

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**U.O. GEOLOGIA**

**PROGETTO PRELIMINARE**

**NUOVA LINEA AV/AC VENEZIA - TRIESTE  
TRATTA RONCHI DEI LEGIONARI-TRIESTE**

DOCUMENTO DI RISPOSTA ALLE RICHIESTE DEL MATTM  
COMMISSIONE TECNICA VIA – VAS (prot. CTVA-2012-0003680 del 16/10/2012)

ALLEGATO ALLA RISPOSTA DEL QUESITO 20

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

L 3 4 4 0 1 R 6 9 R G S A 2 0 0 X 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	S. Rogani	Marzo 2013	S. Polimeni	Marzo 2013	D. Fochesato	Marzo 2013	F. Marchese	Marzo 2013

ITALFERR S.p.A.  
Dott. Geologo Francesco MARCHESE  
Resp. UO GEOLOGIA  
Ordine Geologi Lazio n. 179 ES

File: L344 01 R 69 RG SA200X 001 A.doc

n. Elab.:

Questo progetto è cofinanziato dalla Comunità Europea

## INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	RISPOSTA AL QUESITO 20 .....	4
2.1	RISPOSTA AL PUNTO 20.A.....	4
2.1.1	<i>Considerazioni generali.....</i>	4
2.1.2	<i>L'assetto tettonico a grandi linee .....</i>	4
2.1.3	<i>Tipologia delle strutture .....</i>	5
2.1.4	<i>Approfondimento .....</i>	6
2.1.5	<i>Analisi strutturale degli ammassi rocciosi.....</i>	9
2.1.6	<i>Stazioni geomeccaniche eseguite sulle formazioni carbonatiche .....</i>	10
2.1.7	<i>SG1 – Cava Monfalcone, via Romana (Coord Est: 2407740; Coord Nord: 5073580).....</i>	11
2.1.8	<i>SG2 – Lisert (Coord Est: 2409110; Coord Nord: 5073780).....</i>	13
2.1.9	<i>SG3 – Medeazza (Coord Est: 2410420; Coord Nord: 5072260) .....</i>	15
2.1.10	<i>SG4 – Slivia (Coord Est: 2416030; Coord Nord: 5068640).....</i>	17
2.1.11	<i>SG5 – Aurisina (Coord Est: 2418120; Coord Nord: 5067730).....</i>	20
2.1.12	<i>SG6 – Santa Croce (Coord Est: 2419420; Coord Nord: 5063840).....</i>	22
2.2	RISPOSTA AL PUNTO 20.B.....	24

## 1 PREMESSA

Il presente documento è stato emesso in risposta alle integrazioni richieste dal MATTM - COMMISSIONE TECNICA VIA – VAS (PROT.CTVA-2012-0003680 del 16/10/2012).

In particolare esso intende rispondere al quesito 20:

*In relazione alla peculiarità dell'ambiente carsico e data l'importanza dell'opera, si ritiene utile richiedere al Proponente, anche in questa fase preliminare, i seguenti chiarimenti, approfondimenti e integrazioni su Geologia, geotecnica, geomorfologia e idrogeologia dell'area:*

- a) *Fornire un maggior approfondimento degli aspetti geologico – strutturali delle aree carsiche, data l'importanza del sistema di discontinuità, faglie, fratture, master joints, piani di strato, a diversa conducibilità idraulica nel determinare lo sviluppo del carsismo ipogeo, l'orientazione delle cavità e dei condotti e l'impostazione della rete di deflusso sotterranea.*
- b) *Chiarire i motivi per i quali, a integrazione dei dati provenienti da varie fonti e dalle indagini dirette (sondaggi geognostici), non sono stati utilizzati anche strumenti e metodologie d'indagini innovative di tipo non distruttivo e/o poco invasivo, per indagini superficiali e profonde (quali, tomografie elettriche 2D e 3D, metodi elettromagnetici e magnetometrici, Ground Penetrating Radar GPR, microgravimetria, prospezioni sismiche ecc.), al fine di avere un maggior grado di affidabilità del modello geologico – geotecnico dell'area carsica attraversata dal tracciato in progetto, della definizione e quantificazione delle interferenze delle cavità con le gallerie, e di prevenire il possibile danneggiamento di eventuali formazioni carsiche intercettate dai sondaggi geognostici (quali stalattiti, stalagmiti, laghi sotterranei, etc).*

## 2 RISPOSTA AL QUESITO 20

### 2.1 Risposta al punto 20.a

#### 2.1.1 Considerazioni generali

La Relazione Geologica dell'ottobre 2010 redatta da Italferr per il Progetto preliminare della nuova linea AV/AC Venezia-Trieste – Tratta Ronchi – Trieste, non costituisce solo il risultato di alcuni mesi di rilevamento e studio di un'area, ma rappresenta e illustra una sintesi delle conoscenze geologiche e idrogeologiche acquisite in decenni di ricerche e studi effettuati da Enti di Ricerca, come il Dipartimento di Matematica e Geoscienze (ex Dipartimento di Geoscienze) dell'Università di Trieste oltre che dalla Federazione Speleologica Triestina, conoscenze peraltro ampliate rispetto a quelle, già considerevoli, acquisite da quanti, nel territorio triestino, da più di un secolo hanno studiato le litologie e l'acquifero del Carso Classico, emblema dell'idrogeologia carsica nel mondo.

Anche la cartografia geologica, geomorfologica ed idrogeologica allegata alla Relazione geologica deriva, con gli opportuni controlli ed integrazioni locali, dalla cartografia emessa dal Servizio Geologico della Regione Friuli Venezia Giulia (elaborata nel decennio 1999-2009). Di tale cartografia, redatta ed edita alla scala 1:5000 sono state utilizzate (con alcune modifiche legate ai sopralluoghi effettuati in aree nelle quali nel tempo è mutata la destinazione urbanistica) le tematiche digitalizzate e georeferenziate "Carta litostratigrafica", "Carta litostratigrafica del sottosuolo", "Carta geomorfologica", "Carta idrogeologica" "Carta della suddivisione dell'ammasso roccioso", tutte recentemente redatte, giova ripeterlo, alla scala 1:5000 sulla base cartografico - topografica degli elementi della Carta Tecnica Regionale.

Gli elaborati cartografici e la relazione di progetto preliminare rappresentano in sostanza un prodotto evoluto e basato sulle più recenti ed avanzate conoscenze relative all'area del Carso triestino. Di seguito si riportano una serie di informazioni riguardanti l'assetto geologico-strutturale della zona.

#### 2.1.2 L'assetto tettonico a grandi linee

I rilievi compresi nell'area dei Fogli GEO-CGT 110 Trieste, 131 Caresana, 109 Grado e 088 Gorizia, fanno parte della Catena delle Dinaridi Esterne, in particolare del settore di catena ad W della Faglia di Idria, imponente lineamento a cinematica trascorrente che, secondo alcuni Autori, rappresenta l'attuale "binario" orientale di scorrimento della Zolla Adriatica nel suo moto traslatorio verso N e N-W.

In particolare, l'area in esame si situa ad W dei fronti delle principali falde di ricoprimento ed è caratterizzata prevalentemente da strutture a thrust tipiche dei settori più esterni delle catene di collisione.

L'area è caratterizzata da due motivi strutturali principali e da alcuni altri non meno importanti dal punto di vista dell'evoluzione tettonica, ma riconoscibili solo in aree specifiche.

L'unità di gran lunga dominante nel panorama tettonico è il Thrust del Carso che si sviluppa in senso dinarico caratterizzando fondamentalmente tutta la zona. L'ampiezza dell'anticlinale sommitale che, nei limiti del territorio italiano, mostra il fianco settentrionale solo in una ristretta zona del Goriziano, e la potenza della serie coinvolta nel piegamento sono testimonianza di uno scollamento profondo e di un trasporto tettonico non trascurabile. L'andamento del fronte, segnato da un'importante anticlinale di rampa e dall'affioramento della rampa stessa è leggermente obliquo rispetto a quello della costa a N di Barcola, mentre nell'area urbana se ne discosta fortemente. Il limite meridionale della struttura è segnato da una rampa laterale che porta il Carso a sovrascorrere su tutte le altre unità tettoniche che caratterizzano l'area della Val Rosandra.

L'altro motivo importante è quello dei Thrust minori che interessano estesamente la zona di Flysch su cui sorge Trieste per poi prolungarsi alla base del versante costiero ed entro il Golfo. L'unità in posizione basale è costituita dalle pieghe di Monte Carso e del vicino Monte S. Michele, anticlinali rovesciate a SW a curvatura accentuata che

interessano la Formazione dei Calcarei a Alveoline e Nummuliti e il Flysch: il processo di buckling che dà origine alle pieghe deve riferirsi ad un livello di scollamento interno alla prima formazione.

Il Thrust del Carso sovrascorre in rampa laterale tutte le strutture della zona. La cronologia di messa in posto delle Unità relative all'orogenesi dinarica (e delle relative fasi deformative) segue grosso modo l'ordine di sovrapposizione con l'eccezione dei thrust dell'Unità della Ciceria che deriverebbero da un sottoscorrimento ben più recente rispetto alla messa in posto del Thrust del Carso.

Elementi risalenti a fasi deformative più antiche, sinsedimentarie, sono rappresentati nel Carso Goriziano essenzialmente da faglie trascorrenti a orientamento dinarico, mentre con orientamento antidinarico si manifestano, a tratti, le linee di transfer derivanti dalla fase di collasso non omogeneo della piattaforma carbonatica nell'Eocene.

### 2.1.3 Tipologia delle strutture

Quanto precede si riferisce soprattutto a strutture fragili, ma non mancano nell'area strutture duttili o semiduttili. Si distinguono:

- pieghe frontali di rampa. Con questo termine non si vogliono intendere le ampie antiformali (prima fra tutte quella del Carso) che fanno parte dei thrust della zona, ma le brusche accentuazioni di inclinazione degli strati che caratterizzano le parti frontali delle antiformali stesse, laddove la rampa si impenna rapidamente verso l'alto, oppure le analoghe parti frontali di thrust minori. Si tratta di strutture in cui si arriva facilmente alla verticalità o alla contropendenza degli strati secondo stili deformativi che simulano la duttilità, ma che risultano in realtà dalla sommatoria di strutture fragili minori, soprattutto nelle formazioni carbonatiche più omogenee. Spesso si osservano fenomeni di diffrazione delle rampe;
- pieghe di retroscorrimento sul fronte dei thrust. Laddove le formazioni sommitali della sequenza regionale presentano intercalazioni di livelli atti a favorire lo scorrimento strato su strato (la Formazione calcarea e il Flysch con le sue marne basali) si hanno frequentemente fenomeni di movimentazione di parti di formazioni verso le cerniere delle pieghe di rampa, come è usuale in pieghe di tipo concentrico. Tali movimenti danno luogo a pieghe parassite retrovergenti a macroscale che si rendono morfologicamente evidenti causando la formazione di creste o cocuzzoli che interrompono l'andamento regolare delle anticlinali di rampa.

Per quanto concerne le strutture fragili la varietà è ancora maggiore. Distinguiamo:

- grandi faglie a orientamento dinarico che interessano la piattaforma carbonatica a vari livelli. La loro cinematica è prevalentemente trascorrente, anche se sono note attivazioni in senso sia diretto che inverso. Come è dimostrato nel sito del Villaggio dei Pescatori che ha fornito abbondante fauna rettiliana (Adrosaurio "Antonio"), all'origine dette linee avevano una cinematica tipicamente trascorrente, con creazione di "flower structures" importanti. Un rigioco in fase disgiuntiva può aver accompagnato il collasso della piattaforma e quello in fase compressiva la messa in posto delle unità. Ma è anche possibile (e sarebbe la soluzione più semplice), che i vari, ma limitati, rigetti verticali siano una conseguenza della normale evoluzione delle stesse flowers. Le strutture in questione possono essere riferite verosimilmente alla fase cenomaniana che ha condizionato estesamente la sedimentazione. Più di recente le stesse linee possono essere state riprese in trascorrenza da sforzi connessi alle fasi alpine, come sta ad indicare una notevole "freschezza" di alcuni indicatori cinematici;
- faglie a orientamento antidinarico o circa N-S che dislocano brevemente i limiti tra le Formazioni dei Calcarei di Monte Coste e di Monrupino coinvolgendo più volte anche il limite Monrupino-Calcarei di Aurisina. Non sono noti, anche per difficoltà intrinseche al rilevamento sull'altipiano carsico, loro prolungamenti sino al limite Calcarei di Aurisina-Formazione Liburnica-Calcarei a Alveoline e Nummuliti. Importanti linee dello stesso tipo si rilevano, per brevi tratti, lungo la costa con spessori notevoli di breccie di frizione contenenti microfossili eocenici. E' quindi possibile riferire tutto il sistema alla frammentazione trasversale della piattaforma carbonatica durante la formazione delle avanfosse, in particolare di quella più esterna, anche se talune linee possono rappresentare il rigioco di strutture più antiche. Le classificheremo quindi come linee di "transfer" a rigetto variabile e limitati effetti di trascorrenza;

- faglie inverse di varia importanza e orientazione che intersecano le pieghe di rampa nelle zone frontali. Si tratta di risposte fragili all'estremizzazione del piegamento. Le più importanti possono essere considerate diffrazioni della rampa stessa in un mezzo che diventa via via più fragile man mano che va soggetto a carichi litostatici decrescenti;
- rampe di thrust principali coinvolgenti le Formazioni carbonatiche, semplici o diffratte, sono generalmente indifferenti al contatto tra sequenza carbonatica e il Flysch di Trieste, includendo nel fronte del thrust anche parti considerevoli di quest'ultima formazione. In profondità si ricollegano a livelli di scollamento che per i thrust di media importanza possono essere identificati nei livelli marnosi che si intercalano nelle parti alte della sequenza carbonatica. Per il Thrust del Carso il livello di scollamento, data la potenza della serie implicata, va cercato più in profondità, forse nelle anidriti depostesi al limite Giurassico-Cretaceo. I fronti dei thrust hanno in maggioranza orientamento dinarico; l'eccezione più vistosa è quella della rampa laterale meridionale del Thrust del Carso che assume andamento circa antidinarico;
- tear fault. Si tratta di strutture che separano parti di fronti di thrust a trasporto tettonico leggermente diverso. Si riconoscono per la cinematica trascorrente e per il fatto che non proseguono verso l'interno dell'anticlinale che dislocano, ma deformano i livelli sottostanti alla rampa per effetto di trascinamento, condizionando fortemente la morfologia delle zone sottostanti il sovrascorrimento. Ovviamente le più evidenti accompagnano i fronti principali, ma anche i thrust minori sono frequentemente secati da queste strutture la cui natura può essere descritta anche dal termine "faglie di svincolo". Talune tear fault trasgrediscono una delle regole sopra elencate, nel senso che si prolungano ben all'interno delle sequenze carbonatiche. L'esempio più significativo è quello della Faglia di Sistiana che causa, oltre a una traslazione dei fronti, anche un loro cambio di orientamento. Tutte, comunque, hanno caratteristiche simili e orientazione parallela ENE-WSW. Anche la rampa laterale del Thrust del Carso è parallela a detto sistema, che deve derivare da direttrici movimentanti la piattaforma carbonatica, riprese dalla tettonica a thrust con vari ruoli;
- faglie subverticali condizionanti la morfologia, a cinematica non ben definita, compaiono un po' ovunque, ma soprattutto nell'area carbonatica compresa nel Foglio Grado; per brevi tratti il contatto tra Formazioni carbonatiche e Flysch coincide con faglie a cinematica transpressiva: nel settore più meridionale dell'area compaiono direttrici transtensive e dirette la cui presenza rende ragione della separazione morfostrutturale tra l'area di Muggia e il Golfo ("faglie di sblocco") anche considerando la necessità di giustificare il grado di libertà relativo tra il blocco istriano ed il Carso, in progressivo abbassamento verso NW, come effetto della tettonica alpina.

### 2.1.4 Approfondimento

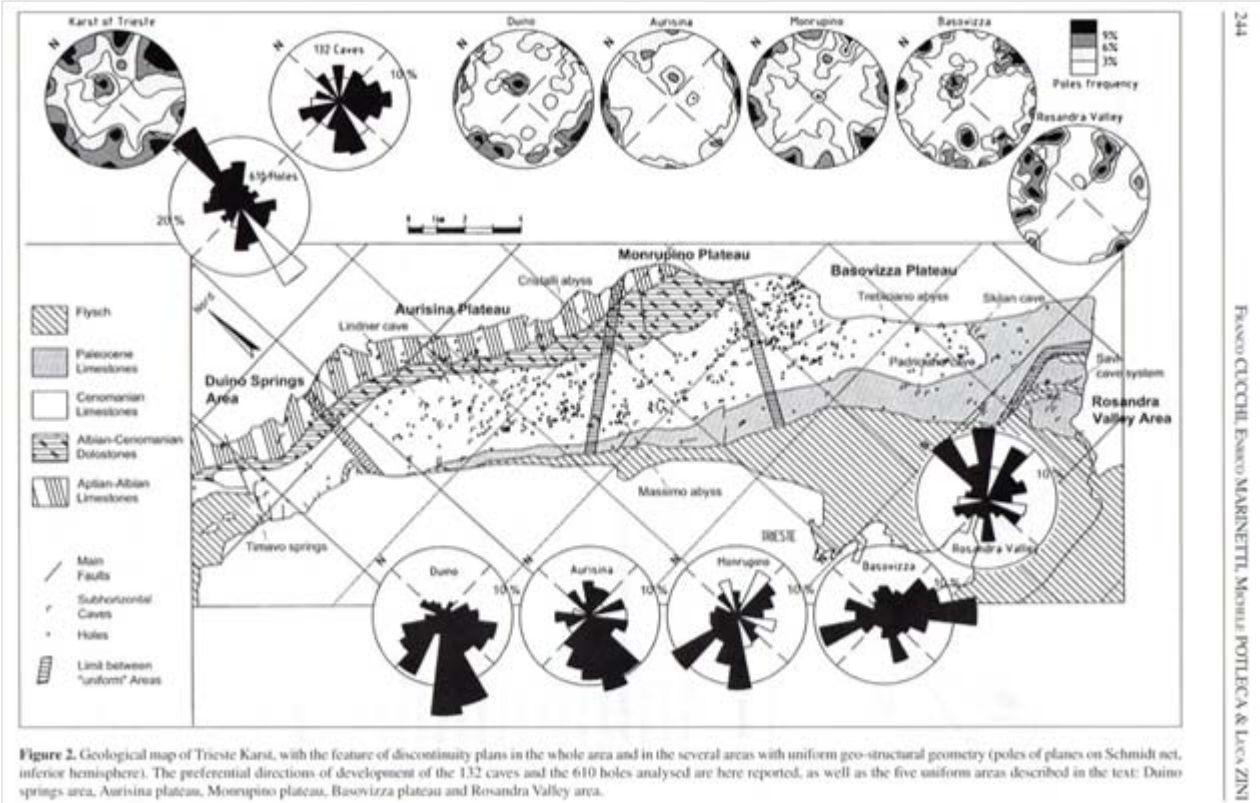
A integrazione dei dati geologico strutturali acquisiti, tuttavia, in esito alla richiesta MATTM, si sono eseguite ulteriori 6 (sei) stazioni geomeccaniche, i cui risultati sono illustrati nei paragrafi successivi.

L'analisi geomeccanica eseguita conferma la caratterizzazione litologico tensionale e la suddivisione nota, riconoscibile nel quadro strutturale generale dell'area. Area che sostanzialmente ha un quadro fessurativo complesso risultante dall'alternanza di fasi compressive alpine (nord-sud) e dinariche (NE-SW) e quindi con l'alternante trasformazione di fratture di tensione o di distensione in trascorrenti, di fratture di tensione in fratture di distensione e viceversa, con la massa rocciosa suddivisa di solito da 4 famiglie principali di fessurazione e dalla stratificazione.

Per comprendere come il carsismo si sia evoluto e quali risultano essere le famiglie di discontinuità preferenziali rispetto al carsismo, si fa riferimento ad uno studio di (Cucchi et al., 2002) in cui sono state analizzate le progressioni di sviluppo delle principali cavità presenti nel Carso triestino e le si sono confrontate con le caratteristiche geologiche-strutturali. Partendo dai dati dei rilievi riportati nel Catasto grotte del Friuli Venezia Giulia, ogni cavità è stata suddivisa in una serie di vettori orientati che ne rappresentano sinteticamente la direzione di sviluppo. Si sono elaborati i dati delle 742 cavità significative per sviluppo e dimensioni, per un totale

di 40288 metri di sviluppi orientati, dei quali 24061 metri rappresentanti le 132 principali cavità a prevalente sviluppo orizzontale e 16227 metri rappresentanti i 610 pozzi.

Dall'analisi sono stati individuati sul Carso triestino cinque areali aventi caratteristiche geologiche, geomorfologiche e carsogenetiche differenti (si vedano le figure allegate tratte dalle pubblicazioni al riguardo).



F. CUCCHI, E. MARINETTI, M. POTLECA & L. ZINI

Figure 2. Geological map of Trieste Karst, with the feature of discontinuity plans in the whole area and in the several areas with uniform geo-structural geometry (poles of planes on Schmidt net, inferior hemisphere). The preferential directions of development of the 132 caves and the 610 holes analysed are here reported, as well as the five uniform areas described in the text: Duino springs area, Aurisina plateau, Monrupino plateau, Basovizza plateau and Rosandra Valley area.

*Rapporti fra assetto geostrutturale e andamento delle cavità nel Carso. Figure tratte da: CUCCHI F., MARINETTI E., POTLECA M., ZINI L. (2002): Influence of geostructural conditions on the speleogenesis of the Trieste Karst (Italy). Geologica Belgica 2001 (vol. Karst & Tectonics) 4/3-4: 241-250, Brussels, Belgium. Pubbl. n°2213 del GNDCI, LR4.*

Dalle due figure si può dedurre che i condizionamenti litologico strutturali sui vani delle cavità sono legati alla giacitura della stratificazione e al sistema delle discontinuità, che nell'area trovano nelle famiglie orientate Nord-Sud e Est-Ovest quelle preferenziali agli effetti del carsismo.

In sintesi:

- nella zona delle “sorgenti di Duino” più del 40 % delle cavità si sviluppano verso W e SW/SSW;
- nel “plateau di Aurisina” si sviluppano preferenzialmente verso S e SW;
- nel “plateau di Monrupino” le direzioni di sviluppo sono maggiormente disperse con una prevalenza verso SW e W;
- nel “plateau di Basovizza” verso SE e WNW;
- nell'area della “Val Rosandra”, che presenta un quadro geologico completamente differente (complicata da una serie di faglie inverse di orientazione E-W) le cavità si sviluppano preferenzialmente verso N (12%), NE (13%), E (8%).

Questi risultati evidenziano come lo sviluppo delle cavità a prevalente sviluppo orizzontale avvenga con più frequenza lungo la massima pendenza della stratificazione (direzione talvolta modificata dalle intersezioni a direzione simile fra piani di strato e piani di frattura). Condizionamenti secondari, talvolta prevalenti, sono da

considerare quelli relativi alla presenza di “piani aperti” o di linee di intersezione di piani aperti per particolari cause tettoniche o strutturali.

Per quanto riguarda i pozzi, questi si sviluppano prevalentemente lungo i piani subverticali più aperti tra quelli presenti nella compagine rocciosa ed in particolare lungo i piani di fratturazione N-S.

Dato che i pozzi tagliano o complicano i tratti di cavità sub orizzontali o poco inclinate, è da supporre che si tratti di morfotipi generatisi dopo che nel massiccio roccioso si era instaurato il reticolo di drenaggio e deflusso generale (orientato in direzione NE-SW, dagli inghiottitoi dell’area di Skocjan in Slovenia alla zona delle Risorgive in Italia, così come la Piattaforma del Carso).

Le stazioni geomeccaniche eseguite si collocano 3 (SG1-SG3) nella zona delle sorgenti di Duino e 3 (SG4-SG6) nel “plateau di Aurisina”. I dati rilevati confermano quanto già emerso da Cucchi et al. (2002): le famiglie più incarsite sono la stratificazione e la famiglia F2.

Famiglia	Direzione	Inclinazione
<b>SG1</b>	<b>Cava Monfalcone</b>	
S	277	26
F1	88	75
F2	177	76
F3	131	64
<b>SG2</b>	<b>Lisert</b>	
S	280	45
F1	30	38
F2	140	17
<b>SG3</b>	<b>Medeazza</b>	
S	303	19
F1	135	74
F2	222	82

Famiglia	Direzione	Inclinazione
<b>SG4</b>	<b>Slivia</b>	
S	305	25
F1	113	52
F2	187	76
<b>SG5</b>	<b>Aurisina</b>	
S	304	17
F1	280	81
F2	19	78
F3	65	35
<b>SG6</b>	<b>Santa Croce</b>	
S	311	73
F1	209	15
F2	55	82



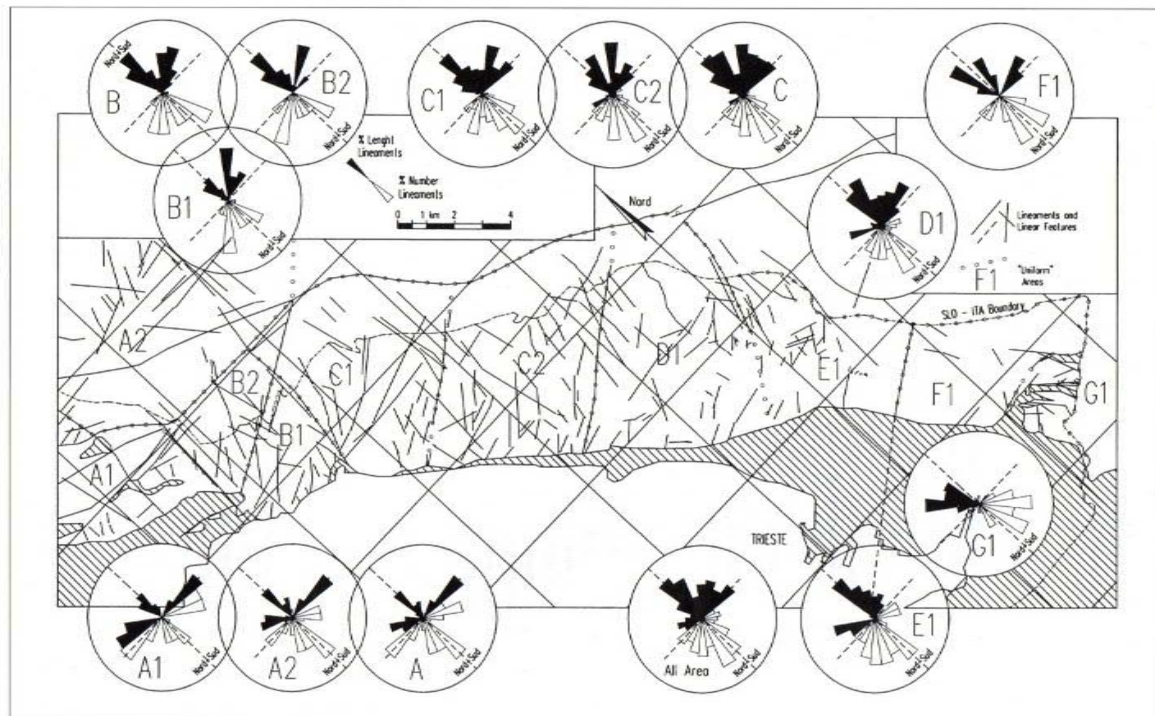


Figure 3. Distribution, length and direction of the spotted lines using aerophotogrammetrical analyses permit to subdivide the Trieste Karst in five main zones. B1 and B2: Duino springs area; C1 and C2: Aurisina plateau; D1: Monrupino plateau; E1 and F1: Basovizza plateau; G1: Rosandra Valley area. The percentage of the length of lineaments and linear features is given in black; the percentage of their number in white.

### 2.1.5 Analisi strutturale degli ammassi rocciosi

Gli ammassi rocciosi rappresentano un insieme più o meno complesso, comprendente porzioni di roccia intatta, separate da piani di discontinuità di varia natura. Le indagini volte allo studio e all'analisi degli ammassi rocciosi devono prevedere pertanto l'acquisizione di parametri geometrici, morfologici e geotecnici rappresentativi sia della roccia intatta, che delle superfici di discontinuità; ciò è possibile tramite un rilevamento geomeccanico di dettaglio, su cui si basano diversi sistemi di classificazione.

Uno studio geomeccanico non può innanzitutto prescindere dalla conoscenza della geologia dei siti, delle successioni stratigrafiche e delle unità litologiche presenti.

Da un punto di vista strutturale si opererà una descrizione delle principali famiglie di discontinuità e della loro natura e geometria; mentre da un punto di vista geomeccanico sarà utile una prima valutazione della forma dei blocchi e del grado di fratturazione dell'ammasso.

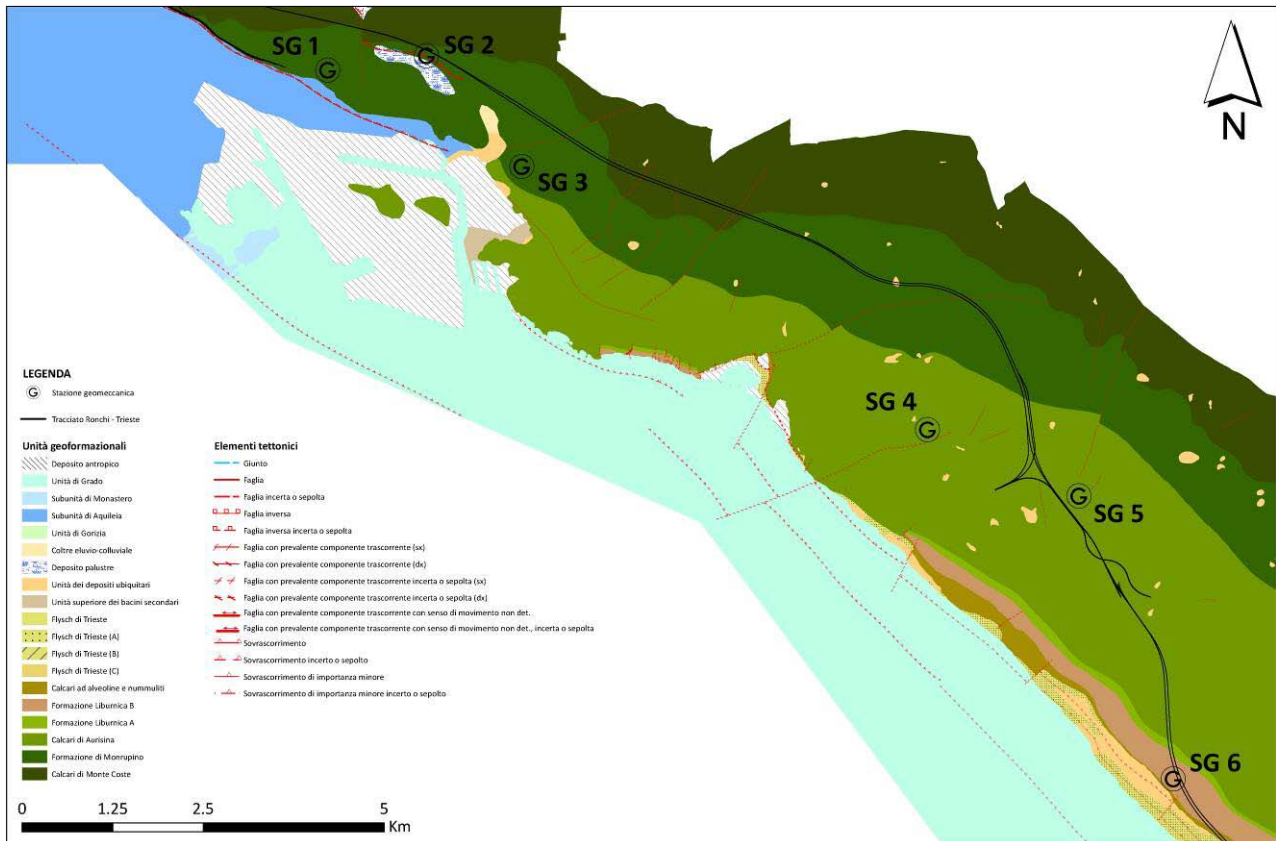
Allo scopo di applicare le classificazioni geomeccaniche è necessario rilevare:

- orientazione: la posizione della discontinuità nello spazio. Viene descritta da valori angolari che sono la direzione, l'immersione e l'inclinazione;
- spaziatura: distanza tra discontinuità parallele misurata in direzione ortogonale alle discontinuità stesse;
- persistenza: lunghezza della traccia della discontinuità in affioramento;
- apertura: distanza tra i lembi affacciati di una discontinuità in cui lo spazio interposto è riempito da aria o da materiali di riempimento;
- scabrezza: rugosità delle superfici affacciate di una discontinuità;
- materiale di riempimento: materiale che separa le pareti adiacenti di una discontinuità e che è di solito meno resistente della roccia primitiva;
- natura del materiale di riempimento: si riferisce alle caratteristiche di resistenza del materiale all'asportazione;

- filtrazione: flusso d'acqua e abbondante umidità, visibile nelle singole discontinuità o nella massa rocciosa nel suo insieme.

A partire da questi e da ulteriori dati, specifici per ciascuna classificazione, sarà possibile determinare i parametri per il calcolo del valore di qualità dell'ammasso roccioso, scopo precipuo delle classificazioni geomeccaniche.

### 2.1.6 Stazioni geomeccaniche eseguite sulle formazioni carbonatiche



Ubicazione delle stazioni strutturali geomeccaniche eseguite sulle formazioni carbonatiche.

**2.1.7 SG1 – Cava Monfalcone, via Romana (Coord Est: 2407740; Coord Nord: 5073580)**

Il rilievo geomeccanico è stato eseguito sulle pareti rocciose della dismessa cava di Monfalcone, a monte dell'attuale linea ferroviaria Monfalcone – Trieste. La cava ad anfiteatro è costituita da rocce afferenti alla formazione di Monrupino.

In particolare si sono analizzate le pareti occidentali, maggiormente fratturate, con spaziatura media centimetrica, e la zona centrale, in cui risultano ben evidenti i tre sistemi di discontinuità principali (S, F1 e F2). Nella porzione occidentale è presente una quarta famiglia di giunti, meno frequente delle altre.



**SG1 Particolare della porzione occidentale.**

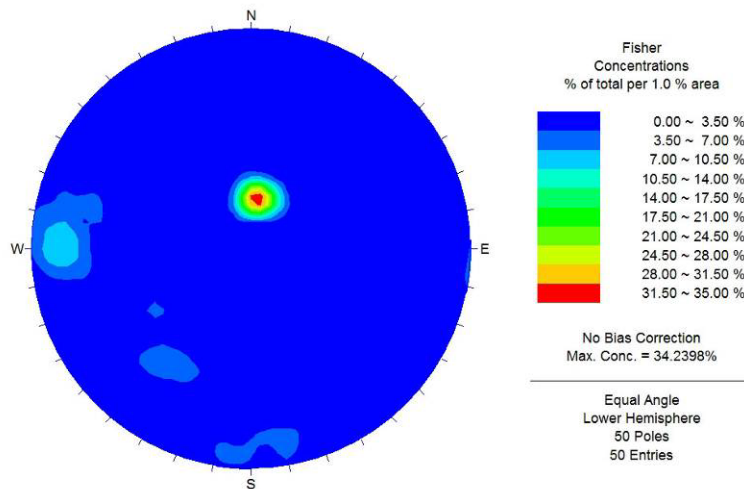


**SG1 Zona centrale ed orientale.**

### Sistemi di discontinuità

Nella tabella sono riportati i valori medi rilevati per ciascuna famiglia. In particolare spaziatura, persistenza ed apertura sono espressi in valore reale, mentre natura del riempimento, alterazione e rugosità con i punteggi forniti dalla classificazione BRMR.

SG1	DIREZIONE	INCLINAZIONE	SPAZIATURA (CM)	PERSISTENZA (M)	APERTURA (MM)	NATURA DEL RIEMPIMENTO	ALTERAZIONE	RUGOSITÀ
S	277	26	15	9	3	4	5	1
F1	88	75	38	5	1	6	6	1
F2	177	76	67	4	11	4	6	5
F3	131	64	58	4	6	0	5	1



**SG1 Rappresentazione stereografica delle famiglie di discontinuità presenti.**

### Classificazione BRMR

	VALORE	PUNTEGGIO
<b>Resistenza alla compressione monoassiale</b>	50-100 MPa	7
<b>RQD</b>	24.8 %	3
<b>Spaziatura</b>	20 – 60 cm	10
<b>Proprietà delle discontinuità</b>		12
<b>Acqua</b>	assente	15

<b>PUNTEGGIO TOTALE</b>	<b>47</b>
<b>CLASSE</b>	<b>III</b>
<b>QUALITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO</b>	<b>Discreta</b>
<b>ANGOLO D'ATTRITO</b>	<b>28.5°</b>
<b>COESIONE</b>	<b>235 kPa</b>

**2.1.8 SG2 – Lisert (Coord Est: 2409110; Coord Nord: 5073780)**

L'area studiata è situata a monte dell'autostrada A4, nelle vicinanze del casello del Lisert.

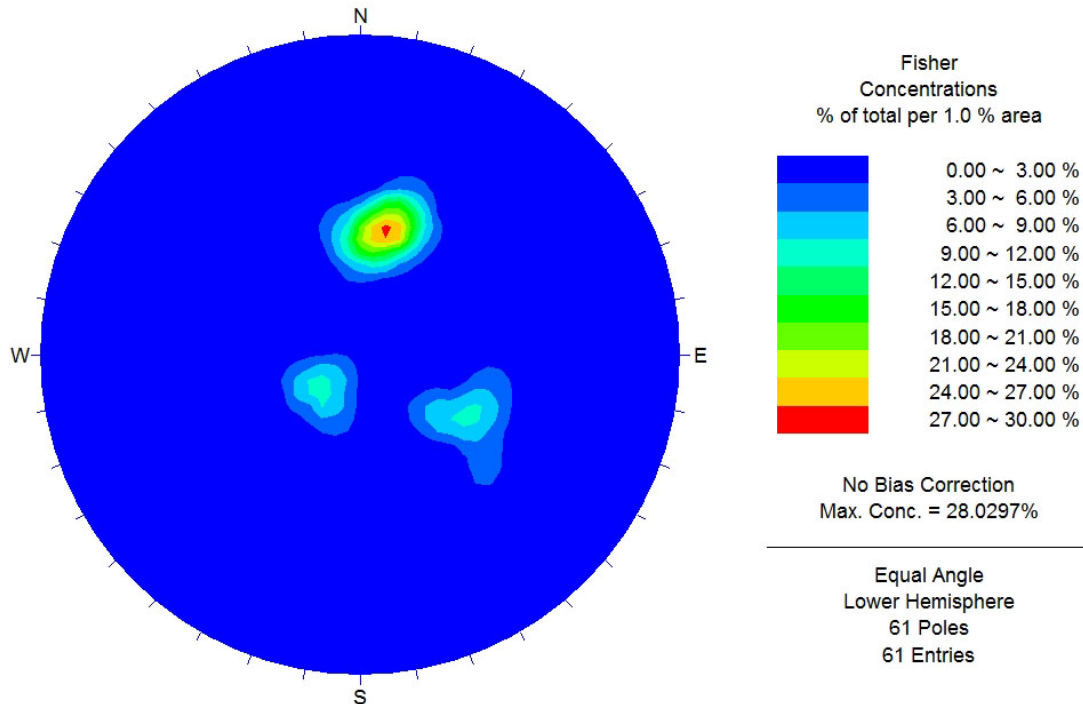
La stazione geomeccanica è stata eseguita su pareti rocciose affioranti di altezza pari a circa 5-6 metri, non è deducibile se siano o meno di origine antropica. La roccia presenta evidente carsificazione ed appartiene alla formazione di Monrupino. L'ammasso roccioso risulta molto massivo nella parte basale, mentre nella parte alta dominano la stratificazione e la famiglia F2, con spaziatura media attorno ai 20 cm, generando un ammasso ad intensa fratturazione.



**SG2 Dettaglio dell'ammasso roccioso.**

Sistemi di discontinuità

	DIREZIONE	INCLINAZIONE	SPAZIATURA (CM)	PERSISTENZA (M)	APERTURA (MM)	NATURA DEL RIEMPIMENTO	ALTERAZIONE	RUGOSITÀ
S	280	45	20	10	> 5	6	5	5
F1	30	38	50	3	0	6	6	1
F2	140	17	18	8	3	6	5	5



**SG2: Rappresentazione stereografica delle famiglie di discontinuità.**

Classificazione BRMR

	VALORE	PUNTEGGIO
<b>Resistenza alla compressione monoassiale</b>	50-100 MPa	7
<b>RQD</b>	49 %	8
<b>Spaziatura</b>	20 – 60 cm	10
<b>Proprietà delle discontinuità</b>		19
<b>Acqua</b>	assente	15

<b>PUNTEGGIO TOTALE</b>	<b>59</b>
<b>CLASSE</b>	<b>III</b>
<b>QUALITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO</b>	<b>Discreta</b>
<b>ANGOLO D'ATTRITO</b>	<b>34.5°</b>
<b>COESIONE</b>	<b>295 kPa</b>

### 2.1.9 SG3 – Medeazza (Coord Est: 2410420; Coord Nord: 5072260)

Il rilievo è stato eseguito su un ammasso roccioso prospiciente l'ingresso di una cavità carsica, a monte dell'abitato di San Giovanni di Duino e qualche decina di metri a valle dell'attuale linea ferroviaria Monfalcone - Trieste. Non è deducibile, ma è probabile, che l'origine dello scasso sia di origine antropica. A monte delle pareti rocciose è stata rilevata una faglia inversa con direzione 130°, persistente per almeno 10 metri lungo il versante. L'ammasso roccioso appartiene alla formazione di Monrupino.



SG3 Panoramica dell'affioramento roccioso.

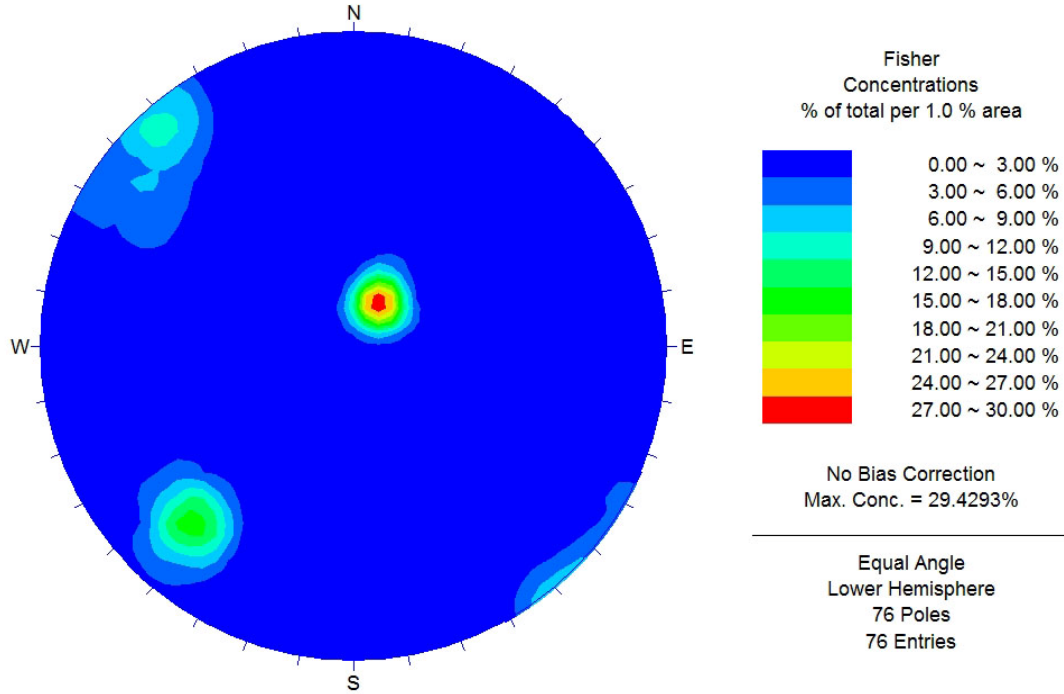
#### Sistemi di discontinuità

	DIREZIONE	INCLINAZIONE	SPAZIATURA (CM)	PERSISTENZA (M)	APERTURA (MM)	NATURA DEL RIEMPIMENTO	ALTERAZIONE	RUGOSITÀ
S	303	19	24	> 20	> 5	6	6	5
F1	135	74	48	2	3	0	3	1
F2	222	82	56	3	1	6	6	1

#### Classificazione BRMR

	VALORE	PUNTEGGIO
<b>Resistenza alla compressione monoassiale</b>	50-100 MPa	7
<b>RQD</b>	55.6 %	13
<b>Spaziatura</b>	20 – 60 cm	10
<b>Proprietà delle discontinuità</b>		15
<b>Acqua</b>	umido	10

<b>PUNTEGGIO TOTALE</b>	<b>55</b>
<b>CLASSE</b>	<b>III</b>
<b>QUALITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO</b>	<b>Discreta</b>
<b>ANGOLO D'ATTRITO</b>	<b>32.5°</b>
<b>COESIONE</b>	<b>275 kPa</b>



**SG3**Rappresentazione stereografica delle famiglie di discontinuità.



**2.1.10 SG4 – Slivia (Coord Est: 2416030; Coord Nord: 5068640)**

La stazione geomeccanica è stata eseguita su pareti rocciose, di altezza massima pari a 3 metri, messe in luce dallo scasso per la costruzione della strada provinciale che porta al paese di Slivia. Le rocce affioranti afferiscono alla formazione dei Calcari di Aurisina.

La roccia si presenta molto fratturata ed è suddivisa in blocchi decimetrici da tre sistemi di discontinuità, la cui spaziatura non supera i 35 centimetri.



**SG4 Pareti N dell'affioramento sulla strada per Slivia.**

**Sistemi di discontinuità**

	DIREZIONE	INCLINAZIONE	SPAZIATURA (CM)	PERSISTENZA (M)	APERTURA (MM)	NATURA DEL RIEMPIMENTO	ALTERAZIONE	RUGOSITÀ
S	305	25	14	> 20	2.5	0	3	3
F1	113	52	10	> 20	3	0	3	0
F2	187	76	17	2	3	0	3	0



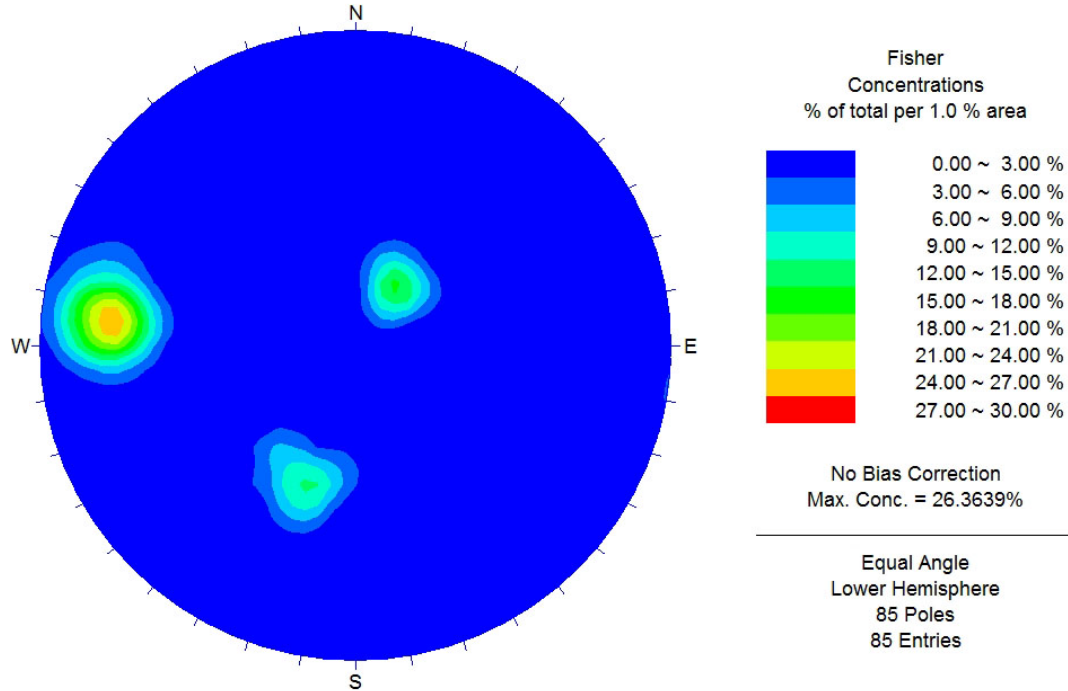
**SG4: Dettaglio delle pareti con evidenziata la famiglia 2.**

Classificazione BRMR

	VALORE	PUNTEGGIO
Resistenza alla compressione monoassiale	50-100 MPa	7
RQD	< 25 %	3
Spaziatura	6 - 20 cm	8
Proprietà delle discontinuità		9
Acqua	asciutto	15

<b>PUNTEGGIO TOTALE</b>	<b>42</b>
<b>CLASSE</b>	<b>III</b>
<b>QUALITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO</b>	<b>Discreta</b>
<b>ANGOLO D'ATTRITO</b>	<b>26°</b>
<b>COESIONE</b>	<b>210 kPa</b>

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
L344	01	R 69 RG	SA 200X 001	A	19 di 25



**SG4 Rappresentazione stereografica delle famiglie di discontinuità.**

### 2.1.11 SG5 – Aurisina (Coord Est: 2418120; Coord Nord: 5067730)

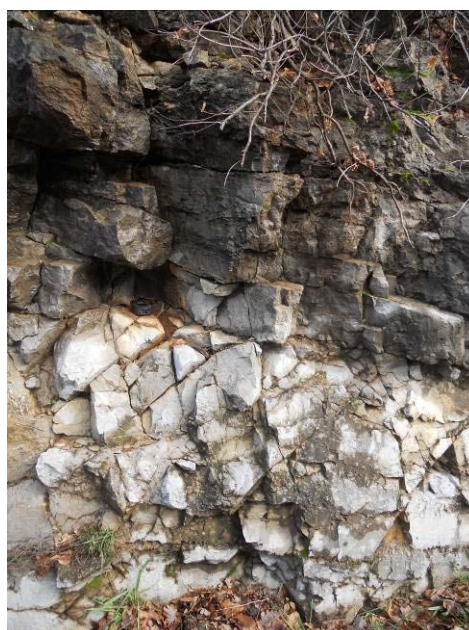
Come per la stazione SG4, il rilievo geomeccanico è stato compiuto lungo le pareti rocciose messe a giorno da uno scasso antropico, per il passaggio della strada che conduce all'abitato di San Pelagio, immediatamente a monte della stazione ferroviaria di Aurisina. L'ammasso roccioso è composto da rocce calcaree, afferenti alla formazione "Calcari di Aurisina".

La roccia si presenta molto fratturata, in particolare la zona più settentrionale risulta meno fratturata, con spaziatura decimetrica, mentre la fascia centrale e meridionale dell'affioramento sono caratterizzate da spaziatura dell'ordine di qualche centimetro. Sono stati rilevati numerosi blocchi rocciosi instabili.

Tre i sistemi di discontinuità dominanti, solo nella porzione centrale è stata rilevata una quarta famiglia, con giacitura media pari a 65/35, che affiora per una decina di metri.



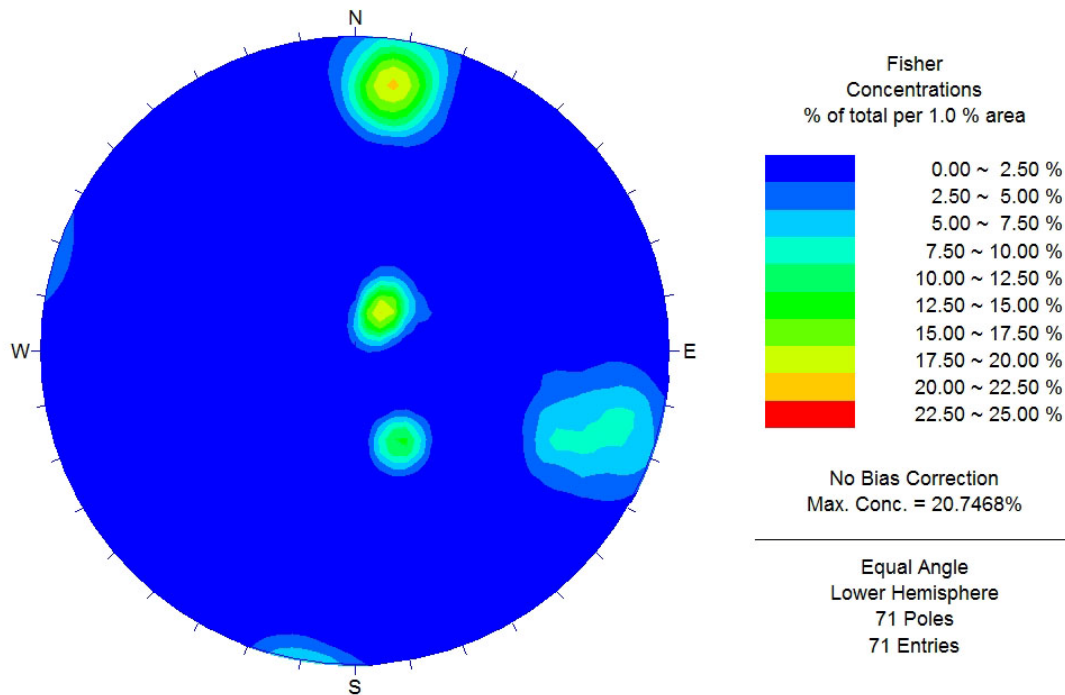
**SG5 Strada provinciale e pareti rocciose su cui è stato eseguito il rilievo geomeccanico.**



**SG5 Dettaglio dell'intensa fratturazione.**

Sistemi di discontinuità

	DIREZIONE	INCLINAZIONE	SPAZIATURA (CM)	PERSISTENZA (M)	APERTURA (MM)	NATURA DEL RIEMPIMENTO	ALTERAZIONE	RUGOSITÀ
S	304	17	22	> 20	2	6	6	2
F1	280	81	25	2	3	0	5	1
F2	19	78	36	3	> 5	0	5	3
F3	65	35	32	< 1	1	0	5	1



SG5 Rappresentazione stereografica delle famiglie di discontinuità.

Classificazione BRMR

	VALORE	PUNTEGGIO
Resistenza alla compressione monoassiale	50-100 MPa	7
RQD	42.4 %	8
Spaziatura	20 - 60 cm	10
Proprietà delle discontinuità		12
Acqua	umido	10

PUNTEGGIO TOTALE	<b>47</b>
CLASSE	<b>III</b>
QUALITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO	<b>Discreta</b>
ANGOLO D'ATTRITO	<b>28.5°</b>
COESIONE	<b>235 kPa</b>

**2.1.12 SG6 – Santa Croce (Coord Est: 2419420; Coord Nord: 5063840)**

L'affioramento roccioso si raggiunge percorrendo il sentiero 6a in direzione N-E verso la vedetta Monte San Primo. Le rocce, appartenenti alla Formazione Liburnica, si presentano molto carsificate. La stratificazione risulta verticalizzata.

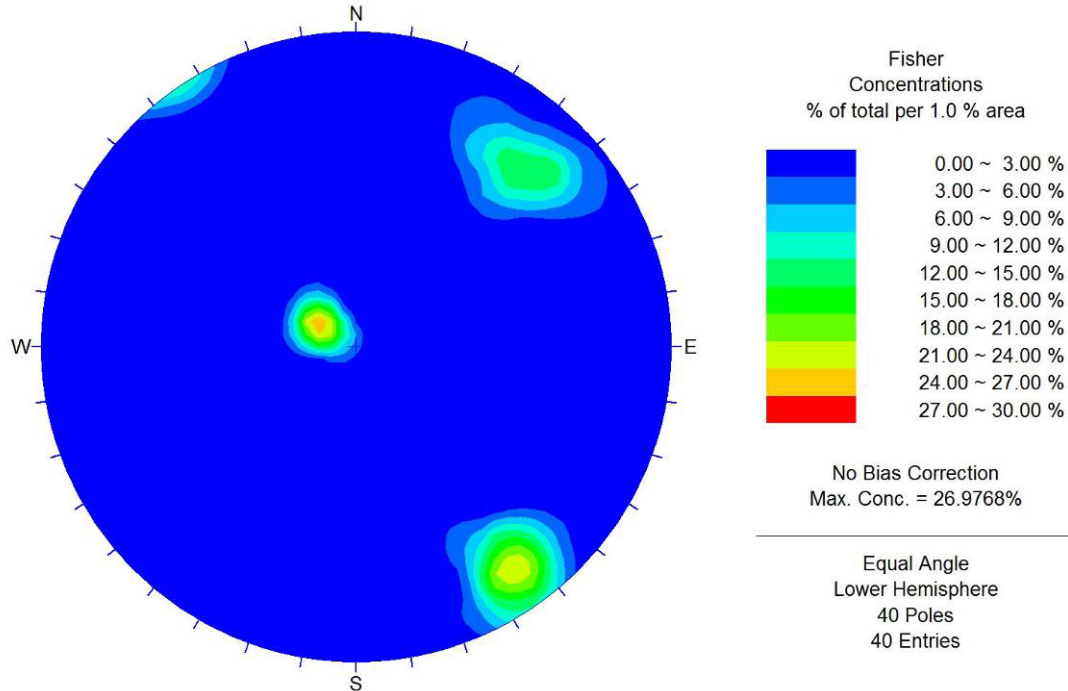
Oltre alla stratificazione sono riconoscibili altri due sistemi di discontinuità; quello suborizzontale (famiglia F1) suddivide l'affioramento in gradoni, sui cui piani sono accumulati numerosi blocchi decimetrici.



**SG6 Affioramento roccioso oggetto del rilievo geomeccanico. Si notano i gradoni suborizzontali e gli strati verticalizzati.**

Sistemi di discontinuità

	DIREZIONE	INCLINAZIONE	SPAZIATURA (CM)	PERSISTENZA (M)	APERTURA (MM)	NATURA DEL RIEMPIMENTO	ALTERAZIONE	RUGOSITÀ
S	311	73	87	2	0	6	6	3
F1	209	15	99	15	0	6	6	5
F2	55	82	150	2	> 5	0	5	1



**SG6 Rappresentazione stereografica delle famiglie di discontinuità.**

Classificazione BRMR

	VALORE	PUNTEGGIO
<b>Resistenza alla compressione monoassiale</b>	50-100 MPa	7
<b>RQD</b>	75.4 %	17
<b>Spaziatura</b>	60 cm – 2 m	15
<b>Proprietà delle discontinuità</b>		25
<b>Acqua</b>	asciutto	15

<b>PUNTEGGIO TOTALE</b>	<b>79</b>
<b>CLASSE</b>	<b>II</b>
<b>QUALITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO</b>	<b>Buona</b>
<b>ANGOLO D'ATTRITO</b>	<b>44.5°</b>
<b>COESIONE</b>	<b>395 kPa</b>

## 2.2 Risposta al punto 20.b

Come detto in precedenza lo studio geologico eseguito nell'ambito del Progetto Preliminare rappresenta un prodotto basato su conoscenze evolute ed avanzate; ne consegue che il modello geologico presenta un significativo grado di affidabilità, e che altrettanto affidabilmente sono state valutate le potenziali interferenze geomorfologiche con il tracciato.

Va aggiunto che durante gli studi eseguiti nel 2003 su altre ipotesi di tracciato, ed in particolare nell'area di Aurisina ove sono presenti alcune grandi doline, sono state eseguite indagini di tomografia elettrica ad alta risoluzione che, data la non elevata profondità delle gallerie previste, facevano supporre interazione con le opere in sotterraneo. Si tratta di risultati interessanti ma non univoci.

Tali indagini hanno restituito risultati che non sono stati illustrati nella Relazione geologica di ottobre 2010 ma i dati derivanti sono stati comunque utilizzati nell'analisi della carsificazione ipogea.

Al proposito della validità delle indagini geofisiche in un ambiente intensamente carsificato come il Carso triestino, va tenuto comunque presente che numerose sono le condizioni ostative alla buona riuscita delle indagini. Innanzitutto il Carso ha una topografia estremamente tormentata, con continui avvallamenti, culminazioni, doline di svariata genesi e dimensione; inoltre data la generale carenza di terreno in cui sistemare geofoni e/o paletti, con passaggio continuo ed irregolare da roccia affiorante, a pochi centimetri di terreno detritico argilloso, a potenti depositi di terra rossa, non sempre il contatto sensore-terreno è ottimale.

A seguire, sono continue le variazioni laterali e verticali dell'incarsimento, con piani di strato o fratture (in un sistema disgiuntivo che vede presenti sempre almeno tre famiglie di discontinuità) più o meno allargate dal carsismo e spesso variamente riempite da detriti e/o terre rosse.

Tutto ciò con la conseguente difficoltà a definire le resistività (o le velocità delle onde sismiche o elettromagnetiche) competenti all'ammasso roccioso e a quantificare lo spessore delle unità elettrostratigrafiche (o sismiche, o elettromagnetiche, ...) riconosciute, tenendo conto anche del progressivo ampliamento dei volumi considerati andando in profondità e quindi del progressivo scadere del dettaglio investigativo.

Peraltra un vuoto ed una massa rocciosa compatta e non suddivisa hanno più o meno la stessa resistività, un deposito di argilla e l'acqua in fratture o vani carsici conferiscono al volume investigato più o meno la stessa conducibilità.

Sono molto numerosi gli studi in Carso nei quali, per unanimi pareri scientifici, viene riconosciuta l'estrema difficoltà di interpretazione univoca sia sul significato e sulla corretta interpretabilità della sismica, della geoelettrica, del magnetismo oltre che dell'elettromagnetismo edella gravimetria.

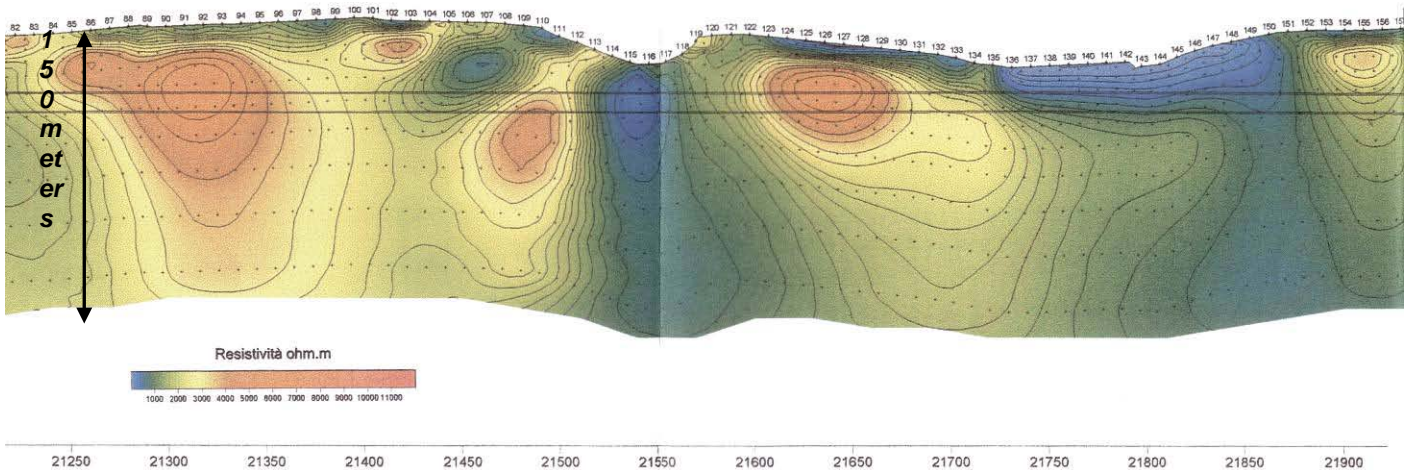
E' ovvio che l'insieme di più metodologie, la perfetta definizione della topografia, numerosi sondaggi di taratura, potrebbero, in via di principio, portare a definire le caratteristiche dell'immediato sottosuolo carsico (20-30 metri), fermo restando che si potrebbe forse definire l'esistenza e le dimensioni di massima di un vuoto variamente occupato da speleotemi, non sicuramente la tipologia delle concrezioni o la presenza di "laghi sotterranei"; l'opportunità e il costo di tali indagini è comunque rapportabile allo sviluppo di una fase progettuale successiva. Nelle successive fasi di progetto si procederà pertanto ad una campagna di indagini dettagliata e mirata in base alle criticità emerse ed efficacemente inquadrata in questa fase progettuale: tale campagna è discussa nella relazione di risposta al quesito n. 25.



Tomografia elettrica  
Sezione P1S Aurisina - Canna SUD

*Probabile dolina di  
crollo*

*Probabile dolina da  
dissoluzione*



*Esempio di geofisica in corrispondenza delle doline di Aurisina: gli alti valori di resistività possono indicare tanto vuoti quanto roccia compatta poco suddivisa; vista la loro geometria, bassi valori di resistività in questo caso dovrebbero essere indicativi di depositi detritico-argillosi, più o meno coerenti, che riempiono il fondo di doline di dissoluzione e di crollo. Tuttavia bassi valori di resistività competono anche alla zona satura.*