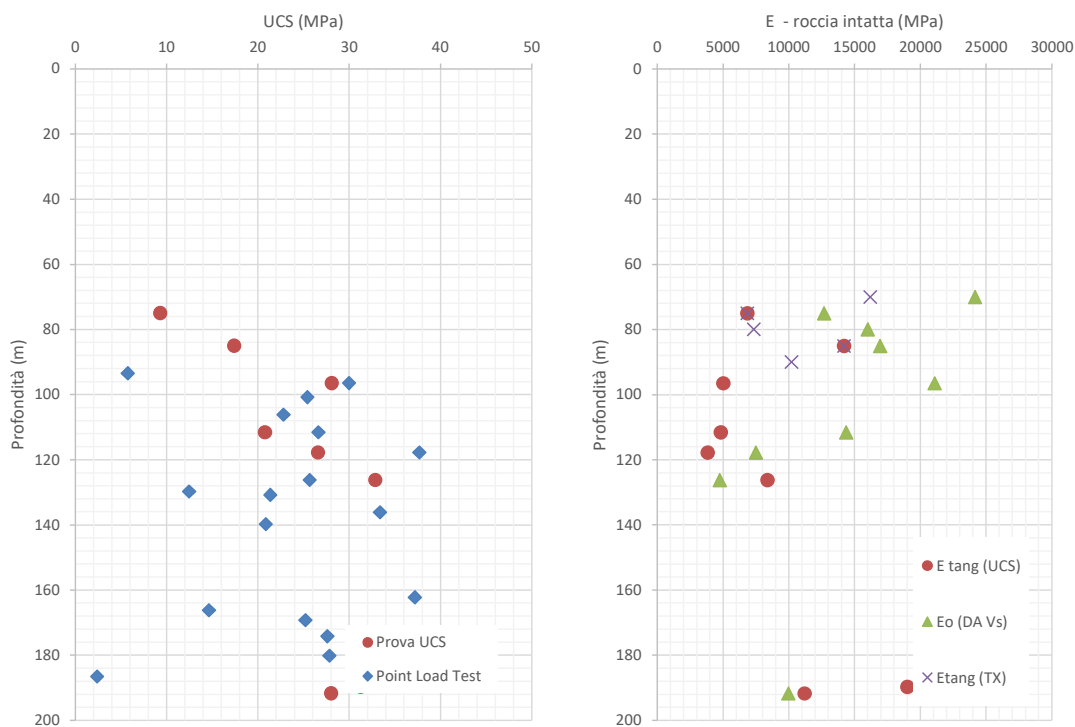
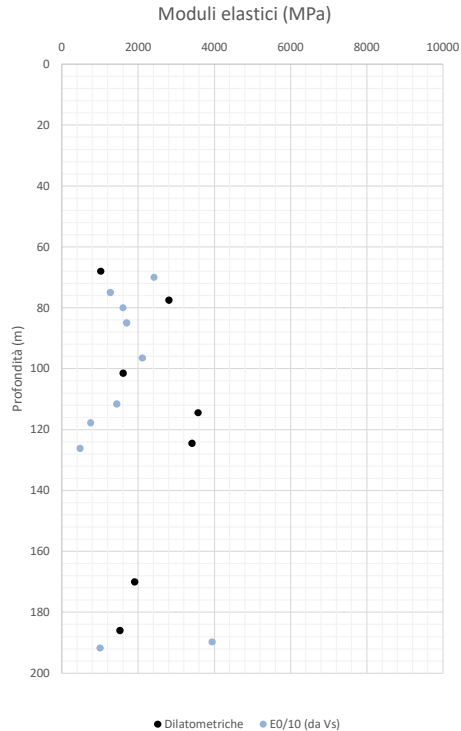


Figura 10-52 – Resistenza a compressione e modulo elastico per la roccia intatta (TPC).

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

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sottterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>76 di 184</b>



**Figura 10-53 – Modulo elastico da prove dilatometriche e modulo elastico operativo (TPC).**

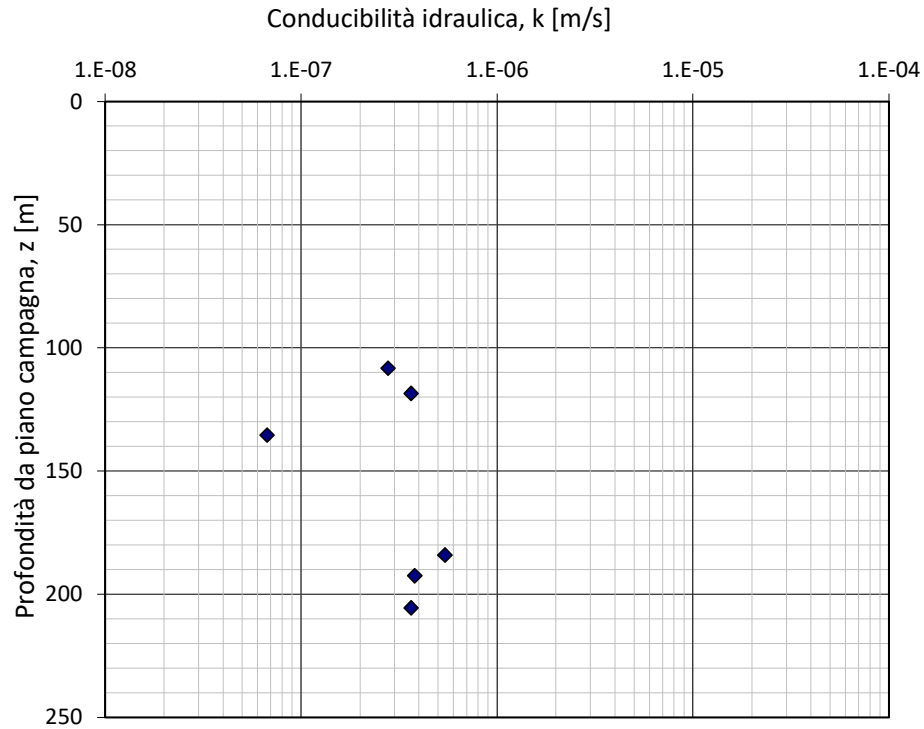
Il modulo elastico dell'ammasso roccioso caratteristico per la litologia in esame è riportato nel Paragrafo 10.3.3 ed è stato valutato in base al GSI dell'ammasso. I valori ottenuti sono in accordo coi valori di modulo elastico operativo da prove ultrasoniche e i risultati da prove dilatometriche.

### **Conducibilità idraulica**

Il grafico seguente illustra i valori di conducibilità idraulica misurati con prove Lefranc e Lugeon per la formazione TPC. Il suo valore si attesta intorno a  $3 \cdot 10^{-7}$  m/s.



<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>77 di 184</b>



**Figura 10-54 – Conducibilità idraulica - TPC.**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 78 di 184

### 10.3.3 Riepilogo parametri TPC

La caratterizzazione geomeccanica condotta sulla base dei dati disponibili ha condotto alla definizione dei seguenti intervalli di valori rappresentativi dei principali parametri geotecnici per l'Unità TPC:

TPC					
Parametro		u.m	Coperture [m]		
			110-200		
γ		kN/m <sup>3</sup>	23-26		
UCS		MPa	14		
mi		-	7		
D		-	0		
Ei		MPa	5000		
<b>GSI (35-50)</b>	35	σ <sub>cm</sub>	MPa	1.45	
		c'	kPa	240-340	
		φ'	°	27-31	
		E <sub>rm</sub>	MPa	570	
	40	σ <sub>cm</sub>	MPa	1,640	
		c'	kPa	270-375	
		φ'	°	29-33	
		E <sub>rm</sub>	MPa	800	

Tabella 10-10 – TPC - Riepilogo parametri geotecnici.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>79 di 184</b>

## 10.4 FLYSCH ROSSO

### 10.4.1 Note introduttive

La formazione del Flysch Rosso è costituita da argille, argille marnose, scagliose o sottilmente laminate, con intercalazioni di calcari marnosi, calcilutiti e calcareniti.

Lo scavo della galleria Hirpinia intercetta l'Unità FYR per un tratto di circa 4600 m con coperture comprese tra 60-190 m.

Il materiale è stato caratterizzato a partire dai risultati di prove di laboratorio e prove in foro.

CASSETTA 10 (145.0 – 150.0 m)



Figura 10-55 – Carote prelevate a quota cavo relative alla formazione FYR, sondaggio S9.



Figura 10-56 – Carote prelevate a quota cavo relative alla formazione FYR, sondaggio S12.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI				<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA									
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo				COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 80 di 184

#### 10.4.2 Sondaggi di riferimento

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

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

Caratteristiche sondaggio		Prove in foro		Prove lab rocce					Prove lab terreni						
ID sond.	Lungh. (m)	Dilatam.	Pressiom.	UCS	PLT	TX	Trazione	Vel ultras.	TXUU	TXCIU	TxCID	TD/TA	ELL	Rigonf	Creep
IF16G28	60							3	1	4		1			
IF16G08	60	3		1	1			1				1			
IF16G09	60	2								3		3		1	
IO S6	120	2										6			
IF16G10	183,4	4		2				3		1		3	3	2	
IF16G11	130	5								3		3		2	
S9	180	3										3	3	2	2
S10	170	3		2		1						1			
S11	195								1			10	4	2	1
S12	185	3		1								5	7	2	2
S13	195	3		1		1		1	1			4	2	2	2
IF16F21												3	3		

Tabella 10-11 – Sondaggi di riferimento per la caratterizzazione e loro caratteristiche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sottterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>81 di 184</b>

### 10.4.3 Proprietà fisiche

È stata condotta un'analisi dei dati disponibili relativamente alla determinazione delle proprietà fisiche della formazione.

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggi mostrano la prevalenza dei termini limosi e di quelli argillosi, con una modesta componente sabbiosa. Il terreno è classificabile come limo con argilla debolmente sabbioso.

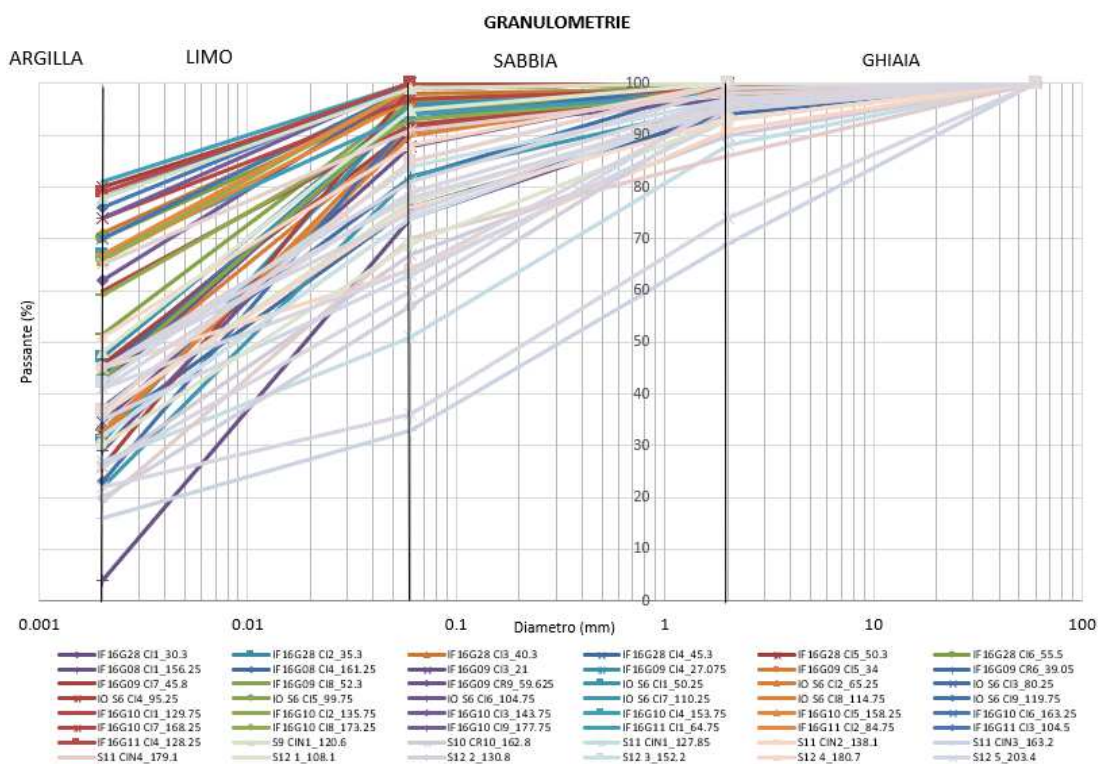


Figura 10-57 – Curva granulometrica (FYR).

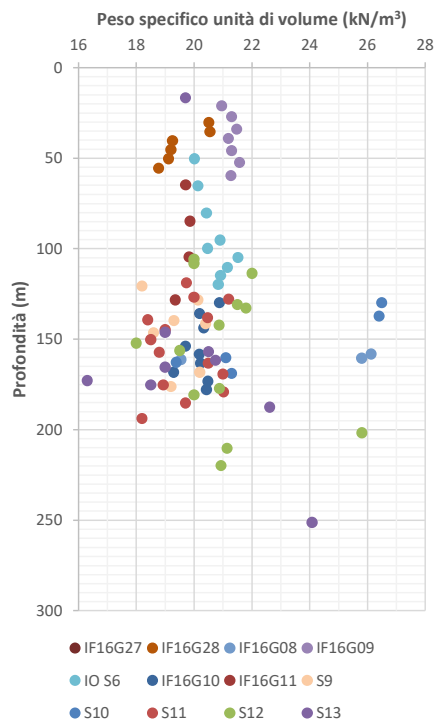
Il peso per unità di volume è variabile tra 19 e 26 KNm<sup>3</sup>, con una maggiore densità di valori nel ricadente nell'intervallo 19 ÷ 21 KNm<sup>3</sup>.

Il contenuto d'acqua naturale  $w_N$  è variabile tra 12÷30%, intervallo che si mantiene pressoché costante con la profondità nel volume indagato.

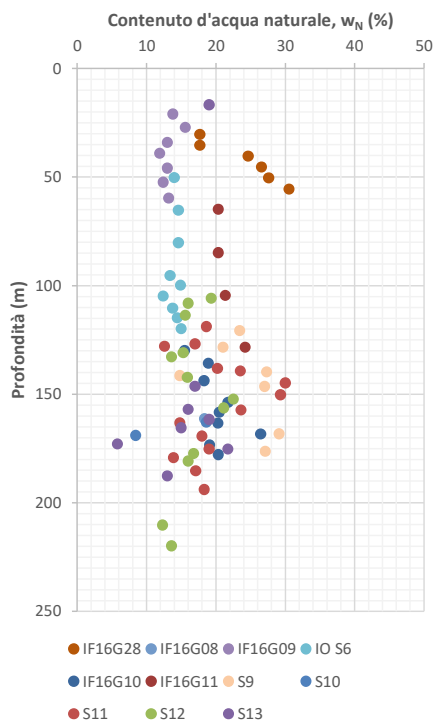
Gli intervalli di variabilità dei limiti di Atterberg sono i seguenti:

- Limite liquido  $w_L$ : 43÷90%
- Limite plastico  $w_P$ : 20÷45%
- Indice di plasticità  $I_p$ : 20÷60%
- Indice di consistenza  $I_c$ : 1÷1.3

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO <b>IF3A                      02                      E ZZ RG                      GN0000 001                      D                      82 di 184</b>



**Figura 10-58 – Peso specifico per unità di volume (FYR).**



**Figura 10-59 – Contenuto d'acqua naturale (FYR).**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETRI-FER M-INGEGNERIA</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>		COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>83 di 184</b>

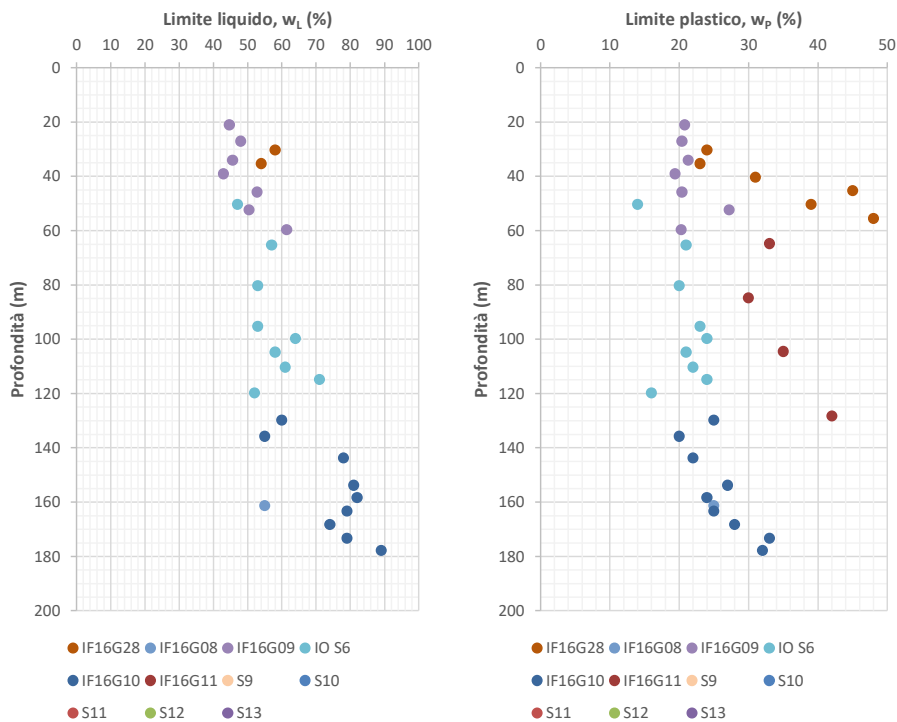


Figura 10-60 – Limite liquido e limite plastico (FYR).

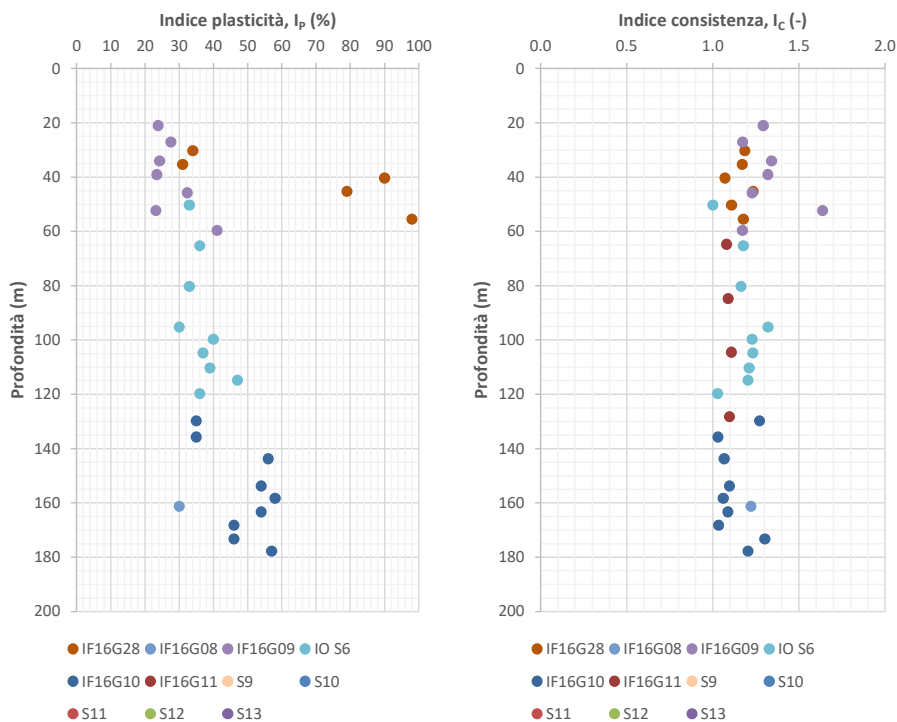
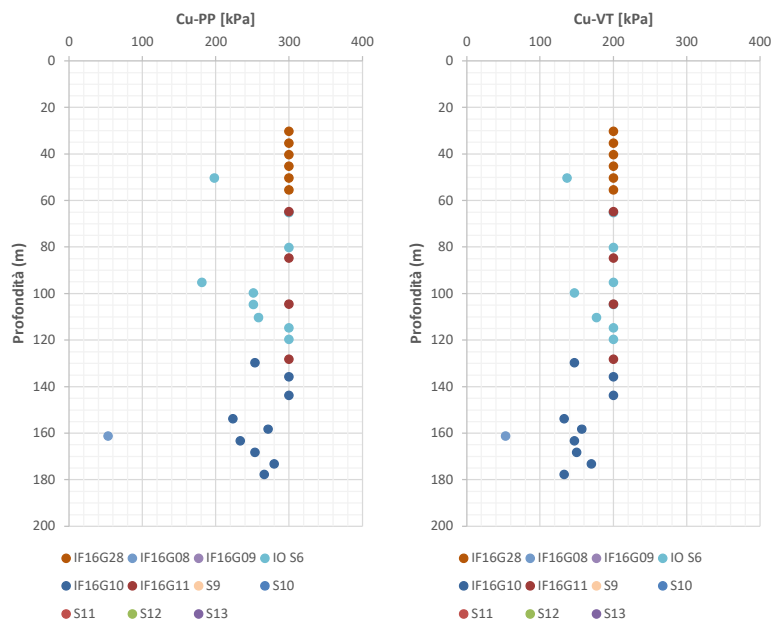


Figura 10-61 – Indice plastico ed indice di consistenza (FYR).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>84 di 184</b>

## 10.4.4 Proprietà meccaniche di resistenza

### Prove in foro



**Figura 10-62 - Coesione non drenata da Pocket Penetrometer e Vane Test (FYR).**

I valori di resistenza non drenata da Pocket Penetrometer si ricavano dal valore di resistenza alla punta, come illustrato nel Capitolo 8, paragrafo 8.3.3. I valori di coesione non drenata  $C_u=300\text{kPa}$  vanno intesi come valori minimi, ottenuti da una resistenza alla punta maggiore di 600 kPa. Dai risultati disponibili risulta che la coesione non drenata assume prevalentemente valori superiori ai 300 kPa per le profondità interessate dallo scavo della galleria.

Di seguito si riportano i valori di coesione non drenata da prove SPT, ottenuti applicando la correlazione di Stroud (1974), e da prove dilatometriche.

I valori di coesione non drenata da prove dilatometriche variano tra 450 kPa-850 kPa a profondità comprese tra 100m-180m.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>85 di 184</b>

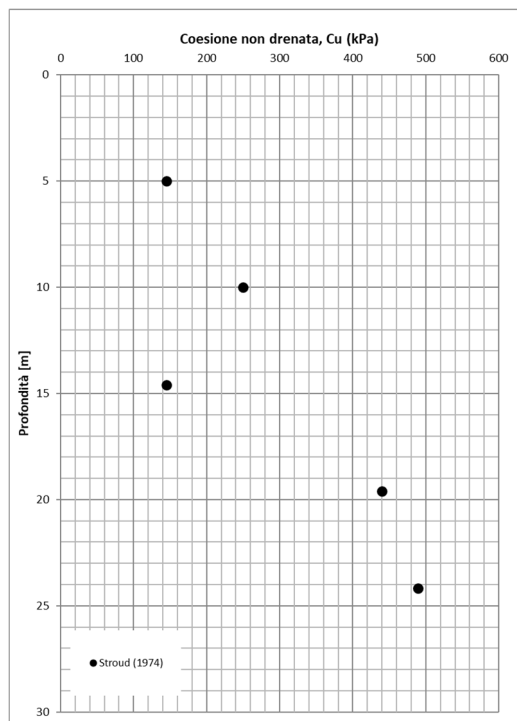


Figura 10-63 - Coesione non drenata da SPT (FYR).

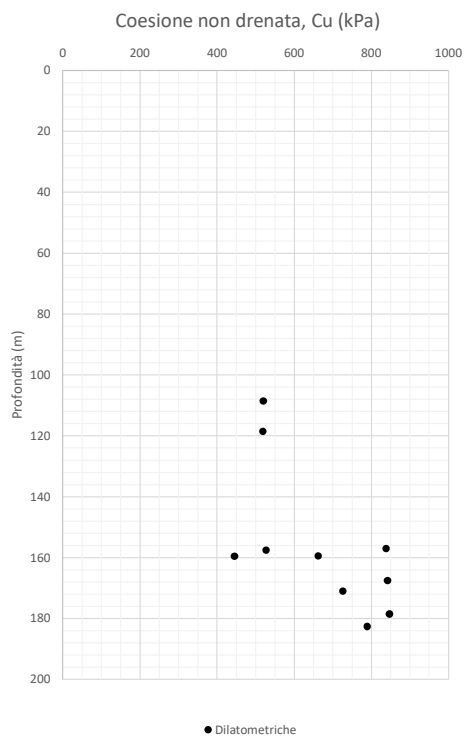


Figura 10-64 - Coesione non drenata da prove dilatometriche (FYR).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA          II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 86 di 184

### Prove di laboratorio

Sono stati analizzati i risultati da prove di laboratorio su campioni indisturbati per definire le proprietà meccaniche della formazione. Sono state eseguite prove di taglio diretto e compressione triassiale consolidata non drenata (CIU) per definire i parametri di coesione efficace ( $c'$ ) e angolo d'attrito ( $\varphi'$ ).

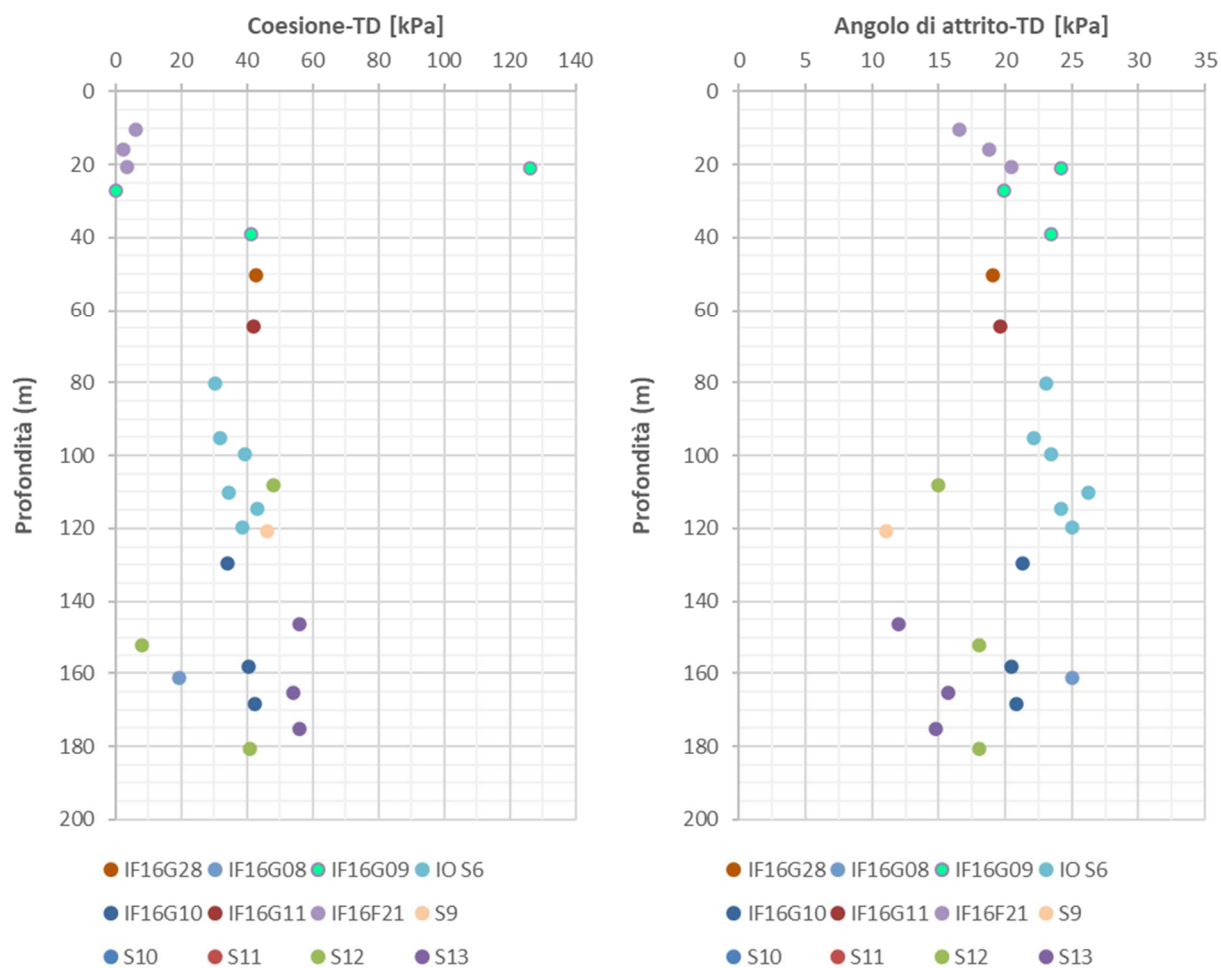


Figura 10-65 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TD (FYR).

Nei grafici delle prove di taglio diretto sono inclusi anche i risultati dei 3 provini estratti a bassa copertura dal sondaggio IF16F21, di cui 1 classificato come rimaneggiato e 1 come semi-disturbato: i risultati sono stati utilizzati in fase di PD per la sola caratterizzazione del FYR all'imbocco della finestra F4, la cui realizzazione non risulta più prevista nel progetto di PE ed il relativo profilo geologico non ha subito quindi l'approfondimento eseguito sulla galleria di linea.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA          II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 87 di 184

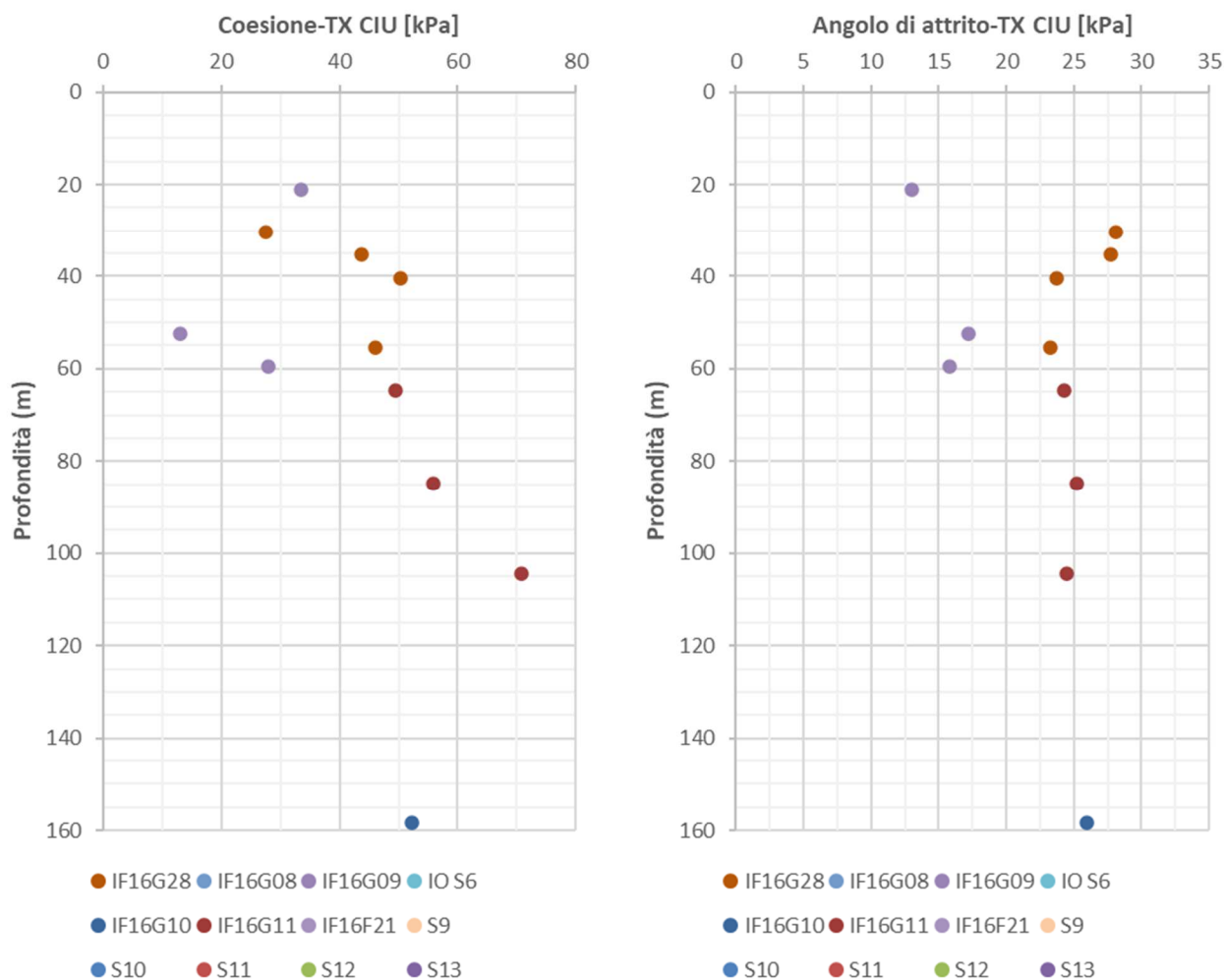


Figura 10-66 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TX-CIU (FYR).

Le prove effettuate permettono di definire l'intervallo dei parametri di resistenza operativi ( $c' = 35-45$  kPa,  $\varphi' = 24-24.5^\circ$ ) da usare in fase di progettazione.

Come analizzato in dettaglio anche nella nota riportata in allegato 1 "Sulla resistenza al taglio in tensioni efficaci del FLYSH ROSSO – Galleria Hirpinia-Orsara", redatta dal Professor Rampello, Professore di Ingegneria Geotecnica e a capo del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica dell'Università La Sapienza di Roma, i valori di resistenza minimi riscontrati in alcune prove non sono valori rappresentativi in quanto relativi a prove affette da problematiche per lo più legate alla presenza di preesistenti superfici di taglio. In fase di verifica del rivestimento definitivo della galleria Hirpinia, nella relazione di calcolo IF3A02EZZRHGN0100001 viene comunque presentata un'analisi riferita allo scavo a bassa copertura, assumendo cautelativamente come parametri di resistenza dei valori che si attestano sui minimi individuati dalle prove di laboratorio e in particolare sui risultati ottenuti dalle prove triassiali CIU sul sondaggio IF16G09, che raggiunge profondità di 60m dove si colloca la futura galleria.

Solo i risultati delle prove eseguite da GEOSTudi Srl sono commentati con note che danno indicazioni sul tipo di rottura; nel seguito si riportano le osservazioni fornite a corredo dei certificati.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sottterraneo</b>	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO <b>IF3A 02 E ZZ RG GN0000 001 D 88 di 184</b>

SONDAGGIO	TX CIU		Commenti di GEOSTudi Srl
	c' [kPa]	Φ' [°]	
IF16G09 CI3 @21	33.4	13.0	Rottura su probabile preesistente superficie di taglio
IF16G09 CI8 @52.3	13.0	17.2	Rottura su preesistente superficie di taglio
IF16G09 CR9 @59.625	28.0	15.8	Rottura su preesistente superficie di taglio

SONDAGGIO	TD		commenti
	c' [kPa]	Φ' [°]	
IF16G09 CI3 @21	126.2	24.2	Piano di rottura quasi normale all'orientazione delle scaglie
IF16G09 CI4 @27.075	0.0	19.9	Provino ricostituito
IF16G09 CR6 @39.05	41.3	23.4	Provino ricostituito - Orientazione scaglie obliqua rispetto al piano di taglio

SONDAGGIO	TXCID
IF16G09 CI4 _27.075	Solo 2 prove riuscite; per 1 prova rottura su preesistente superficie di taglio
IF16G09 CI7 _45.8	Solo 2 prove riuscite; rottura su preesistente superficie di taglio

I valori della resistenza non drenata sono ricavati da prove triassiali UU e CIU e da prove ad espansione laterale libera. La coesione non drenata varia tra 200 ÷ 800 kPa nel volume indagato.

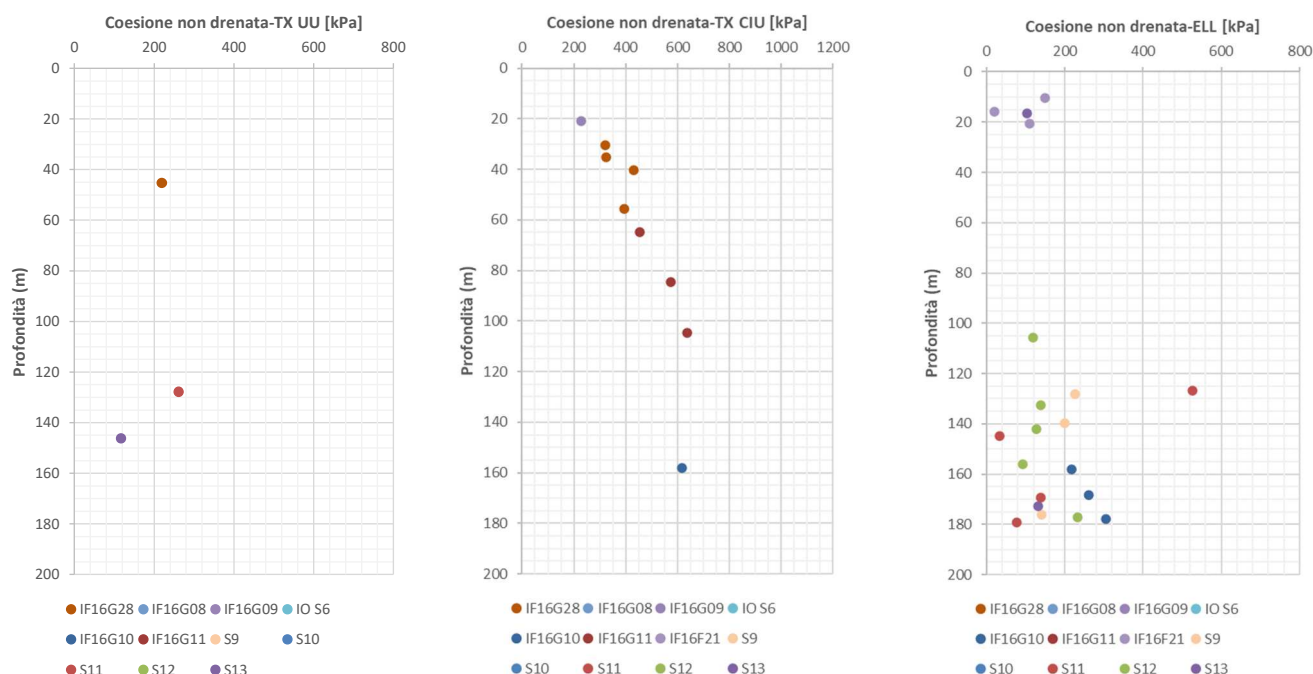


Figura 10-67 - Coesione non drenata da prove di laboratorio (FYR).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>89 di 184</b>

Considerato che le prove di laboratorio sono state realizzate su campioni prelevati a profondità inferiori a quelle interessate dallo scavo della galleria e che i risultati ottenuti risultano essere nettamente inferiori a quanto ricavato da prove in foro, i risultati delle prove triassiali disponibili sono stati analizzati interpolando i valori di coesione non drenata in funzione della pressione di cella (o pressione di confinamento) applicata nell'esecuzione della prova. La pressione di confinamento può essere ricondotta allo sforzo geostatico cui è sottoposto il materiale in sito, e dunque, in questo modo, è possibile correlare la coesione non drenata con la profondità.

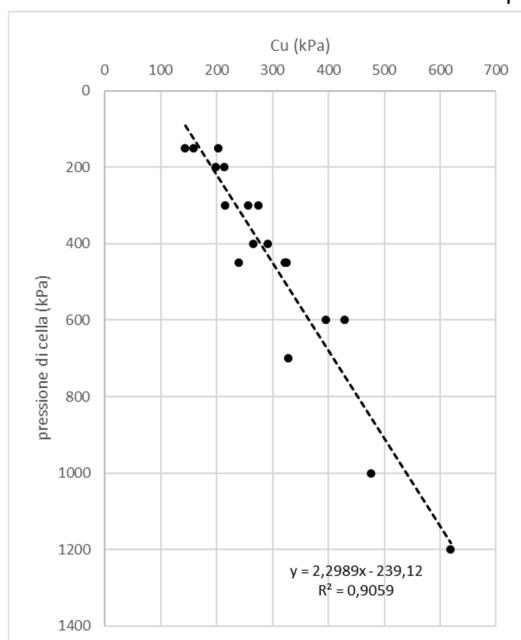


Figura 10-68 – Correlazione della coesione non drenata con la pressione di confinamento da prove TXCIU e TXUU (FYR).

Copertura	Livello falda	$\gamma$	m	q	$p_c'$	Cu/Fs
[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]	[kPa]	[kPa]
60	58	21	2,30	-239,12	680	300
100	95	21			1150	450
140	130	21			1640	600
190	180	21			2190	800
235	225	21			2685	1000

I valori di Cu ottenuti per interpolazione lineare sono stati divisi cautelativamente per un coefficiente di sicurezza pari a 1,3, tenuto conto del grado di dispersione R<sup>2</sup> dei dati a disposizione e dei risultati forniti da prove dilatometriche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>90 di 184</b>

### 10.4.5 Proprietà meccaniche di deformabilità

Per determinare le proprietà di deformabilità della formazione si è fatto riferimento ai risultati ottenuti da prove dilatometriche, indagini geofisiche, prove a velocità ultrasonica e prove di colonna risonante. A basse profondità sono stati considerati anche i risultati ottenuti tramite correlazioni empiriche da prove SPT.

I valori di modulo di deformabilità  $E'$  dedotti da prove SPT sono stati ricavati a partire dal modulo iniziale  $E_0$  assumendo un rapporto  $E/E_0=0.2$ , in funzione del livello di deformazione atteso a seguito dello scavo della galleria.

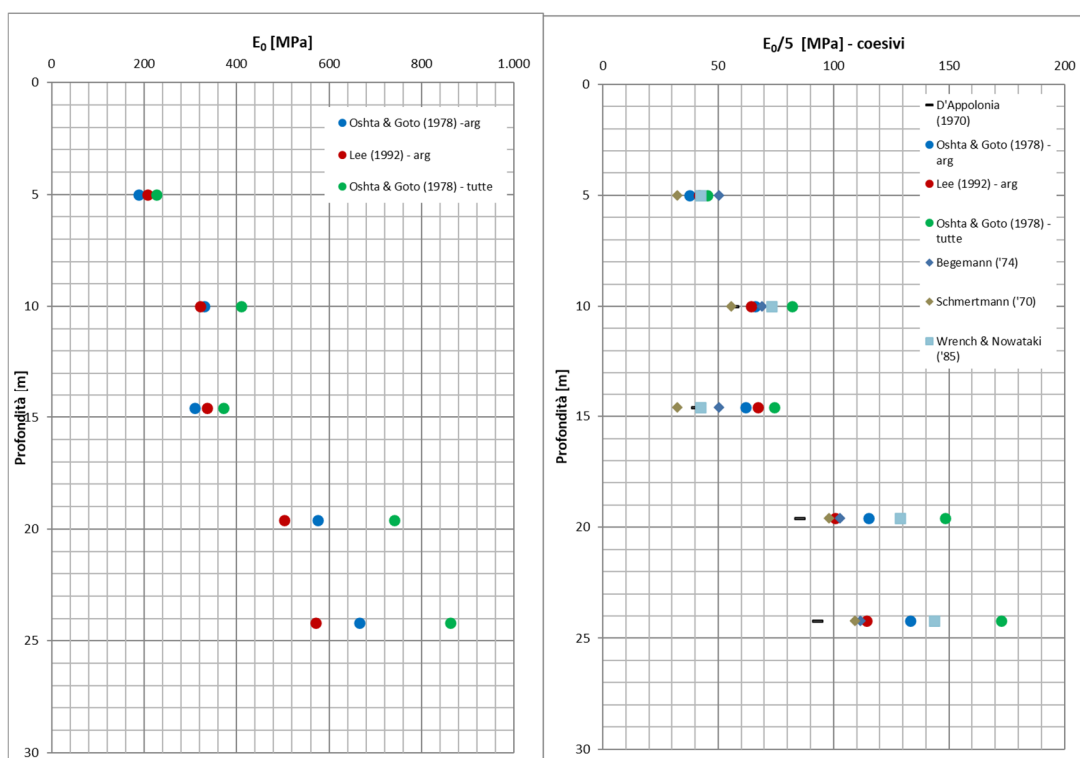


Figura 10-69 - modulo elastico e modulo elastico operativo da prove SPT (FYR).

Di seguito si riportano le curve di decadimento ottenute dalle prove di colonna risonante, dalle quali è possibile ricavare il modulo di rigidezza  $E_0$  a partire dal modulo di taglio iniziale  $G_0$ .

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETRI-FER M-INGEGNERIA</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>		COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>91 di 184</b>

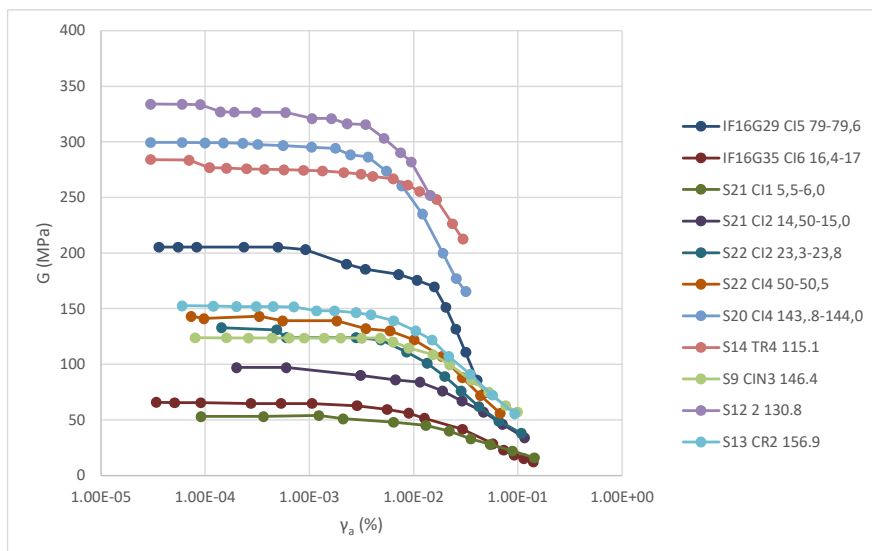


Figura 10-70 – Curve di decadimento da prove di colonna risonante (FYR).

Di seguito si riporta il confronto tra i moduli elastici operativi ottenuti dalle indagini disponibili.

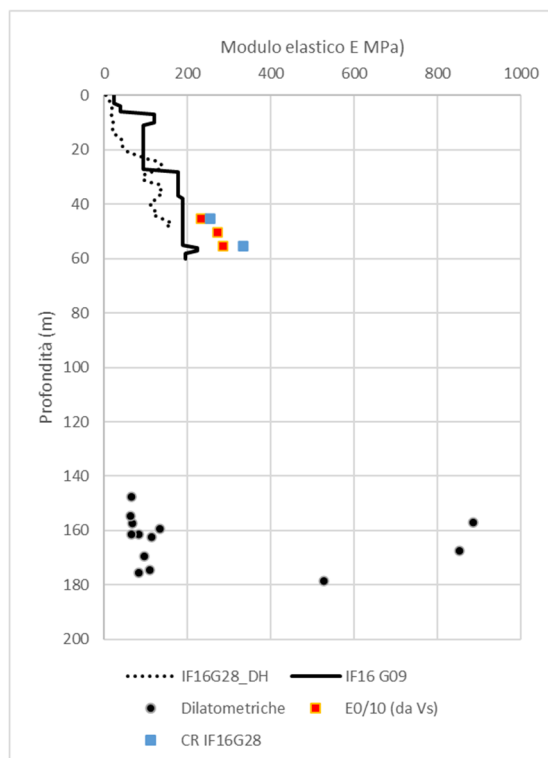


Figura 10-71 - Modulo elastico da prove dilatometriche, indagini geofisiche e prove ultrasoniche (FYR).

I risultati ottenuti da prove dilatometriche mostrano grande variabilità, da un minimo di 70 MPa ad un massimo di 885 MPa, valore che fa riferimento ad uno strato di marna argillosa. Le indagini geofisiche mostrano invece un incremento della rigidezza con la profondità, con valori in accordo coi risultati da prove a velocità sonica e prove di colonna risonante. Tenuto conto di questo andamento, si definisce come intervallo di variazione del modulo elastico 100MPa-500MPa.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>92 di 184</b>

### 10.4.6 Rigonfiamento

Sono state eseguite 13 prove di rigonfiamento impedito su campioni nell'Unità FYR. I valori di pressione  $\sigma_R$  tali da impedire il rigonfiamento in cella edometrica sono riportati di seguito:

ID sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\sigma_R$
[-]	[-]	[m]	[kPa]
<b>IF16G10</b>	CI4	153,75	306,5
<b>IF16G10</b>	CI6	163,25	257,4
<b>IF16G10</b>	CI8	173,25	318,7
<b>IF16G11</b>	CI2	84,75	196,1
<b>IF16G11</b>	CI3	104,50	355,5
<b>S9</b>	CIN2	139,65	400
<b>S9</b>	CIN5	176,20	1000
<b>S11</b>	CIN2	138,20	300
<b>S11</b>	CIN3	163,20	200
<b>S12</b>	1	108,10	200
<b>S12</b>	4	180,70	600
<b>S13</b>	CI1	146,20	200
<b>S13</b>	CI4	175,20	400

Tabella 10-12 – Pressioni di rigonfiamento da prove di rigonfiamento impedito – FYR.

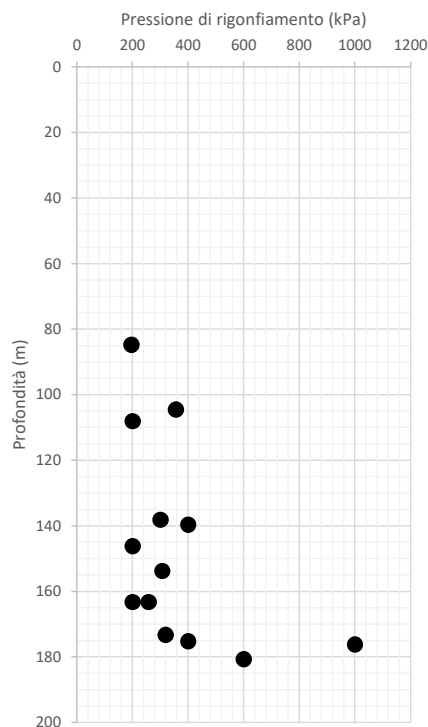


Figura 10-72 – Pressione di rigonfiamento - FYR.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>93 di 184</b>

Dai risultati sperimentali la formazione in esame presenta un comportamento rigonfiante. A massima profondità si evidenziano 2 valori estremamente alti, al di fuori del range evidenziato dalle altre prove di numero non trascurabile e si ritiene siano legati a difficoltà legate all'esecuzione del carotaggio e alla preparazione del provino.

Sono state eseguite anche prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg che confermano il comportamento rigonfiante. Nella tabella seguente si riportano i valori di  $k_{100\ H-A}$ , con un comportamento più rigonfiante nei 2 provini estratti a bassa copertura.

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$k_{100\ H-A}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
IF16G09	CI 5	33.7	9.6
IF16G09	CI 7	45.6	7.5
IF16G11	CI 3	104	4.4
IF16G10	CI 6	163	4.0
IF16G10	CI 8	173	3.3

#### 10.4.7 Creep

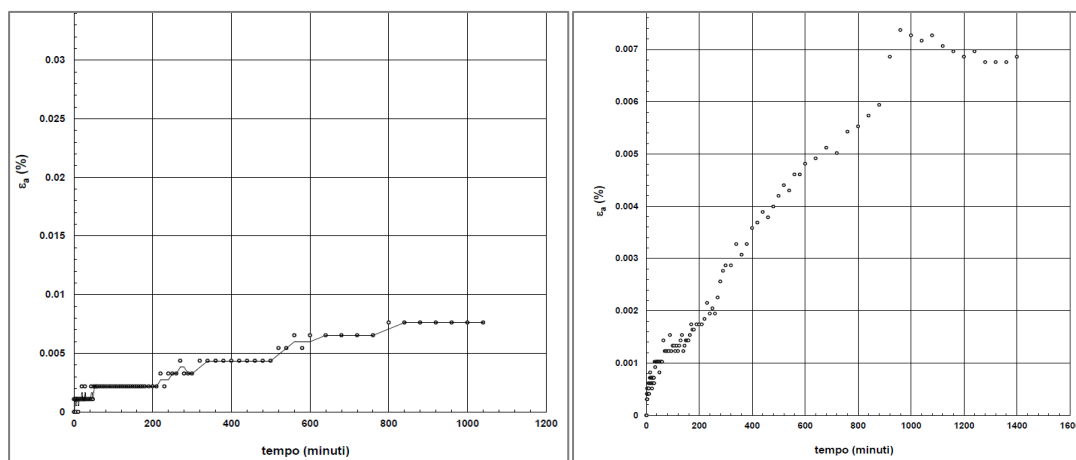
Per la formazione del Flysh rosso FYR sono state eseguite 7 prove di creep in cella triassiale.

Dai risultati di tali prove si evidenzia un andamento delle deformazioni nel tempo associabili a fenomeni di creep secondario caratterizzato da una velocità di deformazione costante nel tempo.

A seguito della fase di creep secondario, tuttavia, non si osserva una fase di creep terziario in cui si ha un rapido aumento della velocità di deformazione nel tempo che porta alla perdita di resistenza del terreno e quindi a rottura o collasso per creep.

Le deformazioni ottenute dalle prove di creep eseguite tendono ad assestarsi a valori variabili tra 0.008% e 0.025%.

Livelli di deformazioni minori sono ottenuti per campioni di argilla sabbiosa o limosa con sabbia o ghiaia, mentre valori di deformazione maggiori risultano per campioni di argilla limosa o argilla con limo.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>				
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>				
<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>94 di 184</b>

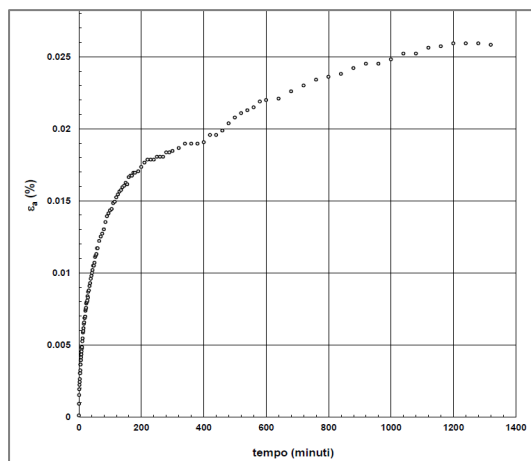


Figura 10-73- Risultati prove di creep in cella trassiale (fase di creep post taglio in condizioni drenate)..

### 10.4.8 Stato di sforzo

Lo stato di sforzo in situ è stato valutato a partire dai risultati di prove dilatometriche eseguite nell'ambito delle Campagne indagini 2017-2018-2021.

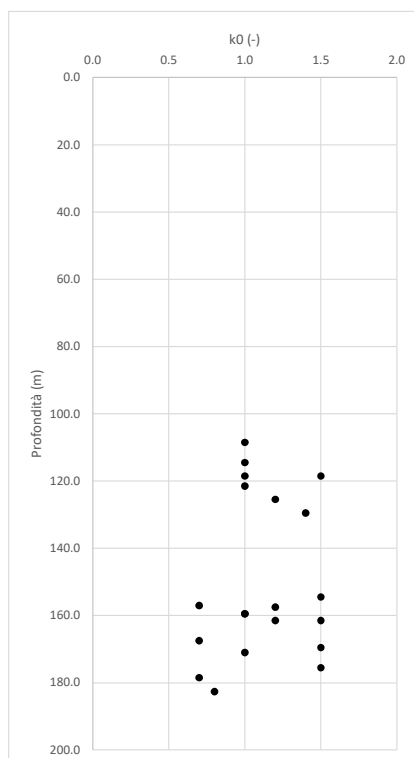


Figura 10-74 – Coefficiente di spinta a riposo da prove dilatometriche - FYR.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>95 di 184</b>

### 10.4.9 Conducibilità idraulica

Il grafico seguente illustra i valori di conducibilità idraulica misurati con prove Lefranc e Lugeon per la formazione FYR. Il suo valore si attesta intorno ad un valore medio di  $3.11 \cdot 10^{-8}$  m/s.

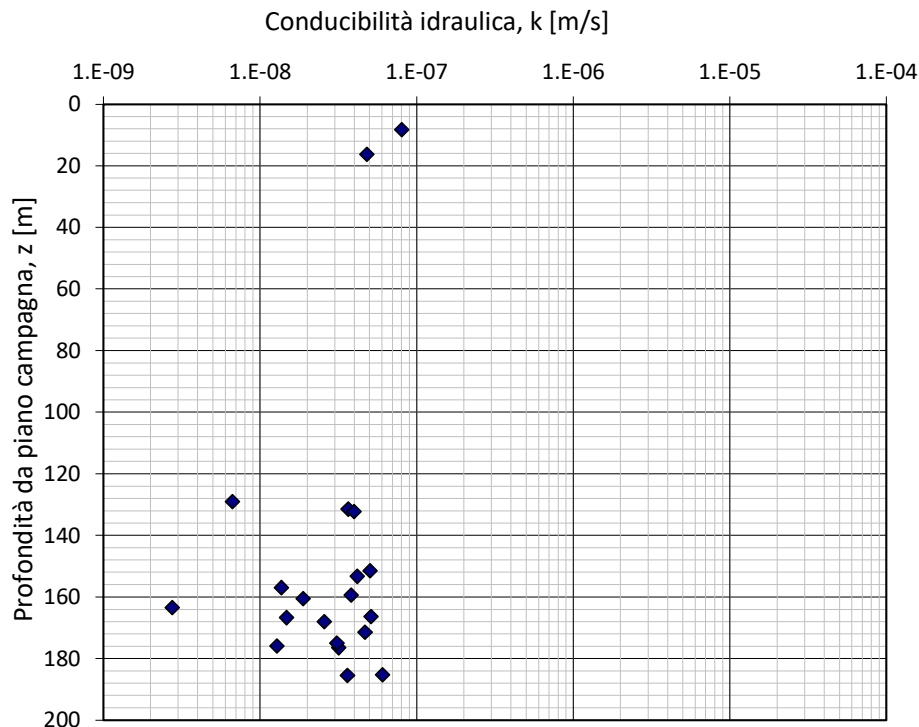


Figura 10-75 – Conducibilità idraulica - FYR.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 96 di 184

#### 10.4.10 Riepilogo parametri FYR

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e prove descritte nei paragrafi precedenti, ha condotto alla definizione dei seguenti intervalli di valori rappresentativi dei principali parametri geotecnici per l'Unità FYR:

FYR		
Parametri	u.m	Copertura (m) p.c. 60 ÷190
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	19÷21
c'	kPa	35÷45
C <sub>u</sub>	kPa	200÷800(*)
$\phi'$	°	24÷24.5
E'	MPa	100÷500(*)

(\*) lineare con profondità

**Tabella 10-13 – FYR - Riepilogo parametri geotecnici.**

Il tracciato in progetto intercetta per un tratto di 178 m il Membro calcareo-marnoso (FYR2), facies litoide del Flysch Rosso, con copertura di 130 m. Si tratta di calciruditi e calcareniti con locali intercalazioni di argille marnose e marne. L'unità FYR2 è stata caratterizzata facendo riferimento agli studi realizzati in fase di Progettazione Esecutiva per la tratta Apice-Hirpinia, riportati nell'elaborato "Relazione di caratterizzazione geotecnica/geomeccanica del Flysch Rosso" Rif. [13].

FYR2		
Parametri	u.m	Copertura (m) p.c. 130
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	22
c'	kPa	23
$\phi'$	°	36
E'	MPa	870

**Tabella 10-14 – FYR2 - Riepilogo parametri geotecnici.**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>97 di 184</b>

## 10.5 ARGILLITI POLICROME DEL CALAGGIO

### 10.5.1 Note introduttive

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

Lo scavo della galleria Hirpinia intercetta l'Unità APC in due punti, per un totale di circa 2050 m: a metà del tracciato, tra le pk 53+723 - 53+804 con coperture comprese tra 65-80 m; in corrispondenza dell'imbocco lato Napoli, con coperture comprese tra 15 m e 60 m.

Il materiale è stato caratterizzato a partire dai risultati di prove di laboratorio e prove in foro.



Cassetta n° 4 - profondità da m 15.00 a m 20.00

Figura 10-76 – Carote prelevate a quota cavo relative alla formazione APC, sondaggio S22.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 98 di 184

### 10.5.2 Sondaggi di riferimento

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

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

Caratteristiche sondaggio		Prove in foro		Prove lab rocce					Prove lab terreni					
ID sond.	Lungh. (m)	Dilatom.	Pressiom.	UCS	PLT	TX	Trazione	Vel ultras.	TXUU	TXCIU	TxCID	TD	ELL	Rigonf
IF16G09	60	2								1		4		1
IF16G29	80	4							2	2				
IF16G15	80	3							1	2	2	5		2
IO S11	50	2										7		
IF16G17	48	3								2	1	3		1
IO S12	50	2										7		
IF16G35	30							4		4		1		
IF16G18	60	3								1		4	1	
IF16G29	80	4												
S21	45		1						1					1
S22	60		3							1		7	1	1
S23	35		3		1							7		

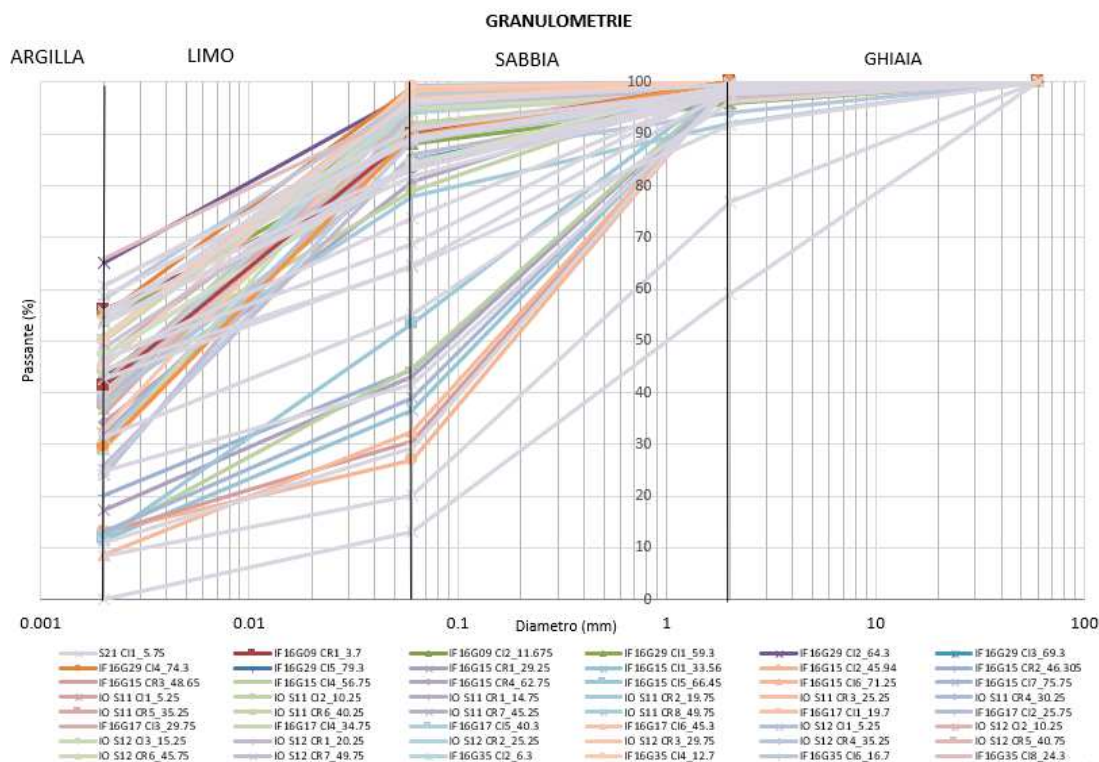
Tabella 10-15 – Sondaggi di riferimento per la caratterizzazione e loro caratteristiche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	
COMMESSA <b>IF3A</b> LOTTO <b>02</b> CODIFICA <b>E ZZ RG</b> DOCUMENTO <b>GN0000 001</b> REV. <b>D</b> FOGLIO <b>99 di 184</b>	

### 10.5.3 Proprietà fisiche

È stata condotta un'analisi dei dati disponibili relativamente alla determinazione delle proprietà fisiche della formazione.

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggi mostrano la prevalenza dei termini limosi e, secondariamente, sabbiosi e argillosi. La componente sabbiosa risulta essere dominante in corrispondenza dei sondaggi IF16G15 E S23.



**Figura 10-77 – Curva granulometrica (APC).**

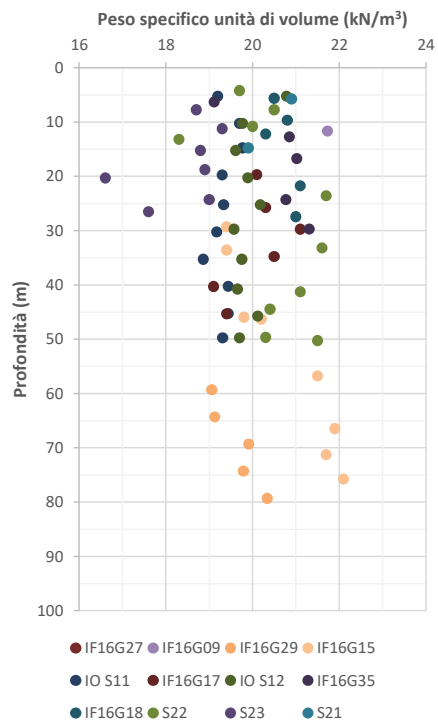
Il peso per unità di volume è variabile tra  $19 \div 22 \text{ KN/m}^3$ .

Il contenuto d'acqua naturale  $w_N$  è variabile tra  $10 \div 30\%$ , intervallo che si mantiene pressoché costante con la profondità nel volume indagato.

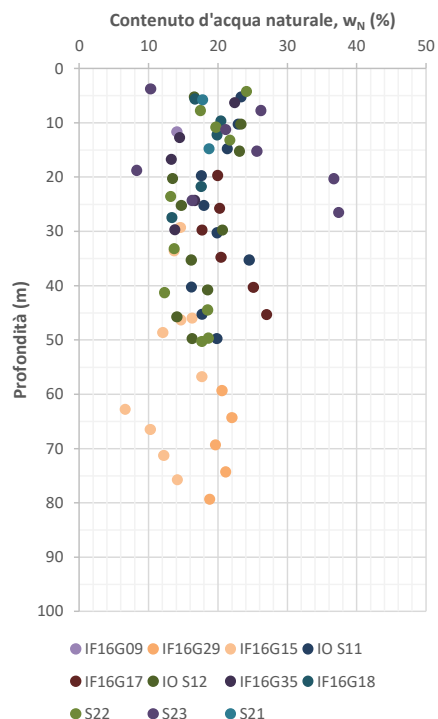
Gli intervalli di variabilità dei limiti di Atterberg sono i seguenti:

- Limite liquido  $w_L$ :  $30 \div 80\%$
- Limite plastico  $w_P$ :  $15 \div 35\%$
- Indice di plasticità  $I_p$ :  $10 \div 50\%$
- Indice di consistenza  $I_c$ :  $0.9 \div 2.5$

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO <b>IF3A                      02                      E ZZ RG                      GN0000 001                      D                      100 di 184</b>



**Figura 10-78 – Peso specifico per unità di volume (APC).**



**Figura 10-79 – Contenuto d'acqua naturale (APC).**



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>		COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>101 di 184</b>

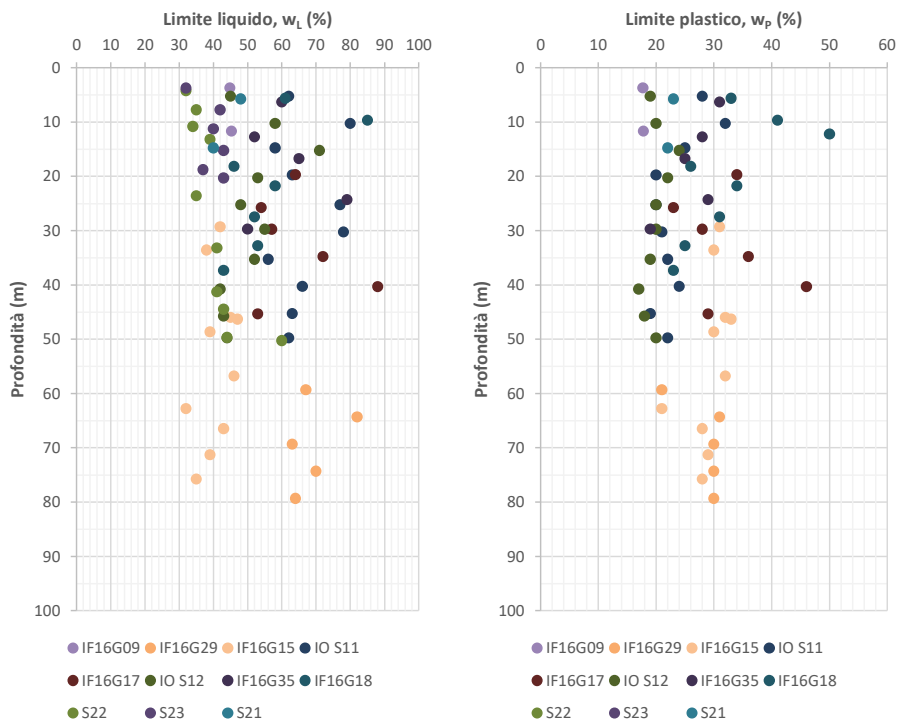


Figura 10-80 – Limite liquido e limite plastico (APC).

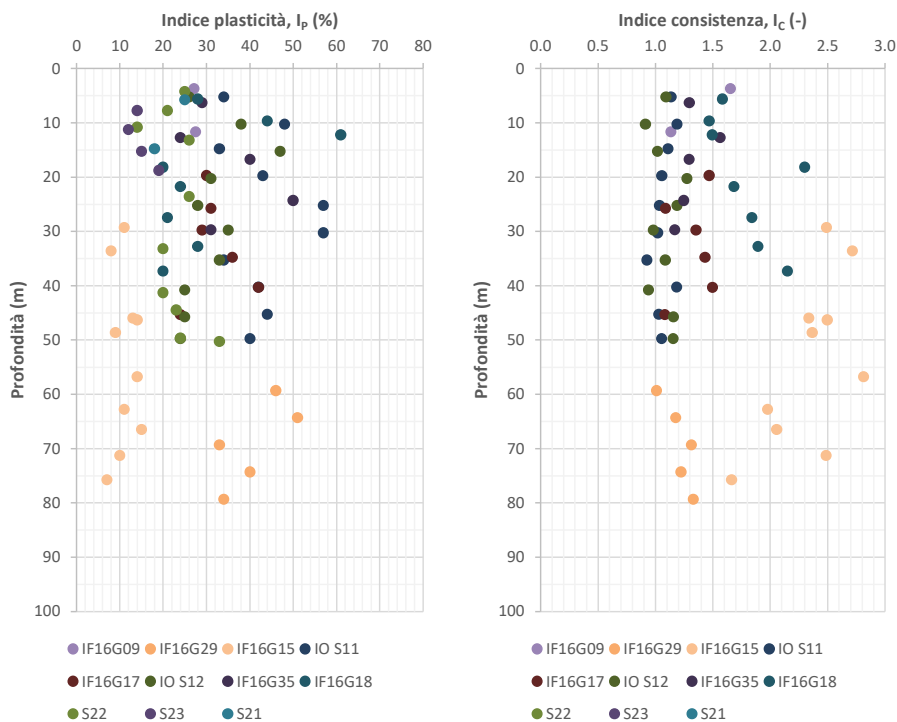


Figura 10-81 – Indice plastico ed indice di consistenza (APC).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA          II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 102 di 184

## 10.5.4 Proprietà meccaniche di resistenza

### Prove in foro

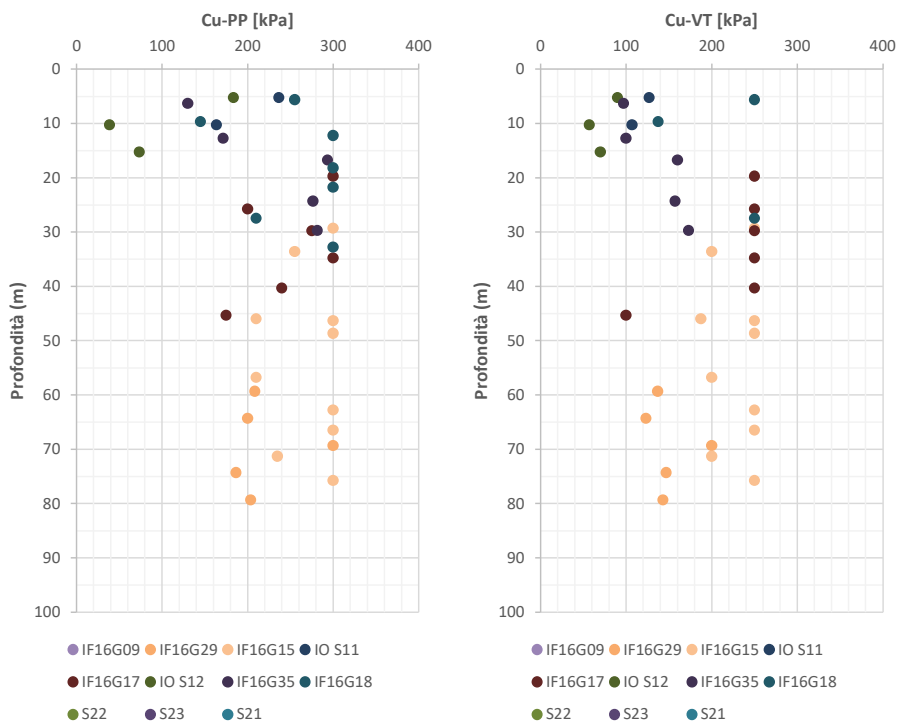


Figura 10-82 - Coesione non drenata da Pocket Penetrometer e Vane Test (APC).

I valori di resistenza non drenata da Pocket Penetrometer si ricavano dal valore di resistenza alla punta, come illustrato nel Capitolo 8, paragrafo 8.3.3. I valori di coesione non drenata  $C_u=300\text{kPa}$  vanno intesi come valori minimi, ottenuti da una resistenza alla punta maggiore di  $600\text{kPa}$ . Dai risultati disponibili risulta che la coesione non drenata assume prevalentemente valori superiori ai  $200\text{kPa}$  per le profondità interessate dallo scavo della galleria.

Di seguito si riportano i valori di coesione non drenata da prove SPT, ottenuti applicando la correlazione di Stroud (1974), e da prove dilatometriche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETRI-FER M-INGEGNERIA</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>		COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>103 di 184</b>

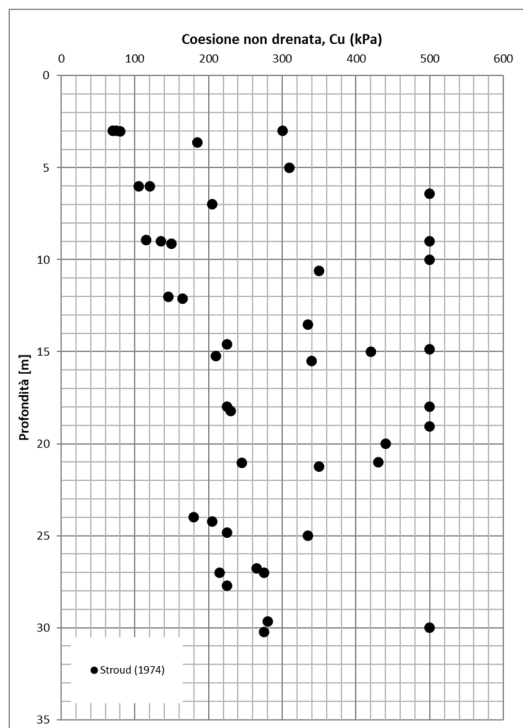


Figura 10-83 - Coazione non drenata da SPT (APC).

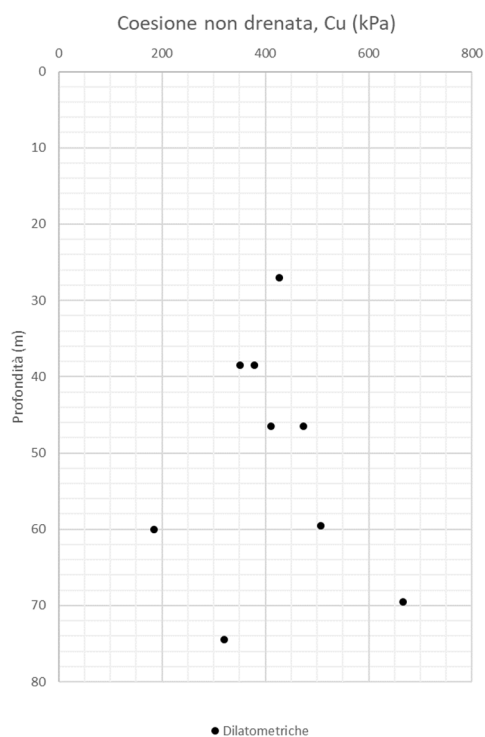


Figura 10-84 - Coazione non drenata da prove dilatometriche (APC).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>104 di 184</b>

### Prove di laboratorio

Sono stati analizzati i risultati da prove di laboratorio su campioni indisturbati per definire le proprietà meccaniche della formazione. Sono state eseguite prove di taglio diretto e compressione triassiale consolidata non drenata (CIU) e consolidata drenata (CID) per definire i parametri di coesione efficace ( $c'$ ) e angolo d'attrito ( $\phi'$ ).

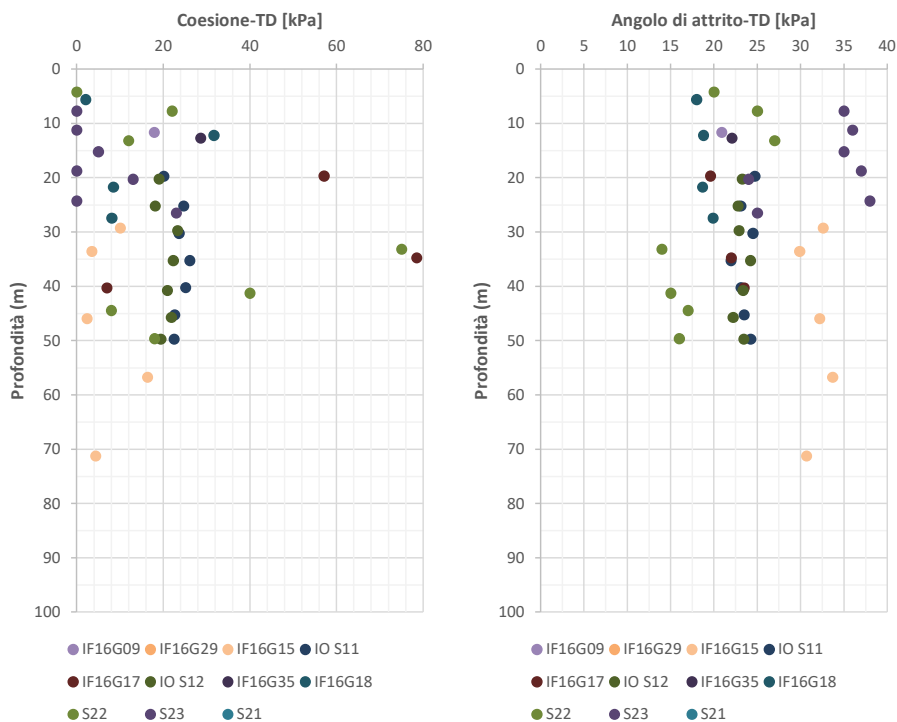


Figura 10-85 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TD (APC).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>		COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>105 di 184</b>

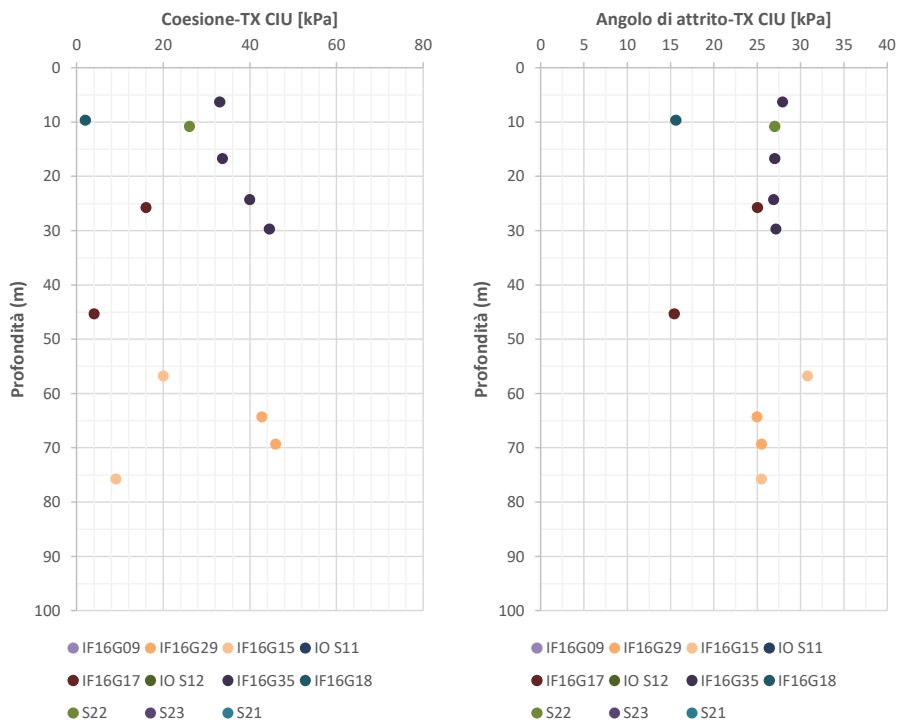


Figura 10-86 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TX CIU (APC).

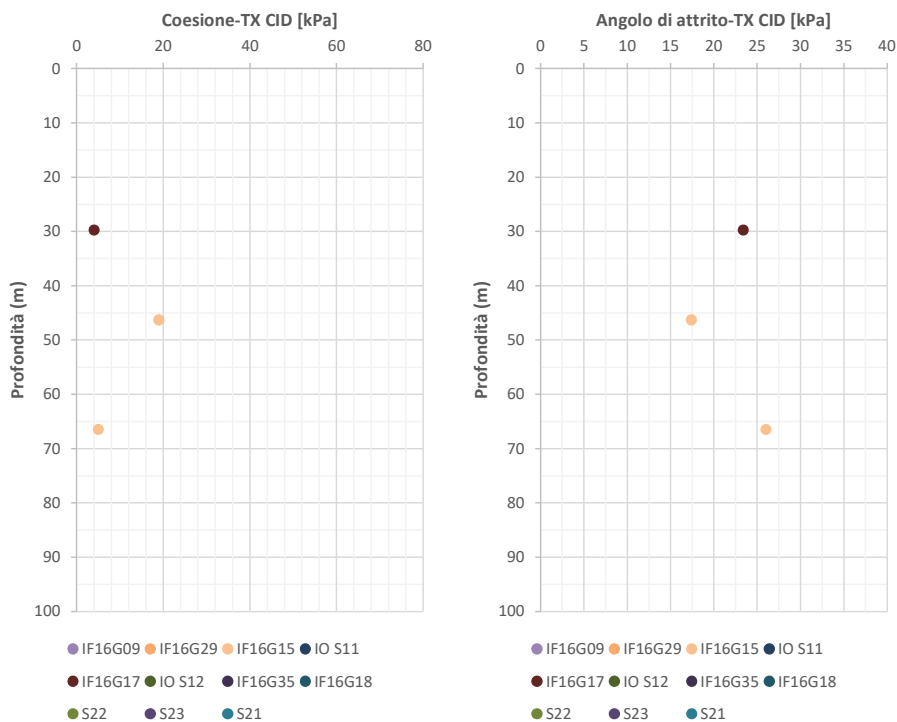


Figura 10-87 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TX CIU (APC).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>				
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo</b>					
COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>106 di 184</b>

Considerando nel loro insieme il set di prove effettuate non si nota un significativo miglioramento delle proprietà di coesione efficace con la profondità nel volume indagato. I dati sono molto variabili, da un minimo di 3 kPa ad un massimo di 79 kPa, distribuiti prevalentemente nel range 15-25 kPa.

I valori di angolo d'attrito sono stati ricavati da prove di taglio diretto e prove triassiali CIU. L'angolo d'attrito non mostra variazioni significative con la profondità ma assume valori fortemente variabili tra 18°÷35°, con valori diffusi nell'intervallo 23°-27°.

I valori della resistenza non drenata sono ricavati da prove triassiali UU e CIU e prove ad espansione laterale libera.

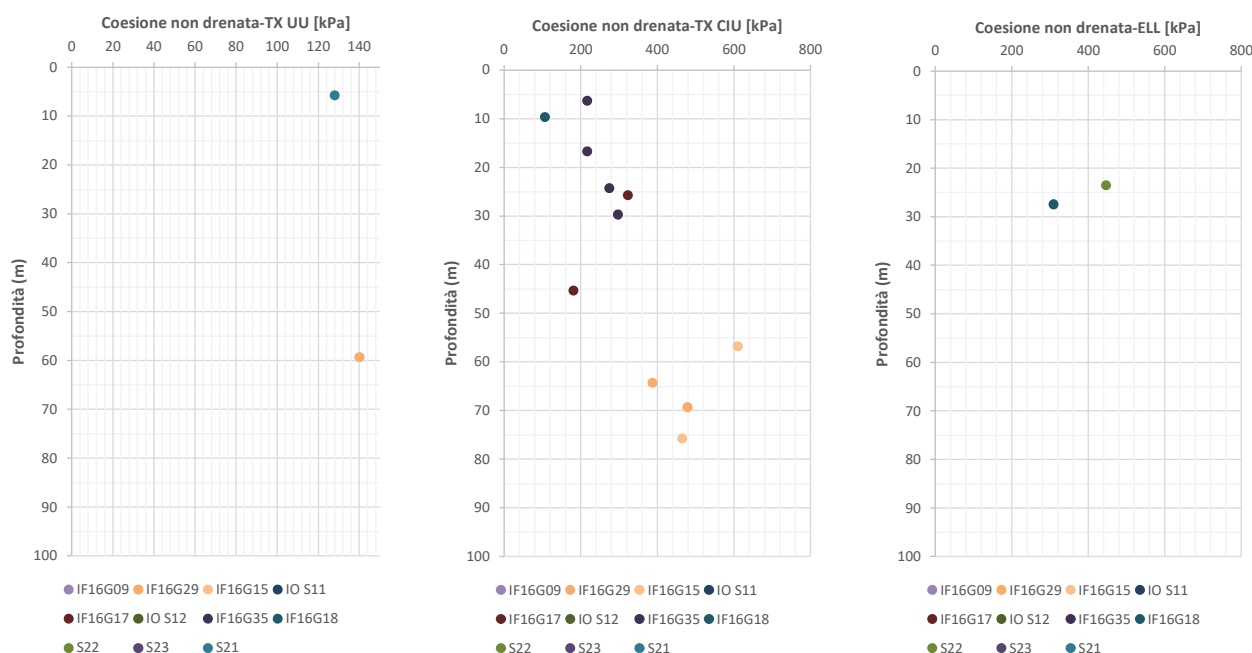


Figura 10-88 - Coesione non drenata da prove di laboratorio (APC).

La coesione non drenata aumenta con la profondità e risulta variabile tra 140 ÷ 480 kPa per profondità comprese tra 15m-80m. I valori ottenuti sono in linea coi risultati ricavati da prove in foro.

### 10.5.5 Proprietà meccaniche di deformabilità

Per determinare le proprietà di deformabilità della formazione si è fatto riferimento ai risultati ottenuti da prove dilatometriche, indagini geofisiche, prove di velocità sonica e prove di colonna risonante. A basse profondità sono stati considerati anche i risultati ottenuti tramite correlazioni empiriche da prove SPT.

I valori di modulo di deformabilità  $E'$  dedotti da prove SPT sono stati ricavati a partire dal modulo iniziale  $E_0$  assumendo un rapporto  $E'/E_0=0.1$ , in funzione del livello di deformazione atteso a seguito dello scavo della galleria e dei valori ottenuti da prove dilatometriche.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 107 di 184

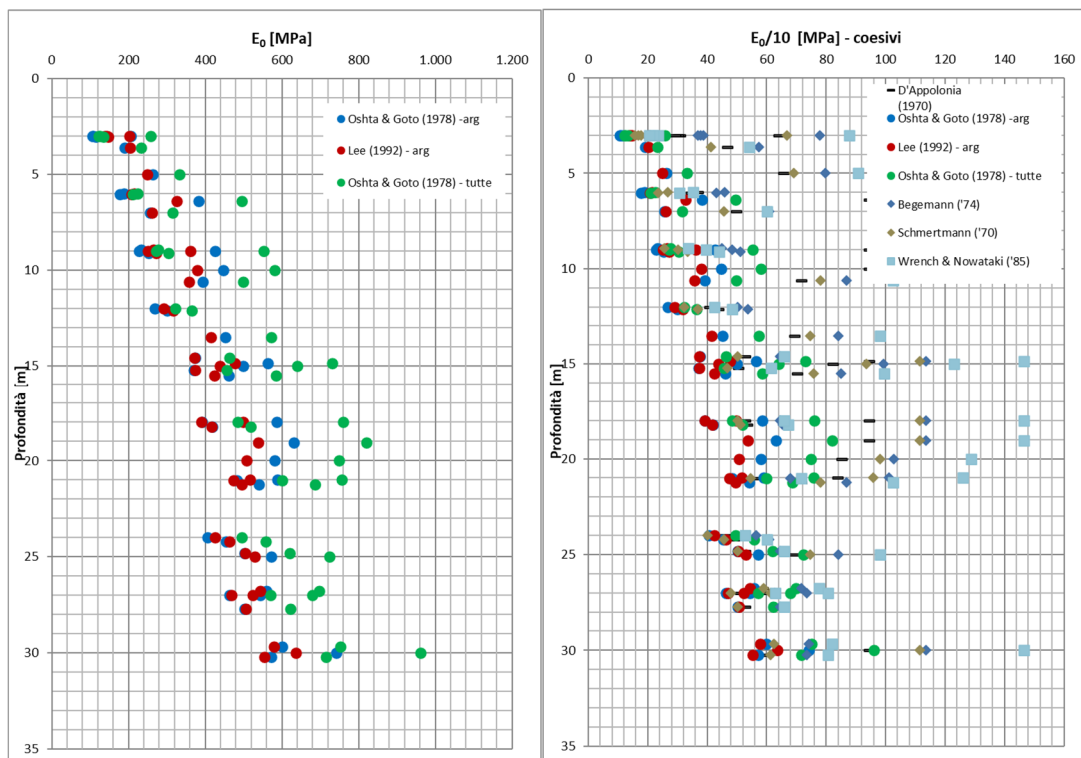


Figura 10-89 - Velocità onde di taglio, modulo elastico e modulo elastico operativo da prove SPT (APC).

Di seguito si riportano le curve di decadimento ottenute dalle prove di colonna risonante, dalle quali è possibile ricavare il modulo di rigidezza  $E_0$  a partire dal modulo di taglio iniziale  $G_0$ .

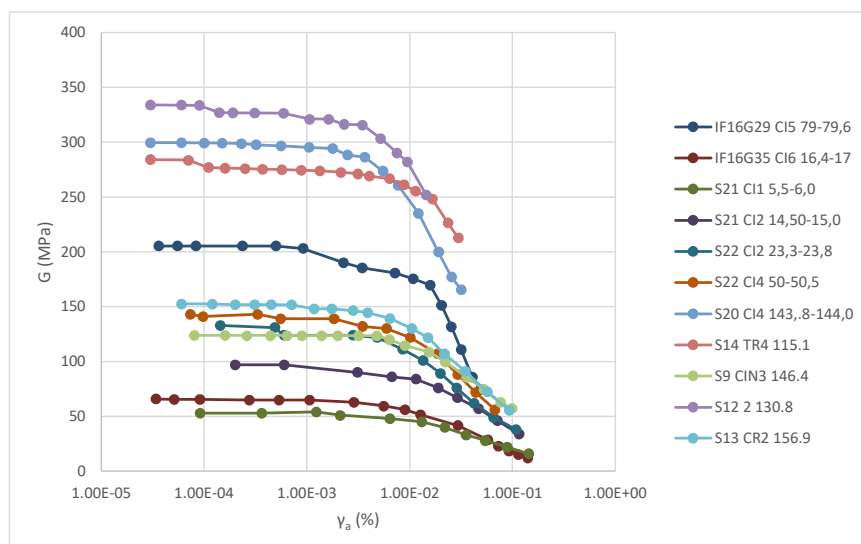


Figura 10-90 – Curve di decadimento da prove di colonna risonante (APC).

Di seguito si riporta il confronto tra i moduli elastici operativi ottenuti dalle indagini disponibili.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>		COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>108 di 184</b>

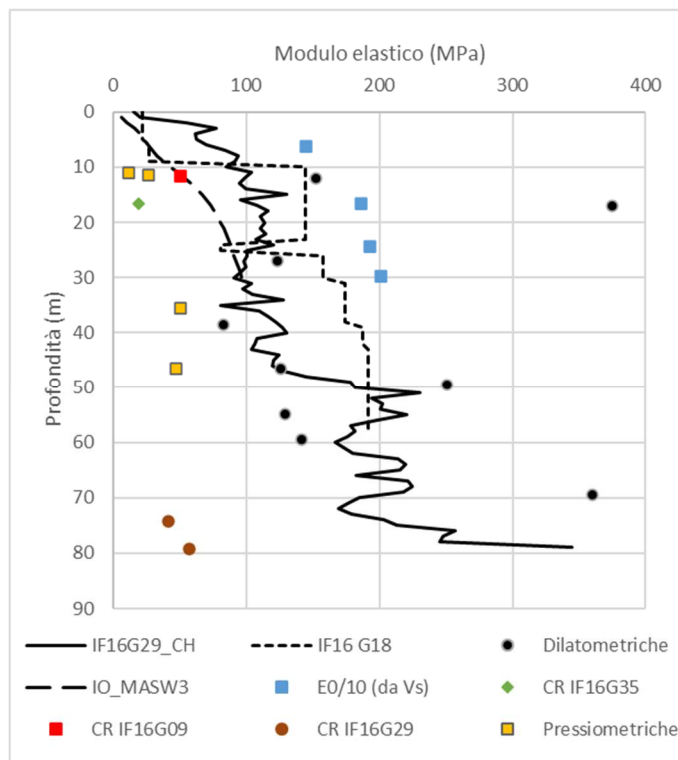


Figura 10-91 - Modulo elastico operativo (APC).

Dalle indagini geofisiche e dalle prove dilatometriche disponibili è possibile notare un incremento della rigidezza con la profondità, con valori compresi tra 50 MPa a 15 m di profondità fino a 300 MPa a 80 m di profondità.

### 10.5.6 Rigonfiamento

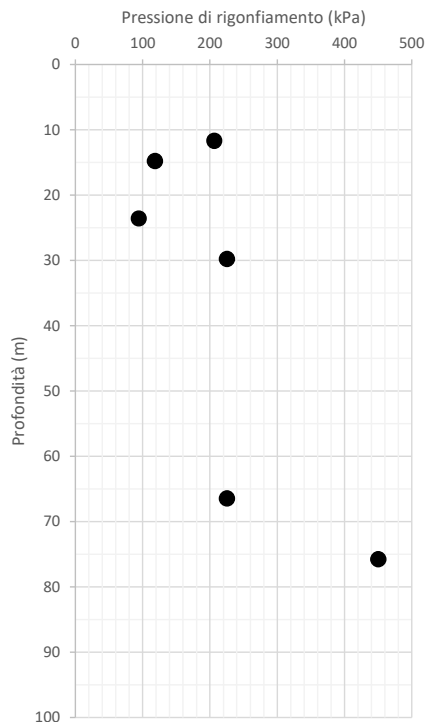
Sono state eseguite 4 prove di rigonfiamento impedito su campioni nell'Unità APC. I valori di pressione  $\sigma_R$  tali da impedire il rigonfiamento in cella edometrica sono riportati di seguito:

ID sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\sigma_R$
[-]	[-]	[m]	[kPa]
<b>IF16G09</b>	CI2	11,68	206,0
<b>IF16G15</b>	CI5	66,45	225,0
<b>IF16G15</b>	CI7	75,75	450,0
<b>IF16G17</b>	CI3	29,75	225,0
<b>S21</b>	CI2	14,75	118,0
<b>S22</b>	CI2	23,55	94,0

Tabella 10-16 – Pressioni di rigonfiamento da prove di rigonfiamento impedito – APC.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>109 di 184</b>



**Figura 10-92 - Pressione di rigonfiamento - APC.**

Dai risultati sperimentali la formazione in esame presenta un comportamento rigonfiante. A massima profondità si evidenzia 1 valore alto e si ritiene sia legato a difficoltà legate all'esecuzione del carotaggio e alla preparazione del provino.

L'elaborazione delle prove secondo il metodo Huder-Amberg restituisce valori del coefficiente  $k_{100 \text{ H-A}}$  che confermano il comportamento rigonfiante, con valore basso nel provino IF16G15, dove si è ottenuto il valore anomalo dalla prova di rigonfiamento impedito:

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$k_{100 \text{ H-A}}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
IF16G17	CI 5	40	5.6
IF16G15	CI 6	70.5	0.4
IF16G35	CI6	16.5	2.3
IF16G35	CI8	24.5	3.5
IF16G35	CI10	29.5	4.4

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>				
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>				
<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>110 di 184</b>

### 10.5.7 Stato di sforzo

Lo stato di sforzo in situ è stato valutato a partire dai risultati di prove dilatometriche eseguite nell'ambito delle Campagne indagini 2017-2018 - 2021.

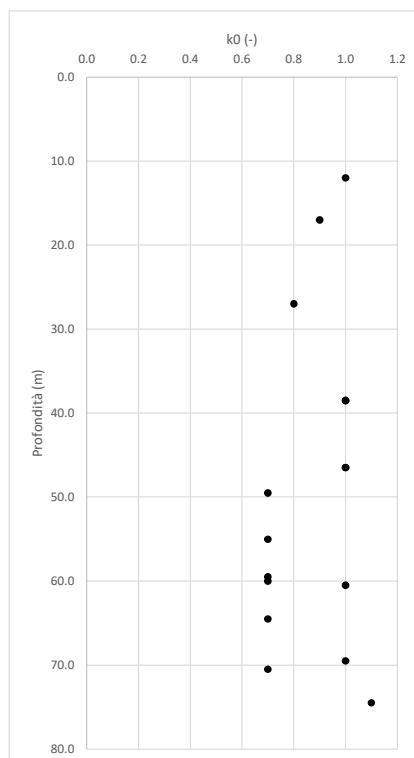


Figura 10-93 – Coefficiente di spinta a riposo da prove dilatometriche - APC.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>111 di 184</b>

### 10.5.8 Conducibilità idraulica

Il grafico seguente illustra i valori di conducibilità idraulica misurati con prove Lefranc e Lugeon per la formazione APC. Il suo valore si attesta intorno a  $10^{-9}$ - $10^{-7}$  m/s.

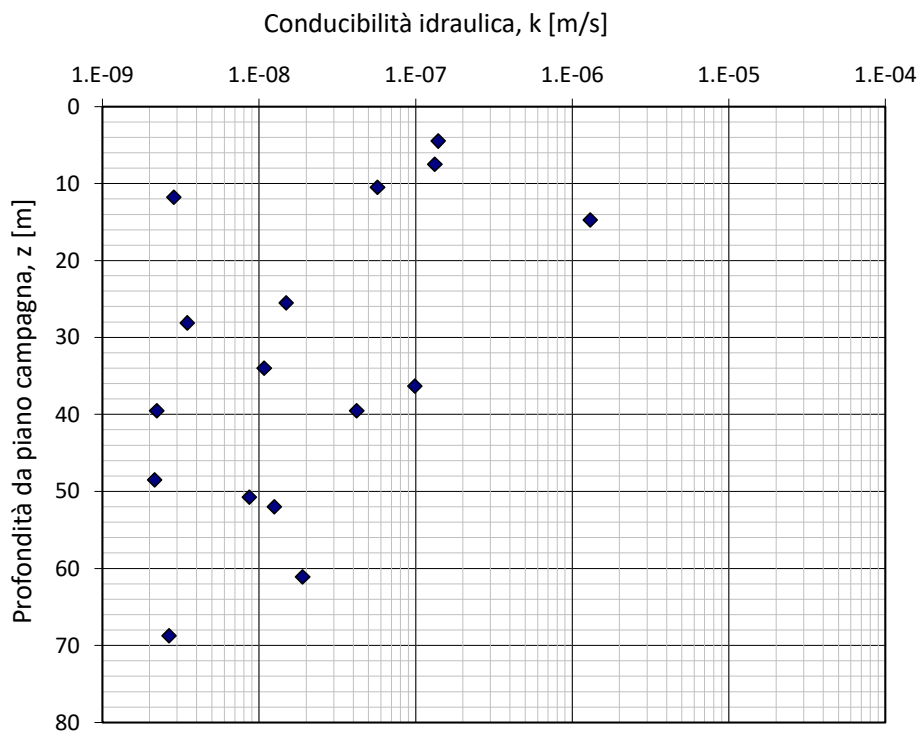


Figura 10-94 - Conducibilità idraulica - APC.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>112 di 184</b>

### 10.5.9 Riepilogo parametri APC

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e prove descritte nei paragrafi precedenti, ha condotto alla definizione dei seguenti intervalli di valori rappresentativi dei principali parametri geotecnici per l'Unità APC:

APC		
Parametri	u.m	Copertura (m)
		p.c. 15 ÷80
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	19÷22
$c'$	kPa	20÷40
$C_u$	kPa	200÷450
$\phi'$	°	23÷27
$E'$	MPa	50-300

Tabella 10-17 – APC - Riepilogo parametri geotecnici

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>113 di 184</b>

## 10.6 EVAPORITI DI MONTE CASTELLO CALCAREO-BRECCIOSI

### 10.6.1 Note introduttive

Si tratta di depositi marini di bacino evaporitico costituiti da calcari evaporitici, mal stratificati e vacuolari. I calcari si possono presentare brecciati fino a diventare breccie costituite da elementi di calcari evaporitici.

Lo scavo della galleria Hirpinia intercetta l'Unità CTLa per un tratto di circa 270 m, con coperture comprese tra 100 m e 140 m.

Il materiale è stato caratterizzato a partire dai risultati di prove di laboratorio e prove in foro. In particolare, per tale formazione è stata eseguita una caratterizzazione della componente calcareo-litoide e della componente calcareo-pelitica del materiale stesso.



Figura 10-95 – Carote prelevate relative alla formazione CTLa, sondaggio F16G32, tra 25 e 30 m da p.c.



Figura 10-96 – Carote prelevate relative alla formazione CTLa, sondaggio S14.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 114 di 184

## 10.6.2 Sondaggi di riferimento

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

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

Data la scarsità di dati necessari a caratterizzare la componente pelitica della formazione in esame, sono stati presi in considerazione anche i sondaggi IF16G31 e IF16G32 realizzati durante la fase di progettazione definitiva per la finestra costruttiva F3, non più prevista nella fase esecutiva del progetto in oggetto, lungo i quali è stata rinvenuta la presenza degli Evaporiti di Monte Castello, nonostante tali verticali raggiungano profondità di indagine inferiori a quelle di interesse per le opere in sotterraneo in esame.

Caratteristiche sondaggio		Prove in foro		Prove lab rocce					Prove lab terreni					GSI	
ID sond.	Lungh. (m)	Dilatom.	Pressiom.	UCS	PLT	TX	Trazione	Vel ultras.	TXUU	TXCIU	TxCID	TD	ELL		Rigonf
IF16G31	40,0								1			1			
IF16G32	40,0									1		1			
IF16G10	183,4	4		3				3							
S14	130	3				3			1			1		1	X

Tabella 10-18 – Sondaggi di riferimento per la caratterizzazione e loro caratteristiche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>115 di 184</b>

### 10.6.3 Caratterizzazione geomeccanica

#### Proprietà fisiche

È stata condotta un'analisi dei dati disponibili relativamente alla determinazione delle proprietà fisiche della formazione CTLa.

Il peso per unità di volume risulta essere globalmente variabile tra 18 ÷ 24 KN/m<sup>3</sup>.

In dettaglio, lungo i sondaggi IF16G31 e IF16G32, fino a 10÷12 m dal piano campagna, e lungo il sondaggio S14 oltre i 90 m di profondità si riscontra la presenza di materiale argilloso, limoso con presenza di clasti di natura calcarea al quale è possibile associare un peso per unità di volume compreso tra 18 ÷ 21 KN/m<sup>3</sup>. La componente lapidea, presente prevalentemente lungo la verticale di indagine S14, mostra, invece un peso per unità di volume variabile tra 22 ÷ 24 KN/m<sup>3</sup>.

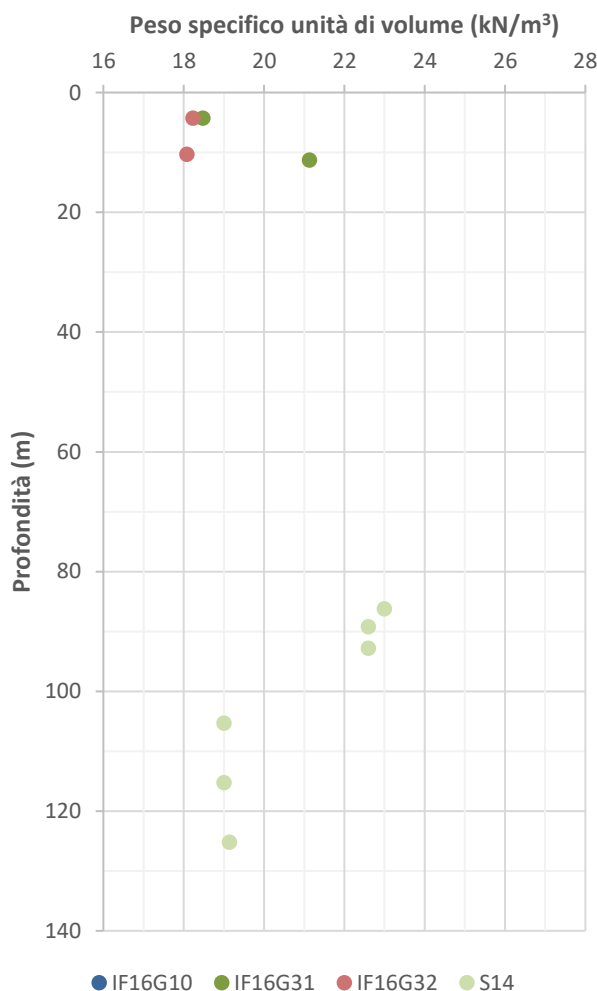


Figura 10-97 – Peso specifico per unità di volume (CTLa).

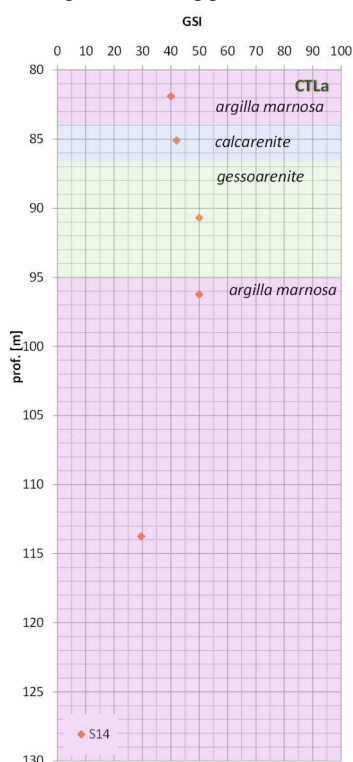
<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sottterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>116 di 184</b>

### Proprietà meccaniche

Le proprietà meccaniche sono state definite suddividendo la formazione CTLa nella componente calcareo-litoide e nella componente calcareo-pelitica, focalizzandosi in quest'ultimo caso sui risultati delle prove eseguite prettamente per caratterizzare un terreno, trascurando i risultati relativi alle inclusioni calcaree.

### Componente calcareo-litoide

Per la componente calcareo-litoide si considera un valore di GSI variabile tra 40 e 50, in base alle caratteristiche della calcarenite e gesso-arenite riscontrata lungo il sondaggio S14.



**Figura 10-98 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità del sondaggio S14.**

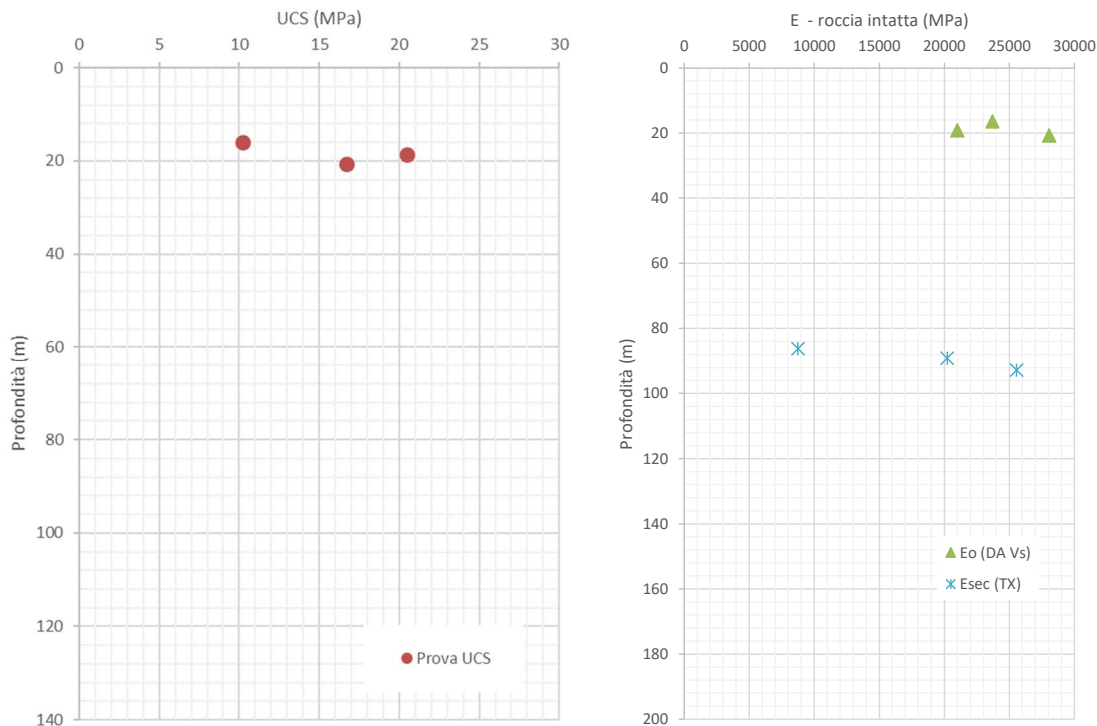
Adottando un mezzo continuo equivalente per l'ammasso roccioso, la determinazione dei parametri di resistenza è stata eseguita a partire dalle caratteristiche della matrice rocciosa intatta adottando il criterio di resistenza di Hoek & Brown, illustrato al Paragrafo 9.5. Noto il GSI e la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta, è necessario determinare la costante  $m_i$  della roccia intatta. È stato preso il valore da letteratura per una breccia  $m_i=8$ .

Il valore di resistenza a compressione è stato ricavato da prove di compressione monoassiale. I dati disponibili si attestano su un valore medio di 15 MPa.

Il modulo elastico per la roccia intatta è stato ricavato da prove ultrasoniche a partire dai valori di velocità delle onde di taglio Vs e da prove di compressione triassiale.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>117 di 184</b>

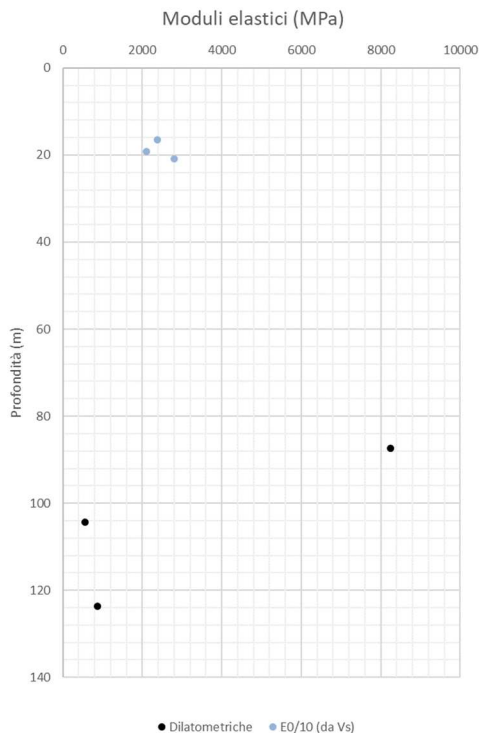


**Figura 10-99 – Resistenza a compressione monoassiale e modulo elastico per la roccia intatta (CTLa).**

Sulla base dei dati disponibili è stato considerato un valore di modulo elastico per la roccia intatta di 15 GPa. Il valore di modulo elastico dell'ammasso calcolato con Hoek & Brown risulta così in accordo con i risultati ricavati da prove dilatometriche.

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

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>118 di 184</b>



**Figura 10-100 - Modulo elastico da prove dilatometriche e modulo elastico operativo da prove a velocità sonica (CTLa).**

Il modulo elastico dell'ammasso roccioso caratteristico per la litologia in esame è riportato nel Paragrafo 10.3.3 ed è stato valutato in base al GSI dell'ammasso. I valori ottenuti sono in accordo, cautelativamente, coi valori di modulo elastico operativo da prove ultrasoniche e i risultati da prove dilatometriche.

#### Componente calcareo-pelitica

I parametri di resistenza della componente calcareo-pelitica della formazione CTLa sono stati valutati sulla base dei risultati delle prove di laboratorio eseguite su campioni indisturbati.

Le prove di taglio diretto (TD) e compressione triassiale consolidata non drenata (CIU) eseguite su provini indisturbati definiscono valori di coesione efficace ( $c'$ ) compresi tra 20-35 kPa e angolo d'attrito ( $\varphi'$ ) variabile tra 22°-25, mentre dalle prove triassiali non consolidate non drenate risulta una resistenza non drenata compresa tra 200-600 MPa.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETRI-FER M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>119 di 184</b>

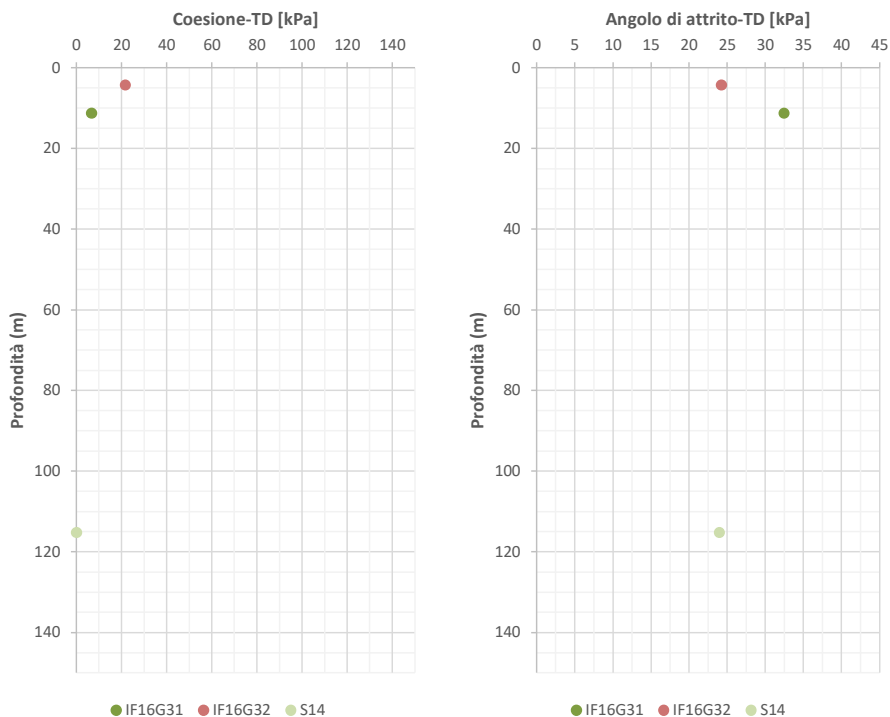


Figura 10-101 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TD (CTLa).

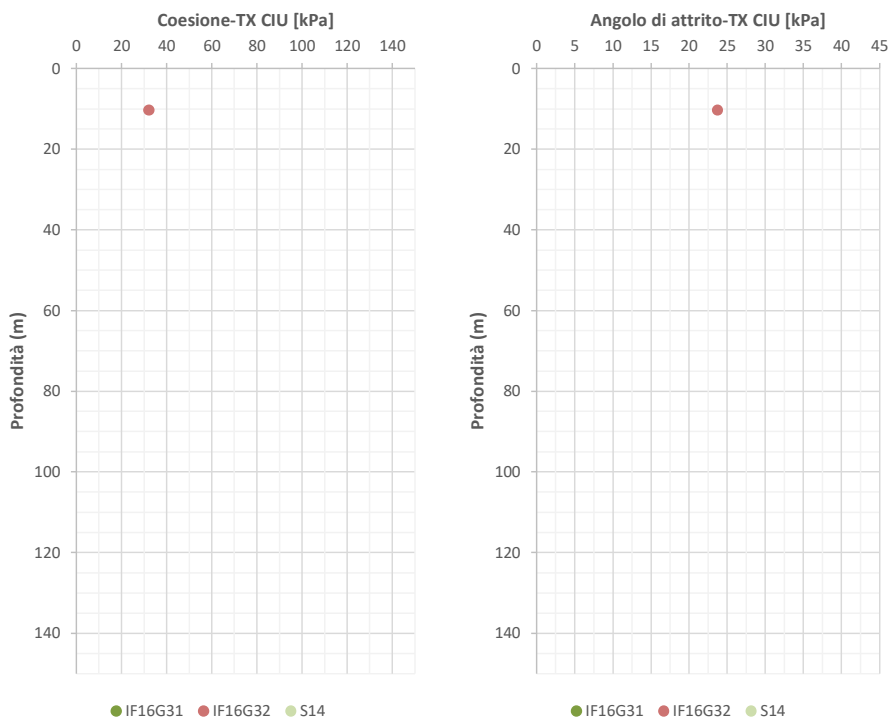
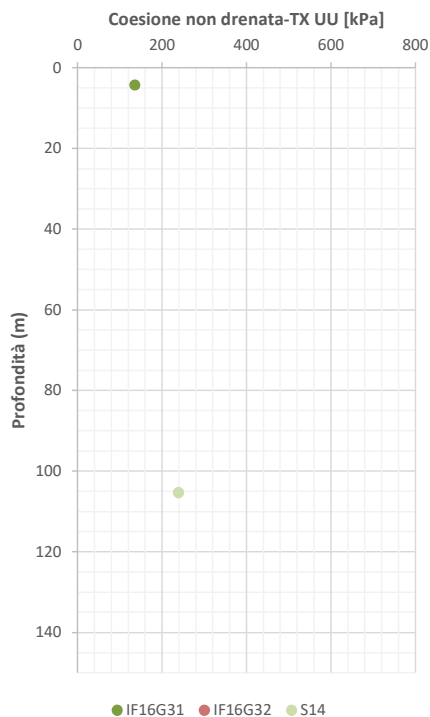


Figura 10-102 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TX CIU (CTLa).

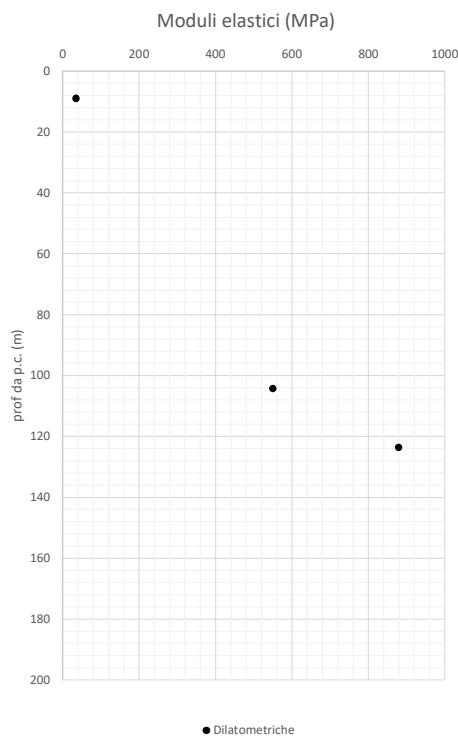
<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>120 di 184</b>



**Figura 10-103 – Coesione non drenata da prove di laboratorio-TX UU (CTLa).**

Le caratteristiche di deformabilità sono state dedotte, invece, da prove dilatometriche che, alle profondità di interesse per le opere in sotterraneo, definiscono un range di variabilità del modulo di Young compreso tra 500 e 900 MPa. Tali valori sono confermati dai risultati ottenuti dall'unica prova di colonna risonante disponibile dalla quale si stima un modulo di Young di circa 700 MPa.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>121 di 184</b>



#### 10.6.4 Rigonfiamento

In fase di PD sono state eseguite 2 prove di rigonfiamento secondo il metodo Huder-Amberg a bassa copertura. Considerata la composizione mineralogica e l'elevata rigidità del materiale, non è previsto un comportamento rigonfiante.

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$k_{100 \text{ H-A}}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
IF16G31	CI 4	23	2,6
IF16G32	CI 3	33,4	1,4

<b>APPALTATORE:</b> <u>Conorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>				
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>				
<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>122 di 184</b>

### 10.6.5 Stato di sforzo

Lo stato di sforzo in situ è stato valutato a partire dai risultati di prove dilatometriche eseguite nell'ambito delle Campagna indagini 2021.

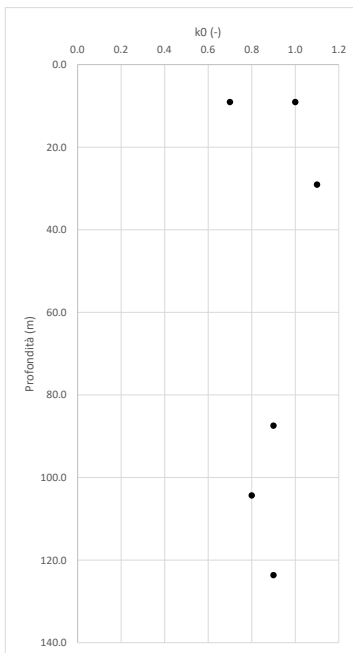


Figura 10-104 – Coefficiente di spinta a riposo da prove dilatometriche - CTLa.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>123 di 184</b>

### 10.6.6 Conducibilità idraulica

Il grafico seguente illustra i valori di conducibilità idraulica misurati con prove Lefranc e Lugeon per la formazione CTLa. Il suo valore si attesta intorno a  $3 \cdot 10^{-8}$  -  $8 \cdot 10^{-8}$  m/s.

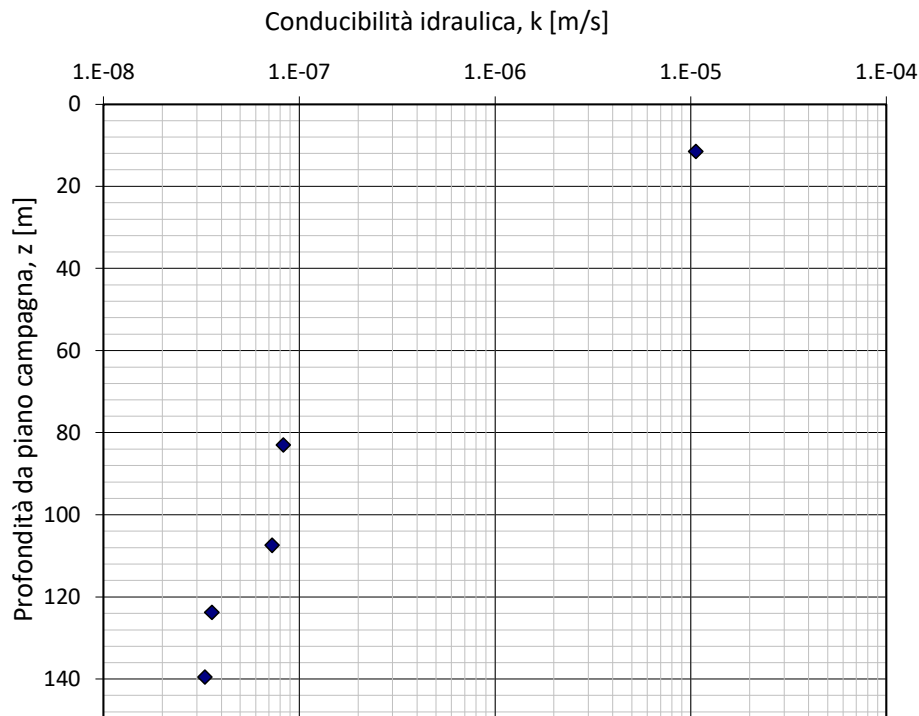


Figura 10-105 - Conducibilità idraulica - CTLa.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. FOGGIO D 124 di 184

### 10.6.7 Riepilogo parametri CTLa

La caratterizzazione geomeccanica condotta sulla base dei dati disponibili ha condotto alla definizione dei seguenti intervalli di valori rappresentativi dei principali parametri geotecnici per l'Unità CTLa:

CTLa – Componente calcareo - litoide				
Parametro	u.m	Coperture [m]		
		p.c.: 100-140		
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	22-24		
UCS	MPa	15		
mi	-	8		
D	-	0		
Ei	MPa	15 000		
GSI (25-35)	40	$\sigma_{cm}$	MPa	1,88
		c'	kPa	330
		$\phi'$	°	33
		E <sub>rm</sub>	MPa	2300
	50	$\sigma_{cm}$	MPa	2,35
		c'	kPa	406
		$\phi'$	°	36
		E <sub>rm</sub>	MPa	4600

Tabella 10-19 – CTLa- Componente litoide- Riepilogo parametri geotecnici.

CTLa – Componente calcareo - pelitica				
Parametro	u.m	Coperture [m]		
		p.c.: 100-140		
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	18-21		
c'	kPa	20-35		
$\phi'$	°	22-25		
E	MPa	500-900		

Tabella 10-20 – CTLa- Componente pelitica- Riepilogo parametri geotecnici.

Data l'alternanza delle 2 componenti, nelle zone di transizione più o meno estese si considerano i seguenti parametri intermedi:

CTLa				
Parametro	u.m	Coperture [m]		
		p.c.: 100-140		
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	24		
c'	kPa	240		
$\phi'$	°	28		
E	MPa	600		

Tabella 10-21 – CTLa- Componente pelitica- Riepilogo parametri geotecnici.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>125 di 184</b>

## 10.7 PELITI DI DIFESA GRANDE

### 10.7.1 Note introduttive

I Peliti di Difesa Grande, appartenente alla Formazione di Sferracavallo (depositi marini di piattaforma, transizione e spiaggia emersa) affiora nel settore centrale dell'area di studio. È costituito da argille limose e argille marnose con frequenti intercalazioni di sabbie limose.

Lo scavo della galleria Hirpinia intercetta l'Unità STF2 per un tratto di circa 2600 m, con coperture comprese tra 105 m e 215 m.

Il materiale è stato caratterizzato a partire dai risultati di prove di laboratorio e prove in foro.



Figura 10-106 – Carote prelevate a quota cavo relative alla formazione STF2, sondaggio S16.

### 10.7.2 Sondaggi di riferimento

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

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

Caratteristiche sondaggio		Prove in foro		Prove lab rocce					Prove lab terreni					
ID sond.	Lungh. (m)	Dilatam.	Pressiom.	UCS	PLT	TX	Trazione	Vel ultras.	TXUU	TXCIU	TxCID	TD	ELL	Rigonfiamento
IF16G12	173	4							2	4	2	2		4
S15	150			7		10								
S16	125	4							1			1		

Tabella 10-22 – Sondaggi di riferimento per la caratterizzazione e loro caratteristiche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	
COMMESSA <b>IF3A</b> LOTTO <b>02</b> CODIFICA <b>E ZZ RG</b> DOCUMENTO <b>GN0000 001</b> REV. <b>D</b> FOGLIO <b>126 di 184</b>	

### 10.7.3 Proprietà fisiche

È stata condotta un'analisi dei dati disponibili relativamente alla determinazione delle proprietà fisiche della formazione.

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggi mostrano la prevalenza dei termini limosi e, secondariamente, argillosi. Il terreno è classificabile come limo con argilla.

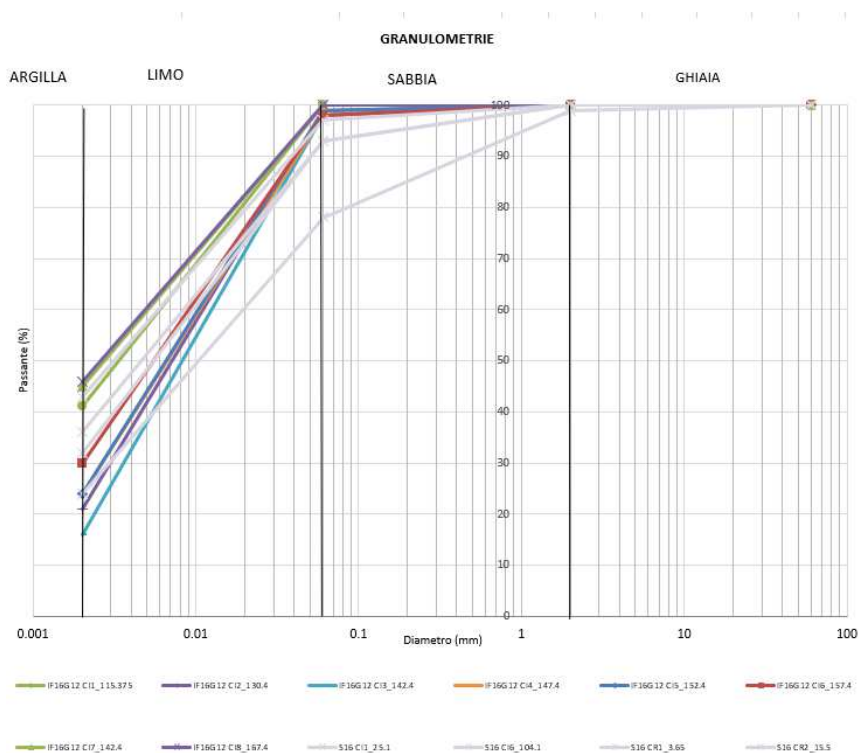


Figura 10-107 – Curva granulometrica (STF2).

Il peso per unità di volume è variabile tra 20 ÷ 22 KN/m<sup>3</sup>.

Il contenuto d'acqua naturale  $w_N$  è variabile tra 10÷15%, intervallo che si mantiene pressoché costante con la profondità nel volume indagato.

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

- Limite liquido  $w_L$ : 40÷65%
- Limite plastico  $w_P$ : 17÷23%
- Indice di plasticità  $I_p$ : 20÷40%
- Indice di consistenza  $I_c$ : 1.0÷1.3

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO IF3A 02 E ZZ RG GN0000 001 D 127 di 184

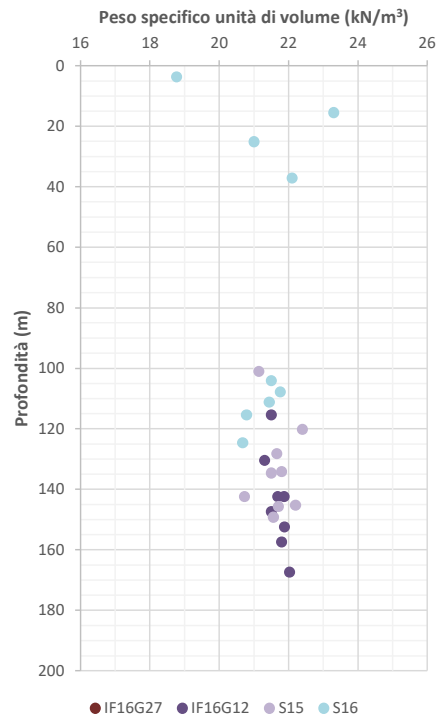


Figura 10-108 – Peso specifico per unità di volume (STF2).

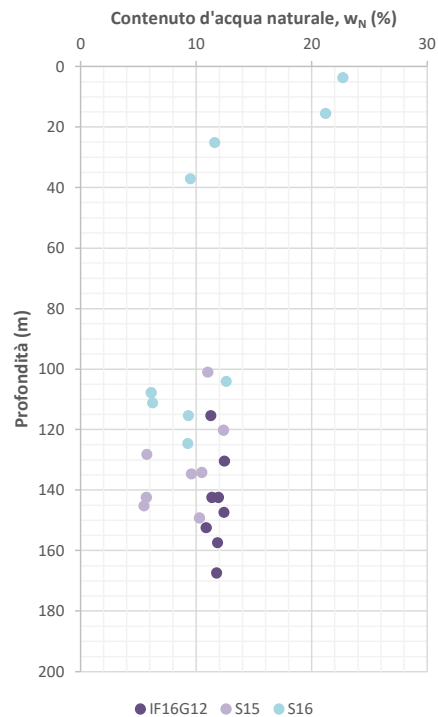


Figura 10-109 – Contenuto d'acqua naturale (STF2).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETRI-FER M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>128 di 184</b>

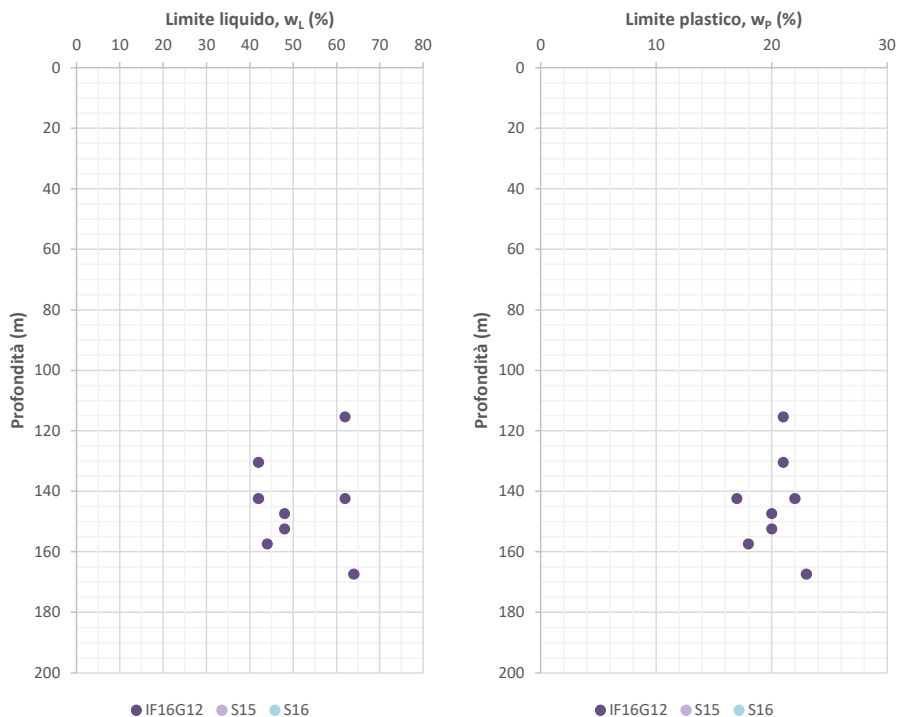


Figura 10-110 – Limite liquido e limite plastico (STF2).

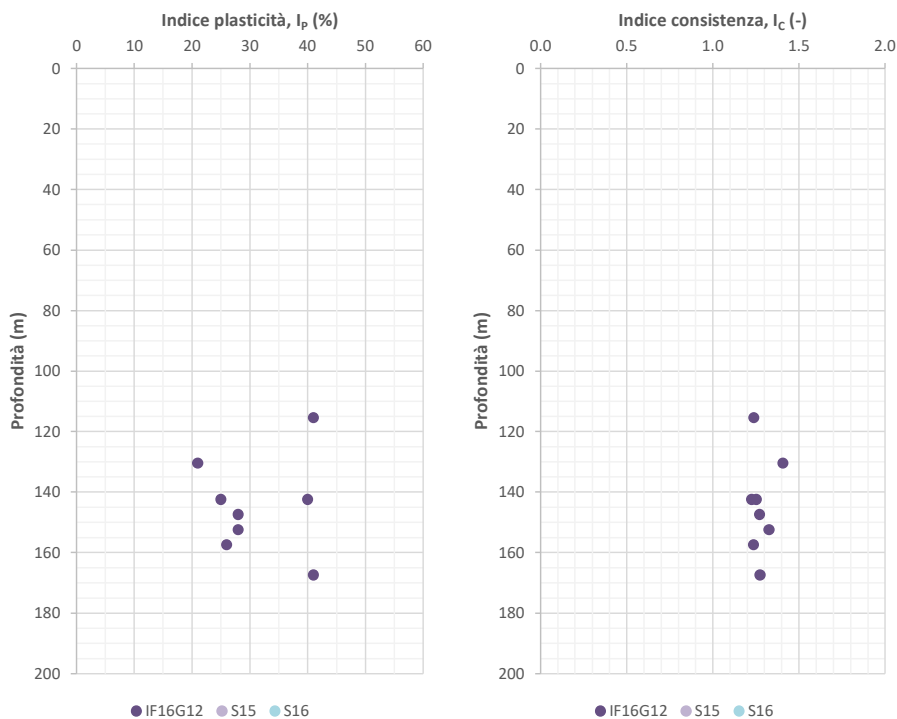


Figura 10-111 – Indice plastico ed indice di consistenza (STF2).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>129 di 184</b>

## 10.7.4 Proprietà meccaniche di resistenza

### Prove in foro

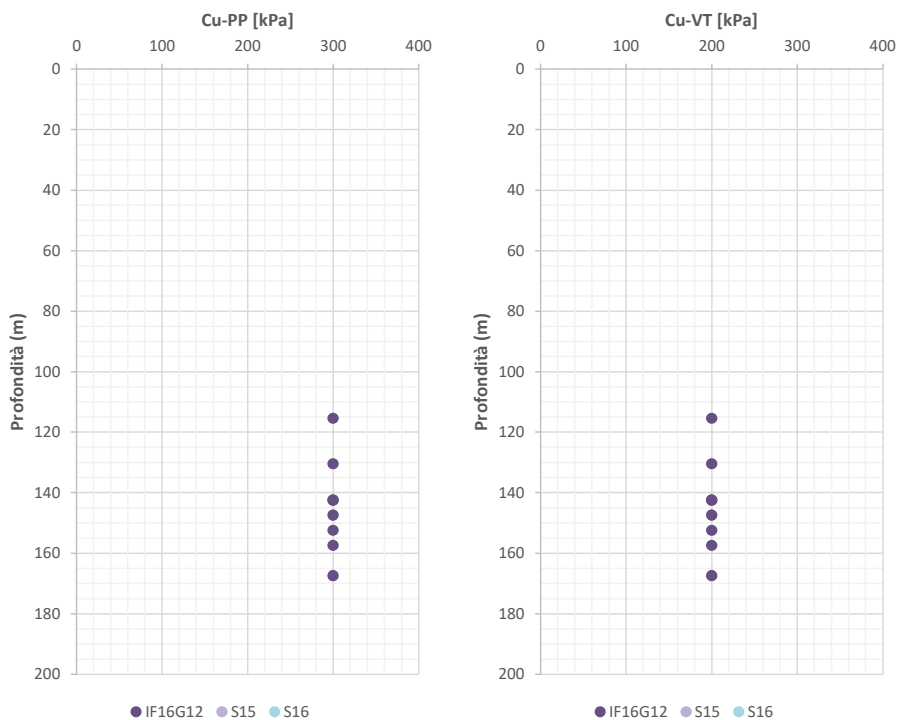
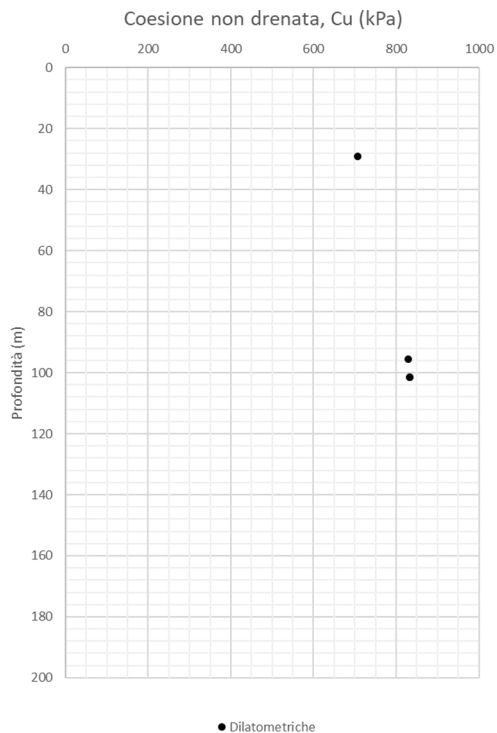


Figura 10-112 - Coesione non drenata da Pocket Penetrometer e Vane Test (STF2).

I valori di resistenza non drenata da Pocket Penetrometer si ricavano dal valore di resistenza alla punta, come illustrato nel Capitolo 8, paragrafo 8.3.3. I valori di coesione non drenata  $C_u=300\text{kPa}$  vanno intesi come valori minimi, ottenuti da una resistenza alla punta maggiore di  $600\text{ kPa}$ . Dai risultati disponibili risulta che la coesione non drenata assume prevalentemente valori superiori ai  $300\text{ kPa}$  per le profondità interessate dallo scavo della galleria.

Di seguito si riportano i valori di coesione non drenata da prove dilatometriche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>130 di 184</b>



**Figura 10-113 - Coesione non drenata da prove dilatometriche (STF2).**

I pochi risultati ottenuti da prove dilatometriche mostrano la tendenza della coesione non drenata ad aumentare con la profondità per la formazione in esame.

### **Prove di laboratorio**

Sono stati analizzati i risultati da prove di laboratorio su campioni indisturbati per definire le proprietà meccaniche della formazione. Sono state eseguite prove di compressione triassiale consolidata non drenata (CIU) e consolidata drenata (CID) per definire i parametri di coesione efficace ( $c'$ ) e angolo d'attrito ( $\phi'$ ).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>131 di 184</b>

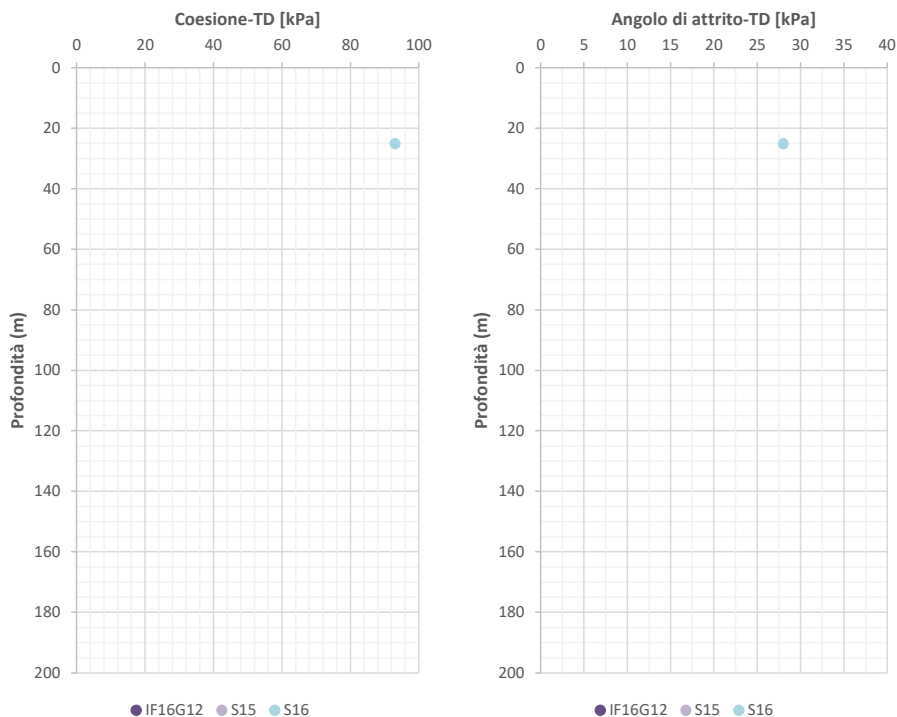


Figura 10-114 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TD (STF2).

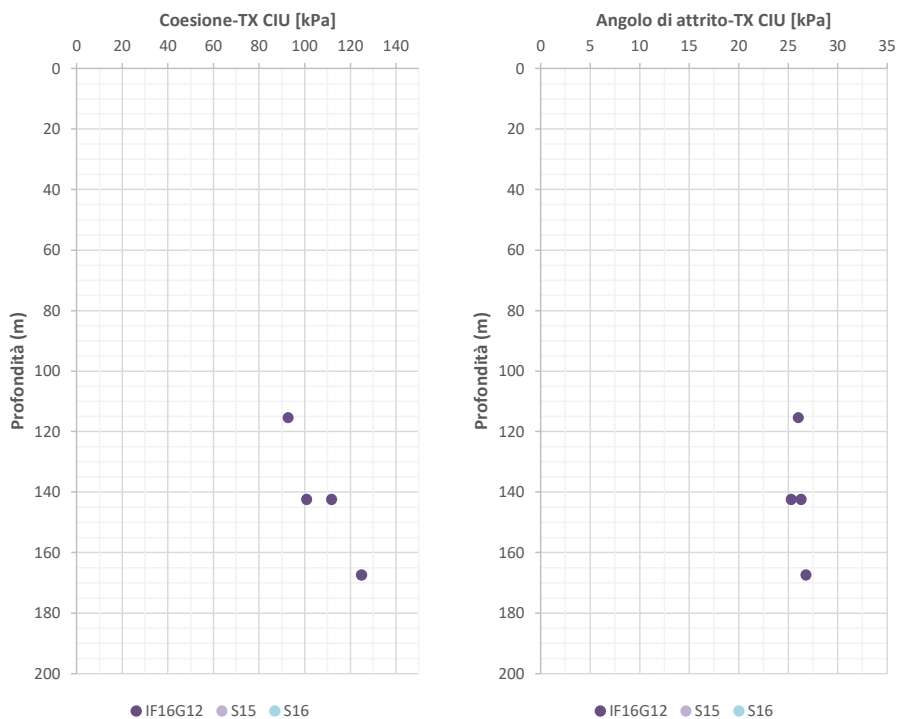
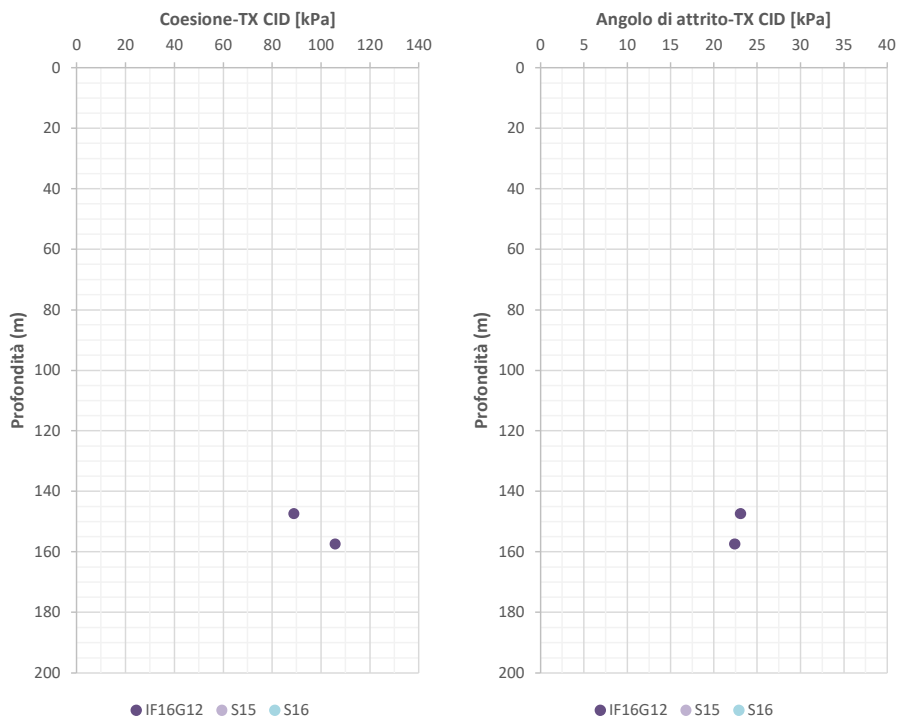


Figura 10-115 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TX CIU (STF2).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO <b>IF3A 02 E ZZ RG GN0000 001 D 132 di 184</b>



**Figura 10-116 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TX CID (STF2).**

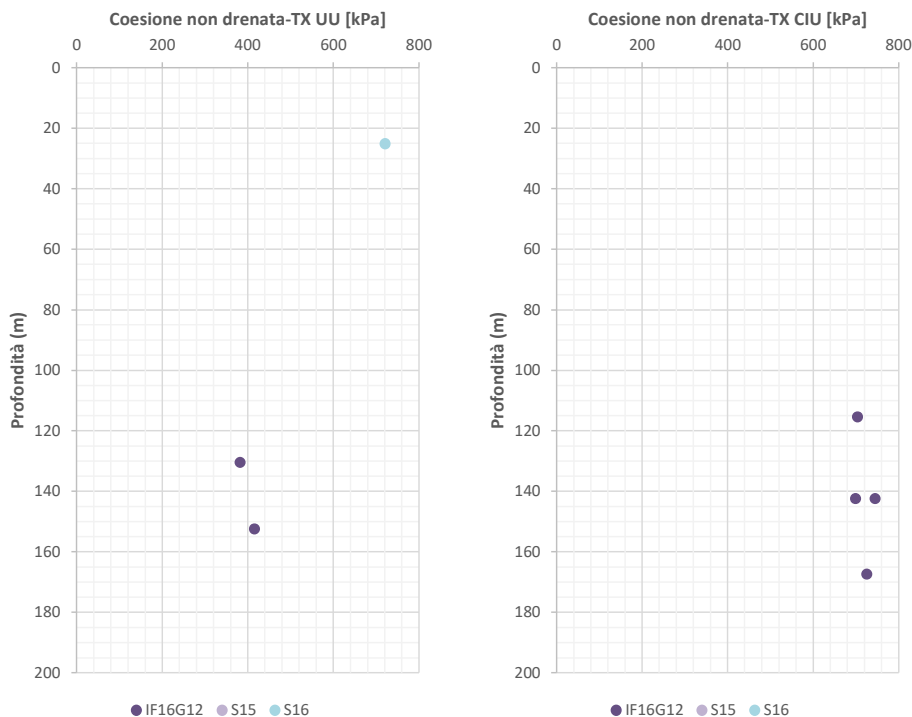
Considerando nel loro insieme il set di prove effettuate si nota un miglioramento delle proprietà di coesione efficace con la profondità. Interpolando linearmente i dati disponibili, la coesione efficace aumenta con la profondità da un valore di 80 kPa alla profondità di 100 m fino ad un massimo di 160 kPa a 215 m di profondità.

I valori di angolo d'attrito sono stati ricavati da prove triassiali CIU e CID. L'angolo d'attrito non mostra variazioni significative con la profondità ma assume valori compresi tra 22°÷27°.

La resistenza non drenata è stata definita tramite prove triassiali CIU e UU. I risultati ottenuti definiscono un range tra 400 ÷ 740 kPa tra 115-160 m di profondità.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETRI-FER M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>133 di 184</b>



**Figura 10-117 - Coesione non drenata da prove di laboratorio (STF2).**

Considerato che i pochi dati disponibili fanno riferimento a campioni prelevati a profondità inferiori a quelle interessate dallo scavo della galleria, i risultati delle prove triassiali disponibili sono stati analizzati interpolando i valori di coesione non drenata in funzione della pressione di cella (o pressione di confinamento) applicata nell'esecuzione della prova. La pressione di confinamento può essere ricondotta allo sforzo geostatico cui è sottoposto il materiale in sito, e dunque, in questo modo, è possibile correlare la coesione non drenata con la profondità.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>134 di 184</b>

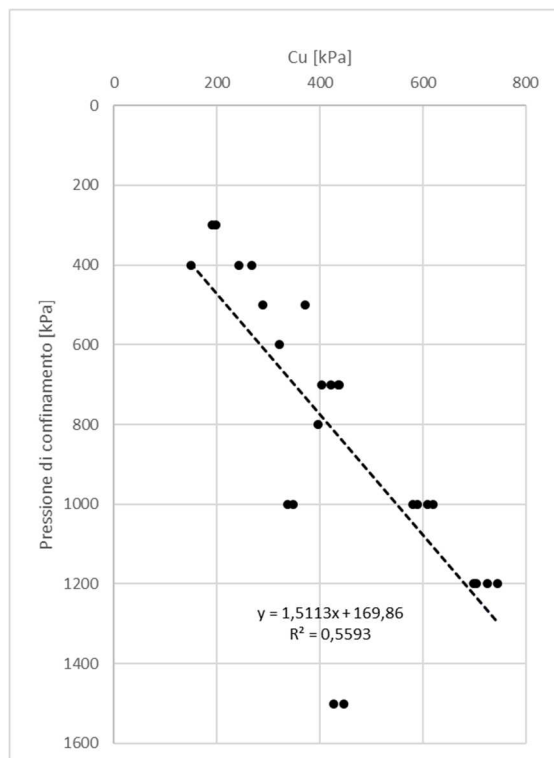


Figura 10-118 – Correlazione della coesione non drenata con la pressione di confinamento da prove TX (STF2).

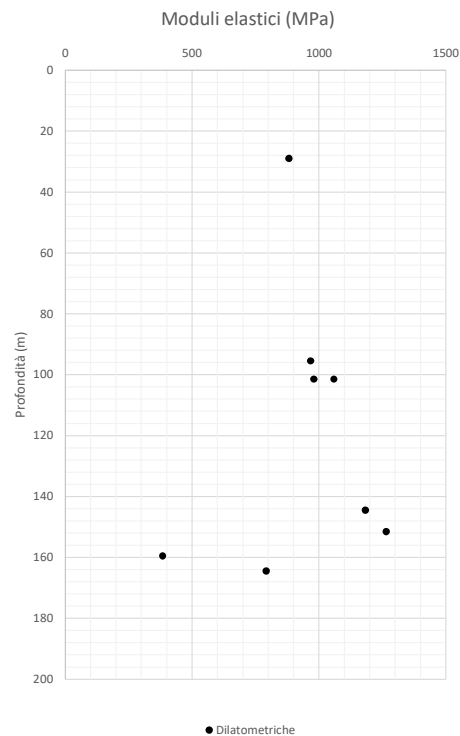
Copertura	Livello falda	$\gamma$	m	q	$p_c'$	Cu/Fs
[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]	[kPa]	[kPa]
110	100	22	1,5113	169,86	1420	550
150	140	22			1900	750
215	200	22			2680	1100

I valori di Cu ottenuti per interpolazione lineare sono stati divisi cautelativamente per un coefficiente di sicurezza pari a 1.5, tenuto conto del grado di dispersione  $R^2$  dei dati a disposizione e dei risultati delle prove dilatometriche.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>135 di 184</b>

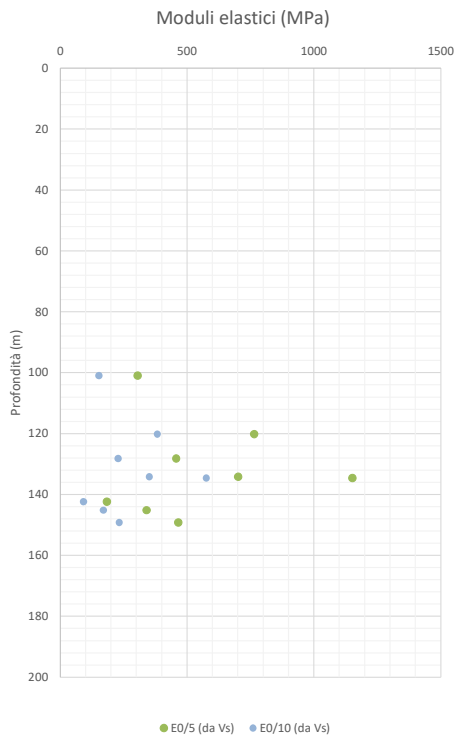
### 10.7.5 Proprietà meccaniche di deformabilità

Per determinare le proprietà di deformabilità della formazione si è fatto riferimento ai risultati ottenuti da prove dilatometriche eseguite nei fori di sondaggio.



**Figura 10-119 - Modulo elastico da prove dilatometriche (STF2).**

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>				
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>				
<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>136 di 184</b>



**Figura 10-120 - Modulo elastico da prove di misura delle velocità elastiche (STF2).**

Le prove analizzate mostrano una grande variabilità di risultati, senza definire uno specifico andamento con la profondità. Ai fini della caratterizzazione geotecnica del materiale si è dunque deciso di considerare un range di valori intermedio, compreso tra 800MPa e 1200 MPa.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>137 di 184</b>

### 10.7.6 Rigonfiamento

Sono state eseguite 4 prove di rigonfiamento impedito su campioni nell'Unità STF2. I valori di pressione  $\sigma_R$  tali da impedire il rigonfiamento in cella edometrica sono riportati di seguito:

ID sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\sigma_R$
[-]	[-]	[m]	[kPa]
<b>IF16G12</b>	CI1	115,38	147,1
<b>IF16G12</b>	CI4	147,40	98,1
<b>IF16G12</b>	CI6	157,40	110,3
<b>IF16G12</b>	CI8	167,40	208,4
<b>S16</b>	CI1	25,10	300,00

Tabella 10-23 – Pressioni di rigonfiamento da prove di rigonfiamento impedito – STF2.

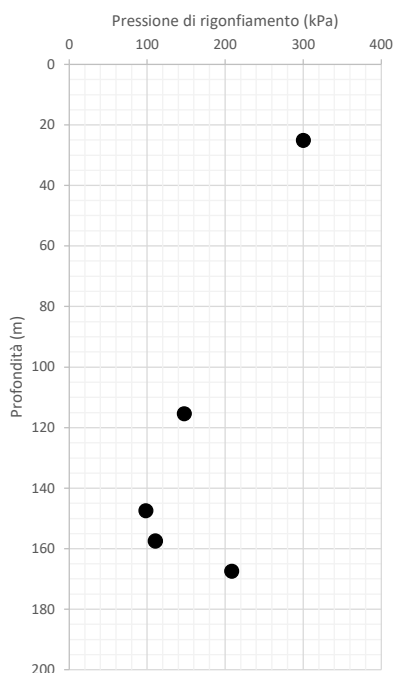


Figura 10-121 – Pressione di rigonfiamento (STF2).

Sono state eseguite anche 2 prove secondo il metodo Huder-Amberg, i cui valori di  $k_{100 \text{ H-A}}$  sono riportati nella tabella seguente (e prove di rigonfiamento libero effettuate alla stessa profondità che escludono un comportamento rigonfiante): in base alla composizione mineralogica e agli elevati valori di rigidità del materiale, il comportamento rigonfiante risulta trascurabile.

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$k_{100 \text{ H-A}}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
IF16G12	CI 6	157	5.7
IF16G12	CI 8	167	5.2

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>138 di 184</b>

### 10.7.7 Stato di sforzo

Lo stato di sforzo in situ è stato valutato a partire dai risultati di prove dilatometriche eseguite nell'ambito delle Campagne indagini 2017-2018 - 2021.

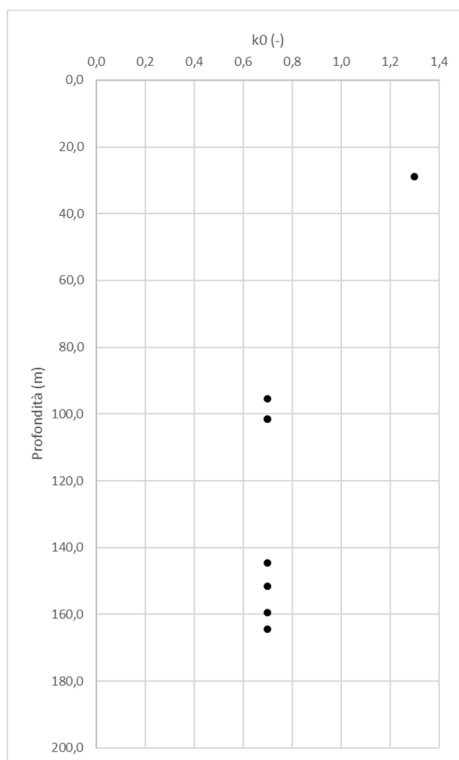


Figura 10-122 – Coefficiente di spinta a riposo da prove dilatometriche - STF2.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>139 di 184</b>

### 10.7.8 Conducibilità idraulica

Il grafico seguente illustra i valori di conducibilità idraulica misurati con prove Lefranc e Lugeon per la formazione STF2. Il suo valore si attesta intorno a  $1 \cdot 10^{-8}$ - $7 \cdot 10^{-8}$  m/s.

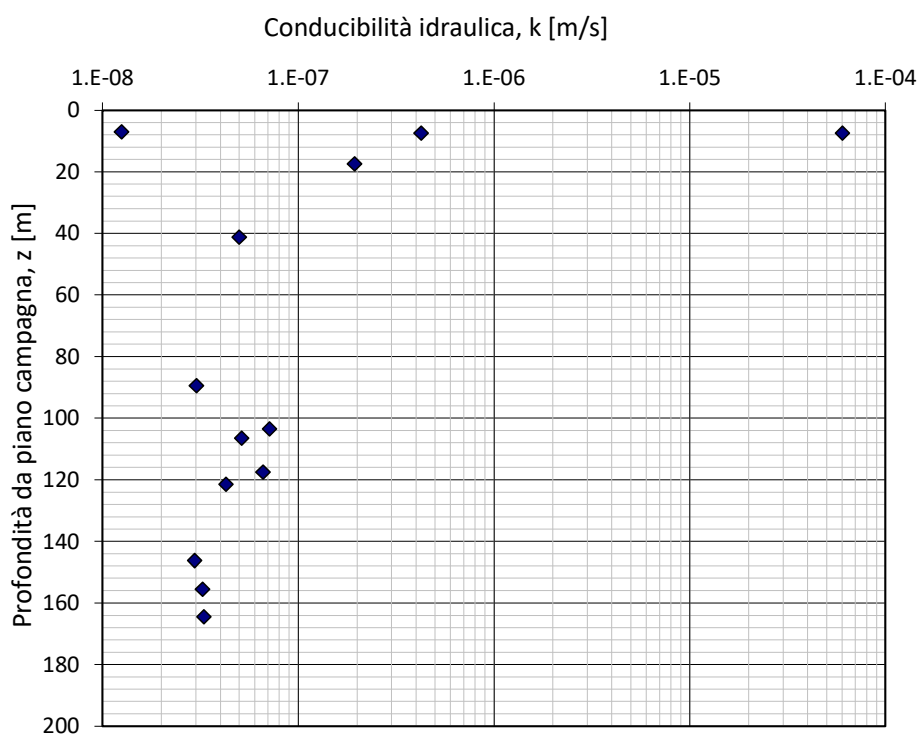


Figura 10-123 - Conducibilità idraulica - STF2.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>140 di 184</b>

### 10.7.9 Riepilogo parametri STF2

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e prove descritte nei paragrafi precedenti, ha condotto alla definizione dei seguenti intervalli di valori rappresentativi dei principali parametri geotecnici per l'Unità STF2:

STF2		
Parametri	u.m	Copertura (m)
		p.c. 105 ÷215
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	20÷22
c'	kPa	80÷160(*)
C <sub>u</sub>	kPa	550÷1100(*)
$\phi'$	°	26÷27
E'	MPa	800÷1200

(\*) lineare con profondità

**Tabella 10-24 – STF2 - Riepilogo parametri geotecnici**



APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 141 di 184

## 10.8 MEMBRO PELITICO-ARENACEO DEL FIUME MISCANO

### 10.8.1 Note introduttive

La formazione BNA2 è costituita da argille più o meno siltose e marnose, silt più o meno argillosi e sabbiosi, marne litoidi.

Lo scavo della galleria Hirpinia intercetta l'Unità BNA2 per un tratto di circa 4700 m, con coperture comprese tra 35 m e 200 m.

Il materiale è stato caratterizzato a partire dai risultati di prove di laboratorio e prove in foro.



Figura 10-124 – Carote prelevate relative alla formazione BNA2, sondaggio S19.

### 10.8.2 Sondaggi di riferimento

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

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

Caratteristiche sondaggio		Prove in foro		Prove lab rocce					Prove lab terreni					
ID sond.	Lungh. (m)	Dilatam.	Pressiom.	UCS	PLT	TX	Trazione	Vel ultras.	TXUU	TXCIU	TxCID	TD	ELL	Rigonfiamento
IO S8	140	2										7		
IF16G13	65	3								4		1		
IF16G14	97,35	3										1	3	
IF16G17	48	3								2	1	3		1
IF16G33	150								2					
S17	200	3		3	15	6		12						
S18	105	3		1		2	2	4				3	5	2
S19	185	3				11	2							

Tabella 10-25 – Sondaggi di riferimento per la caratterizzazione e loro caratteristiche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>142 di 184</b>

### 10.8.3 Proprietà fisiche

È stata condotta un'analisi dei dati disponibili relativamente alla determinazione delle proprietà fisiche della formazione.

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggi mostrano la prevalenza dei termini limosi e, secondariamente, sabbiosi e argillosi. Il terreno è classificabile come limo con argilla debolmente sabbioso.

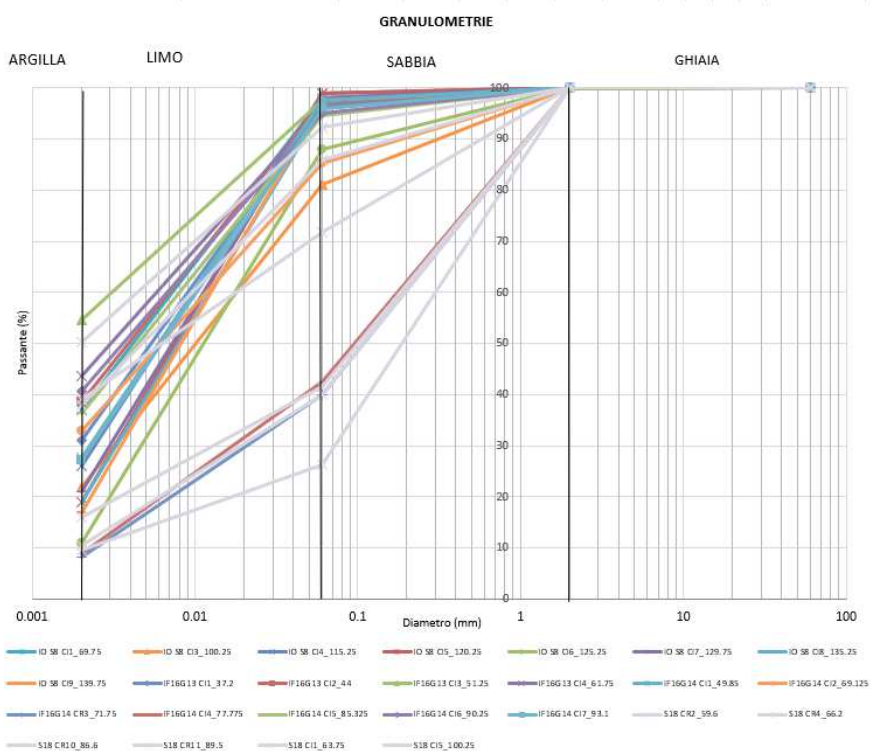


Figura 10-125 – Curva granulometrica (BNA2).

Il peso per unità di volume è variabile tra 21 ÷ 22 KN/m<sup>3</sup>.

Il contenuto d'acqua naturale  $w_N$  è variabile tra 9÷15%, intervallo che si mantiene pressoché costante con la profondità nel volume indagato.

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

- Limite liquido  $w_L$ : 35÷75%
- Limite plastico  $w_P$ : 20÷35%
- Indice di plasticità  $I_p$ : 15÷45%
- Indice di consistenza  $I_c$ : 1.3÷2.0

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>143 di 184</b>

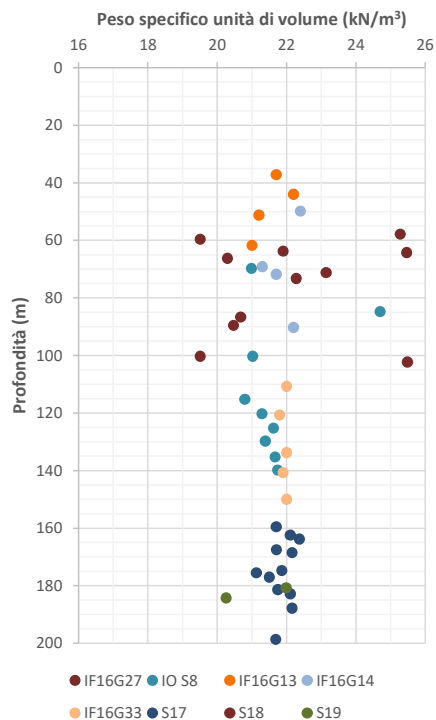


Figura 10-126 – Peso specifico per unità di volume (BNA2).

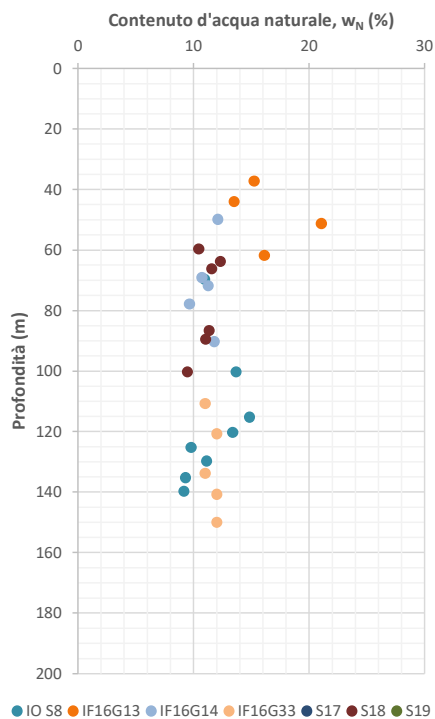


Figura 10-127 – Contenuto d'acqua naturale (BNA2).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO IF3A 02 E ZZ RG GN0000 001 D 144 di 184

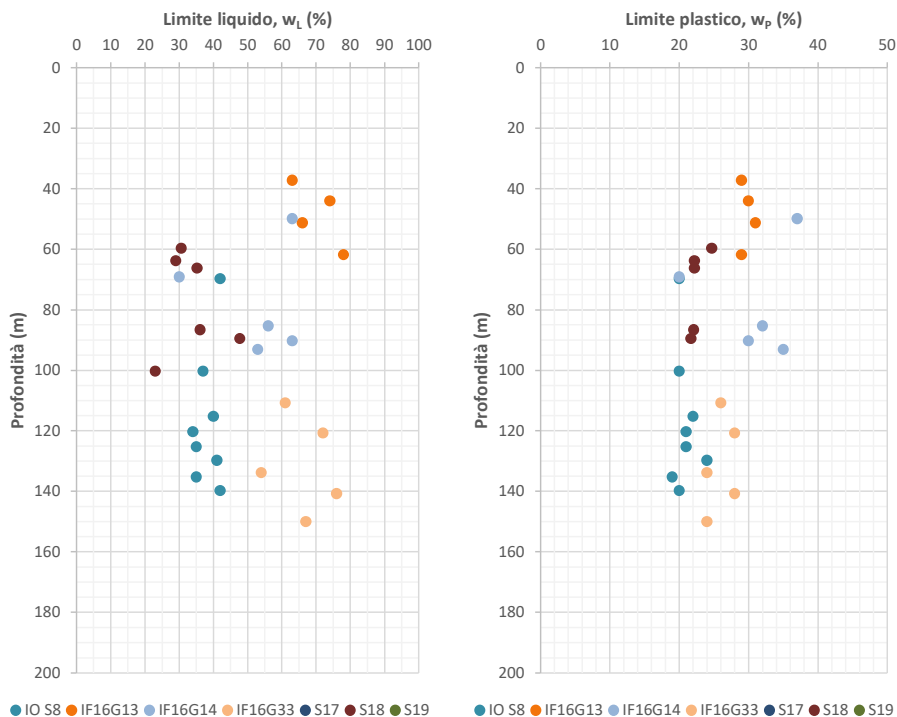


Figura 10-128 – Limite liquido e limite plastico (BNA2).

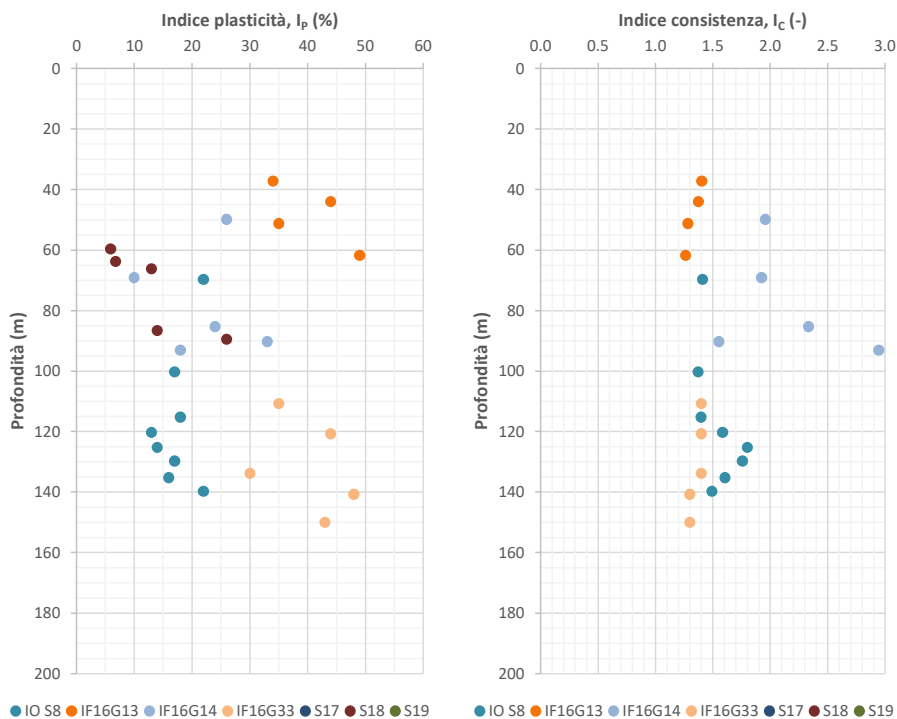


Figura 10-129 – Indice plastico ed indice di consistenza (BNA2).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA          II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 145 di 184

## 10.8.4 Proprietà meccaniche di resistenza

### Prove in foro

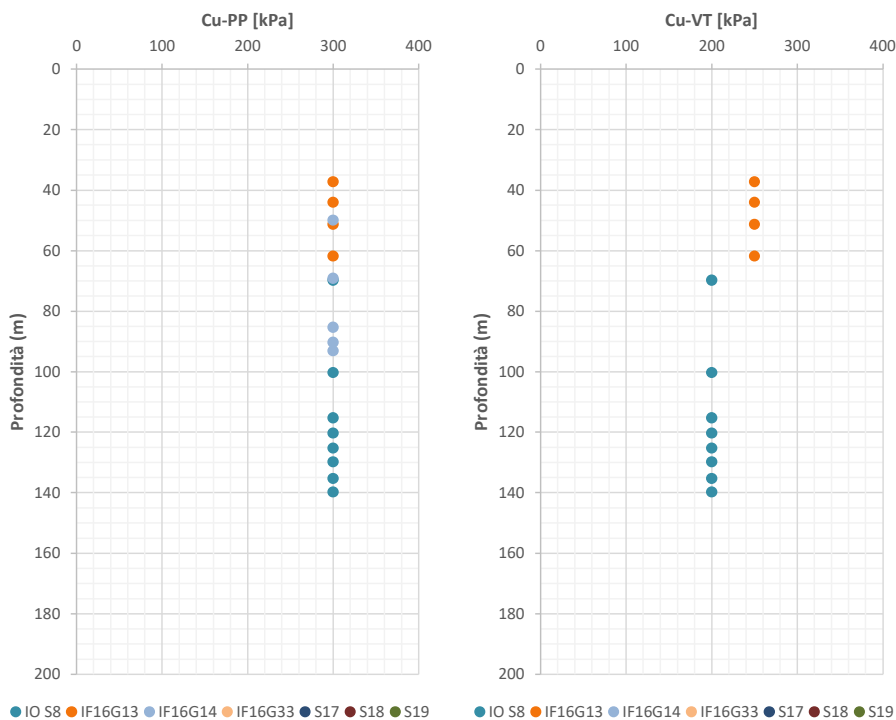


Figura 10-130 - Coesione non drenata da Pocket Penetrometer e Vane Test (BNA2).

I valori di resistenza non drenata da Pocket Penetrometer si ricavano dal valore di resistenza alla punta, come illustrato nel Capitolo 8, paragrafo 8.3.3. I valori di coesione non drenata  $C_u=300\text{kPa}$  vanno intesi come valori minimi, ottenuti da una resistenza alla punta maggiore di  $600\text{kPa}$ . Dai risultati disponibili risulta che la coesione non drenata assume prevalentemente valori superiori ai  $300\text{kPa}$  per le profondità interessate dallo scavo della galleria.

Di seguito si riportano i valori di coesione non drenata da prove SPT, ottenuti applicando la correlazione di Stroud (1974), e da prove dilatometriche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>146 di 184</b>

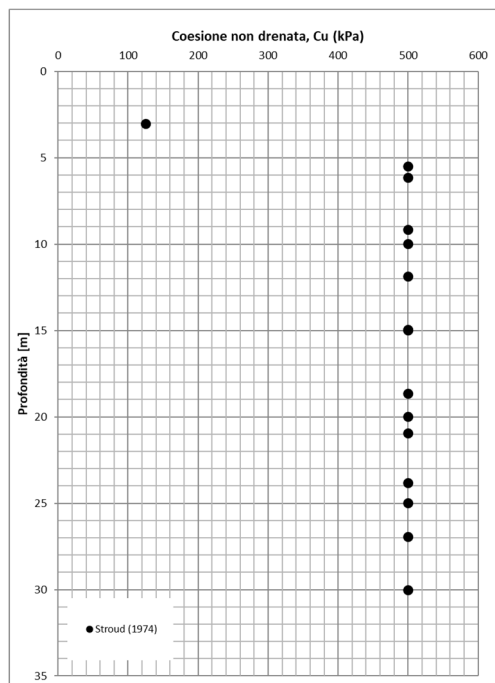


Figura 10-131 - Coesione non drenata da SPT (BNA2).

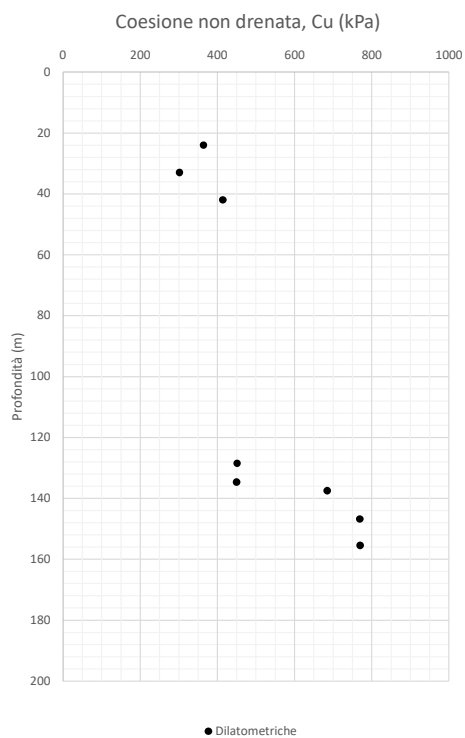


Figura 10-132 - Coesione non drenata da prove dilatometriche (BNA2).

I dati forniti dalle prove dilatometriche mostrano un aumento della coesione non drenata con la profondità per la formazione in esame.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>147 di 184</b>

### Prove di laboratorio

Sono stati analizzati i risultati da prove di laboratorio su campioni indisturbati per definire le proprietà meccaniche della formazione. Sono state eseguite prove di taglio diretto e compressione triassiale consolidata non drenata (CIU) per definire i parametri di coesione efficace ( $c'$ ) e angolo d'attrito ( $\varphi'$ ).

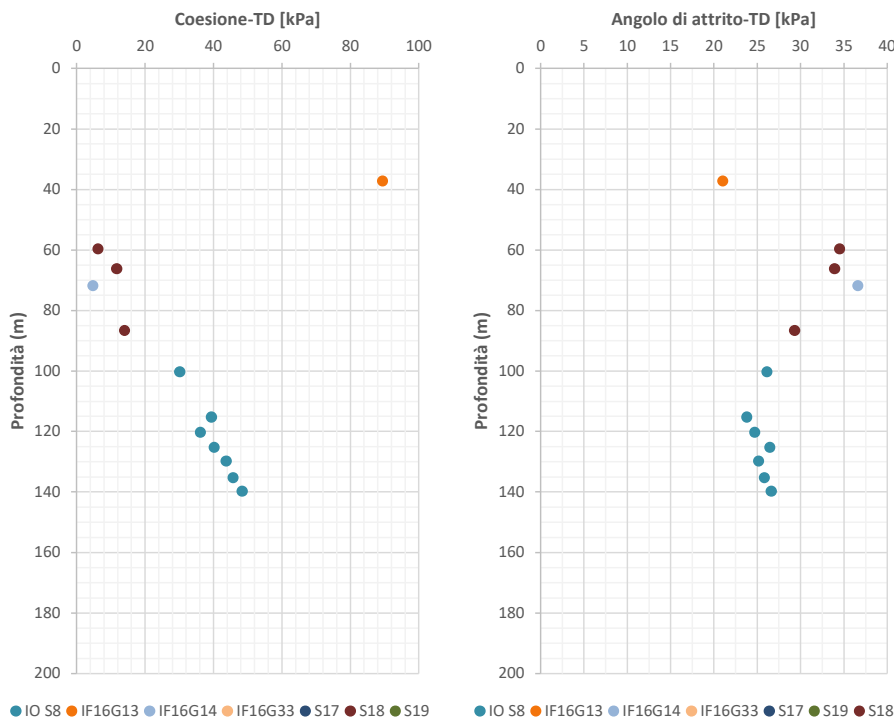
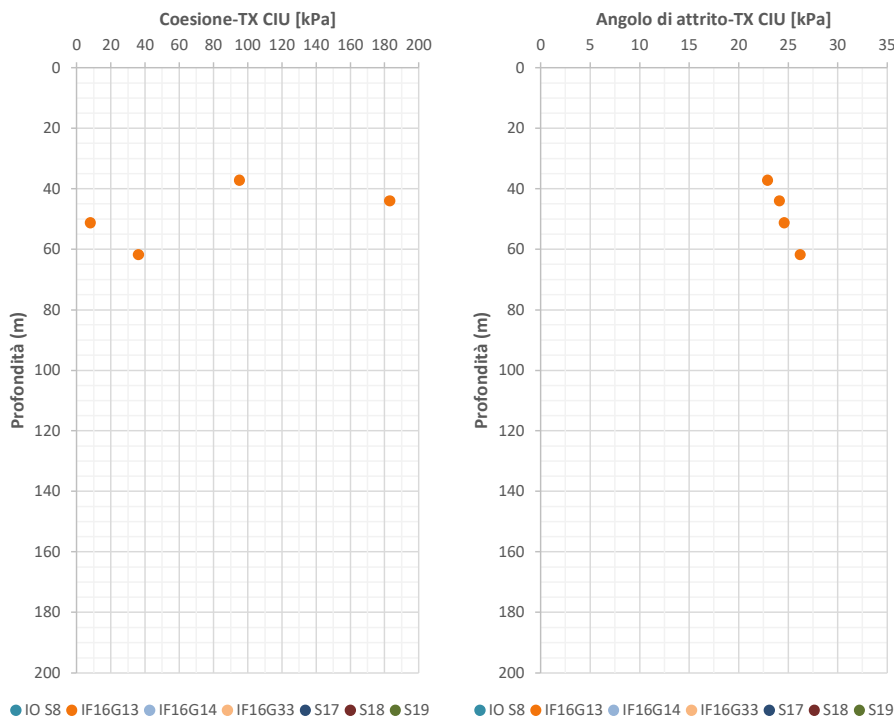


Figura 10-133 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TD (BNA2).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>148 di 184</b>



**Figura 10-134 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TX CIU (BNA2).**

Le prove di laboratorio forniscono un riscontro sui parametri meccanici di resistenza in sforzi totali e efficaci. Considerando i risultati forniti da prove di taglio diretto, si nota un miglioramento delle proprietà di coesione efficace con la profondità nel volume indagato. Interpolando linearmente i risultati da prove di taglio, la coesione efficace aumenta con la profondità da un valore di 5 kPa a 70 m di profondità fino ad un massimo di 90 kPa a 200 m di profondità. Valori di coesione efficace più elevati si ottengono da prove triassiali CIU, con valori compresi tra 8 kPa e 180 kPa per profondità inferiori ai 60m.

I valori di angolo d'attrito sono stati ricavati da prove di taglio diretto e prove triassiali CIU. L'angolo d'attrito mostra una tendenza ad aumentare con la profondità, sia per i risultati da prove TD che TXCIU. Interpolando linearmente i risultati da prove di taglio diretto, realizzate a profondità che interessano lo scavo della galleria, l'angolo d'attrito assume valori compresi tra 24°÷ 30°per profondità superiori ai 100m. A profondità inferiori sono stati considerati anche i risultati da prove triassiali CIU, che permettono di definire un range di angolo d'attrito di 20°-25°.

I valori della resistenza non drenata sono ricavati da prove triassiali UU e CIU e da prove ad espansione laterale libera. La coesione non drenata varia tra 100 ÷ 660 kPa nel volume indagato.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>149 di 184</b>

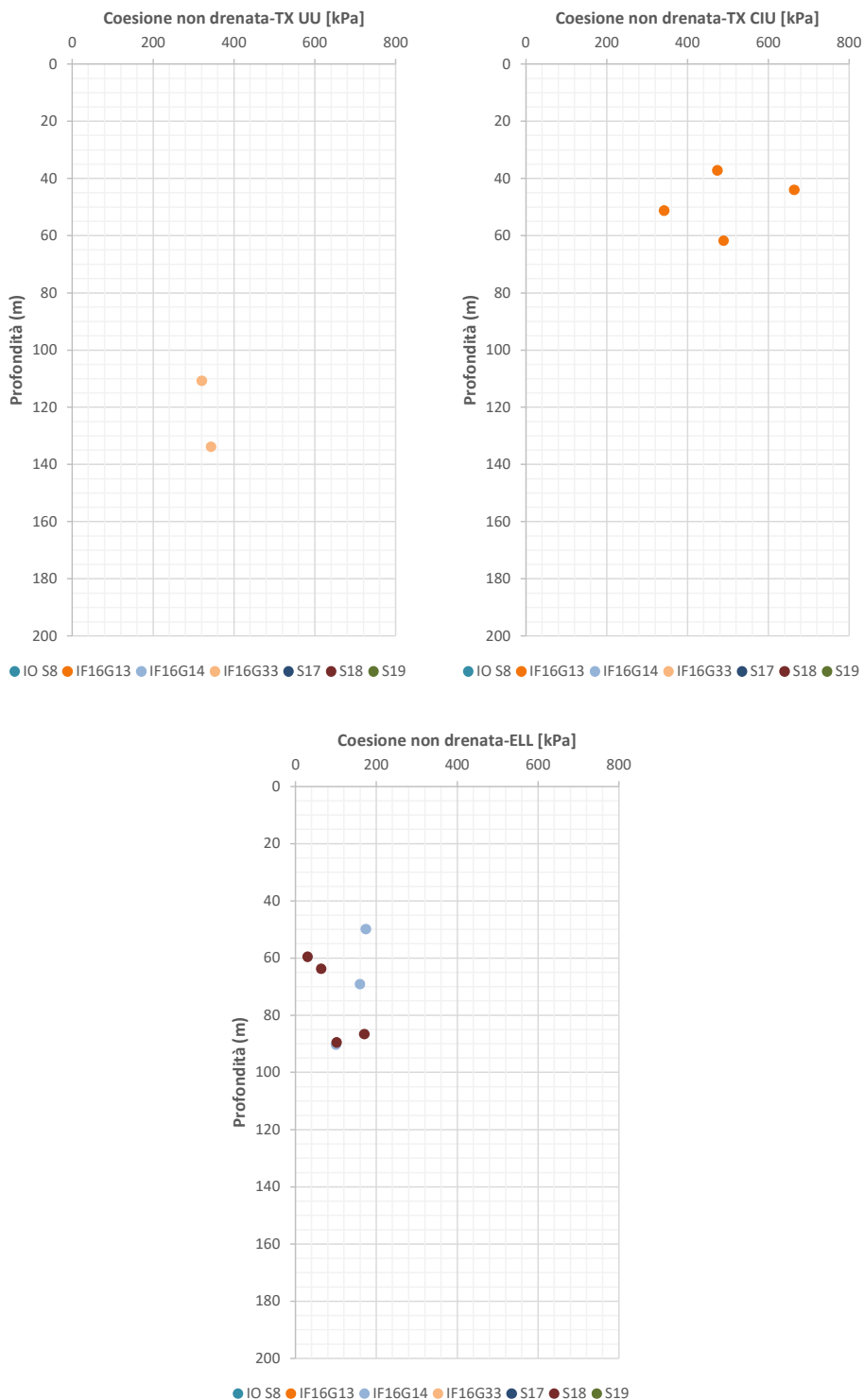


Figura 10-135 - Coesione non drenata da prove di laboratorio (BNA2).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>150 di 184</b>

I risultati disponibili non forniscono informazioni sull'andamento della coesione non drenata per profondità superiori a 140m. Tuttavia, i dati forniti da prove dilatometriche permettono di definire una tendenza all'aumento della coesione non drenata con l'aumentare della profondità. Considerato che i pochi dati disponibili fanno riferimento a campioni prelevati a profondità inferiori a quelle interessate dallo scavo della galleria, i risultati delle prove triassiali disponibili sono stati analizzati interpolando i valori di coesione non drenata in funzione della pressione di cella (o pressione di confinamento) applicata nell'esecuzione della prova. La pressione di confinamento può essere ricondotta allo sforzo geostatico cui è sottoposto il materiale in sito, e dunque, in questo modo, è possibile correlare la coesione non drenata con la profondità.

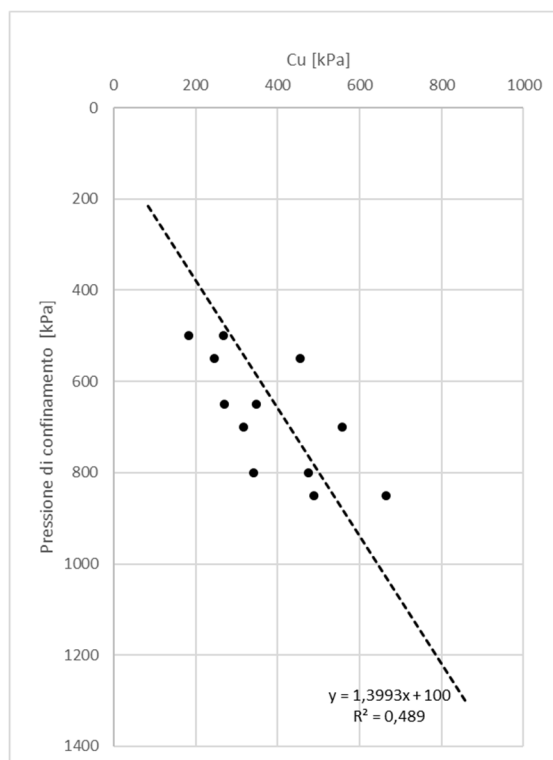


Figura 10-136 – Correlazione della coesione non drenata con la pressione di confinamento da prove TXCIU (BNA2).

Copertura	Livello falda	$\gamma$	m	q	$p_c'$	Cu/Fs
[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]	[kPa]	[kPa]
35	30	22	1,4	100	470	<b>200</b>
100	90	22			1300	<b>550</b>
150	130	22			2000	<b>850</b>
200	130	22			3100	<b>1100</b>

I valori di Cu ottenuti per interpolazione lineare sono stati divisi cautelativamente per un coefficiente di sicurezza pari a 1.5, tenuto conto del grado di dispersione R<sup>2</sup> dei dati a disposizione e dei risultati ricavati da prove dilatometriche.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>151 di 184</b>

### 10.8.5 Proprietà meccaniche di deformabilità

Per determinare le proprietà di deformabilità della formazione si è fatto riferimento ai risultati ottenuti da prove dilatometriche eseguite nei fori di sondaggio.

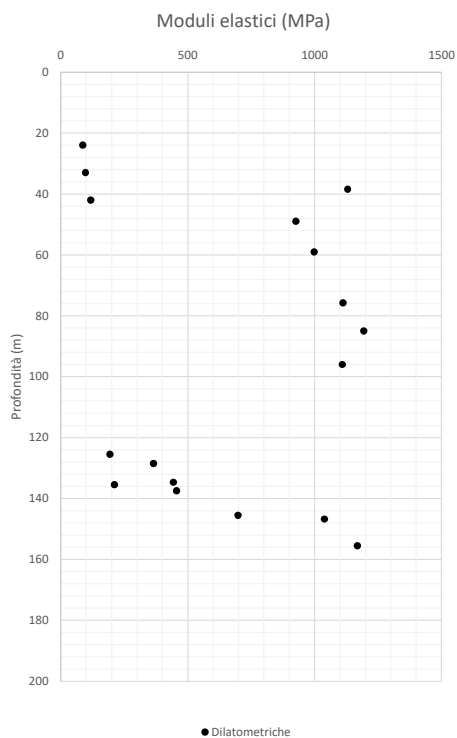
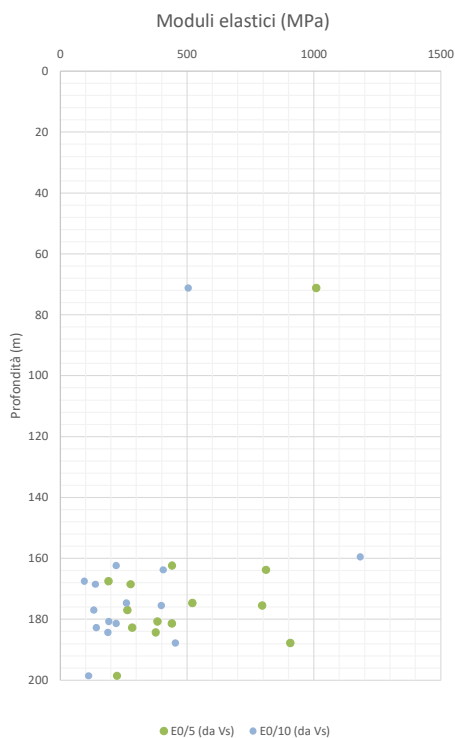


Figura 10-137 - Modulo elastico da prove dilatometriche (BNA2).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>152 di 184</b>



**Figura 10-138- Modulo elastico da prove di velocità ultrasonica (BNA2).**

Le prove analizzate mostrano una grande variabilità di risultati, con valori compresi tra 85 MPa e 1200 MPa, senza definire uno specifico andamento con la profondità.

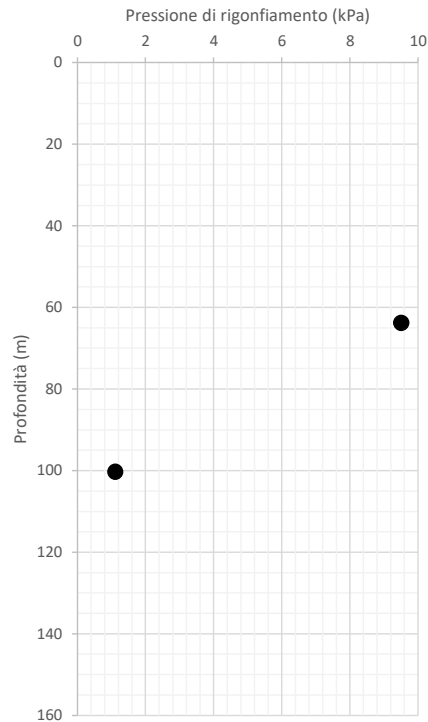
### 10.8.6 Rigonfiamento

Sono state eseguite 2 prove di rigonfiamento impedito su campioni nell'Unità BNA2. I valori di pressione  $\sigma_R$  ottenuti dalle prove eseguite sono riportati di seguito:

ID sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\sigma_R$
[-]	[-]	[m]	[kPa]
<b>S18</b>	CI1	63,75	9,5
<b>S18</b>	CI5	100,25	1,1

**Tabella 10-26 – Pressioni di rigonfiamento da prove di rigonfiamento – BNA2.**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>153 di 184</b>



**Figura 10-139 – Pressione di rigonfiamento (BNA2).**

Sono state eseguite anche 2 prove secondo il metodo Huder-Amberg, i cui valori di  $k_{100 \text{ H-A}}$  sono riportati nella tabella seguente; in base alla composizione mineralogica e agli elevati valori di rigidità del materiale, il comportamento rigonfiante risulta trascurabile.

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$k_{100 \text{ H-A}}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
IF16G33	CI 2	120.7	3.3
IF16G33	CI 4	140.7	4.5

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>				
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>				
<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>154 di 184</b>

### 10.8.7 Stato di sforzo

Lo stato di sforzo in situ è stato valutato a partire dai risultati di prove dilatometriche eseguite nell'ambito delle Campagne indagini 2017-2018-2021.

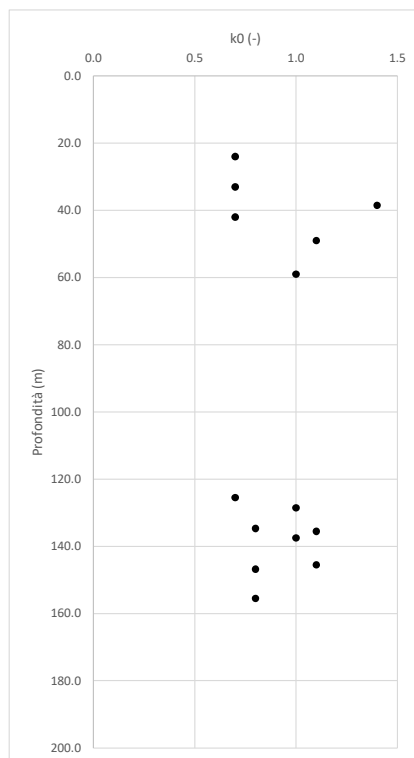


Figura 10-140 – Coefficiente di spinta a riposo da prove dilatometriche - BNA2.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 155 di 184

### 10.8.8 Conducibilità idraulica

Il grafico seguente illustra i valori di conducibilità idraulica misurati con prove Lefranc e Lugeon per la formazione BNA2. Il suo valore si attesta intorno a  $10^{-9}$  -  $10^{-7}$  m/s.

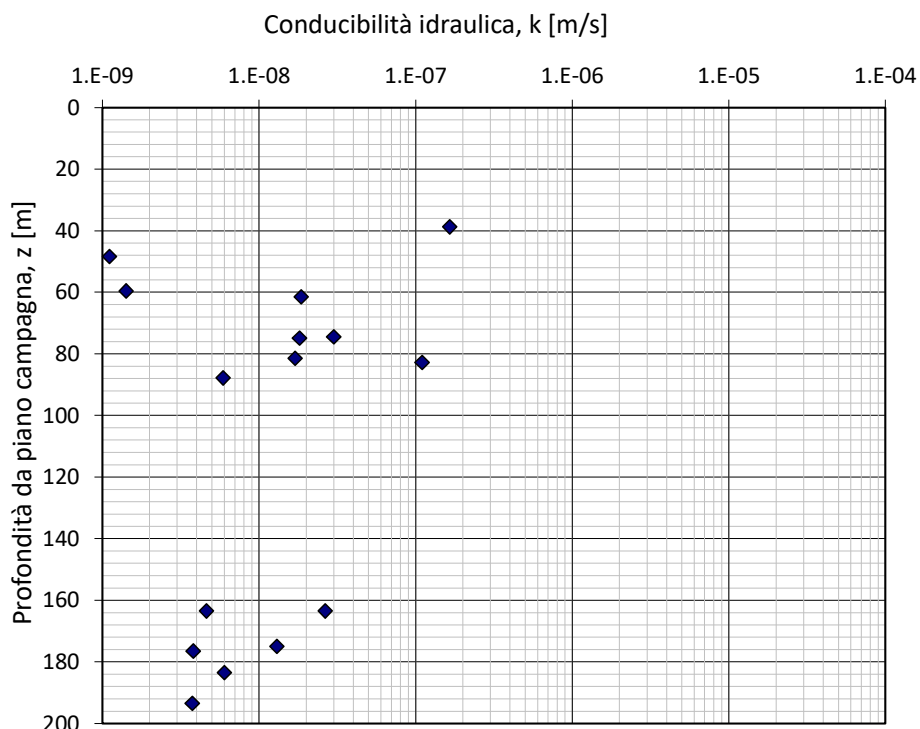


Figura 10-141 - Conducibilità idraulica - BNA2.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 156 di 184

### 10.8.9 Riepilogo parametri BNA2

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e prove descritte nei paragrafi precedenti, ha condotto alla definizione dei seguenti intervalli di valori rappresentativi dei principali parametri geotecnici per l'Unità BNA2:

BNA2			
Parametri	u.m	Copertura (m) p.c. 35 ÷ 200	
		35 ÷ 100	100 ÷ 200
γ	kN/m <sup>3</sup>	21÷22	21÷22
c'	kPa	10÷40(*)	40÷90(*)
C <sub>u</sub>	kPa	200÷550(*)	550÷1100(*)
φ'	°	20÷25	24÷30
E'	MPa	100÷1200	100÷1200

(\*) lineare con profondità

Tabella 10-27 – BNA2 - Riepilogo parametri geotecnici



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>157 di 184</b>

## 10.9 MEMBRO DI FLUMERI DELLE MOLASSE DI ANZANO

### 10.9.1 Note introduttive

Il Membro di Flumeri è costituito da argille limose, argille marnose e marne con frequenti intercalazioni di sabbie e sabbie limose.

Lo scavo della galleria Hirpinia intercetta l'Unità ANZ2 per un tratto di circa 1700 m, con coperture comprese tra 110 m e 170 m.

Il materiale è stato caratterizzato a partire dai risultati di prove di laboratorio e prove in foro.

CASSETTA 30 (145.0 – 150.0 m)



Figura 10-142 – Carote prelevate a quota cavo relative alla formazione ANZ2, sondaggio S20.

### 10.9.2 Sondaggi di riferimento

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

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

Caratteristiche sondaggio		Prove in foro		Prove lab rocce					Prove lab terreni					
ID sond.	Lungh. (m)	Dilatom.	Pressiom.	UCS	PLT	TX	Trazione	Vel ultras.	TXUU	TXCIU	TxCID	TD	ELL	Rigonfiamento
IO S9	150	2										7		
IF16G26	155	3												
S20INCL	150	2		3		1				1	1	1		7

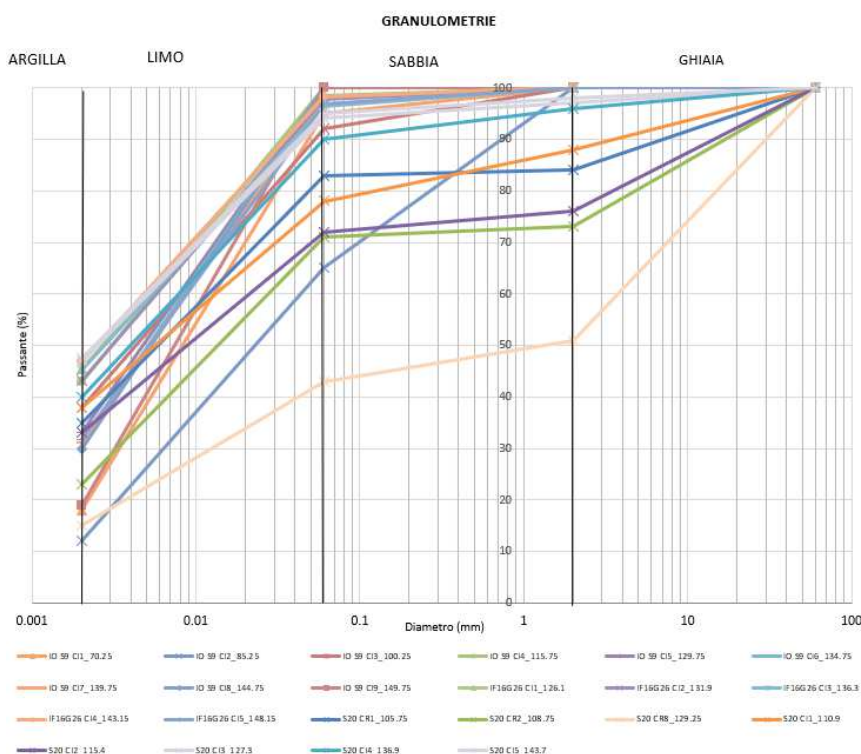
Tabella 10-28 – Sondaggi di riferimento per la caratterizzazione e loro caratteristiche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>158 di 184</b>

### 10.9.3 Proprietà fisiche

È stata condotta un'analisi dei dati disponibili relativamente alla determinazione delle proprietà fisiche della formazione.

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggi mostrano la prevalenza dei termini limosi e, secondariamente, argillosi. Il terreno è classificabile come limo con argilla.



**Figura 10-143 – Curva granulometrica (ANZ2).**

Il peso per unità di volume è variabile tra 20 ÷ 22 KN/m<sup>3</sup>.

Il contenuto d'acqua naturale  $w_N$  è variabile tra 12÷20%, intervallo che si mantiene pressoché costante con la profondità nel volume indagato.

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

- Limite liquido  $w_L$ : 55÷70%
- Limite plastico  $w_P$ : 12÷28%
- Indice di plasticità  $I_p$ : 25÷45%
- Indice di consistenza  $I_c$ : 1.0÷1.5

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>159 di 184</b>

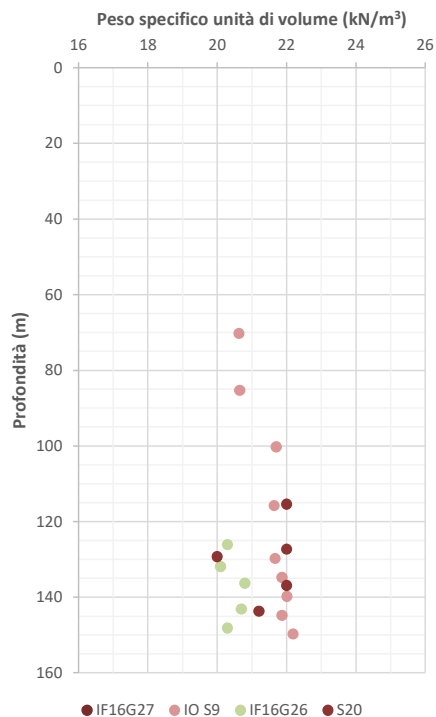


Figura 10-144 – Peso specifico per unità di volume (ANZ2).

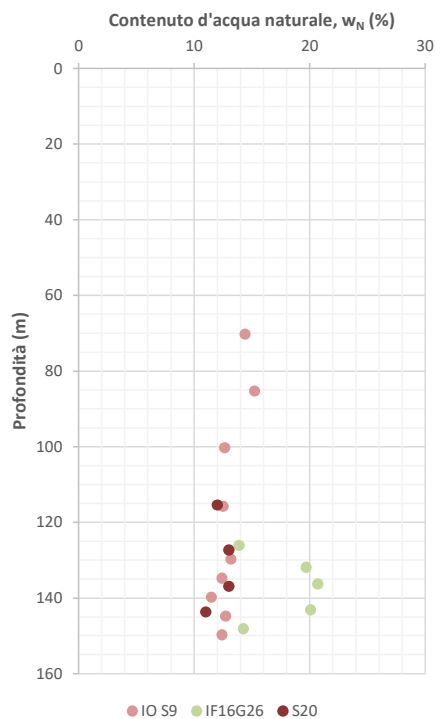


Figura 10-145 – Contenuto d'acqua naturale (ANZ2).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 160 di 184

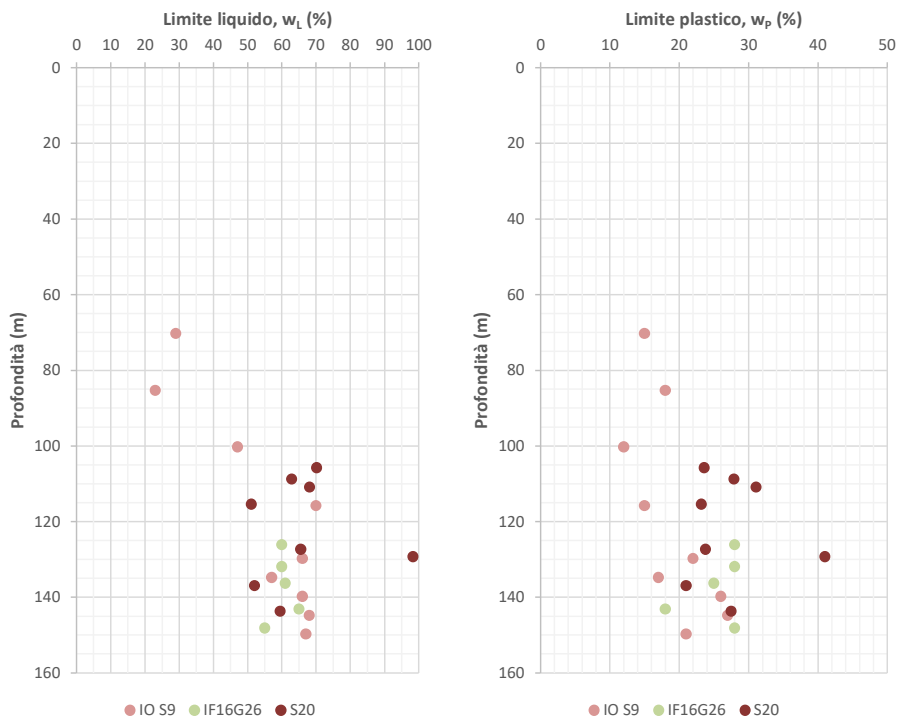


Figura 10-146 – Limite liquido e limite plastico (ANZ2).

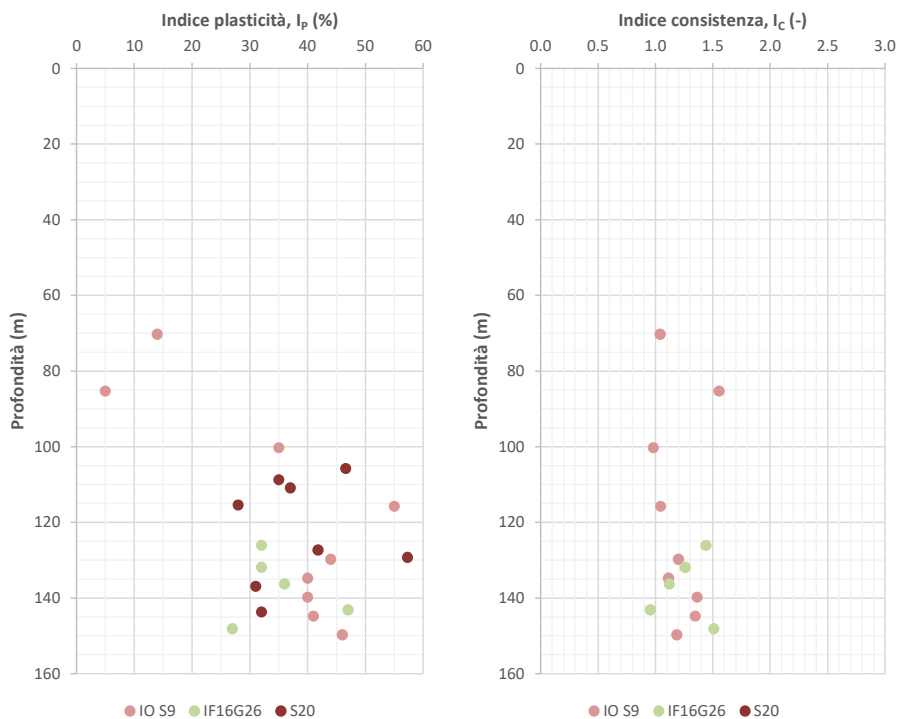
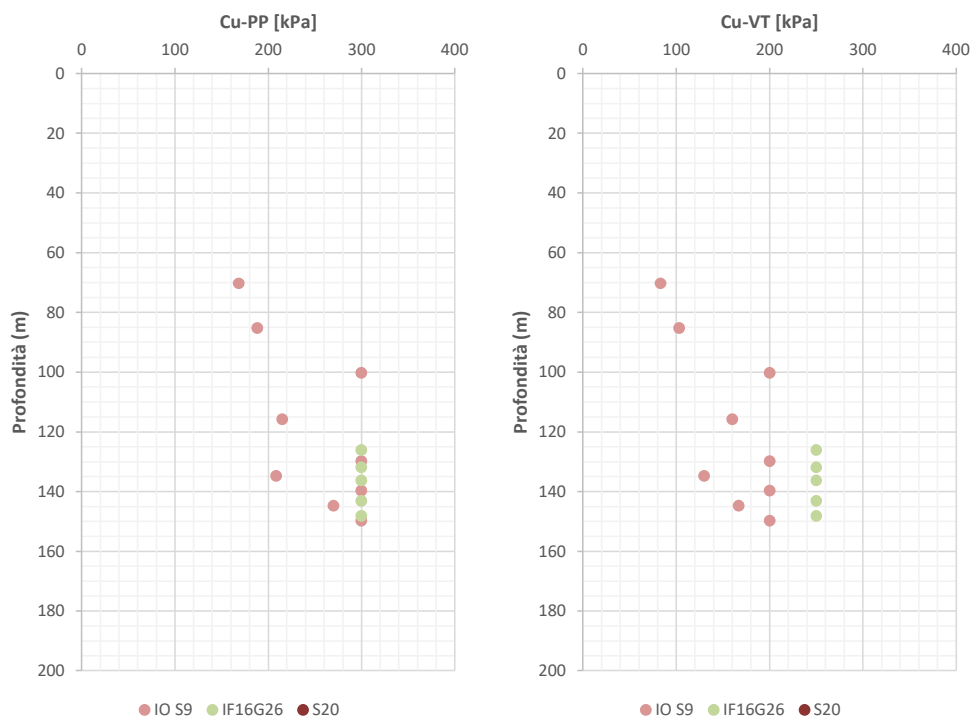


Figura 10-147 – Indice plastico ed indice di consistenza (ANZ2).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>161 di 184</b>

## 10.9.4 Proprietà meccaniche di resistenza

### Prove in foro

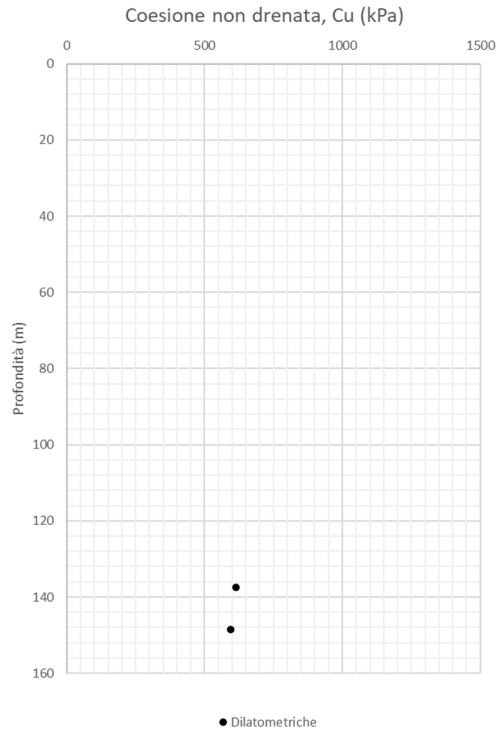


**Figura 10-148 - Coesione non drenata da Pocket Penetrometer e Vane Test (ANZ2).**

I valori di resistenza non drenata da Pocket Penetrometer si ricavano dal valore di resistenza alla punta, come illustrato nel Capitolo 8, paragrafo 8.3.3. I valori di coesione non drenata  $C_u=300\text{kPa}$  vanno intesi come valori minimi, ottenuti da una resistenza alla punta maggiore di  $600\text{ kPa}$ . Dai risultati disponibili risulta che la coesione non drenata assume prevalentemente valori superiori ai  $300\text{ kPa}$  per le profondità interessate dallo scavo della galleria.

Di seguito si riportano i valori di coesione non drenata da prove dilatometriche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>162 di 184</b>



**Figura 10-149 - Coesione non drenata da prove dilatometriche (ANZ2).**

### **Prove di laboratorio**

Sono stati analizzati i risultati da prove di laboratorio su campioni indisturbati per definire le proprietà meccaniche della formazione. Sono state eseguite prove di taglio diretto e compressione triassiale consolidata non drenata (CIU) per definire i parametri di coesione efficace ( $c'$ ) e angolo d'attrito ( $\varphi'$ ).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA          II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 163 di 184

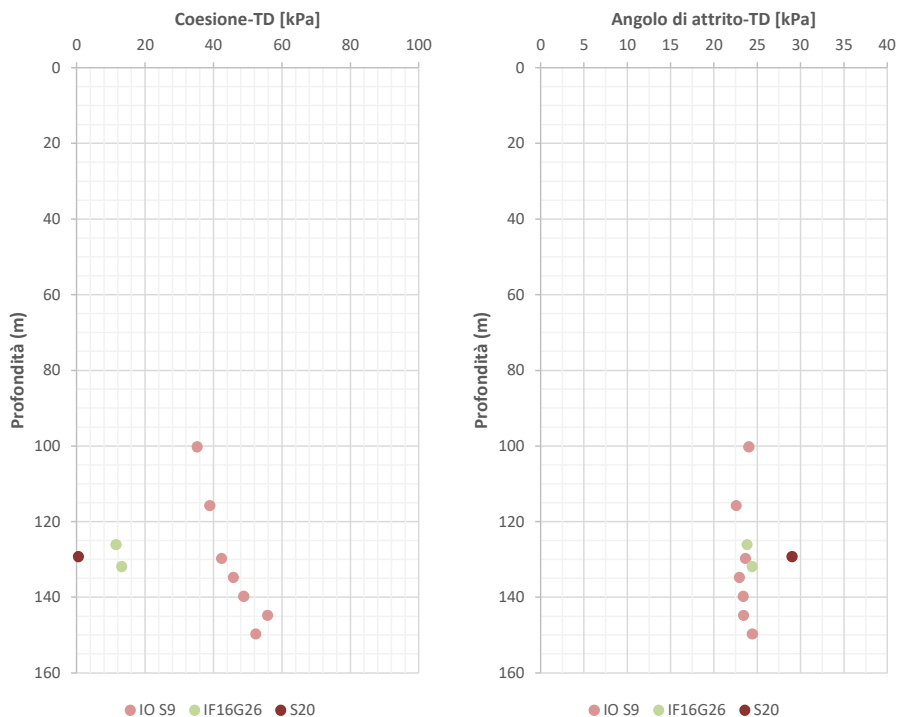


Figura 10-150 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TD (ANZ2).

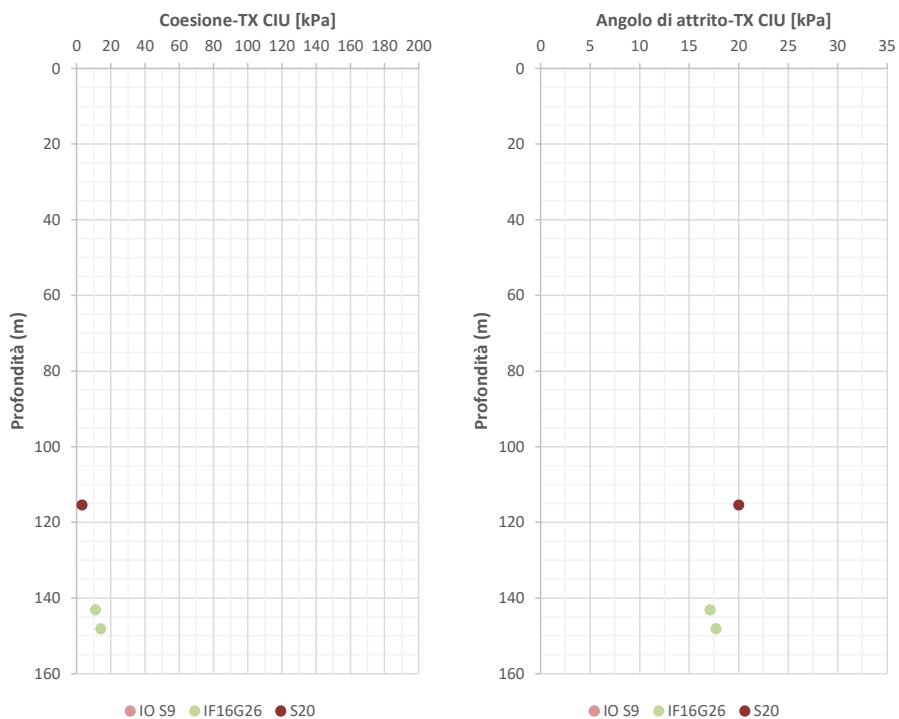
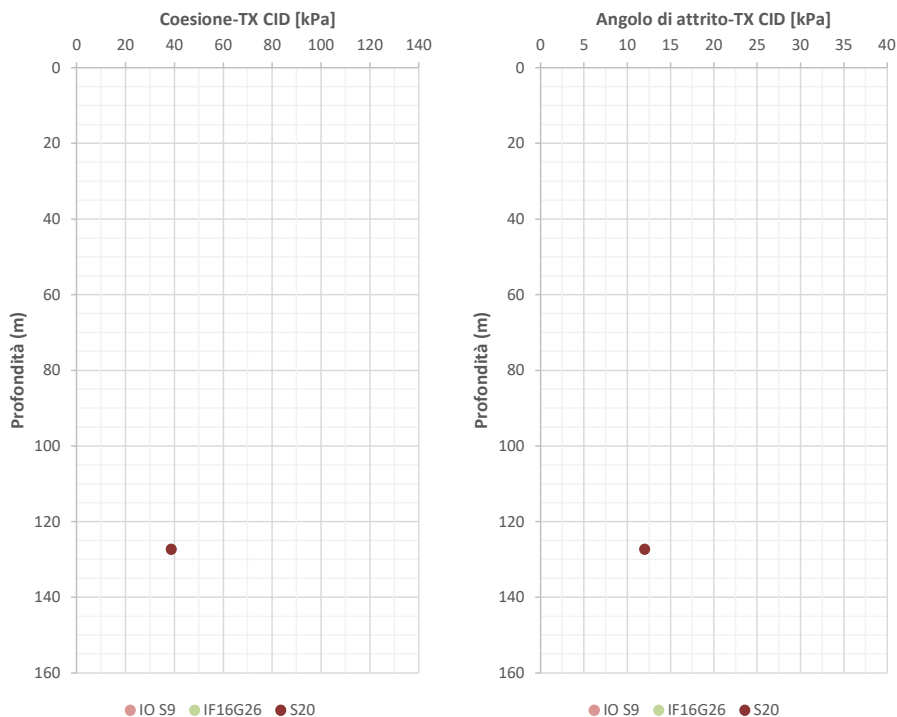


Figura 10-151 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TX CIU (ANZ2).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF</b> <b>ELETTRI-FER M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>164 di 184</b>



**Figura 10-152 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TX CID (ANZ2).**

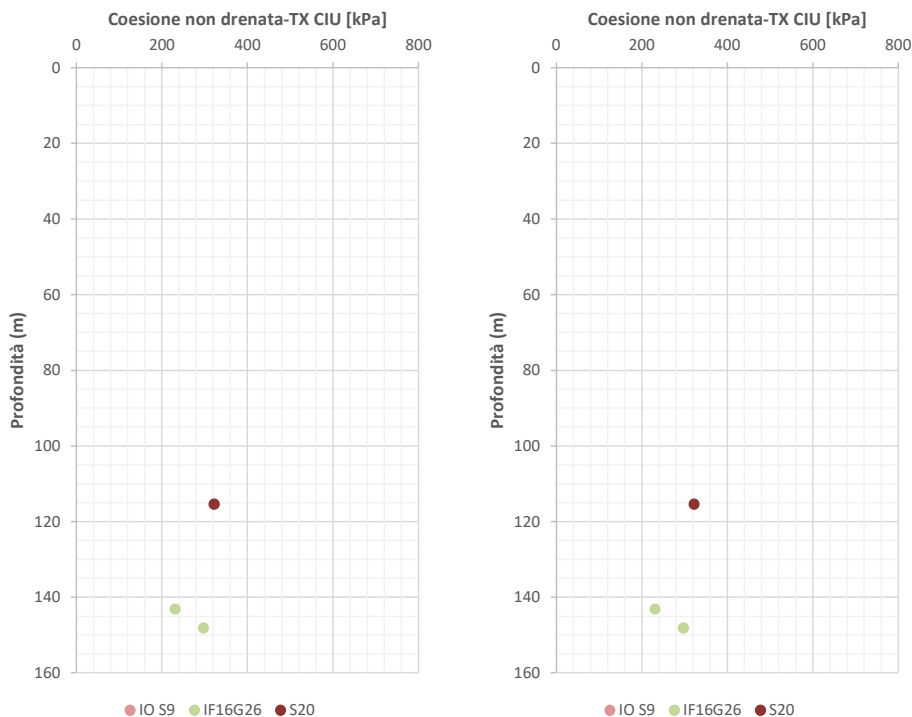
Considerando nel loro insieme il set di prove effettuate, e si nota un miglioramento delle proprietà di coesione efficace con la profondità nel volume indagato. Considerando le sole prove di taglio diretto, la coesione efficace aumenta con la profondità da un valore di 35 kPa a 100 m di profondità fino ad un massimo di 55 kPa a 150 m di profondità. Non sono stati considerati i valori isolati di coesione efficace intorno a 3-15 kPa.

I valori di angolo d'attrito sono stati ricavati da prove di taglio diretto e prove triassiali CIU. L'angolo d'attrito non mostra variazioni significative con la profondità ma assume valori tra  $22^{\circ} \div 25^{\circ}$  considerando i risultati di prove di taglio diretto, mentre valori inferiori nel range  $17^{\circ} \div 18^{\circ}$  sono stati riscontrati per prove triassiali CIU.

I valori della resistenza non drenata sono ricavati da prove triassiali UU e CIU. La coesione non drenata varia tra  $130 \div 300$  kPa nel volume indagato, valori nettamente inferiori a quanto ricavato da prove in foro.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA          II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>165 di 184</b>



**Figura 10-153 - Coesione non drenata da prove di laboratorio (ANZ2).**

Considerato il numero limitato di dati disponibili e che le prove in foro forniscono valori superiori di coesione non drenata, i risultati delle prove triassiali sono stati analizzati interpolando i valori di coesione non drenata in funzione della pressione di cella (o pressione di confinamento) applicata nell'esecuzione della prova. La pressione di confinamento può essere ricondotta allo sforzo geostatico cui è sottoposto il materiale in sito, e dunque, in questo modo, è possibile correlare la coesione non drenata con la profondità.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>166 di 184</b>

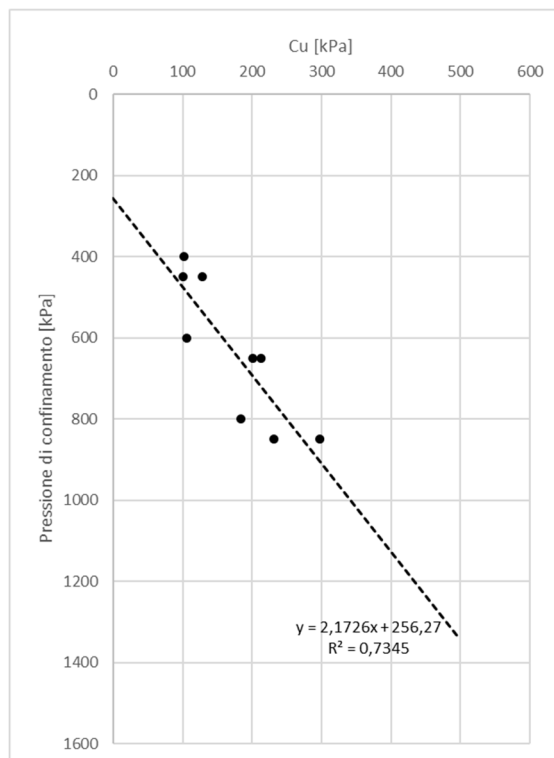


Figura 10-154 – Correlazione della coesione non drenata con la pressione di confinamento da prove TXCIU (ANZ2).

Copertura	Livello falda	$\gamma$	m	q	$p_c'$	Cu/Fs
[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]	[kPa]	[kPa]
100	90	21	2,173	256,27	1200	<b>350</b>
120	110	21			1420	<b>450</b>
170	160	21			1970	<b>650</b>

I valori di Cu ottenuti per interpolazione lineare sono stati divisi cautelativamente per un coefficiente di sicurezza pari a 1.3, tenuto conto del grado di dispersione R<sup>2</sup> dei dati a disposizione e dei dati ricavati da prove dilatometriche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>167 di 184</b>

### 10.9.5 Proprietà meccaniche di deformabilità

Per determinare le proprietà di deformabilità della formazione si è fatto riferimento ai risultati ottenuti da prove dilatometriche eseguite nei fori di sondaggio.

#### Prove in foro

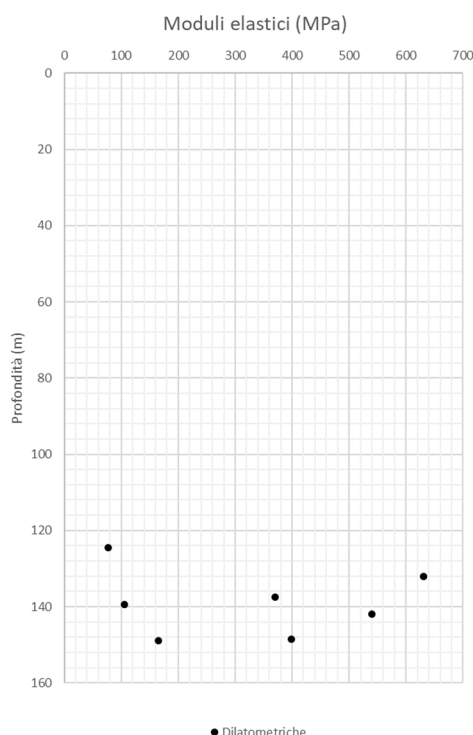


Figura 10-155 - Modulo elastico da prove dilatometriche (ANZ2).

Le prove analizzate mostrano una grande variabilità di risultati, senza definire uno specifico andamento con la profondità e con valori nel range 100 MPa – 600 MPa.

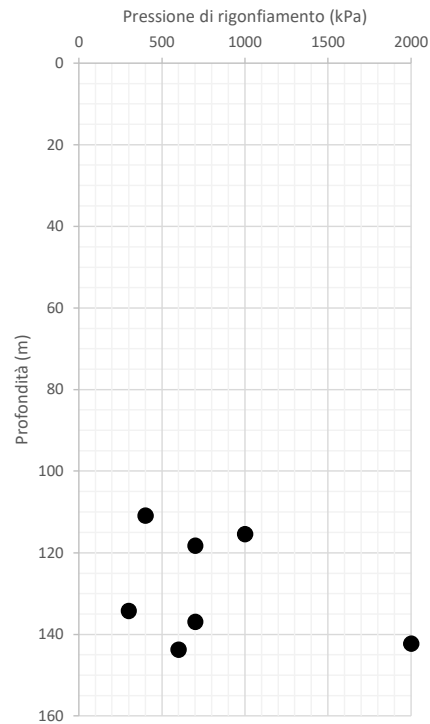
### 10.9.6 Rigonfiamento

Sono state eseguite 7 prove di rigonfiamento impedito su campioni nell'Unità ANZ2. I valori di pressione  $\sigma_R$  tali da impedire il rigonfiamento in cella edometrica sono riportati di seguito:

ID sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\sigma_R$
[-]	[-]	[m]	[kPa]
<b>S20</b>	CR5	118,25	700,0
<b>S20</b>	CR9	134,25	300,0
<b>S20</b>	CR11	142,25	2000,0
<b>S20</b>	CI1	110,90	400,0
<b>S20</b>	CI2	115,40	1000,0
<b>S20</b>	CI4	136,90	700,0
<b>S20</b>	CI5	143,70	600,0

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>168 di 184</b>

**Tabella 10-29 – Pressioni di rigonfiamento da prove di rigonfiamento impedito – ANZ2.**



**Figura 10-156 – Pressione di rigonfiamento (ANZ2).**

Dai risultati sperimentali la formazione in esame presenta un comportamento rigonfiante.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>169 di 184</b>

### 10.9.7 Stato di sforzo

Lo stato di sforzo in situ è stato valutato a partire dai risultati di prove dilatometriche eseguite nell'ambito delle Campagne indagini 2017-2018-2021.

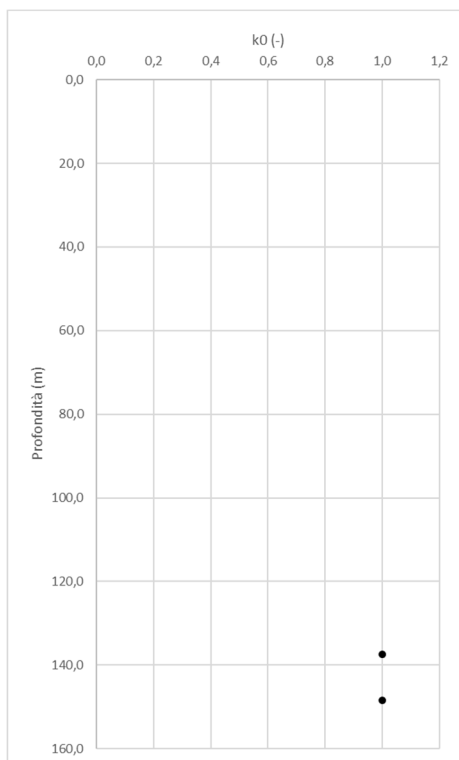


Figura 10-157 – Coefficiente di spinta a riposo da prove dilatometriche - ANZ2.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sottterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>170 di 184</b>

### 10.9.8 Conducibilità idraulica

Il grafico seguente illustra i valori di conducibilità idraulica misurati con prove Lefranc e Lugeon per la formazione ANZ2. Il suo valore si attesta intorno a  $10^{-9}$  -  $5 \cdot 10^{-8}$  m/s.

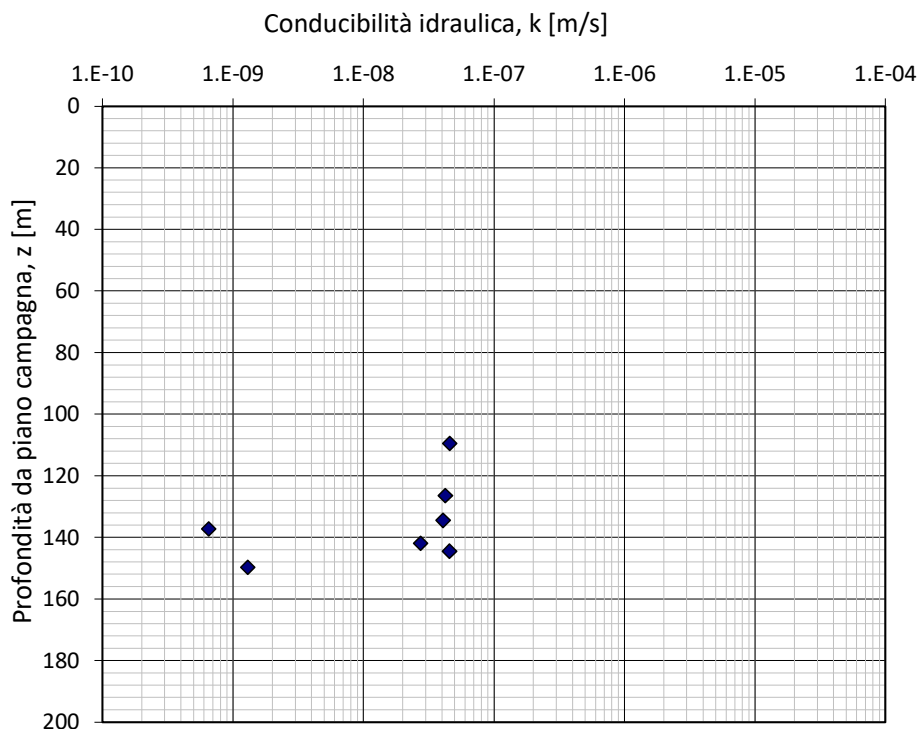


Figura 10-158 - Conducibilità idraulica - ANZ2.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 171 di 184

### 10.9.9 Riepilogo parametri ANZ2

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e prove descritte nei paragrafi precedenti, ha condotto alla definizione dei seguenti intervalli di valori rappresentativi dei principali parametri geotecnici per l'Unità ANZ2:

ANZ2/ANZ2a		
Parametri	u.m	Copertura (m)
		110 ÷ 170
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	20÷22
$c'$	kPa	35÷55(*)
$C_u$	kPa	350÷650(*)
$\phi'$	°	22÷25
$E'$	MPa	100÷600

(\*) lineare con profondità

**Tabella 10-30 – ANZ2 - Riepilogo parametri geotecnici.**

La galleria Hirpinia interseca per un tratto di circa 70 m con coperture variabili tra 110-125 m la formazione a composizione calcareo-marnosa del membro di Flumeri: ANZ2a. Si tratta di calcari micritici in alternanza con arenarie e calcareniti con a luoghi passaggi di argille limose e argille marnose.

Le caratteristiche fisiche e meccaniche dell'Unità ANZ2 possono essere attribuite cautelativamente all'Unità ANZ2a.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 172 di 184

## 10.10 FORMAZIONE DEL TORRENTE FIUMARELLA

### 10.10.1 Note introduttive

I terreni della formazione del Torrente Fiumarella sono depositi continentali di lago e piana alluvionale, costituiti da argille limose e argille sabbiose con diffusi passaggi di sabbie e marne.

Lo scavo della galleria Hirpinia intercetta l'Unità TFR per un tratto di circa 580 m, con coperture comprese tra 15 m e 110 m.

Il materiale è stato caratterizzato a partire dai risultati di prove di laboratorio e prove in foro.



Figura 10-159 – Carote prelevate a quota cavo relative alla formazione TFR, sondaggio IO-S10.

### 10.10.2 Sondaggi di riferimento

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

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

Caratteristiche sondaggio		Prove in foro		Prove lab rocce					Prove lab terreni					
ID sond.	Lungh. (m)	Dilatom.	Pressiom.	UCS	PLT	TX	Trazione	Vel ultras.	TXUU	TXCIU	TxCID	TD	ELL	Rigontf
IO S10	40	2					1			1		5		
IF16G16	40	4						1	1	2		2		

Tabella 10-31 – Sondaggi di riferimento per la caratterizzazione e loro caratteristiche.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>173 di 184</b>

### 10.10.3 Proprietà fisiche

È stata condotta un'analisi dei dati disponibili relativamente alla determinazione delle proprietà fisiche della formazione.

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggi mostrano la prevalenza dei termini limosi e argillosi, in componente minore di quelli sabbiosi. Il terreno è classificabile come limo con argilla sabbioso.

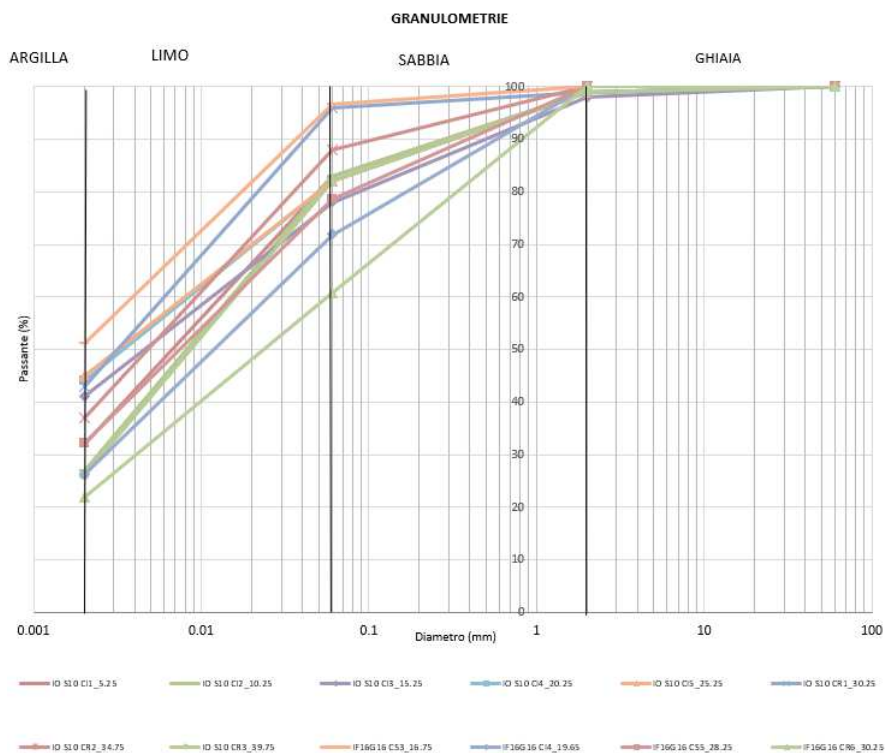


Figura 10-160 – Curve granulometriche (TFR).

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

Il contenuto d'acqua naturale  $w_N$  è variabile tra  $10 \div 30\%$ , intervallo che si mantiene pressoché costante con la profondità nel volume indagato.

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

- Limite liquido  $w_L$ :  $40 \div 70\%$
- Limite plastico  $w_P$ :  $18 \div 25\%$
- Indice di plasticità  $I_p$ :  $20 \div 40\%$
- Indice di consistenza  $I_c$ :  $0.7 \div 1.4$

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO <b>IF3A                      02                      E ZZ RG                      GN0000 001                      D                      174 di 184</b>

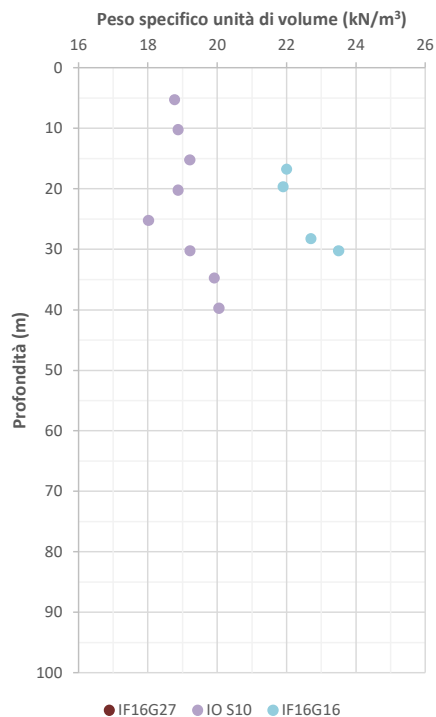


Figura 10-161 – Peso specifico per unità di volume (TFR).

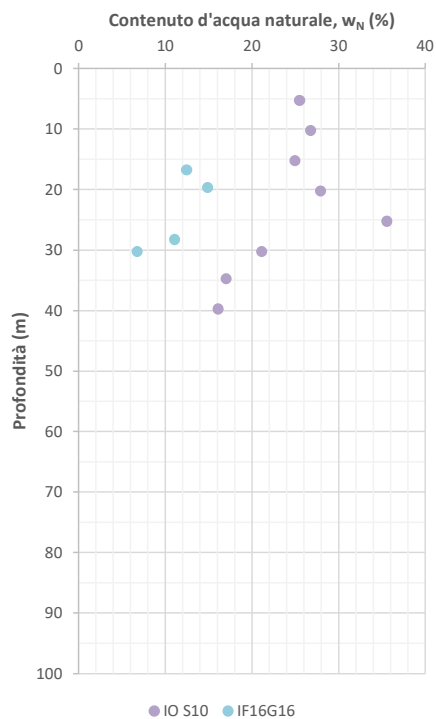


Figura 10-162 – Contenuto d'acqua naturale (TFR).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA          II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RG	DOCUMENTO GN0000 001	REV. D	FOGLIO 175 di 184

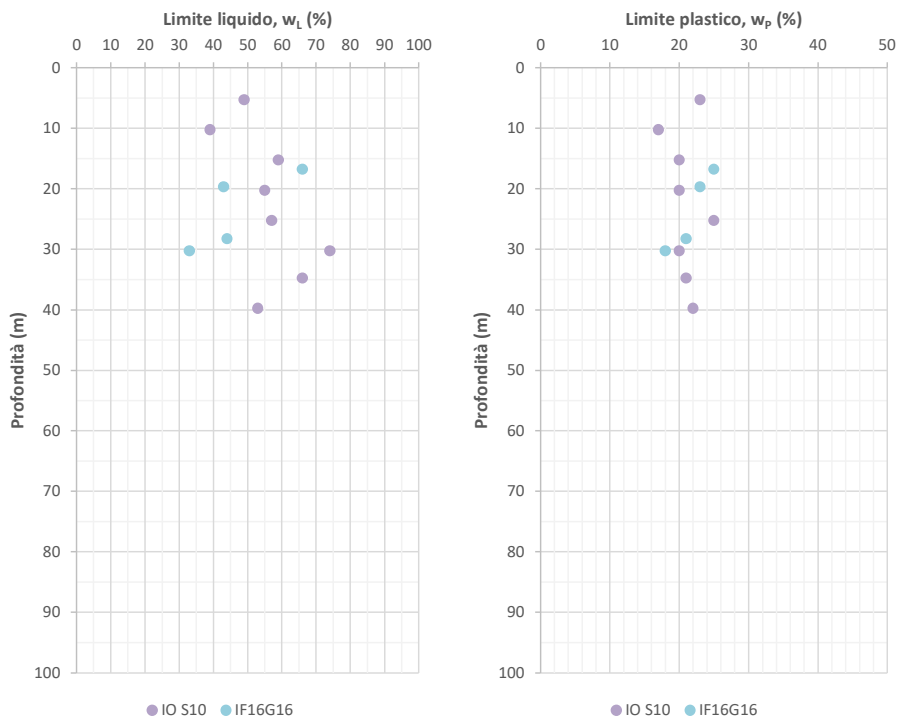


Figura 10-163 – Limite liquido e limite plastico (TFR).

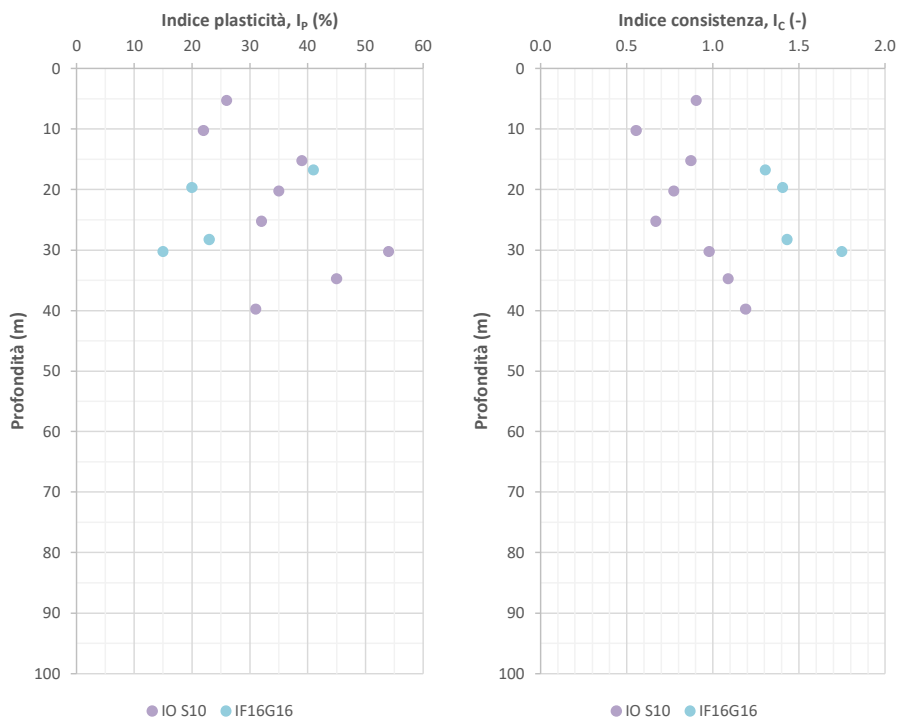
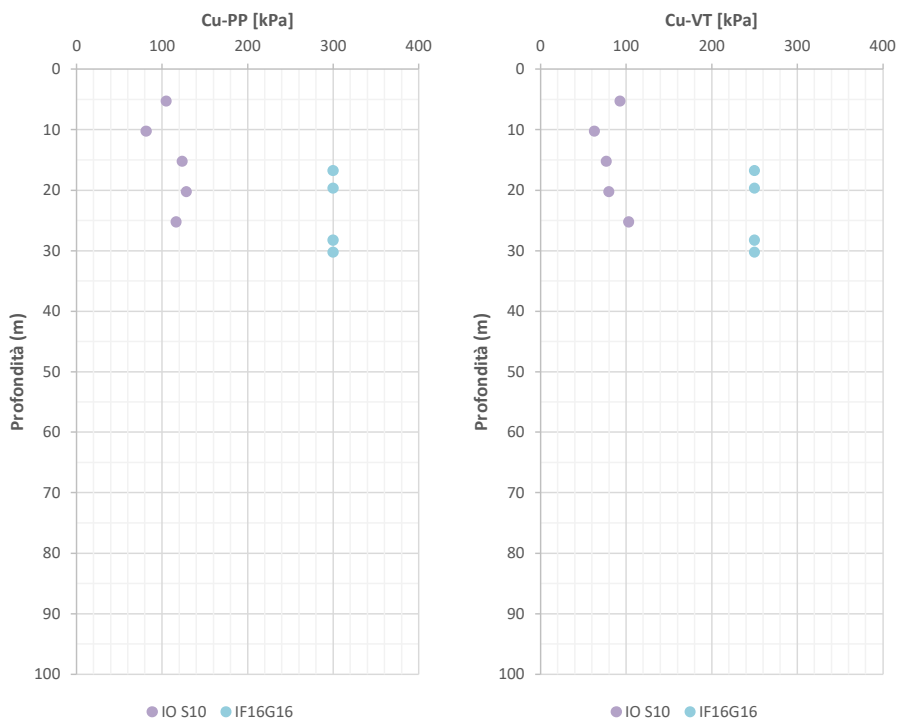


Figura 10-164 – Indice plastico ed indice di consistenza (TFR).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>176 di 184</b>

## 10.10.4 Proprietà meccaniche di resistenza

### Prove in foro

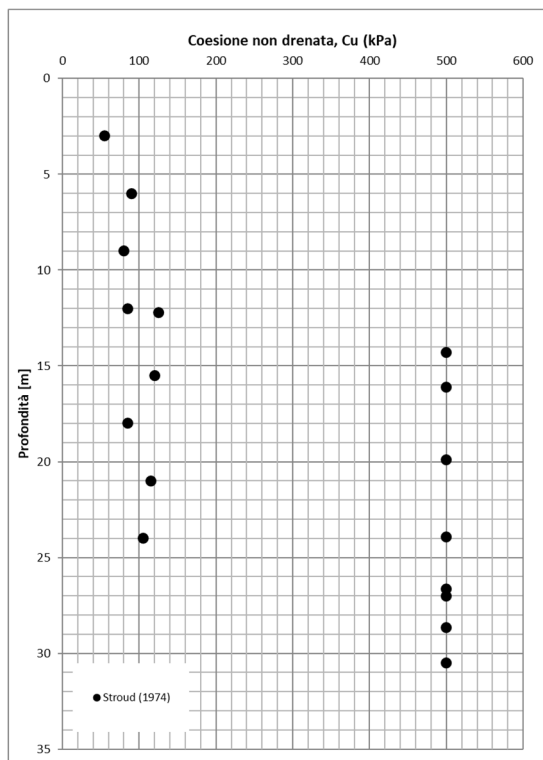


**Figura 10-165 - Coesione non drenata da Pocket Penetrometer e Vane Test (TFR).**

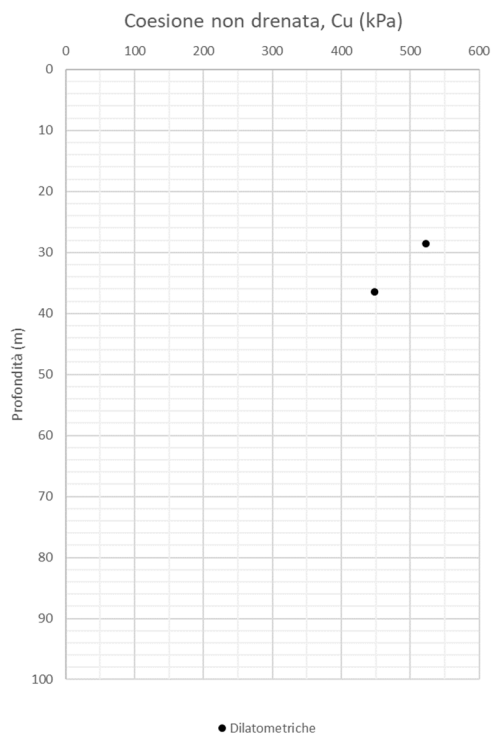
I valori di resistenza non drenata da Pocket Penetrometer si ricavano dal valore di resistenza alla punta, come illustrato nel Capitolo 8, paragrafo 8.3.3. I valori di coesione non drenata  $C_u=300\text{kPa}$  vanno intesi come valori minimi, ottenuti da una resistenza alla punta maggiore di  $600\text{ kPa}$ . Dai risultati disponibili risulta che la coesione non drenata assume prevalentemente valori superiori ai  $300\text{ kPa}$  per le profondità interessate dallo scavo della galleria.

Di seguito si riportano i valori di coesione non drenata da prove SPT, ottenuti applicando la correlazione di Stroud (1974), e da prove dilatometriche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>177 di 184</b>



**Figura 10-166 - Coesione non drenata da SPT (TFR).**



**Figura 10-167 - Coesione non drenata da prove dilatometriche (TFR).**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>178 di 184</b>

### Prove di laboratorio

Sono stati analizzati i risultati da prove di laboratorio su campioni indisturbati per definire le proprietà meccaniche della formazione. Sono state eseguite prove di taglio diretto e compressione triassiale consolidata non drenata (CIU) per definire i parametri di coesione efficace ( $c'$ ) e angolo d'attrito ( $\varphi'$ ).

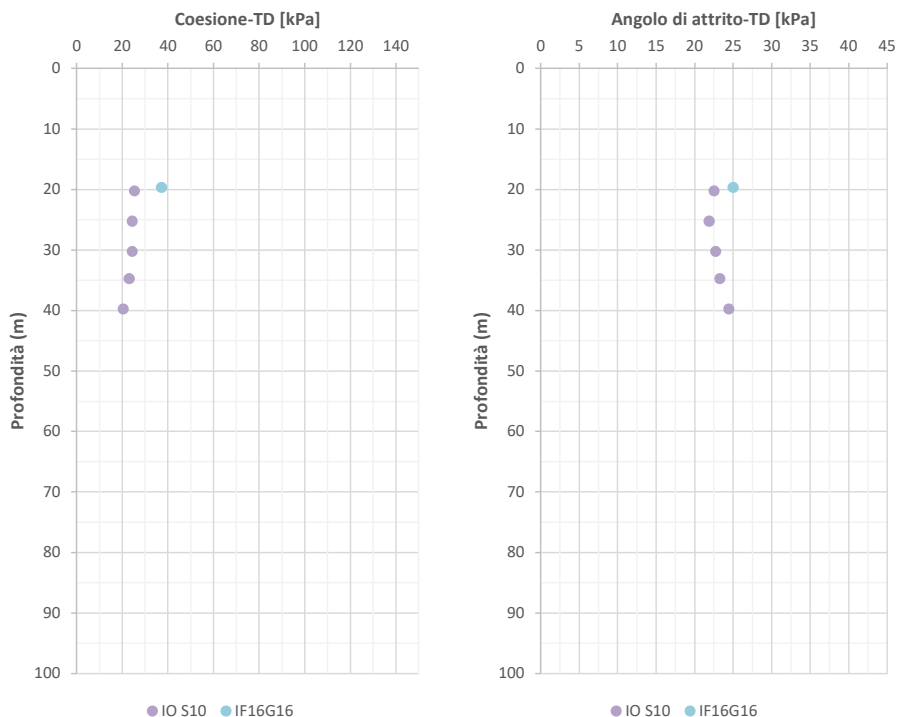
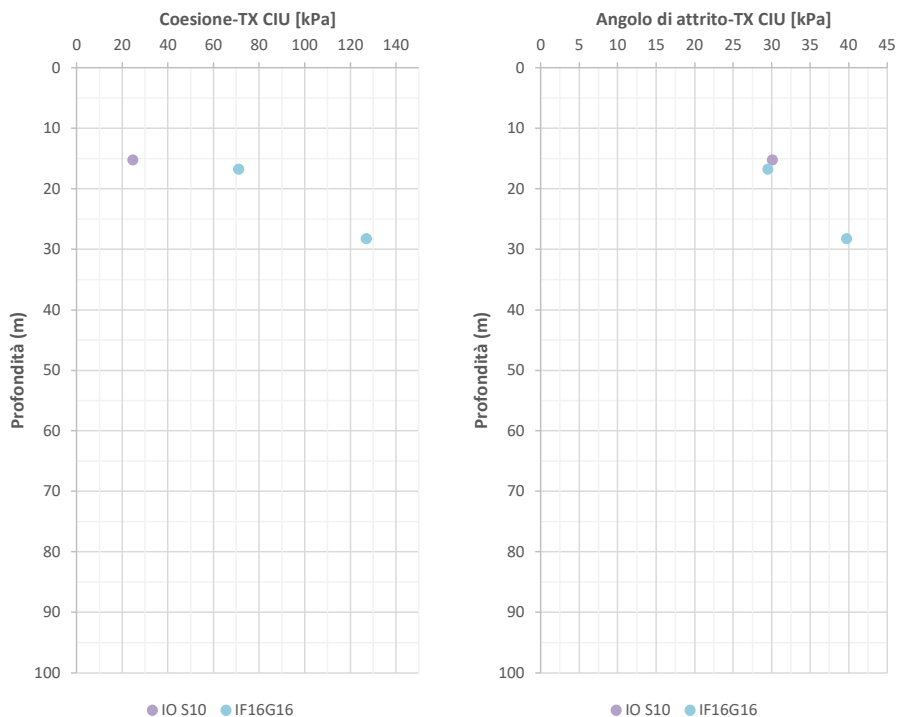


Figura 10-168 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TD (TFR).

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>179 di 184</b>

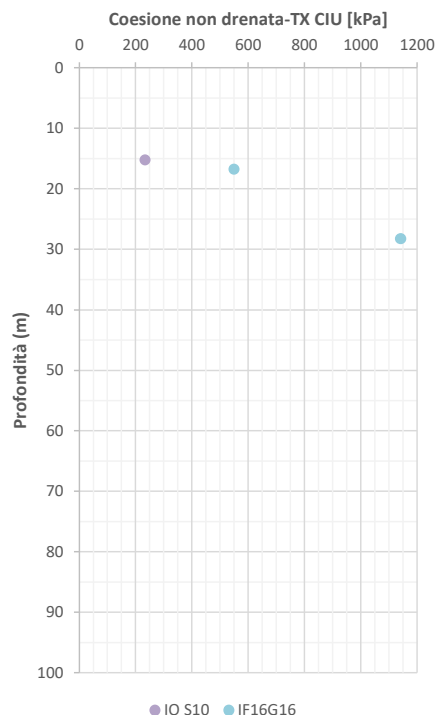


**Figura 10-169 - Angolo d'attrito e coesione efficace da prove di laboratorio-TX CIU (TFR).**

La coesione efficace non aumenta con la profondità nel volume indagato, con valori che si collocano nel range 20kPa ÷ 35kPa. Non sono stati considerati i valori ottenuti da prove TXCIU, essendo molto più elevati rispetto a quanto ottenuto da prove di taglio diretto.

I valori di angolo d'attrito sono stati ricavati da prove di taglio diretto e prove triassiali CIU. L'angolo d'attrito assume valori tra 22°÷25° considerando i risultati di prove di taglio diretto, mentre valori più elevati nel range 30° ÷ 40° sono stati riscontrati per prove triassiali CIU.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>180 di 184</b>



**Figura 10-170 - Coesione non drenata da prove di laboratorio (TFR).**

I valori della resistenza non drenata sono ricavati da prove triassiali CIU. La coesione non drenata varia tra 200 ÷ 1100 kPa nel volume indagato. Essendo valori molto distanti tra loro, tenuto conto inoltre dei risultati delle prove in foro, è definito un range di variabilità della coesione non drenata pari a 200 kPa – 500 kPa.



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO <b>IF3A                      02                      E ZZ RG                      GN0000 001                      D                      181 di 184</b>

### 10.10.5 Proprietà meccaniche di deformabilità

Per determinare le proprietà di deformabilità della formazione si è fatto riferimento ai risultati ottenuti da prove dilatometriche eseguite nei fori di sondaggio e indagini geofisiche MASW. A basse profondità sono stati considerati anche i risultati ottenuti tramite correlazioni empiriche da prove SPT.

I valori di modulo di deformabilità  $E'$  dedotti da prove SPT sono stati ricavati a partire dal modulo iniziale  $E_0$  assumendo un rapporto  $E/E_0=0.2$ , in funzione del livello di deformazione atteso a seguito dello scavo della galleria e in relazione ai risultati ottenuti da prove dilatometriche.

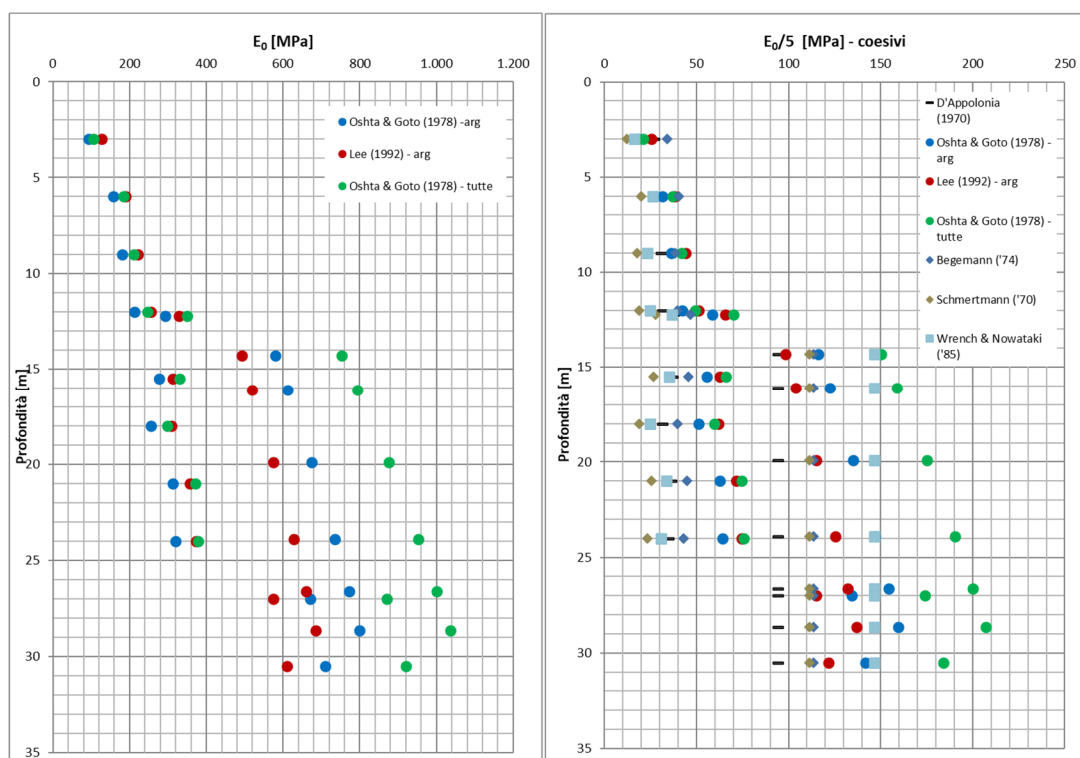


Figura 10-171 - Velocità onde di taglio, modulo elastico e modulo elastico operativo da prove SPT (TFR).

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>182 di 184</b>

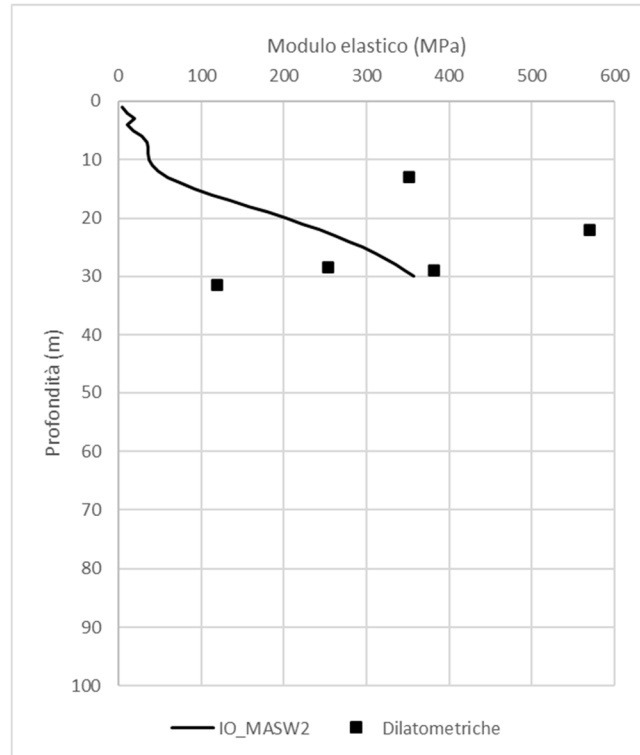


Figura 10-172 - Modulo elastico da prove dilatometriche e indagini geofisiche (TFR).

Le prove analizzate mostrano una grande variabilità di risultati, con valori di modulo elastico compresi tra 120 MPa ÷ 570 MPa. Dall'indagine MASW si nota la tendenza ad un aumento della rigidità del materiale con la profondità.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA - ORSARA AV    WEBUILD ITALIA                      PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING                      PINI                      GCF</b> <b>ELETTRI-FER                      M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in</b> <b>sotterraneo</b>	COMMESSA <b>IF3A</b>	LOTTO <b>02</b>	CODIFICA <b>E ZZ RG</b>	DOCUMENTO <b>GN0000 001</b>	REV. <b>D</b>	FOGLIO <b>183 di 184</b>

### 10.10.6 Stato di sforzo

Lo stato di sforzo in situ è stato valutato a partire dai risultati di prove dilatometriche eseguite nell'ambito delle Campagne indagini 2017-2018-2021.

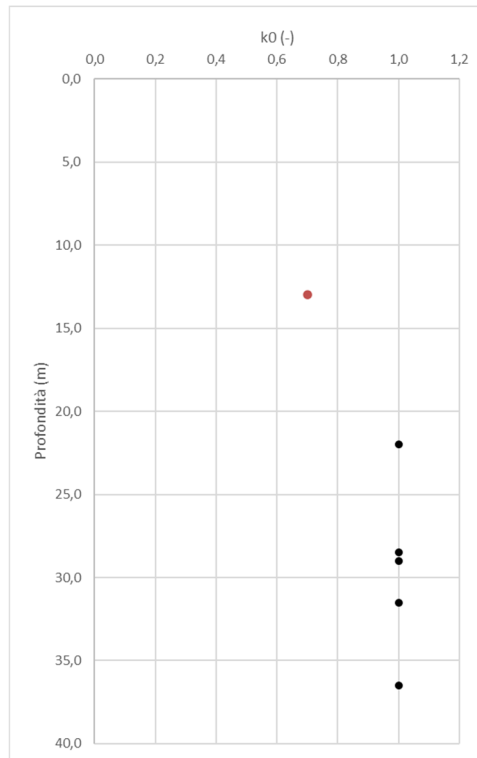


Figura 10-173 – Coefficiente di spinta a riposo da prove dilatometriche e pressiometriche - TFR.

### 10.10.7 Conducibilità idraulica

Le prove Lefranc e Lugeon eseguite in corrispondenza della formazione in esame restituiscono valori di assorbimento nullo.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA - ORSARA AV</b> <b>WEBUILD ITALIA</b> <b>PIZZAROTTI</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING</b> <b>PINI</b> <b>GCF</b> <b>ELETTRI-FER</b> <b>M-INGEGNERIA</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Tratta Meccanizzato - Relazione geotecnica delle opere in sotterraneo</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF3A</b>	<b>LOTTO</b> <b>02</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>GN0000 001</b>	<b>REV.</b> <b>D</b>	<b>FOGLIO</b> <b>184 di 184</b>

### 10.10.8 Riepilogo parametri TFR

La caratterizzazione geotecnica condotta sulla base delle indagini e prove descritte nei paragrafi precedenti, ha condotto alla definizione dei seguenti intervalli di valori rappresentativi dei principali parametri geotecnici per l'Unità TFR:

<b>TFR/TFRa</b>		
<b>Parametri</b>	<b>u.m</b>	<b>Copertura (m)</b>
		<b>15 ÷ 110</b>
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	19÷22
$c'$	kPa	20÷35
$C_u$	kPa	200÷500
$\phi'$	°	22÷30
$E'$	MPa	120÷570(*)

(\*) lineare con profondità

**Tabella 10-32 – TFR - Riepilogo parametri geotecnici.**

Il tracciato in progetto intercetta per un tratto di circa 120 m il membro conglomeratico-arenaceo (TFRa) della Formazione del Torrente Fiumarella, con coperture di 15-20 m. Si tratta di conglomerati a clasti prevalentemente calcareo-marnosi con a luoghi lenti di arenarie. Le caratteristiche fisiche e meccaniche dell'Unità TFR possono essere attribuite cautelativamente all'unità TFRa.

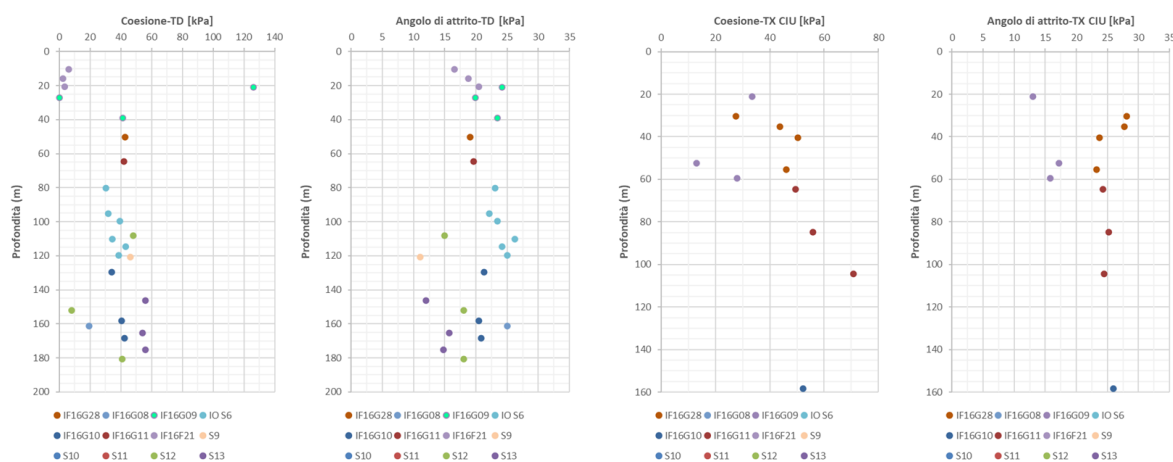
## Sulla resistenza al taglio in tensioni efficaci del FLYSH ROSSO – Galleria Hirpinia-Orsara

Come descritto nella Relazione Geotecnica del Progetto Esecutivo (file IF3A02EZZRBGE0206001D) la formazione del Flysch Rosso (FYR) - depositi marini di bacino e base scarpata - è costituita da argille, argille marnose e marne di colore rossastro, grigio-azzurro e verdastro, scagliose o sottilmente laminate. Essa mostra uno spessore massimo di circa 800 m ed è ascrivibile al Cretacico superiore – Burdigaliano superiore.

Lo scavo della galleria Hirpinia intercetta l'Unità FYR per un tratto di circa 4600 m con coperture comprese tra 60 e 190 m.

Le caratteristiche di resistenza al taglio in termini di tensioni efficaci, coesione efficace  $c'$  e angolo di resistenza al taglio  $\phi'$ , sono state valutate in laboratorio mediante prove triassiali consolidate non drenate (TX-CIU), prove triassiali consolidate drenate (TX-CID) e prove di taglio diretto (TD). La resistenza residua è stata determinata mediante prove di taglio diretto eseguite su 5 cicli ripetuti di scorrimento e prove di taglio anulare.

I risultati di queste prove sono mostrati nella citata relazione geotecnica in forma di profili dei parametri di resistenza,  $c'$  e  $\phi'$ , in funzione della profondità. Nello specifico, la **Figura 1** mostra i profili di coesione efficace e angolo di resistenza al taglio ottenuti dalle prove di taglio diretto e dalle prove triassiali consolidate non drenate.



**Figura 1. Profili di  $c'$  e  $\phi'$  da prove di taglio diretto (TD) e prove triassiali (TX-CIU)**

La dispersione dei parametri di resistenza osservata nei profili di **Figura 1** ha suggerito l'opportunità di un più attento esame dei risultati sperimentali delle prove di laboratorio.

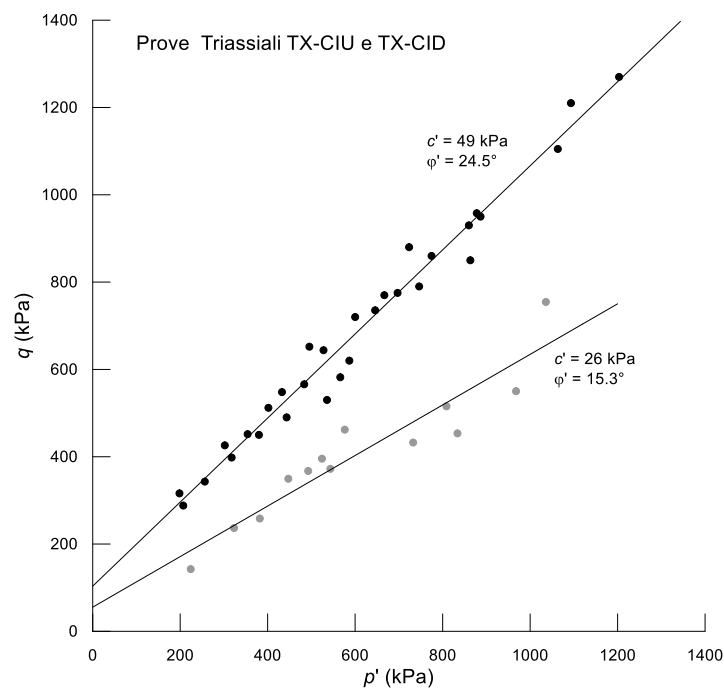
In genere la procedura standard di elaborazione dei risultati delle prove di laboratorio consiste nel considerare separatamente le terne di provini di ciascuna prova, ottenendo così un involuppo di resistenza, e quindi una coppia di valori di  $c'$  e  $\phi'$ , per ciascuna prova.

In alternativa, si possono rappresentare in un singolo diagramma tutti i dati a rottura ottenuti dalle prove, in modo da ottenere un unico involucro di resistenza per tutti i provini appartenenti a uno stesso strato. Questa seconda procedura fornisce una caratterizzazione più affidabile in quanto l'interpolazione viene eseguita su tutti i dati disponibili. Confronti di letteratura tra i risultati ottenuti utilizzando le due procedure hanno mostrato che la prima di esse (terne di provini separati) restituisce una maggiore dispersione, e quindi maggiori incertezze, nella definizione della coesione efficace, mentre si sono osservate differenze minori per le stime degli angoli di resistenza al taglio (Wood, 1990).

Nel seguito quindi in luogo dei profili di  $c'$  e  $\varphi'$  vengono esaminati gli involucchi di resistenza ottenuti dall'esame di tutti i dati sperimentali disponibili per le due tipologie di prova, in modo da definire con maggiore affidabilità i parametri di resistenza operativi dell'unità del Flysh Rosso (FYR).

La **Figura 2** mostra l'involucro di resistenza ottenuto dalle prove di compressione triassiale (TX-CIU e TX-CID) sul piano degli invarianti di tensione  $p' - q$ , dove  $p' = (\sigma'_v + 2\sigma'_h)/3$  è la pressione media efficace e  $q = \sigma'_v - \sigma'_h$  è lo sforzo deviatorico. In questo piano, l'involucro di resistenza è ottenuto per interpolazione lineare dei dati a rottura ( $p'_f - q_f$ ) di ciascun provino. Nello specifico i risultati sperimentali individuano due involucchi a rottura: il primo, rappresentato in nero, è definito dalla maggior parte (il 70% circa) dei provini, prelevati dai sondaggi IF16-G10, IF16-G11, IF16-G28 e IF16-G29, mentre il secondo, rappresentato in grigio, si riferisce ai soli provini prelevati dal sondaggio IF16-G09.

Il primo involucro, caratterizzato da una bassa dispersione dei dati sperimentali che si diagrammano in stretta adiacenza alla retta interpolante, restituisce valori di  $c' = 49$  kPa e  $\varphi' = 24.5^\circ$ . Il secondo è invece caratterizzato da una maggiore dispersione dei dati sperimentali, definendo minori valori di coesione efficace e angolo di resistenza al taglio,  $c' = 26$  kPa e  $\varphi' = 15.3^\circ$ .



**Figura 2. Involucro di resistenza ottenuto dalle prove triassiali (TX-CIU)**

La ragione della differenza dei risultati sperimentali ottenuti dai provini prelevati dal sondaggio IF16-G09 non è immediatamente chiara. Dalle note indicate nel profilo geologico (Tavola IF3A02EZZF6GE0301008C.pdf) si rileva che la perforazione del sondaggio IF16-G09 è stata interrotta per la presenza di gas a circa 60 m di profondità, pochi metri al disopra della calotta della galleria in progetto. Le prove triassiali sono state eseguite su campioni estratti a profondità comprese tra 21 m e 59 m.

Il confronto, a parità di profondità di prelievo, tra le proprietà indice dei campioni estratti dal sondaggio IF16-G09 e quelle dei campioni estratti dagli altri sondaggi, mostra che per il sondaggio IF16-G09 si ottengono valori leggermente più alti del peso dell'unità di volume  $\gamma = 21.5 \text{ kN/m}^3$ , valori più bassi del contenuto d'acqua  $w = 12-14\%$  e dell'indice di plasticità  $I_p \cong 24\%$  circa, e valori maggiori dell'indice di consistenza  $I_c \cong 1.3$  (cfr. Relazione Geotecnica Progetto Esecutivo - IF3A02EZZRBGE0206001D).

Si può desumere che la presenza di gas abbia implicato l'adozione di maggiori cautele durante le operazioni di scavo ed estrazione delle carote e dei campioni allungando i tempi di perforazione e producendo verosimilmente una variazione del contenuto d'acqua e un disturbo alla struttura scagliosa dei campioni estratti.

Nel seguito, per completezza, sono riprese le note descrittive del laboratorio che ha eseguito le prove (GEOstudi s.r.l.):

- **CI3 (20.8-21.,3m)**: argilla a struttura scagliosa orientata secondo piani da subverticali a obliqui con superfici di discontinuità traslucide, di colore grigio verdastro scuro (GLE1 3/1) con venature grigio bluastrò. Presenti dispersi frammenti angolari calcareo marnosi  $d_{\max}=10 \text{ mm}$  e venature biancastre. Il materiale sottoposto a compressione fra le dita si disgrega in scaglie millimetriche.
- **CI4 (26.9-27.3m)**: argilla a struttura pseudo-scagliosa oblitterata a orientamento caotico secondo piani da sub-orizzontali a obliqui, a volte convoluti. Di colore da grigio verdastro scuro (GLE1 3/1) a grigio bluastrò. Presenti dispersi frammenti angolari calcareo marnosi  $d_{\max}= 5 \text{ mm}$  e venature biancastre. Poco umida, reagente all'HCL.
- **CI7 (45.6-46.1m)**: argilla a struttura scagliosa orientata secondo piani inclinati di  $45^\circ-50^\circ$  con superfici di discontinuità traslucide lungo le quali il materiale tende a rompersi. Di colore da grigio verdastro (GLE1 3/1) a grigio bluastrò. Presenti dispersi frammenti angolari calcareo marnosi  $d_{\max}= 10 \text{ mm}$  e sottili venature biancastre. Poco umida, dura, da non reagente a debolmente reagente all'HCL.
- **CI8 (52.0-52.6)**: argilla a struttura scagliosa orientata secondo piani inclinati di circa  $45^\circ$ , con superfici di discontinuità traslucide lisce, untuose al tatto, frequentemente denotate da mineralizzazioni biancastre. Di colore grigio scuro (10YR 3/1), poco umida, dura, non reagente all'HCL.
- **CR9 (59,4-59,9)**: argilla a struttura scagliosa orientata secondo piani inclinati di circa  $45^\circ-50^\circ$ , subordinatamente sub-orizzontali, con superfici di discontinuità traslucide lisce, untuose al tatto. Presenti dispersi frammenti calcareo marnosi angolari  $d_{\max}=10\text{mm}$  e calcitici biancastri. Di colore grigio scuro (10YR 3/1), poco umida, dura, non reagente all'HCL.

Nei certificati di prova delle prove triassiali sono inoltre inserite le seguenti note di commento:

- **CI3**: rottura avvenuta con probabile attivazione di preesistente superficie di taglio.
- **CI4**: provino 1, rottura avvenuta con probabile attivazione di preesistente superficie di taglio.
- **CI7**: rottura avvenuta con attivazione di preesistenti superfici di taglio, il terzo provino si è rotto subito dopo l'applicazione dello sforzo deviatorico.
- **CI8**: rottura avvenuta con attivazione di preesistenti superfici di taglio.
- **CR9**: rottura avvenuta con attivazione di preesistenti superfici di taglio.

Le foto dei provini del sondaggio IF16-G09 alla fine delle prove triassiali (le uniche disponibili) mostrano che le condizioni di rottura sono quelle tipiche delle argille consistenti (**Figura 3**): rottura a becco di flauto lungo una banda di taglio con modesto *bulging* delle porzioni del provino a cavallo di essa. In

alcuni casi si nota la formazione di bande multiple (es. campione C17 e CR9) o di superfici di discontinuità a cavallo dei frammenti calcareo marnosi calcitici biancastri (es. campione C18).

Il campione 9, prelevato a fondo foro (59.4-59.9m), è indicato nella tabella di sintesi dei certificati di laboratorio come campione rimaneggiato, CR9. Quindi, escludendo il CR9, le prove triassiali si riferiscono a campioni prelevati a profondità comprese tra 20 e 52m, a una distanza minima di circa 10 m sopra la calotta della galleria.

La presenza di una struttura scagliosa orientata con inclinazioni di 45°-50° circa e il parziale disturbo delle operazioni di campionamento potrebbe spiegare i bassi valori di angolo di resistenza al taglio di questi provini. Non è del tutto chiara, in ogni caso, la nota descrittiva dei certificati di laboratorio, che riferisce di superfici di discontinuità traslucide lisce e untuose al tatto. Se infatti la presenza di superfici lisce e traslucide è attribuibile alla presenza di scaglie iso-orientate e di acqua di porosità, il commento sul carattere "untuoso" di queste superfici non è immediatamente chiaro.

Tutto ciò considerato, l'osservazione che i risultati sperimentali ottenuti dai campioni prelevati da tutti sondaggi definiscono un unico involucro di resistenza, con l'unica eccezione dei risultati dei campioni prelevati dal sondaggio IF16-G09, interrotto per la presenza di gas, suggerisce che per il Flysh Rosso si possano assumere valori operativi di coesione efficace e angolo di resistenza al taglio:  $c' = 49$  kPa,  $\varphi' = 24.5^\circ$ .







**Figura 3. Foto di provini triassiali al termine delle prove TX-CIU**

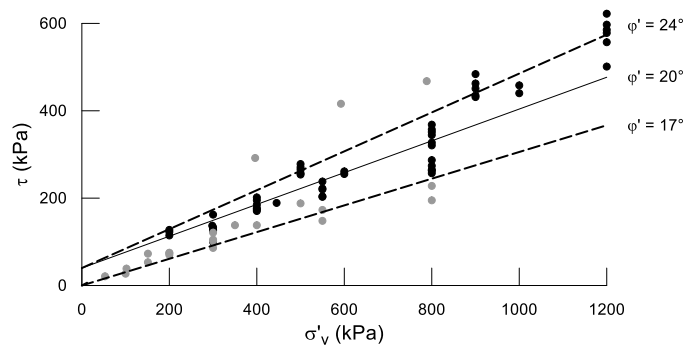
I risultati delle prove di taglio diretto mostrate nella **Figura 4** sono caratterizzati da una significativa dispersione che non permette una chiara e univoca definizione dell'involuppo di resistenza. Questa dispersione dipende in parte dal fatto che provini di piccole dimensioni non sono rappresentativi del comportamento meccanico di un'argilla scagliosa, in dipendenza del numero e dell'orientazione delle scaglie presenti alla scala del provino rispetto alla superficie di rottura imposta nella scatola di taglio diretto, e in parte dal fatto che provini di piccole dimensioni possono essere facilmente ricavati anche da spezzoni di campioni fortemente disturbati.

La dispersione dei dati è tale che una regressione lineare di tutti i punti a rottura restituirebbe valori negativi dell'intercetta di coesione.

Per quanto sopra, nella **Figura 4** si è diagrammato un involucro di resistenza caratterizzato da un angolo di resistenza al taglio  $\varphi' = 24^\circ$  prossimo a quello valutato nelle prove triassiali, ritenute più affidabili, e da una coesione efficace leggermente minore,  $c' = 40$  kPa. Si osserva che questo involucro interpola soddisfacentemente i risultati ottenuti per tensioni efficaci  $\sigma'_v > 300-400$  kPa.

Inoltre, fermi restando i limiti evidenziati sull'affidabilità delle prove di taglio diretto in questo tipo di materiali, un limite inferiore per l'angolo di resistenza al taglio può essere definito pari a  $\varphi' = 20^\circ$  (linea puntinata in **Figura 4**). Al contrario, l'involucro di limite inferiore mostrato con linea tratteggiata ( $c' = 0$ ,  $\varphi' = 17^\circ$ ) è rappresentativo della resistenza al taglio residua del Flysh Rosso, come mostrato nella successiva **Figura 5**.

Quindi, premesso che l'involucro di resistenza caratterizzato dai parametri di resistenza  $c' = 40-49$  kPa,  $\varphi' = 24^\circ-24.5^\circ$  fornisce un'interpretazione soddisfacente dei risultati ottenuti da entrambe le tipologie di prova, è bene ribadire che i risultati ottenuti in cella triassiale sono da ritenersi maggiormente rappresentativi per la maggiore dimensione dei provini sottoposti a prova e per il fatto che la superficie di rottura che si sviluppa nei provini si propaga senza alcun condizionamento, al contrario di quanto avviene nella scatola di taglio diretto, in cui la superficie di rottura è imposta.



**Figura 4. Involucro di resistenza ottenuto dalle prove di taglio diretto (TD)**

In ultimo, nella **Figura 5** si riportano gli involucchi di resistenza residua ottenuti da prove di taglio diretto, eseguite con 5 cicli ripetuti di scorrimento, e da prove di taglio anulare (simboli in rosso in figura).

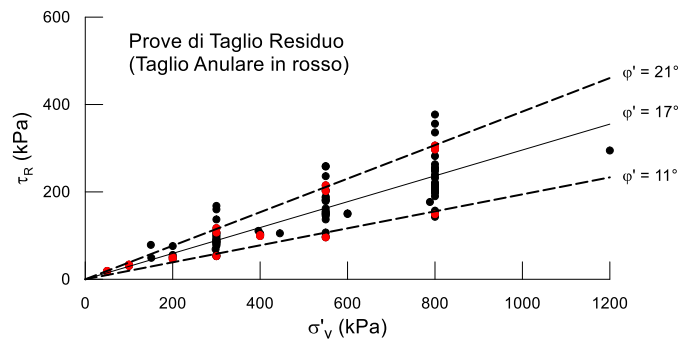
La regressione lineare di tutti i dati sperimentali ottenuti dal laboratorio ISMGEO fornisce un valore di angolo di attrito residuo  $\varphi'_R = 17^\circ$ , compatibile con la presenza di materiale limoso presente nel Flysh Rosso in percentuali comprese in un vasto intervallo (20-80%). I limiti, superiore e inferiore, definiti dalle prove di taglio anulare restituiscono invece valori di  $\varphi'_R$  rispettivamente pari a  $21^\circ$  e a  $11^\circ$ , in dipendenza della natura del materiale rimaneggiato inserito nella scatola di taglio anulare.

Valori più elevati ( $\varphi'_R = 21^\circ$ ) possono essere attribuiti a materiali prettamente limosi, caratterizzati da particelle sub-sferiche, con conseguente raggiungimento di una condizione di taglio a volume costante piuttosto che a una condizione di taglio residuo. Al contrario, i valori più bassi sono attribuibili a un

materiale prettamente argilloso di media plasticità. Ad esempio, infatti, la relazione empirica di Kanji (1974):

$$\varphi'_R = \frac{46.6}{I_p^{0.446}}$$

restituisce un valore di  $\varphi'_R = 11^\circ$  per un indice di plasticità  $I_p = 25\%$ .



**Figura 5. Involuppo di resistenza residua ottenuto da prove di taglio diretto e di taglio anulare**

Le prove di taglio residuo permettono di confermare che i bassi valori osservati in alcune delle prove di taglio diretto, prossimi ai valori residui della resistenza al taglio, non sono rappresentativi della resistenza al taglio della formazione e sono stati probabilmente ottenuti da campioni fortemente alterati durante le operazioni di campionamento o durante le operazioni di setup dei provini nella scatola di taglio.

In definitiva, i dati sperimentali ottenuti dalle prove triassiali e dalle prove di taglio diretto sono in buon accordo tra loro e indicano che per il Flysh Rosso si possono assumere valori operativi di coesione efficace e angolo di resistenza al taglio:  $c' = 40-49$  kPa,  $\varphi' = 24^\circ-24.5^\circ$ .

Roma 30/03/2023

Prof. ing. Sebastiano Rampello