

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 1 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**METANODOTTO SESTRI LEVANTE - RECCO  
DN 400 (16”), DP 75 bar ed opere connesse**

**Progetto di fattibilità Tecnico-Economica  
Annesso A**

**Relazione Geologica e Indagini Geognostiche**

**ALLEGATO 5**

**INDAGINI GEOGNOSTICHE DIRETTE**

**Analisi geomeccaniche e rilievi strutturali**

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 2 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## INDICE

<b>1.</b>	<b>TRENCHLESS SAN MARTINO</b>	<b>4</b>
1.1	Premessa	4
1.2	Inquadramento geomorfologico	4
1.3	Assetto geologico – strutturale	4
1.4	Inquadramento idrogeologico	7
1.5	Studio geomeccanico	7
1.5.1	Introduzione	7
1.5.2	Caratterizzazione degli ammassi rocciosi	7
1.5.3	Classificazione degli ammassi rocciosi	17
1.6	Sintesi dei risultati dell'indagine	22
<b>2.</b>	<b>TRENCHLESS LA PEZZA 2</b>	<b>23</b>
2.1	Premessa	23
2.2	Inquadramento geomorfologico	23
2.3	Assetto geologico – strutturale	23
2.4	Inquadramento idrogeologico	23
2.5	Studio geomeccanico	24
2.5.1	Introduzione	24
2.5.2	Caratterizzazione degli ammassi rocciosi	24
2.5.3	Classificazione degli ammassi rocciosi	34
2.6	Sintesi dei risultati dell'indagine	38
<b>3.</b>	<b>TRENCHLESS CAPODESASCO</b>	<b>39</b>
3.1	Premessa	39
3.2	Inquadramento geomorfologico	39
3.3	Assetto geologico – strutturale	39
3.4	Inquadramento idrogeologico	40
3.5	Studio geomeccanico	40
3.5.1	Introduzione	40
3.5.2	Caratterizzazione degli ammassi rocciosi	40
3.5.3	Classificazione degli ammassi rocciosi	51
3.6	Sintesi dei risultati dell'indagine	55

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 3 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

<b>4. TRENCHLESS COSTA DELLA CA'</b>	<b>56</b>
<b>4.1 Premessa</b>	<b>56</b>
<b>4.2 Inquadramento geomorfologico</b>	<b>56</b>
<b>4.3 Assetto geologico – strutturale</b>	<b>56</b>
<b>4.4 Inquadramento idrogeologico</b>	<b>56</b>
<b>4.5 Studio geomeccanico</b>	<b>57</b>
4.5.1 Introduzione	57
4.5.2 Caratterizzazione degli ammassi rocciosi	57
4.5.3 Classificazione degli ammassi rocciosi	65
<b>4.6 Sintesi dei risultati dell'indagine</b>	<b>68</b>
<b>5. TRENCHLESS MONTE BADO</b>	<b>69</b>
<b>5.1 Premessa</b>	<b>69</b>
<b>5.2 Inquadramento geomorfologico</b>	<b>69</b>
<b>5.3 Assetto geologico – strutturale</b>	<b>69</b>
<b>5.4 Inquadramento idrogeologico</b>	<b>69</b>
<b>5.5 Studio geomeccanico</b>	<b>71</b>
5.5.1 Introduzione	71
5.5.2 Caratterizzazione degli ammassi rocciosi	71
5.5.3 Classificazione degli ammassi rocciosi	83
<b>5.6 Sintesi dei risultati dell'indagine</b>	<b>88</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>89</b>

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 4 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 1. TRENCHLESS SAN MARTINO

### 1.1 Premessa

Il *microtunnel* San Martino, della lunghezza di 1486 m (dalla progressiva km 22,226 alla progressiva km 23,712), attraversa la dorsale di San Martino del Monte, che divide il bacino del torrente Sturla da quello del Lavagna, in prossimità della confluenza di Carasco, nel territorio dei comuni di Carasco e San Colombano Certenoli. La soluzione in sotterraneo è stata scelta al fine di evitare la risalita nella dorsale, caratterizzata da un dislivello di oltre 250 m, e/o il lungo attraversamento del fondovalle dello Sturla e del Lavagna, densamente urbanizzato.

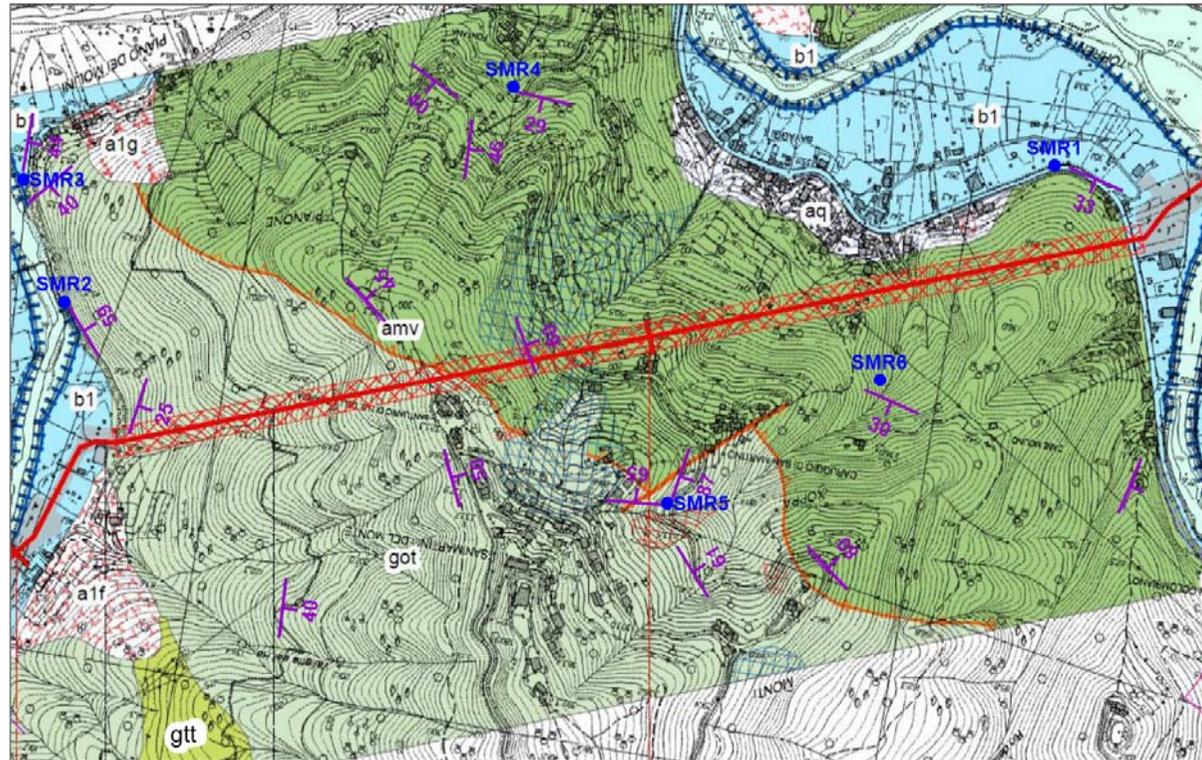
### 1.2 Inquadramento geomorfologico

La dorsale di San Martino del Monte, orientata in direzione NO-SE nel settore settentrionale, e in direzione N-S nel settore meridionale di San Pietro di Sturla, ha una morfologia articolata, incisa da un reticolo idrografico denso anche se poco gerarchizzato. I versanti sono caratterizzati da acclività generalmente elevata (pendenze comprese tra 30° e 40°). Nel versante sud-occidentale, a valle del Santuario, vi sono due estese frane di scivolamento, quiescenti.

### 1.3 Assetto geologico – strutturale

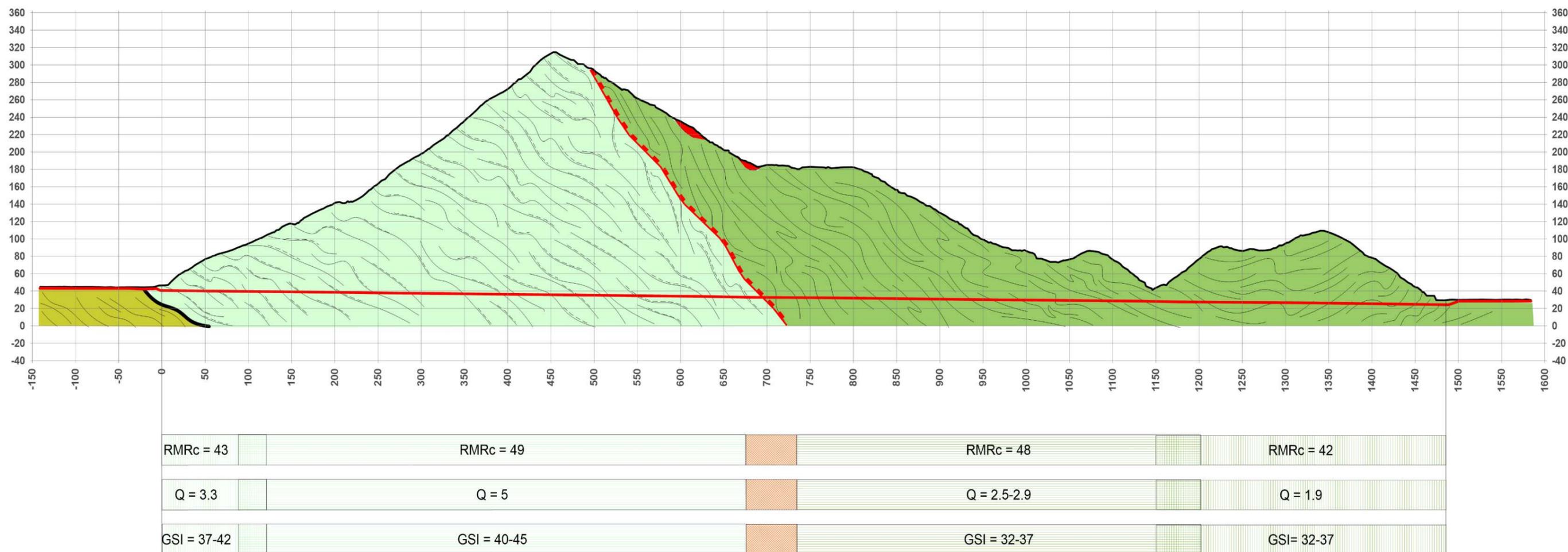
La caratteristica saliente dell'assetto strutturale della dorsale di San Martino del Monte è rappresentata dal sovrascorrimento dell'Unità tettonica Lavagna, costituita da sequenze delle Ardesie di Monte Verzi, sull'Unità del Monte Gottero, formata dalle Arenarie del Monte Gottero, che fanno parte del fianco rovesciato della grande sinclinale del Monte Ramaceto. Sulla base dell'andamento cartografico del contatto nella dorsale di Case Molino, il sovrascorrimento ha un'inclinazione probabile di almeno 50°- 60°, ed è verosimilmente associato ad una fascia di più intensa fratturazione, per uno spessore di ordine presumibilmente decametrico. Nelle ardesie l'assetto è caratterizzato in generale da una giacitura ad orientazione NO-SE, con immersione sia verso SO, che verso NE, e inclinazioni variabili tra 30° e 60° circa, legate alla presenza di pieghe a scala decametrica o maggiore, osservabili anche alla scala dell'affioramento. Le arenarie del Monte Gottero hanno un assetto più uniforme, con giacitura NO-SE o N-S ed immersione verso Ovest generalmente più elevata.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	Fg. 5 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 1.3/A** Stralcio modificato dalla Carta geologico-geomorfologica a scala 1:10.000 (Dis. LB-D-83209). **LEGENDA:** Ardesie del Monte Verzi, (amv), Arenarie del Monte Gottero (got), Argilliti di Gaiette (gtt), depositi di versante (a1f, a1g), depositi di frana (aq), depositi alluvionali recenti e terrazzati (b1), depositi alluvionali degli alvei attuali (b), orlo di terrazzo fluviale (linea blu dentellata), movimenti franosi da Piano di Bacino (quadrettato blu e arancio), stazioni del rilievo geomeccanico (simbolo circolare blu).

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	<b>Fg. 6 di 89</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 1.3/B** Sezione geologico –geomeccanica lungo il tracciato del microtunnel San Martino (senso gas). **LEGENDA:** Ardesie di Monte Verzi (colore verde oliva), Arenarie del Monte Gottero (colore verde chiaro), accumulo di frana quiescente Pg3a (colore rosso), tracciato del metanodotto (linea di colore rosso). Nella fincatura sono riportati i valori delle classificazioni geomeccaniche per i diversi settori. I tratti quadrettati rappresentano le fasce di incertezza al margine dei settori; in quadrettato rosso la fascia cataclastica legata al sovrascorrimento.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 7 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 1.4 Inquadramento idrogeologico

Le ardesie rappresentano un'unità idrogeologica nel complesso scarsamente permeabile per fratturazione. Dove, per motivi stratigrafico-strutturali, le intercalazioni marnoso-calcaree sono più potenti e continue, le condizioni di maggiore permeabilità possono localmente comportare una più sviluppata circolazione sotterranea. Le Arenarie del Monte Gottero, per contro, hanno un comportamento da acquifero di discreta potenzialità. Nell'area del *microtunnel* non sono note emergenze idriche di portata significativa. Dato il contesto idrogeologico, si può ritenere che il livello di base della circolazione idrica sia situato all'interno degli acquiferi alluvionali dello Sturla e del Lavagna. Poiché la quota di scavo è prossima alla quota del fondovalle, è possibile che, nelle parti più interne del tracciato, e in particolare nelle Arenarie del Monte Gottero, il *microtunnel* attraversi l'ammasso roccioso saturo. Per quanto riguarda le Ardesie di Monte Verzi una circolazione idrica può essere localmente presente nei livelli calcarei più potenti e continui.

## 1.5 Studio geomeccanico

### 1.5.1 Introduzione

La caratterizzazione geomeccanica delle unità litologiche attraversate dal *microtunnel* in questo tratto del versante destro della val Lavagna è basata su sei stazioni, di cui due stendimenti lineari (SMR4 e SMR5), e quattro siti di rilevamento (SMR1, SMR2, SMR3 e SMR6), distribuiti lungo l'asse del tracciato di progetto e rappresentati in fig. 1.3/A. Tenuto conto del basso numero di superfici di discontinuità rilevate, della vicinanza di SMR1 e SMR2 e della buona uniformità dell'assetto litologico-strutturale, le due stazioni sono state unificate nella descrizione e nella elaborazione dati. Sistemi di discontinuità caratterizzati da orientazione simile sono stati denominati con la stessa sigla.

### 1.5.2 Caratterizzazione degli ammassi rocciosi

Tre stazioni di rilevamento sono state eseguite all'interno della formazione delle Ardesie di Monte Verzi (SMR1, SMR4 e SMR6) e tre all'interno delle Arenarie del Monte Gottero (SMR2, SMR3 e SMR5).

I parametri geometrici e fisico-meccanici principali dei sistemi di discontinuità definiti dal rilievo geomeccanico (giacitura, persistenza, spaziatura, scabrezza, apertura, condizioni d'alterazione, presenza d'acqua, riempimento) sono illustrati nelle tabelle delle pagine seguenti.

#### SMR1

L'ammasso roccioso è costituito da marne scistose e più rare argilliti, con intercalazioni di arenarie, in strati medi e spessi, appartenenti alla formazione delle ardesie di Monte Verzi. Il rapporto marne /arenarie è prossimo all'unità. La scistosità e la stratificazione, subparallele, sono state raggruppate in un unico sistema (S). Sono stati identificati anche due sistemi di frattura, K1 e K2, a bassa persistenza e relativamente alta dispersione dell'orientazione. L'ammasso roccioso è nel complesso moderatamente alterato.

#### SMR2 e SMR3

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 8 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

L'ammasso roccioso è costituito da arenarie in strati spessi e molto spessi, da siltiti in strati spessi, e da rare argilliti scistose, appartenenti alla formazione delle Arenarie del Monte Gottero (rapporto  $a/p > 1$ ). La stratificazione (S) rappresenta il sistema predominante per persistenza e frequenza. Oltre a numerose discontinuità non sistematiche, sono stati identificati anche due sistemi di discontinuità di frattura, a giacitura sub-verticale, denominati K1 e K2. L'ammasso roccioso è nel complesso debolmente alterato.

#### SMR4

L'ammasso roccioso è costituito da argilliti e siltiti, con subordinate intercalazioni di arenarie in strati medi, marne e rari calcari in strati spessi, appartenenti alla formazione delle ardesie di Monte Verzi. La scistosità e la stratificazione S, unificate, rappresentano il sistema predominante. Sono stati identificati anche due sistemi di frattura, K3 e K4 a bassa frequenza. L'ammasso roccioso è nel complesso da debolmente a moderatamente alterato.

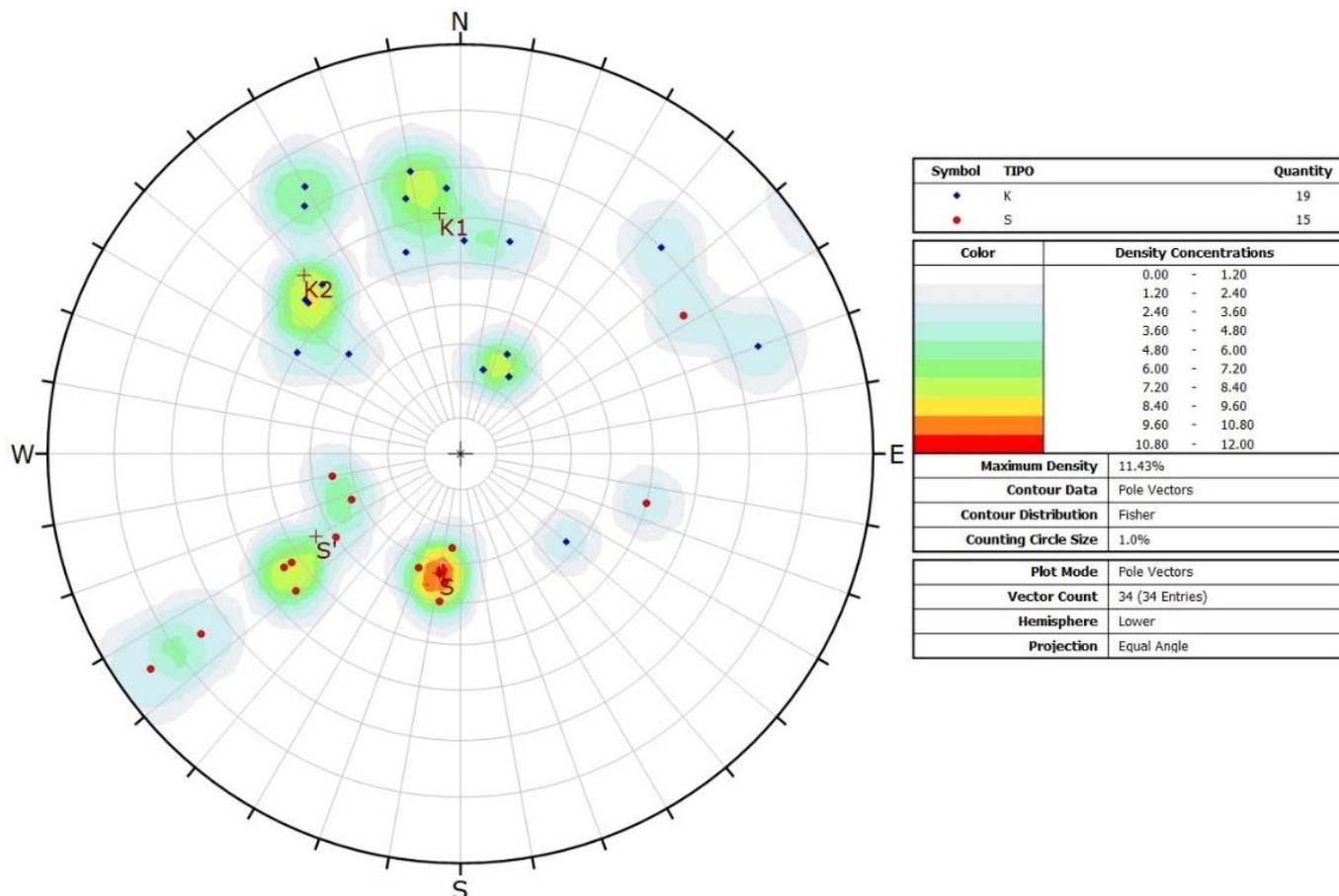
#### SMR5

L'ammasso roccioso è formato da arenarie a grana media di colore marrone, in strati medi e spessi, con intercalazioni di argilliti in strati sottili, appartenenti alla formazione delle Arenarie del Monte Gottero (rapporto  $a/p \gg 1$ ). La stratificazione S, che rappresenta il sistema predominante per frequenza e persistenza, ha giacitura dispersa per la presenza di ondulazioni e pieghe aperte. È stato identificato un solo sistema di frattura, ad elevata dispersione (K4). L'ammasso roccioso è nel complesso debolmente alterato.

#### SMR6

L'ammasso roccioso è formato da marne calcaree solo debolmente scistose in strati spessi e da subordinate intercalazioni di calcari in strati medi appartenenti alla formazione delle ardesie di Monte Verzi (rapporto  $a/p \ll 1$ ). La stratificazione S rappresenta il sistema a maggiore persistenza e frequenza. È stato identificato un sistema di frattura, ad elevata frequenza, K3. L'ammasso roccioso è nel complesso debolmente alterato.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 9 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

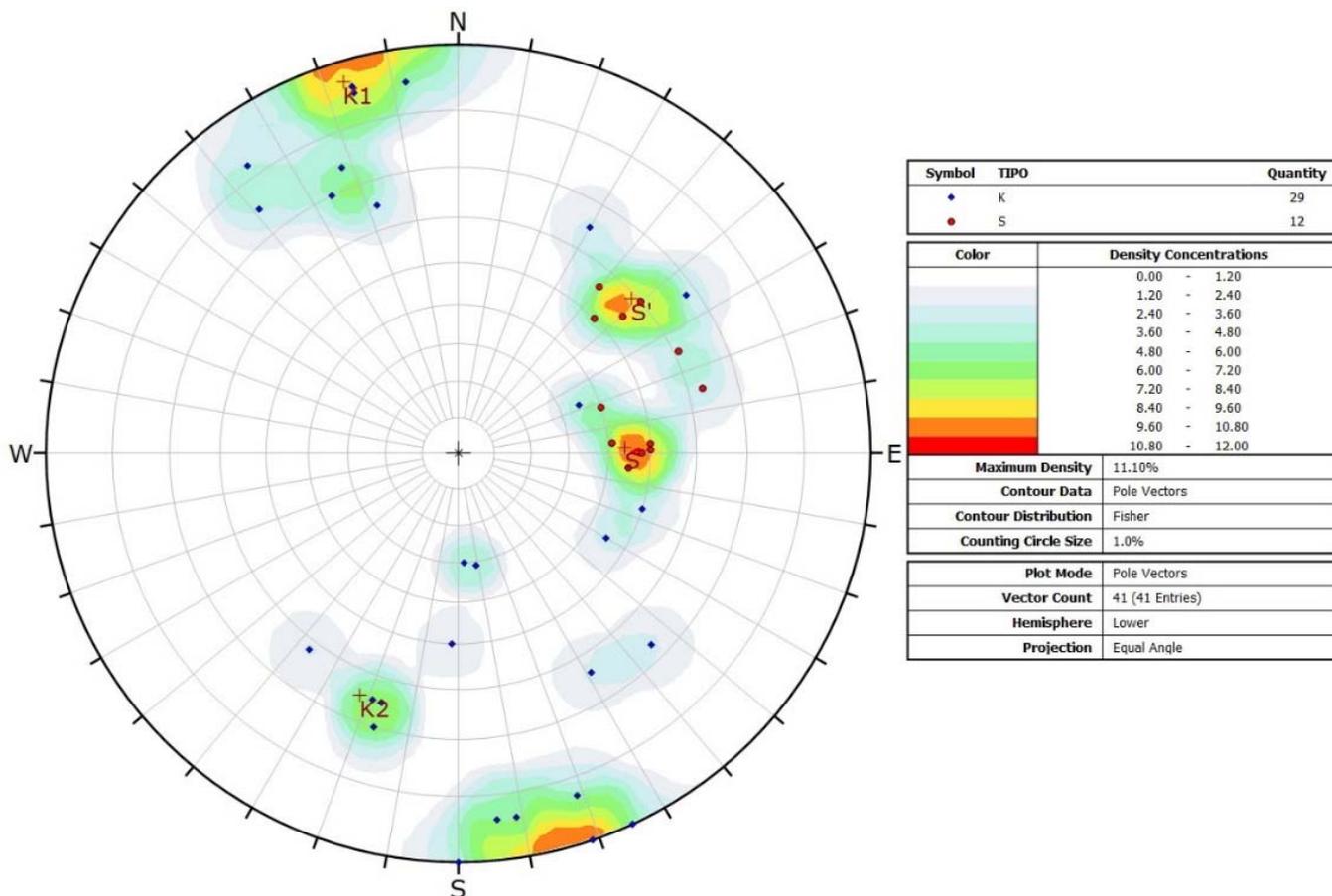


**Fig. 1.5/A** Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità rilevate in ardesie della stazione SMR1 (il simbolo di colore blu indica le discontinuità di frattura, il circolo rosso la stratificazione).

**Tab. 1.5/A** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso in ardesie della stazione SMR1

Sistema	S e S'	K1	K2
<b>Orientazione</b>	280°/33° - 330°/44°	85°/61°	49°/60°
<b>Persistenza</b>	3-10 m prevalente, 1-3 m secondaria	<1 m prevalente, 1-3 m secondaria	<1 m prevalente, 1-3 m secondaria
<b>Spaziatura</b>	6-20 cm e 20-60 cm	6-20 cm e 20-60 cm, 60-200 cm secondaria	6-20 cm prevalente, 60-200 cm secondaria
<b>Scabrezza</b>	planare e ondulata, rugosa, liscia	Planare, talora ondulata, liscia, talora rugosa	planare, liscia
<b>Apertura</b>	chiusa	chiusa	chiusa
<b>Condizioni d'alterazione</b>	da debolmente a moderatamente alterata	da debolmente a moderatamente alterata	da debolmente a moderatamente alterata
<b>Riempimento</b>	assente	rara calcite	assente
<b>Presenza d'acqua</b>	assente	assente	assente
<b>JCS</b>	40 MPa	37 MPa	-

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	Fg. 10 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

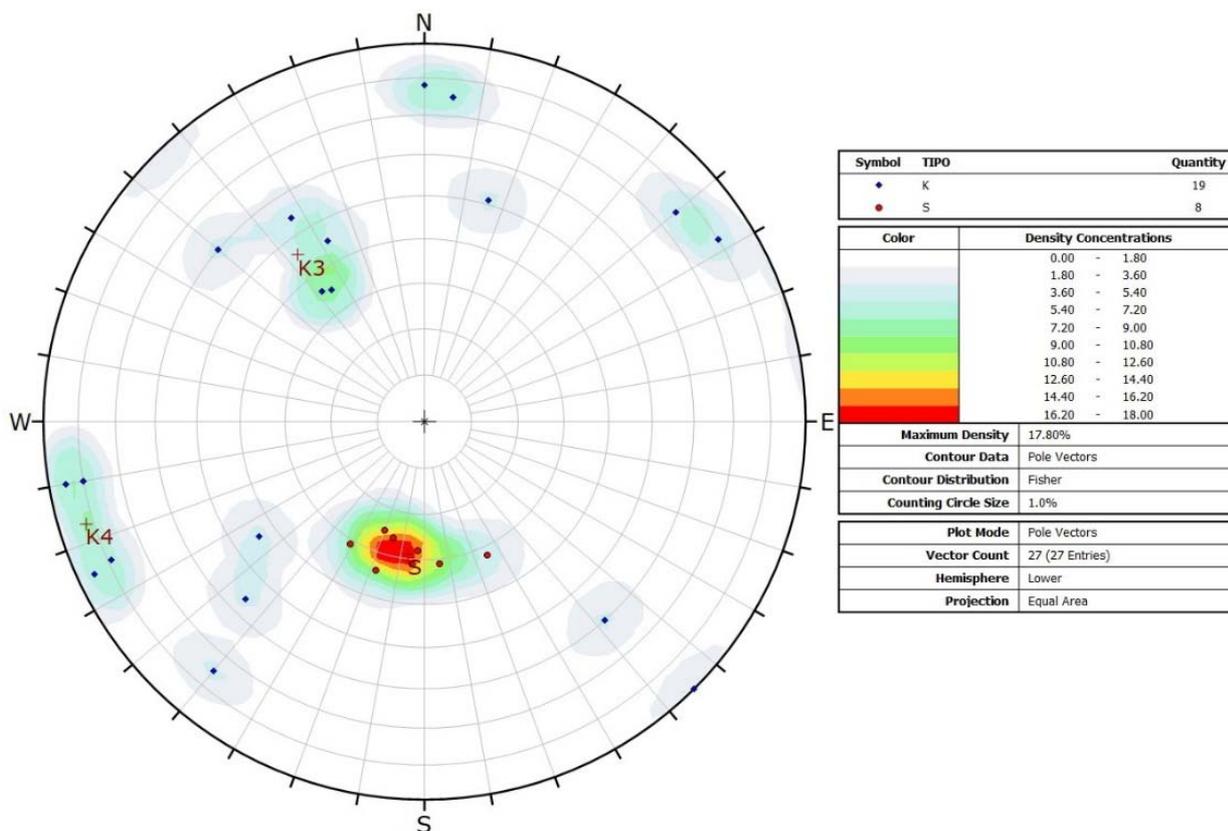


**Fig. 1.5/B** Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità rilevate nelle arenarie del Monte Gottero delle stazioni SMR2 e SMR3 (il simbolo di colore blu indica le discontinuità di frattura, il circolo rosso la stratificazione-scistosità)

**Tab. 1.5/B** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso nelle arenarie del Monte Gottero delle stazioni SMR2 e SMR3

Sistema	S	K2	K3
<b>Orientazione</b>	176°/46° - 138°/60°	73°/87°	287°/64°
<b>Persistenza</b>	<1 m prevalente, 3 m – 10 m secondaria	<1 m prevalente, 1-3 m rara	<1 m
<b>Spaziatura</b>	6-20 cm prevalente, 2-6 cm e 20-60 cm secondaria	6-20 cm e 60-200 cm	6-20 cm prevalente 20-60 cm secondaria
<b>Scabrezza</b>	planare, talora ondulata, liscia, talora rugosa	planare, talora ondulata, liscia	planare, liscia o rugosa
<b>Apertura</b>	chiusa	raramente aperta	chiusa
<b>Condizioni d'alterazione</b>	debolmente alterata	debolmente alterata	debolmente alterata
<b>Riempimento</b>	assente	assente	rara calcite
<b>Presenza d'acqua</b>	assente	assente	assente
<b>JCS</b>	76-89 Mpa (arenarie)	-	-

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 11 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

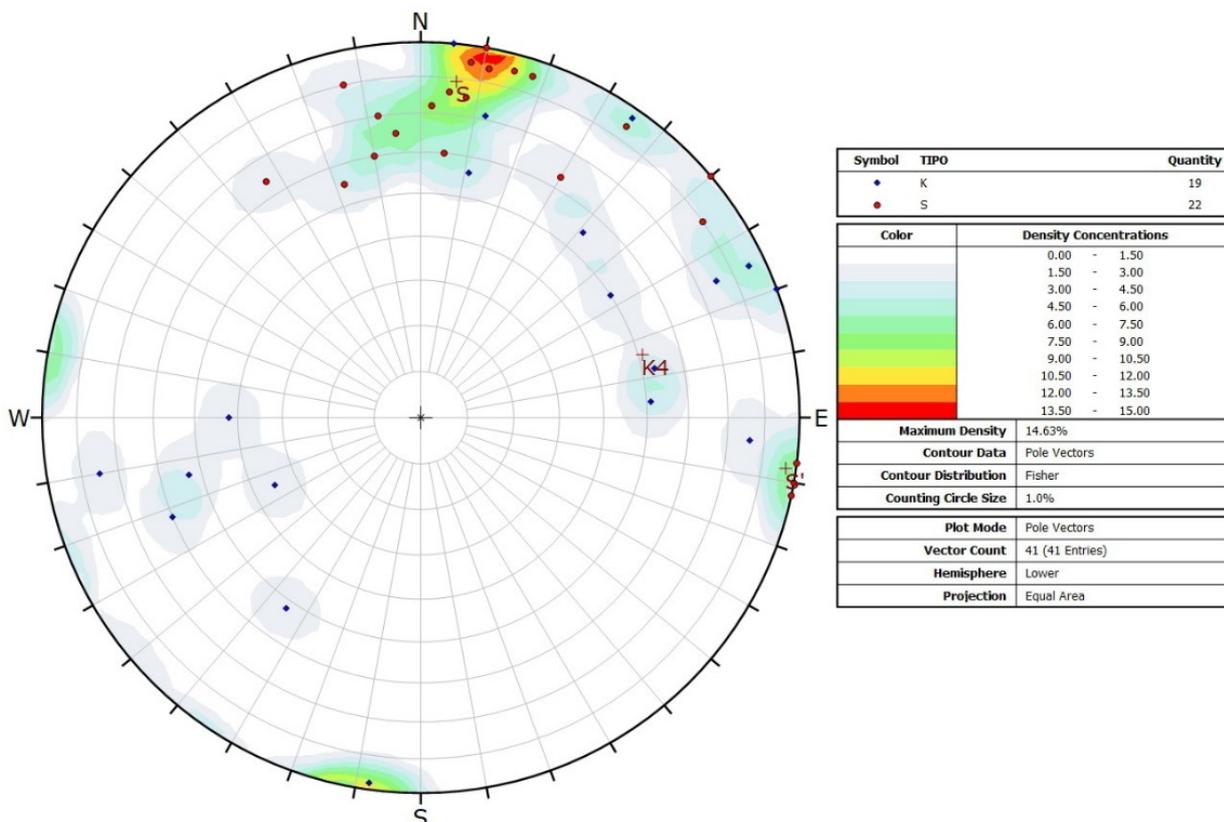


**Fig. 1.5/C** Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità rilevate nelle ardesie della stazione SMR4 (il simbolo di colore blu indica le discontinuità di frattura, il circolo rosso indica la stratificazione-scistosità)

**Tab. 1.5/C** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso nelle ardesie della stazione SMR4

Sistema	S	K3	K4
<b>Orientazione</b>	277°/29°	53°/46°	343°/82°
<b>Persistenza</b>	10-20 m prevalente, 3 m – 10 m secondaria	< 1m	< 1m
<b>Spaziatura</b>	6-20 cm prevalente 20-60 cm secondaria	6-20 cm prevalente 60-200 cm secondaria	6-20 cm
<b>Scabrezza</b>	planare, talora ondulata, rugosa, talora liscia	planare, talora ondulata, liscia, talora rugosa	planare, talora ondulata, rugosa, talora liscia
<b>JRC</b>	2-4, 6-8, 14-16	-	-
<b>Apertura</b>	chiusa	chiusa	chiusa
<b>Condizioni d'alterazione</b>	da debolmente a moderatamente alterata	da debolmente a moderatamente alterata	da debolmente a moderatamente alterata
<b>Riempimento</b>	assente	calcite rara	assente
<b>Presenza d'acqua</b>	assente	assente	assente
<b>JCS</b>	83 Mpa (calcari)	-	-

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	Fg. 12 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

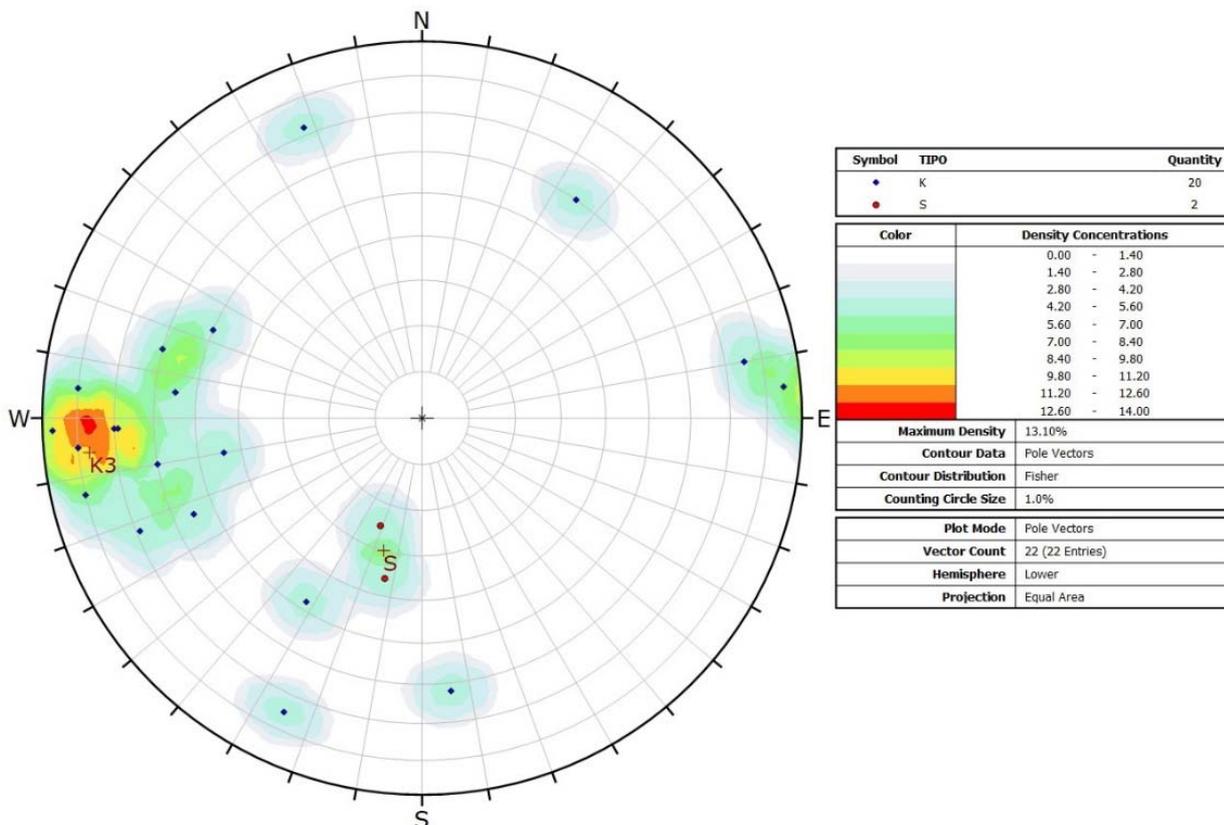


**Fig. 1.5/D** Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità rilevate nelle arenarie del Monte Gottero della stazione SMR5 (il circolo rosso indica la stratificazione-scistosità, il simbolo blu le fratture)

**Tab. 1.5/D** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso nelle arenarie del Monte Gottero della stazione SMR5

Sistema	S	K4
Orientazione	84°/63° - 188°/87°	164°/51°
Persistenza	3 – 10 m prevalente, 1 -3 m e <1 m secondarie	< 1m prevalente, 1-3 m secondaria
Spaziatura	2-6 cm prevalente, 6-20 cm secondaria	6-20 cm prevalente
Scabrezza	Planare o ondulata, liscia, talora rugosa	ondulata, talora planare, rugosa, talora liscia
JRC	6-8	-
Apertura	chiusa	chiusa
Condizioni d'alterazione	moderatamente alterata	moderatamente alterata
Riempimento	assente	rara calcite
Presenza d'acqua	assente	assente
JCS	56 -69 MPa	-

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 13 di 89	<b>Rev.</b> 0



**Fig. 1.5/E** Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità rilevate nelle ardesie della stazione SMR6 (il circolo rosso indica la stratificazione-scistosità)

**Tab. 1.5/E** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso nelle ardesie della stazione SMR6

Sistema	S	K3
Orientazione	286°/30°	354°/77°
Persistenza	3 m – 10 m	< 1m
Spaziatura	60-200 cm	2-6 cm prevalente 20-60 cm secondaria
Scabrezza	planare, rugosa	planare, liscia
JRC	-	-
Apertura	chiusa	chiusa
Condizioni d'alterazione	debolmente alterata	debolmente alterata
Riempimento	assente	talora calcite
Presenza d'acqua	assente	assente
JCS	-	-

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 14 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 1.5/F** \Stazione SMR1



**Fig. 1.5/G** Stazione SMR2

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 15 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 1.5/H Stazione SMR3**

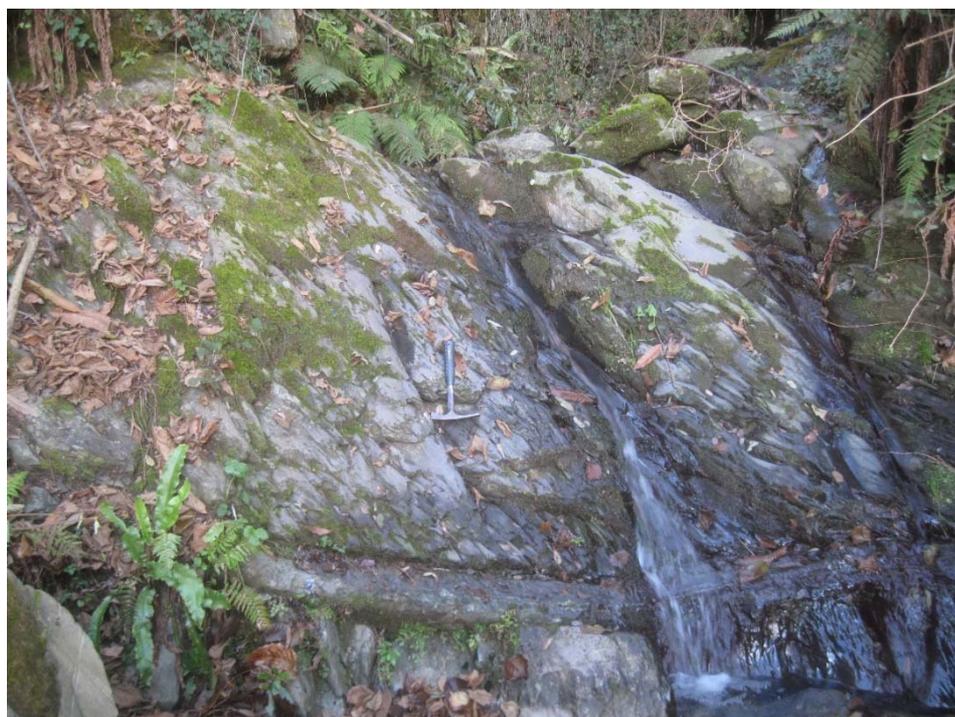


**Fig. 1.5/I Stazione SMR4**

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 16 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 1.5/L Stazione SMR5**



**Fig. 1.5/M Stazione SMR6**

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 17 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 1.5.3 Classificazione degli ammassi rocciosi

I valori stimati degli indici RMR<sub>c</sub>, Q e GSI sono riportati nelle tabelle che seguono. Nella tabella finale, in cui è indicato il giudizio complessivo degli ammassi rocciosi di arenarie e ardesie, la classe di qualità di Beniawski è stimata sulla base di RMR<sub>c</sub>, che tiene conto dell'orientazione delle discontinuità rispetto alla direzione dello scavo.

**Tab. 1.5/F Classificazione RMR (indice RMRb) degli ammassi rocciosi di ardesie**

Parametri	SMR1		SMR4		SMR6	
	Valore	Rating	Valore	Rating		
Resistenza alla compressione mono-assiale	25-50 Mpa	4	50-100 Mpa	7	50-100 Mpa	7
RQD	25-50%	6	25%-50%	6	25%-50%	7
Spaziatura delle discontinuità	6-20 cm	8	6-20 cm	8	6-20 cm	8
Condizioni delle discontinuità -persistenza	2	14	1	17	2	16
Condizioni delle discontinuità -apertura	4		4		4	
Condizioni delle discontinuità -rugosità	3		5		1	
Condizioni delle discontinuità -alterazione	1		3		5	
Condizioni delle discontinuità -riempimento	4		4		4	
Condizioni idrauliche	Drenate	15	Drenate	15	Drenate	15
INDICE BRMR		47		53		53
Coesione (kPa), angolo d'attrito (°)		235 28.5		265 31.5		265 31.5
Modulo di deformazione (MPa)		10		17		17

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 18 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Tab. 1.5/G Classificazione RMR (indice RMRb) degli ammassi rocciosi di arenarie del Monte Gottero**

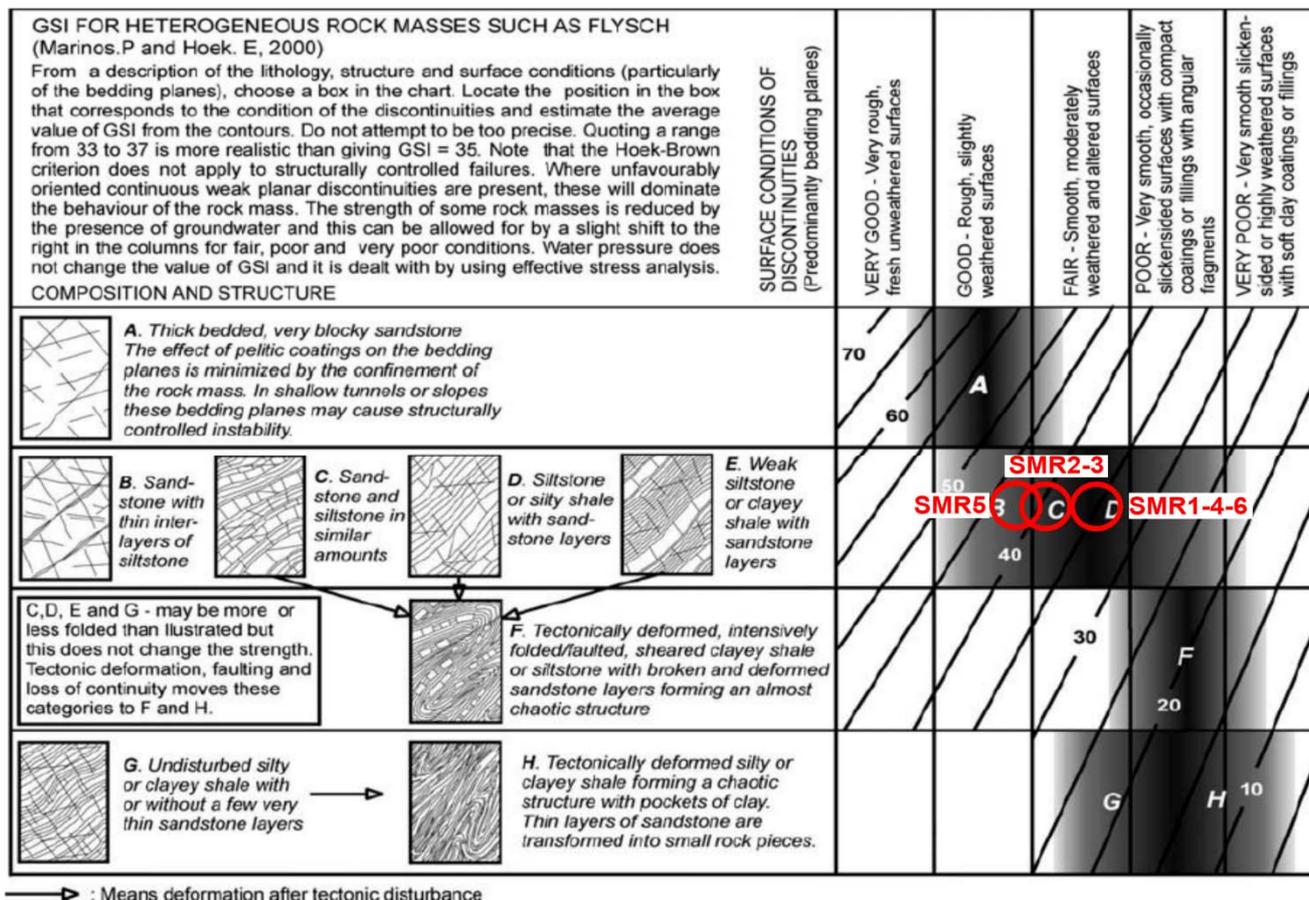
Parametri	SMR2 – SMR3		SMR5	
	Valore	Rating	Valore	Rating
Resistenza alla compressione mono-assiale	50-100 <i>Mpa</i>	7	50-100 <i>Mpa</i>	7
RQD	25%-50%	7	25%-50%	8
Spaziatura delle discontinuità	6-20 <i>cm</i>	8	6-20 <i>cm</i>	8
Condizioni delle discontinuità -persistenza	2	11	2	16
Condizioni delle discontinuità -apertura	1		4	
Condizioni delle discontinuità -rugosità	1		3	
Condizioni delle discontinuità -alterazione	3		3	
Condizioni delle discontinuità -riempimento	4		4	
Condizioni idrauliche	<i>Drenate</i>	15	<i>Drenate</i>	15
INDICE BRMR		<b>48</b>		<b>54</b>
Coesione (kPa),		<b>240</b>		<b>270</b>
angolo d'attrito (°)		<b>29</b>		<b>32</b>
Modulo di deformazione (MPa)		<b>11</b>		<b>12.6</b>

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 19 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Tab. 1.5/H Classificazione Q di Barton degli ammassi rocciosi di ardesie e arenarie**

SMR1		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	25%	25
J <sub>n</sub>	Tre sistemi di discontinuità	9
J <sub>r</sub>	Giunti lisci ondulati	2
J <sub>a</sub>	Giunti alterati	3
J <sub>w</sub>	Assente o scarsa	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		1.9
SMR2-SMR3		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	30%	30
J <sub>n</sub>	Tre sistemi di discontinuità	9
J <sub>r</sub>	Giunti lisci ondulati	2
J <sub>a</sub>	Giunti leggermente alterati	2
J <sub>w</sub>	Assente o scarsa	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		3.3
SMR4		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	30%	30
J <sub>n</sub>	Tre sistemi di discontinuità	9
J <sub>r</sub>	Giunti rugosi, planari	1.5
J <sub>a</sub>	Giunti alterati	2
J <sub>w</sub>	Assente o scarsa	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		2.5
SMR5		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	45%	45
J <sub>n</sub>	Due sistemi più discontinuità non sistematiche	6
J <sub>r</sub>	Giunti ondulati lisci	2
J <sub>a</sub>	Giunti alterati	3
J <sub>w</sub>	Assente o scarsa	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		5
SMR6		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	35%	35
J <sub>n</sub>	Due sistemi più discontinuità non sistematiche	6
J <sub>r</sub>	Giunti lisci planari	1
J <sub>a</sub>	Giunti leggermente alterati	2
J <sub>w</sub>	Assente o scarsa	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		2.9

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 20 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 1.5/N Classificazione GSI degli ammassi rocciosi di ardesie ed arenarie**

**Tab. 1.5/I Parametri necessari per il calcolo delle caratteristiche di resistenza degli ammassi rocciosi di ardesie e arenarie con l'indice GSI**

Parametri	SMR1-4-6	SMR2-3-	SMR5
	Valore	Valore	
$\sigma_c$	35-85 MPa	75-90 MPa	55-70 MPa
GSI	32-37	37-42	40-45
$m_i$	7±2 ( marls )	17±4 ( sandstones )	17±4 ( sandstones )

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 21 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Tab. 1.5/L Giudizio complessivo degli ammassi rocciosi di ardesie e arenarie**

SMR1		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	42	Classe III, mediocre
Q	1.9	Classe VI, scadente
GSI	32-37	Flysch tipo D
SMR2-SMR3		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	43	Classe III, mediocre
Q	3.3	Classe VI, scadente
GSI	37-42	Flysch tipo C
SMR4		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	48	Classe III, mediocre
Q	2.5	Classe VI, scadente
GSI	32-37	Flysch tipo D
SMR5		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	49	Classe III, mediocre
Q	5	Classe V, mediocre
GSI	40-45	Flysch tipo B
SMR6		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	48	Classe III, mediocre
Q	2.9	Classe VI, scadente
GSI	32-37	Flysch tipo D

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 22 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 1.6 Sintesi dei risultati dell'indagine

I risultati delle classificazioni geomeccaniche sono rappresentate nella sezione geologico - geomeccanica di fig. 1.3/B, in cui è riportato il profilo di scavo del microtunnel.

Al settore dell'imbocco orientale è stata attribuita la classe di qualità delle stazioni SMR2-3, rilevate in ammassi rocciosi di versante, caratterizzati da più evidente alterazione superficiale. Nella parte restante del tracciato che attraversa le arenarie, è stata attribuita la classe della stazione SMR5, rilevata su scarpata stradale in scavo, stimata come più attendibile. Per quanto riguarda gli ammassi rocciosi in ardesie le classi di qualità sono state attribuite sulla base di un criterio di relativa prossimità con il tracciato in sotterraneo.

I limiti tra le classi sono pertanto affetti da un medio grado di incertezza, che dipende dalla non omogenea disponibilità di affioramenti, e dal notevole valore della copertura. Anche le fasce di incertezza indicate nella sezione hanno pertanto valore indicativo.

Nel complesso tuttavia i risultati indicano una sostanziale uniformità nelle caratteristiche di resistenza degli ammassi rocciosi, che rientrano tutti nella terza classe di Beniaowski e nella sesta del sistema Q (tranne l'ammasso roccioso SMR5 che cade nella quinta classe). Egualmente l'ampiezza della fascia cataclastica posta in corrispondenza del sovrascorrimento tra le Ardesie di Monte Verzi e le Arenarie del Monte Gottero ha valore indicativo; in superficie il limite è in gran parte nascosto da coltri detritiche e quindi non facilmente osservabile.

Dato il contesto idrogeologico, si può ritenere che il livello di base della circolazione idrica sia situato all'interno degli acquiferi alluvionali dello Sturla e del Lavagna. Poiché la quota di scavo è prossima alla quota del fondovalle, è possibile che, nelle parti più interne del tracciato, e in particolare nelle Arenarie del Monte Gottero, il microtunnel attraversi l'ammasso roccioso saturo. Per quanto riguarda le Ardesie di Monte Verzi una circolazione idrica può essere localmente presente nei livelli calcarei più potenti e continui.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 23 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 2. TRENCHLESS LA PEZZA 2

### 2.1 Premessa

Il *microtunnel* La Pezza 2, della lunghezza di 944 m (dalla progressiva km 25,812 alla progressiva km 26,756), attraversa il versante destro della val Lavagna, tra il Piano di Seriallo e Pian dei Cunei, nel territorio dei comuni di Leivi e San Colombano Certenoli. La soluzione in sotterraneo è stata scelta al fine di evitare l'attraversamento della grande ansa del Lavagna di Chiesa e Maggi, densamente urbanizzata, e le difficoltà del percorso a mezza costa nella dorsale di La Pezza, caratterizzata da diffusi fenomeni gravitativi.

### 2.2 Inquadramento geomorfologico

Tra il Piano di Seriallo e Pian dei Cunei il versante destro della val Lavagna forma una dorsale orientata in direzione NO-SE, incisa nel settore sud-orientale dal Fosso di Camposasco ad andamento circa rettilineo di analoga orientazione. Il rilievo è caratterizzato da bassa acclività e forme arrotondate nel settore sommitale, da pendenze moderate, comprese tra 25° e 30°, nella valle del Fosso di Camposasco e più elevate fino a 35° - 40°, nel versante nord-occidentale.

Nel versante nord-occidentale vi sono numerose frane attive di scivolamento, la cui origine è in parte legata ai fenomeni erosivi del piede del versante da parte del Lavagna. Il versante sinistro della valle del Fosso di Camposasco, a valle di Case Scoglio è interessato da due estese frane complesse quiescenti.

### 2.3 Assetto geologico – strutturale

Il rilievo collinare è formato da sequenze marnoso-calcaree appartenenti alla formazione delle Ardesie di Monte Verzi. L'assetto è caratterizzato in generale da una giacitura ad orientazione NO-SE, con immersione verso SO, e inclinazioni variabili tra 20° e 35° circa. legate alla presenza di pieghe minori, osservabili anche alla scala dell'affioramento.

### 2.4 Inquadramento idrogeologico

Le ardesie rappresentano un'unità idrogeologica nel complesso scarsamente permeabile per fratturazione. Tuttavia dove, per motivi stratigrafico-strutturali, le intercalazioni marnose e calcaree sono più potenti e continue, le condizioni di maggiore permeabilità possono localmente comportare una più sviluppata circolazione sotterranea. Nell'area del microtunnel non sono note emergenze idriche di portata significativa. Tenuto conto della quota del microtunnel, sensibilmente inferiore nella parte centrale del tracciato al presumibile livello di base della circolazione idrica, situabile nel fondovalle del Lavagna, si ritiene che in tale settore sia molto probabile un'interferenza con le acque sotterranee circolanti nei livelli calcarei delle Ardesie di Monte Verzi.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 24 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 2.5 Studio geomeccanico

### 2.5.1 Introduzione

La caratterizzazione geomeccanica delle unità litologiche attraversate dal *microtunnel* La Pezza 2 nel versante destro della val Lavagna è basata su quattro stazioni (LPZ4, LPZ5, LPZ6, LPZ8), distribuite lungo l'asse del tracciato di progetto e rappresentate in fig. 2.5/A.

### 2.5.2 Caratterizzazione degli ammassi rocciosi

Le quattro stazioni di rilevamento sono state eseguite all'interno della formazione delle Ardesie del Monte Verzi. Data la relativa uniformità e vicinanza, le due stazioni LPZ4 e LPZ8 sono state trattate unitariamente.

I parametri geometrici e fisico-meccanici principali dei sistemi di discontinuità definiti dal rilievo geomeccanico (giacitura, persistenza, spaziatura, scabrezza, apertura, condizioni d'alterazione, presenza d'acqua, riempimento) sono illustrati nelle tabelle delle pagine seguenti.

#### LPZ4 – LPZ8

L'ammasso roccioso è costituito da marne e argilliti, con intercalazioni di strati calcarei medi. L'affioramento in alveo è caratterizzato da deposizione di patine carbonatiche. La scistosità e la stratificazione, subparallele, sono state raggruppate in un unico sistema (S). È stato identificato un solo sistema di discontinuità di frattura, il sistema K1, ad elevata dispersione. L'ammasso roccioso è nel complesso da debolmente a moderatamente alterato.

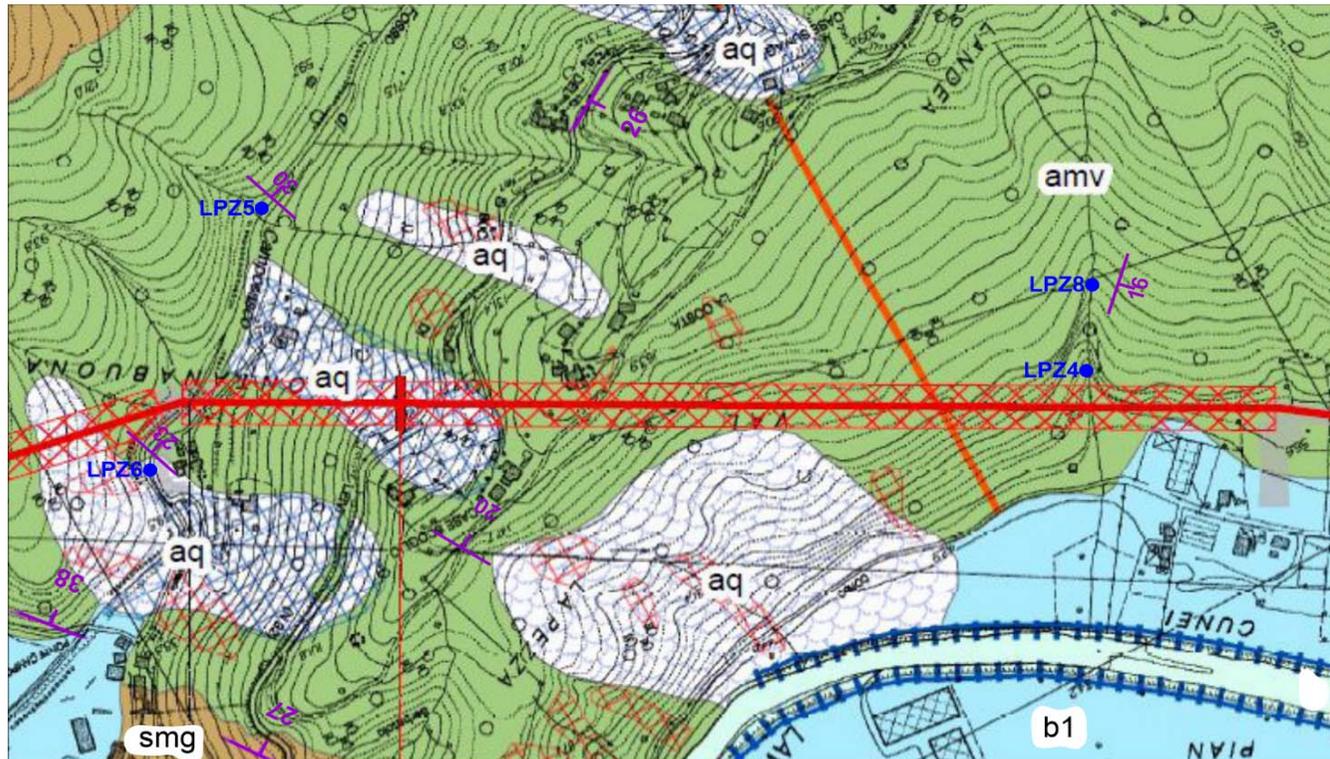
#### LPZ5

L'ammasso roccioso è costituito da calcari in strati da medi spessi, e da marne scistose in strati da spessi a molto spessi. Il rapporto calcari/marne-argilliti, variabile anche all'interno dell'affioramento esaminato, è stimabile come intorno all'unità. Scistosità e stratificazione, sub-parallele, sono state considerate come un unico sistema di discontinuità (S). Le sequenze calcareo-marnose sono deformate da pieghe coricate strette, deformate a loro volta da pieghe aperte coassiali con piano assiale circa verticale. È stato identificato anche un sistema di discontinuità di frattura, a giacitura sub-verticale, denominato (K1). L'ammasso roccioso è nel complesso debolmente alterato.

#### LPZ6

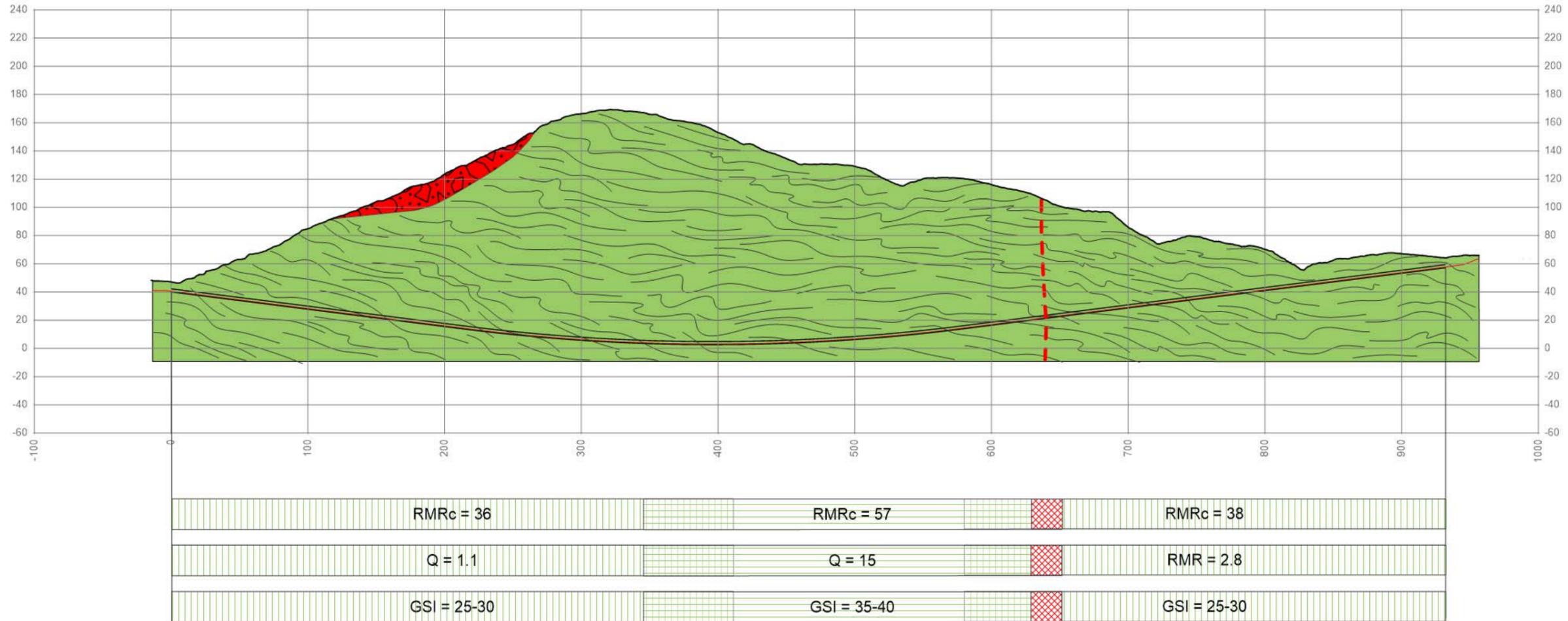
L'ammasso roccioso è costituito da marne argillose, scistose, con rare intercalazioni calcaree. La scistosità e la stratificazione S, unificate, rappresentano il sistema predominante. Sono stati identificati anche due sistemi di frattura, K2, a bassa inclinazione, e K3 ad elevata dispersione della giacitura. L'ammasso roccioso è nel complesso moderatamente alterato.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	Fg. 25 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



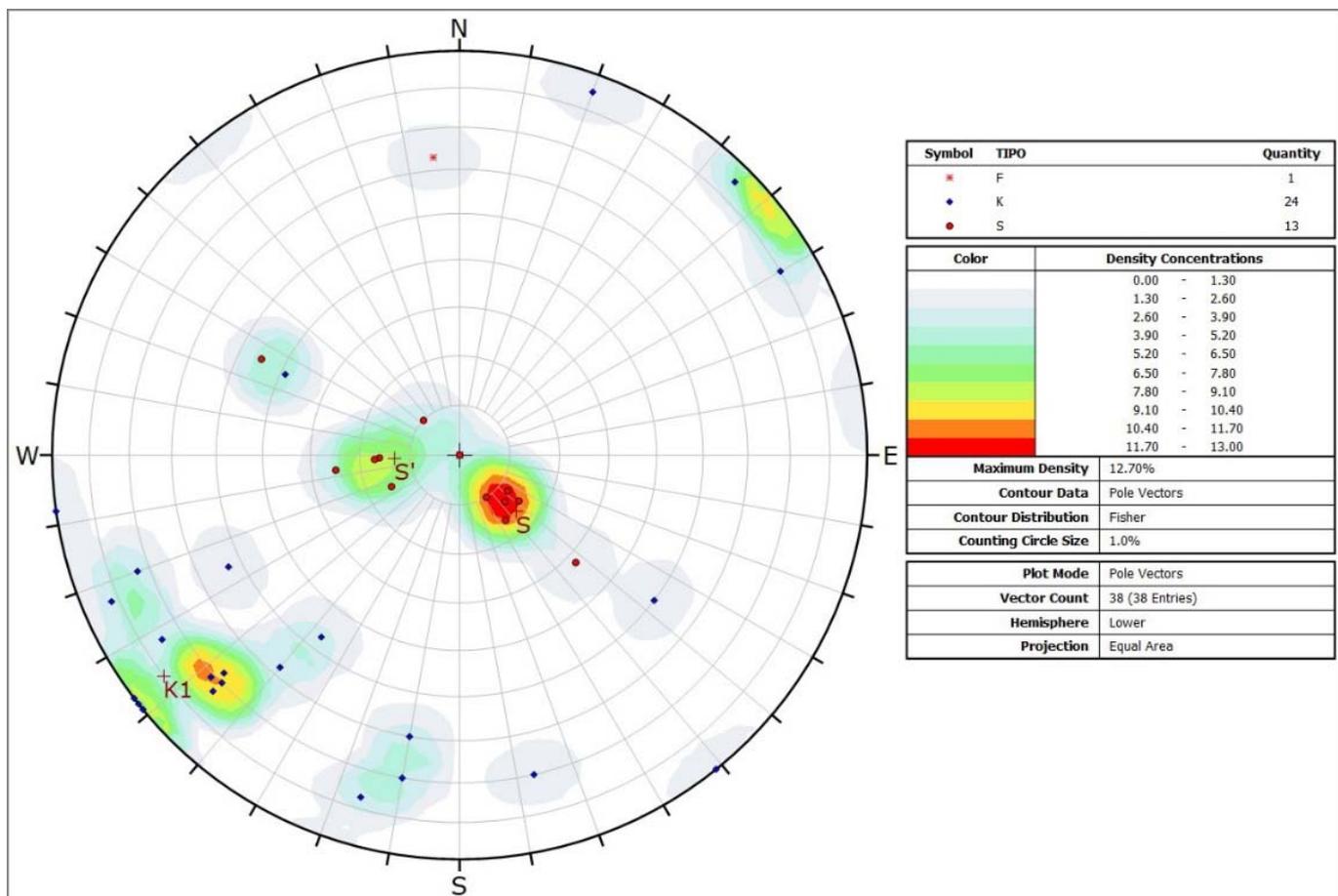
**Fig. 2.5/A** Stralcio modificato dalla Carta geologico-geomorfologica a scala 1:10.000 (Dis. LB-D-83209). **LEGENDA:** Ardesie del Monte Verzi, (amv), Scisti Manganesiferi (smg), depositi di frana (aq), depositi alluvionali recenti e terrazzati (b1), depositi alluvionali degli alvei attuali (b), orlo di terrazzo fluviale (linea blu dentellata), movimenti franosi da Piano di Bacino (quadrettato rosso e blu), stazioni del rilievo geomeccanico (simbolo circolare blu)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	<b>Fg. 26 di 89</b>	<b>Rev.</b> 0



**Fig. 2.5/B Sezione geologico –geomeccanica lungo il tracciato del microtunnel La Pezza 2 (senso gas). LEGENDA: Ardesie di Monte Verzi (colore verde), accumulo di frana quiescente Pg3a (colore rosso), tracciato del microtunnel (colore nero) e del metanodotto (colore rosso), faglia (linea tratteggiata rossa). Nella fincatura sono riportati i valori delle classificazioni geomeccaniche per i diversi settori. I tratti quadrettati in verde rappresentano le fasce di incertezza al margine dei settori, i tratti in quadrettato diagonale la possibile ampiezza della zona cataclastica legata alla faglia**

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	Fg. 27 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 2.5/C** Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità rilevate in ardesie delle stazioni LPZ4-LPZ8 (il simbolo di colore blu indica le discontinuità di frattura, il circolo rosso la stratificazione-schistosità)

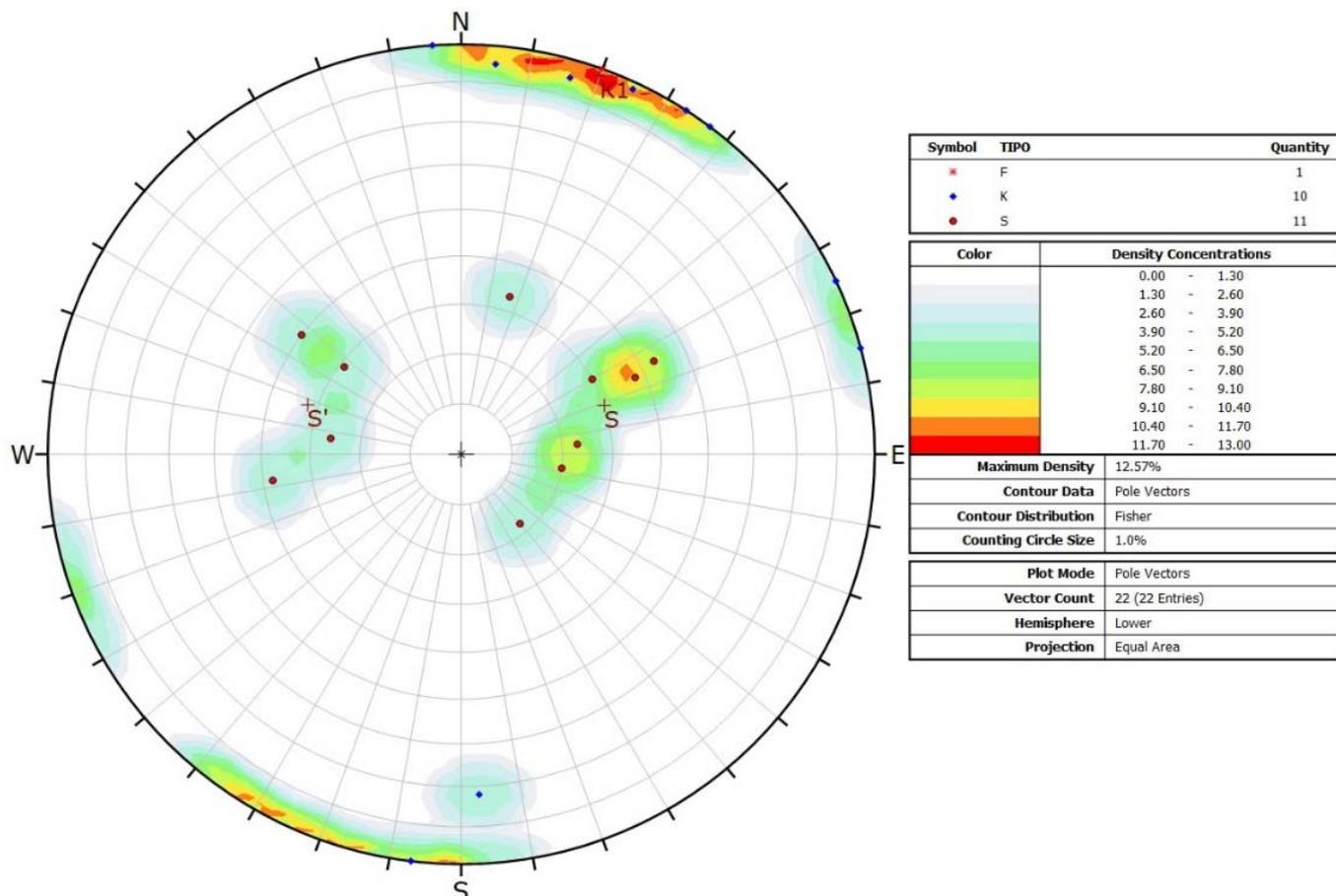
**Tab. 2.5/A** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso in ardesie delle stazioni LPZ4-LPZ8

Sistema	S - S'	K
Orientazione	225°/16°, 357°/13°	323°/80°
Persistenza	10-20 m e 3-10 m prevalenti, 1-3 m secondaria	<1 m
Spaziatura	6-20 cm prevalente, 2-6 cm secondaria	6-20 cm prevalente, 20-60 cm secondaria

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 28 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

<b>Scabrezza</b>	Planare, talora ondulata, liscia	Planare rugosa, talora liscia
<b>Apertura</b>	Chiusa,	chiusa, talora aperta
<b>Condizioni d'alterazione</b>	Da debolmente a moderatame nte alterata	Da debolmente a moderatame nte alterata
<b>Riempimento</b>	Rara calcite	Rara calcite
<b>Presenza d'acqua</b>	Assente	Assente
<b>JCS</b>	52-60 MPa	-

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 29 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 2.5/D** Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità rilevate in ardesie della stazione LPZ5 (il simbolo di colore blu indica le discontinuità di frattura, il circolo rosso la stratificazione-schistosità, l'asterisco rosso le faglie)

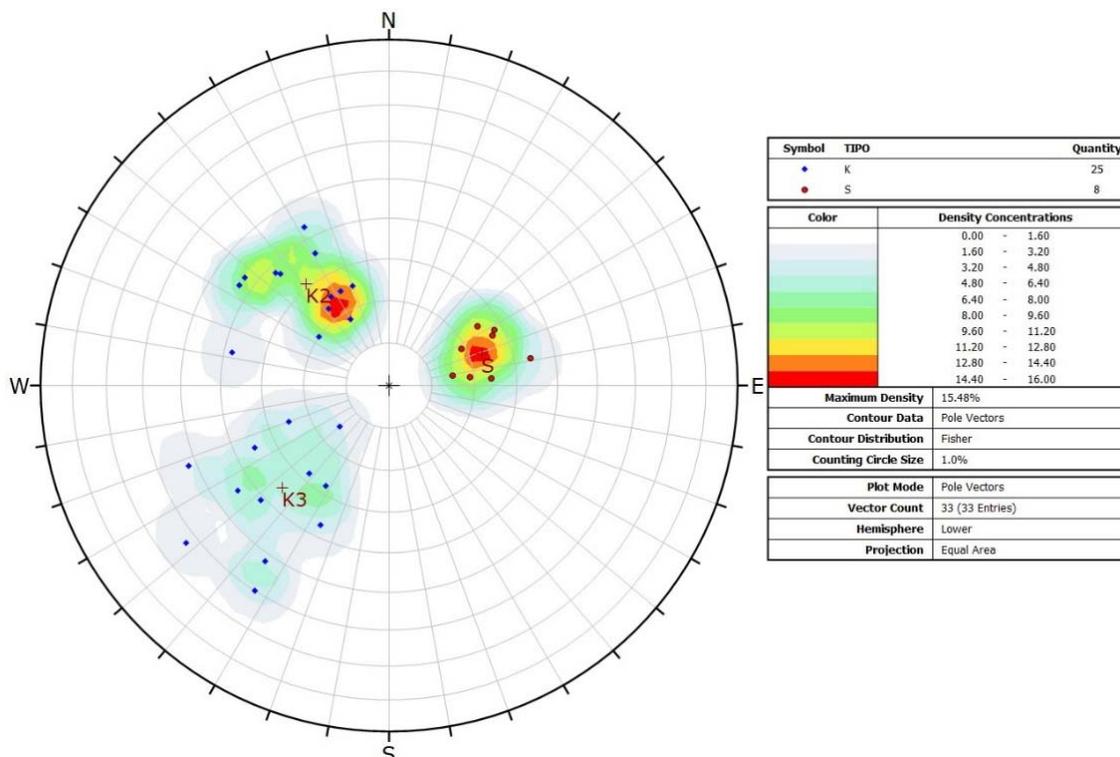
**Tab. 2.5/B** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso in ardesie della stazione LPZ5

Sistema	S-S'	K1
Orientazione	161°/30° - 18°/32°	110°/88°
Persistenza	3-10m e 10- 20 m	1 - 3 m prevalente, <1 m secondaria
Spaziatura	20-60 cm e 60-200 cm	6-20 cm prevalente, 20-60 cm secondaria

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 30 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

<b>Scabrezza</b>	ondulata, talora planare, liscia	planare, talora ondulata liscia, talora rugosa
<b>Apertura</b>	chiusa	chiusa
<b>Condizioni d'alterazione</b>	debolmente alterata	da debolmente a moderatame nte alterata
<b>Riempimento</b>	assente	calcite frequente
<b>Presenza d'acqua</b>	assente	assente
<b>JCS</b>	45 Mpa (ardesie) 102 Mpa (calcari)	-

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 31 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 2.5/E** Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità rilevate nelle ardesie della stazione LPZ6 (il simbolo di colore blu indica le discontinuità di frattura, il circolo rosso la stratificazione-scistosità)

**Tab. 2.5/C** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso in ardesie della stazione LPZ6

Sistema	S	K2	K3
Orientazione	161°/23°	51°/31°	316°/35°
Persistenza	3 m – 10 m	<1 m	<1 m
Spaziatura	<2 cm prevalente, 2-6 cm secondaria	6-20 cm e 2-6 cm,	6-20 cm <2 cm rara
Scabrezza	planare, liscia	planare, liscia	planare, ondulata (rara), liscia
JRC	0-2	2-4	2-4
Apertura	chiusa	chiusa	chiusa
Condizioni d'alterazione	debolmente alterata	moderatam ente alterata	moderatam ente alterata
Riempimento	assente	Calcite frequente	assente
Presenza d'acqua	assente	assente	assente
JCS	45-65 MPa	-	-

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 32 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 2.5/F Stazione LPZ4**



**Fig. 2.5/G Stazione LPZ5**

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 33 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 2.5/H Stazione LPZ6**



**Fig. 2.5/I Stazione LPZ8**

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 34 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 2.5.3 Classificazione degli ammassi rocciosi

I valori stimati degli indici RMRb, Q e GSI sono riportati nelle tabelle che seguono. Nella tabella finale, in cui è indicato il giudizio complessivo degli ammassi rocciosi di ardesie del microtunnel La Pezza 2, la classe di qualità di Beniawski è stimata sulla base di RMR<sub>c</sub>, che tiene conto dell'orientazione delle discontinuità rispetto alla direzione dello scavo.

**Tab. 2.5/D Classificazione RMR (indice RMRb) degli ammassi rocciosi di ardesie**

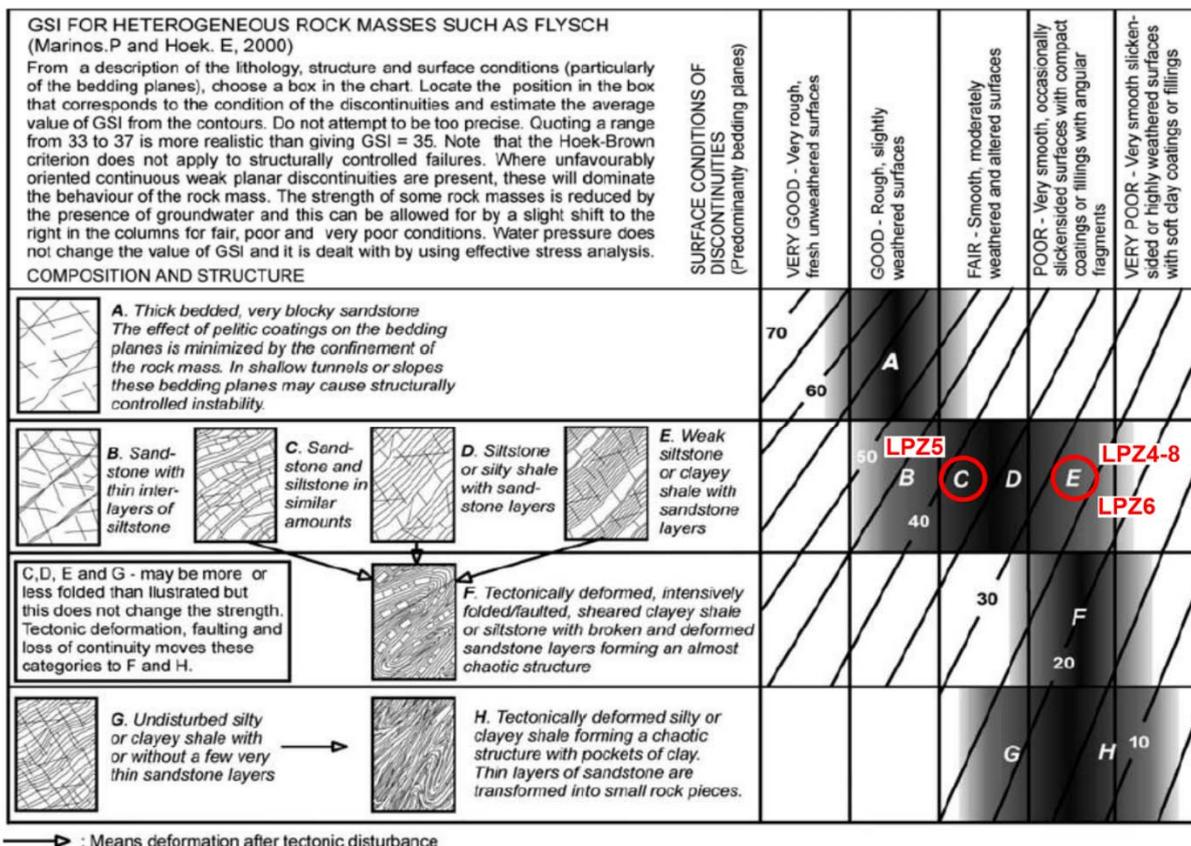
Parametri	LPZ4-8		LPZ5		LPZ6	
	Valore	Rating	Valore	Rating	Valore	Rating
Resistenza alla compressione mono-assiale	25-50 Mpa	6	50-100 Mpa	7	25-50 Mpa	6
RQD	25%-50%	3	50% - 75%	13	<25%	3
Spaziatura delle discontinuità	6-20 cm	8	20-60 cm	10	2 - 6 cm	5
Condizioni delle discontinuità -persistenza	1	11	1	17	2	12
Condizioni delle discontinuità -apertura	4		4			
Condizioni delle discontinuità -rugosità	1		3			
Condizioni delle discontinuità -alterazione	1		5			
Condizioni delle discontinuità -riempimento	4		4			
Condizioni idrauliche	Drenate	15	Drenate	15	Drenate	15
INDICE BRMR		<b>43</b>		<b>62</b>		<b>41</b>
Coesione (kPa), angolo d'attrito (°)		<b>215</b> <b>26.5</b>		<b>310</b> <b>36</b>		<b>205</b> <b>25.5</b>
Modulo di deformazione (MPa)		<b>7</b>		<b>32</b>		<b>7</b>

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 35 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Tab. 2.5/E Classificazione Q di Barton degli ammassi rocciosi di ardesie**

LPZ4-8		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	25%	25
J <sub>n</sub>	Due sistemi più discontinuità non sistematiche	6
J <sub>r</sub>	Giunti ondulati lisci	2
J <sub>a</sub>	Giunti alterati	3
J <sub>w</sub>	Assente o scarsa	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		2.8
LPZ5		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	60%	60
J <sub>n</sub>	Due sistemi più discontinuità non sistematiche	6
J <sub>r</sub>	Giunti rugosi ondulati	3
J <sub>a</sub>	Giunti leggermente alterati	2
J <sub>w</sub>	Assente o scarsa	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		15
LPZ6		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	20%	20
J <sub>n</sub>	Tre sistemi di discontinuità	9
J <sub>r</sub>	Giunti planari lisci	1
J <sub>a</sub>	Giunti leggermente alterati	2
J <sub>w</sub>	Assente o scarsa	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		1.1

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	Fg. 36 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 2.5/L Classificazione GSI dell'ammasso roccioso di ardesie**

**Tab. 2.5/F Parametri necessari per il calcolo delle caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso di ardesie con l'indice GSI**

	LPZ4-8	LPZ5	LPZ6
Parametri	Valore	Valore	Valore
$\sigma_c$	50-60 MPa	45-100 MPa	45-65 MPa
GSI	25-30	35-40	25-30
$m_i$	7±2 ( marls )	7±2 ( marls )	7±2 ( marls )

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 37 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Tab. 2.5/G Giudizio complessivo degli ammassi rocciosi in ardesie**

LPZ4-8		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	38	Classe IV, scadente
Q	2.8	Classe V, mediocre
GSI	25-30	Flysch tipo E
LPZ5		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	57	Classe III, mediocre
Q	15	Classe IV, buona
GSI	35-40	Flysch tipo C
LPZ6		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	36	Classe IV, scadente
Q	1.1	Classe VI, scadente
GSI	25-30	Flysch tipo E

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 38 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 2.6 Sintesi dei risultati dell'indagine

I risultati delle classificazioni geomeccaniche sono rappresentate nella sezione geologico - geomeccanica di fig. 2.5/B, in cui è riportato il profilo di scavo del *microtunnel*. Le stime della qualità degli ammassi rocciosi sono state eseguite principalmente sulla base dei risultati dei rilievi delle stazioni di rilevamento prossime ai due imbocchi. La parte centrale della sezione è stata attribuita alla classe di qualità più elevata (ottenuta dal rilievo della stazione LPZ5), sulla base di considerazione geologiche quali sia la continuità della sequenza di calcari e marne affiorante, oltre che nel Fosso di Camposasco, anche nella dorsale di Case Scoglio, e l'assetto strutturale sufficientemente regolare, che consentono di ipotizzarne la prosecuzione nel settore centrale del profilo. I limiti in sottterraneo tra le diverse classi sono tuttavia affetti da un certo margine di incertezza, non facilmente valutabile. Anche la fascia di incertezza indicata nella sezione ha pertanto valore indicativo.

Nel complesso, considerando i valori di  $RMR_c$ , mentre nel settore centrale del tracciato si può stimare una classe III, nei settori laterali si scende alla classe IV; un andamento analogo vale per il sistema Q: nel settore centrale si ottiene la classe IV, in quelli laterali le classi VI e V. L'intersezione del tracciato di progetto con una faglia cartografata nel Foglio Chiavari – Recco della CGR può comportare una riduzione significativa delle caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso, per aumento del grado di fratturazione.

Per quanto riguarda le condizioni idrogeologiche, nel settore centrale del tracciato, che verosimilmente è costituito da sequenze prevalentemente calcareo-marnose, caratterizzate da un maggiore grado di permeabilità, e in cui il profilo di scavo scende a quote inferiori al fondovalle del Lavagna, sono ipotizzabili le interferenze con la circolazione idrica.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 39 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 3. TRENCHLESS CAPODESASCO

#### 3.1 Premessa

Il *microtunnel* Capodesasco sarà realizzato lungo la dorsale di Serra, che separa la valle del torrente Liteglia, affluente del torrente Lavagna, dal Lavagna stesso, nel territorio del comune di Cicagna.

Il crinale della dorsale, che ha un andamento generale in direzione N-S, raggiunge quote superiori a 400 m s.l.m. sulla proiezione del tracciato; gli estesi versanti sono incisi da tributari del Liteglia e del Lavagna che hanno orientazione NO-SE e NE-SO. La soluzione in sotterraneo, della lunghezza di 1354 m, posta tra le progressive km 35,840 e km 37,194, consentirà di evitare la lunga percorrenza dei versanti della dorsale, che avendo un andamento in gran parte parallelo alla direzione del tracciato del *microtunnel*, sarebbero stati attraversati in gran parte a mezza costa o avrebbero comportato la percorrenza di notevoli dislivelli e maggiore lunghezza del percorso.

#### 3.2 Inquadramento geomorfologico

L'imbocco Ovest è situato nel fondovalle del Liteglia, nei pressi della confluenza con il rio della Prè. Il versante occidentale della dorsale, caratterizzato da pendenze medie intorno a 20°-25°, è inciso dal rio Gazza, il cui versante destro è occupato da un'estesa coltre eluvio-colluviale. Nel versante orientale le coperture detritiche sono più frequenti, con spessori anche superiori a 3 m; a valle di Serra sono presenti diversi movimenti gravitativi di entità significativa (frane di scivolamento e frane complesse). L'imbocco orientale è situato su un versante terrazzato a bassa pendenza (intorno a 15°), costituito da coltri detritiche di spessore superiore a 3 m.

#### 3.3 Assetto geologico – strutturale

La dorsale di Serra è formata dal Gruppo degli Scisti della Val Lavagna, rappresentato dalle formazioni delle Ardesie di Monte Verzi che ne costituiscono il versante occidentale e la parte sommitale di quello orientale; gli Scisti Manganesiferi affiorano a letto delle Ardesie di Monte Verzi nel settore inferiore del versante orientale. La sequenza, deformata da pieghe aperte ad asse NNO-SSE, immerge verso SO nel settore occidentale e verso S e SO nel settore orientale; l'inclinazione è compresa tra 15° e 60° circa. Sulla base dell'andamento cartografico del contatto tra le ardesie di Monte Verzi e gli Scisti Manganesiferi, si ritiene che il limite in sotterraneo abbia un'inclinazione probabile di circa 35°, come riportato nella sezione di fig. 3.5/B. È possibile che la faglia che disloca il limite tra i calcari della Formazione del Monte Antola e le ardesie nel versante destro del rio della Pre, intersechi il tracciato nel tratto finale verso l'imbocco occidentale.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 40 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 3.4 Inquadramento idrogeologico

Le ardesie e gli scisti manganesiferi rappresentano un'unità idrogeologica in generale scarsamente permeabile per fratturazione, in cui localmente può instaurarsi una circolazione idrica significativa, legata ad un maggiore stato di fratturazione.

Due sorgenti sono situate sul versante attraversato dal *microtunnel* a monte di Chichizola, a distanze di 150 -200 m dal tracciato. La sorgente rio Nicolaj, nei pressi di Serra, è alimentata da un accumulo di frana. La sorgente fontana Chierina scaturisce in prossimità del limite tra le ardesie e la Formazione del Monte Antola, che, affiorando nella settore sommitale della dorsale di Chichizola, ne costituisce l'area di ricarica. Per entrambe quindi si possono escludere apporti significativi da parte degli ammassi rocciosi attraversati dal tracciato del *microtunnel*. Nell'area dell'imbocco occidentale vi è una emergenza idrica di un certo rilievo, la sorgente Lagoscuro, che scaturisce tuttavia sul versante sinistro della valle del Liteglia, mentre l'imbocco Ovest del *microtunnel* è situato sul versante opposto. Si può quindi escludere anche in questo caso che si verifichino interferenze significative tra l'area di alimentazione della sorgente e l'opera in sotterraneo. L'interferenza con le acque sotterranee è quindi da considerarsi complessivamente poco significativa.

### 3.5 Studio geomeccanico

#### 3.5.1 Introduzione

La caratterizzazione geomeccanica delle unità litologiche che costituiscono la dorsale di Serra è basata su sei stazioni di rilevamento, due stendimenti lineari (CAS1 e CAS5) e quattro siti di rilevamento (CAS2, CAS3, CAS4 e CAS6), distribuiti lungo l'asse del tracciato di progetto e rappresentate in fig. 3.5/A. Due stazioni sono state rilevate negli Scisti Manganesiferi (CAS5 e CAS6), quattro nelle ardesie (CAS1, CAS2, CAS3, CAS4). Le stazioni con caratteristiche litologico-strutturali sufficientemente uniformi e relativamente vicine sono state unificate nella descrizione e nella elaborazione dei dati.

#### 3.5.2 Caratterizzazione degli ammassi rocciosi

Negli ammassi rocciosi di tutte le stazioni del rilievo geomeccanico la stratificazione è il sistema di discontinuità predominante, per ubiquità e persistenza. Ad essa può essere associata, per simili caratteristiche di persistenza, anche se con maggiore pervasività nei litotipi meno competenti (ardesie e argilloscisti-siltiti), la scistosità. L'orientazione è in generale differente, ma nella maggior parte dei casi stratificazione e scistosità formano bassi angoli, fatta esclusione per le cerniere delle pieghe di maggiori dimensioni, in presenza di livelli arenacei potenti. Ai fini della caratterizzazione geomeccanica stratificazione e scistosità sono state pertanto considerate come un unico sistema di discontinuità.

Per contro non tutti i sistemi di frattura riconosciuti sono presenti in tutte le stazioni con frequenza ugualmente significativa; i sistemi con orientazione analoga nelle diverse stazioni sono stati denominati con una stessa sigla.

I parametri geometrici e fisico-meccanici principali dei sistemi di discontinuità definiti dal rilievo geomeccanico (giacitura, persistenza, spaziatura, scabrezza, apertura, condizioni d'alterazione, presenza d'acqua, riempimento, JRC e JCS) sono illustrati nelle tabelle delle pagine seguenti.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 41 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

#### Stazioni CAS1-CAS2

Si tratta di stazioni prossime all'imbocco occidentale. L'ammasso roccioso di Ardesie di M. Verzi è costituito da arenarie fini di colore *beige*-marrone, a composizione carbonatica significativa, e da prevalenti siltiti-argilliti nerastre con scarsa se non assente componente marnosa.

Le sequenze sono piegate da pieghe di scala metrica - decametrica, con assi NNO-SSE a debole inclinazione, caratterizzate da una scistosità di piano assiale, sviluppata nelle argilliti-siltiti. Sono stati riconosciuti quattro sistemi di discontinuità principali: la scistosità e la stratificazione S, e i sistemi di frattura K2, K3 e K4 (fig.3.5/C).

#### Stazioni CAS3-CAS4

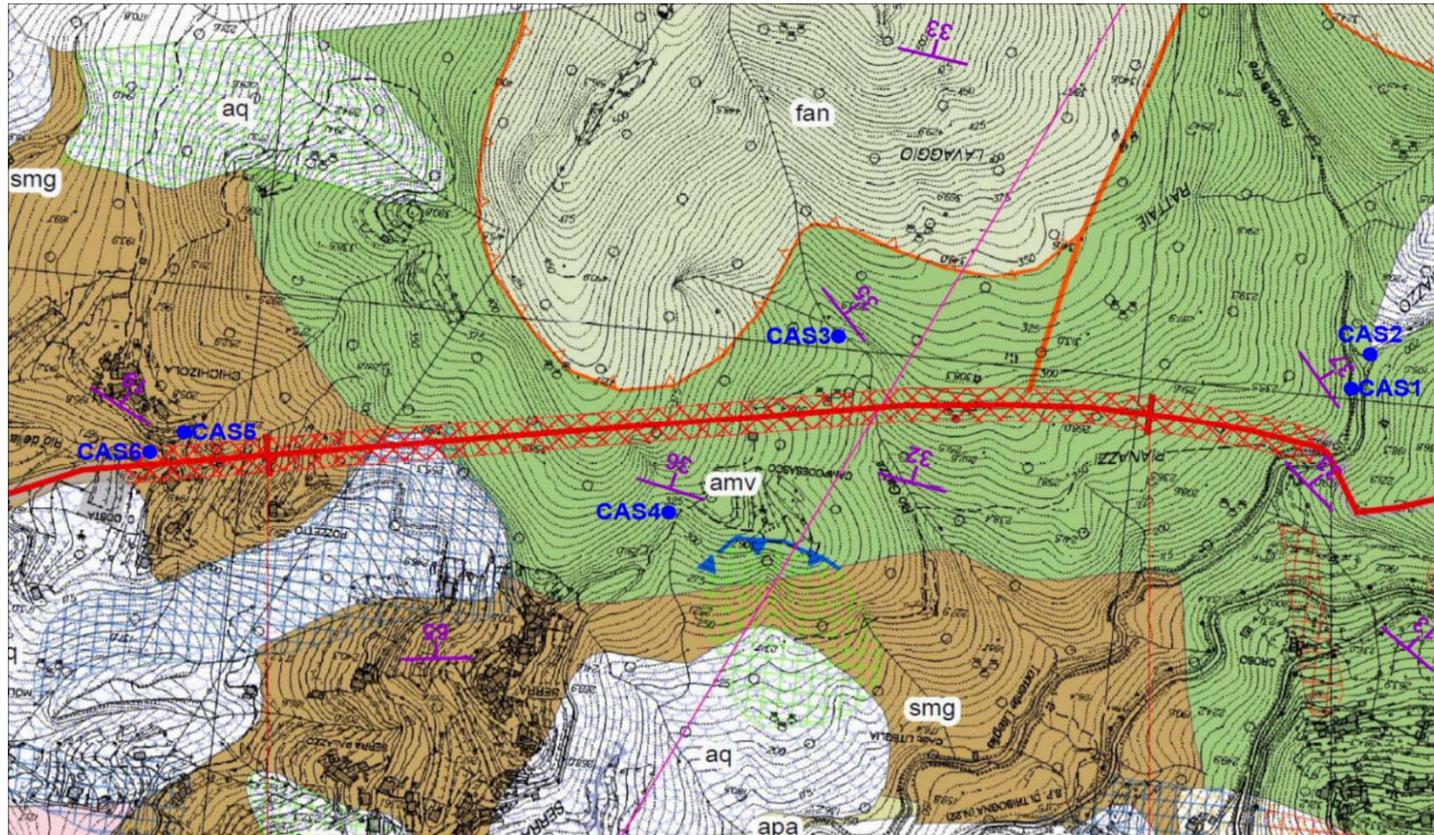
Si tratta di stazioni situate nel settore centrale del tracciato, lungo rii secondari. L'ammasso roccioso di Ardesie di M. Verzi è costituito da ardesie ed argilliti prevalenti e da arenarie di colore marrone e spessore decimetrico, ad elevata alterazione. I livelli arenacei sono boudinati e cataclasati. Sulla base del rilievo geomeccanico sono stati riconosciuti tre sistemi di discontinuità principali: la scistosità S e i sistemi di frattura K3 e K5; presenti anche fratture non sistematiche difficilmente rilevabili (fig. 3.5/D).

#### Stazioni CAS5-CAS6

Si tratta di stazioni situate nei pressi dell'imbocco orientale. L'ammasso roccioso di Scisti Mangesiferi è costituito da siltiti e argilliti nerastre, scistose, nettamente prevalenti, con rare intercalazioni arenacee di spessore decimetrico e più rari livelli calcarei. La sequenza è blandamente deformata da pieghe minori ad asse NO-SE.

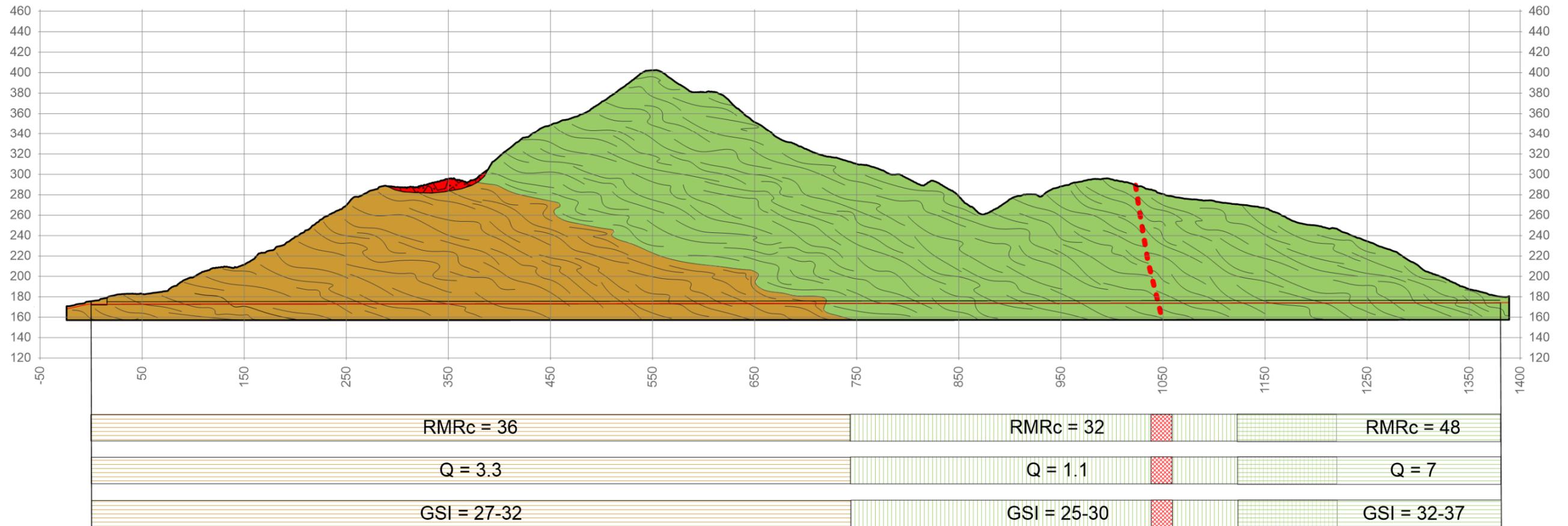
Sulla base del rilievo geomeccanico sono stati riconosciuti tre sistemi di discontinuità principali: la Scistosità S e i sistemi di frattura K1 e K6; presenti anche numerose fratture non sistematiche difficilmente rilevabili (fig. 3.5/E).

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	Fg. 42 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



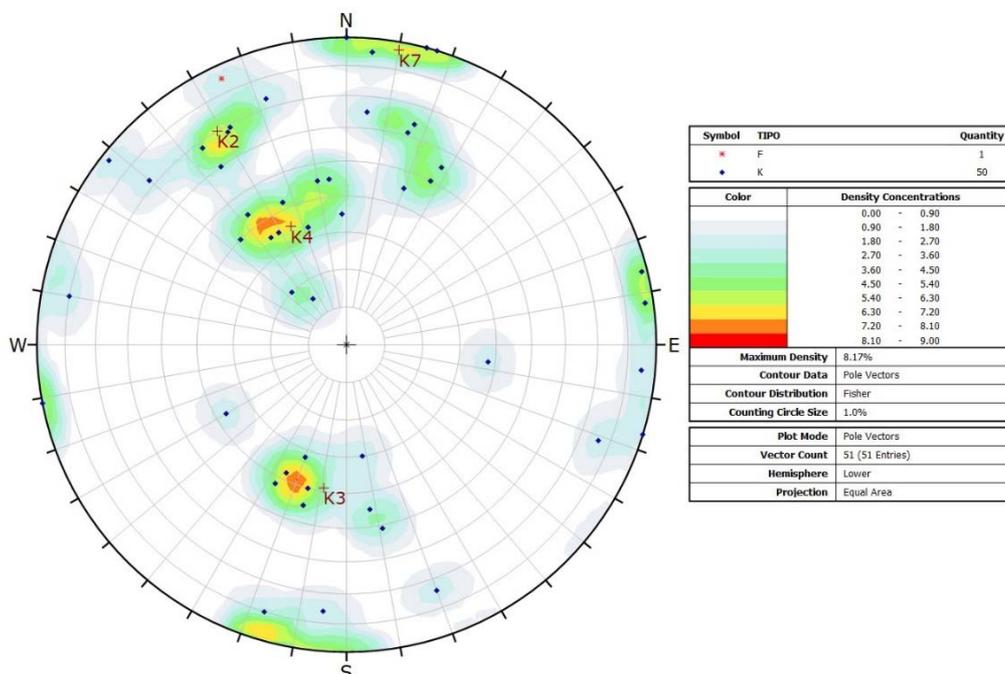
**Fig. 3.5/A** Stralcio modificato dalla Carta geologico-geomorfologica a scala 1:10.000 (Dis. LB-D-83209). **LEGENDA:** Ardesie del Monte Verzi, (amv), Scisti Manganesiferi (smg), depositi di frana (aq), depositi di versante (a1), depositi alluvionali recenti e terrazzati (b1), depositi alluvionali degli alvei attuali (b), movimenti franosi da Piano di Bacino (quadrettato verde), stazioni del rilievo geomeccanico (simbolo circolare blu)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	<b>Fg. 43 di 89</b>	<b>Rev.</b> 0

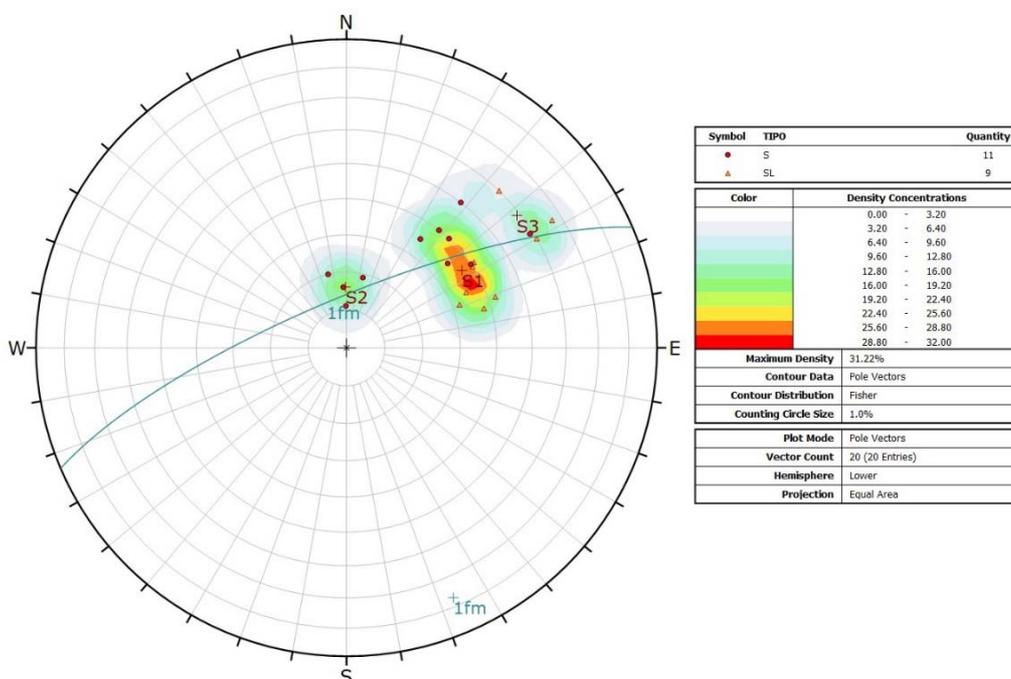


**Fig. 3.5/B** Sezione geologico – geomeccanica lungo il tracciato del microtunnel Capodesasco (senso gas). **LEGENDA:** Ardesie di Monte Verzi (colore verde), Scisti Manganesiferi (colore bronzo), accumulo di frana quiescente Pg3a (colore rosso), tracciato del microtunnel (colore nero) e del metanodotto (colore rosso), faglia (linea rossa tratteggiata). Nella fincatura sono riportati i valori delle classificazioni geomeccaniche per i diversi settori. I tratti quadrettati in verde rappresentano le fasce di incertezza al margine dei settori, i tratti in quadrettato diagonale la possibile ampiezza della zona cataclastica legata alla faglia

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 44 di 89	<b>Rev.</b> 0



**Fig. 3.5/C** Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità di frattura rilevate nelle ardesie delle stazioni CAS 1 e CAS2 (il simbolo di colore blu indica le fratture, il simbolo rosso le faglie)



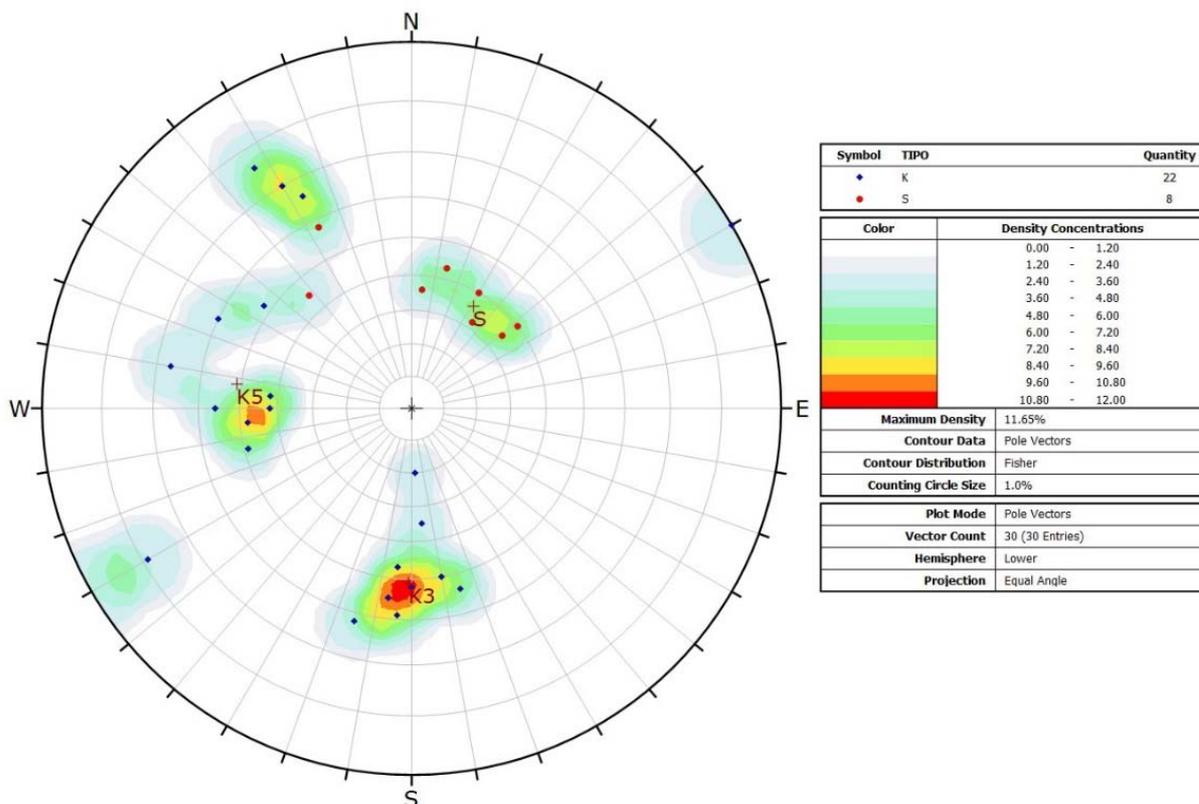
**Fig. 3.5/D** Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità rilevate ardesie delle stazioni CAS 1 e CAS2 (il simbolo triangolare di colore rosa indica la stratificazione, il simbolo circolare rosso la scistosità)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 45 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Tab. 3.5/A Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso in ardesie delle stazioni CAS1 e CAS2**

Sistema	S	K2	K3	K4
<b>Orientazione</b>	146°/37°- 89°/16°	59°/70°	279°/39°	66°/36°
<b>Persistenza</b>	3-10 m prevalente, 1 – 3 m e >20 m secondarie	< 1m prevalente, 1-3 m e 3-10 m rare	1-3 m prevalente, < 1m e 3-10 m secondarie	< 1m (prevalente) 1-3 m e 3-10 m secondarie
<b>Spaziatura</b>	6-20 cm prevalente, 2-6 cm secondaria	2-6 cm 20-60 cm	20-60 cm prevalente, 6-20 cm secondaria	2-6 cm prevalente, 6-20 cm secondaria
<b>Scabrezza</b>	planare, talora ondulata, rugosa/liscia	Planare, talora ondulata, liscia	planare, talora ondulata, liscia, talora rugosa	planare, rugosa, talora liscia
<b>Apertura</b>	chiusa	chiusa	chiusa	Chiusa, talora aperta
<b>JRC</b>	10-12, 12-14	-	-	
<b>Condizioni d'alterazione</b>	debolmente alterata	debolmente alterata	debolmente alterata	debolmente alterata
<b>Riempimento</b>	assente	Calcite e talora quarzo	assente	Rara calcite
<b>Presenza d'acqua</b>	assente	assente	assente	assente
<b>JCS</b>	50 Mpa, 52 Mpa,	-	-	-

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	Fg. 46 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

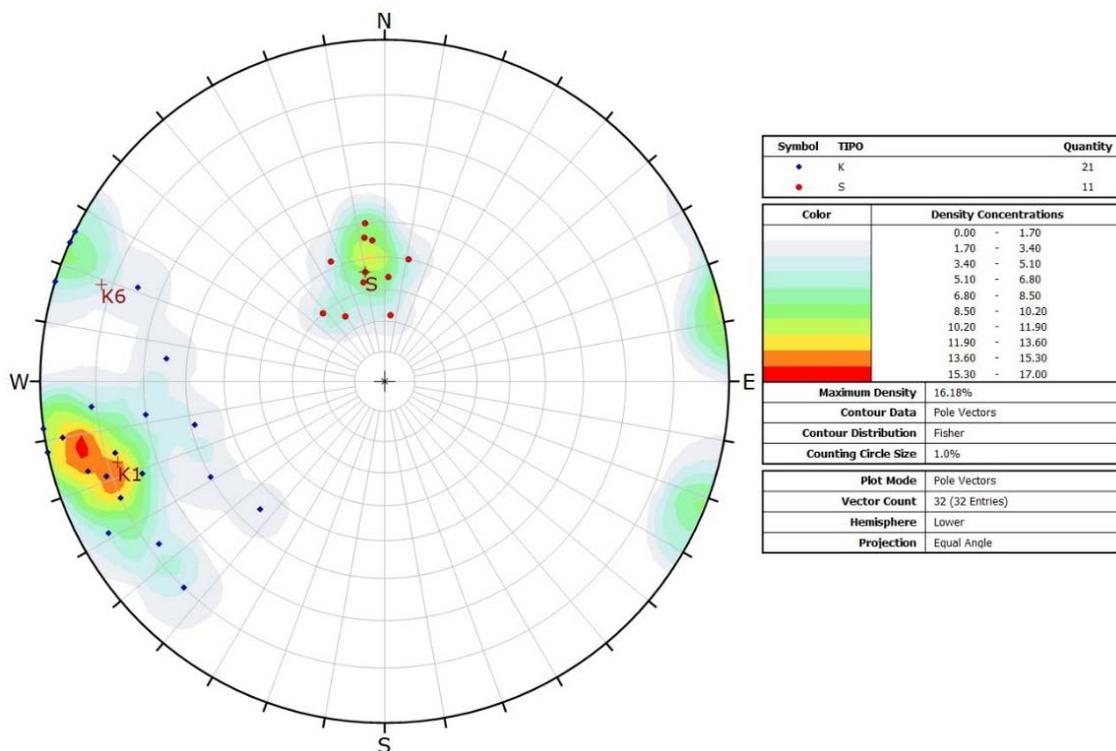


**Fig. 3.5/E** Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità rilevate nelle ardesie delle stazioni CAS 3 e CAS4 (il simbolo di colore blu indica le discontinuità di fratture, il simbolo rosso la scistosità)

**Tab. 3.5/B** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso in ardesie delle stazioni CAS3 e CAS4

Sistema	S	K3	K5
Orientazione	121°/36°	271°/51°	8°/51°
Persistenza	3-10 m prevalente, 1-3 m secondaria	< 1m e 1-3 m	< 1m e 1-3 m, 3-10 m (rara)
Spaziatura	6-20 cm prevalente, 2-6 cm rara	20-60 cm 60-200 cm	60-200 cm
Scabrezza	planare, talora ondulata, liscia	planare, talora ondulata, liscia	planare, talora ondulata, liscia, talora rugosa
Apertura	chiusa	chiusa	chiusa
Condizioni d'alterazione	da moderatamente alterata a molto alterata	moderatamente alterata	da moderatamente alterata a molto alterata
Riempimento	assente	rara calcite	assente
Presenza d'acqua	assente	assente	assente

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 47 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 3.5/F** Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità rilevate negli scisti manganeseiferi delle stazioni CAS5 e CAS6 (il simbolo di colore blu indica le discontinuità di fratture, il simbolo rosso la scistosità)

**Tab. 3.5/C** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso in scisti manganeseiferi delle stazioni CAS5 e CAS6

Sistema	S	K1	K6
Orientazione	80°/36°	343°/78°	19°/82°
Persistenza	1-3 m prevalente, >1 secondaria	< 1m,	< 1m
Spaziatura	2-6 cm prevalente >2 cm e 6-20 cm secondarie	2-6 cm prevalente 6-20 cm secondaria 20-60 cm rara	6-20cm (prevalente) 2-6 cm e 60-200 cm secondarie
Scabrezza	planare, liscia	Planare, talora ondulata, liscia o rugosa (rara)	planare, talora ondulata, liscia
JRC	2-4, 4-6	-	-
Apertura	chiusa	chiusa	chiusa
Condizioni d'alterazione	da debolmente a moderatamente alterata	da non alterata, rara, a debolmente alterata	debolmente alterata
Riempimento	assente	calcite rara	calcite frequente
Presenza d'acqua	assente	assente	assente
JCS	30 Mpa, 45 Mpa	-	-

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 48 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 3.5/G Stazione CAS1**



**Fig. 3.5/H Stazione CAS2**



**Fig. 3.5/I Stazione CAS3**

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 49 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 3.5/L Stazione CAS4**



**Fig. 3.5/M Stazione CAS5**

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 50 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 3.5/N Stazione CAS6**

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 51 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 3.5.3 Classificazione degli ammassi rocciosi

I valori stimati degli indici RMRb, Q e GSI sono riportati nelle tabelle che seguono. Nella tabella finale, in cui è indicato il giudizio complessivo degli ammassi rocciosi di scisti manganesiferi e di ardesie, la classe di qualità di Beniawski è stimata sulla base di RMR<sub>c</sub>, che tiene conto dell'orientazione delle discontinuità rispetto alla direzione dello scavo.

**Tab. 3.5/D Classificazione RMR (indice RMRb) degli ammassi rocciosi**

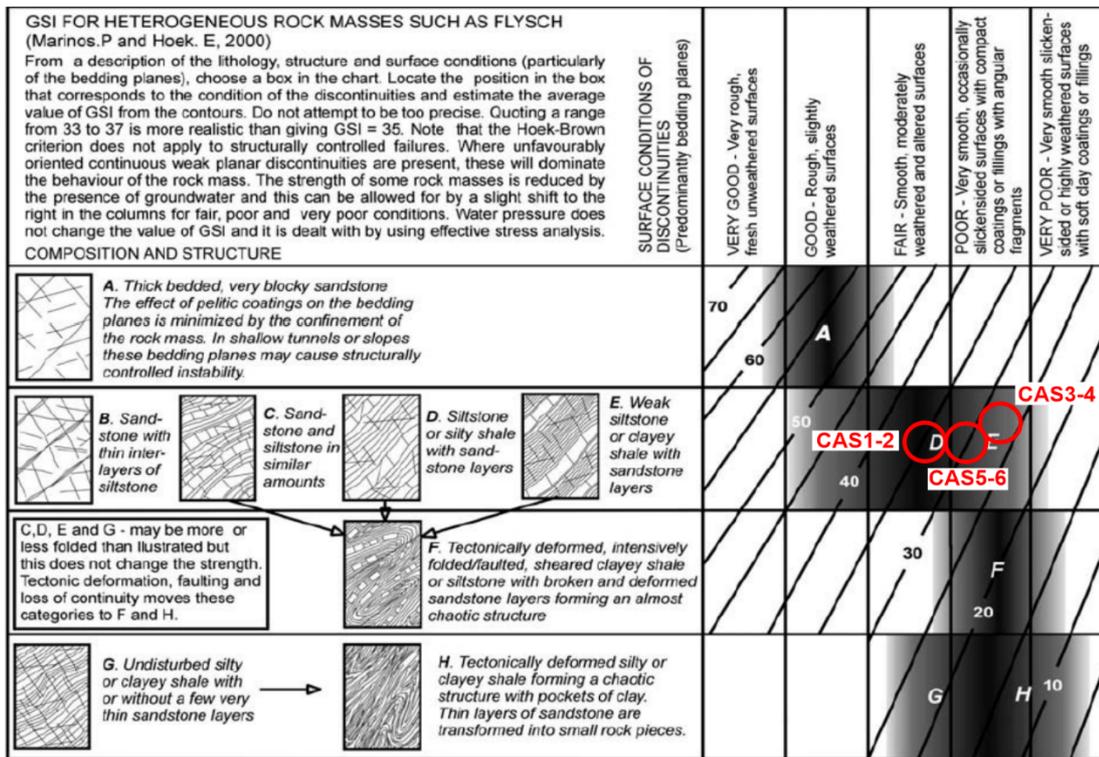
Parametri	CAS1-CAS2		CAS3-CAS4		CAS5-CAS6	
	Valore	Rating	Valore	Rating	Valore	Rating
Resistenza alla compressione mono-assiale	25-50 Mpa	4	25-50 Mpa	4	25-50 Mpa	4
RQD	25% - 50% -	8	<25%	3	<25%	3
Spaziatura delle discontinuità	6 - 20 cm	8	2 - 6 cm	5	2 - 6 cm	5
Condizioni delle discontinuità -persistenza	2	18	2	10	2	18
Condizioni delle discontinuità -apertura	4		4			
Condizioni delle discontinuità -rugosità	3		1			
Condizioni delle discontinuità -alterazione	5		1			
Condizioni delle discontinuità -riempimento	4		2			
Condizioni idrauliche	Drenate	15	Drenate	15	Drenate	15
INDICE BRMR		<b>53</b>		<b>37</b>		<b>41</b>
Coesione (kPa), angolo d'attrito (°)		<b>265</b> <b>31.5</b>		<b>185</b> <b>23.5</b>		<b>205</b> <b>25.5</b>
Modulo di deformazione (MPa)		<b>17</b>		<b>4</b>		<b>6</b>

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 52 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Tab. 3.5/E Classificazione Q di Barton degli ammassi rocciosi**

CAS1-CAS2		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	35%	35
J <sub>n</sub>	Quattro sistemi	15
J <sub>r</sub>	Giunti rugosi ondulati	3
J <sub>a</sub>	Giunti non alterati, con lieve ossidazione	1
J <sub>w</sub>	Assente o scarsa	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		7
CAS3-CAS4		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	20%	20
J <sub>n</sub>	Tre sistemi più discontinuità non sistematiche	12
J <sub>r</sub>	Giunti lisci, ondulati	2
J <sub>a</sub>	Giunti alterati, con spalmature	3
J <sub>w</sub>	Assente o scarsa	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		1.1
CAS5-CAS6		
Parametro	Parametro	Parametro
RQD	20%	20
J <sub>n</sub>	Tre sistemi più discontinuità non sistematiche	12
J <sub>r</sub>	Giunti lisci, ondulati	2
J <sub>a</sub>	Giunti non alterati, con lieve ossidazione	1
J <sub>w</sub>	Assente o scarsa	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		3.3

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 53 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



→ : Means deformation after tectonic disturbance  
**Fig. 3.5/O Classificazione GSI degli ammassi rocciosi**

**Tab. 3.5/F Parametri necessari per il calcolo delle caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso di ardesie con l'indice GSI**

Parametri	CAS1-2	CAS3-4	CAS5-6
$\sigma_c$	50 MPa	25 MPa	30-45 MPa
GSI	32÷37	25÷30	27÷32
$m_i$	7±2 (marls)	7±2 (marls)	6±2 (shales)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 54 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Tab. 3.5/G Giudizio complessivo degli ammassi rocciosi di ardesie e scisti manganesiferi**

CAS1-CAS2		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	48	Classe III, mediocre
Q	7	Classe V, mediocre
GSI	32-37	Flysch tipo D
CAS3-CAS4		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	32	Classe IV, scadente
Q	1.1	Classe VI, scadente
GSI	25-30	Flysch tipo E
CAS5-CAS6		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	36	Classe IV, scadente
Q	3.3	Classe VI, scadente
GSI	27-32	Flysch tipo D-E

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 55 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 3.6 Sintesi dei risultati dell'indagine

I risultati delle classificazioni geomeccaniche sono rappresentate nella sezione geologico - geomeccanica di fig. 3.5/B, in cui è riportato il profilo di scavo del *microtunnel*. La stima della qualità dell'ammasso roccioso di Scisti Manganesiferi, che deriva dai risultati dei rilievi delle stazioni di rilevamento CAS5 e CAS6, è estesa a tutto il settore di affioramento della formazione, senza differenziazioni. Per quanto riguarda gli ammassi rocciosi delle Ardesie di Monte Verzi, il limite tra le due classi di qualità, la più alta rilevata nelle stazioni prossime all'imbocco occidentale, la minore nel settore centrale del tracciato, è affetto da un discreto margine di incertezza, non facilmente valutabile.

Complessivamente le condizioni di resistenza sono discrete nell'area dell'imbocco occidentale (classe III di Beniaowski), e si riducono nel settore centrale e nell'imbocco orientale (classe IV). Le stesse considerazioni valgono per il sistema Q (da classe V a classe VI).

Per quanto riguarda le condizioni idrogeologiche, si possono escludere interferenze significative con le acque sotterranee nell'attraversamento degli Scisti Manganesiferi. L'esistenza di modesta circolazione idrica, legata ad un maggiore stato di fratturazione o alla presenza di intercalazioni arenacee e calcaree, non può essere esclusa nelle Ardesie di Monte Verzi.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 56 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 4. TRENCHLESS COSTA DELLA CÀ'

### 4.1 Premessa

Il microtunnel Costa della Cà attraversa la dorsale Monte Gavi – Monte Cionci, dalla sella di quota 497 m s.l.m., situata ad Ovest della vetta del Monte Gavi, al crinale sub-pianeggiante posto ad Ovest di Monte Cionci.

La dorsale è caratterizzata da una linea di cresta relativamente stretta e dalla presenza di alcune abitazioni; la soluzione in sotterraneo, della lunghezza di circa 800 m, posta tra le progressive km 44,372 e km 45,171, consentirà di evitare le condizioni morfologiche sfavorevoli dell'attraversamento a cielo aperto.

### 4.2 Inquadramento geomorfologico

La dorsale Monte Gavi – Monte Cionci, ad andamento irregolare-ondulato, è orientata complessivamente in direzione ONO –ESE. Dalla stretta linea di crinale si scende verso nord lungo un crinale dall'acclività elevata, in particolare nel settore centrale, con pendenze intorno a 40°. Il versante meridionale è caratterizzato da acclività ugualmente elevata nel settore SE, prossimo al Monte Gavi; nel settore NO, immediatamente a valle della sella di Costa della Cà, si apre una ampia nicchia di distacco di una frana attiva di natura complessa.

### 4.3 Assetto geologico – strutturale

La dorsale Monte Gavi – Monte Cionci è formata da argilliti e siltiti scistose, caratterizzate da elevata fissilità, con rare intercalazioni siltitico-arenacee di colore rossastro e di spessore decimetrico, talora boudinate, appartenenti alla formazione degli Scisti Mangesiferi. Frequenti sono le vene quarzose, di spessore generalmente centimetrico, spesso ripiegate. L'assetto strutturale è caratterizzato alla scala del microtunnel da un'orientazione compresa tra ONO-ESE e E-O circa, con immersione verso SE e S; l'inclinazione, moderata, varia tra 20° e 30° circa. Nelle tre stazioni non sono state rilevate strutture plicative alla scala dell'affioramento, ma solo ondulazioni nella giacitura della scistosità.

### 4.4 Inquadramento idrogeologico

Gli scisti mangesiferi rappresentano un'unità idrogeologica scarsamente permeabile per fratturazione. L'attraversamento della dorsale in prossimità della zona sommitale del rilievo comporta una bassa probabilità di interferenza con le acque sotterranee. Tuttavia nell'area del microtunnel vi è un'emergenza idrica di modesta portata (sorgente Siasea), situata nel versante meridionale della dorsale, ad una quota di circa 60 metri inferiore al tracciato del microtunnel, e alimentata da circolazione nei livelli superficiali maggiormente fratturati dell'ammasso roccioso argillitico. Nel tratto a monte della sorgente il microtunnel sarà caratterizzato da una copertura dell'ordine di 10-15 metri. Non si può escludere che, data la relativa superficialità dello scavo, durante la realizzazione dell'opera vengano in parte attraversati alcuni dei circuiti che alimentano

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 57 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

la sorgente; l'impiego di una fresa a testa chiusa con bilanciamento delle pressioni sul fronte di scavo e l'utilizzo di tubi di rivestimento in c.a. a tenuta idraulica consentirà di evitare fenomeni di drenaggio verso il tunnel, limitando l'interferenza dell'opera al minimo effetto barriera prodotto dalla tubazione, trascurabile in un ammasso roccioso fratturato senza direzioni preferenziali di filtrazione.

## 4.5 Studio geomeccanico

### 4.5.1 Introduzione

La caratterizzazione geomeccanica delle unità litologiche che costituiscono la dorsale Monte Gavi – Monte Cionci è basata su tre stazioni, uno stendimento lineare (COC1) e due siti di rilevamento (COC2 e COC3), distribuiti lungo l'asse del tracciato di progetto e rappresentate in fig. 4.5/A.

### 4.5.2 Caratterizzazione degli ammassi rocciosi

Negli ammassi rocciosi di tutte le stazioni del rilievo geomeccanico la scistosità è il sistema di discontinuità predominante, per ubiquità e persistenza. Ad essa è associata, per simili caratteristiche di persistenza, anche se con minore pervasività data la scarsa presenza di arenarie e siltiti che ne rendano possibile il riconoscimento, la stratificazione. L'orientazione tra le due superfici è sub-parallela nelle tre stazioni rilevate. Ai fini della caratterizzazione geomeccanica, stratificazione e scistosità sono state pertanto considerate come un unico sistema di discontinuità.

Per contro non tutti i sistemi di frattura riconosciuti sono presenti nelle tre stazioni con frequenza ugualmente significativa; i sistemi con orientazione analoga nelle diverse stazioni sono stati denominati con una stessa sigla.

I parametri geometrici e fisico-meccanici principali dei sistemi di discontinuità definiti dal rilievo geomeccanico (giacitura, persistenza, spaziatura, scabrezza, apertura, condizioni d'alterazione, presenza d'acqua, riempimento, JRC e JCS) sono illustrati nelle tabelle delle pagine seguenti.

#### Stazione COC1

L'ammasso roccioso è costituito da argilliti e siltiti di colore grigio scuro, con rare intercalazioni siltitico-arenacee di spessore centimetrico, raramente decimetrico (rapporto  $a/p \ll 1$ ), tagliate da frequenti vene di quarzo, spesso ripiegate. Sono stati riconosciuti tre sistemi principali di discontinuità, il sistema S, la scistosità, sub-parallela alla stratificazione, e due sistemi di discontinuità di frattura, denominati K2 e K3.

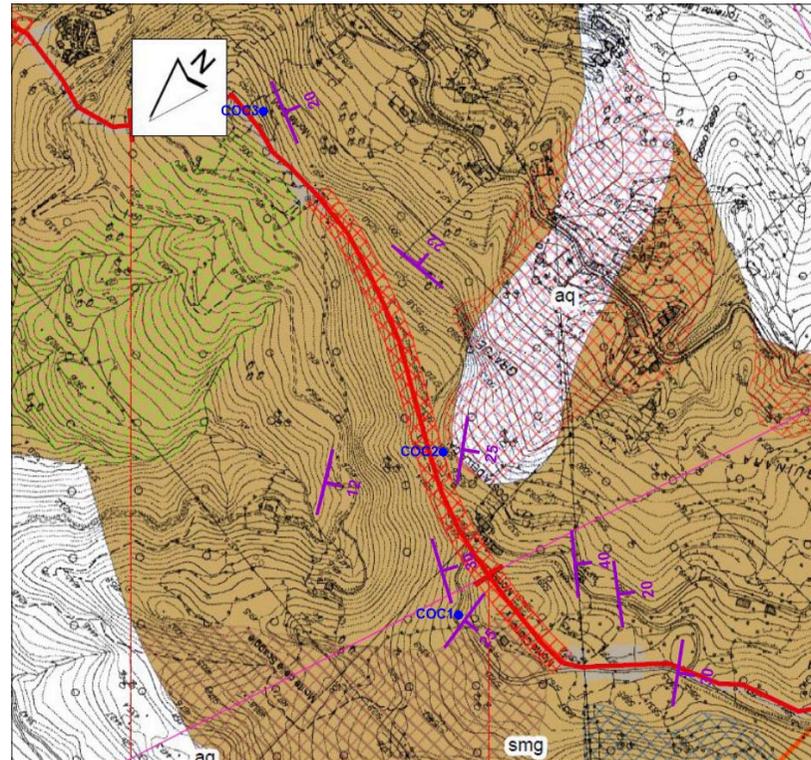
#### Stazione COC2

L'ammasso roccioso è costituito da argilliti e siltiti di colore grigio scuro, con rare intercalazioni siltitico-arenacee e frequenti vene di quarzo, di spessore anche decimetrico (rapporto  $a/p \ll 1$ ). Sono stati riconosciuti tre sistemi principali di discontinuità, il sistema S, la scistosità, sub-parallela alla stratificazione e due sistemi di discontinuità di frattura, denominati K1 e K2.

#### Stazione COC3

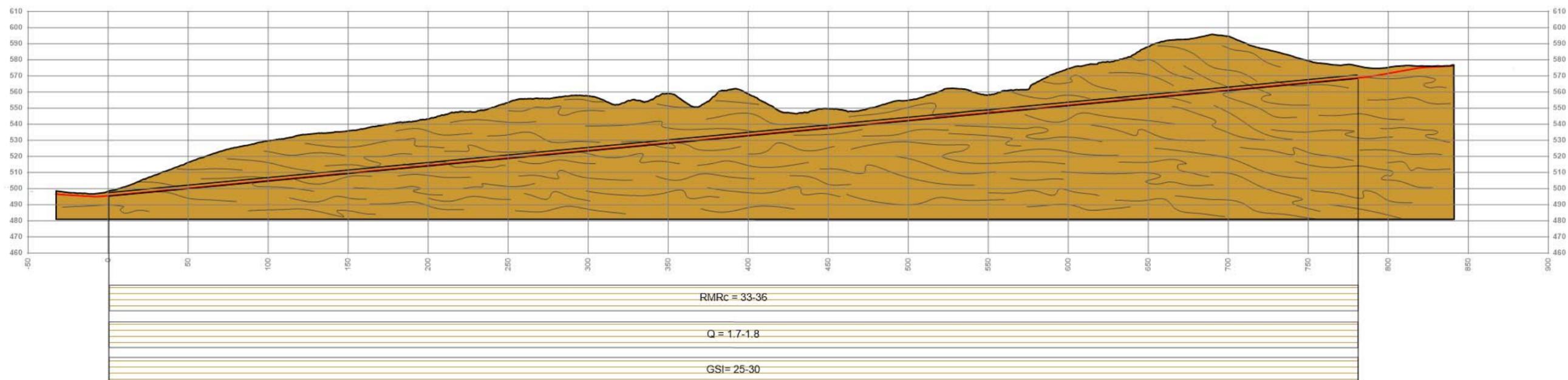
L'ammasso roccioso è costituito da argilliti e siltiti di colore grigio scuro, con vene di quarzo di spessore fino a decimetrico, talora ripiegate. Sono stati riconosciuti due sistemi principali di discontinuità, il sistema S, la scistosità, sub-parallela alla stratificazione, e il sistema di discontinuità di frattura denominato K4.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	Fg. 58 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



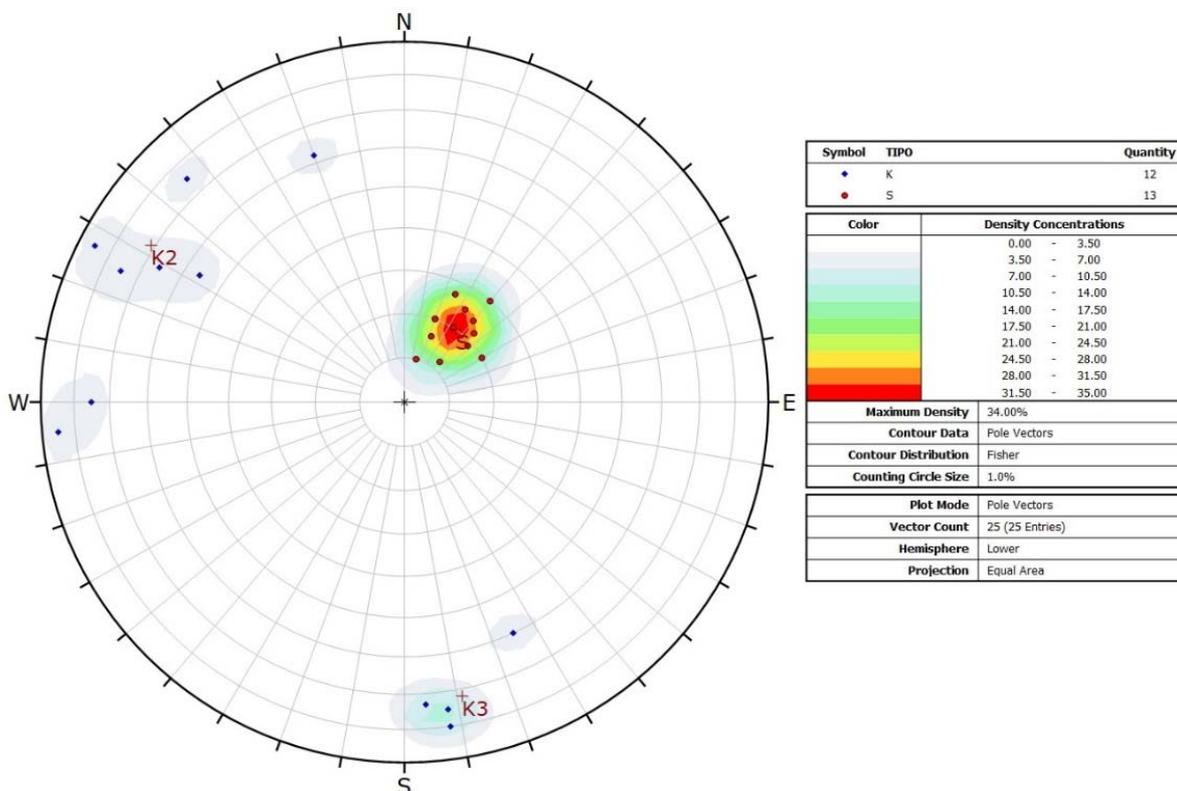
**Fig. 4.5/A** Stralcio modificato dalla Carta geologico-geomorfologica a scala 1:10.000 (Dis. LB-D-83209 con legenda). **LEGENDA:** Scisti Manganesiferi (smg), depositi di frana (aq), movimenti franosi da Piano di Bacino (quadrettato varicolori), stazioni del rilievo geomeccanico (simbolo circolare blu)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	Fg. 59 di 89	<b>Rev.</b> 0



**Fig. 4.5/B** Sezione geologico –geomeccanica lungo il tracciato del microtunnel Costa della Cà (senso gas). **LEGENDA:** Scisti manganesiferi (colore bronzo), tracciato del microtunnel (colore nero) e del metanodotto (colore rosso). Nella fincatura sono riportati i valori Calcolati delle classificazioni geomeccaniche

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 60 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

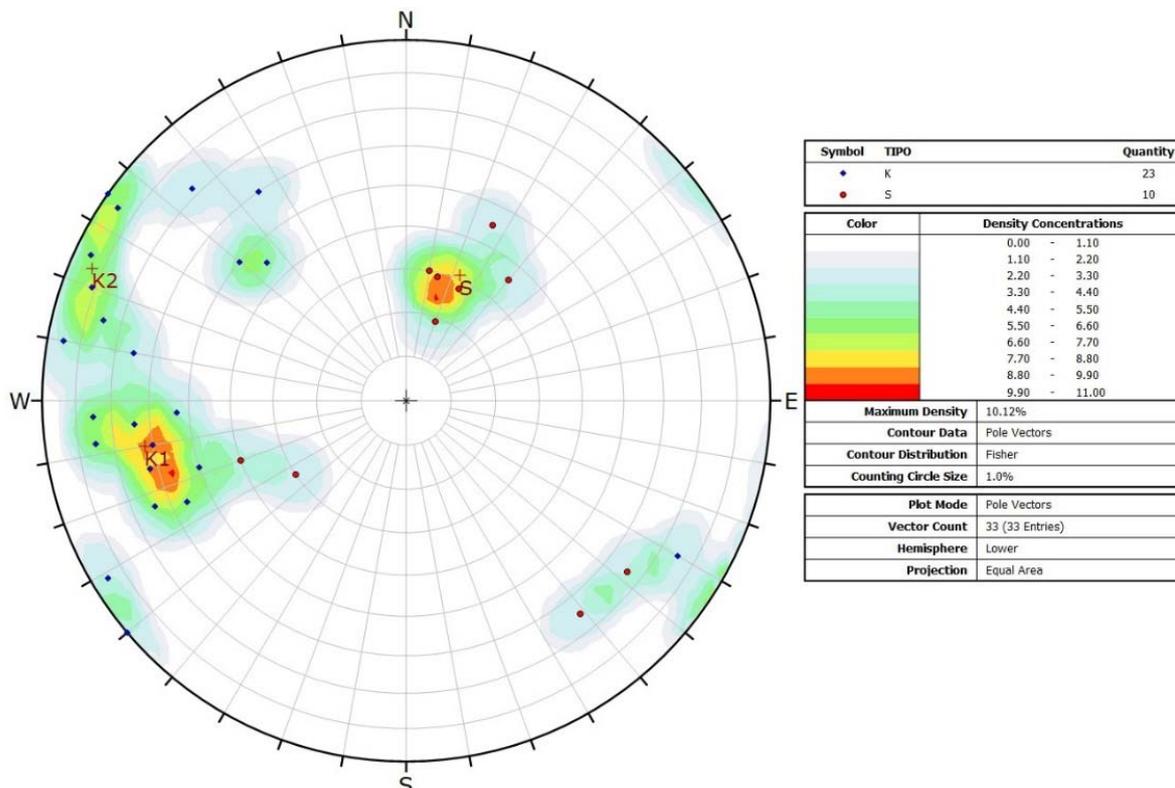


**Fig. 4.5/C Stazione COC1. Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità rilevate negli scisti manganesiferi (il simbolo di colore blu indica le discontinuità di fratture, il simbolo rosso la scistosità)**

**Tab. 4.5/A Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso in scisti manganesiferi della stazione COC1**

Sistema	S	K2	K3
Orientazione	125°/20°	32°/71°	250°/72°
Persistenza	3-10 m prevalente, 1 – 3 m secondaria	< 1m prevalente 1 – 3 m secondaria	< 1m
Spaziatura	6-20 cm prevalente, 2-6 cm secondaria	6-20 cm e 60-200 cm	6-20 cm
Scabrezza	planare, liscia	Planare, ondulata (rara) rugosa o liscia	Planare, ondulata (rara) rugosa
JRC	2-4 prevalente, 6-8	-	-
Apertura	chiusa	chiusa	chiusa
Condizioni d'alterazione	moderatamente alterata	moderatamente alterata	debolmente alterata
Riempimento	assente	assente	assente
Presenza d'acqua	assente	assente	assente
JCS	-	53 MPa	-

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 61 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

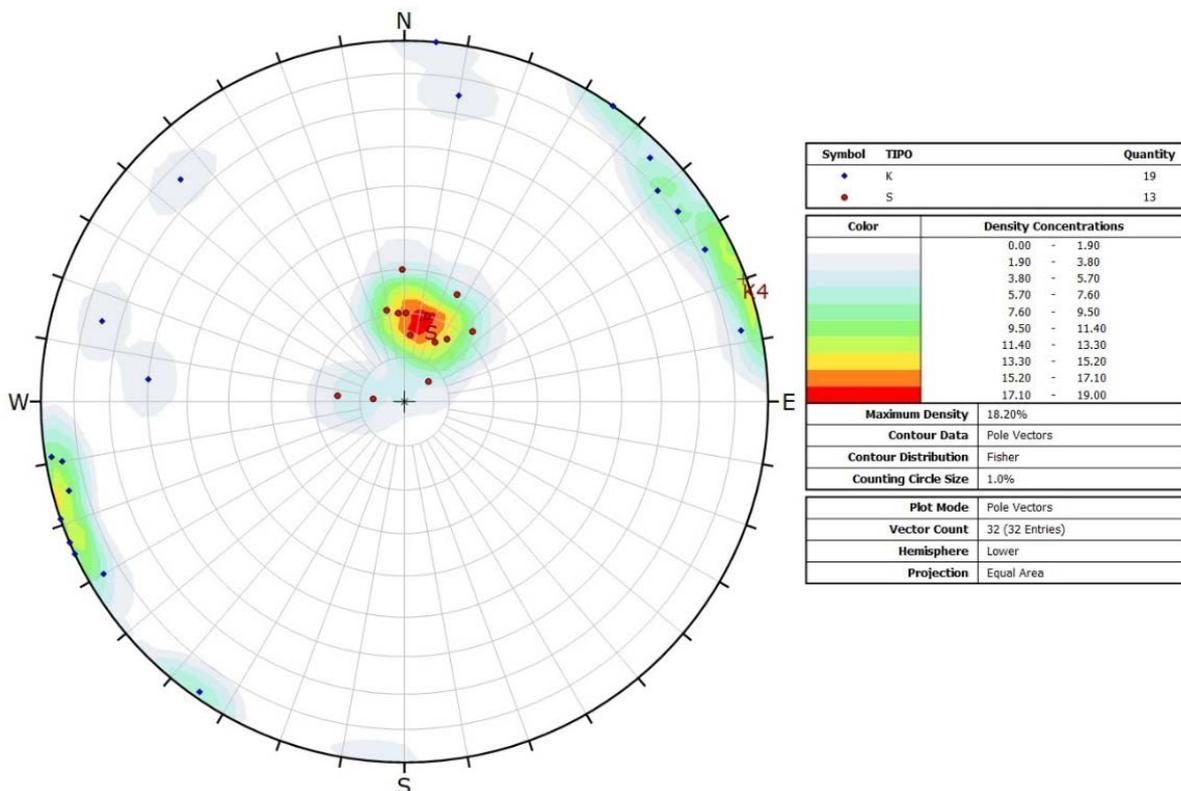


**Fig. 4.5/D Stazione COC2. Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità rilevate negli scisti manganesiferi (il simbolo di colore blu indica le discontinuità di fratture, il simbolo rosso la scistosità)**

**Tab. 4.5/B Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso in scisti manganesiferi della stazione COC2**

Sistema	S	K1	K2
Orientazione	113°/31°	351°/63°	23°/83°
Persistenza	3- 10 m prevalente, 1-3 m secondaria	<1 m prevalente, 1-3 m rara	<1 m prevalente, 1-3 m rara
Spaziatura	2-6 cm prevalente, 6-20 cm rara	2-6 cm prevalente, 6-20 cm secondaria	6-20 cm prevalente, 2-6 cm rara
Scabrezza	ondulata, planare liscia, rugosa	Planare, ondulata, segmentata, rugosa	Planare, talora ondulata, rugosa
Apertura	chiusa	chiusa	chiusa
Condizioni d'alterazione	debolmente alterata	debolmente alterata	debolmente alterata
Riempimento	assente	quarzo frequente	talora quarzo
Presenza d'acqua	assente	assente	assente

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 62 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 4.5/E** Stazione COC3. Proiezione equiareale sulla semisfera inferiore delle discontinuità rilevate negli scisti manganeseiferi (il simbolo di colore blu indica le discontinuità di fratture, il simbolo rosso la scistosità)

**Tab. 4.5/C** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso in scisti manganeseiferi della stazione COC3

Sistema	S	K4
Orientazione	104°/19°	160°/89°
Persistenza	3-10 m	<1 m prevalente, 1-3 m e 3-10 m secondarie
Spaziatura	< 2cm prevalente, 2-6 cm secondaria	20-60 cm prevalente, 6-20 cm secondaria
Scabrezza	ondulata, liscia	ondulata, talora planare rugosa, talora liscia
Apertura	chiusa	chiusa, talora aperta
Condizioni d'alterazione	moderatamente alterata	moderatamente alterata
Riempimento	assente	quarzo raro
Presenza d'acqua	assente	assente

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 63 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 4.5/F** Stazione COC1



**Fig. 4.5/G** Stazione COC2

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 64 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 4.5/H Stazione COC3**

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 65 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

#### 4.5.3 Classificazione degli ammassi rocciosi

I valori stimati degli indici RMRb, Q e GSI sono riportati nelle tabelle che seguono. Nella tabella finale, in cui è indicato il giudizio complessivo degli ammassi rocciosi di scisti manganesiferi di Costa della Cà, la classe di qualità di Beniawski è stimata sulla base di RMR<sub>c</sub>, che tiene conto dell'orientazione delle discontinuità rispetto alla direzione dello scavo.

**Tab. 4.5/D Classificazione RMR (indice RMRb) degli ammassi rocciosi di scisti manganesiferi**

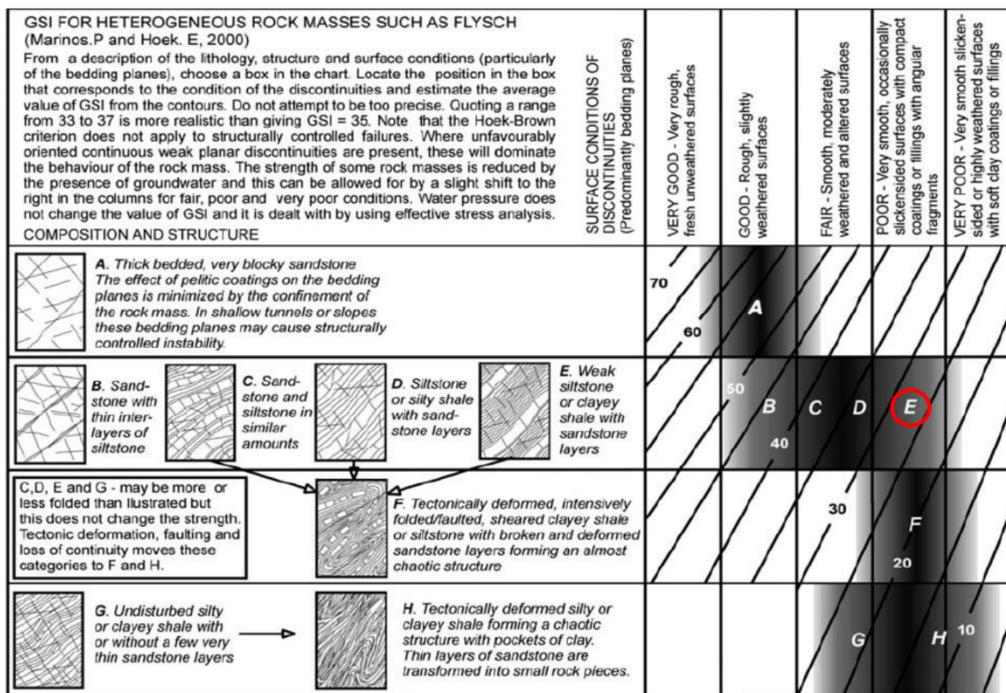
Parametri	COC1		COC2		COC3	
	Valore	Rating	Valore	Rating		
Resistenza alla compressione mono-assiale	25-50 Mpa	4	<25 Mpa	2	25-50 Mpa	4
RQD	<25%	3	<25%	3	<25%	3
Spaziatura delle discontinuità	2 – 6 cm	5	2 – 6 cm	5	<2 cm	5
Condizioni delle discontinuità -persistenza	2	14	2	14	2	11
Condizioni delle discontinuità -apertura	4		4		1	
Condizioni delle discontinuità -rugosità	1		1		1	
Condizioni delle discontinuità -alterazione	3		3		3	
Condizioni delle discontinuità -riempimento	4		4		4	
Condizioni idrauliche	Drenate	15	Drenate	15	Drenate	15
INDICE BRMR		41		39		38
Coesione (kPa), angolo d'attrito (°)		205 25.5		195 24.5		190 24.0
Modulo di deformazione (MPa)		6		5		4

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 66 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Tab. 4.5/E Classificazione Q di Barton degli ammassi rocciosi di scisti manganeseferi**

COC1		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	25%	25
J <sub>n</sub>	Tre sistemi di discontinuità	9
J <sub>r</sub>	Giunti lisci, piani	1
J <sub>a</sub>	Giunti alterati, con spalmature	3
J <sub>w</sub>	Assente o scarsa	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		1.8
COC2		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	15%	15
J <sub>n</sub>	Tre sistemi di discontinuità	9
J <sub>r</sub>	Giunti lisci, ondulati	2
J <sub>a</sub>	Giunti leggermente alterati, con spalmature	2
J <sub>w</sub>	Assente o scarsa	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		1.7
COC3		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	15%	15
J <sub>n</sub>	Due sistemi, più discontinuità non sistematiche	6
J <sub>r</sub>	Giunti lisci, ondulati	2
J <sub>a</sub>	Giunti alterati, con spalmature	3
J <sub>w</sub>	Assente o scarsa	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		1.7

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 67 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 4.5/O** Classificazione GSI degli ammassi rocciosi di scisti manganeseiferi

**Tab. 4.5/F** Parametri necessari per il calcolo delle caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso con il l'indice GSI.

Parametri	Stima
$\sigma_c$	25-50 MPa
GSI	25-30
$m_i$	7±4 (slates)

**Tab. 4.5/G** Giudizio complessivo degli ammassi rocciosi di scisti manganeseiferi di Costa della Cà

COC1		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMRC	36	Classe IV, scadente
Q	1.8	Classe VI, scadente
GSI	25-30	Flysch tipo E
COC2		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMRC	34	Classe IV, scadente
Q	1.7	Classe VI, scadente
GSI	25-30	Flysch tipo E
COC3		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMRC	33	Classe IV, scadente
Q	1.7	Classe VI, scadente
GSI	25-30	Flysch tipo E

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 68 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

#### 4.6 Sintesi dei risultati dell'indagine

I risultati delle classificazioni geomeccaniche sono rappresentate nella sezione geologico - geomeccanica di fig. 4.5/B, in cui è riportato il profilo di scavo del microtunnel. Le condizioni di resistenza dell'ammasso roccioso di scisti manganesiferi sono sostanzialmente uniformi lungo tutto il tracciato, con valori di  $RMR_c$  che si situano nella classe IV di Beniawski; nel sistema Q i valori ottenuti rientrano nella classe VI. Uniformi risultano anche i valori di GSI.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 69 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 5. TRENCHLESS MONTE BADO

### 5.1 Premessa

Il *microtunnel* Monte Bado sarà realizzato lungo il crinale Monte Becco – Monte Bado, che rappresenta lo spartiacque tra la Val Bisagno ad Ovest e la Val Lavagna ad Est, attraversando i territori comunali di Sori e Lumarzo.

Il rilievo è caratterizzato da quote relativamente elevate, che raggiungono gli 893 m s.l.m. nel Monte Becco ed i 910 m s.l.m. nel Monte Bado; la soluzione in sotterraneo, della lunghezza di 1615 m, posta tra le progressive km 47,445 e km 49,060 consentirà di evitare la risalita lungo il settore di alta quota del crinale.

### 5.2 Inquadramento geomorfologico

La dorsale M. Becco – M. Bado si sviluppa con andamento circa rettilineo lungo una direzione SSO – NNE. I versanti sono caratterizzati da elevata acclività, maggiore nel settore orientale, in cui si raggiungono pendenze medie di 35°, con tratti che approssimano i 40°, minore nel versante occidentale in cui l'acclività è compresa generalmente intorno a 25°- 35°.

Nel versante SE del M. Becco gli stretti avvallamenti che lo incidono sono occupati da depositi di frane di colamento; nel versante Ovest sono presenti due estese frane complesse, quiescenti. Nei versanti del M. Bado non si osservano movimenti gravitativi di entità significativa, se non a quote molto basse (la grande frana complessa dell'abitato di Pannesi).

### 5.3 Assetto geologico – strutturale

La dorsale M. Becco – M. Bado, nel tratto interessato dall'opera in sotterraneo, è interamente costituita da calcari marnosi e marne calcaree della Formazione di Monte Antola. L'assetto strutturale, trascurando la variabilità giacitura alla scala dell'affioramento, determinata da pieghe e ondulazioni di cui è difficile ricostruire la geometria, è grossolanamente di tipo monoclinale, con orientazione della stratificazione da ONO-ESE a ENE-OSO circa e immersione verso S di 15°- 30°. La sequenza calcarea rappresenta il fianco inverso di un'anticlinale rovesciata verso NE, troncata dal sovrascorrimento sugli Scisti Manganesiferi del Gruppo degli Scisti della Val Lavagna. È possibile che la faglia ad orientazione NO-SE, con immersione verso NE di circa 50°, rilevata nel versante orientale del Monte Becco possa interessare il tracciato del *microtunnel*.

### 5.4 Inquadramento idrogeologico

La Formazione del M. Antola costituisce un complesso idrogeologico da mediamente ad altamente permeabile per fratturazione e in misura limitata per carsismo.

Nell'area dell'opera *trenchless* sono presenti tre sorgenti, tutte di ridotta portata (per la localizzazione vedi Carta idrogeologica LC-D-83217).

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	Fg. 70 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

La sorgente situata sul versante occidentale della dorsale Monte Bado – Monte Becco, ad una quota di 765 m s.l.m., è alimentata da circuiti di carattere locale impostati all'interno dell'acquifero dei Calcari del Monte Antola. Il tracciato di progetto attraversa l'acquifero carbonatico a profondità ampiamente inferiori alla quota di emergenza; pertanto si può escludere ogni interferenza con il regime della sorgente.

La sorgente Rio Cretti, situata alla quota di 730 m s.l.m. nella testata del rio Fosso del Becco, è caratterizzata da una portata molto bassa. L'area di ricarica è limitata alla sottile coltre detritica che occupa il versante a monte della sorgente.

La terza sorgente, che scaturisce alla quota di 705 m s.l.m., a valle dell'imbocco meridionale del *microtunnel*, è verosimilmente un'emergenza per affioramento della piezometrica, alimentata da circolazione nei depositi detritici che occupano la testata del Fosso del Becco e nel materiale di riporto che forma il deposito situato a fianco dell'Osteria del Becco.

L'area di ricarica delle tre sorgenti si può quindi considerare come sostanzialmente indipendente dalla porzione dell'ammasso roccioso calcareo attraversato dal tracciato di progetto, ed indicativa della presenza di una circolazione superficiale indipendente dalla circolazione più profonda dell'acquifero, il cui livello di base si può ritenere posto a quote significativamente inferiori alla quota di scavo della galleria e del *microtunnel*.

Per quanto riguarda il carsismo, nell'acquifero carbonatico, a causa della presenza di frequenti livelli marnoso-argillosi che riducono la permeabilità più elevata dei livelli francamente calcarei, i fenomeni di dissoluzione hanno sviluppo molto limitato. Morfologie carsiche (depressioni doliniformi) sono note nei dintorni di Genova (Monte Fasce e Monte Moro); cavità carsiche sono state intercettate durante i lavori di costruzione di alcune delle gallerie dell'autostrada Genova - Sestri Levante. Forme carsiche minori (scannellature, solchi), sono assenti nella dorsale Monte Bado – Monte Becco.

In conclusione si ritiene che la realizzazione dell'opera *trenchless* abbia un'influenza trascurabile sull'assetto idrogeologico, non interferendo né sulla circolazione superficiale né sulla circolazione idrica profonda dell'acquifero carbonatico, e che la probabilità che vengano intercettati condotti e cavità carsiche sia molto ridotta, anche se non del tutto escludibile.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 71 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 5.5 Studio geomeccanico

### 5.5.1 Introduzione

La caratterizzazione geomeccanica delle unità litologiche che costituiscono la dorsale M. Becco - M. Bado è basata su 5 stazioni, 4 stendimenti e un sito di rilevamento (fig. 5.5/A), distribuiti lungo l'asse del tracciato di progetto. La presenza di reti metalliche di protezione della scarpata stradale ha impedito l'esecuzione del rilievo geomeccanico nel lungo tratto della strada di Monte Fasce che corre parallelamente al tracciato di progetto.

### 5.5.2 Caratterizzazione degli ammassi rocciosi

Le caratteristiche litologiche degli ammassi rocciosi rilevati sono sostanzialmente uniformi. Si tratta di calcari marnosi a base calcarenitica, di colore marrone scuro, di spessore generalmente decimetrico, sovente con strutture sedimentarie (laminazione convoluta, *ripple marks*) e di marne calcaree di colore grigio chiaro in strati metrici, che rappresentano il litotipo predominante nell'area investigata. Meno frequenti sono i livelli di argilliti grigio scure, poste a tetto degli strati torbiditici. I calcari marnosi sono caratterizzati da elevata resistenza a compressione della matrice rocciosa; buone caratteristiche di resistenza, anche se inferiori ai calcari, sono da attribuire alle marne calcaree. Le argilliti per contro sono fortemente anisotrope (per marcata fissilità) e dotate di resistenza inferiore ai calcari e alle marne.

Negli ammassi rocciosi di tutte le stazioni del rilievo geomeccanico la stratificazione è il sistema di discontinuità predominante, per ubiquità e persistenza. Non tutti i sistemi di frattura riconosciuti sono per contro presenti in tutte le stazioni con frequenza significativa; i sistemi con orientazione analoga nelle diverse stazioni sono stati denominati con una stessa sigla.

I parametri geometrici e fisico-meccanici principali dei sistemi di discontinuità definiti dal rilievo geomeccanico (giacitura, persistenza, spaziatura, scabrezza, apertura, condizioni d'alterazione, presenza d'acqua, riempimento, JRC e JCS) sono illustrati nelle tabelle delle pagine seguenti.

#### Stazione MB1

Stazione prossima all'imbocco meridionale. L'ammasso roccioso è costituito da calcari marnosi e marne calcaree prevalenti, con intercalazioni di calcareniti marroni.

Sulla base del rilievo geomeccanico sono stati riconosciuti quattro sistemi di discontinuità principali: la stratificazione S e i sistemi di frattura K1, K1' e K4 (fig. 5.5/C). La scarsità di dati relativi alla stratificazione dipende da difficoltà di misurazione nell'affioramento.

#### Stazione MB2

Stazione situata lungo il crinale M. Becco – M. Bado. L'ammasso roccioso è costituito da calcari marnosi e marne calcaree scistose prevalenti, con intercalazioni di calcari cristallini grigio scuri, tagliati da frequenti vene di calcite, di orientazione irregolare.

Sulla base del rilievo geomeccanico sono stati riconosciuti tre sistemi di discontinuità principali: la stratificazione S e i sistemi di frattura K1' e K3 (fig. 4.5/D).

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 72 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

#### Stazione MB3

Stazione situata lungo il crinale M. Becco – M. Bado. L'ammasso roccioso è costituito da calcari marnosi e marne calcaree scistose prevalenti con frequenti intercalazioni di calcari cristallini di colore marrone-rossastro di spessore decimetrico.

Sulla base del rilievo geomeccanico sono stati riconosciuti tre sistemi di discontinuità principali: la stratificazione S e i sistemi di frattura K4 e K5 (fig. 5.5/E).

#### Stazione MB4

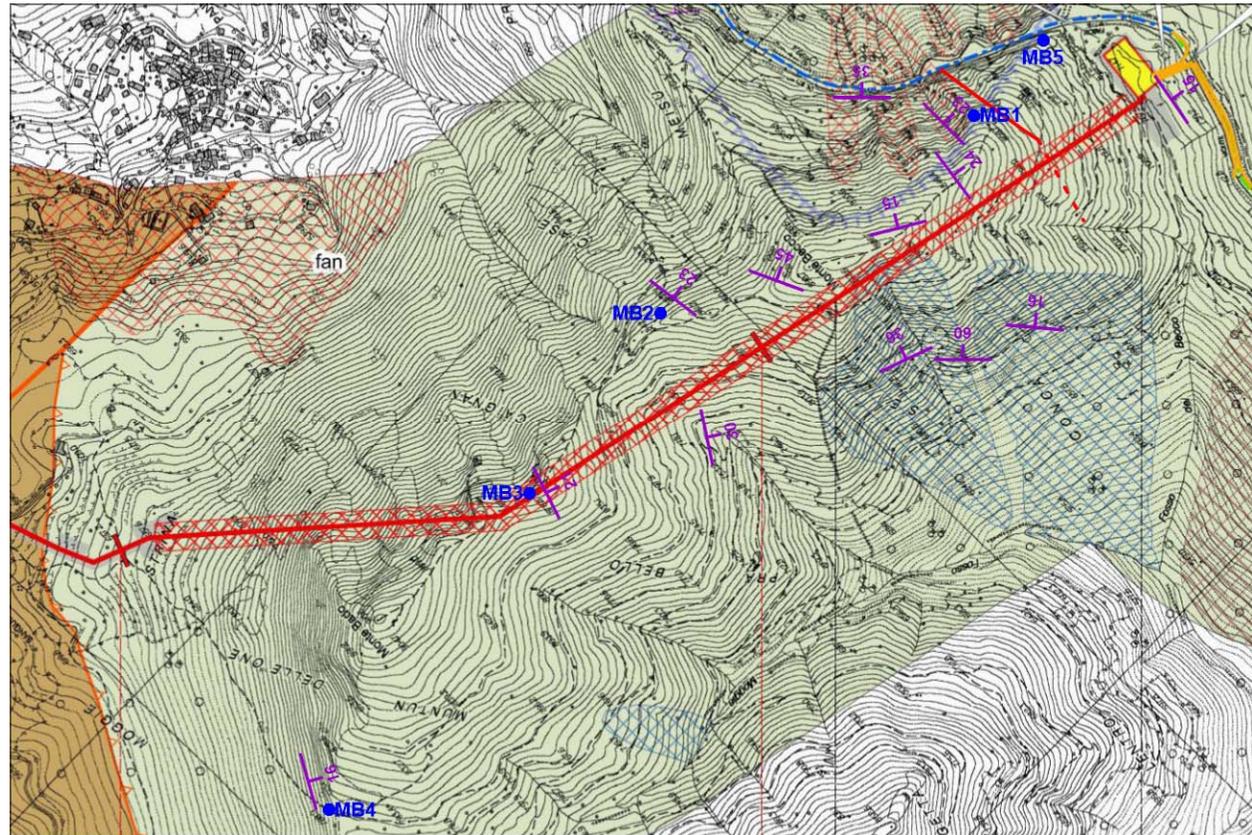
Stazione situata lungo il crinale M. Becco – M. Bado. L'ammasso roccioso è costituito da calcari marnosi fissili prevalenti con intercalazioni di calcari cristallini di colore marrone –rossastro di spessore decimetrico talora boudinati.

Sulla base del rilievo geomeccanico sono stati riconosciuti tre sistemi di discontinuità principali: la stratificazione S e i sistemi di frattura K1 e K2 (fig. 5.5/F).

#### Stazione MB5

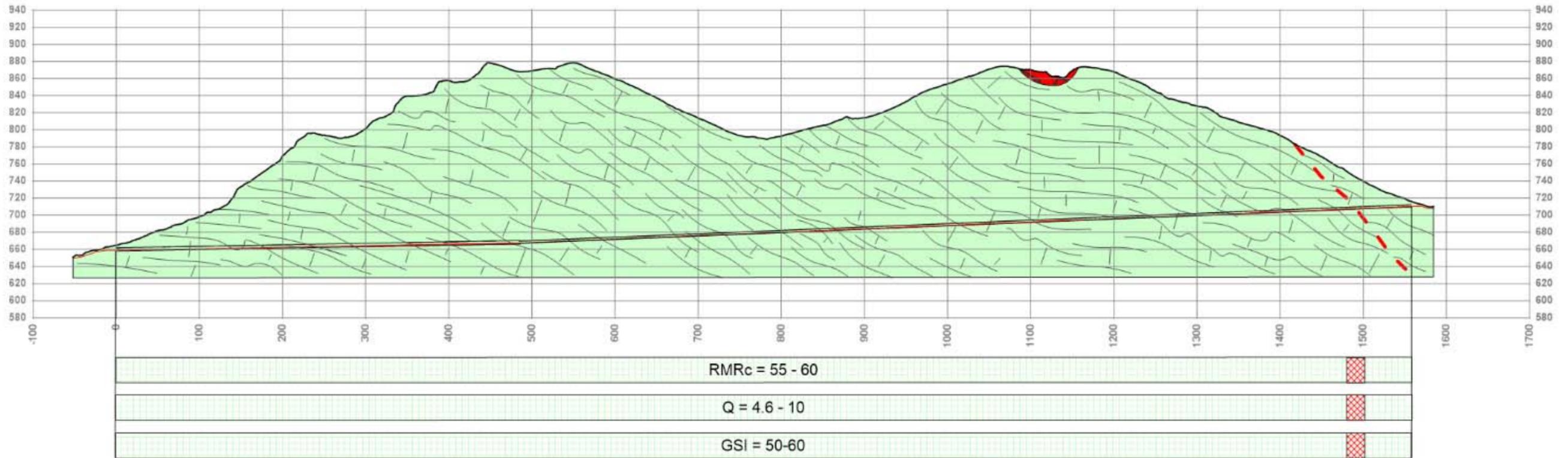
Stazione prossima all'imbocco meridionale. L'ammasso roccioso è costituito da calcari marnosi e marne calcaree prevalenti, con rare intercalazioni di calcari cristallini marroni. Sulla base del rilievo geomeccanico sono stati riconosciuti due sistemi di discontinuità principali: la stratificazione S e il sistema di frattura K1 (fig. 5.5/G), oltre a numerose fratture non sistematiche e di difficile rilevamento.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	Fg. 73 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



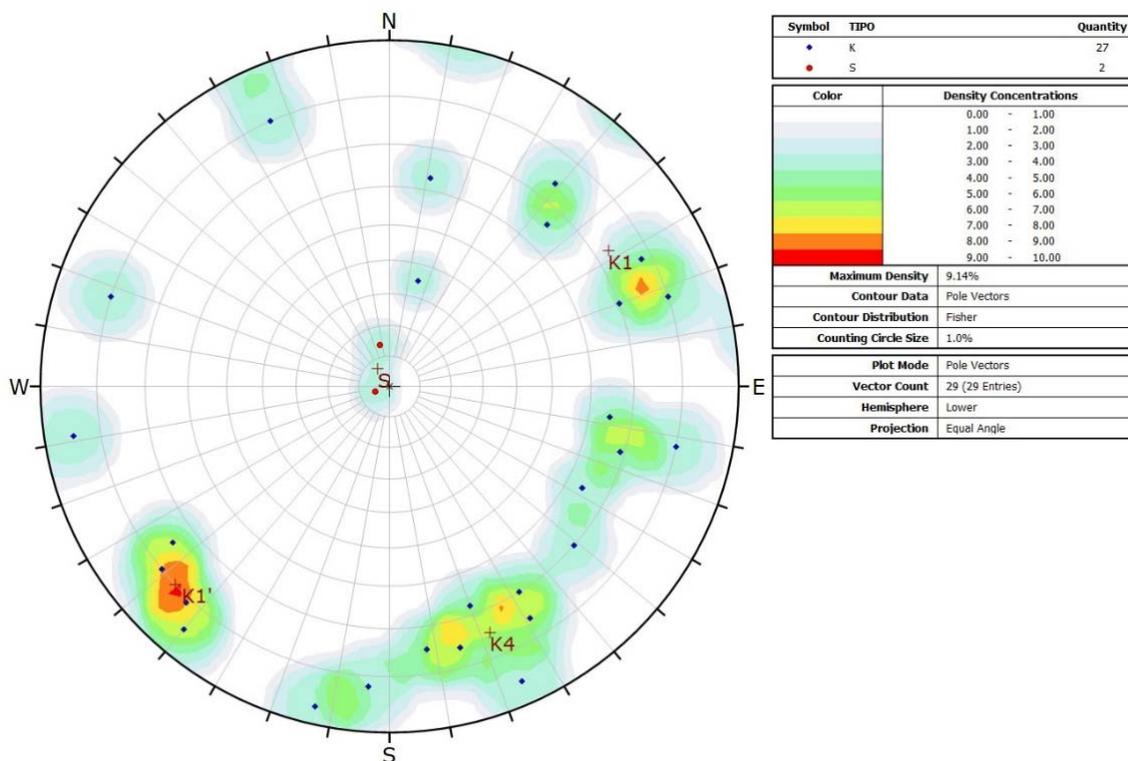
**Fig. 5.5/A** Stralcio modificato dalla Carta geologico-geomorfologica a scala 1:10.000 (Dis. LB-D-83209). **LEGENDA:** Formazione di Monte Antola (fan), Scisti Manganesiferi (smg), rottura di pendio (linea dentellata di colore grigio), movimenti franosi da Piano di Bacino (quadrettato rosso e blu), stazioni del rilievo geomeccanico (simbolo circolare blu)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	Fg. 74 di 89	<b>Rev.</b> 0



**Fig. 5.5/B** Sezione geologico –geomeccanica lungo il tracciato del microtunnel Monte Bado (senso gas). **LEGENDA:** Formazione del Monte Antola (colore verde chiaro), accumulo di frana quiescente Pg3a (colore rosso), tracciato della galleria e del microtunnel (linee di colore nero), tracciato del metanodotto (linea di colore rosso). Nella fincatura sono riportati i valori delle classificazioni geomeccaniche; in quadrettato rosso la possibile zona di faglia

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 75 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

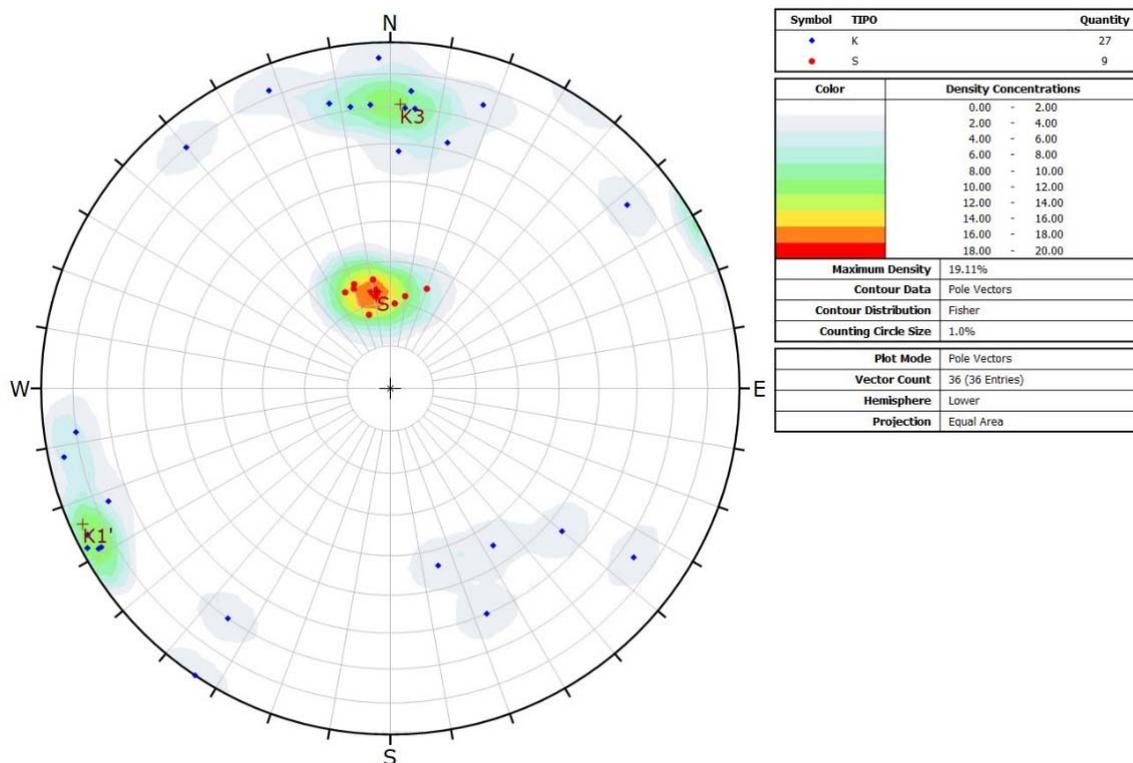


**Fig. 5.5/C** Proiezione stereografica equiareale dei poli delle discontinuità rilevate nella stazione MB1 (simbolo di colore blu per le discontinuità di frattura, di colore rosso per la stratificazione).

**Tab. 5.5/A** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso MB1

Sistema	S	K1	K1'	K4
<b>Orientazione</b>	56°/7°	148°/73°	317°/80°	248°/75°
<b>Spaziatura</b>	2-6 cm 6-20 cm	6-20 cm	2-6 cm 20-60 cm (prevalente)	2-6 cm 6-20 cm 60-200 cm
<b>Persistenza</b>	3-10 m (prevalente) 10-20 m	< 1m (prevalente) 1-3 m	< 1m	3-10 m
<b>Scabrezza</b>	planare (prevalente) ondulata, rugosa	planare, rugosa	planare, segmentata (rara), rugosa o liscia	planare, ondulata (rara), liscia o rugosa (rara),
<b>Condizioni d'alterazione</b>	debolmente alterata	da debolmente moderatamente alterata	debolmente alterata	debolmente alterata
<b>Riempimento</b>	assente	calcite	assente	assente
<b>Apertura</b>	chiusa	chiusa, raramente aperta	chiusa	chiusa, raramente aperta
<b>Presenza d'acqua</b>	assente	assente	assente	assente

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 76 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

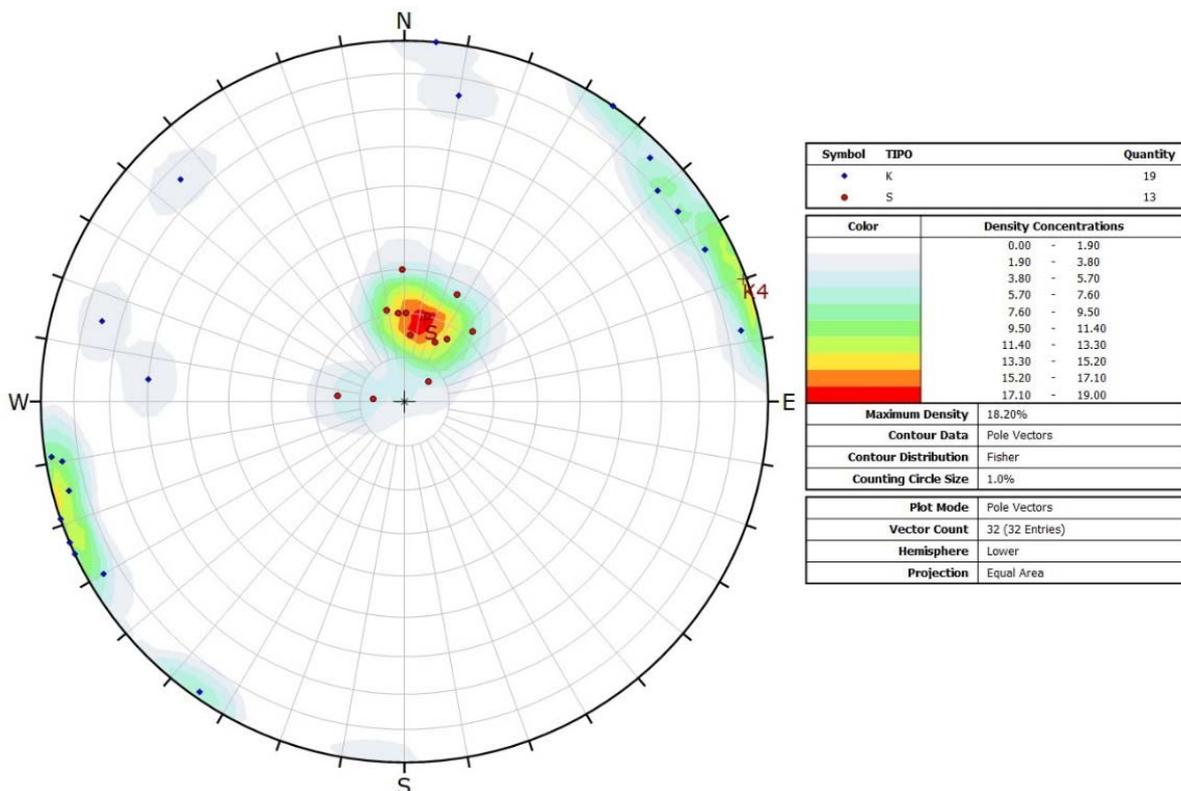


**Fig. 5.5/D** Proiezione stereografica equiareale dei poli delle discontinuità rilevate nella stazione MB2 (simbolo di colore blu per le discontinuità di frattura, di colore rosso per la stratificazione)

**Tab. 5.5/B** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso MB2

Sistema	S	K1'	K3
<b>Orientazione</b>	82°/23°	92°/71°	336°/86°
<b>Spaziatura</b>	6-20 cm (prevalente) 20-60 cm	20-60 cm (prevalente) 60-200 cm	6-20 cm (prevalente) 2-6 cm
<b>Persistenza</b>	3 m – 10 m	< 1m, 3-10 m (rara)	< 1m
<b>Scabrezza</b>	planare, liscia o rugosa	planare, talora ondulata, liscia o rugosa	planare, liscia
<b>JRC</b>	4-6	8-10	
<b>Condizioni d'alterazione</b>	debolmente alterata	debolmente alterata	debolmente alterata
<b>Riempimento</b>	assente	assente	assente
<b>Apertura</b>	chiusa	chiusa, raramente aperta	chiusa, raramente aperta
<b>Presenza d'acqua</b>	assente	assente	assente
<b>JCS</b>	78 Mpa	44-66 MPa	

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco	Fg. 77 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

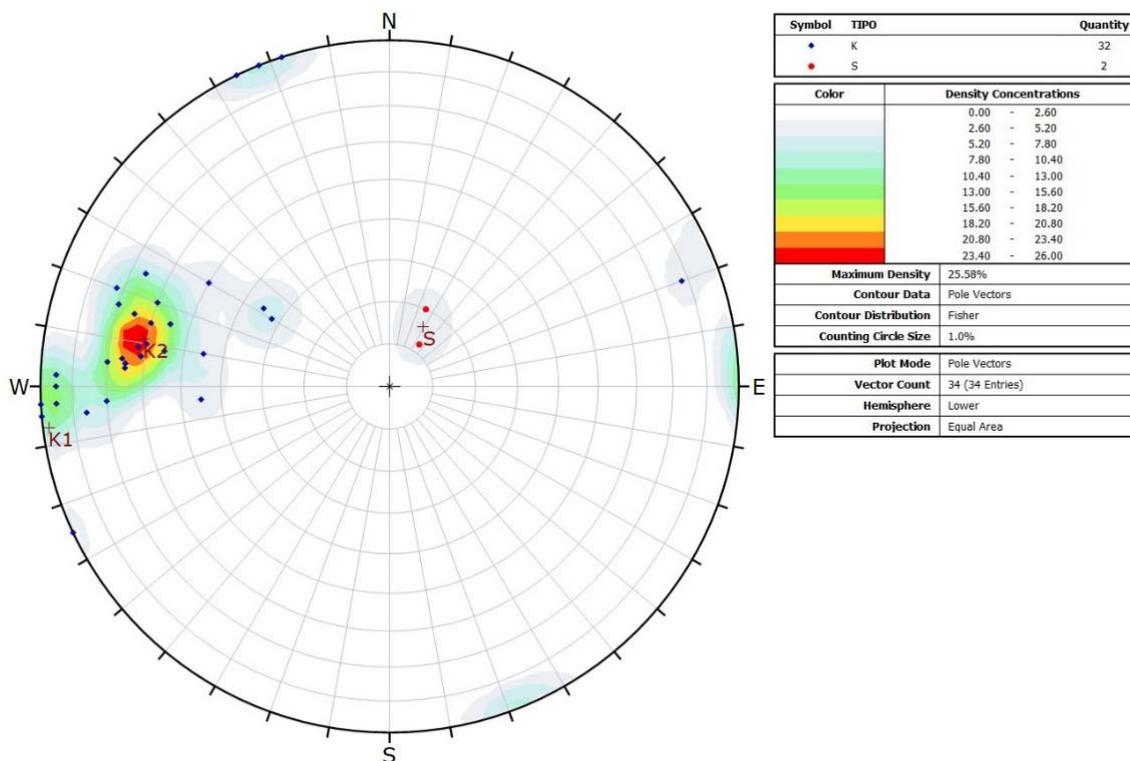


**Fig. 5.5/E** Proiezione stereografica equiareale dei poli delle discontinuità rilevate nella stazione MB3 (simbolo di colore blu per le discontinuità di frattura, di colore rosso per la stratificazione)

**Tab. 5.5/C** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso MB3

Sistema	S	K4	K5
<b>Orientazione</b>	108°/21°	211°/86°	277°/79°
<b>Spaziatura</b>	6-20 cm (prevalente) 2-6 cm (rara)	20-60 cm e 6-20 cm	6-20 cm (prevalente) 20-60 cm e 60-200 cm (rara)
<b>Persistenza</b>	3 m – 10 m 1-3 m (rara)	< 1m,	< 1m 1-3 m e 3-10 m rare
<b>Scabrezza</b>	planare, liscia o levigata (rara)	planare, ondulata, liscia, rugosa (rara)	planare, ondulata, liscia o rugosa
<b>JRC</b>	2-4, 4-6	-	-
<b>Condizioni d'alterazione</b>	da debolmente a moderatamente alterata	da non alterata a debolmente alterata	da non alterata a moderatamente alterata
<b>Riempimento</b>	assente	calcite rara	assente
<b>Apertura</b>	chiusa	chiusa	chiusa, raramente aperta
<b>Presenza d'acqua</b>	assente	assente	assente
<b>JCS</b>	40 Mpa, 67 Mpa	-	-

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 78 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

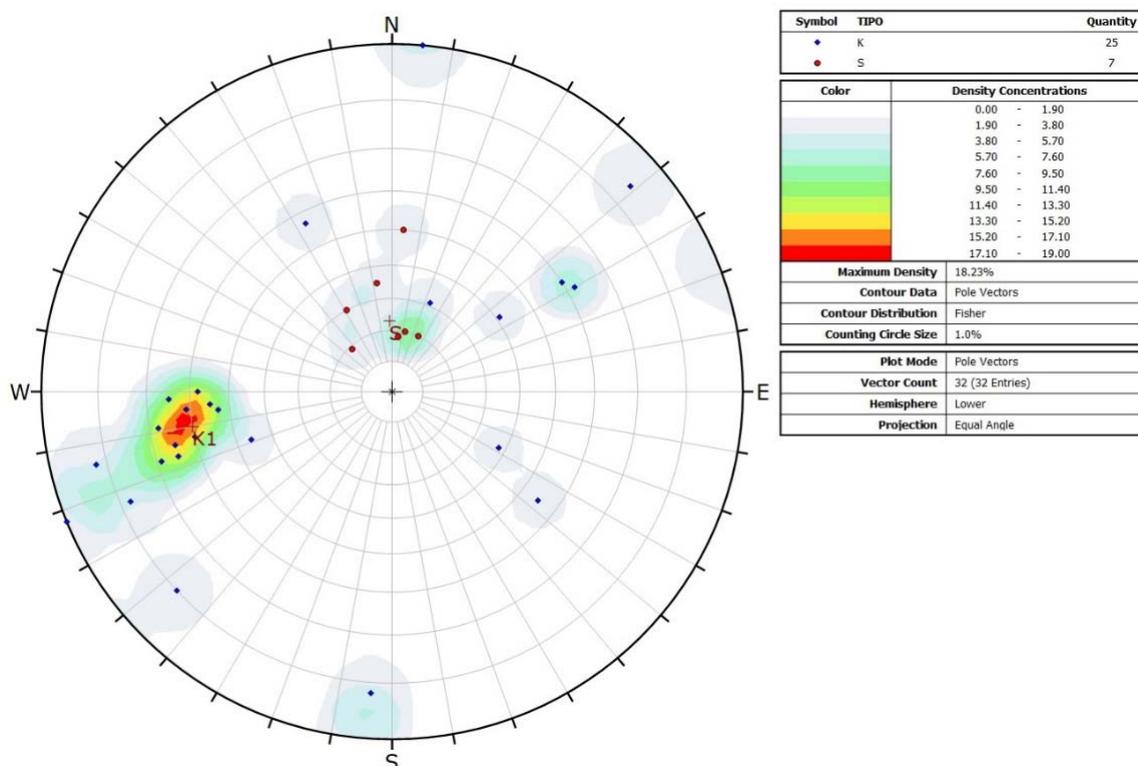


**Fig. 5.5/F** Proiezione stereografica equiareale dei poli delle discontinuità rilevate nella stazione MB4 (simbolo di colore blu per le discontinuità di frattura, di colore rosso per la stratificazione)

**Tab. 5.5/D** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso MB4

Sistema	S	K1	K2
<b>Orientazione</b>	119°/16°	353°/88°	11°/61°
<b>Spaziatura</b>	6-20 cm	6-20 cm (prevalente) 2-6 cm	6-20 cm (prevalente) 2-6 cm e 20-60 cm
<b>Persistenza</b>	10 m – 20 m	< 1m e 1-3 m	< 1m e 1-3 m
<b>Scabrezza</b>	ondulata, liscia	Planare, talora ondulata, liscia o rugosa	Planare, talora ondulata, liscia o rugosa
<b>JRC</b>	12 – 14 prevalente	2 - 4	
<b>Condizioni d'alterazione</b>	debolmente alterata	debolmente alterata	debolmente alterata
<b>Riempimento</b>	assente	calcite rara	assente
<b>Apertura</b>	chiusa	chiusa, raramente aperta	chiusa
<b>Presenza d'acqua</b>	assente	assente	assente
<b>JCS</b>	39 Mpa	75 Mpa	-

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 79 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 5.5/G** Proiezione stereografica equiareale dei poli delle discontinuità rilevate nella stazione MB5 (simbolo di colore blu per le discontinuità di frattura, di colore rosso per la stratificazione)

**Tab. 5.5/E** Caratterizzazione delle famiglie di discontinuità dell'ammasso roccioso MB5

Sistema	S	K1
<b>Orientazione</b>	88°/23°	353°/88°
<b>Spaziatura</b>	2-6 cm 6-20 cm (prevalente)	6-20 cm (prevalente) 20-60 cm
<b>Persistenza</b>	< 1m, 1-3 m 3 m – 10 m (prevalente)	< 1m, 1-3 m, 3 m – 10 m (rara)
<b>Scabrezza</b>	Planare liscia (prevalente), ondulata, rugosa	Planare, talora ondulata, liscia o rugosa
<b>JRC</b>	8-10, 12 – 14	6-8
<b>Condizioni d'alterazione</b>	debolmente alterata	debolmente alterata
<b>Riempimento</b>	Calcite rara	calcite molto frequente
<b>Apertura</b>	chiusa	chiusa
<b>Presenza d'acqua</b>	assente	assente
<b>JCS</b>	80 Mpa	

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 80 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 5.5/H Stazione MB1**



**Fig. 5.5/I Stazione MB2**

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 81 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

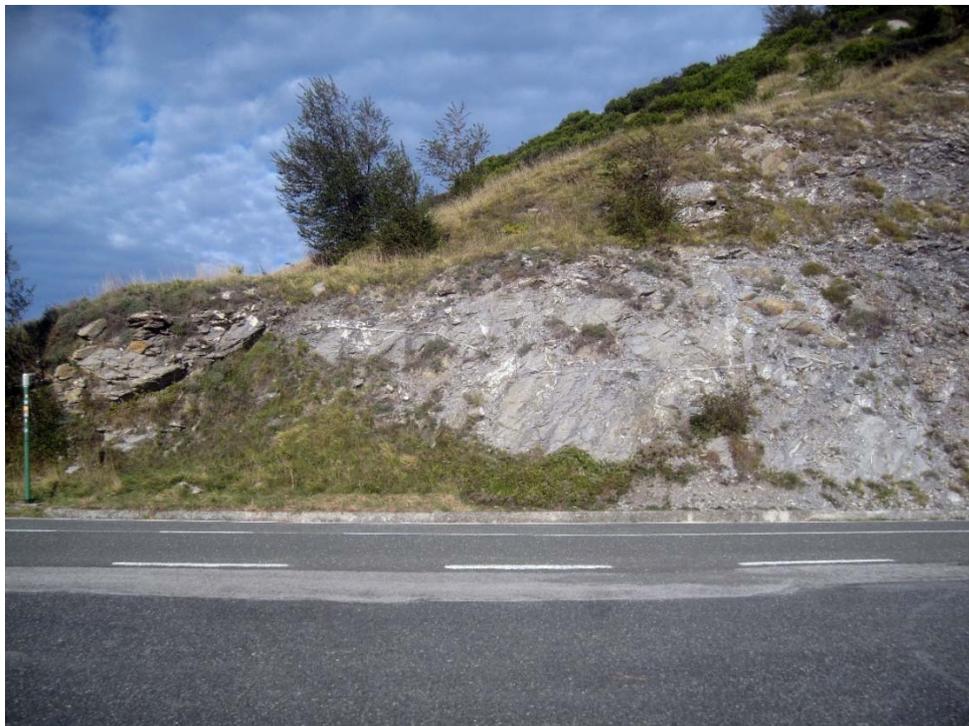


**Fig. 5.5/L Stazione MB3**



**Fig. 5.5/M Stazione MB4**

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 82 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 5.5/N Stazione MB5**

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 83 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 5.5.3 Classificazione degli ammassi rocciosi

I valori stimati degli indici RMR<sub>c</sub>, Q e GSI sono riportati nelle tabelle che seguono. Nella tabella finale, in cui è indicato il giudizio complessivo degli ammassi rocciosi di calcari marnosi, la classe di qualità di Beniawski è stimata sulla base di RMR<sub>c</sub>, che tiene conto dell'orientazione delle discontinuità rispetto alla direzione dello scavo.

**Tab. 5.5/F Classificazione RMR (indice RMR<sub>b</sub>) degli ammassi rocciosi di calcari marnosi**

Parametri	MB1		MB2		MB3	
	Valore	Rating	Valore	Rating	Valore	Rating
Resistenza alla compressione mono-assiale	50-100 Mpa	7	50-100 Mpa	7	50-100 Mpa	7
RQD	50% - 75%	13	50% - 75%	13	50% - 75%	13
Spaziatura delle discontinuità	6 - 20 cm	8	6 - 20 cm	8	6 - 20 cm	8
Condizioni delle discontinuità -persistenza	1	21	2	22	2	19
Condizioni delle discontinuità -apertura	4		4		4	
Condizioni delle discontinuità -rugosità	5		5		3	
Condizioni delle discontinuità -alterazione	5		5		5	
Condizioni delle discontinuità -riempimento	6		6		5	
Condizioni idrauliche	Drenate	15	Drenate	15	Drenate	15
INDICE BRMR		64		65		63
Coesione (kPa), angolo d'attrito (°)		320 37		325 7.5		310 36.0
Modulo di deformazione (MPa)		37		40		33

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 84 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Tab. 5.5/G Classificazione Q di Barton degli ammassi rocciosi di calcari marnosi**

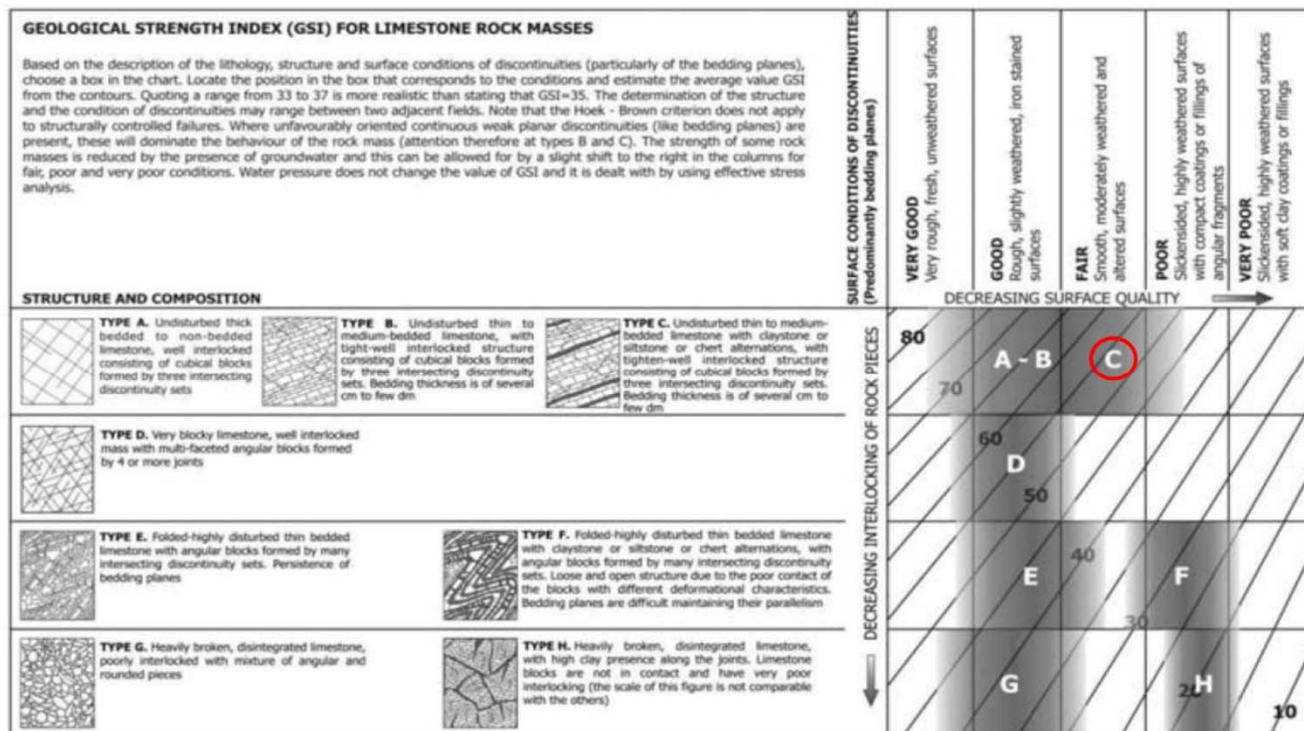
Parametri	MB4		MB5	
	Valore	Rating	Valore	Rating
Resistenza alla compressione mono-assiale	50-100 Mpa	7	50-100 Mpa	7
RQD	50% - 75%	13	50% - 75%	13
Spaziatura delle discontinuità	6 – 20 cm	8	6 – 20 cm	8
Condizioni delle discontinuità -persistenza	1	20	2	17
Condizioni delle discontinuità -apertura	4		5	
Condizioni delle discontinuità -rugosità	5		3	
Condizioni delle discontinuità -alterazione	5		5	
Condizioni delle discontinuità -riempimento	5		2	
Condizioni idrauliche	Drenate	15	Drenate	15
INDICE BRMR		63		60
Coesione (kPa), angolo d'attrito (°)		315 36.5		300 35
Modulo di deformazione (MPa)		35		29

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 85 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Tab. 5.5/H Classificazione Q di Barton degli ammassi rocciosi calcarei**

MB1		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	70%	70
J <sub>n</sub>	Tre sistemi più discontinuità non sistematiche	12
J <sub>r</sub>	Giunti ondulati rugosi	3
J <sub>a</sub>	Giunti leggermente alterati, con spalmature	2
J <sub>w</sub>	Presenza occasionale	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		8.8
MB2		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	55%	55
J <sub>n</sub>	Tre sistemi più discontinuità non sistematiche	12
J <sub>r</sub>	Giunti planari rugosi	1.5
J <sub>a</sub>	Giunti non alterati, con lieve ossidazione	1
J <sub>w</sub>	Presenza occasionale	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		6.9
MB3		
Parametro	Parametro	Parametro
RQD	55%	55
J <sub>n</sub>	Tre sistemi più discontinuità non sistematiche	12
J <sub>r</sub>	Giunti lisci, ondulati	2
J <sub>a</sub>	Giunti leggermente alterati, con spalmature	2
J <sub>w</sub>	Presenza occasionale	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		9.2
MB4		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	60%	60
J <sub>n</sub>	Tre sistemi più discontinuità non sistematiche	12
J <sub>r</sub>	Giunti ondulati lisci	2
J <sub>a</sub>	Giunti non alterati, con lieve ossidazione	1
J <sub>w</sub>	Presenza occasionale	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		10
MB5		
Parametro	Descrizione	Valore
RQD	50%	50
J <sub>n</sub>	Due sistemi più discontinuità non sistematiche	6
J <sub>r</sub>	Giunti planari lisci	1
J <sub>a</sub>	Giunti non alterati, con lieve ossidazione	1
J <sub>w</sub>	Presenza occasionale	1
SRF	Condizioni tensionali favorevoli	1
Q		8.3

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 86 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Fig. 5.5/O** Classificazione GSI degli ammassi rocciosi di calcari marnosi

**Tab. 5.5/I** Parametri necessari per il calcolo delle caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso con il l'indice GSI.

Parametri	Stima
$\sigma_c$	40-80 MPa
GSI	50÷55
$m_i$	9±2 (limestone)

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023089
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 87 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Tab. 5.5/L Giudizio complessivo degli ammassi rocciosi di calcari marnosi**

MB1		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	61	Classe II, buona
Q	8.8	Classe V, Mediocre
GSI	50-60	Flysch calcareo tipo C
MB2		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	57	Classe III, mediocre
Q	6.9	Classe V, mediocre
GSI	50-60	Flysch calcareo tipo C
MB3		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	58	Classe III, mediocre
Q	4.6	Classe V, mediocre
GSI	50-60	Flysch calcareo tipo C
MB4		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	60	Classe III, mediocre
Q	10	Classe IV, buona
GSI	50-60	Flysch calcareo tipo C
MB5		
Sistema di classificazione	Valore	Giudizio di qualità
RMrc	55	Classe III, mediocre
Q	8.3	Classe V, mediocre
GSI	50-60	Flysch calcareo tipo C

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 88 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 5.6 Sintesi dei risultati dell'indagine

I risultati delle classificazioni geomeccaniche sono rappresentate nella sezione geologico - geomeccanica di fig. 5.5/B, in cui è riportato il profilo di scavo del *microtunnel*.

Le caratteristiche degli ammassi rocciosi calcarei sono sostanzialmente uniformi lungo tutto il tracciato, con valori di RMRc che si situano al limite tra le classi II e III di Beniawski; nel sistema Q i valori ottenuti rientrano nelle classi IV e V. Uniformi risultano anche i valori di GSI.

Per quanto riguarda le condizioni idrogeologiche, le caratteristiche delle tre sorgenti presenti nell'intorno del tracciato sono indicative della presenza di una circolazione superficiale, indipendente dalla circolazione più profonda dell'acquifero, il cui livello di base può essere posto a quote significativamente inferiori alla quota di scavo della galleria e del microtunnel.

Si ritiene quindi che la realizzazione delle opere trenchless abbia un'influenza trascurabile sull'assetto idrogeologico locale, non interferendo né sulla circolazione superficiale né sulla circolazione idrica profonda dell'acquifero carbonatico.

<b>CLIENTE:</b> 	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023089</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Liguria		<b>SPC. LA-E-83016</b>	
<b>WBS CLIENTE</b> NR / 17144	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Sestri Levante - Recco		Fg. 89 di 89	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 6. BIBLIOGRAFIA

Barton N., Lien R. & Lunde J. (1974) – *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support* – Rock Mechanics 6:4:189-236.

Beniawski Z. (1989) – *Engineering rock mass classification* – J. Wiley and Sons.

Bruschi A. (2004) – *Meccanica delle rocce* – D. Flaccovio Editore

ISRM (2007) – *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006* – ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey.

Marinos V., Marinos P., Hoek E. (2005) - *The Geological Strength Index (GSI): applications and limitations* – Bull Eng Geol Environ, 64: 55-65.

Marinos, V. (2017) - *New proposed GSI Classification Charts for weak or complex rock masses* - Bulletin of the Geological Society of Greece. 43. 1248. 10.12681/bgsg.11301.