

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:



SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



## PROGETTO ESECUTIVO

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

GEOTECNICA

TRATTE IN SOTTERRANEO

Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA AV Il Direttore Tecnico Ing. Vincenzo Moriello 10/06/2020	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:

IF28	01	E	ZZ	RB	OC0200	001	B	-
------	----	---	----	----	--------	-----	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per consegna	V. Minardi	21/02/2020	B. Spigarelli	21/02/2020	M. Gatti	21/02/2020	Ing. G. Cassani
B	Revisione per istruttoria	V. Minardi	10/06/2020	B. Spigarelli	10/06/2020	M. Gatti	10/06/2020	
								10/06/2020

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RB</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>OC0200 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>2 di 97</b>

## Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>5</b>
3.1	<b>LEGGI E NORMATIVE COGENTI .....</b>	<b>5</b>
3.2	<b>NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI.....</b>	<b>5</b>
3.3	<b>PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF).....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>6</b>
4.1	<b>DOCUMENTI REFERENZIATI.....</b>	<b>6</b>
4.2	<b>DOCUMENTI SUPERATI.....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO.....</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>FASE CONOSCITIVA.....</b>	<b>7</b>
6.1	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>7</b>
6.2	<b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>ANALISI DELLE PRINCIPALI CRITICITA' .....</b>	<b>11</b>
7.1	<b>ANALISI DEGLI SCENARI DI RISCHIO.....</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>PROCEDURA OPERATIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI .....</b>	<b>16</b>
9.1	<b>NOTE GENERALI .....</b>	<b>16</b>
9.2	<b>ELABORAZIONE PROVE DI LABORATORIO.....</b>	<b>16</b>
9.2.1	<b>PROPRIETA' FISICHE.....</b>	<b>16</b>
9.2.2	<b>PROPRIETA' MECCANICHE .....</b>	<b>16</b>
9.3	<b>ELABORAZIONE PROVE IN SITU.....</b>	<b>17</b>
9.3.1	<b>NOTE INTRODUTTIVE .....</b>	<b>17</b>
9.3.2	<b>PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (SPT) .....</b>	<b>17</b>
9.3.3	<b>POCKET PENETROMETER.....</b>	<b>22</b>
9.3.4	<b>PROVE PRESSIOMETRICHE.....</b>	<b>23</b>
9.3.5	<b>PROVE DILATOMETRICHE.....</b>	<b>23</b>
9.3.6	<b>PROVE LEFRANC .....</b>	<b>23</b>
9.3.7	<b>PROVE LUGEON.....</b>	<b>23</b>
9.4	<b>DETERMINAZIONE MODULI ELASTICI OPERATIVI .....</b>	<b>23</b>

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio  Soci  	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria  Mandanti  	
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Titolo_3	COMMESSA IF1N    LOTTO 01 E ZZ    CODIFICA RG    DOCUMENTO MD0000 001    REV. A    FOGLIO 3 di 97

<b>10 PROCEDURA OPERATIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI .....</b>	<b>25</b>
10.1 NOTE GENERALI .....	25
10.2 CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI .....	25
10.2.1 PROCEDURA OPERATIVA .....	27
10.3 PROPRIETÀ MECCANICHE .....	27
10.4 PROPRIETÀ DI DEFORMABILITÀ .....	27
10.5 CRITERIO DI ROTTURA DI HOEK BROWN .....	28
10.5.1 VALORI DI RIFERIMENTO DEL PARAMETRO <i>M</i> DA LETTATURA .....	28
10.5.2 VALORI DI RIFERIMENTO DEL PARAMETRO <i>MR</i> DA LETTATURA .....	29
10.5.3 RELAZIONE TRA IL CRITERIO DI ROTTURA HB E MOHR COULOMB .....	29
<b>11 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA-GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI</b>	<b>31</b>
11.1 FORMAZIONE DELLA BARONIA – BNA2 .....	31
11.1.1 NOTE INTRODUTTIVE .....	31
11.1.2 SONDAGGI DI RIFERIMENTO .....	31
11.1.3 CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO .....	32
11.1.4 PROPRIETÀ FISICHE DELL'AMMASSO ROCCIOSO .....	40
11.1.5 PROPRIETÀ MECCANICHE DELL'AMMASSO ROCCIOSO .....	45
11.1.6 PROPRIETÀ DI DEFORMABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO .....	47
11.1.7 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLA MATRICE ROCCIOSA .....	49
11.1.8 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLA FORMAZIONE A BASSE COPERTURE .....	55
11.1.9 CONDUCIBILITÀ IDRAULICA .....	57
11.1.10 RIGONFIAMENTO .....	58
11.1.11 QUADRO DI SINTESI CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA BNA2 .....	59
11.2 FORMAZIONE DELLA BARONIA – BNA3 .....	62
11.2.1 NOTE INTRODUTTIVE .....	62
11.2.2 SONDAGGI DI RIFERIMENTO .....	62
11.2.3 CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO .....	62
11.2.4 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO – BNA3 – FACIES 2 .....	68
11.2.5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA – BNA3 – FACIES 1 .....	72
11.2.6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA – BNA3 A .....	77
11.2.7 CONDUCIBILITÀ IDRAULICA .....	83
11.2.8 QUADRO DI SINTESI CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA BNA3 .....	83
11.3 FORMAZIONE DELLA BARONIA – BNA1B .....	85
11.3.1 NOTE INTRODUTTIVE .....	85
11.3.2 SONDAGGI DI RIFERIMENTO .....	85
11.3.3 PROPRIETÀ FISICHE DA PROVE DI LABORATORIO .....	86
11.3.4 PROPRIETÀ MECCANICHE DA PROVE DI LABORATORIO .....	88
11.3.5 ELABORAZIONE PROVE IN FORO .....	89
11.3.6 CONDUCIBILITÀ IDRAULICA .....	90

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio <span style="margin-left: 100px;">Soci</span>   	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>																	
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria <span style="margin-left: 100px;">Mandanti</span>   	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF1N</td> <td style="text-align: center;">01 E ZZ</td> <td style="text-align: center;">RG</td> <td style="text-align: center;">MD0000 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">4 di 97</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	4 di 97
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	4 di 97													
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Titolo_3																		

11.3.7 QUADRO DI SINTESI CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA BNA1B .....	91
<b>12 STATO DI SFORZO DELL'AMMASSO ROCCIOSO .....</b>	<b>92</b>
<b>13 ANALISI CHIMICHE .....</b>	<b>95</b>
13.1 NOTE INTRODUTTIVE .....	95
13.2 ESITO DELLE ANALISI .....	96
13.2.1 CAMPIONI PROVENIENTI DA SONDAGGI .....	96
13.2.2 PRELIEVI DELLE ACQUE DI FALDA.....	97
13.2.3 CONCLUSIONI.....	97

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RB</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>OC0200 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>5 di 97</b>

## 1 PREMESSA

La presente relazione illustra l'attività di caratterizzazione geotecnica e geomeccanica di alcune unità interagenti con le opere in sottterraneo oggetto di progettazione, nell'ambito della stesura del Progetto Esecutivo del raddoppio del 1° lotto funzionale Apice-Hirpinia della tratta Apice - Orsara (itinerario Napoli – Bari). Nell'ambito della variabilità geomeccanica interessata dal processo di scavo, la presente relazione studia le formazioni geologiche della Baronia e delle diverse facies che interessano lo scavo delle opere in sottterraneo.

L'inquadramento geotecnico – geomeccanico delle unità interagenti con il tracciato in sottterraneo è completato dalla “Relazione di caratterizzazione geotecnica/ geomeccanica del Flysch Rosso interagente con le gallerie Grottaminarda e Melito” [10], mentre la caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nelle tratte allo scoperto e agli imbocchi delle gallerie è riportata nella “Relazione Geotecnica Generale” [11].

## 2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione sono trattate le unità geologiche appartenenti alla famiglia della Baronia, le quali interessano interamente la galleria Rocchetta e parzialmente la galleria Melito (da pk 7+020 all'imbocco della galleria Melito lato Napoli)..

E' 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 sottterraneo.

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 2019 e ai risultati delle campagne indagini pregresse svolte in fase di Progettazione Definitiva [7] (2015 e 2017) e Preliminare [6] (2008).

## 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

### 3.1 LEGGI E NORMATIVE COGENTI

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

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

### 3.2 NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI

Rif. [3] SIG, “Linee guida per la progettazione, l'appalto e la costruzione di opere in sottterraneo”, 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;

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RB</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>OC0200 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>6 di 97</b>

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

## 4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 4.1 DOCUMENTI REFERENZIATI

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

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

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

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

Rif. [8] U. O. Geologia, documento n° IF2801EZZRGGE0101001B, “ Relazione geologica generale” ;

Rif. [9] U. O. Geologia, documento n° IF2801EZZRGGE0102001B, “ Relazione geomorfologica generale” ;

Rif. [10] U. O. Geotecnica, documento n° IF2801EZZRBOC0202001B, “ Relazione di caratterizzazione geotecnica/ geomeccanica del Flysch Rosso interagente con le gallerie Grottaminarda e Melito” ;

Rif. [11] U. O. Geotecnica, documento n° IF2801EZZRBOC0101001B, “ Relazione geotecnica generale “;

Rif. [12] U. O. Geologia, documento n° IF28.0.1.E.ZZ.RG.GE.03.0.5.001.B, “ Relazione tecnico illustrativa” ;

Rif. [13] U. O. Geologia, documento n° IF28.0.1.E.ZZ.RG.GE.02.0.5.001.B, “ Relazione tecnico illustrativa” ;

Rif. [14] U. O. Geologia, documento n° IF28.0.1.E.ZZ.RG.GE.01.0.5.001.B, “ Relazione tecnico illustrativa” ;

Rif. [15] U. O. Gallerie Naturali, documento n° IF28.0.1.E.ZZ.RB.GA.04.0.0.001, “ Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco” ;

Rif. [16] U. O. Gallerie Naturali, documento n° IF28.0.1.E.ZZ.RB.GA.05.0.0.001, “ Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco” ;

### 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:

Rif. [16] U. O. Gallerie Naturali, documento n° IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.03.0.0.001.B, “ Profilo geotecnico/geomeccanico - Galleria Rocchetta Tav. 1/3 “;

Rif. [17] U. O. Gallerie Naturali, documento n° IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.03.0.0.002.B, “ Profilo geotecnico/geomeccanico - Galleria Rocchetta Tav. 2/3 “;

Rif. [18] U. O. Gallerie Naturali, documento n° IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.03.0.0.003.B, “ Profilo geotecnico/geomeccanico - Galleria Rocchetta Tav. 3/3 “;

Rif. [19] U. O. Gallerie Naturali, documento n° IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.04.0.0.001.B, “ Profilo geotecnico/geomeccanico - Finestra F1“;

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 7 di 97

Rif. [20]	U. O. Gallerie Naturali,	documento n°	IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.05.0.0.001.B,	“	Profilo geotecnico/geomeccanico - Finestra F2“;
Rif. [21]	U. O. Gallerie Naturali,	documento n°	IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.06.0.0.001.B,	“	Profilo geotecnico/geomeccanico - Finestra F3“;
Rif. [22]	U. O. Gallerie Naturali,	documento n°	IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.06.0.0.012.B,	“	Profilo geotecnico/geomeccanico - Finestra F3 – cunicolo parallelo pedonale lato Bari“;
Rif. [23]	U. O. Gallerie Naturali,	documento n°	IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.07.0.0.011.B,	“	Profilo geotecnico/geomeccanico - Finestra F4“;
Rif. [24]	U. O. Gallerie Naturali,	documento n°	IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.08.0.0.011.B,	“	Profilo geotecnico/geomeccanico - Finestra F5“;
Rif. [25]	U. O. Gallerie Naturali,	documento n°	IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.08.0.0.012.B,	“	Profilo geotecnico/geomeccanico - Finestra F5 – cunicolo parallelo pedonale lato Napoli “;
Rif. [26]	U. O. Gallerie Naturali,	documento n°	IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.09.0.0.011.B,	“	Profilo geotecnico/geomeccanico - Finestra F6“;
Rif. [27]	U. O. Gallerie Naturali,	documento n°	IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.09.0.0.012.B,	“	Profilo geotecnico/geomeccanico - Finestra F6 – cunicolo parallelo pedonale lato Bari “;
Rif. [28]	U. O. Gallerie Naturali,	documento n°	IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.09.0.0.013.B,	“	Profilo geotecnico/geomeccanico - Finestra F6 – cunicolo parallelo pedonale lato Napoli “;
Rif. [29]	U. O. Gallerie Naturali,	documento n°	IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.10.0.0.011.B,	“	Profilo geotecnico/geomeccanico - Finestra F7“;
Rif. [30]	U. O. Gallerie Naturali,	documento n°	IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.01.0.0.001.B,	“	Profilo geotecnico/geomeccanico - Galleria Grottaminarda “;
Rif. [31]	U. O. Gallerie Naturali,	documento n°	IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.02.0.0.001.B,	“	Profilo geotecnico/geomeccanico - Galleria Melito Tav. 1/2 “;
Rif. [32]	U. O. Gallerie Naturali,	documento n°	IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.02.0.0.001.B,	“	Profilo geotecnico/geomeccanico - Galleria Melito Tav. 1/2 “;
Rif. [33]	U. O. Gallerie Naturali,	documento n°	IF28.0.1.E.ZZ.F6.GN.02.0.0.002.B,	“	Profilo geotecnico/geomeccanico - Galleria Melito Tav. 2/2 “;

## 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

Nell'area oggetto di studio, si distinguono varie formazioni geologiche che possono essere raggruppate in unità stratigrafico-strutturali differenziate tra loro per la collocazione paleogeografica e l'evoluzione geodinamica; di seguito vengono descritti i caratteri principali delle unità individuate lungo lo sviluppo del tracciato della linea in progetto:

Unità tettonica di Frigento: nell'area in esame, l'unità tettonica di Frigento è rappresentata dal Flysch Rosso e dai suoi membri. Tale unità rappresenta la prevalente formazione attraversata dalle gallerie Grottaminarda e Melito.

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 8 di 97

- **Flysch Rosso - FYR** (Cretacico Superiore – Burdigaliano Inf.) - Unità a dominante argilloso – marnosa: Argille e argille marnose da rosso-verdastre a grigio scuro, in alternanze centimetrico-millimetriche. Le strutture sedimentarie osservate sono una blanda laminazione piano parallela e talora una struttura flaser nodulare. Nella parte sommitale dell'unità si osserva la comparsa di materiale silicoclastico siltoso e arenitico; soltanto localmente si possono osservare livelli decimetrico-metrici di litareniti ricche in quarzo. Questa unità occupa mediamente la parte intermedia e sommitale della formazione. Spessore massimo 800 m secondo quanto riportato nel CARG.
- Depositi caotici (FYRa del Foglio 433): Argille e argille marnose con intervalli siltoso-arenitici con elemento angolosi da centimetrici a pluri-decimetrici ed in alcuni casi metrici/plurimetrici di: calcari micritici scuri debolmente silicizzati a radiolari e spicole di spugna, calcari micritici bianchi, con rari foraminiferi planctonici, calcareniti ben selezionate, a cemento spatato, contenenti foraminiferi bentonici e frammenti di gusci di bivalvi, calcareniti a grana fine con piccoli foraminiferi, marne calcaree grigiastre a foraminiferi planctonici e argille verdastre. Sono state individuate 3 litofacies sulla base della percentuale di abbondanza e delle dimensioni degli elementi ruditici osservati nelle carote di sondaggio:
  - o **Litofacies argilloso-marnosa (FYRca)**: argille, argille marnose e argille siltoso-arenitiche in cui la matrice rappresenta il 90% del deposito e gli elementi ruditici di dimensioni cm-mm il 10% circa.
  - o **Litofacies argilloso-marnosa ad elementi ruditici (FYRcb)**: argille, argille marnose e argille siltoso-arenitiche in cui la matrice rappresenta il 60-80% del deposito e gli elementi ruditici di dimensioni cm e pluri-cm il 20-40% circa.
  - o **Litofacies ruditica a matrice argilloso marnosa (FYRcc)**: costituita fino al 60% da elementi ruditici di dimensioni da pluri-cm fino a metriche e da argille, argille marnose e argille siltoso-arenitiche per il restante 40% circa.
- **Membro calcareo (FYR2)** : Calciruditi e calcareniti a cemento spatato in strati di spessore metrico, con locali intercalazioni decimetrico - metriche di argille ed argille marnose rosso o verdastre. I livelli calcarei hanno base erosiva e/o netta e talvolta sono gradati in modo molto grossolano. Si tratta di grainstone-rudstone i cui bioclasti sono costituiti in prevalenza da: frammenti di gusci di bivalvi, gasteropodi, macroforaminiferi, foraminiferi planctonici e bentonici, alghe rosse corallinacee. I fossili determinabili macroscopicamente sono Nummulites sp., Operculina tipo complanata, Globorotalia sp., Globigerina sp.
- Localmente l'unità (cava loc. Orticello) è rappresentata da una breccia calcarea, prevalentemente monogenica, ad elementi centimetrici e pluri-centimetrici di calcari micritici di colore bianco. La stratificazione, quando osservabile è da metrica a pluri-metrica; sono presenti inoltre filoni sedimentari costituiti in prevalenza da depositi argillosi verdastri e brecciole calcaree centimetrico-millimetriche.

#### Supersistema di Ariano Irpino: Formazione della Baronia

- **Membro di Apollosa (Pliocene inf.) BNA3**: Alternanze più o meno regolari in strati metrici di arenarie ocre e giallastre poco cementate litiche e quarzoso - litiche da medie a grossolane; sabbie quarzoso - feldspatiche giallastre più o meno compatte da fini a medie, ricche in resti di gusci di ostreidi e pectinidi, talora con matrice siltosa. Visibile laminazione incrociata e strutture da corrente. Presenti noduli sferoidali di selce. Interstrati da centimetrici a decimetrici di marne, siltiti ed argille grigie. Alternanze metriche - plurimetriche di sabbie grigie da fini a grossolane più o meno siltose, in genere poco cementate e di argille più o meno limose grigie e marne grigie (BNA3a), talvolta con interstrati centimetrici di sabbie fini grigie e/o ocracee; stratificazione in genere mal definita. Presenti sporadici trovanti di arenarie litoidi grigie. Spessore massimo 600 m.
- **Litofacies pelitica (Pliocene inf.) BNA2**: Argille più o meno siltose e marnose grigie; silt più o meno argillosi e sabbiosi grigi; marne in genere litoidi grigie. Intensamente bioturbati, talvolta con resti di gusci di molluschi; stratificazione in genere mal definita. Interstrati di sabbia più o meno limosa da fine a media grigia, in genere poco addensata, di spessore decimetrico.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 9 di 97

Alternanze metriche - plurimetriche di siltiti argillose, argille marnose e sabbiose grigie consolidate e di strati arenarie grigie cementate e litoidi. Spessore massimo 250 - 700 m.

- **Membro dei conglomerati e delle sabbie di S. Sossio Baronia (Pliocene inf.): BNA1b** LITOFACIES SABBIOSA - Arenarie e sabbie da cementate a poco cementate grigio - giallastre, silicoclastiche, da fini a medie, in strati di potenza da decimetrica a metrica con interstrati mm-cm di argilla e silt da giallastri a grigi. Localmente intensamente bioturbati.

#### Gruppo di Altavilla: Molasse di Anzano

- **Membro di Flumeri (Messiniano sup.):** Arenarie silicoclastiche giallastre da poco a mediamente cementate e sabbie siltose ocra poco cementate, in strati di potenza fino a pluridecimetrica, alternate a siltiti e marne grigie in strati di potenza cm-dm. Alternanze regolari pluridecimetriche di arenarie medio fini grigie e marne più o meno calcaree grigie (**ANZ2 a**).

Argille marnose e siltoso sabbiose grigie con interstrati sabbiosi ocrei millimetrici. Alla base della successione argille siltose e marnose da grigio chiaro a grigio scuro e subordinate marne grigie più o meno litoidi, con stratificazione in genere mal definita. Sporadici livelli decimetrici a matrice sabbiosa (**ANZ2a**).

- **Formazione del Vallone di Ponticello (Serravalliano med. - tortoniano med. sup.) PCL:** Alternanze di arcose a grana medio-fine, marne e marne calcaree biancastre e grigio-verdi, peliti giallo-brune laminate in strati medio sottili; ed ancora sabbie quarzoso litiche ad elementi spesso angolosi, con sottili ed estese lenti di paraconglomerati poligenici a ciottoli sub-arrotondatiraramente superiori al centimetro. Subordinatamente sono parzialmente ricristallizzate e di ortoconglomerati poligenici ben cementati. I meccanismi deposizionali sono da riferire a flussi granulari e correnti di torbida.

Per i dettagli dello studio geologico si rimanda agli elaborati specialistici di progetto.

## **6.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

L'area di studio è localizzata nella parte assiale della catena appenninica meridionale che, come noto, in questo settore, ha un andamento NW-SE.

Tale andamento preferenziale si osserva anche a scala minore; nell'intorno dell'area studiata infatti si possono identificare 3 unità fisiografiche disposte parallelamente tra loro, che da N verso S sono:

- Dorsale Ariano Irpino – Vallata
- Valle del Fiume Ufita
- Dorsale Bonito – Monte Forcuso

La dorsale Ariano Irpino – Vallata costituisce un'unità morfo-strutturale delimitata da grandi faglie dirette marginali. La morfologia risulta caratterizzata dalla presenza di elementi morfo-strutturali (versanti di faglia evoluti) e da numerosi elementi morfologici ereditati (paleosuperfici e paleoidrografie) e non collegati all'attuale livello di base. La morfologia di tale dorsale è condizionata, oltre che dalla presenza dei potenti depositi terrigeni del supersistema di Ariano Irpino costituiti da argille, arenarie sabbie e conglomerati, in grossi banchi nella parte sommitale della successione, soprattutto dagli effetti del sollevamento tettonico recente che ha contribuito al ringiovanimento del reticolo fluviale caratterizzato dal prevalente processo di erosione lineare attiva. Le valli ovunque si presentano fortemente incise, talora impostate lungo linee di faglie e/o fratture. Sui versanti sono diffusi fenomeni di dissesti superficiali e profondi che complessivamente concorrono al processo dell'erosione areale con rapido assottigliamento dei crinali.

La valle del F.Ufita costituisce l'altro elemento fisiografico che separa le due dorsali. Il suo sviluppo in direzione appenninica è stato controllato dall'attività della faglia diretta che delimita il versante meridionale della dorsale Ariano Irpino-Vallata, in prossimità di Castel Baronia. Numerosi indizi morfologici lasciano intendere che l'attività di tale faglia, oltre ad essere riferita al Pleistocene medio, sia continuata anche nell'Olocene (Brancaccio et alii, 1981;

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                  Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>10 di 97</b>

1984; Basso et alii, 1996b) ed in tempi storici (Pantosti et alii, 1990; Boschi et alii, 1994). A questo proposito si veda il capitolo 5.3 – Sorgenti Simogenetiche.

La valle, lungo il tratto a SE, prima della confluenza con il T. Fiumarella, è molto stretta ed approfondita con un andamento marcatamente sinuoso. A monte dell'abitato di Grottaminarda, invece, diventa molto più ampia (circa 4 km) e si sviluppa per una lunghezza di circa 7 km con un andamento prevalentemente rettilineo fino in località Ponterotto, dove la sezione del letto fluviale si restringe nuovamente conservando fino allo spartiacque appenninico un andamento molto simile a quello del primo tratto.

Nel settore Bonito - M. Forcuso il carattere morfologico dominante è strettamente legato al complesso assetto strutturale dei terreni dell'unità lagonegrese, sovrapposti tettonicamente ai terreni dell'Unità del Fortore, ed alla diffusione dei terreni pelitici affioranti, che esaltano l'intensa erosione lineare dei corsi d'acqua, ovunque in approfondimento. In tale area si registrano ampi e complessi fenomeni franosi, parzialmente attivi che si sviluppano alla scala dell'intero versante mediante meccanismi di scorrimento e/o colata e che denotano più fasi di riattivazione.

Il settore a S-SW di tale dorsale, tra gli abitati di Benevento e Apice, è interessato da estese zone pianeggianti impostate prevalentemente sui depositi lacustri quaternari. In quest'area si imposta parte del reticolo idrografico del Fiume Calore che presenta, in questo settore, direzione circa N-S. Tale disposizione dell'asta fluviale devia in senso E-W all'altezza dell'abitato di Apice per riprendere nuovamente direzione N-S poco ad W di Benevento. Si tratta di un andamento planimetrico con forma all'incirca rettangolare connesso verosimilmente alle fasi della neotettonica.

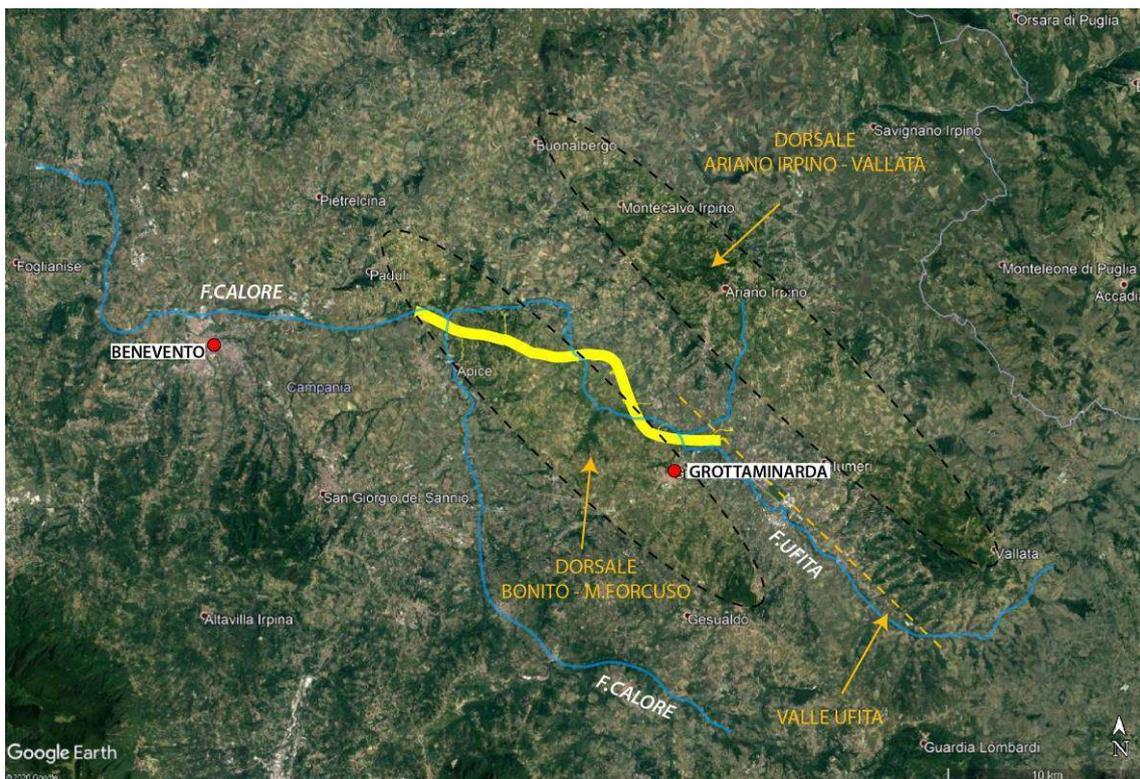


Figura 1 – Principali elementi fisiografici dell'area. In giallo è rappresentato il tracciato.

In base a questa suddivisione a più grande scala, il tracciato si sviluppa prevalentemente all'interno del settore Bonito – M. Forcuso. Si tratta di un paesaggio collinare, il cui rilievo massimo è rappresentato dal Monte Rocchetta, posto ad una quota di circa 630 metri slm.

Generalmente, in tutta l'area indagata, si può osservare una forte dipendenza tra litologia e morfologie che ne derivano. Fintanto che prevalgono i litotipi argillosi e argilloso-marnosi, approssimativamente dalla stazione Hirpinia

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RB</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>OC0200 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>11 di 97</b>

fino a più di metà del tracciato, i versanti sono meno acclivi e sono interessati da frequenti ed importanti fenomeni franosi; entrando invece in settori in cui dominano i termini sabbioso-arenacei, i versanti si presentano localmente più acclivi e i fenomeni franosi sono meno frequenti.

Un altro evidente contrasto morfologico legato ad una differenza litologica si osserva nelle aree in cui prevale l'unità del Flysch Rosso (FYR); in questi settori infatti i corpi più grandi di calcari, calcareniti e brecce calcaree costituiscono rilievi acclivi e dorsali all'interno di un paesaggio caratterizzato da pendenze dolci, modellato all'interno dei termini più argillosi.

Per i dettagli dello studio geologico si rimanda agli elaborati specialistici di progetto.

## 7 ANALISI DELLE PRINCIPALI CRITICITA'

L'analisi di tutti i dati del PD ha evidenziato la necessità di un approfondimento di indagini a supporto della progettazione esecutiva ed in ottemperanza alle prescrizioni degli enti, così come riportato nella premessa.

Il tratto lucano della SS18 "Tirrena Inferiore" si sviluppa in un contesto ambientale di particolare pregio. Il tracciato stradale si sviluppa a mezzacosta lungo un settore roccioso dominato da paleo-falesie che determinano uno scenario fortemente suggestivo. Il normale processo evolutivo degli ammassi rocciosi porta alla formazione di potenziali fenomeni di instabilità di intere porzioni di ammasso roccioso. Pertanto sono proprio le stesse caratteristiche morfostrutturali e geomeccaniche dei versanti le responsabili della situazione di potenziale pericolo per il distacco di porzioni di ammasso roccioso.

Da un punto di vista geologico e geomorfologico l'opera si inserisce in un contesto piuttosto complesso.

Il quadro morfo-strutturale locale se da un lato ha rappresentato il principale fattore responsabile dello scenario particolarmente suggestivo dei luoghi in argomento, dall'altro, proprio grazie ai processi evolutivi che hanno contribuito a generarlo, almeno in parte ancora attivi, determina una situazione di grave pericolo potenziale per le infrastrutture presenti nel settore. Ne sono testimonianza gli importanti corpi detritici poligenici impostatisi alla base delle scarpate a più alta pendenza, che rappresentano il frutto di una costante modellazione del paesaggio anche ad opera di meccanismi di tipo gravitativo.

Le principali criticità possono essere riassunte di seguito:

- Ricostruzione stratigrafica: difficoltà per la ricostruzione litologico – stratigrafica di dettaglio e soprattutto nella definizione dei limiti tra substrato e depositi di versante (brecce cementate e depositi sciolti), e nei limiti tra fascia di cappellaccio di alterazione del substrato e substrato.
- Caratterizzazione d'ammasso: l'esame delle carote dei sondaggi non ha consentito una caratterizzazione geomeccanica degli ammassi coinvolti per l'eccessivo grado di disturbo arrecato (carote completamente fratturate).
- Caratteristiche dei depositi di versante: dai sondaggi eseguiti, come già descritto in introduzione, non si è riusciti a stabilire nel dettaglio le zone di passaggio tra substrato alterato e fratturato e brecce cementate, ed all'interno degli stessi depositi non si è riusciti a definire in dettaglio il grado di cementazione delle brecce.
- I sondaggi non coprono tutte le zone interessate dagli interventi a progetto.

Nel seguito si riportano i dettagli relativi alla campagna di indagine integrativa e si indicano le indagini prioritarie al fine di consentire la definizione delle principali attività di progettazione nei tempi previsti.

Per quanto riguarda il rischio di caduta massi, si specifica quanto segue:

- lo studio dei fenomeni di distacco di massi dal versante a monte rispetto al tracciato stradale è stato svolto nella precedente fase progettuale.
- I dati necessari alla successiva fase di analisi sono stati ottenuti grazie ad una specifica campagna di indagini mediante rilievi laser scanner, riprese fotogrammetriche da drone, rilievi geomeccanici in parete e censimento dei massi potenzialmente instabili.
- Lo studio effettuato in merito alle traiettorie di caduta dei massi sia in assenza che in presenza di interventi di protezione ha consentito di definire in ultimo sia l'ubicazione che l'energia di dissipazione di tali opere. Si precisa che i dati di base dello studio non risultano attualmente a

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 12 di 97

disposizione dello scrivente. Secondo quanto concordato, per la presente fase progettuale si assumono quindi come dati di input l'ubicazione degli interventi di protezione, la capacità dissipativa e le assunzioni fatte in merito alle traiettorie massi. In tal senso non sono qui previste indagini integrative connesse alla caduta massi. Tali argomenti sono riportati negli elaborati progettuali di riferimento.

La messa in sicurezza della Statale N. 18 "Tirrena Inferiore", già inserita dalla Regione Basilicata fra gli obiettivi di salvaguardia previsti dall'Art. 1 del D.L. 11 giugno 1998 N. 180 relativo a "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania", è stata successivamente inclusa dal Commissario delegato per la ricostruzione per la Regione Basilicata nel "Secondo Piano Stralcio degli interventi urgenti relativi alla fase di emergenza post sisma del 9 settembre 1998", con cui è stata disposta la redazione degli studi e delle indagini finalizzate alla valutazione della pericolosità e del rischio da caduta massi lungo l'arteria viaria, contestualmente individuando l'ANAS come ente attuatore.

Nondimeno gli approfondimenti integrativi sono stati definiti e programmati per il recepimento delle osservazioni emerse dai pareri degli enti preposti, durante la fase approvativa del PD, come anticipato nel paragrafo 1.

Le possibili criticità e/o rischi sono descritti nel Profilo geologico allegato al progetto, per i quali si riporta anche il grado di affidabilità della ricostruzione geologico – stratigrafica.

## 7.1 ANALISI DEGLI SCENARI DI RISCHIO

L'analisi del contesto geologico – stratigrafico, geomorfologico, tettonico ed idrogeologico dell'area interessata dalle opere a progetto, ha consentito una valutazione, qualitativa, dei possibili scenari di rischio connessi al particolare contesto in esame.

Al fine di consentire l'individuazione degli interventi tecnici e costruttivi finalizzati ad una corretta gestione di ciascun fattore di rischio si è adottata una metodologia di studio le cui fasi sostanziali sono di seguito descritte:

- Esame degli elaborati progettuali di riferimento e dei dati derivanti dalle indagini geognostiche pregresse e di quelle effettuate per il PD
- Sopralluoghi e rilievi geologici e geomeccanici
- Classificazione dei fattori di rischio geologici, geomorfologici, geomeccanici, idrogeologici ed eventuali altre criticità individuate lungo il tracciato delle opere a progetto
- Caratterizzazione e circoscrizione di ciascun fattore di rischio secondo i criteri di seguito elencati:
  - o Analisi combinata della probabilità di accadimento e della relativa incidenza (danno) per ciascun fattore individuato lungo il tracciato delle gallerie.
  - o Attribuzione ad ogni aspetto analizzato, del grado di rischio (probabilità x danno=rischio: da molto basso ad alto) secondo la matrice di seguito illustrata:

Impact	Likelihood				
	Rare	Unlikely	Possible	Likely	Almost certain
Catastrophic	moderate	moderate	high	critical	critical
Major	low	moderate	moderate	high	critical
Moderate	low	moderate	moderate	moderate	high
Minor	very low	low	moderate	moderate	moderate
Insignificant	very low	very low	low	low	moderate

APPALTATORE: Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>13 di 97</b>

La valutazione del rischio, condotta nel modo sopra illustrato, è stata definita per i seguenti aspetti principali:

Analisi di rischio legate alle caratteristiche dell'ammasso roccioso

1. Presenza di quarzo in elevate quantità
2. Presenza di trovanti e/o blocchi lapidei
3. Presenza di gas
4. Presenza di corpi di frana in superficie
5. Instabilità del fronte e/o del cavo per la presenza di
  - o Zone tettonizzate
  - o Basse coperture
  - o Transizione litologica
6. Fenomeni di swelling

Analisi di rischio legate alla presenza di acqua

7. Venute d'acqua concentrate in fase di scavo
8. Carico idraulico elevato.

L'analisi combinata della probabilità di accadimento e del relativo danno ha consentito di definire le seguenti quattro classi di rischio, rappresentate nei profili geotecnici e geomeccanici di progetto per le opere in sotterraneo (gallerie di linea, finestre e cunicoli laterali):

- Rischio trascurabile (rappresentato con il colore bianco)
- Rischio basso (rappresentato con il colore verde)
- Rischio medio (rappresentato con il colore blu)
- Rischio elevato (rappresentato con il colore rosso).

LEGENDA RISCHI	
TRASCURABILE	
BASSO	
MEDIO	
ELEVATO	

Di seguito si descrive nel dettaglio come sono state condotte le differenti attribuzioni per i rischi sopra elencati:

1. Presenza di quarzo in elevate quantità:
  - o **elevato** esclusivamente in corrispondenza della unità litologica BNA3 costituita da arenarie arcose con possibili noduli di selce
2. Presenza di trovanti e/o blocchi lapidei:
  - o **Medio** in corrispondenza dell'unità litologica FYRcc e subordinatamente FYRcb con presenza di blocchi e/o elementi ruditici in percentuali uguali o superiori a 40%
  - o **Basso** in corrispondenza dell'unità litologica FYRca con presenza di blocchi e/o elementi ruditici in percentuali comprese tra il 10-20% circa
  - o **Medio** in corrispondenza dei depositi in frana in corrispondenza delle zone di imbocco
3. Presenza di gas:
  - o **Basso** in corrispondenza delle unità litologiche FYR (Flysch Rosso, argille ed argille marnose) e BNA2 (litofacies pelitica costituita da argille siltose/marnose)

APPALTATORE: Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>14 di 97</b>

4. Presenza di corpi di frana in superficie:
  - La discretizzazione tra **basso, medio, elevato** è stata definita in funzione delle coperture tra calotta e superficie frana
  
5. Instabilità del fronte e/o del cavo per la presenza di
  - Zone tettonizzate – **elevato**
  - Basse coperture – **elevato** tra 0 e 30 m
  - Transizione litologica - **elevato** in corrispondenza delle zone di contatto litologico e nelle zone in cui sono previste lenti di BNA3a (argille limose e marne) all'interno della unità BNA3 (arenarie).
  
6. Fenomeni di swelling:
  - Da **medio ad elevato** in corrispondenza delle unità litologiche FYR (Flysch rosso, argille ed argille marnose) e BNA2 (litofacies pelitica costituita da argille siltose/marnose)
  
7. Venute d'acqua concentrate in fase di scavo:
  - **Elevato** in corrispondenza di una stima degli afflussi in fase di scavo > 2 l/sec per tratta di 10 m (classe 4)
  - **Medio** in corrispondenza di una stima degli afflussi in fase di scavo compresi tra 0.4 e 2 l/sec per tratta di 10 m (classe 3)
  - **Basso** in corrispondenza di una stima degli afflussi in fase di scavo compresi tra 0.16 e 0.4 l/sec per tratta di 10 m (classe 2)
  - **Trascurabile** in corrispondenza di una stima degli afflussi in fase di scavo compresi tra 0 e 0.16 l/sec per tratta di 10 m (classe 1)
  
8. Carico idraulico elevato:
  - **Elevato** in previsione di un carico idraulico >100 m
  - **Medio** in previsione di un carico idraulico compreso tra 50 e 100 m
  - **Basso** in previsione di un carico idraulico compreso tra 25 e 50 m
  - **Trascurabile** in previsione di un carico idraulico compreso tra 0 e 25 m.

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RB</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>OC0200 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>15 di 97</b>

## 8 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO

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

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

In fase di Progettazione Esecutiva è stata condotta un'approfondita campagna indagini volta ad approfondire i seguenti ambiti:

- depositi di frana interagenti con lo scavo della galleria Grottaminarda [12]
- approfondimento conoscitivo della formazione del Flysch Rosso [13]
- approfondimento conoscitivo degli elementi geologici / geotecnici caratterizzanti le formazioni interagenti con le opere in sotterraneo e le opere all'aperto [14]

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 16 di 97

## 9 PROCEDURA OPERATIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

### 9.1 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.

### 9.2 ELABORAZIONE PROVE DI LABORATORIO

#### 9.2.1 Proprietà' fisiche

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

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

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

#### 9.2.2 Proprietà' meccaniche

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

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 17 di 97

### Angolo d'attrito efficace e coesione efficace

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

## 9.3 ELABORAZIONE PROVE IN SITU

### 9.3.1 Note introduttive

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

### 9.3.2 Prove penetrometriche dinamiche (SPT)

#### Densità Relativa ( $D_r$ )

La determinazione del parametro  $D_r$  è effettuata sulla base del valore  $N_{spt}$  misurato nel corso delle prove penetrometriche adottando le correlazioni di natura empirica disponibili in letteratura.

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

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

#### Cubrinowski e Ishihara (1999)

Litologia di applicazione preferenziale: sabbie e ghiaie limose

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

essendo:

- $D_r$  [%] = densità relativa
- $\left( N_{SPT} \right)_{78\%}$  [I] = numero di colpi/30cm associabile ad un'energia trasferita alle aste pari al 78% di quella teorica
- $D_{50}$  [mm] = diametro delle particelle corrispondente al passante 50%

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>18 di 97</b>

- $\sigma'_{V0}$  [kPa] = pressione verticale efficace geostatica
- $k_{0,NC}$  [ ] = coefficiente di spinta a riposo del terreno normal-consolidato
- $k_{0,OC}$  [ ] = coefficiente di spinta a riposo del terreno sovra-consolidato

Si osserva che:

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

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

- In presenza di terreni sabbioso-ghiaiosi ( $D_{50} > 1\text{mm}$ ) al valore  $(N_{SPT})_{60\%}$  non è stata apportata alcuna correzione, per tenere conto della presenza di particelle di ghiaia (si veda ad esempio Clayton (1995), Skempton (1986), Tokimatsu & Yoshimi (1983))
- In caso di raggiungimento delle condizioni di rifiuto, l'interpretazione è stata effettuata facendo riferimento ad un valore  $N_{SPT}$  calcolato come segue:

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

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

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

#### Skempton (1986)

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

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

essendo:

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

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

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

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

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                  Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>19 di 97</b>

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

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

Si rileva che:

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

#### Bazaraa (1986)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

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

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

#### Schultze & Mezembach (1961)

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

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

nelle quali:

- $N_{SPT}$  [1] = numero di colpi/30cm misurato
- $\sigma'_{v0}$  [kPa] = pressione verticale efficace geostatica

#### Meyerhof

Litologia di applicazione preferenziale: materiali incoerenti

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

#### Yoshida & Kokusho

Litologia di applicazione preferenziale: materiali incoerenti

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 20 di 97

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

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

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

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

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

#### Schmertmann 1977

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

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

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

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

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

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

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

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

#### Owasaki & Iwasaki (1959)

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

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

nelle quali:

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

#### Bolton (1986)

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

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

essendo:

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

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 21 di 97

### Kulhawy & Mayn (1980)

Litologia di applicazione preferenziale: materiali incoerenti

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

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

### Peck, Hamson & Thornburn (1974)

Litologia di applicazione preferenziale: materiali incoerenti

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

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

### **Coesione non drenata**

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

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

Con  $f_1=5$ .

### **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

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>22 di 97</b>

## Modulo Elastico di Young ( $E_y$ )

### D'Appolonia (1970)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

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

### Schultze & Mezembach (1961)

Litologia di applicazione preferenziale: tutte le tipologie

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

dove  $C_1$  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
- $C_1 = 12$ ,  $C_2 = 5.8$ , 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:

$N_{SPT} [I]$  = 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:

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

## 9.3.3 Pocket penetrometer

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

- $Q_{ult} = 2 C_u$

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio Soci <b>HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 23 di 97

### 9.3.4 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.

### 9.3.5 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

### 9.3.6 Prove Lefranc

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

Le prove forniscono i valori di conducibilità idraulica.

### 9.3.7 Prove Lugeon

Le prove Lugeon sono state svolte su materiali di consistenza prettamente litoide.

Sulla base di Houlby (1976), la prova è stata interpretata a seconda della tipologia di flusso risultante dalla prova:

Behaviour	Lugeon Pattern	Flow vs. Pressure Pattern	Representative Lugeon Value
Laminar Flow			Average of Lugeon values for all steps
Turbulent Flow			Lugeon value corresponding to the highest water pressure (3rd step)
Dilation			Lowest Lugeon value recorded, corresponding either to low or medium water pressure: (1st, 2nd, 4th, 5th step)
Wash-out			Highest Lugeon value recorded (5th step)
Void Filling			Final Lugeon value (5th step)

## 9.4 DETERMINAZIONE MODULI ELASTICI OPERATIVI

La determinazione del modulo elastico utilizzabile in calcoli geotecnici è influenzato 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,

qult= tensione ultima,

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RB</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>OC0200 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>24 di 97</b>

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  $E_0$  mediante la relazione seguente:

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

Considerando i casi quindi:

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

E' 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 il cedimento di opere di sostegno e per le fondazioni.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 25 di 97

## **10 PROCEDURA OPERATIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI**

### **10.1 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. E' 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 composizionale/strutturale secondo l'approccio suggerito da Hoek, Marinos and Marinos (Characterization and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses, 2004) 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, parametro di resistenza *mi* di Hoek-Brown);
- **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 e confronto con i parametri di letteratura dell' *mi* di Hoek Brown, ricavato dall'involuppo dei risultati delle prove di laboratorio sopra esposte, e del modulo della roccia intatta, ricavato da Deere-Palmstrom-Sigh –  $E_i = MR \cdot UCS$ , riferiti alle differenti litologie presenti in natura.

**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 *mi* 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.

### **10.2 CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI**

In accordo a Hoek e Marinos - Characterization and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses, 2004-, i depositi di origine sedimentaria costituiti da alternanze più o meno regolari di arenarie, sabbie, marne, siltiti e argille comunemente prodotti dall'erosione delle catene montuose dopo la fase finale di orogenesi si comportano in modo molto diverso da ammassi di natura Flyschoidi aventi simile composizione ma tettonicamente disturbati durante il processo di orogenesi. Le molasse, infatti, si comportano come ammassi rocciosi continui quando sono confinate in profondità e le superfici di strato non appaiono come superfici di discontinuità ben definite. La formazione della Baronia (BNA2-BNA3) è ascrivibile a tale

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>				
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. FOGLIO B 26 di 97

categoria geomeccanica. Le formazioni oggetto dello studio sopra citato generalmente si dispongono secondo una sequenza quasi indisturbata di grande spessore di arenarie e siltite e marne. Possono alternarsi in strati di decine di centimetri o possono mostrare una presenza continua massiva di uno degli strati. Come detto essi si sono formati e sviluppati dopo l'orogenesi principale, pertanto non hanno sofferto di rilevanti processi compressivi o di taglio. Essi sono caratterizzati da una struttura poco piegata. L'inclinazione degli strati è generalmente modesta e i casi con angolo di immersione maggiore di 30° sono rari e locali. Sempre secondo lo studio di Hoek e Marinos i materiali in questione sono molto vulnerabili all'alterazione per esposizione agli agenti atmosferici e allo sviluppo di superfici di rottura parallele alla direzione di sedimentazione quando esposti o vicini alla superficie. Hoek e Marinos propongono una specifica classificazione geomeccanica per ammassi di tale caratteristiche per il caso specifico di interazione con lo scavo di gallerie (figura alla pagina seguente)

Nell'ammasso roccioso indisturbato incontrato durante lo scavo, l'ammasso stesso appare continuo e i piani di sedimentazione non appaiono come superfici di discontinuità chiaramente definite. Per questi materiali, Hoek & Marinos raccomandano l'assunzione di una condizione "Blocky Rock" attribuibile alla zona M1 della carta di classificazione; sono da considerarsi corrispondentemente valori di GSI nel range 60 -80. Il GSI è dunque molto elevato; l'ammasso roccioso può sostanzialmente essere trattato come intatto con parametri della matrice determinati da prove di laboratorio.

Nel caso di attraversamento delle zone di faglia l'ammasso roccioso può presentarsi fortemente fratturato e brecciato. In questi casi gli autori suggeriscono di utilizzare la zona M2 del grafico, con GSI che assume valori compresi nel range di 30 – 40, come mostrato dall'area M2.

L'approccio di classificazione sopra accennato è stato impiegato per la caratterizzazione delle unità afferenti alla formazione della Baronia facies BNA2 / BNA3. La descrizione di maggior dettaglio delle procedure implementate e delle scelte progettuali adottate è contenuta rispettivamente ai successivi paragrafi 11.1 e 11.2.

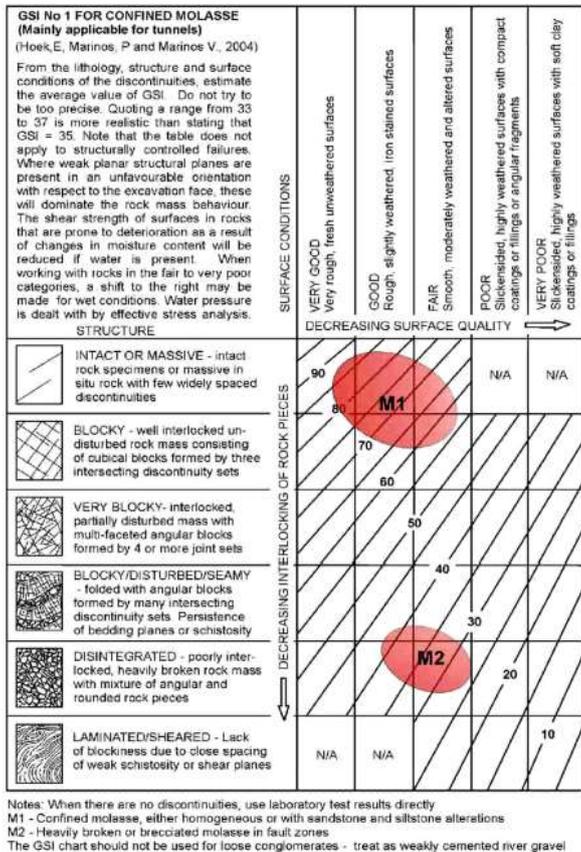


Tabella 10-1 – Grafico di riferimento per calcolo GSI per ammassi sedimentati (molasse confinate) principalemnte applicabile per tunnel (Hoek, Marinos and Marinos, 2004)

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 27 di 97

### 10.2.1 Procedura operativa

Seguendo tale approccio, si è provveduto a classificare l'ammasso roccioso in corrispondenza dei settori interessati dalle operazioni di carotaggio per profondità maggiori di 50 m da p.c.. Operativamente, ogni cassetta di sondaggio (5m di carotaggio), è stata oggetto di analisi visiva specifica aiutandosi, laddove presenti, dai rilievi geomeccanici, al fine di assegnare un valore di indice GSI appropriato all'intera cassetta in esame. L'approccio seguito, differenziandosi dal tradizionale calcolo dell'RMR per ogni metro di sondaggio, è stato ritenuto adatto alle formazioni della Baronia – litofacies argillosa marnosa e marne argillosa e litofacies arenacea - per la buona continuità e omogeneità del materiale con la profondità.

Sono state individuate 4 famiglie di roccia a cui è stato assegnato un valore di GSI in funzione delle aree M1 e M2 suggerite da letteratura:

- 1 – “intact or massive” con poche e ampiamente spaziate discontinuità
- 2 – “blocky” con alcune discontinuità e/o fratturazioni meccaniche più frequenti
- 3 – “very blocky”. Famiglia intermedia tra le aree M1 e M2 introdotta per distinguere il materiale con numerose discontinuità che però mantiene prevalentemente un aspetto lapideo
- 4 – “disintegrated” materiale brecciato o disintegrato per almeno 3 m su 5 m di riferimento

### 10.3 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).

Ai fini dell'interpretazione dei risultati dei Point Load Strength Tests, in assenza di informazioni specifiche per le formazioni rocciose in disamina, è suggerita l'adozione di fattori  $k_{50}$  variabili con la resistenza della matrice rocciosa. L'intero campione di dati Point Load Strength Index è stato dunque analizzato con riferimento a fattori di correlazione  $k_{50}$ , al variare del dato  $I_{50}$  trattato, d'accordo con le indicazioni di letteratura (Palmstrom – 1994).

$\sigma_c$ (MPa)	$I_{50}$ (MPa)	$k_{50}$
25 <sup>*)</sup> - 50	1.8 - 3.5	14
50 - 100	3.5 - 6	16
100 - 200	6 - 10	20
> 200	> 10	25

Tabella 10-2 – Valori  $k_{50}$  suggeriti, al variare della resistenza a compressione (Palmstrom – 1994)

### 10.4 PROPRIETÀ DI DEFORMABILITÀ

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

- da prova di compressione monoassiale a controllo di deformazione: modulo elastico tangente corrispondente al 50 % della sollecitazione a rottura
- da misura 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;
- prova dilatometrica: è stato considerato il modulo in scarico corrispondente al 3° ciclo di carico
- prova pressiometrica: si considera il modulo elastico misurato nel tratto pseudoelastico

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>28 di 97</b>

## 10.5 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 = 0 per "undisturbed rock masses"

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

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

### 10.5.1 Valori di riferimento del parametro $m_i$ da letteratura

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	Homfels (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 10-3 – 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 AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B FOGLIO 29 di 97

### 10.5.2 Valori di riferimento del parametro *MR* da letteratura

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
Sedimentary	Clastic		Conglomerates 300-400 Breccias 230-350	Sandstones 200-350	Siltstones 350-400 Greywackes 350	Claystones 200-300 Shales 150-250 Marls 150-200
		Non-clastic	Carbonates	Crystalline limestones 400-600	Sparitic limestones 600-800	Micritic Limestones 800-1000
		Evaporites		Gypsum (350)	Anhydrite (350)	
		Organic				Chalk 1000+
Metamorphic	Non-foliated		Marble 700-1000	Hornfels 400-700 Metasandstone 200-300	Quartzites 300-450	
	Slightly foliated		Migmatite 350-400	Amphibolites 400-500	Gneiss 300-750	
	Foliated			Schists 250-1100	Phyllites/Mica Schist 300-800	Slates 400-600
Igneous	Plutonic	Light	Granite 300-550 Granodiorite 400-450	Diorite 300-350		
		Dark	Gabbro 400-500 Norite 350-400	Dolerite 300-400		
	Hypabyssal		Porphyries (400)		Diabase 300-350	Peridotite 250-300
	Volcanic	Lava		Rhyolite 300-500 Andesite 300-500	Dacite 350-450 Basalt 250-450	
		Pyroclastic	Agglomerate 400-600	Volcanic breccia (500)	Tuff 200-400	

Tabella 10-4 – Valori di riferimento della costante *MR* della roccia intatta in base al tipo di roccia (i valori indicati tra parentesi sono stimati) (Hoek, Kaiser e Bawden, 1995)

### 10.5.3 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  $\phi'$ ).

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

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

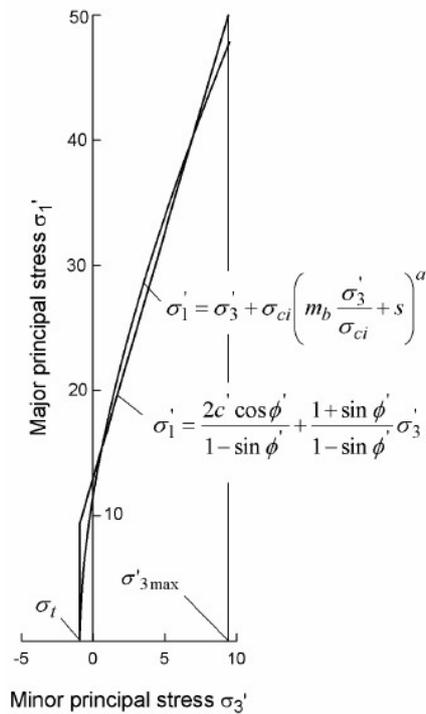
Il valore di  $\sigma'_{3 \max}$  per tunnel profondi è funzione dello sforzo litostatico agente in profondità

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

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 30 di 97

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

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.



APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 31 di 97

## 11 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA-GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

### 11.1 FORMAZIONE DELLA BARONIA – BNA2

#### 11.1.1 Note introduttive

Lo scavo della galleria Rocchetta (dall'imbocco della galleria Rocchetta lato Bari fino alla pk 15+125) e della galleria Melito (da pk 7+020 all'imbocco della galleria Melito lato Napoli) interessano l'Unità BNA2 ( Pliocene Inf.) litofacies pelitica della Formazione della Baronìa, con caratteristiche prevalenti di argilla marnosa più o meno siltosa consistente.

La caratterizzazione si è mossa dal confronto della classe geomeccanica, dei risultati delle prove di laboratorio e in foro rispettivamente delle gallerie Melito e Rocchetta. Dal confronto è emerso che la formazione è prevalentemente omogenea in termini di matrice rocciosa tra le gallerie ed è stato dunque possibile svolgere una caratterizzazione geomeccanica unica per le due opere, tenendo comunque presente le diverse coperture in calotta raggiunte durante lo scavo della galleria Rocchetta.

#### 11.1.2 Sondaggi di riferimento

La caratterizzazione è stata condotta elaborando le risultanze dei sondaggi geognostici condotti nell'ambito della Campagne indagini del 2008 - 2015 - 2017 -2019.

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				GSI
ID Sond.	opera	pk approx.	Lung. (m)	Dilatorm.	Pressiom.	Fisiche	UCS	PLT	Hoek	T ind	TxUU	TxCIU	TD	ELL	
SN_Me_08	ME	7+270	95	2	-	10	1	-	-	4	-	-	-	-	x
G4	ME	7+450	80	4	-	9	1	3	-	-	-	-	-	-	x
SME06	ME	7+840	120	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	x
G12	ME	8+370	110	-	-	2	-	3	-	-	-	1	1	-	x
S15	ME	8+670	148	-	-	4	-	-	-	-	-	-	1	-	x
C18	ME	9+365	30	-	-	1	-	-	-	-	-	2	2	-	-
SME10	ME	9+495	80	1	-	-	5	-	-	6	-	-	-	-	x
S17	ME	9+570	30	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-
ENS3	VI03	9+575	50	-	-	10	4	1	-	-	-	-	2	-	-
ENS2	VI03	10+050	50	-	-	9	4	-	-	-	2	-	3	-	-
S20	ROC	10+175		-	-	4	-	-	-	-	-	1	1	-	-
SROC0	ROC	10+160	80	2		9	-	-	-	1	-	-	1	1	x
SROC1	ROC	10+275	80	1	1	2	-	4	-	3	-	-	-	-	x
ENS1	ROC	11+025	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
G5	ROC	11+150	140	4	-	6	-	6	-	-	-	-	-	-	x



<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>33 di 97</b>



Cassa 66 – Profondità: 325.0 – 330.0 metri

Cassa 33 – Profondità: 160.0 - 165.0 metri

**Figura 11-2 – Esempio di famiglie di tipo “3” e “4” per la classificazione geomeccanica dell’ammasso**

Nel seguito si riportano i risultati della classificazione condotta per ogni verticale di indagine di profondità superiore ai 50 m interessante la Unità del BNA2 per la galleria Melito e Rocchetta in ordine di progressiva crescente. I grafici riportano anche indicazione della descrizione stratigrafica e del contatto riportato sul Profilo Geologico.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	IF28	01	E ZZ RB	OC0200 001	B	34 di 97

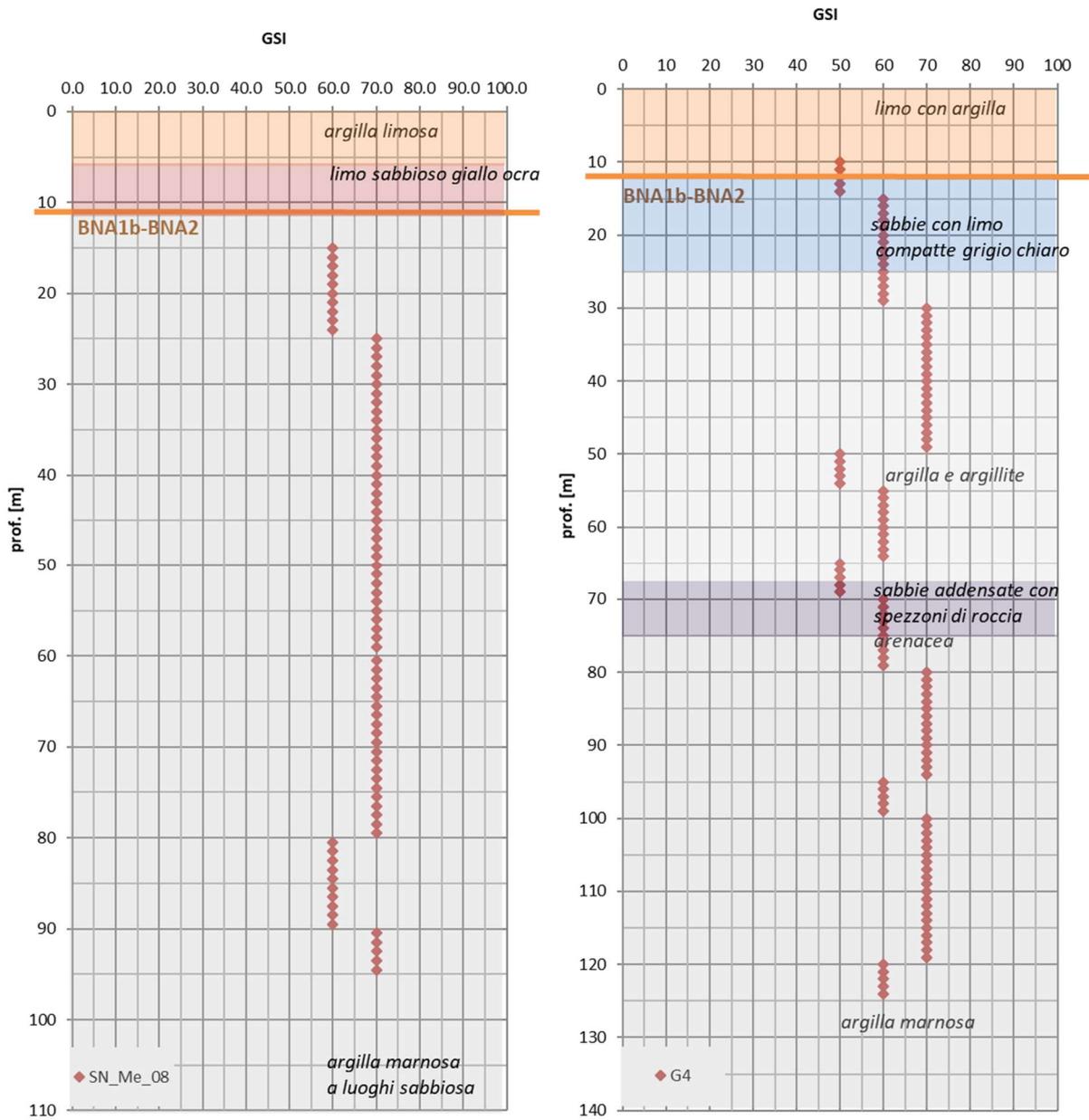


Figura 11-3 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità, dei sondaggi SN\_Me\_08 e G4

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>																	
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF28</td> <td>01</td> <td>E ZZ RB</td> <td>OC0200 001</td> <td>B</td> <td>35 di 97</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF28	01	E ZZ RB	OC0200 001	B	35 di 97
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF28	01	E ZZ RB	OC0200 001	B	35 di 97													
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>																		

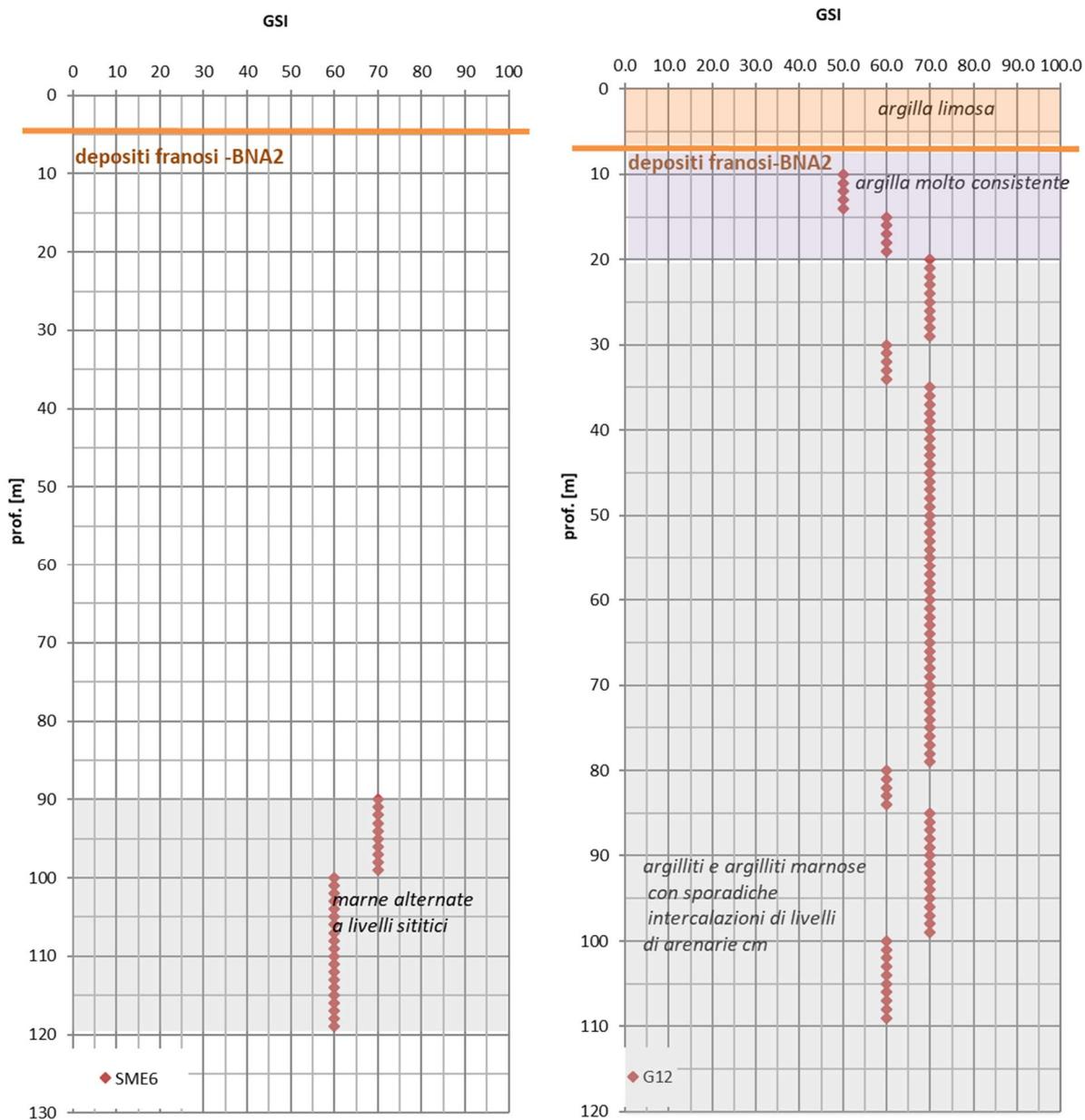


Figura 11-4 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità, dei sondaggi SME6 e G12

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                  Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>36 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

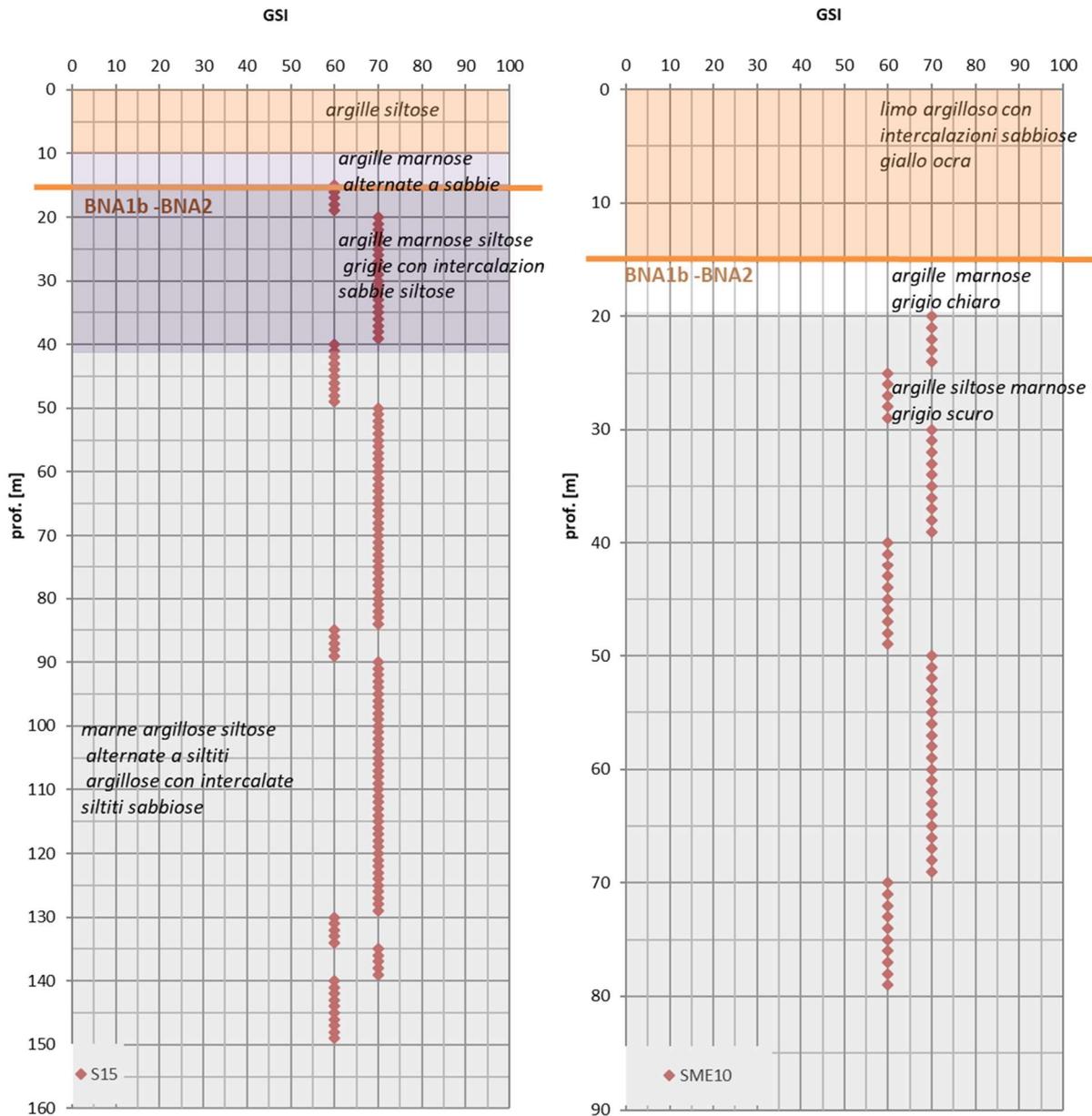


Figura 11-5 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità, dei sondaggi S15 e SME10

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 37 di 97
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

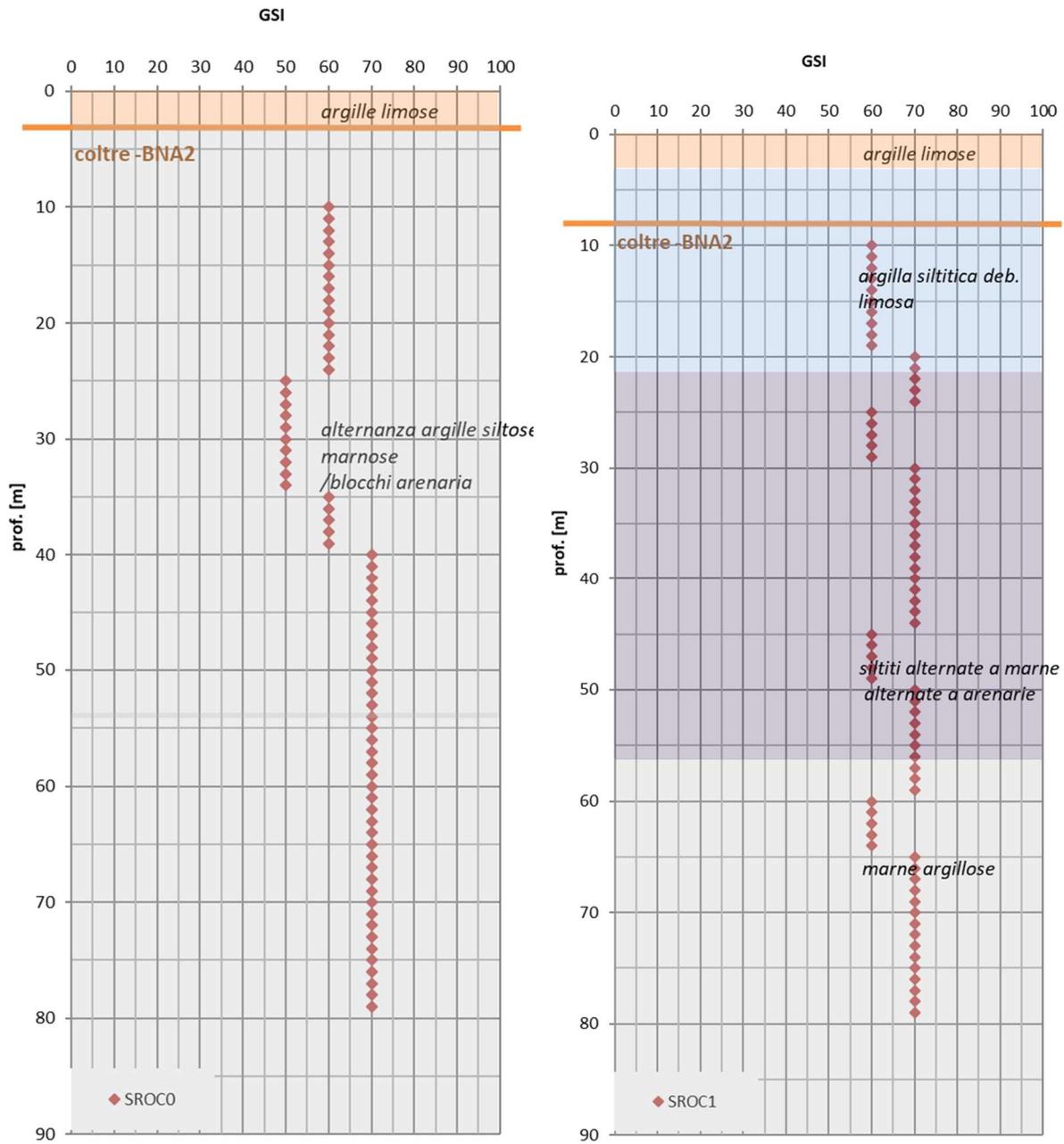


Figura 11-6 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità, dei sondaggi SROC0 e SROC1

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>		IF28	01	E ZZ RB	OC0200 001	B	38 di 97

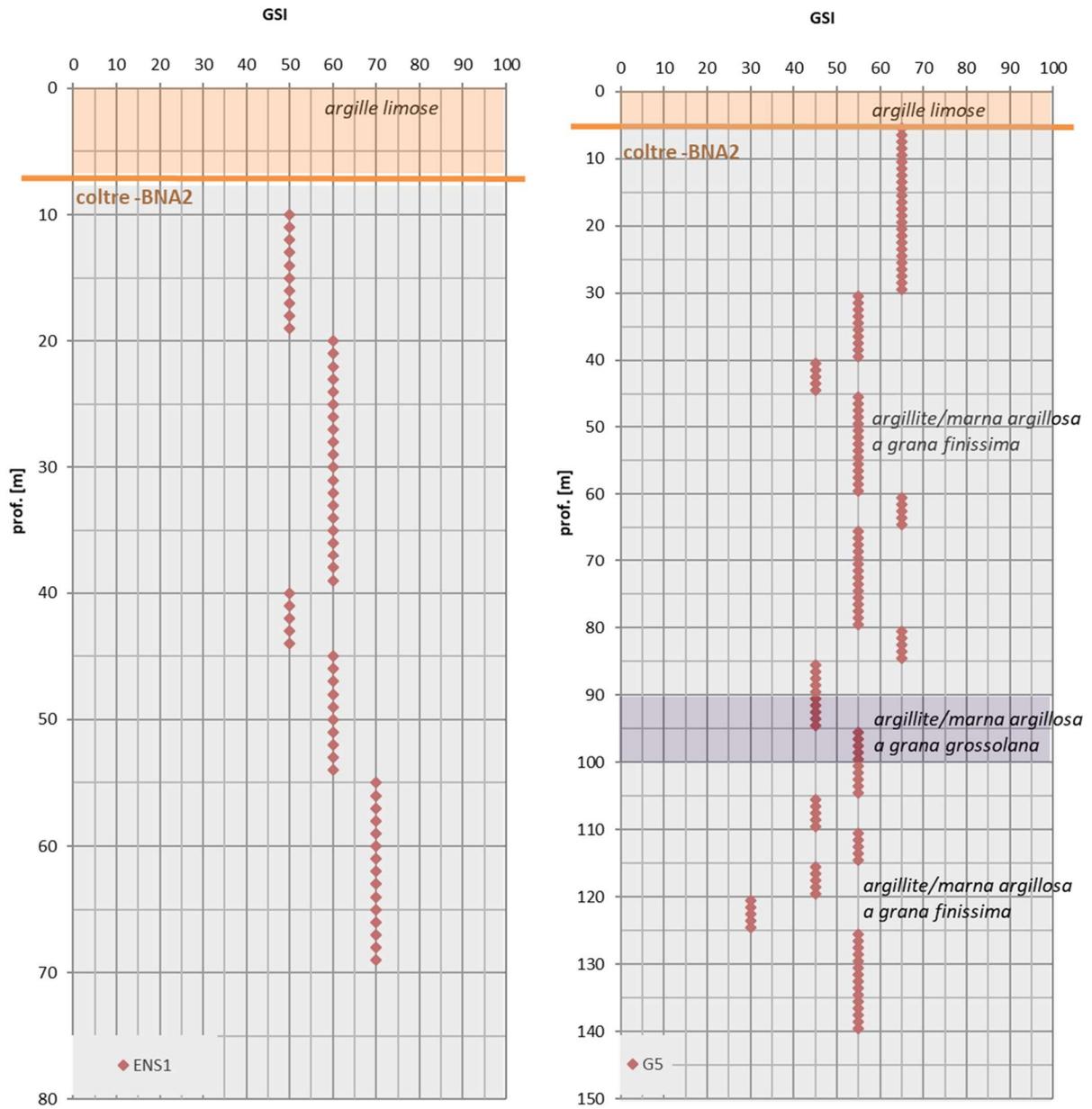


Figura 11-7 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità, dei sondaggi ENS1 e G5

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 39 di 97
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

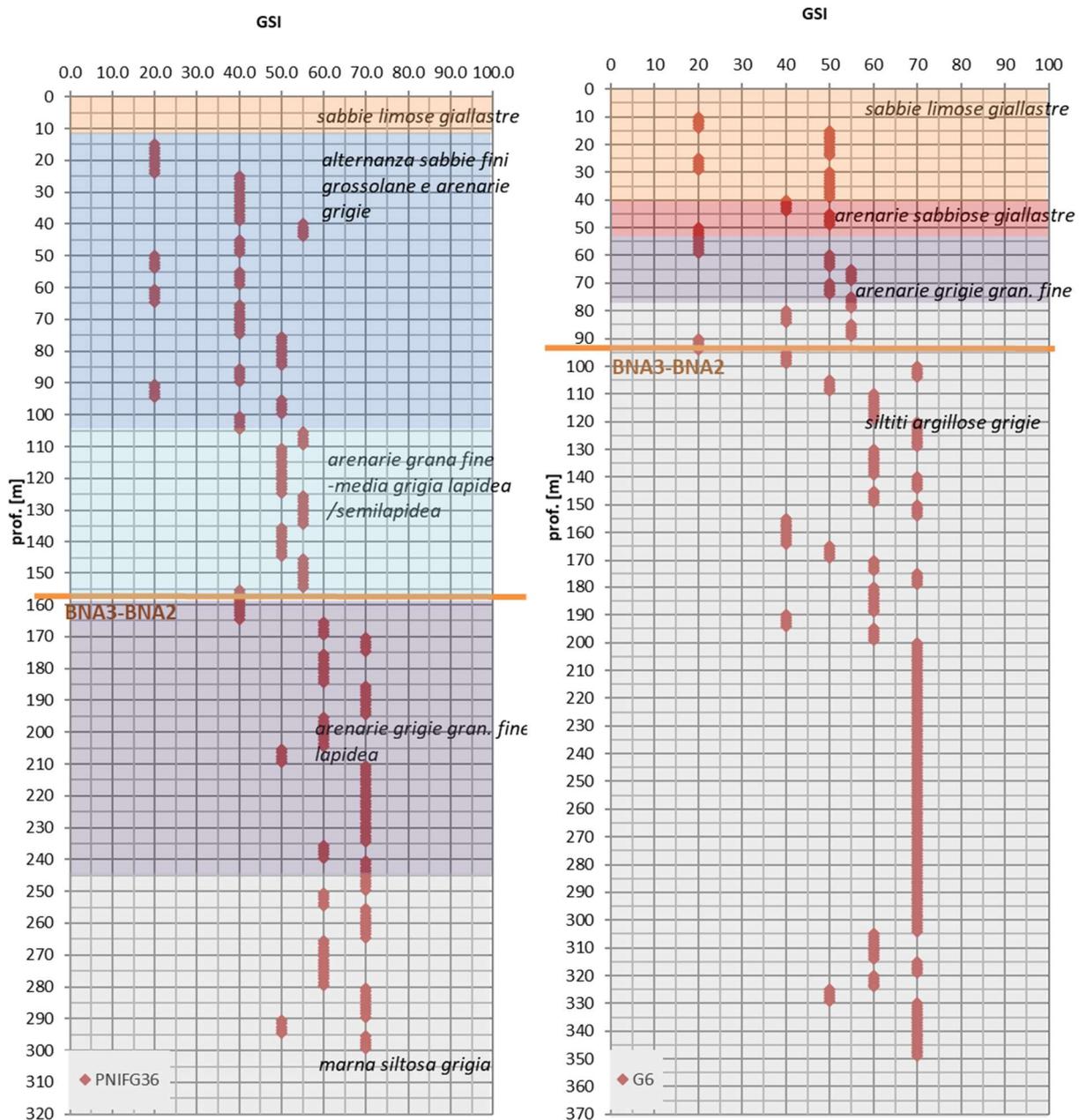


Figura 11-8 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità, dei sondaggi PNIFG36 e G6

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                  Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.              NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>40 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

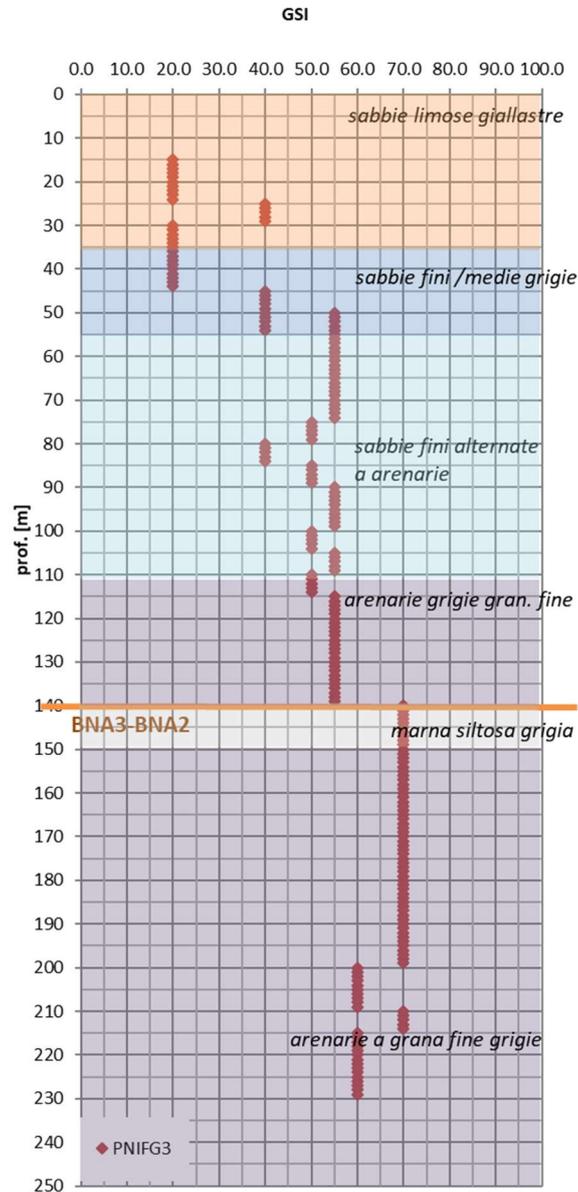


Figura 11-9 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità, dei sondaggi PNIFG3

#### 11.1.4 Proprietà fisiche dell'ammasso roccioso

E' stata condotta una analisi dei dati disponibili relativamente alle determinazioni delle proprietà fisiche della matrice rocciosa.

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggi mostrano sia per la galleria Melito che per la galleria Rocchetta la prevalenza dei termini limo argillosi e subordinatamente sabbiosi. I provini che riportano una percentuale maggiore della frazione sabbiosa sono quelli del sondaggio SN\_Me\_08 per la galleria Melito e G6 per la galleria Rocchetta.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio      Soci <b>HIRPINIA AV      SALINI IMPREGILO S.P.A.      ASTALDI S.P.A.</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.      NET ENGINEERING S.P.A.      ALPINA S.P.A.</b>		<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale		COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 41 di 97

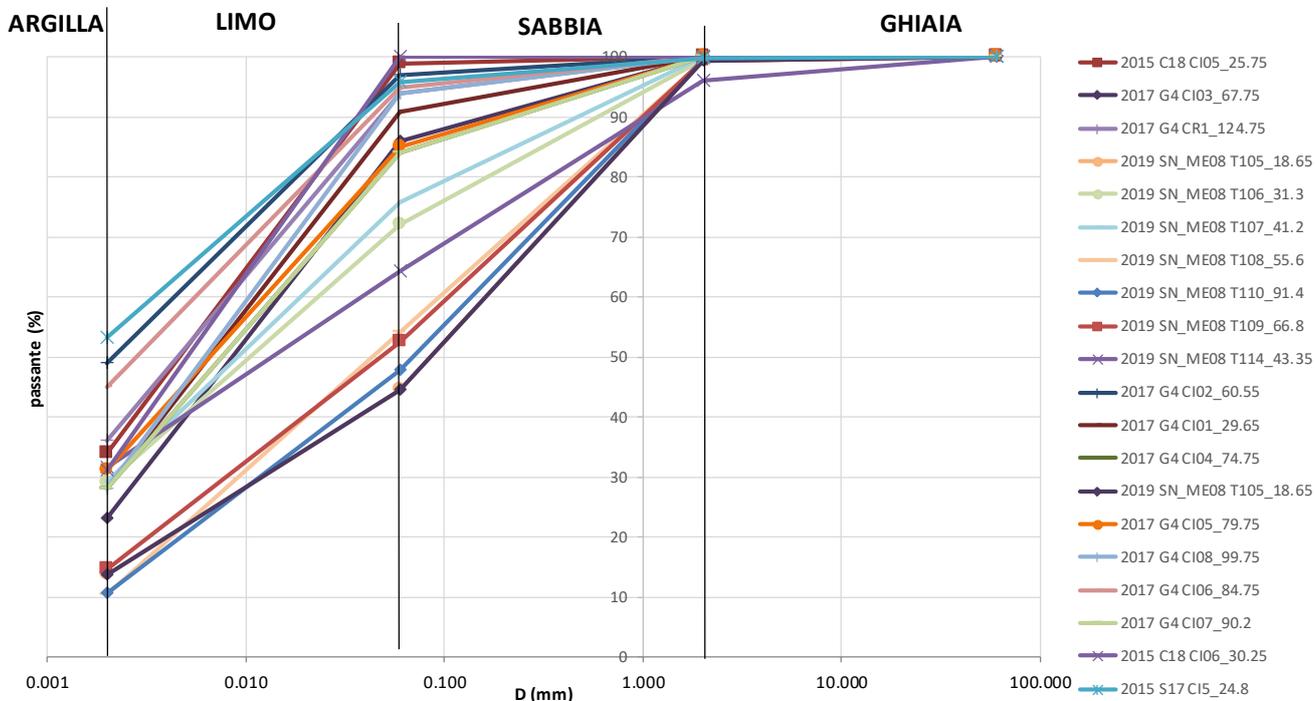


Figura 11-10 – Curve granulometriche relative alla formazione del BNA2 – galleria Melito

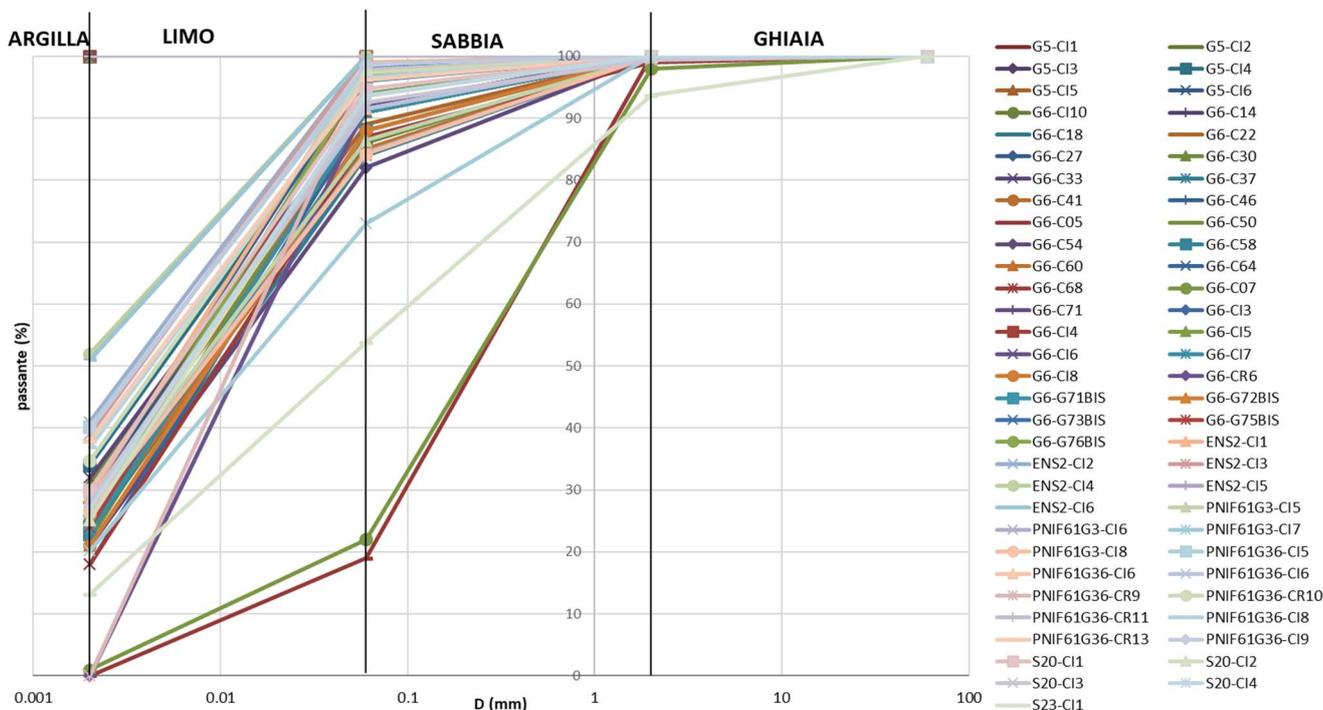


Figura 11-11 – Curve granulometriche relative alla formazione del BNA2 – galleria Rocchetta

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>42 di 97</b>

Le elaborazioni condotte sulle proprietà fisiche dell'Unità BNA2 mostrano un sostanziale accordo tra i risultati ottenuti nelle due gallerie Melito e Rocchetta.

Il peso dell'unità di volume è variabile tra:

- 20 ÷ 23 KN/m<sup>3</sup> fino a circa 30 metri di profondità; in particolare i dati riportati nei grafici per tali profondità si riferiscono ai campioni prelevati nei sondaggi realizzati nelle aree di imbocco della Galleria Rocchetta lato Bari e Galleria Melito lato Napoli.
- 21 ÷ 24 KN/m<sup>3</sup> dai 30 e i 50 m;
- 22 ÷ 24 KN/m<sup>3</sup> dai 50 e i 200 m;
- 22 ÷ 24.5 KN/m<sup>3</sup> dai 200 m.

Sia per il contenuto d'acqua naturale che per i limiti di Atterberg che per l'indice di consistenza e di plasticità è possibile osservare degli intervalli di variabilità con le coperture:

- Da piano campagna fino a circa 50m di profondità
- dai 50m ai 125 m circa
- dai 125 m ai 250 m circa
- dai 250m

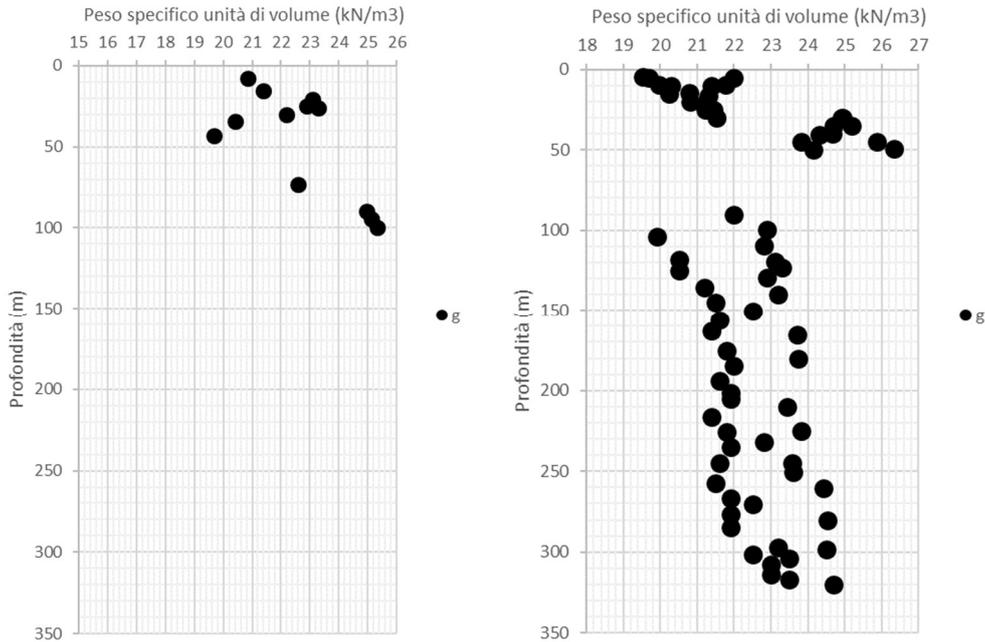
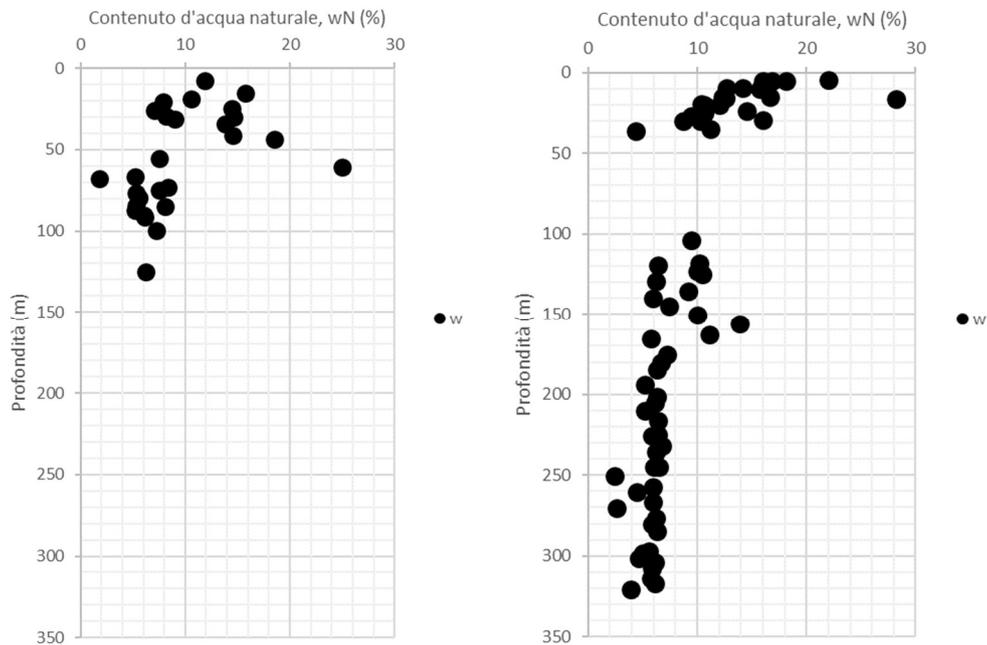
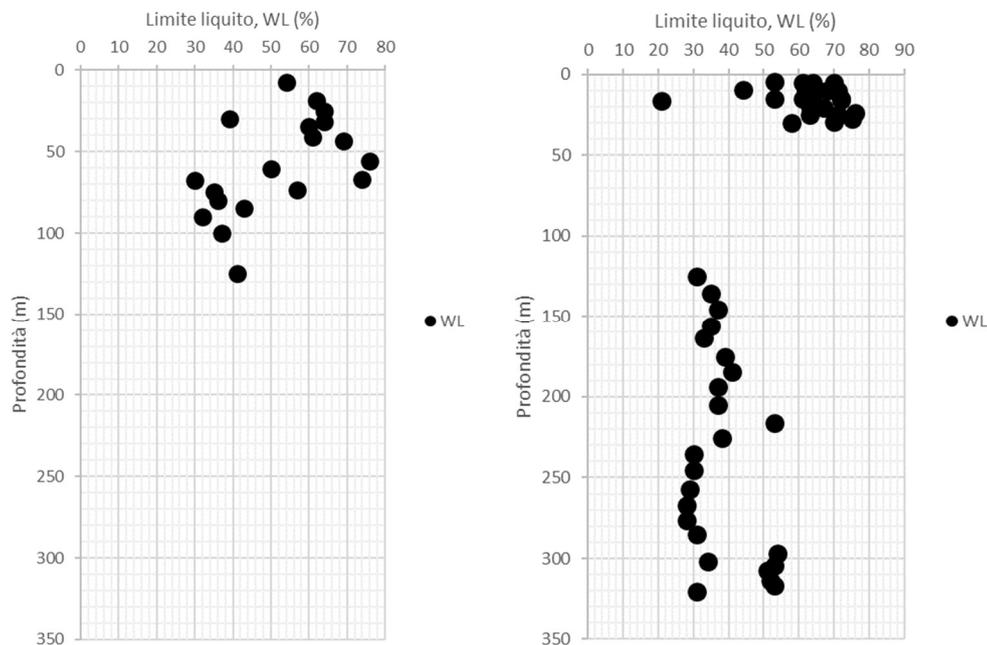


Figura 11-12 – Peso specifico unità di volume – galleria Melito (sx), galleria Rocchetta (dx)

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>43 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

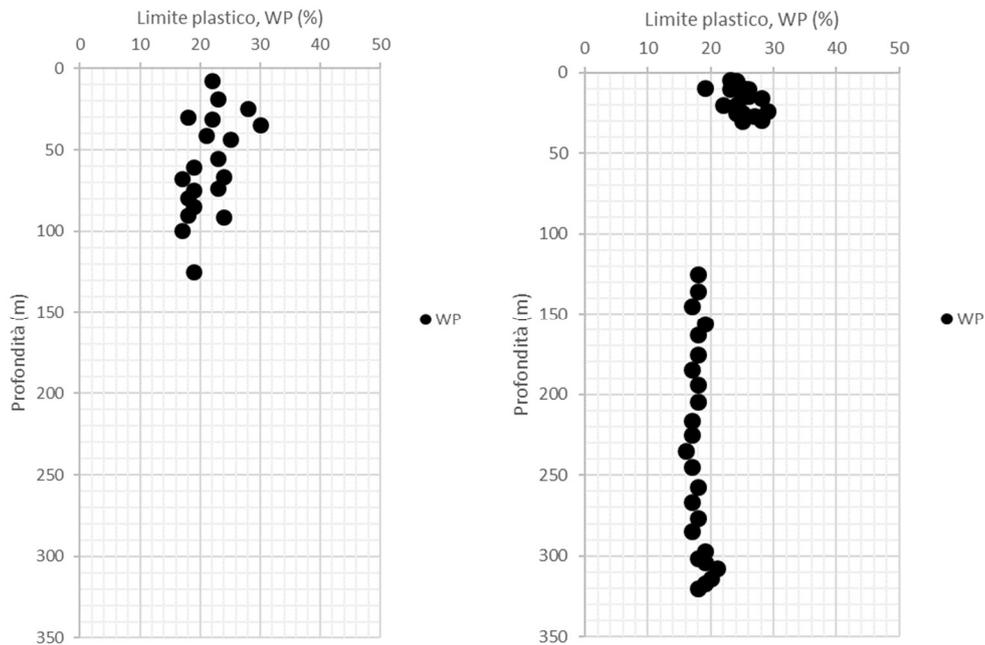


**Figura 11-13 – Contenuto d'acqua naturale – galleria Melito (sx), galleria Rocchetta (dx)**

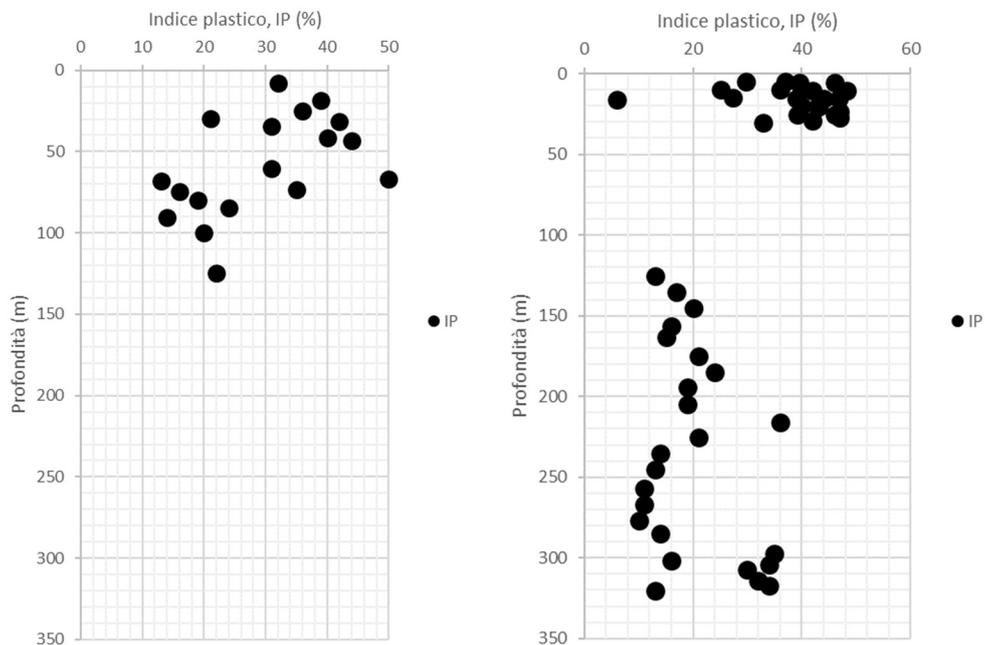


**Figura 11-14 – Limite liquido – galleria Melito (sx), galleria Rocchetta (dx)**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>44 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						



**Figura 11-15 – Limite plastico – galleria Melito (sx), galleria Rocchetta (dx)**



**Figura 11-16 – Indice plastico – galleria Melito (sx), galleria Rocchetta (dx)**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>45 di 97</b>

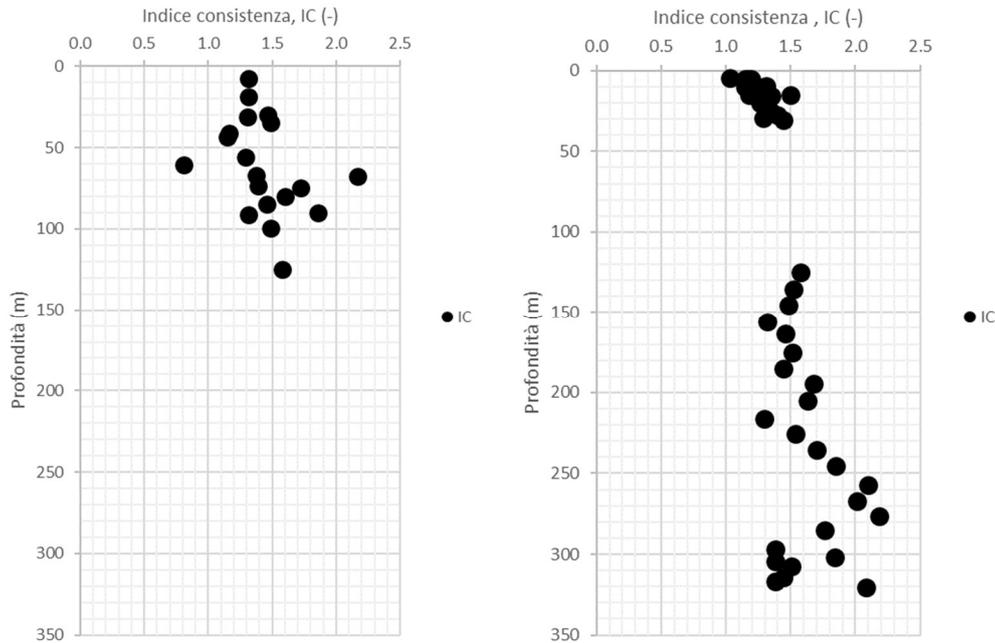


Figura 11-17 – Indice di consistenza – galleria Melito (sx), galleria Rocchetta (dx)

### 11.1.5 Proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso

E' stata condotta una analisi dei dati disponibili relativamente alle determinazione delle proprietà di resistenza meccanica.

Nel seguito si riportano i valori delle sollecitazioni a rottura delle prove di compressione monoassiale, triassiale e di trazione indiretta ripettivamente divisi tra i campioni afferenti alla galleria Melito e Rocchetta.

Dall'analisi dei risultati delle prove di resistenza meccanica di laboratorio emerge un carattere di omogeneità del materiale incontrato nelle perforazioni effettuate sia lungo il tracciato della galleria Melito che lungo il tracciato della galleria Rocchetta. Così come era già evidente dall'analisi delle proprietà fisiche, si osserva un trend di resistenza a compressione crescente con la profondità suddivisibile in due intervalli di variabilità con le coperture:

- Da piano campagna fino a 125- 150 m circa, la resistenza a compressione si attesta nel range compreso tra i 5 e i 10 Mpa;
- dai 125 - 150 m fino alle coperture esaminate, la resistenza a compressione si attesta nel range compreso tra i 5 e i 15 Mpa

Nelle prove condotte sul materiale restituito dai sondaggi realizzati sia lungo la galleria Melito che lungo la galleria Rocchetta si sono registrati valori di resistenza a compressione monoassiale elevati, nello specifico con valor medio 18 MPa a coperture ridotte e 21 MPa alle maggiori profondità.

Sulla base di tale evidenza si identifica progettualmente una Facies 2 del materiale presente in percentuale inferiore nelle aree di interesse (e limitatamente alle condizioni di maggiore copertura), caratterizzato da risorse meccaniche superiori.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>46 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

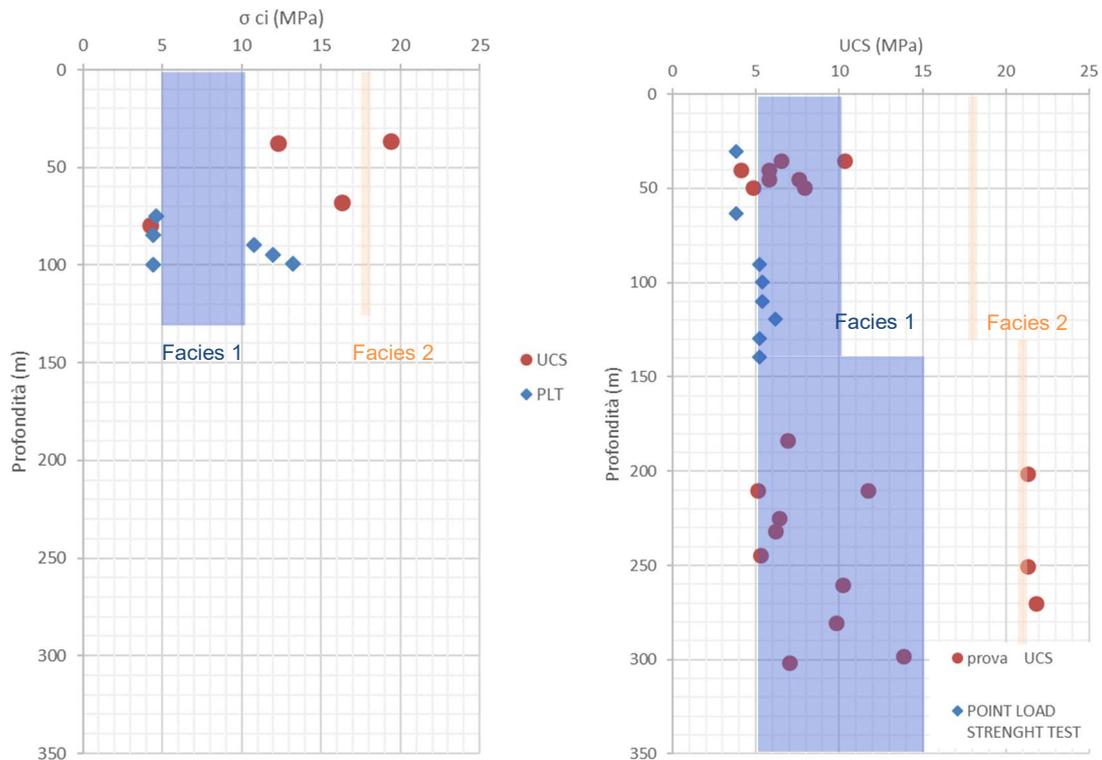


Figura 11-18 – Resistenza a compressione monoassiale – galleria Melito (sx), galleria Rocchetta (dx)

I seguenti grafici mostrano le sollecitazioni a rottura ottenute per da prove di trazione indiretta e prova in cella triassiale di Hoek eseguite per i sondaggi della galleria Rocchetta.

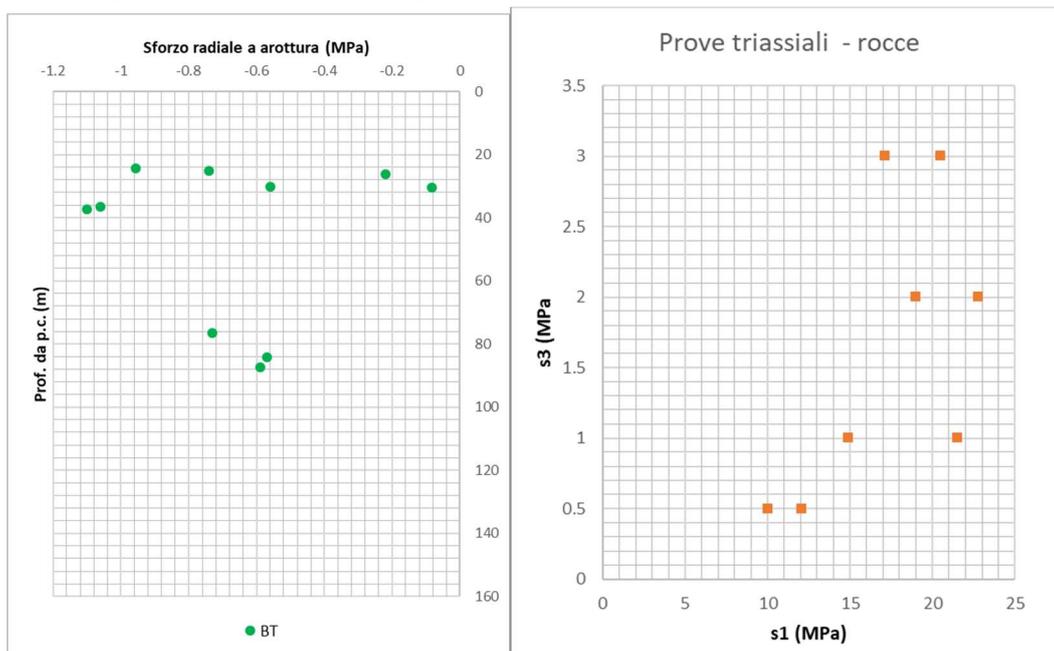


Figura 11-19 – Sforzo radiale a rottura e prove triassiali

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 47 di 97

### 11.1.6 Proprietà di deformabilità dell'ammasso roccioso

#### Modulo elastico da prove di compressione monoassiale e misura onde soniche

I grafici seguenti illustrano i valori di modulo elastico tangente (misurato al 50 % della sollecitazione massima raggiunta durante la prova) misurato durante le prove di compressione monoassiale. In una di queste prove sono state misurate le onde Vs e Vp da cui è stato poi ricavato il modulo a basse deformazioni.

La differenza di facies all'interno dell'Unità del BNA2, già messa in evidenza nelle caratteristiche meccaniche, è osservabile anche nei moduli elastici tangenti misurati:

- Facies 1 :500 – 3000 MPa
- Facies2: >10000 MPa

I campioni con modulo elastico tangente superiore a 10000 MPa sono il CI3 della verticale G4 (g. Melito) e il CI4, CI5, CI6 della verticale G6 (g. Rocchetta).

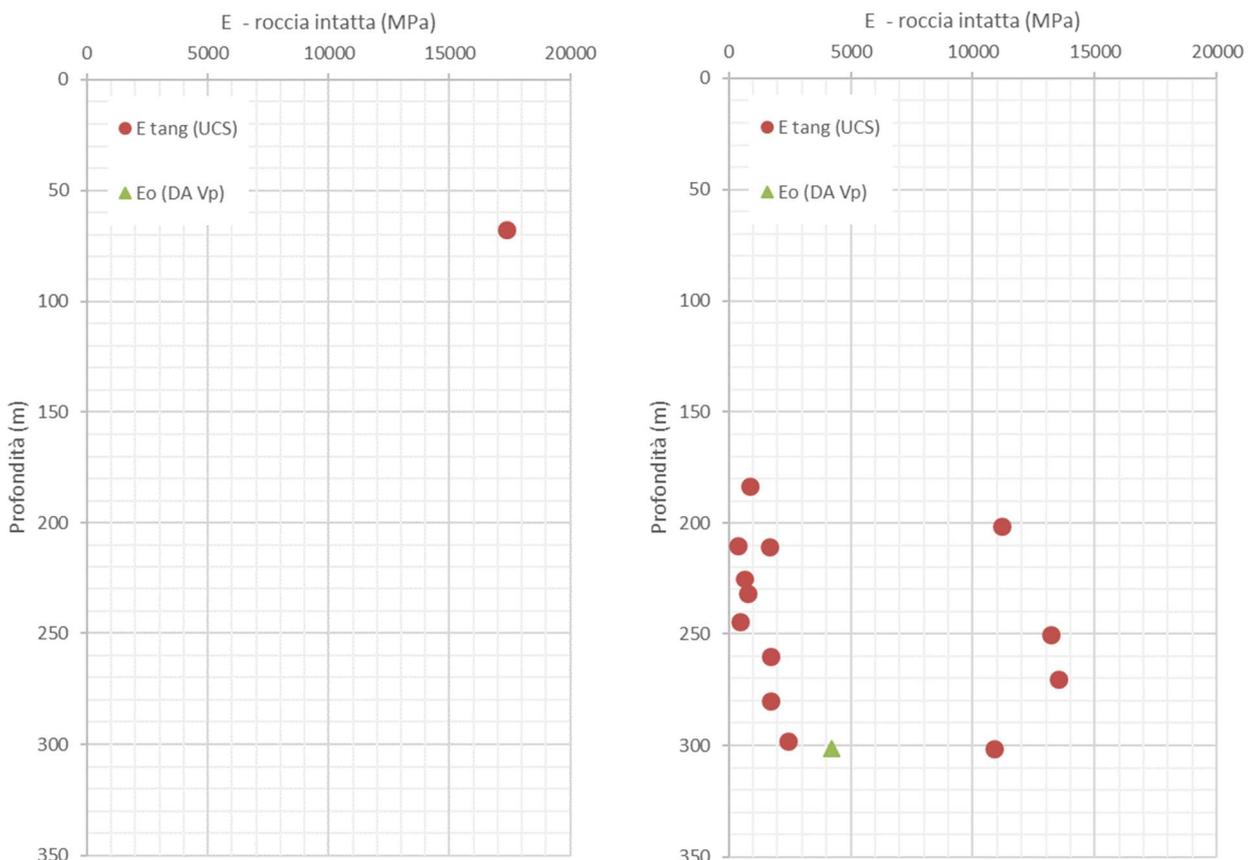


Figura 11-20 – Modulo elastico tangente – galleria Melito (sx), galleria Rocchetta (dx)



APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 49 di 97

### 11.1.7 Caratterizzazione geomeccanica della matrice rocciosa

Dall'analisi delle prove di laboratorio e in foro e dall'elaborazione dei loro risultati è emersa la necessità di elaborare una caratterizzazione geomeccanica che tenesse in considerazione la presenza di differenti facies e le differenti proprietà meccaniche e di deformabilità con la profondità.

La presenza di contesti caratterizzati da formazione marnosa a matrice maggiormente competente (Facies 2) è stata rilevata lungo la galleria Rocchetta (campagna PD) a profondità comprese tra i 200 e i 270 m da p.c in corrispondenza del sondaggio G6, ubicato a ca 50 m circa dall'innesto della F6. .. Trattasi di una facies marnosa caratterizzata da significative proprietà meccaniche (UCS ≈ 21 MPa), deformative (Etan = 11-14 GPa), nonché da un ridotto contenuto d'acqua (2-6% contro il 4- 8 % della matrice 2 alle stesse profondità). Condizioni simili, come sopra detto, sono individuabili –localmente - lungo la galleria Melito, in isolati campioni: nel campione CI03 della verticale G4 (70 m), caratterizzato da UCS=16.3 MPa, E tan=17 GPa, wN=1.8% e nel campione CL2 della verticale SME10 (36.5m), caratterizzato da UCS=19.4 MPa. Si precisa come in termini di previsione progettuale di occorrenza lungo i tracciati delle gallerie di linea e delle finestre, tale facies abbia carattere marginale rispetto alle facies caratterizzate da matrice meno competente.

Data la sostanziale omogeneità di materiale sia in termini di classe geomeccanica che di prove di laboratorio che prove in foro, è stata eseguita una caratterizzazione comune per le gallerie Melito e Rocchetta.

- Matrice 1: rappresentativa delle coperture comprese tra 30 e 175 m relativa alla Facies 1 (intervallo resistenza a compressione 5 – 10 MPa);
- Matrice 2: rappresentativa delle coperture comprese tra 125 e 400 m relativa alla Facies 1 (intervallo resistenza a compressione 5 – 15 MPa);
- Matrice 3: rappresentativa delle coperture comprese tra 225 e 400 m relativa alla Facies 2 (intervallo resistenza a compressione di circa 21 MPa).

Il valore di riferimento di  $m_i$  da letteratura per la litologia oggetto di studio (marne) è di :

- $m_{i, lett} = 7 \pm 2$

Il valore di riferimento di  $MR$  da letteratura per la litologia oggetto di studio (marne) è di :

- $MR = 175 \pm 200$

#### **Caratterizzazione geomeccanica - Facies 1 - "Matrice 1"**

Nel seguito si riporta una Tabella riassuntiva del set di prove disponibili per la matrice 1 eseguite nell'intervallo di profondità dai 25m ai 140 m. Gli esiti dell'elaborazione dei dati suddetti sono estendibili all'intervallo complessivo più ampio relativo al range di copertura 30 – 175 m. Sono state omesse dallo studio le prove ritenute non rappresentative della caratterizzazione in oggetto.

Galleria /Opera	ID sondaggio	ID campione	Tipo prova	prof. Campione	$\sigma_3$	$\sigma_1$
				z	Mpa	Mpa
Rocchetta	SROC0	CI2	BT	30.3	-0.083	0
Rocchetta	SROC1	T75	BT	24.4	-0.956	0
Rocchetta	SROC1	T82	BT	25	-0.741	0
Rocchetta	SROC1	T83	BT	30.2	-0.56	0
Melito	SME10	CL1	BT	26.3	-0.22	0
Melito	SME10	CL2	BT	36.6	-1.06	0
Melito	SME10	CL3	BT	37.4	-1.1	0
Melito	SN_ME_08	T115	BT	76.6	-0.73	0
Melito	SN_ME_08	T116	BT	84.3	-0.57	0

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 50 di 97

Melito	SN_ME_08	T117	BT	87.35	-0.59	0
Rocchetta	SROC1		PLT	63.4	0	3.8
VI03	ENS3	CI6	PLT	30.3	0	3.8
Rocchetta	G5	CI01	PLT	90.5	0	5.2
Rocchetta	G5	CI02	PLT	99.5	0	5.4
Rocchetta	G5	CI03	PLT	109.75	0	5.4
Rocchetta	G5	CI04	PLT	119.5	0	6.2
Rocchetta	G5	CI05	PLT	129.5	0	5.2
Rocchetta	G5	CI06	PLT	139.7	0	5.2
Melito	G4	CI04	PLT	74.75	0	4.6
Melito	G4	CI06	PLT	84.75	0	4.4
Melito	G4	CI08	PLT	99.75	0	4.4
Melito	G12	CI1	PLT	89.5	0	10.8
Melito	G12	CI2	PLT	94.5	0	12
Melito	G12	CI3	PLT	99.5	0	13.2
VI03	ENS2	CI7	UCS	35.25	0	6.5
VI03	ENS2	CI8	UCS	40.25	0	5.8
VI03	ENS2	CI9	UCS	45.25	0	7.6
VI03	ENS2	CI10	UCS	49.5	0	7.9
VI03	ENS3	CI7	UCS	35.25	0	10.3
VI03	ENS3	CI8	UCS	40.3	0	4.1
VI03	ENS3	CI9	UCS	45.25	0	5.8
VI03	ENS3	CI10	UCS	49.75	0	4.8
Melito	SME10	CL3	UCS	37.4	0	12.27
Melito	SME10	CL6	UCS	79.35	0	4.26

Tabella 11-2 – Elenco e risultati prove utili alla caratterizzazione geomeccanica della Matrice 1

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 51 di 97

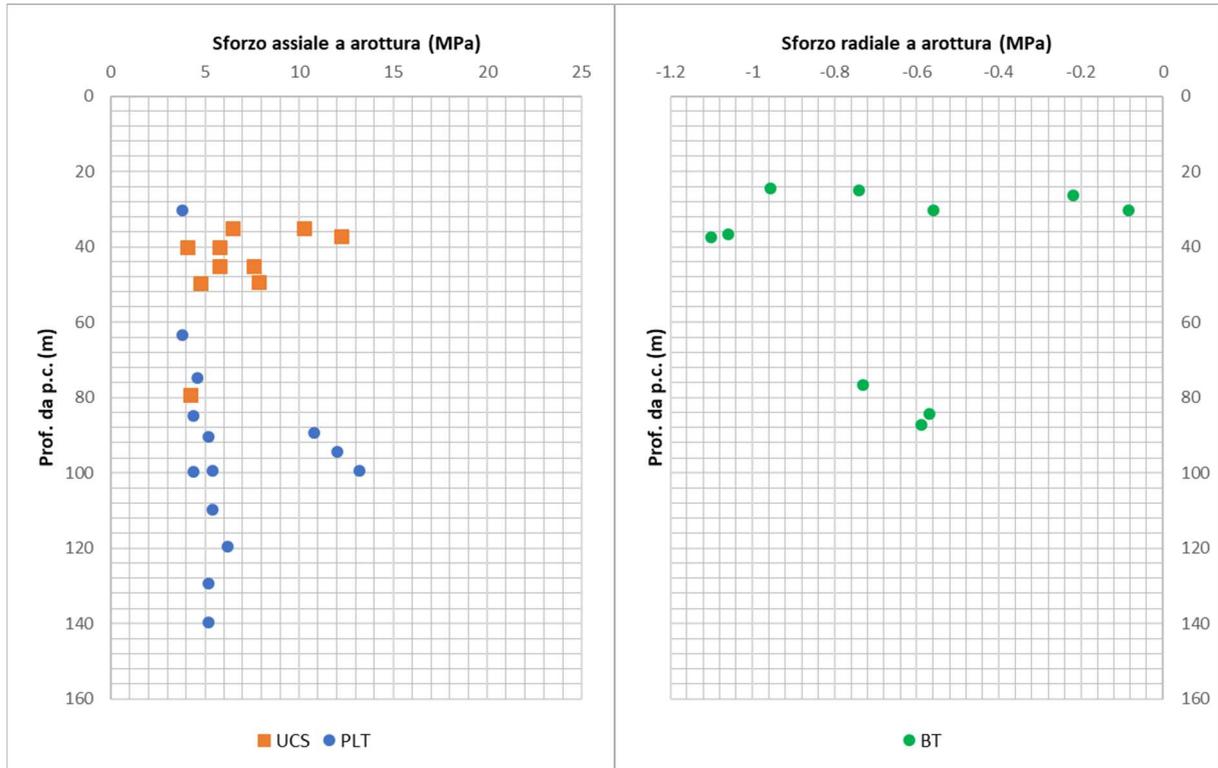


Figura 11-22 – Sforzo assiale (sx) e sforzo radiale (dx) a rottura - Matrice 1

A partire da tali valori di sollecitazione a rottura è stato costruito l'involuppo risultante. I parametri di resistenza ottenuti sono i seguenti:

- $\sigma_{ci}=5.59$  MPa
- $m_i=5.2$

Considerato il valore di riferimento da letteratura  $m_{i,lett} = 7\pm 2$  e  $MR= 175\pm 200$ , per la presente "Matrice 1" è stato scelto conservativamente il valore di :

- $m_{i,scelto}=5$
- $MR_{scelto}=175$

La scelta dell'MR è in linea con i risultati delle prove dilatometriche in foro di sondaggio in corrispondenza delle profondità oggetto di caratterizzazione.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>52 di 97</b>

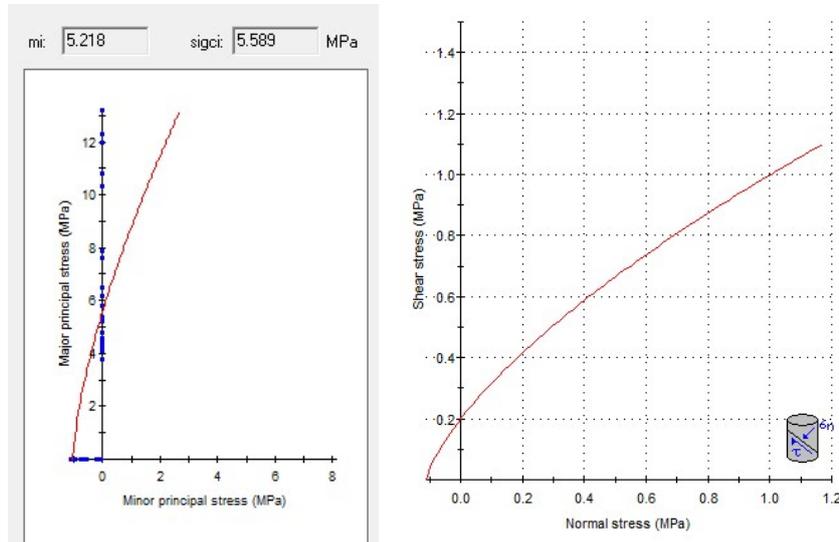


Figura 11-23 – Involuppo di Hoek Brown risultante (Roclab) – Matrice 1

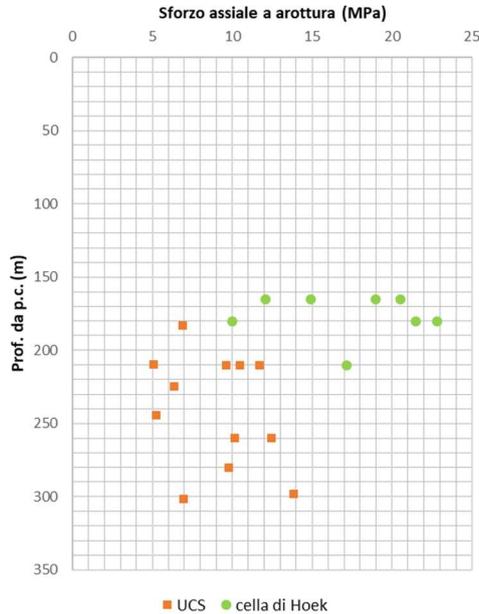
### **Caratterizzazione geomeccanica – Facies 1 - “Matrice 2”**

Nel seguito si riporta una Tabella riassuntiva del set di prove disponibili per la matrice 1 eseguite nell’intervallo di profondità dai 150 m ai 300 m. Gli esiti dell’elaborazione dei dati suddetti sono estendibili all’intervallo complessivo più ampio relativo al range di copertura 125 – 400 m. Sono state omesse dallo studio le prove ritenute non rappresentative della caratterizzazione in oggetto.

Galleria /Opera	ID sondaggio	ID campione	Tipo prova	prof. Campione	$\sigma_3$	$\sigma_1$
				m	Mpa	Mpa
Rocchetta	PNIF61G3	CI5	cella di Hoek	165.25	0.5	12.1
Rocchetta	PNIF61G3	CI5	cella di Hoek	165.25	1	14.9
Rocchetta	PNIF61G3	CI5	cella di Hoek	165.25	2	19
Rocchetta	PNIF61G3	CI5	cella di Hoek	165.25	3	20.5
Rocchetta	PNIF61G3	CI6	cella di Hoek	180.25	0.5	10
Rocchetta	PNIF61G3	CI6	cella di Hoek	180.25	1	21.5
Rocchetta	PNIF61G3	CI6	cella di Hoek	180.25	2	22.8
Rocchetta	PNIF61G3	CI7	cella di Hoek	210.25	3	17.13
Rocchetta	G6	CI07	UCS	301.65	0	7
Rocchetta	PNIF61G3	CI7	UCS	210.25	0	5.12
Rocchetta	PNIF61G3	CI8	UCS	225.2	0	6.4
Rocchetta	PNIF61G36	CR6	UCS	183.45	0	6.92
Rocchetta	PNIF61G36	CI6	UCS	210.3	0	11.73
Rocchetta	PNIF61G36	CI6	UCS	210.3	0	10.48
Rocchetta	PNIF61G36	CI6	UCS	210.3	0	9.65
Rocchetta	PNIF61G36	CR9	UCS	244.8	0	5.29
Rocchetta	PNIF61G36	CI7	UCS	260.3	0	10.2
Rocchetta	PNIF61G36	CI7	UCS	260.3	0	12.47
Rocchetta	PNIF61G36	CI8	UCS	280.25	0	9.79
Rocchetta	PNIF61G36	CI9	UCS	298.2	0	13.87

Tabella 11-3 – Elenco e risultati prove utili alla caratterizzazione geomeccanica della Matrice 2

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>53 di 97</b>



**Figura 11-24 – Sforzo assiale a rottura - Matrice 2**

A partire da tali valori di sollecitazione a rottura è stato costruito l'involuppo risultante. I parametri di resistenza ottenuti sono i seguenti:

- $\sigma_{ci}=9.3$  MPa
- $m_i=9.997$

Considerato il valore di riferimento da letteratura  $m_{i, lett} = 7\pm 2$  e  $MR = 175\pm 200$ , per la presente "Matrice 2" è stato scelto conservativamente il valore di :

- $m_{i, scelto}=9$
- $MR_{scelto}=175$  fino ai 250m e  $MR_{scelto}=200$  dai 200 m in poi

La scelta dell'MR è in linea con i risultati delle prove dilatometriche in foro di sondaggio e le prove di compressione monoassiale con misurazione onde soniche in corrispondenza delle profondità oggetto di caratterizzazione.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 54 di 97

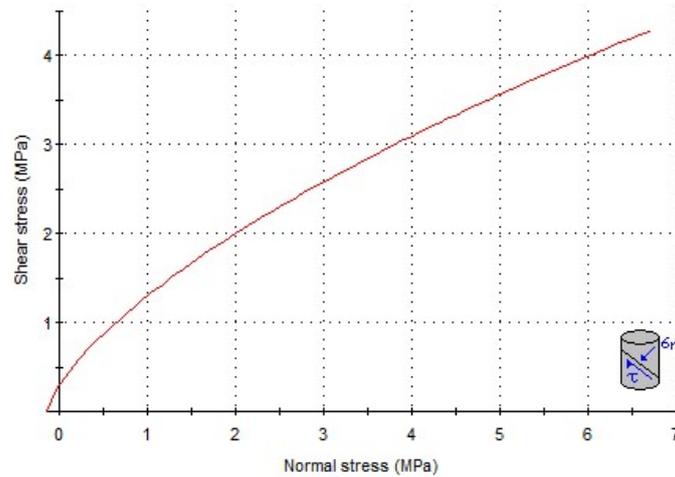
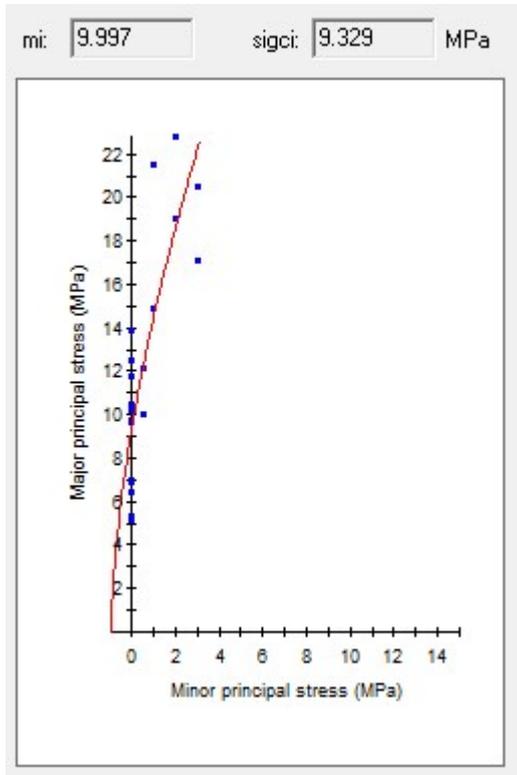


Figura 11-25 – Involuppo di Hoek Brown risultante (Roclab) – Matrice 1

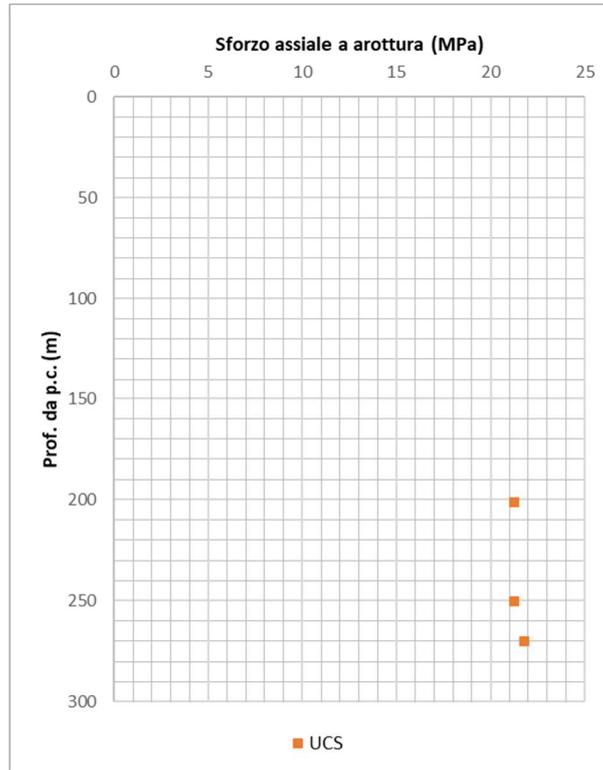
### **Caratterizzazione geomeccanica - Facies 2- “Matrice 3”**

Nel seguito si riporta una Tabella riassuntiva delle prove considerate per la caratterizzazione dell'intervallo di profondità 225- 400m.

Galleria /Opera	ID sondaggio	ID campione	Tipo prova	prof. Campione	$\sigma_3$	$\sigma_1$
				m	Mpa	Mpa
Rocchetta	G6	CI04	UCS	201.4	0	21.3
Rocchetta	G6	CI05	UCS	250.6	0	21.3
Rocchetta	G6	CI06	UCS	270.3	0	21.8

Tabella 11-4 – Elenco e risultati prove utili alla caratterizzazione geomeccanica della Matrice 3

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>55 di 97</b>



**Figura 11-26 – Sforzo assiale a rottura - Matrice 3**

I valori di sollecitazione a rottura forniscono:

- $\sigma_{ci}=21$  MPa

Considerato il valore di riferimento da letteratura  $m_{i,lett} = 7\pm 2$  e  $MR= 175\pm 200$ , per la presente “Matrice 3” è stato scelto conservativamente il valore di :

- $m_{i,scelto}=9$
- $MR_{scelto}=200$

La scelta dell’MR è in linea con i risultati delle prove di compressione monoassiale con misurazione del modulo elastico in corrispondenza delle profondità oggetto di caratterizzazione.

### **11.1.8 Caratterizzazione geotecnica della formazione a basse coperture**

#### **Proprietà meccaniche da prove di laboratorio**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>56 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

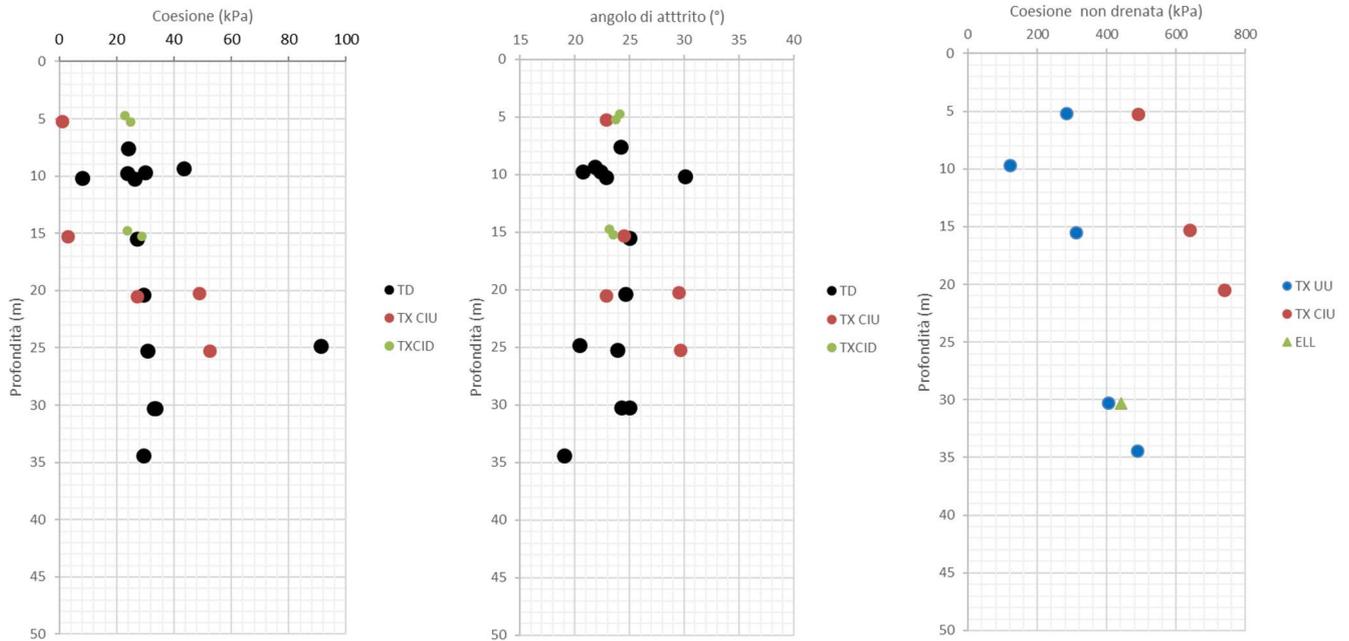


Figura 11-27 - Angolo d'attrito e coesione efficace e non drenata da prove di laboratorio – BNA2 basse coperture

**Proprietà meccaniche da prove in foro**

Le prove in sito di Pocket penetrometer, essendo state eseguite con continuità sulle carote estratte, hanno fornito utili indicazioni circa l'omogeneità dei terreni con la profondità.

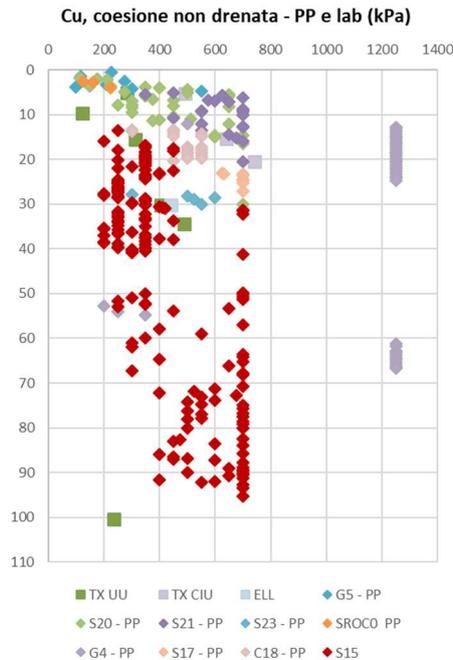


Figura 11-28 - Coesione non drenata da prove PP – BNA2 basse coperture

**Proprietà di deformabilità da prove in foro**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>57 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

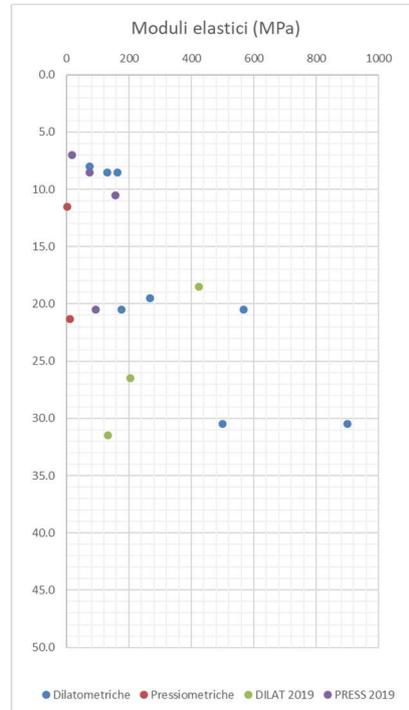


Figura 11-29 - Modulo elastico da prove dilatometriche e pressiometriche in foro- BNA2 basse coperture

### 11.1.9 Conducibilità idraulica

Il grafico seguente illustra i valori di conducibilità idraulica misurati con prove Lugeon e Lefranc.

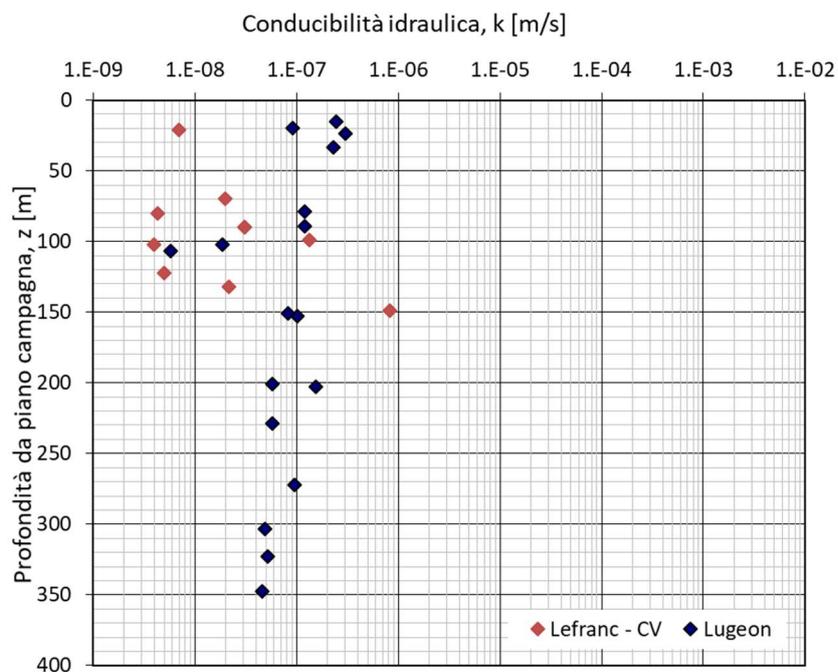


Figura 11-30 - Conducibilità idraulica - BNA2

APPALTATORE: Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
PROGETTO ESECUTIVO <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>58 di 97</b>

### 11.1.10 Rigonfiamento

#### Prove ITALFERR – Progettazione Definitiva

Le prove Huder Amberg condotte in sede di progettazione definitiva mostrano un comportamento tendenzialmente rigonfiante del materiale. I valori delle pressioni di rigonfiamento ottenute in celle edometriche ISP (verticali di sondaggio G4, G5) sono comprese nell'intervallo di 300 ÷ 400 kPa.

#### Prove Università della Basilicata

In sede di PE sono state condotte prove di rigonfiamento in edometro dall'Università della Basilicata su provini afferenti la formazione della Baronia facies BNA1b (C1 prelevato dal sondaggio SN\_Me\_05 (4.55 - 5.0 m)). Le prove, condotte nella duplice condizione di saturazione del provino con acqua distillata e acqua a contenuto salino che replica quello dell'acqua originaria di porosità, confermano la tendenza del materiale a rigonfiare. Esse mostrano in particolare come la pressione di rigonfiamento vari sensibilmente con il contenuto salino dell'acqua di porosità. La risposta meccanica, infatti, è influenzata dalla composizione del liquido interstiziale che in sito può variare per motivi naturali o antropici. Confrontando una prova standard in cella edometrica di compressione e rigonfiamento con acqua distillata e una prova non standard in cui il provino viene sottoposto a idratazione del materiale ricostituito e saturazione con acqua in soluzione simile a quella di porosità, le pressioni di rigonfiamento ottenute sono di:

- 260 <  $p_s$  < 270 kPa – pressione di rigonfiamento in acqua distillata
- 140 <  $p_s$  < 150 kPa – pressione di rigonfiamento in soluzione simile a quella di porosità

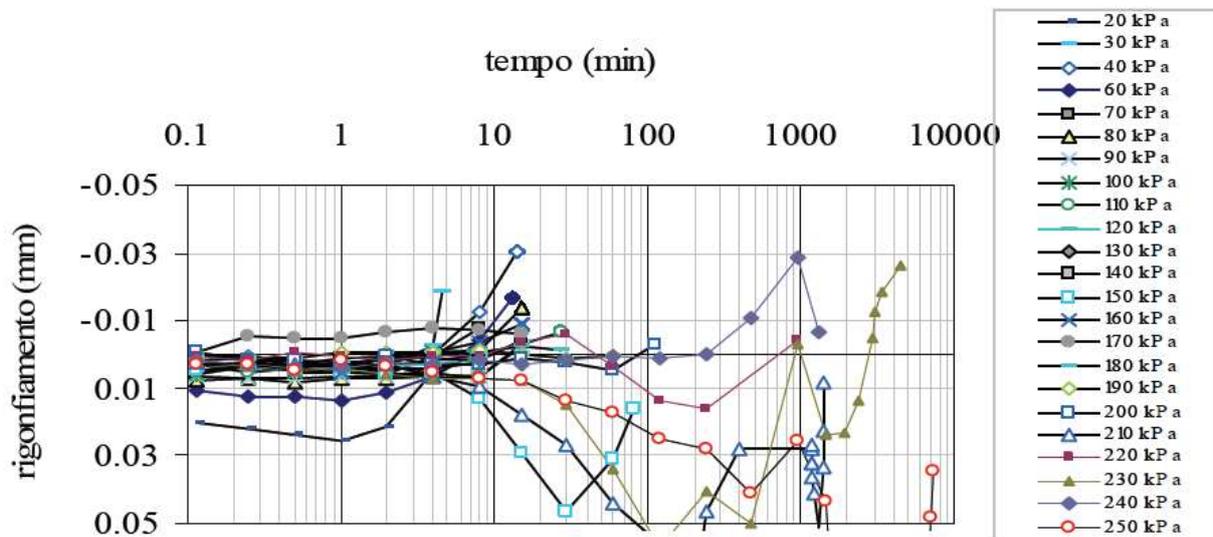


Figura 11-31 – Pressione di rigonfiamento – provino in soluzione di acqua distillata

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio Soci <b>HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 59 di 97

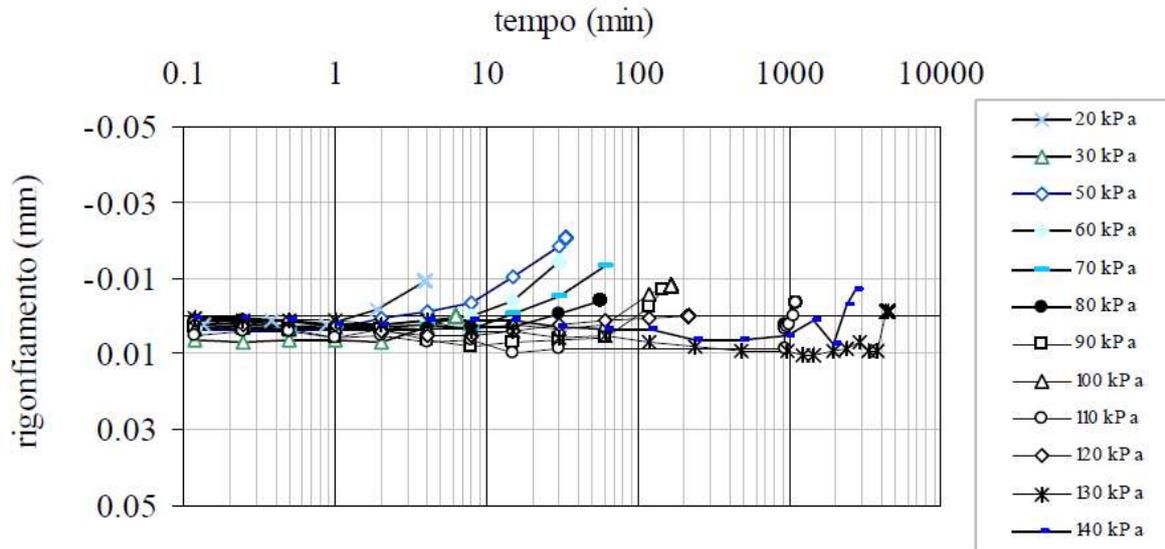


Figura 11-32 – Pressione di rigonfiamento – provino in soluzione simile a quella di porosità

Si osservi che il rapporto fra le pressioni di rigonfiamento determinate in acqua salina (il cui contenuto ionico è quello dell'acqua naturale) e in acqua distillata si attesta attorno a 0.5. Questo rapporto dipende dalle proprietà osmotiche delle particelle argillose e dell'acqua interstiziale, per cui può essere assunto significativo per tutti i materiali investigati.

L'analisi dei risultati delle prove di laboratorio, con particolare riferimento al contenuto naturale d'acqua dei provini prelevati nella facies marnosa BNA2, alle profondità di interesse progettuale (contenuto nell'ordine del 5%), supporta l'ipotesi progettuale adottata nel merito del comportamento rigonfiante ovvero il carattere trascurabile di tale fenomeno in fase di scavo e nel corso della vita utile delle opere in argomento.

### 11.1.11 Quadro di sintesi caratterizzazione geomeccanica BNA2

La caratterizzazione geotecnica/ 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 BNA2 individuate. Laddove vige il criterio di rottura di Hoek Brown, è stato operato un processo di linearizzazione dei parametri meccanici per ottenere parametri equivalenti secondo il criterio di Mohr Coulomb scegliendo degli intervalli di copertura rappresentativi delle situazioni progettuali. La linearizzazione è avvenuta sul valor medio di ogni intervallo di copertura scelto.

#### **BNA2 – basse coperture**

BNA2		
Coperture	m	p.c-30
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	20 ÷ 23

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 60 di 97

c'	kPa	20÷40
$\phi'$	°	22÷25
Cu	kPa	200÷400
Erm	MPa	200÷500

Tabella 11-5 – BNA2 – basse coperture -Riepilogo parametri geotecnici

**BNA2 – da 30 a 175 m – Matrice 1**

				matrice 1			
Parametri				u.m	Copertura (m)		
					25-75	75-125	125-175
$\gamma$				kN/m <sup>3</sup>	22.5	23	23
UCS caratteristico				MPa	5.6	5.6	5.6
MR				-	175	175	175
Ei				MPa	978	978	978
classe GSI	GSI, cal	lin.			<b>C1.1A</b>	<b>C1.1B</b>	
classe geomeccanica 1	GSI	50	c'	kPa	130	180	-
			$\phi'$	°	33	27	-
			Erm	MPa	300	300	-
classe geomeccanica 2	GSI (55 -65)	60			<b>C2.1A</b>	<b>C2.1B</b>	<b>C2.1C</b>
			c'	kPa	170	230	280
			$\phi'$	°	35	30	27
			Erm	MPa	500	500	500
classe geomeccanica 3	GSI (65 - 75)	70			<b>C3.1A</b>	<b>C3.1B</b>	<b>C3.1C</b>
			c'	kPa	250	300	375
			$\phi'$	°	37	32	29
			Erm	MPa	700	700	700

Tabella 11-6 – BNA2 – Matrice 1-Riepilogo parametri geotecnici

**BNA2 – da 125 a 400 m – Matrice 2**

				matrice 2						
Parametri				u.m	Copertura (m)					
					125-175	175-225	225-275	275-325	325-375	375-425
$\gamma$				kN/m <sup>3</sup>	23	23	23.5	23.5	23.5	23.5
UCS caratteristico				MPa	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3
MR				-	175	175	175	200	200	200
Ei				MPa	1633	1633	1633	1866	1866	1866
classe GSI	GSI, cal	lin.			<b>C1.2A</b>	<b>C1.2B</b>	<b>C1.2C</b>	<b>C1.2D</b>		
classe geomeccanica 1	GSI	50	c'	kPa	350	400	475	530	-	-
			$\phi'$	°	33	31	29	28	-	-
			Erm	MPa	500	500	500	570	-	-
classe geomeccanica 2	GSI (55 -65)	60			<b>C2.2A</b>	<b>C2.2B</b>	<b>C2.2C</b>	<b>C2.2D</b>	<b>C2.2E</b>	<b>C2.2F</b>
			c'	kPa	420	500	570	630	690	750

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                  Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.              NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>							
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>							

			$\varphi'$	$^{\circ}$	36	34	32	30	29	28
						Erm	MPa	850	850	850
<b>classe geomeccanica 3</b>	GSI (65 - 75)	<b>70</b>			<b>C3.2A</b>	<b>C3.2B</b>	<b>C3.2C</b>	<b>C3.2D</b>	<b>C3.2E</b>	<b>C3.2F</b>
			$c'$	kPa	530	600	700	750	850	900
			$\varphi'$	$^{\circ}$	38	36	34	33	32	31
			Erm	MPa	1200	1200	1200	1350	1350	1350

Tabella 11-7 – BNA2 – da 125 a 400 m – Matrice 2 –Riepilogo parametri geotecnici

**BNA2 – da 225 a 400 m – Matrice 3**

				matrice 3				
Parametri				u.m	Copertura (m)			
					225-275	275-325	325-375	375-425
$\gamma$				kN/m <sup>3</sup>	23.5	23.5	23.5	23.5
UCS caratteristico				MPa	21	21	21	21
MR				-	200	200	200	200
Ei				MPa	4200	4200	4200	4200
classe GSI	GSI, cal	lin.						
<b>classe geomeccanica 1</b>	GSI	<b>50</b>	$c'$	kPa	-	-	-	-
			$\varphi'$	$^{\circ}$	-	-	-	-
			Erm	MPa	-	-	-	-
<b>classe geomeccanica 2</b>	GSI (55 -65)	<b>60</b>			<b>C2.3A</b>	<b>C2.3B</b>	<b>C2.3C</b>	
			$c'$	kPa	800	900	980	-
			$\varphi'$	$^{\circ}$	38	37	35	-
			Erm	MPa	2100	2100	2100	-
<b>classe geomeccanica 3</b>	GSI (65 - 75)	<b>70</b>			<b>C3.3A</b>	<b>C3.3B</b>	<b>C3.3C</b>	<b>C3.3D</b>
			$c'$	kPa	1050	1150	1200	1300
			$\varphi'$	$^{\circ}$	40	39	38	37
			Erm	MPa	3000	3000	3000	3000

Tabella 11-8 – BNA2 – da 225 a 400 m – Matrice 3 –Riepilogo parametri geotecnici

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatara Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 62 di 97

## 11.2 FORMAZIONE DELLA BARONIA – BNA3

### 11.2.1 Note introduttive

Lo scavo della galleria Rocchetta interessa per un tratto consistente (da pk 15+125 all'imbocco della galleria Rocchetta lato Napoli) l'Unità BNA3 (Membro di Apollosa – Pliocene Inf.) caratterizzata da alternanza di arenarie di spessore metrico con intervalli di calcareniti e marne calcaree e sabbie grigie da fini a grossolane più o meno siltose, con ridotta cementazione.

Dall'analisi delle stratigrafie di sondaggio è emersa la presenza di diverse facies:

- BNA3 – facies 1: sabbie da fini a grossolane, poco cementate
- BNA3 – facies 2: arenarie con intervalli di calcareniti e marne calcaree
- BNA3a : argille più o meno limose grigie e marne grigie

Per ognuna delle facies sopra elencate è stata eseguita una caratterizzazione geotecnica/ geomeccanica differente in relazione alle caratteristiche più o meno litoidi del materiale oggetto di studio. In particolare, per il “BNA3 – facies 2” si è proceduto alla caratterizzazione geomeccanica della matrice e dell'ammasso roccioso seguendo l'iter logico operativo descritto al Capitolo di riferimento, mentre per il “BNA3 – facies 1” e “BNA3a” è stata svolta la caratterizzazione propria dei terreni, descritta al Capitolo di riferimento.

### 11.2.2 Sondaggi di riferimento

La caratterizzazione è stata condotta elaborando le risultanze dei sondaggi geognostici condotti nell'ambito della Campagne indagini del 2008 - 2015 - 2017 -2019.

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				GSI
ID Sond.	opera	pk approx.	Lung. (m)	Dilatom.	Pressiom.	Fisiche	UCS	PLT	Hoek	T ind	TxUU	TxCIU	TD	ELL	
PNIF61G36	ROC	13+120	300	-	2	6	2	-	-	-	-	-	-	-	x
G6	ROC	13+850	350	3	-	7	1	-	-	-	1	-	-	-	x
PNIF61G3	ROC	14+690	230	-	2	4	2	-	3	-	-	-	3	-	x
SROC5	ROC	13+850	150	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
SROC6	ROC	16+000	140	2	-	6	-	1	1	3	-	-	-	3	x
SROC7	ROC	16+210	110	2	-	2	-	-	1	-	-	-	1	-	x
G7	ROC	16+350	120	4	-	11	3	-	1	-	-	1	6	1	x
G8	ROC	16+550	30	2	-	3	-	-	-	-	1	-	3	-	-
S26	ROC	16+280	50	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SROC9	ROC	16+575	30	2	-	2	-	-	-	1	1	-	-	1	-

Tabella 11-9 – Sondaggi di riferimento per la caratterizzazione e loro caratteristiche

### 11.2.3 Classificazione geomeccanica dell'ammasso

La formazione della Baronia BNA3 è una roccia sedimentaria e si comporta come un'ammasso roccioso continuo quando è confinato in profondità.

Per rocce di origine sedimentaria, Hoek, Marinos e Marinos suggeriscono una caratterizzazione specifica mediante l'uso di appositi grafici illustrati nel Capitolo di riferimento da cui ricavare l'indice GSI e le proprietà meccaniche.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 63 di 97

Pertanto, si è provveduto a classificare l'ammasso roccioso in corrispondenza dei settori interessati dalle operazioni di carotaggio per profondità maggiori di 50 m da p.c..

Sono state individuate 4 famiglie di roccia a cui è stato assegnato un valore di GSI in funzione delle aree M1 e M2 suggerite da letteratura:

- 1 – GSI 60
- 2 – GSI 50
- 3 – GSI 40
- 4 – GSI 30.

Il valore di GSI della 4° famiglia è rappresentativo delle zone di faglia e discontinuità tettoniche. Infatti, l'attraversamento di una zona di faglia in questo tipo di materiali comporta una variazione – in genere modesta – di natura difficilmente prevedibile, che può andare da fenomeni di blanda compattazione/cementazione delle zone di faglia ad un blando decadimento delle caratteristiche geotecniche. Ove si incontrano porzioni più litoidi può esserci una fratturazione più intensa. Alla scala del fronte è lecito attendere una qualità geomeccanica complessiva individuabile da GSI 30.



Figura 11-33 – Esempio di famiglie di tipo “1” e “2” per la classificazione geomeccanica dell'ammasso



Figura 11-34 – Esempio di famiglie di tipo “3” e “4” per la classificazione geomeccanica dell'ammasso

Nel seguito si riportano i risultati della classificazione condotta per ogni verticale di indagine di profondità superiore ai 50 m interessante l'Unità del BNA3 per la galleria Rocchetta in ordine di progressiva crescente. I grafici riportano anche indicazione della descrizione stratigrafica e del contatto riportato sul Profilo Geologico.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                  Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 64 di 97
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

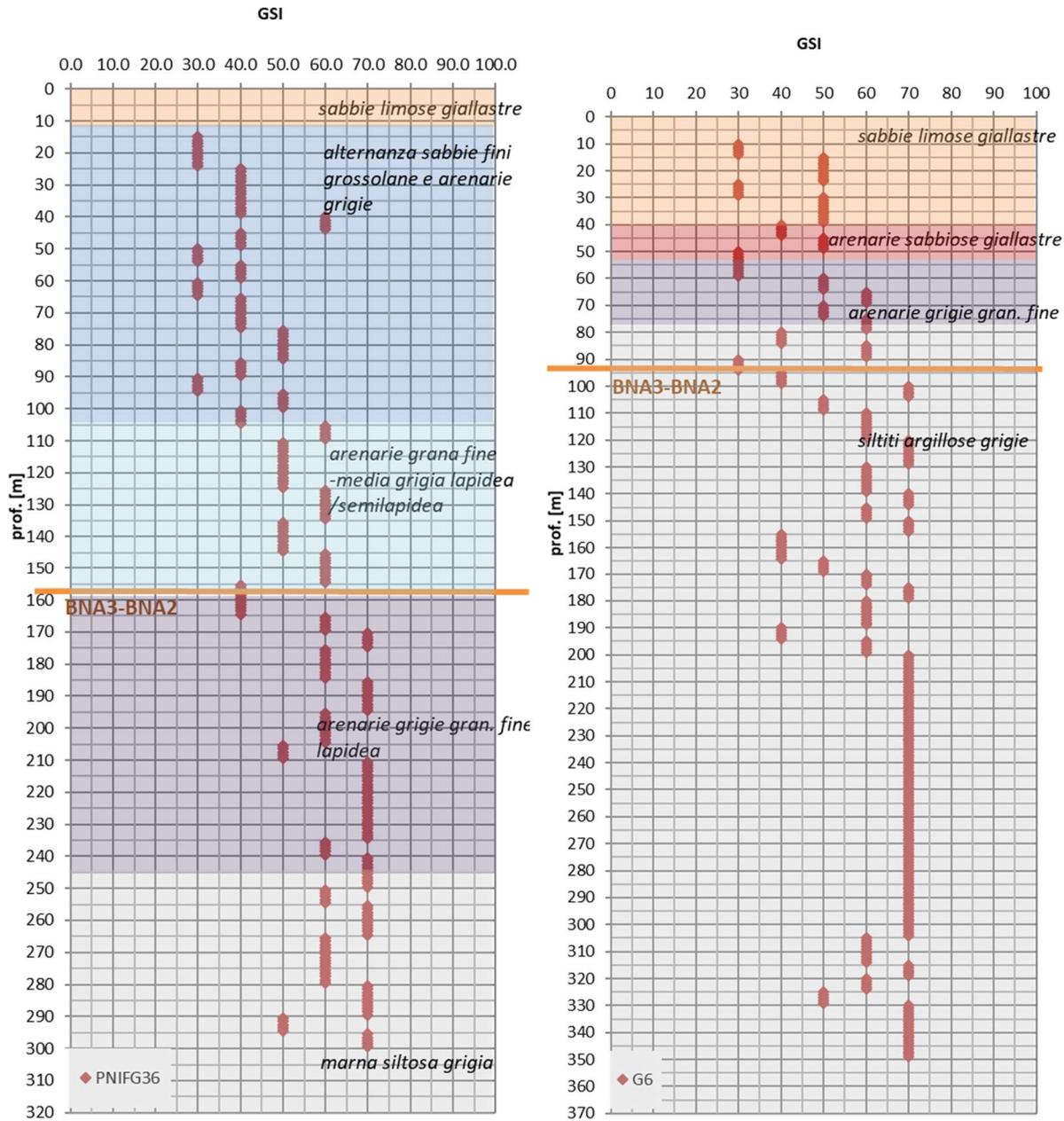


Figura 11-35 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità, dei sondaggi PNIFG36 e G6

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>65 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

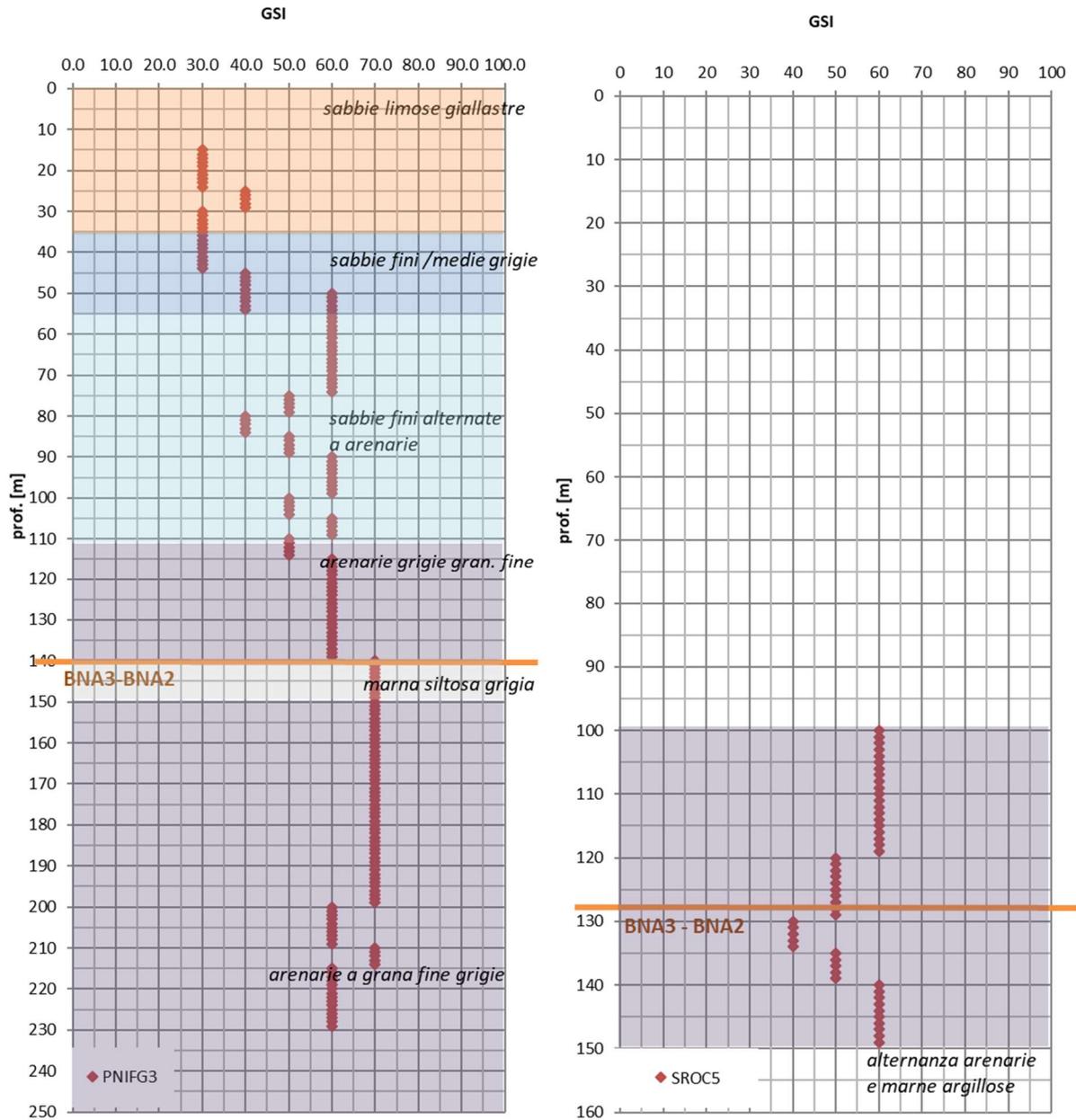


Figura 11-36 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità, dei sondaggi PNIFG3 e SROC5

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 66 di 97
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

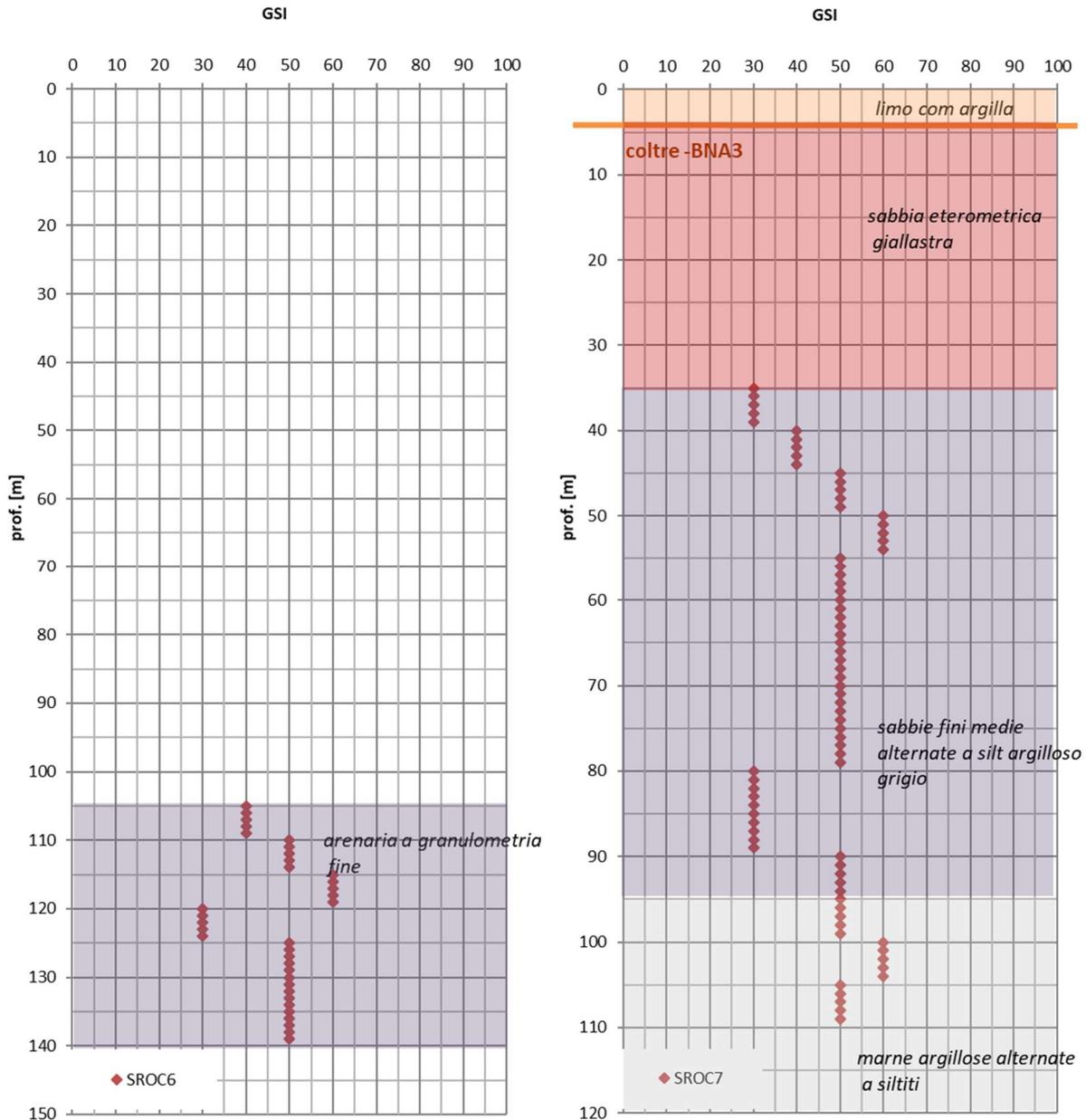


Figura 11-37 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità, dei sondaggi SROC6 e SROC7

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                  Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>67 di 97</b>

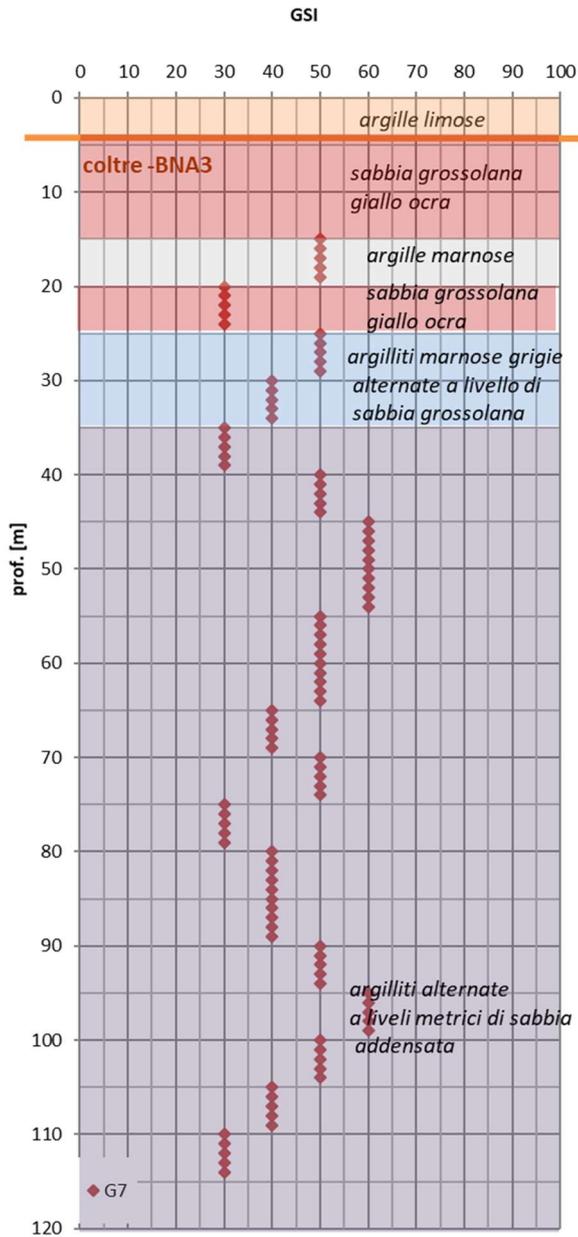


Figura 11-38 – Classificazione geomeccanica, in funzione della profondità, del sondaggio G7

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 68 di 97

## 11.2.4 Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso – BNA3 – Facies 2

### Proprietà fisiche dell'ammasso roccioso

E' stata condotta una analisi dei dati disponibili relativamente alle determinazione delle proprietà fisiche della matrice rocciosa isolando l'Unità BNA3 – Facies 2.

Il peso dell'unità di volume è variabile tra 22 ÷ 26 KN/m<sup>3</sup>.

Il contenuto d'acqua naturale è inferiore al 10 %.

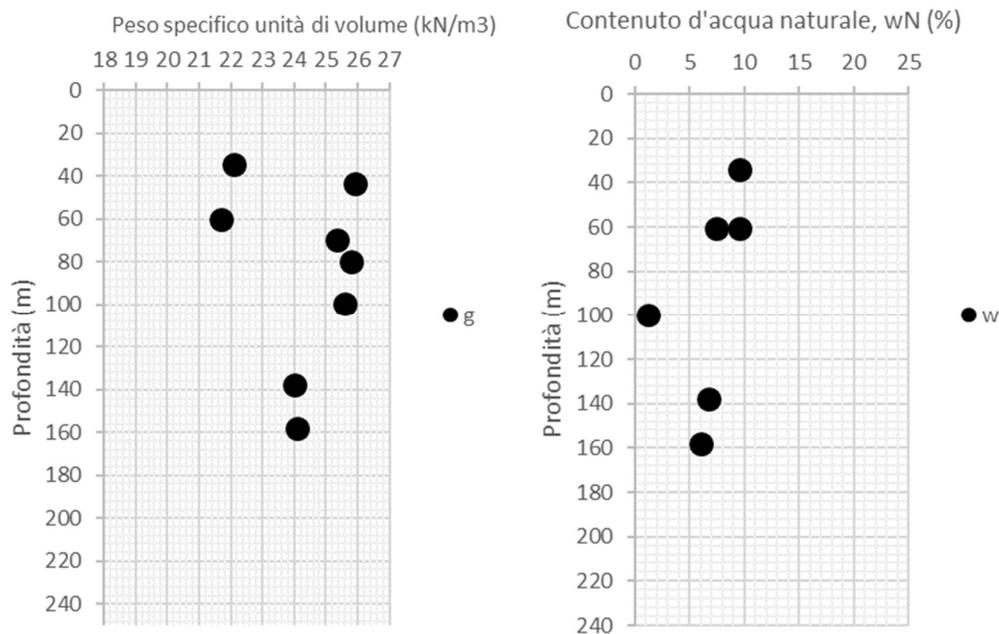


Figura 11-39 - Peso specifico di volume e umidità naturale - BNA3 facies 2

### Proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso

E' stata condotta una analisi dei dati disponibili relativamente alle determinazione delle proprietà di resistenza meccanica.

Nel seguito si riportano i valori delle sollecitazioni a rottura delle prove di compressione monoassiale e prova di compressione triassiale in cella di Hoek.

L'intervallo di variabilità della sollecitazione di compressione assiale è compreso tra i 30 e i 60 Mpa circa.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                  Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>69 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

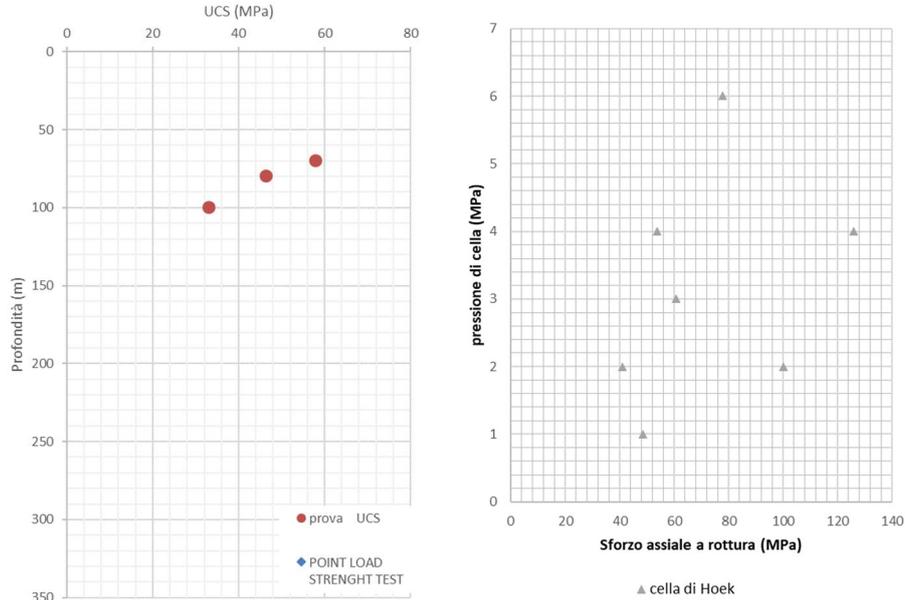


Figura 11-40 – Resistenza a compressione monoassiale e risultati delle prove in cella Hoek - BNA3 facies 2

**Proprietà di deformabilità dell’ammasso roccioso**

Modulo elastico da prove di compressione monoassiale e misura onde soniche

Il grafico seguente illustra i valori di modulo elastico calcolato a partire dalle onde di taglio misurate sul campione testato in condizioni di compressione monoassiale.

Il modulo a basse deformazioni risultante è di circa 35000 MPa.

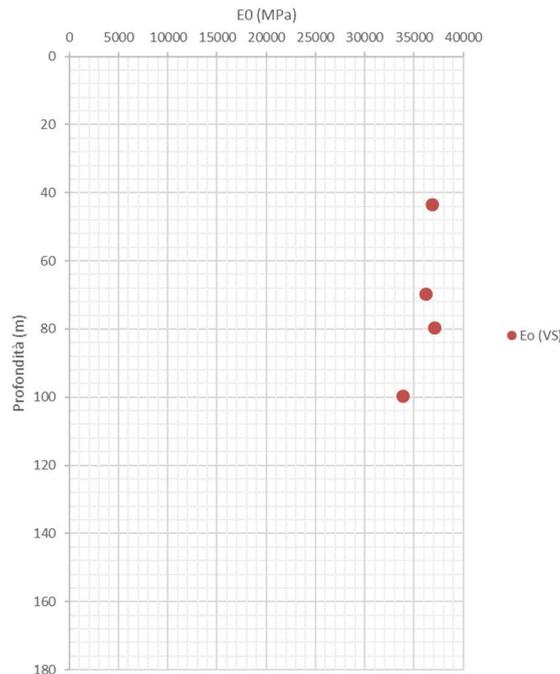
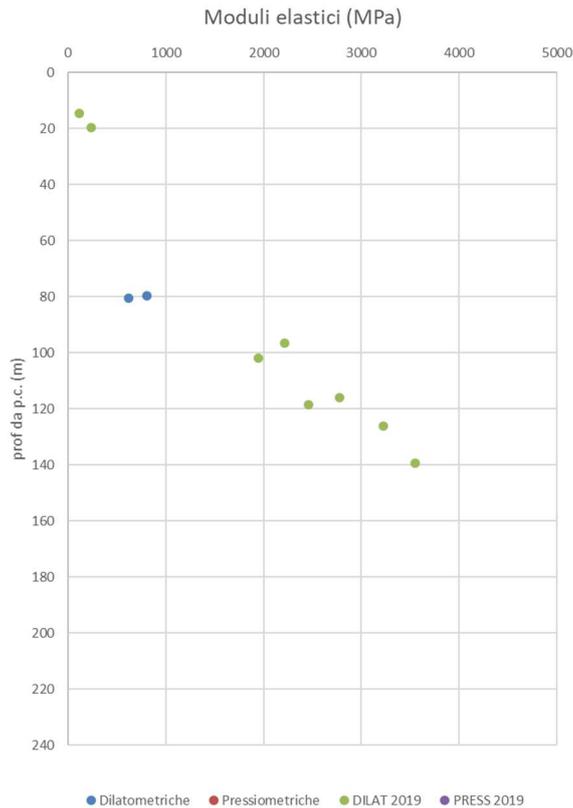


Figura 11-41 – Modulo elastico tangente

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>70 di 97</b>

Modulo elastico da prove dilatometriche

Le prove dilatometriche eseguite durante il carotaggio in corrispondenza della componente litoide arenitica e marnosa restituisce i valori mostrati nella Figura seguente. L'andamento dei moduli misurati è crescente con la profondità.



**Figura 11-42 – Modulo elastico da prove dilatometriche**

**Caratterizzazione geomeccanica della matrice rocciosa**

Dall'analisi delle prove di laboratorio e in foro e dall'elaborazione dei loro risultati è stato possibile caratterizzare geomeccanicamente la facies 2 del BNA3.

Il valore di riferimento di *m<sub>i</sub>* da letteratura per la litologia oggetto di studio (sandstone) è di :

-  $m_{i,lett} = 17 \pm 4$

Il valore di riferimento di *MR* da letteratura per la litologia oggetto di studio (sandstone) è di :

-  $MR = 275 \pm 75$

Nel seguito si riporta una Tabella riassuntiva delle prove considerate per la caratterizzazione. Sono state omesse dallo studio le prove ritenute non rappresentative della caratterizzazione in oggetto.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO IF28            01            E ZZ RB        OC0200 001    B        71 di 97

Galleria	ID sond.	ID campione	Descrizione campione	Tipo prova	prof. Campione	$\sigma_3$	$\sigma_1$
					z	Mpa	Mpa
Rocchetta	G7	CR1	calcarenite	cella di Hoek	43.5	1	48.4
Rocchetta	G7	CR1	calcarenite	cella di Hoek	43.5	3	60.6
Rocchetta	G7	CR1	calcarenite	cella di Hoek	43.5	6	77.8
Rocchetta	SROC6	CR3	marna calcarea	cella di Hoek	115.25	2	40.94
Rocchetta	SROC6	CR3	marna calcarea	cella di Hoek	115.25	4	53.7
Rocchetta	SROC7	CI7	arenaria	cella di Hoek	60.2	2	100
Rocchetta	SROC7	CI7	arenaria	cella di Hoek	60.2	4	125.9

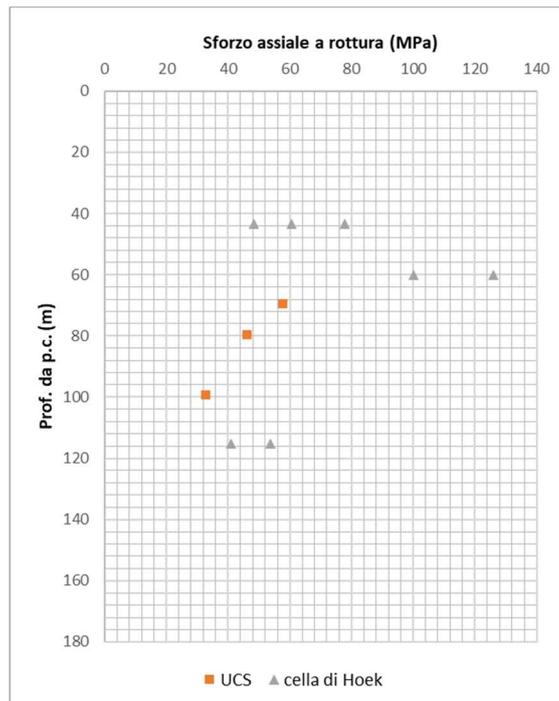


Figura 11-43 – Sforzo assiale a rottura con la profondità - BNA3 facies 2

A partire da tali valori di sollecitazione a rottura è stato costruito l'involuppo risultante. I parametri di resistenza ottenuti sono i seguenti:

- $\sigma_{ci}=46.304$  MPa
- $m_i=18.605$

Considerato il valore di riferimento da letteratura  $m_{i, lett} = 17 \pm 4$  e  $MR= 275 \pm 75$ , per la Facies 2 è stato scelto conservativamente il valore di :

- $\sigma_{ci,scelto}=45$
- $m_{i,scelto}=17$
- $MR_{scelto}=200$

La scelta dell'MR è in linea con i risultati delle prove dilatometriche in foro di sondaggio in corrispondenza delle profondità oggetto di caratterizzazione.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                  Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.              NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>72 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

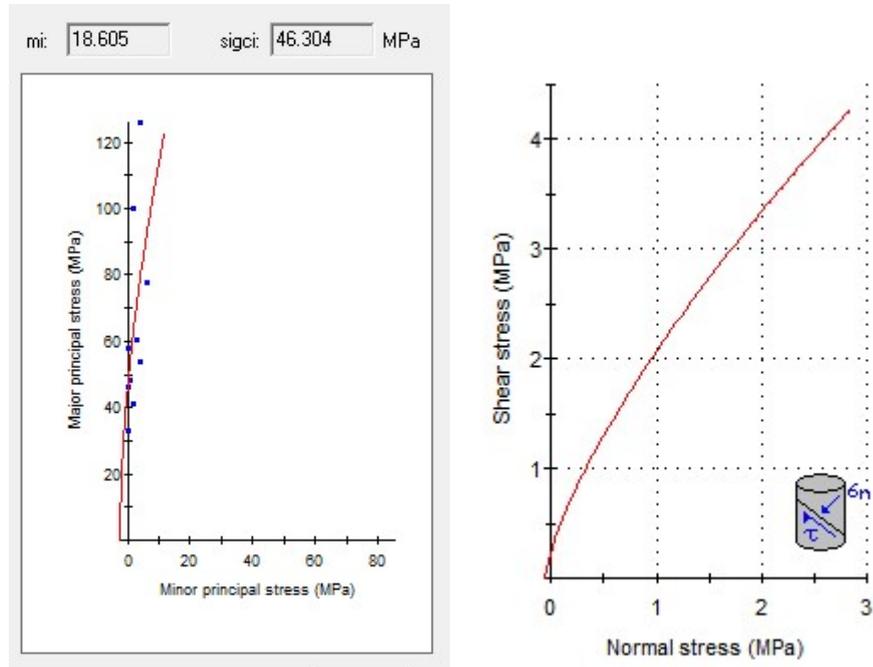


Figura 11-44 - Involuppo di rottura sul piano degli sforzi principali e sul piano di Mohr

## 11.2.5 Caratterizzazione geotecnica – BNA3 – Facies 1

### Proprietà fisiche da prove di laboratorio

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggi mostrano una prevalente frazione granulare sabbiosa; i terreni sono classificabili come sabbia con limo debolmente argillosi (AGI, 1977).

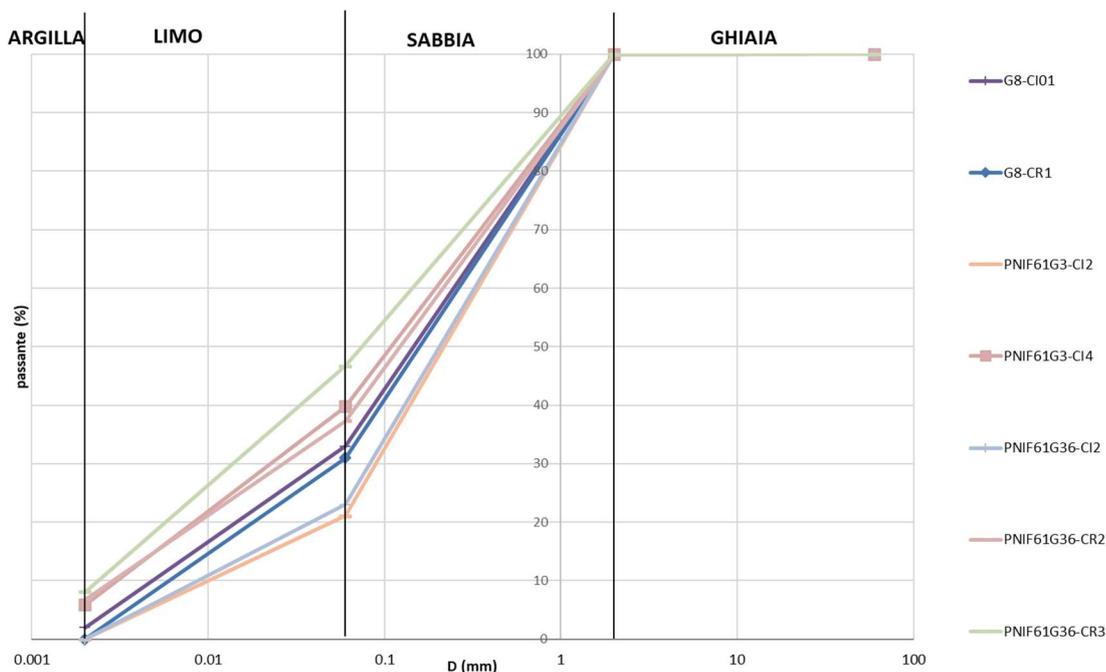
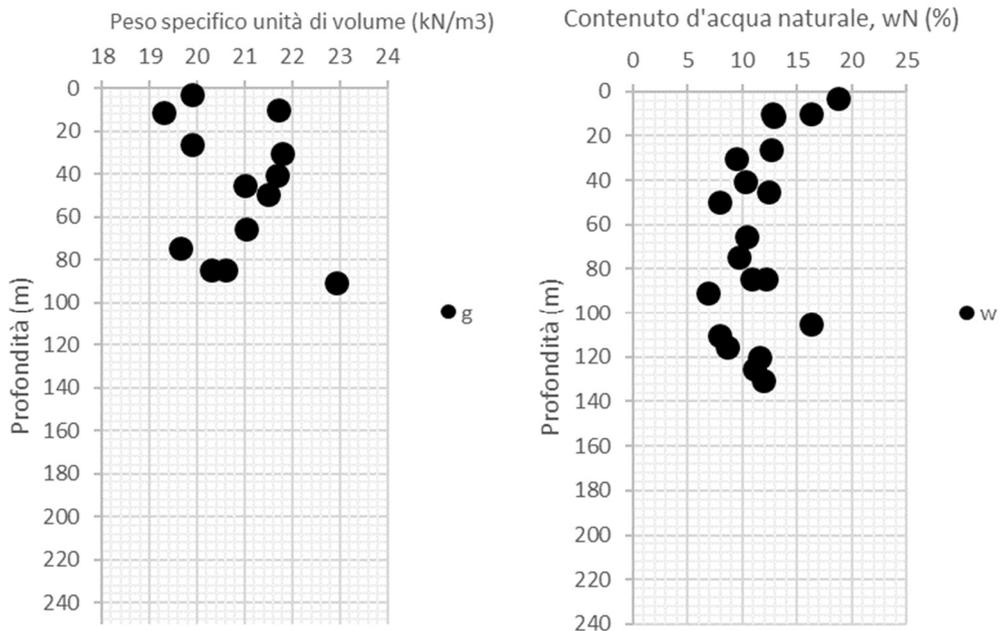


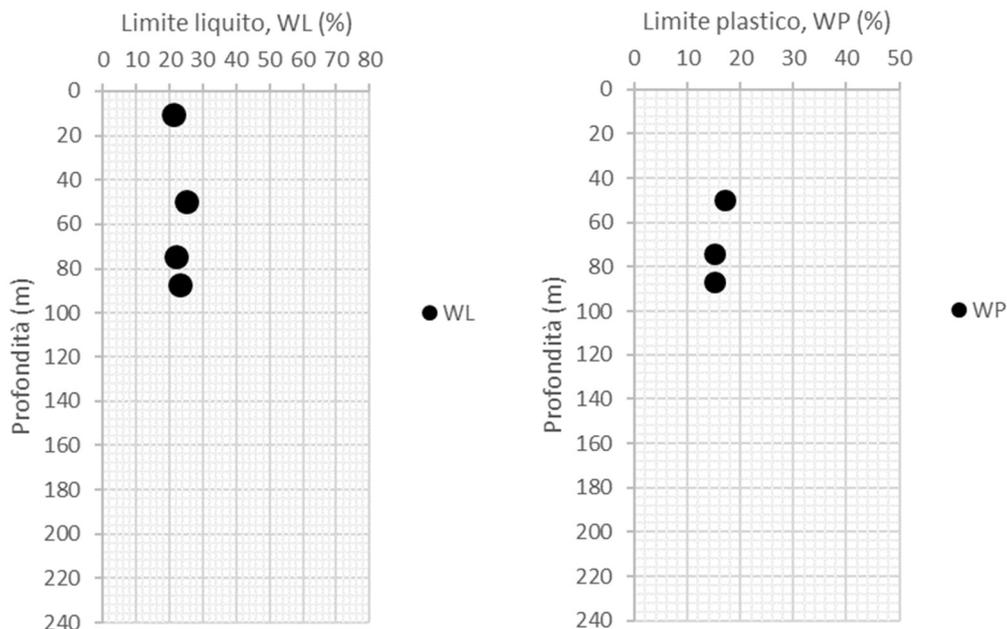
Figura 11-45 - Curve granulometriche BNA3 - facies 1

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>73 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

Il peso dell'unità di volume è variabile tra  $20 \div 24 \text{ KN/m}^3$  .  
 Il contenuto naturale d'acqua dopo i primi 10 m di profondità è compreso nell'intervallo di variabilità di  $8 \div 13 \%$  .  
 Il limite liquido è compreso nell'intervallo di variabilità di  $20 \div 28 \%$  .  
 Il limite plastico è compreso nell'intervallo di variabilità di  $15 \div 20 \%$  .  
 L' indice di plasticità liquido è inferiore al 10%  
 L' indice di consistenza è maggiore di 1 e crescente con la profondità.



**Figura 11-46 - Peso specifico di volume e umidità naturale - BNA3 facies 1**



**Figura 11-47 – Limite liquido e limite plastico - BNA3 facies 1**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>74 di 97</b>

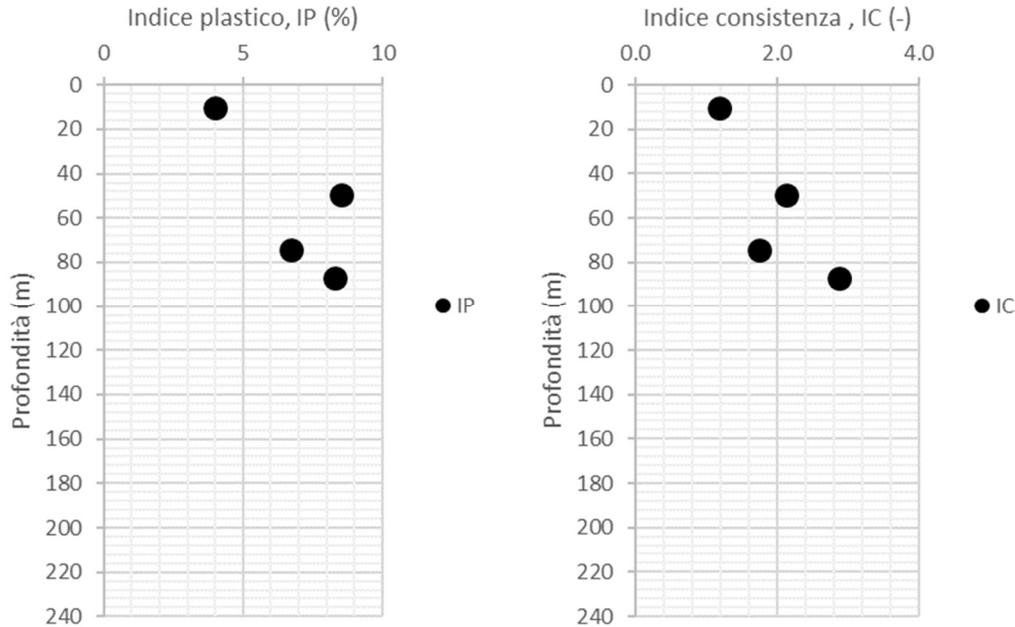


Figura 11-48 - Indice di plasticità e di consistenza - BNA3 facies 1

### Proprietà meccaniche da prove di laboratorio

Le proprietà di laboratorio forniscono un riscontro dei parametri meccanici di resistenza in sforzi totali e efficaci. Considerando nel loro insieme il set di prove effettuate si nota un miglioramento delle proprietà attrittive e di coesione con la profondità. Le prove ELL e UCS restituiscono una stima della resistenza non drenata del materiale (ipotizzando che il provino sia saturo il rapporto tra la resistenza a rottura e la  $C_u$  è di 1:2); in particolare, le prove ELL forniscono valori di  $C_u$  crescenti con la profondità e compresi tra 100 e 400 kPa, mentre le prove UCS restituiscono valori nell'intervallo di 700 e 1000 kPa.

Pertanto, la coesione drenata è compresa nel range di variazione con la profondità di  $0 \div 100$  kPa e l'angolo d'attrito nel range di  $28^\circ \div 38^\circ$ .

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>75 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

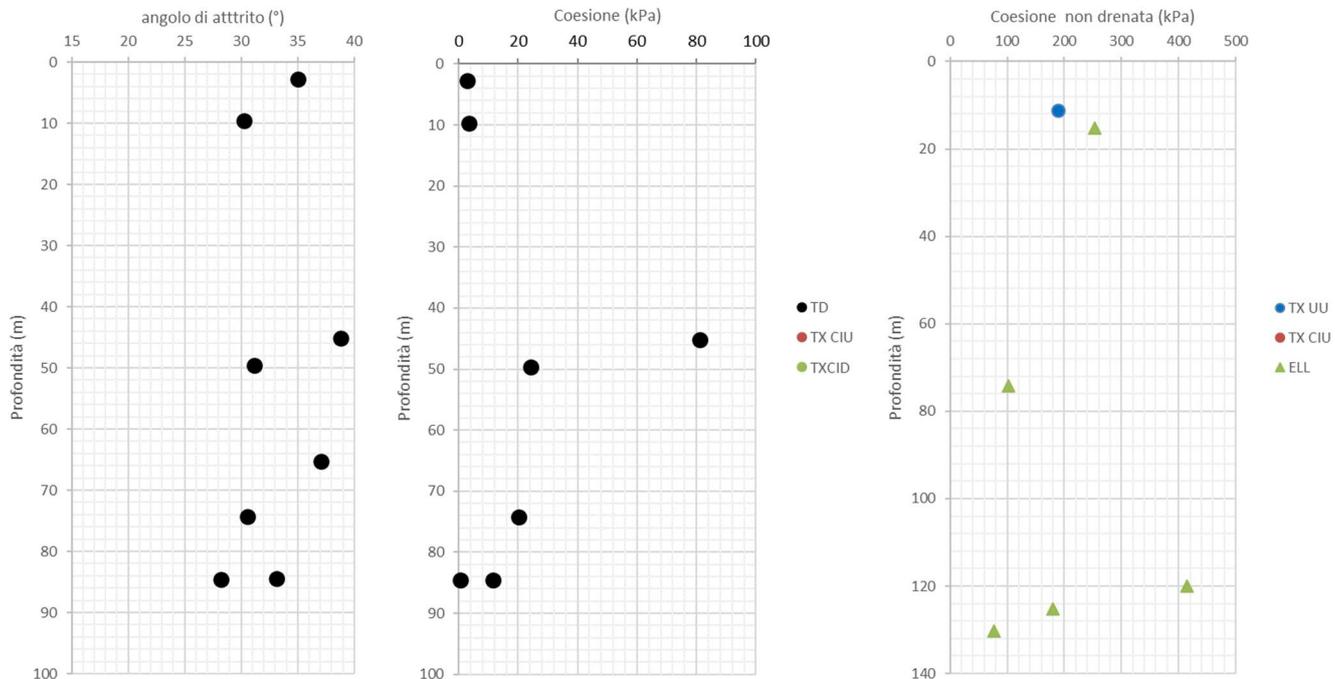


Figura 11-49 - Angolo d'attrito e coesione efficace e non drenata da prove di laboratorio - BNA3 facies 1

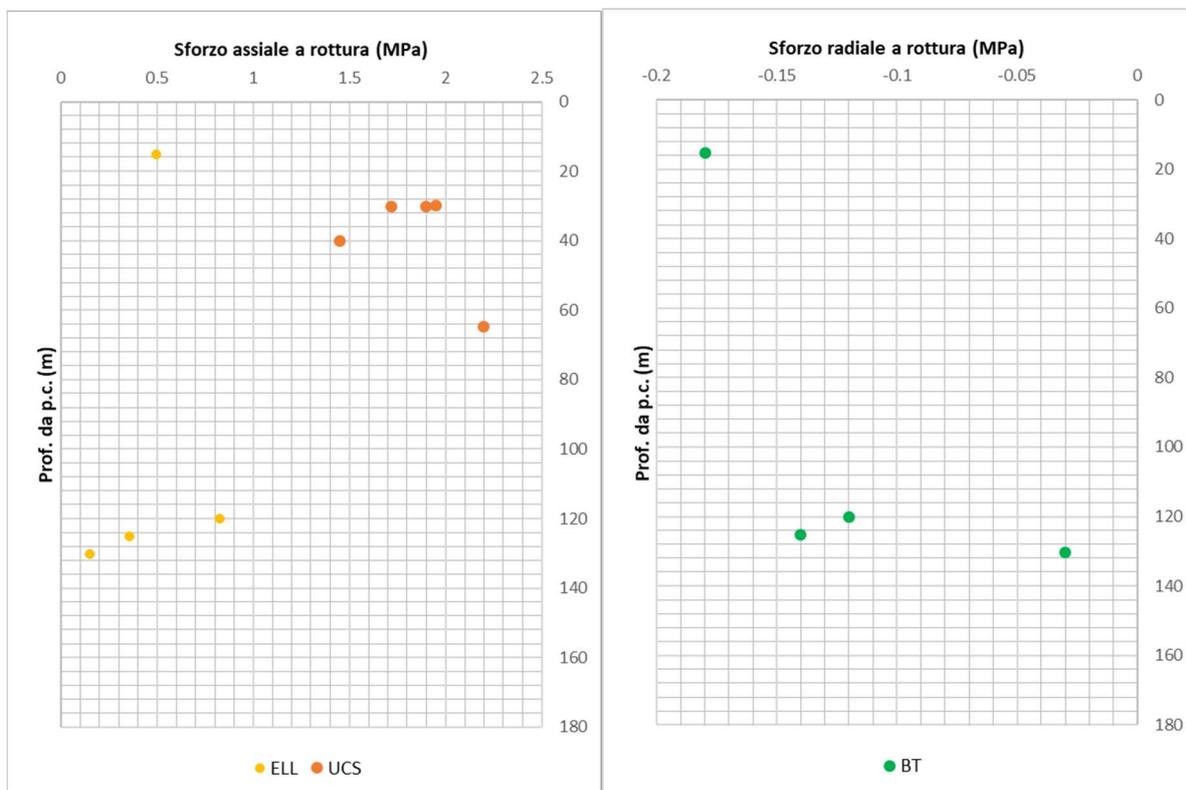
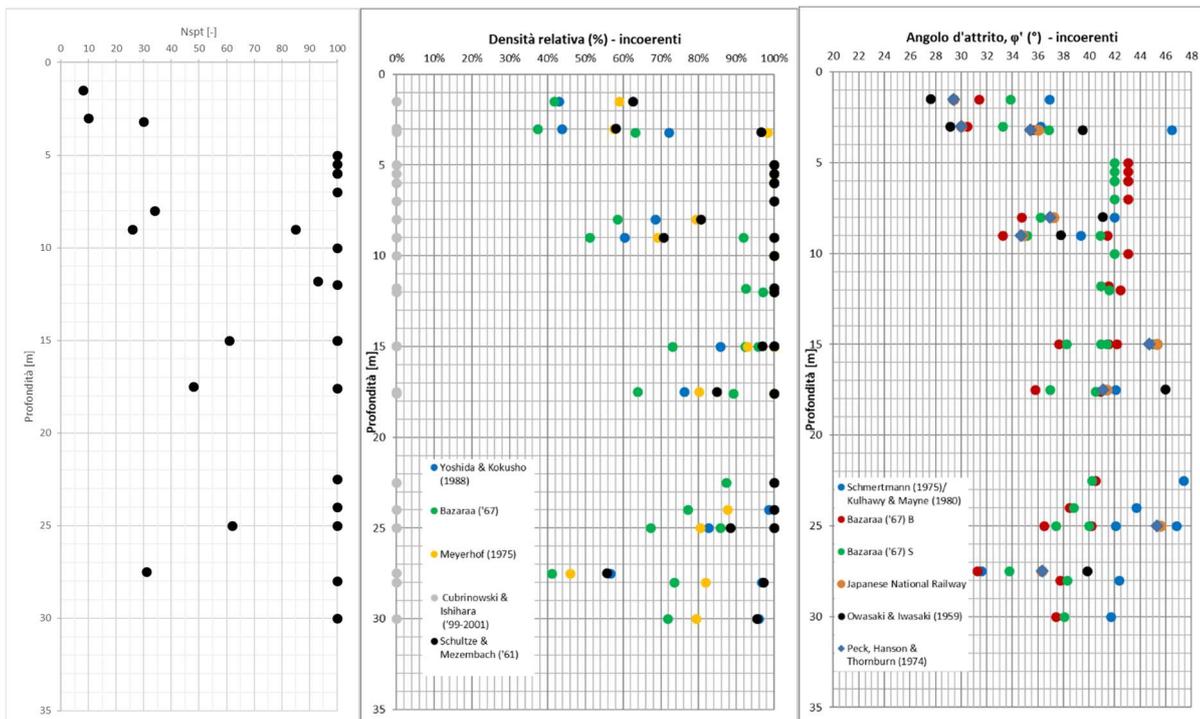


Figura 11-50 - Sollecitazioni assiali e radiali di rottura da prove di laboratorio - BNA3 facies 1

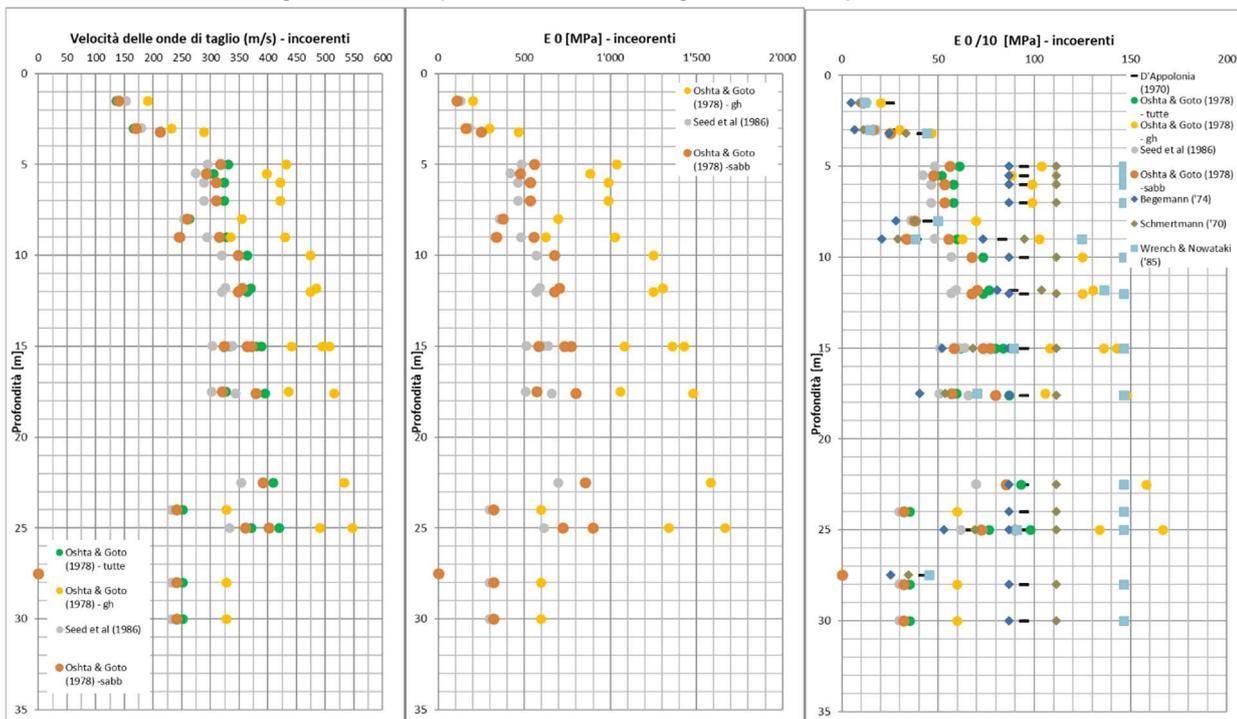
<b>APPALTATORE:</b> Consorzio Soci <b>HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>76 di 97</b>

**Elaborazione prove in foro**

Di seguito si riportano le risultanze delle prove SPT sulla Facies 1 oggetto di studio. I parametri meccanici e di deformabilità sono stati calcolati considerando le correlazioni empiriche suggerite per litologie prevalentemente incoerenti.



**Figura 11-51 - Nspit, densità relativa e angolo d'attrito da prove SPT - BNA3 facies 1**



**Figura 11-52 - Velocità delle onde di taglio, modulo elastico a basse deformazioni e modulo elastico operativo E0/10 - BNA3 facies 1**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>77 di 97</b>

## 11.2.6 Caratterizzazione geotecnica – BNA3 a

### Proprietà fisiche da prove di laboratorio

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggi mostrano una prevalente frazione fine limosa e argillosa; i terreni sono classificabili come limo argilloso debolmente sabbioso (AGI, 1977).

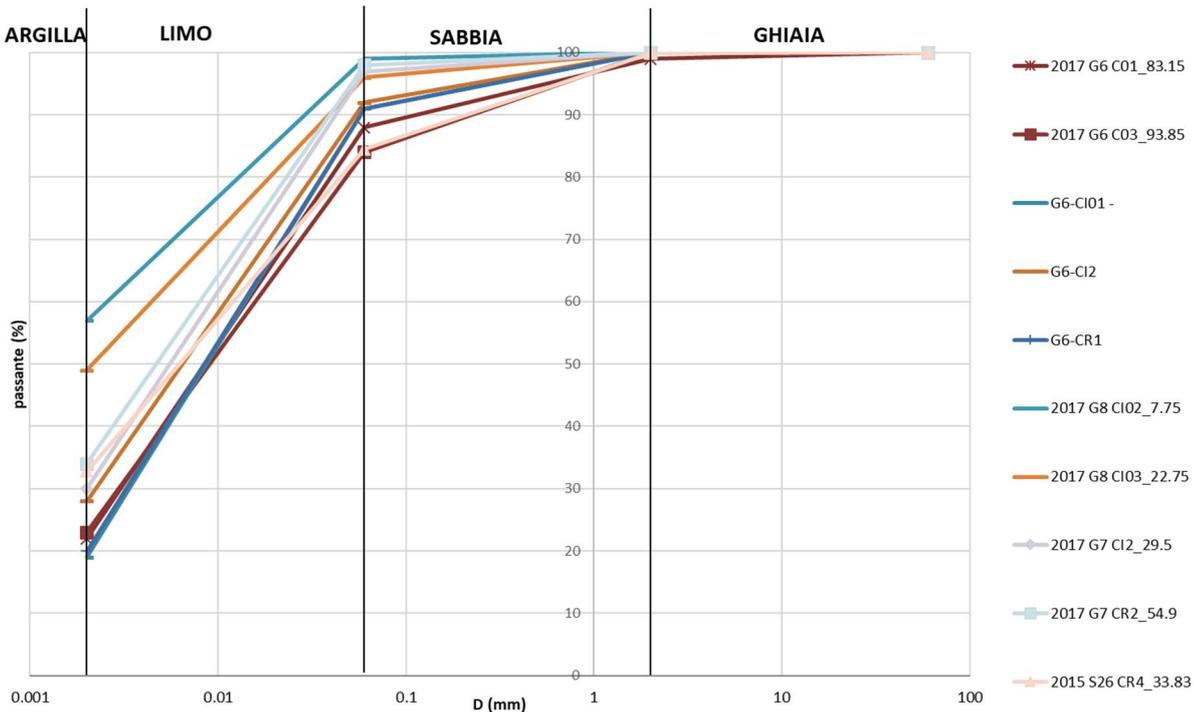


Figura 11-53 - Curve granulometriche BNA3a

Il peso dell'unità di volume è variabile tra  $20 \div 22 \text{ KN/m}^3$ .

Il contenuto naturale d'acqua dopo i primi 10 m di profondità è compreso nell'intervallo di variabilità di  $10 \div 15 \%$ .

Il limite liquido è compreso nell'intervallo di variabilità di  $30 \div 50 \%$ .

Il limite plastico è circa  $20 \%$ .

L'indice di plasticità liquido è compreso tra il  $10\%$  e il  $30 \%$

L'indice di consistenza è maggiore di 1 con valori massimi di 2.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>78 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

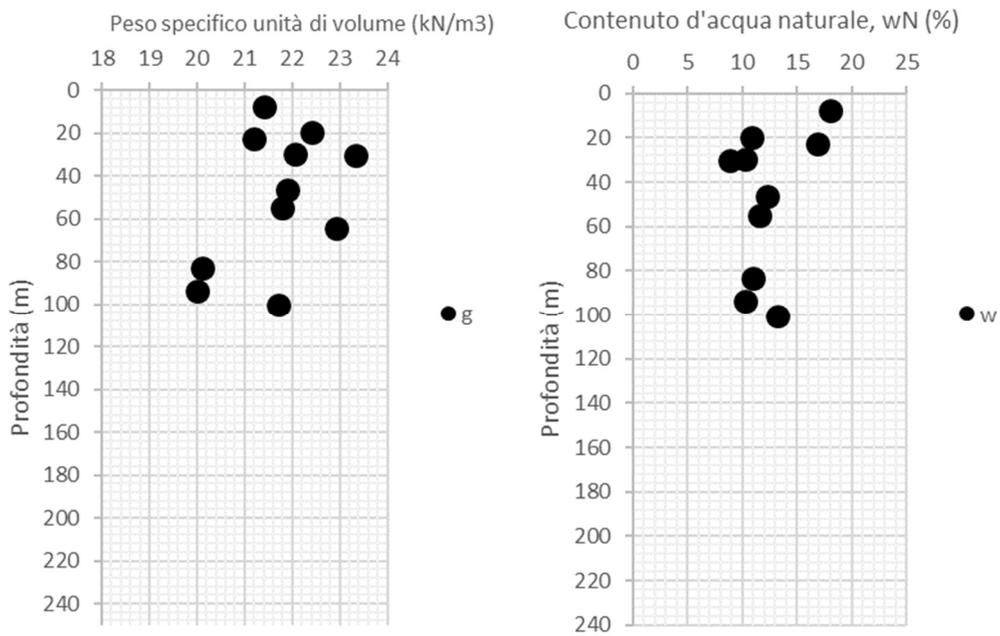


Figura 11-54 - Peso specifico di volume e umidità naturale - BNA3a

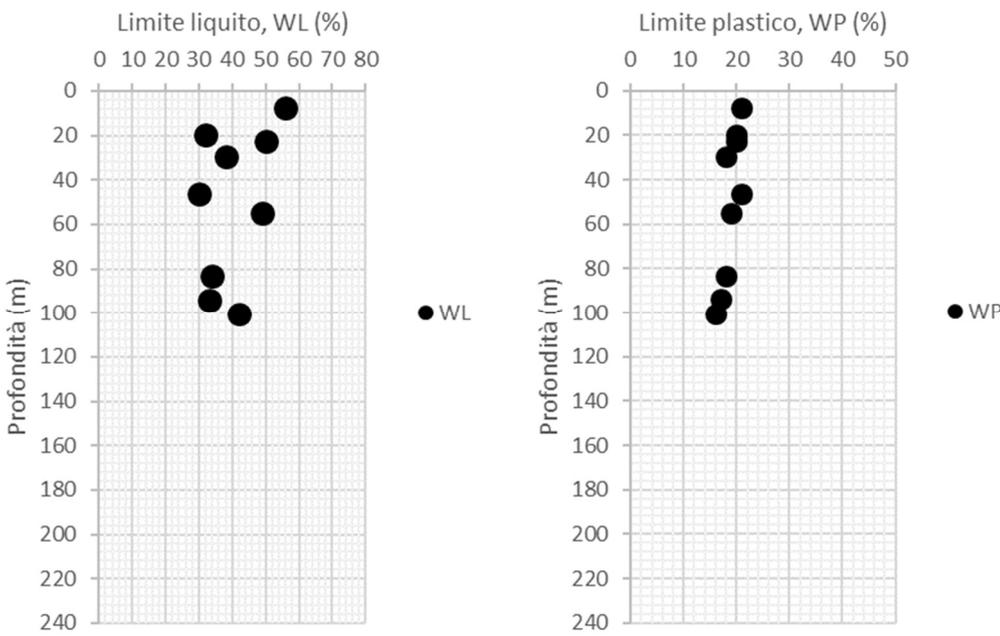


Figura 11-55 – Limite liquido e limite plastico - BNA3a

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>79 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

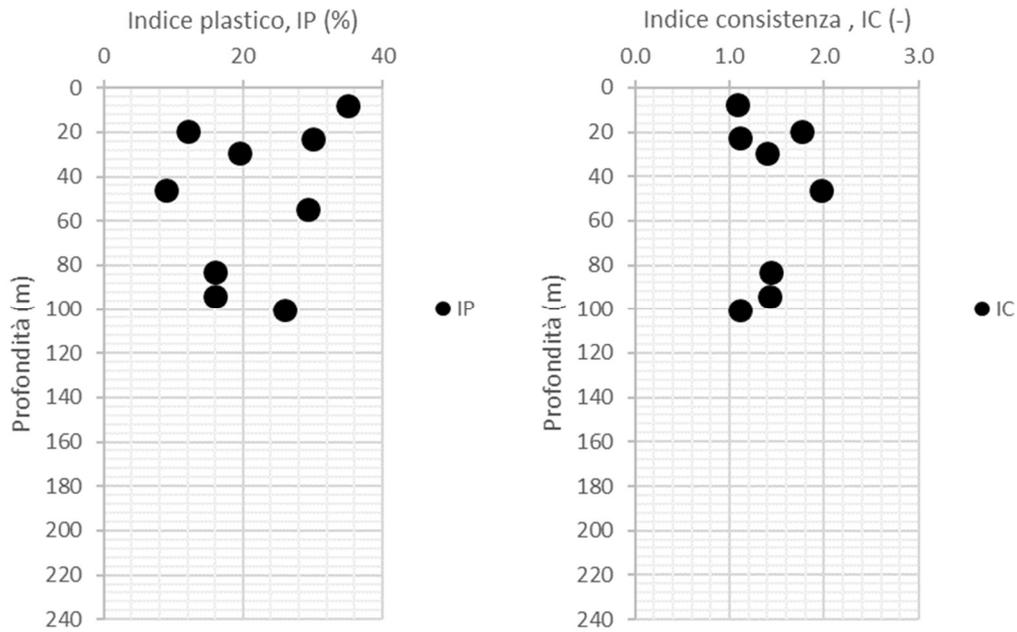


Figura 11-56 - Indice di plasticità e di consistenza - BNA3a

**Proprietà meccaniche da prove di laboratorio**

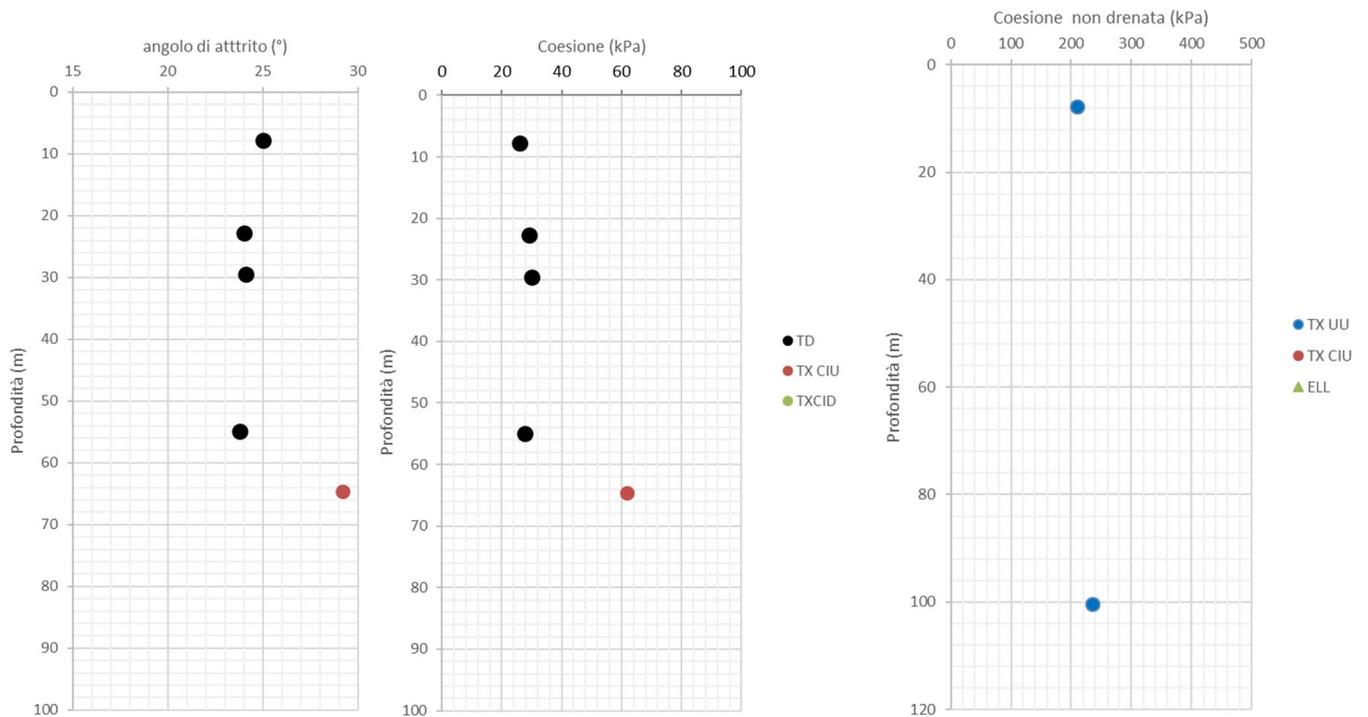


Figura 11-57 - Angolo d'attrito e coesione efficace e non drenata da prove di laboratorio - BNA3a

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RB</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>OC0200 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>80 di 97</b>

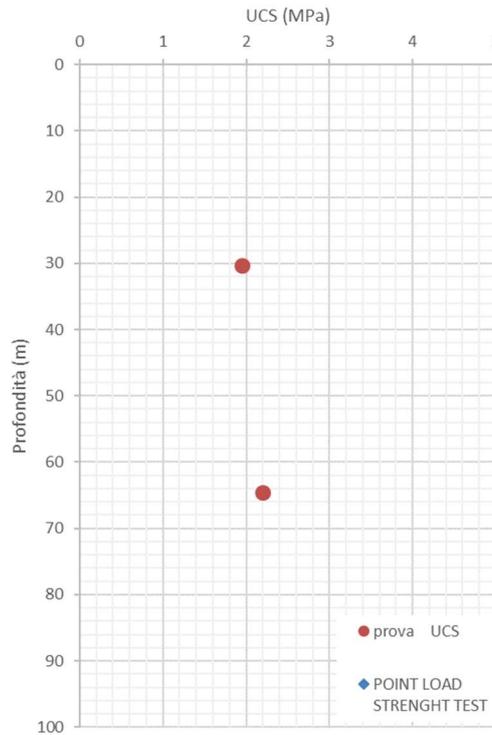


Figura 11-58 - Sollecitazioni assiali di rottura da prove di laboratorio - BNA3a

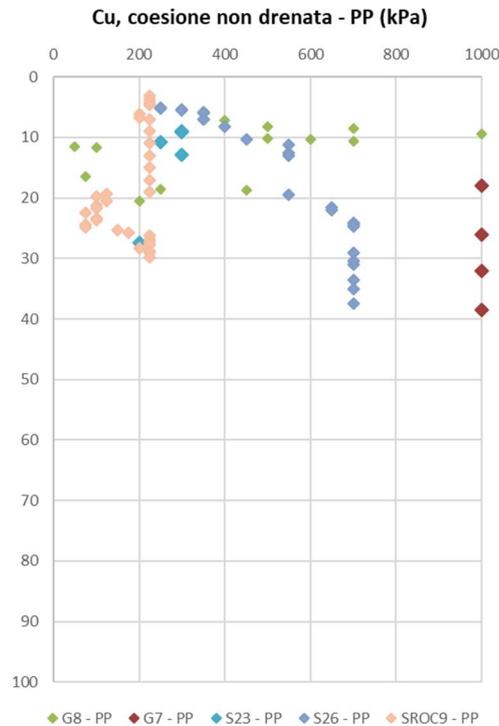
### Elaborazione prove in foro

Si mostrano nel seguito l'elaborazione delle seguenti prove in foro utili alla caratterizzazione geotecnica dei terreni:

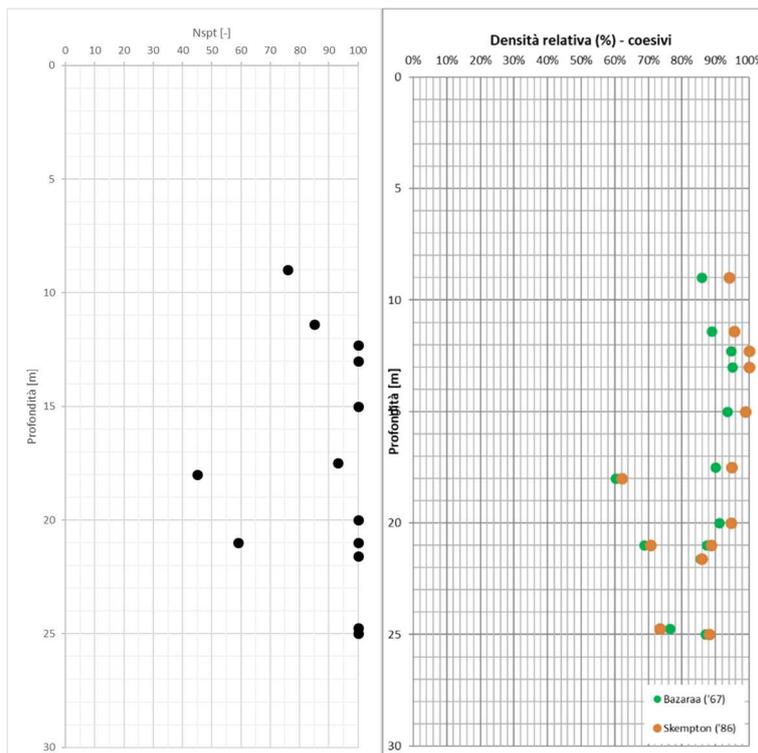
- Pocket penetrometer su carote: coesione non drenata;
- Prove SPT: densità relativa, angolo d'attrito, coesione non drenata, velocità onde di taglio, modulo elastico a basse deformazioni;

Le prove in sito di Pocket penetrometer hanno concorso, così come le prove di laboratorio e le prove in foro SPT tramite le apposite correlazioni per limi siltosi (Shioi-Fukuni 1982 (Road Bridge Specification), Bolton 86), alla caratterizzazione geotecnica della formazione in oggetto. Essendo state eseguite con continuità sulle carote estratte, hanno fornito utili indicazioni circa l'omogeneità dei terreni con la profondità.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>81 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						



Di seguito si riportano le risultanze delle prove SPT sulla Facies 1 oggetto di studio. I parametri meccanici e di deformabilità sono stati calcolati considerando le correlazioni empiriche suggerite per litologie prevalentemente coesive.



**Figura 11-59 - Nspt, densità relativa da prove SPT - BNA3a**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio Soci <b>HIRPINIA AV SALINI IMPREGIO S.P.A. ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> E ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0200 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 82 di 97
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

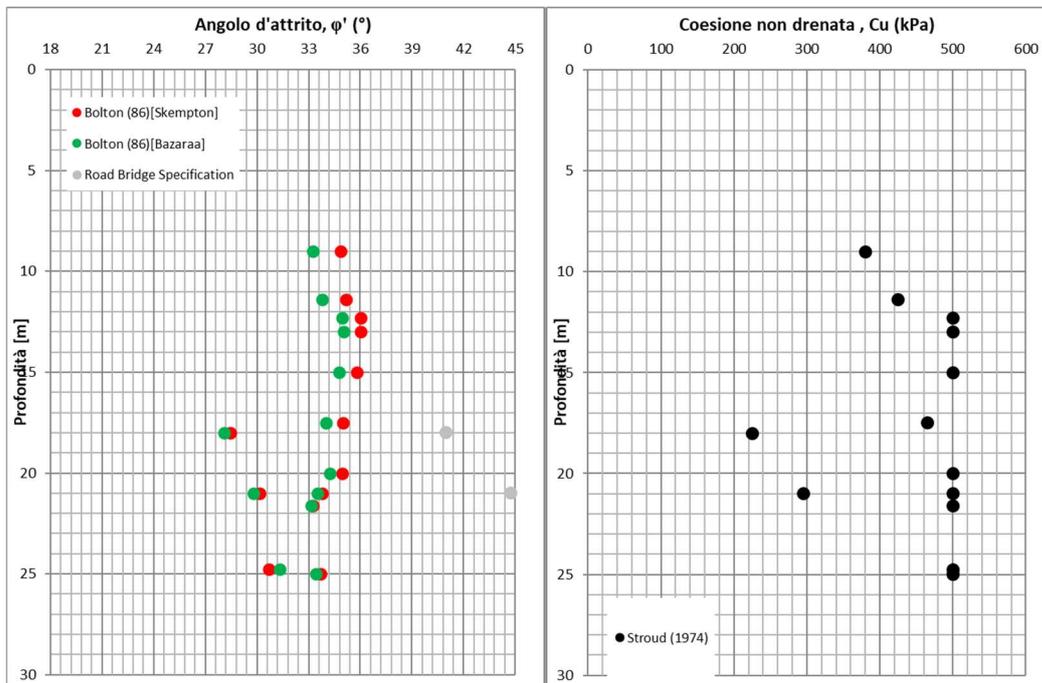


Figura 11-60 - angolo d'attrito e coesione non drenata da prove SPT - BNA3a

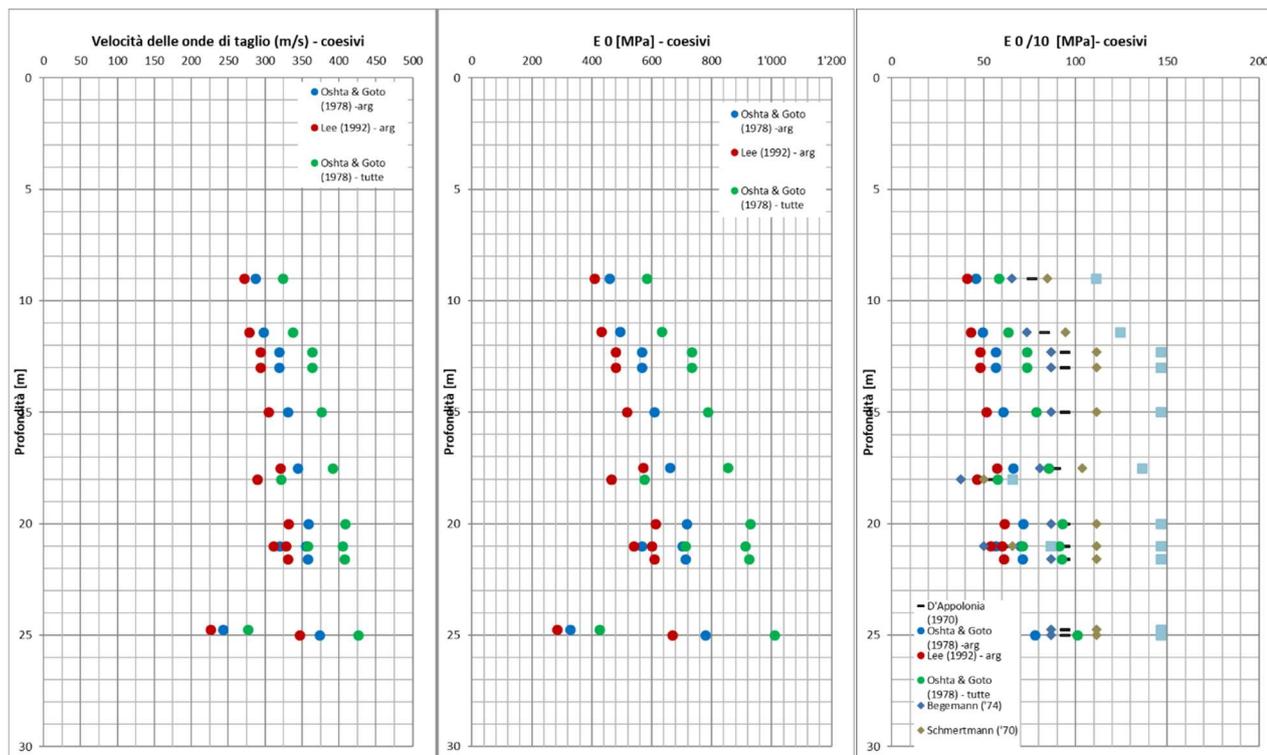


Figura 11-61 - Velocità delle onde di taglio, modulo elastico a basse deformazioni e modulo elastico operativo  $E_0/10$  - BNA3a

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>83 di 97</b>

### 11.2.7 Conducibilità idraulica

Il grafico seguente illustra i valori di conducibilità idraulica misurati con prove Lugeon e Lefranc per l'intera Unità del BNA3.

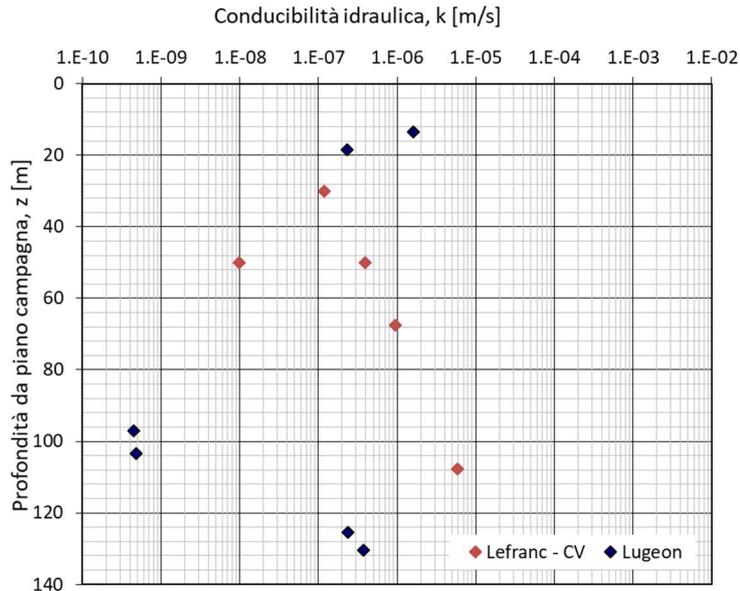


Figura 11-62 - Conducibilità idraulica - BNA3

### 11.2.8 Quadro di sintesi caratterizzazione geomeccanica BNA3

La caratterizzazione geotecnica/ 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 BNA3 individuate:

#### BNA3 Facies 1

<b>BNA3 - Facies1</b>						
<b>sabbie addensate /arenarie mediamente cementate</b>						
Parametro	u.m	Basse coperture [m]		Alte coperture [m]		
		p.c.-15	15-30	30-50	50-100	100-150
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	20÷22	20÷22	20÷22	20÷22	20÷22
$c'$	kPa	0÷5	5÷10	20÷40	30÷60	50-100
$\phi'$	°	28÷32	30÷35	32÷38	32÷38	32÷38
Erm	MPa	50÷100	120÷180	180÷220	220÷270	270÷300

Tabella 11-10 – BNA3 -Facies 1 -Riepilogo parametri geotecnici

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 84 di 97

### BNA3 Facies 2

Per la presente facies i parametri di resistenza meccanica dell'ammasso roccioso sono stati ottenuti dal processo di linearizzazione del criterio di Hoek Brown per ottenere i parametri equivalenti secondo il criterio di Mohr Coulomb scegliendo degli intervalli di copertura rappresentativi delle situazioni progettuali. La linearizzazione è avvenuta sul valor medio di ogni intervallo di copertura scelto.

<b>BNA3 - Facies2</b>								
calcareniti / arenarie/ marne calcaree								
Parametro	u.m	Coperture [m]						
		25-75	75-125	125-175	175-225	225-275		
γ	kN/m3	20÷24	20÷24	20÷24	20÷24	20÷24		
UCS	MPa	40÷60	40÷60	40÷60	40÷60	40÷60		
mi	-	17	17	17	17	17		
D	-	0	0	0	0	0		
MR	-	200	200	200	200	200		
Ei	MPa	9000	9000	9000	9000	9000		
GSI (35-45)	40	σ <sub>cm</sub>	MPa	8	8	8	8	8
		c'	kPa	340	500	650	780	900
		φ'	°	48	47	46	44	43
		E <sub>rm</sub>	MPa	1400	1400	1400	1400	1400
GSI (45-55)	50	σ <sub>cm</sub>	MPa	10	10	10	10	10
		c'	kPa	450	600	750	900	1000
		φ'	°	48	47	46	45	45
		E <sub>rm</sub>	MPa	2750	2750	2750	2750	2750

Tabella 11-11 – BNA3 -Facies 2 -Riepilogo parametri geotecnici

### BNA3a

<b>BNA3 a</b>		
Parametro	u.m	Coperture (m)
		p.c.-30
γ	kN/m3	21
Cu	kPa	200÷700
c'	kPa	20÷40
φ'	°	24÷26
E <sub>rm</sub>	MPa	50 ÷ 150

Tabella 11-12 – BNA3 a -Riepilogo parametri geotecnici

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 85 di 97

## 11.3 FORMAZIONE DELLA BARONIA – BNA1B

### 11.3.1 Note introduttive

Lo scavo delle finestre F2, F3 e F4 e F5, in prossimità degli imbocchi di queste, interessa la formazione della Baronia BNA1b (Membro dei conglomerati e delle sabbie di S. Sossio Baronia – Pliocene inf.) caratterizzata da sabbie siltose con interstrati da mm a cm di argille alternate a silt sabbiosi e argillosi di colore da giallastro a grigio.

I sondaggi restituiscono la presenza eterogenea di sabbie arenacee, silt da sabbioso a debolmente sabbioso, limi argillosi sabbiosi e livelli argillosi limosi sabbiosi (citando ad esempio lo SME4, l'S14 e lo SME1). Ai fini della determinazione dei parametri di resistenza corrispondenti alla risposta del materiale nella sua globalità (comprendendo quindi livelli granulometricamente eterogenei), si è effettuata un'operazione di ponderazione dei risultati delle prove di laboratorio sulle frazioni più fini e dei risultati delle prove in foro (SPT) che dell'esperienza del progettista maturata in contesti simili. Le caratterizzazioni specifiche per ogni singola opera (finestre F2,F3,F4) sono riportate nelle diverse "Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco".

Lungo il tracciato di linea, sia all'imbocco della galleria Rocchetta lato Bari, che all'imbocco della galleria Melito lato Napoli, è presente la formazione geologica del BNA1b affiorante in superficie. Si rimanda alla caratterizzazione geotecnica locale dell'imbocco [15], [16] per maggiori dettagli.

### 11.3.2 Sondaggi di riferimento

La caratterizzazione è stata condotta elaborando le risultanze dei sondaggi geognostici condotti nell'ambito della Campagne indagini del 2008 - 2015 - 2017 -2019.

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.

Opera		Sondaggio	N <sub>spt</sub>	Prove di Lab. – Prove fisiche	Prove di Lab. – Prove meccaniche
FINESTRE	F2	SME1	5	8	2
		C15	5	1	1
	F3	SME3	3	2	-
		SME4	6	3	1
		S14	1	-	-
	F4	SME7	5	3	1
		RI56	3	2	-
		C17	2	1	1
		C16	2	1	1

Tabella 11-13 – Sondaggi di riferimento per la caratterizzazione e prove svolte

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 86 di 97

### 11.3.3 Proprietà fisiche da prove di laboratorio

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni prelevati dai fori di sondaggi mostrano una prevalente frazione limosa e argillosa con un 10 - 20 % di frazione sabbiosa.

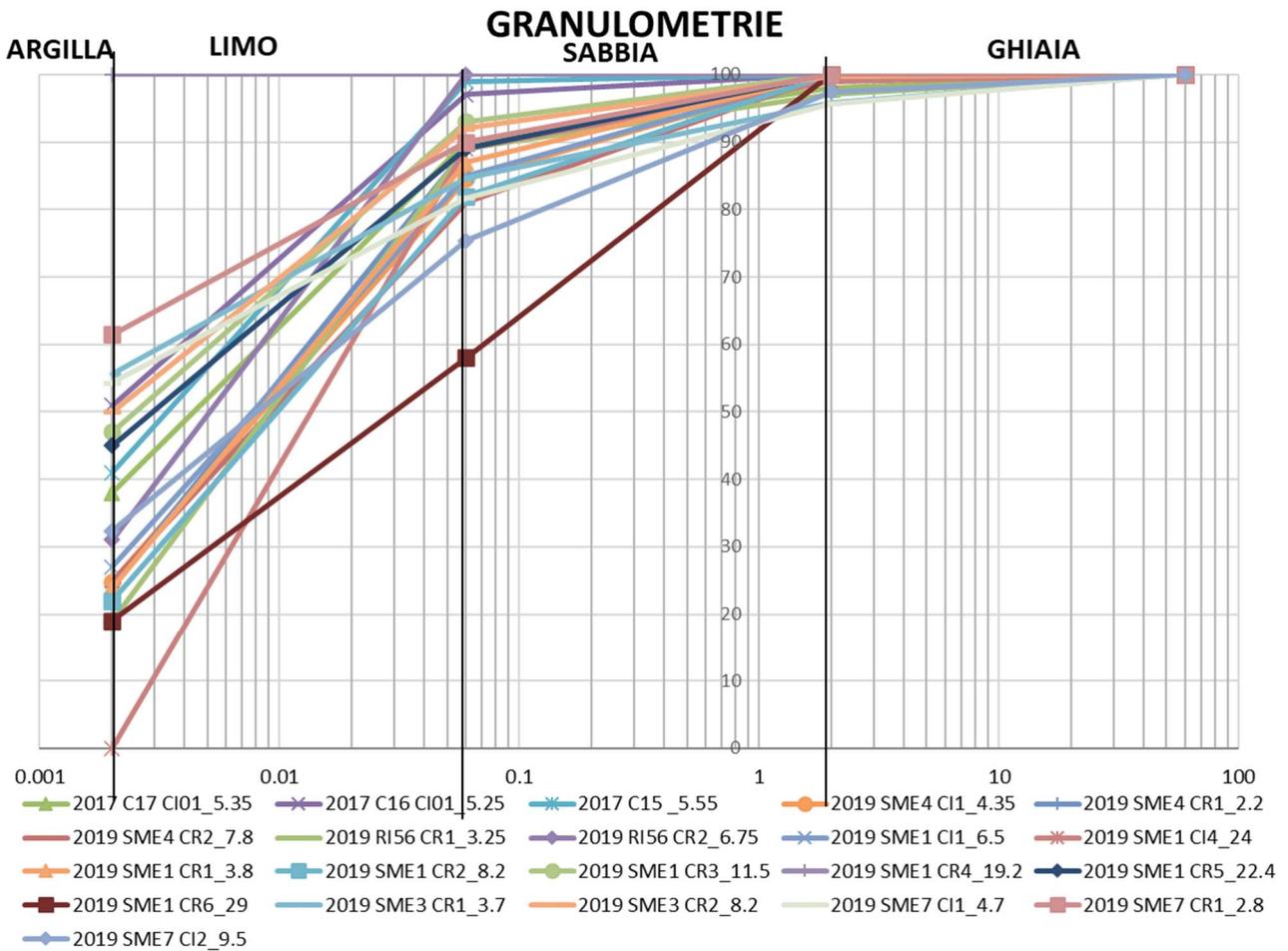


Figura 11-63 - Curve granulometriche BNA1b

Il peso dell'unità di volume è variabile tra  $19 \div 21 \text{ KN/m}^3$ .

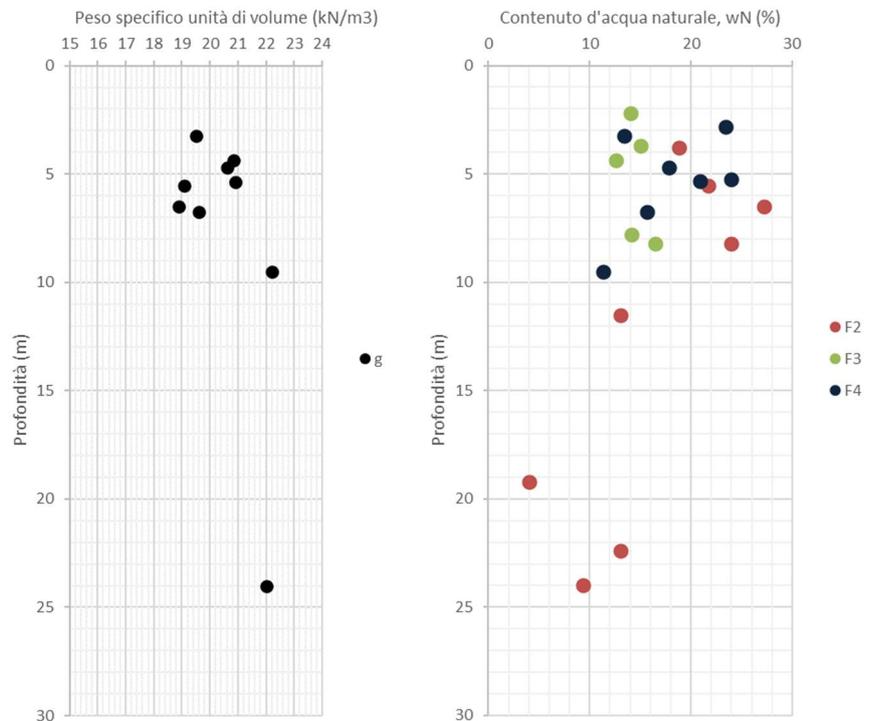
Il contenuto naturale d'acqua diminuisce con la profondità, passando dal range di variabilità del 15 - 25% a circa il 10% oltre i 15m da piano campagna.

Il limite liquido presenta una grande dispersione di valori nei primi 15m ( 30 ÷ 60 %).

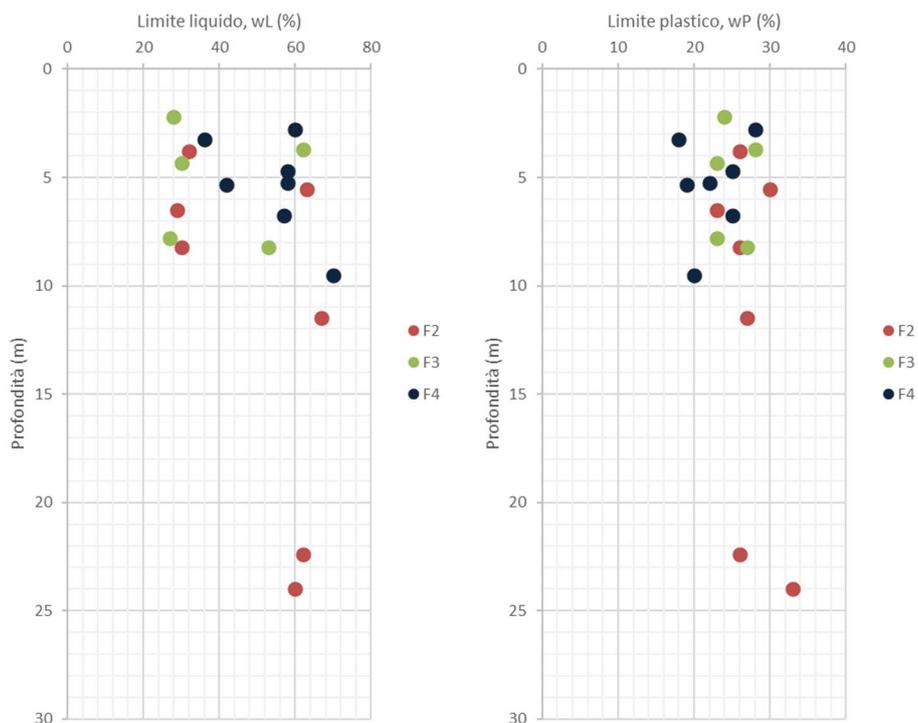
Il limite plastico è compreso nell'intervallo di variabilità di 20 ÷ 30 %.

L indice di consistenza è crescente con la profondità e quasi ovunque maggiore di 1.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                  Soci <b>HIRPINIA AV                  SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                  Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A              NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>87 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						



**Figura 11-64 - Peso specifico di volume e umidità naturale - BNA1b**



**Figura 11-65 – Limite liquido e limite plastico - BNA1b**

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>88 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

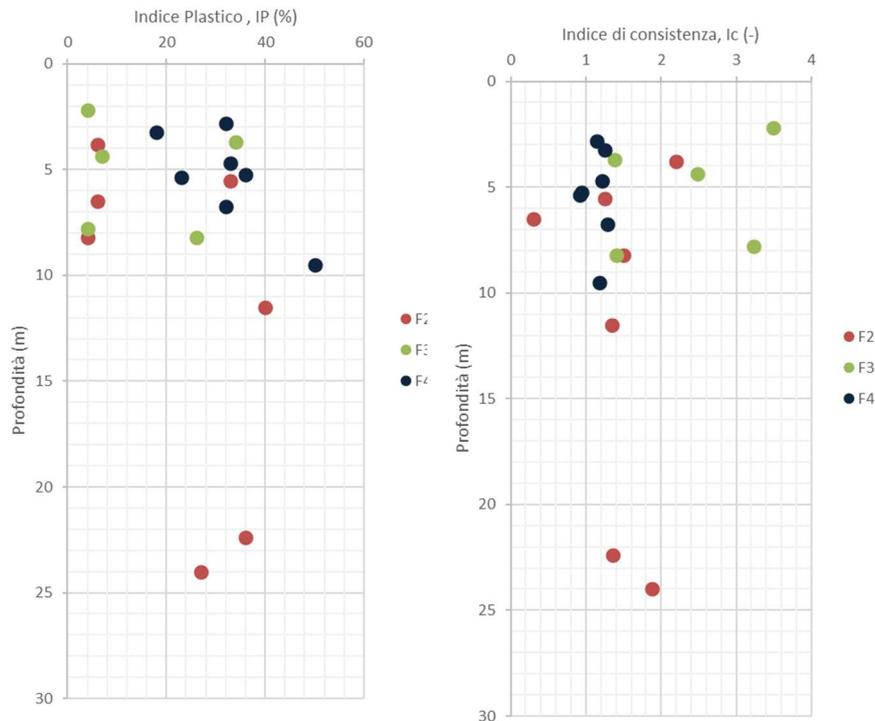


Figura 11-66 - Indice di plasticità e di consistenza - BNA1b

### 11.3.4 Proprietà meccaniche da prove di laboratorio

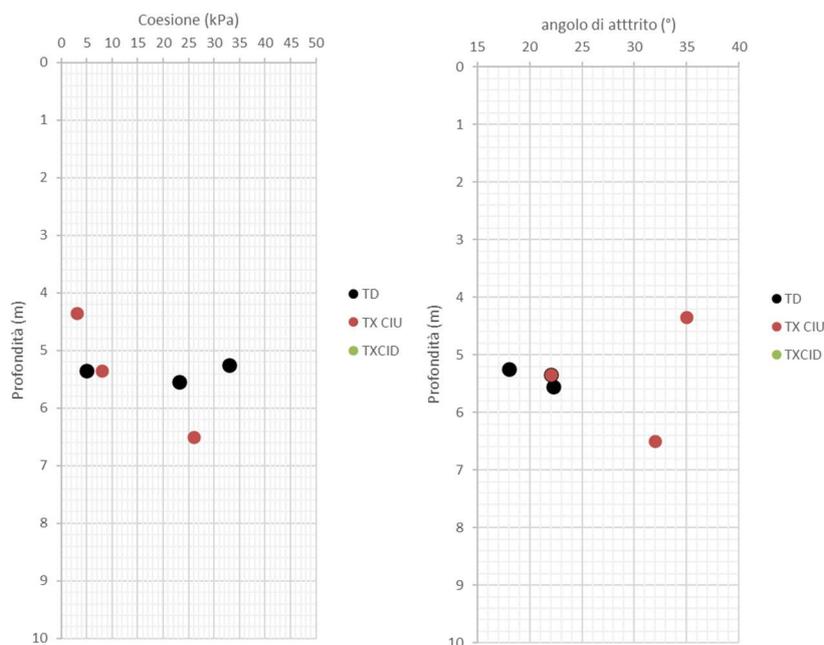


Figura 11-67 - Angolo d'attrito e coesione efficace e non drenata da prove di laboratorio - BNA1b

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGIO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	COMMESSA <b>IF28</b>	LOTTO <b>01</b>	CODIFICA <b>E ZZ RB</b>	DOCUMENTO <b>OC0200 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>89 di 97</b>
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>						

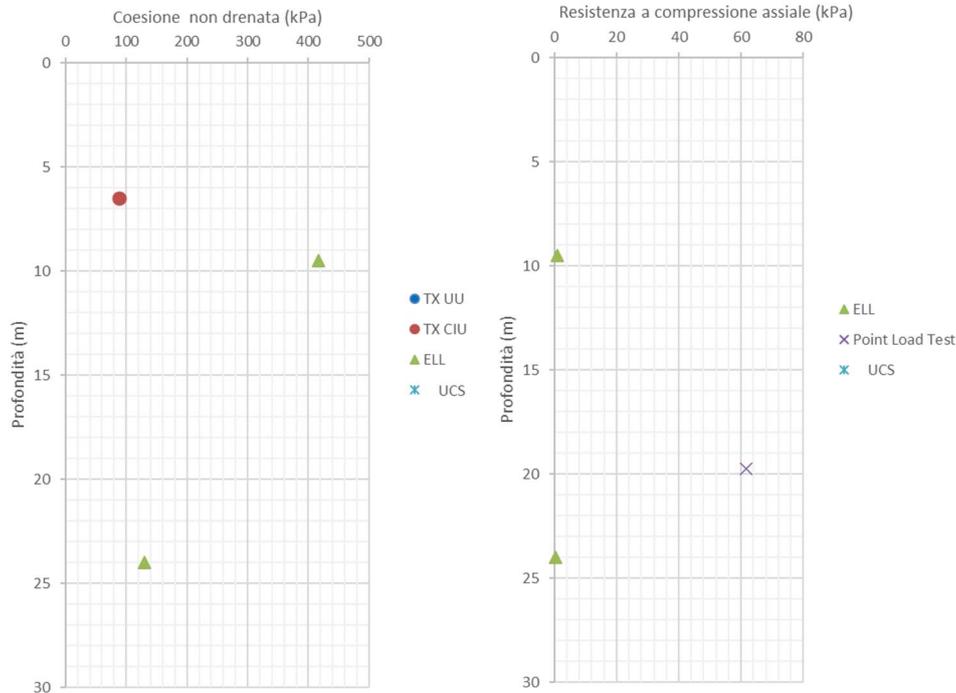


Figura 11-68 - Coesione non drenata e resistenza a compressione assiale da prove di laboratorio - BNA1b

### 11.3.5 Elaborazione prove in foro

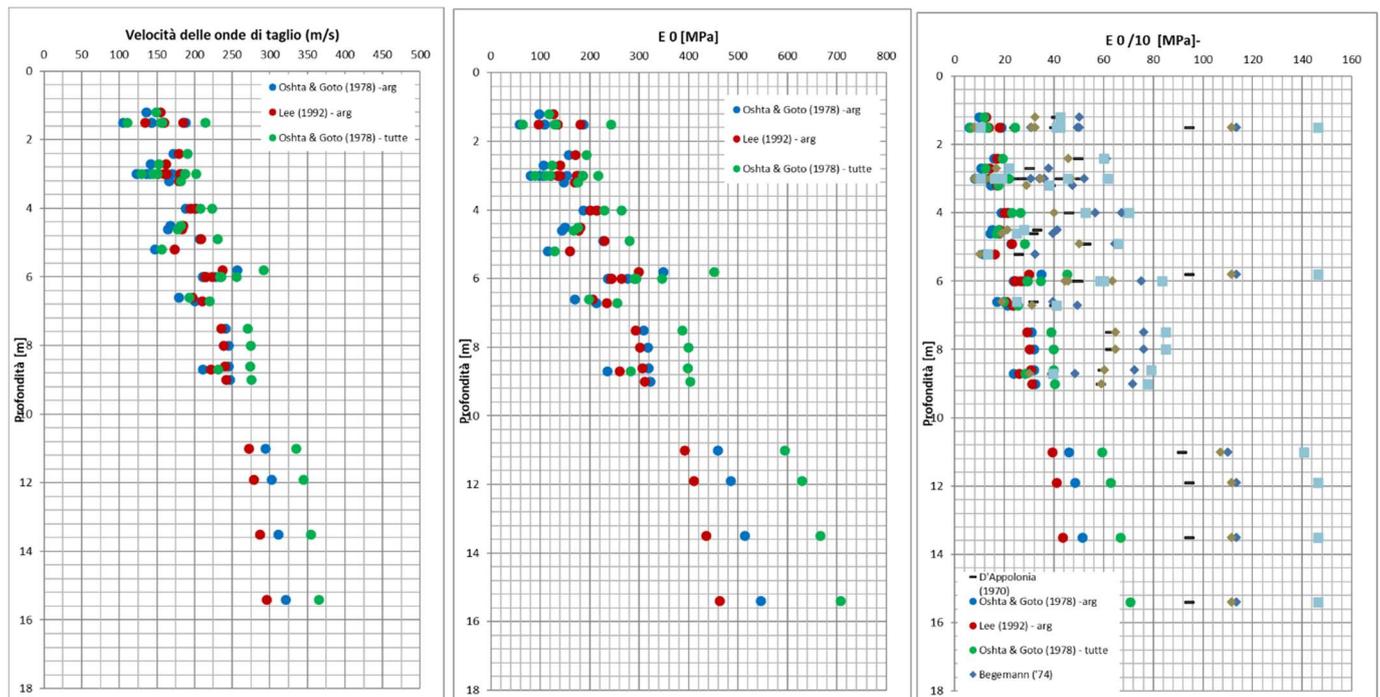


Figura 11-69 - Velocità delle onde di taglio, modulo elastico a basse deformazioni e modulo elastico operativo E0/10 - BNA1b

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RB</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>OC0200 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>90 di 97</b>

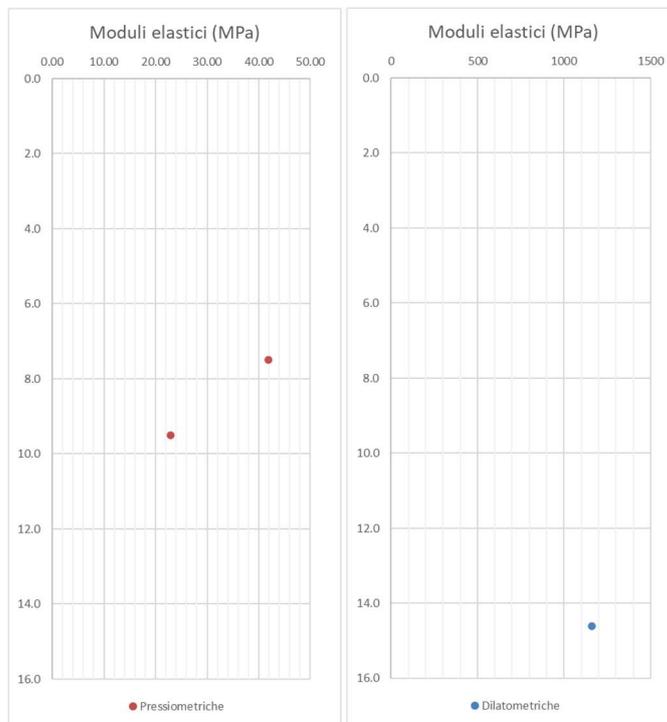


Figura 11-70 - Modulo elastico da prove dilatometriche e pressiometriche - BNA1b

### 11.3.6 Conducibilità idraulica

Il grafico seguente illustra i valori di conducibilità idraulica misurati con prove Lugeon e Lefranc per l'intera Unità del BNA1b.

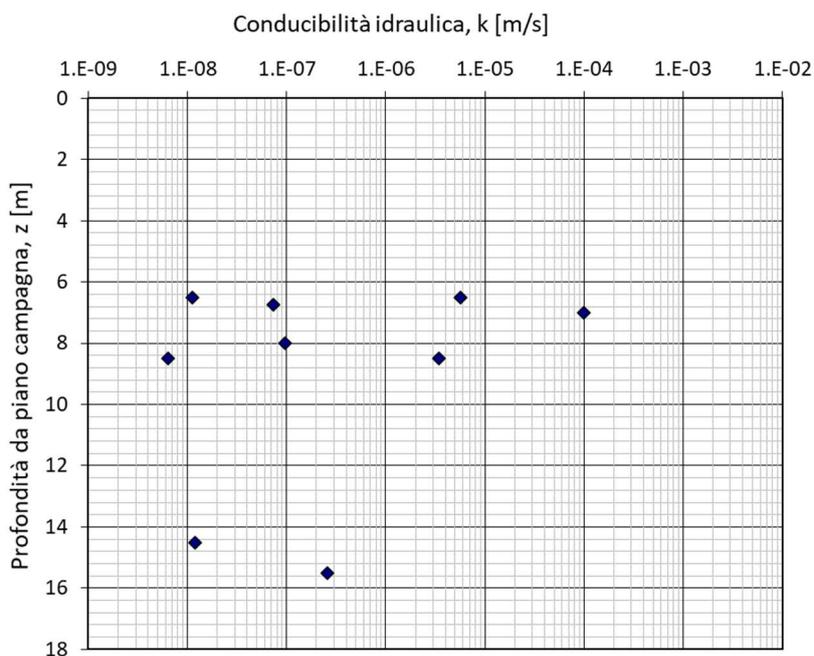


Figura 11-71 - Conducibilità idraulica - BNA1b

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RB</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>OC0200 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>91 di 97</b>

### 11.3.7 Quadro di sintesi caratterizzazione geomeccanica BNA1b

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 del BNA1b individuate:

<b>BNA1b</b>		
<b>Parametri</b>	<b>u.m</b>	<b>Copertura (m)</b>
		<b>p.c.-15</b>
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	19÷21
$c'$	kPa	10÷30
$\phi'$	°	24÷28
E <sub>rm</sub>	MPa	30÷100 (*)

(\*) lineare con profondità

Tabella 11-14 – BNA1b -Riepilogo parametri geotecnici

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 92 di 97

## 12 STATO DI SFORZO DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Lo stato di sforzo in situ è stato valutato a partire dai risultati di prove di fratturazione idraulica eseguite nell'ambito della Campagna indagini 2019. Le prove di fratturazione sono così distribuite lungo il tracciato:

- Galleria Grottaminarda: SN\_01,SN02,SN03, SN\_GR\_05,SN\_GR\_06 – Formazione FYR
- Galleria Melito: SN\_Me\_05bis, SN\_Me\_07 – Formazione Flysch
- Galleria Melito: SME6 – Formazione Baronia
- Galleria Rocchetta: SROC5, SROC6, SROC7– Formazione Baronia

La seguente Tabella mostra i risultati delle prove.

Descrizione campione prova			Prova di Fratturazione Itraulica														
Campagna	ID sondaggio	zm	$\sigma$ min	$\sigma$ max	$\sigma$ lit	u	k0 min	k0 max	$\sigma'$ min	$\sigma'$ max	$\sigma'$ lit	k'0 min	k'0 max	Azimut 1	Dip 1	Azimut 2	Dip 2
anno	[/]	m	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	-	-	Mpa	Mpa	Mpa	-	-				
2019	SROC5	114	2.7	3.5	2.7	0.9	1.0	1.3	1.8	2.6	1.8	1.0	1.4	350.7	37.9	290.3	10.6
2019	SROC6	115	2.1	3.1	2.8	0.4	0.8	1.1	1.7	2.8	2.4	0.7	1.1	334.6	14.0		
2019	SROC7	102	2.9	3.7	2.5	1.0	1.2	1.5	1.8	2.7	1.4	1.3	1.9	335.2	13.6	0.3	71.8
2019	SME06	105.5	2.5	3.4	2.6	0.9	1.0	1.3	1.6	2.5	1.8	0.9	1.4				
2019	SNMe05bis	108.5	2.4	3.4	2.5	1.0	1.0	1.4	1.4	2.4	1.5	1.0	1.6	141.6	71.3		
2019	SNMe07	109.5	2.7	3.6	2.7	1.1	1.0	1.3	1.6	2.5	1.6	1.0	1.6	256.0	71.1	327.0	70.8
2019	SNGR06	36.6	0.9	1.0	0.9	0.3	1.0	1.1	0.6	0.7	0.6	1.0	1.2	50.0	44.2	116.3	63.6
2019	SNGR05	23	0.6	0.7	0.6	0.2	1.0	1.2	0.4	0.5	0.4	1.0	1.4	33.1	39.4		
2019	SN_01	43	0.9	1.1	1.0	0.4	0.8	1.0	0.4	0.6	0.6	0.7	1.0	115.6	51.5		
2019	SN_02	34	0.9	1.0	0.8	0.3	1.1	1.3	0.5	0.7	0.5	1.1	1.4	92.4	64.7		
2019	SN_03	36	0.9	1.1	0.9	0.3	1.1	1.3	0.6	0.7	0.5	1.1	1.4	284.0	46.9	45.0	49.2

Tabella 12-1 – Risultati prove di fratturazione idraulica

Nei seguenti grafici è possibile osservare l'andamento del coefficiente di spinta a riposo, in sforzi totali e efficaci, minimo e massimo, corrispondente alla pressione minima e massima misurata all'apertura della frattura, in funzione della profondità.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio Soci <b>HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A</b>		<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.</b>							
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale		COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 93 di 97

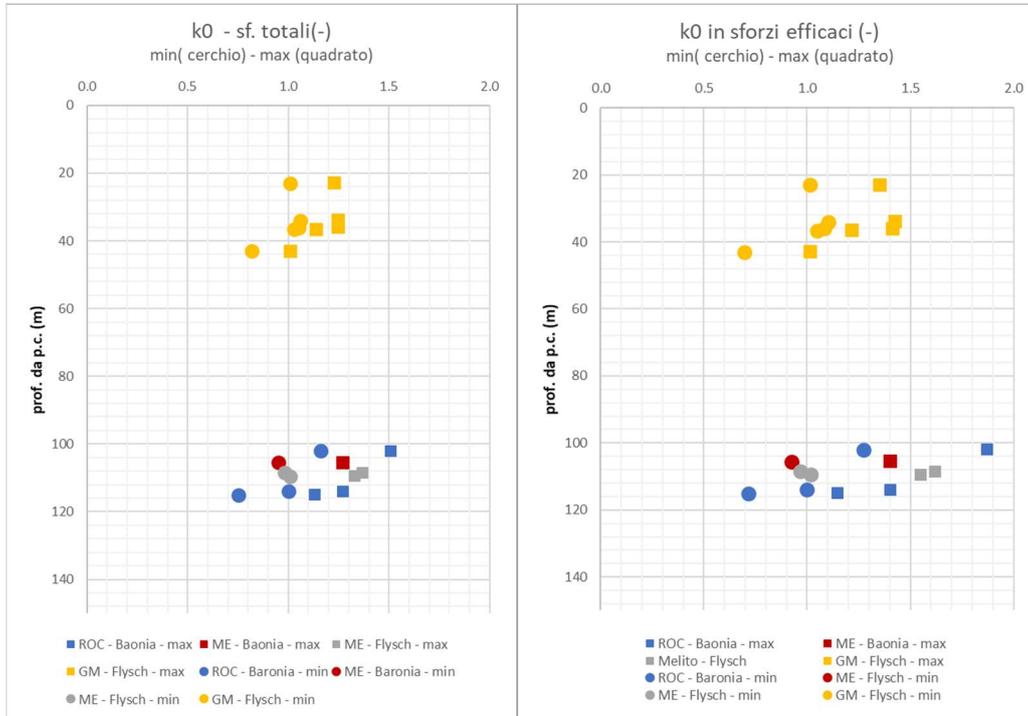


Figura 12-1 - Coefficiente di spinta a riposo minimo (cerchio) e massimo (quadrato) in sforzi totali (sx) e efficaci (dx) per le gallerie Grottaminarda- Melito e Rocchetta e le formazioni principali attraversate dallo scavo

I seguenti grafici mostrano l'orientamento del piano identificante la frattura indotta in fase di prova.

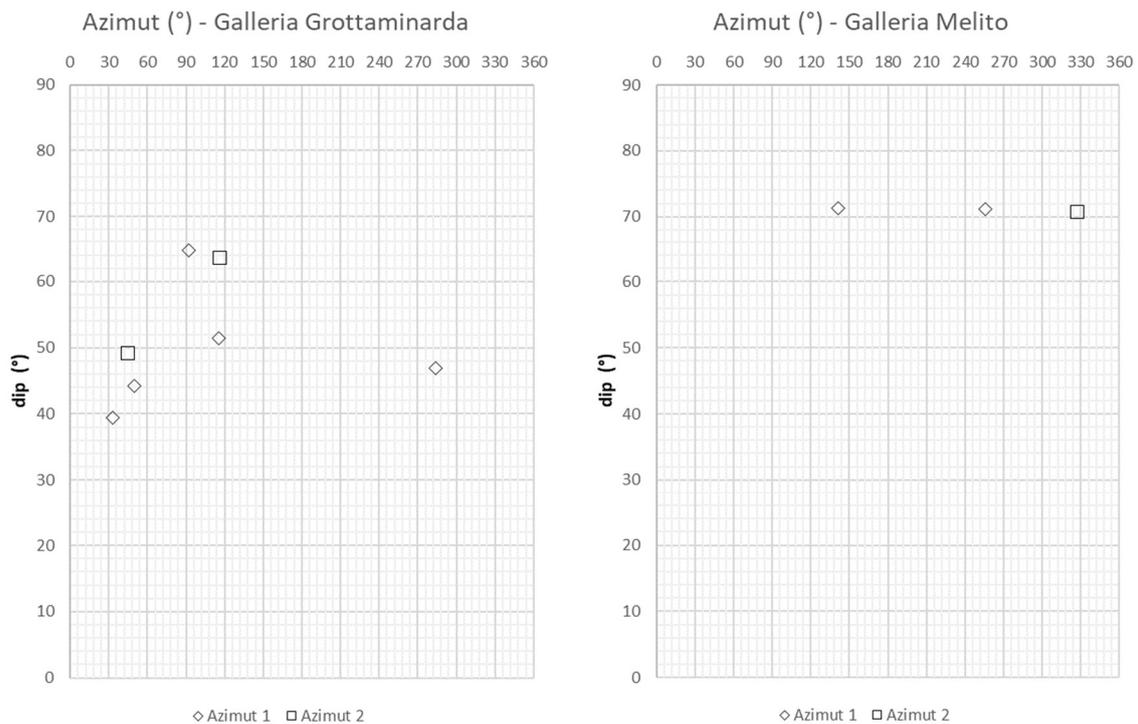
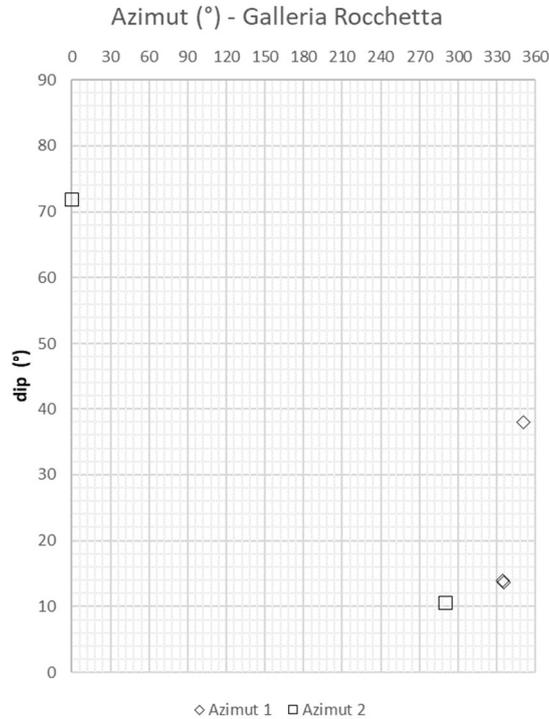


Figura 12-2 - Orientamento del piano di frattura – galleria Grottaminarda e Melito

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	<b>COMMESSA</b> <b>IF28</b>	<b>LOTTO</b> <b>01</b>	<b>CODIFICA</b> <b>E ZZ RB</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>OC0200 001</b>	<b>REV.</b> <b>B</b>	<b>FOGLIO</b> <b>94 di 97</b>



**Figura 12-3 - Orientamento del piano di fratturazione – galleria Rocchetta**

Sulla base dei risultati di prova sopra rappresentati, valutando contestualmente la localizzazione delle prove lungo il tracciato, l'entità degli sforzi massimi e l'orientazione nel piano degli stessi, si assume quanto segue:

- stato di sforzo orizzontale massimo contesto galleria Grottaminarda a coperture medio-basse (inferiori alla soglia dei 60/70 m):  $k_0 = 1$
- stato di sforzo orizzontale massimo contesto galleria Grottaminarda a coperture medie- (superiore alla soglia dei 60/70 m):  $k_0 = 1.1$
- stato di sforzo orizzontale massimo contesto galleria Melito a coperture medio-basse (inferiori alla soglia dei 60/70 m):  $k_0 = 1$
- stato di sforzo orizzontale massimo contesto galleria Melito a coperture medie- (superiore alla soglia dei 60/70 m e inferiore alla soglia dei 110-130 m):  $k_0 = 1.1$
- stato di sforzo orizzontale massimo contesto galleria Melito a coperture medio-elevate (superiore alla soglia dei 110 -130 m):  $k_0 = 1.2$
- stato di sforzo orizzontale massimo contesto galleria Rocchetta a coperture medio-basse (inferiori alla soglia dei 60/70 m):  $k_0 = 1$
- stato di sforzo orizzontale massimo contesto galleria Rocchetta a coperture medie- (superiore alla soglia indicativa dei 60/70 m e inferiore alla soglia dei 90-100 m):  $k_0 = 1.1$
- stato di sforzo orizzontale massimo contesto galleria Rocchetta a coperture medio-elevate (superiore alla soglia dei 90-100 m):  $k_0 = 1.2$

Esulano i contesti di imbocco delle opere per le quali si assumono, in relazione alla specifica morfologia,  $k_0$  unitari o determinati secondo la formulazione di Jaky.

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A.                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>	<b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 95 di 97

## 13 ANALISI CHIMICHE

### 13.1 NOTE INTRODUTTIVE

Nell'ambito della Campagna di Indagini Geognostiche Integrative sono state condotte analisi chimiche finalizzate alla valutazione dell'aggressività dei terreni, sottoponendo ai test di laboratorio i campioni rimaneggiati prelevati nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo. Nel presente Capitolo vengono studiati i risultati dei test eseguiti su campioni prelevati in corrispondenza delle tratte in sotterraneo. La valutazione del rischio di attacco chimico per le opere previste nelle tratte allo scoperto è riportato nella Relazione geotecnica generale [11].

Sono stati eseguiti altresì alcuni prelievi di acque di falda dai piezometri predisposti nei fori di sondaggio realizzati lungo il tracciato.

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

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

<sup>a1</sup> I terreni argillosi con una permeabilità minore di 10<sup>-6</sup> m/s possono essere classificati in una classe inferiore

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

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

Figura 13-1 - Prospetto 2 della norma UNI EN 206-1

<b>APPALTATORE:</b> Consorzio                      Soci <b>HIRPINIA AV                      SALINI IMPREGILO S.P.A.    ASTALDI S.P.A</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> Mandataria                      Mandanti <b>ROCKSOIL S.P.A                      NET ENGINEERING S.P.A.    ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO OC0200 001	REV. B	FOGLIO 96 di 97

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

## 13.2 ESITO DELLE ANALISI

### 13.2.1 CAMPIONI PROVENIENTI DA SONDAGGI

A seguito dell'elaborazione dei risultati delle analisi chimiche sui campioni di terreno prelevati in maniera omogenea dai sondaggi della Campagna Geognostica Integrativa, per tutte le opere in sotterraneo previste in progetto (gallerie naturali, artificiali e imbocchi delle stesse), non emergono contesti critici che necessitano di attenzione per la scelta della classe di calcestruzzo.

Le distribuzioni di concentrazione di ioni solfato e caratteristiche di acidità sono contenute nei grafici seguenti, raggruppate in serie per le gallerie di linea (GM - Galleria Grottaminarda; ME - Galleria Melito; ROC - Galleria Rocchetta) e per le finestre di emergenza F1 -F7 in progetto.

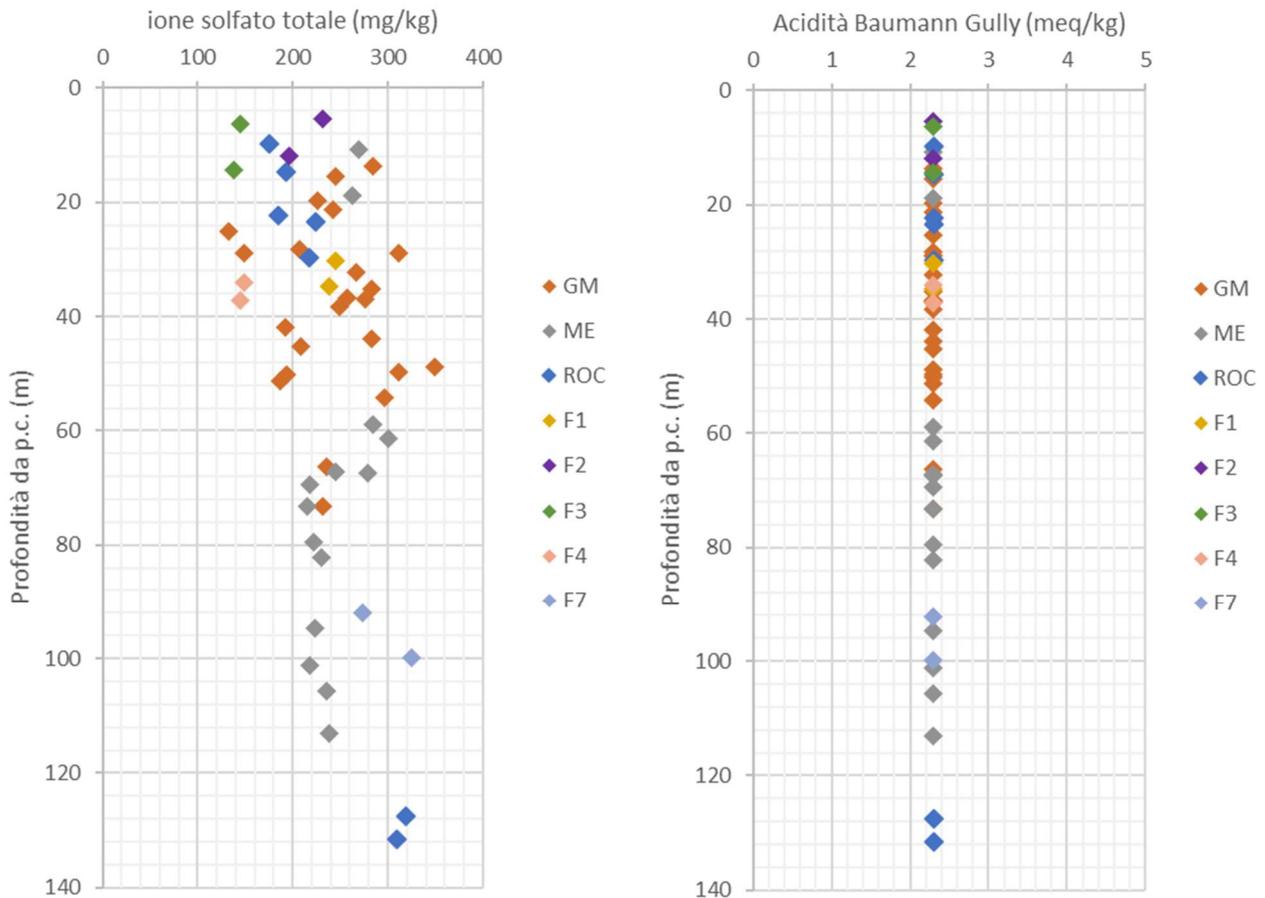


Figura 13-2 – Distribuzione di concentrazione di ioni solfato e caratteristiche di acidità

<b>APPALTATORE:</b> <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> <b>HIRPINIA AV</b> <b>SALINI IMPREGILO S.P.A.</b> <b>ASTALDI S.P.A.</b>	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b>  <b>RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA</b> <b>I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</b>					
<b>PROGETTAZIONE:</b> <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> <b>ROCKSOIL S.P.A.</b> <b>NET ENGINEERING S.P.A.</b> <b>ALPINA S.P.A.</b>						
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b> <b>Relazione di caratterizzazione geotecnica / geomeccanica generale</b>	<b>COMMESSA</b> IF28	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> E ZZ RB	<b>DOCUMENTO</b> OC0200 001	<b>REV.</b> B	<b>FOGLIO</b> 97 di 97

Dall'esame organico dei risultati si evince che:

1. non si ha evidenza alcuna di concentrazioni critiche per ciò che riguarda il carattere acido dei terreni, pertanto risulta nullo il rischio di attacco chimico sul calcestruzzo;
2. non si ha evidenza alcuna di concentrazioni critiche di ioni solfato per le opere in progetto; pertanto risulta nullo il rischio di attacco chimico sul calcestruzzo;

### 13.2.2 PRELIEVI DELLE ACQUE DI FALDA

Sulla scorta dei rilievi ottenuti tramite analisi chimiche dei terreni, sono stati eseguiti prelievi delle acque di falda dai piezometri e condotte le analisi chimiche di cui al prospetto UNI EN 206 – 1. Per ciò che concerne caratteristiche chimiche classificate dal suddetto prospetto, non sono emerse concentrazioni oltre la soglia delimitante la categoria acque aggressive nei confronti del calcestruzzo. L'esito delle analisi chimiche sulle acque di falda è presentato in Tabella 13-1.

Tabella 13-1: Caratteristiche chimiche delle acque di falda

Sondaggio	pH	NH <sub>4</sub>
-	[/]	[mg/l]
SGR1	7,2	0
SME01	7,8	/
SME03	7,4	0
SME07	8,2	2,3
SNME-04	7,7	/
SN-GR05	7,8	1,2
SROC2	7,6	/
SROC9	7,7	0

### 13.2.3 CONCLUSIONI

Gli esiti delle prove di caratterizzazione chimica dei terreni sopra citate identificano l' assenza di rischio di attacco chimico con riferimento alle condizioni di esposizione dei calcestruzzi.

Anche per quanto concerne le caratteristiche chimiche determinate sulle acque di falda il rischio di attacco chimico, valutato sui parametri sopra citati, risulta assente.