

**PROVINCIA DI TRENTO  
COMUNE DI MORI**

**OGGETTO:** RELAZIONE GEOMECCANICA FINALIZZATA ALLA PROGETTAZIONE DEL PIANO DI DEMOLIZIONE CONTROLLATO DI UN DIEDRO ROCCIOSO SOVRASTANTE L'ABITATO DI MORI

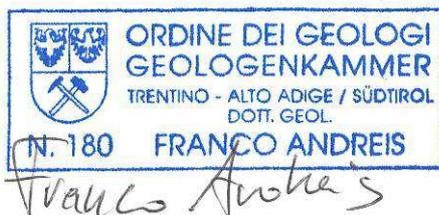


**COMMITTENTE:** Provincia Autonoma di Trento – Servizio Geologico

1 2 6 1 7 G E E S R G 0 3 A

dr. geol. Franco Andreis

17 marzo, 2017



VISTO: IL PROGETTISTA



# RELAZIONE GEOMECCANICA FINALIZZATA ALLA PROGETTAZIONE DEL PIANO DI DEMOLIZIONE CONTROLLATO DI UN DIEDRO ROCCIOSO SOVRASTANTE L'ABITATO DI MORI

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>OBIETTIVI DELLO STUDIO</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>LITOLOGIE INTERESSATE</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>RETICOLO FESSURATIVO PRINCIPALE</b> .....	<b>8</b>
<b>4.1</b>	<b>Documentazione fotografica fianco est</b> .....	<b>13</b>
<b>4.2</b>	<b>Documentazione fotografica fianco ovest</b> .....	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>RILIEVO E PARAMETRAZIONE GEOMECCANICA</b> .....	<b>19</b>
<b>5.1</b>	<b>Settore elevato</b> .....	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>Settore mediano</b> .....	<b>24</b>
<b>5.3</b>	<b>Settore basale</b> .....	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>MECCANISMI DI SVINCOLO DEL PRISMA</b> .....	<b>29</b>
<b>7</b>	<b>ELEMENTI GEOSTRUTTURALI PRINCIPALI PER IL PIANO DI DEMOLIZIONE CONTROLLATO</b> .....	<b>36</b>
<b>8</b>	<b>MISURE DI MITIGAZIONE PREVENTIVE E DEFINITIVE</b> .....	<b>43</b>



## 1 PREMESSA

Nel corso del mese di dicembre 2016, su incarico del Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento, lo Scrivente è stato incaricato di "attività di rilievo geomeccanico e geostrutturale in sito di un settore della parete rocciosa sovrastante l'abitato di Mori, posta ad ovest-nord-ovest del Santuario di Monte Albano". La relativa relazione è stata consegnata in data 02 gennaio 2017.

La relazione verteva sull'analisi geostrutturale e geomeccanica di un ampio diedro roccioso posto a NW del Santuario di Monte Albano, attorno alla quota 430m.slm, immediatamente a valle del sentiero che dal Santuario porta a Nomesino. Tutte le attività di rilievo prevedono l'utilizzo di funi e pertanto di personale abilitato ai sensi art. 116 del d.lgs. 81/08 (foto 1.1).



Foto 1.1; in rosso il prisma, in giallo il sentiero per Nomesino

Nell'incarico erano previste le seguenti attività;

1) Individuazione e perimetrazione di porzioni di roccia omogenee per caratteristiche geomeccaniche e relativa classificazione mediante il sistema di classificazione RMR e/o GSI;

2) Rilievo e descrizione geomeccanica delle principali discontinuità che definiscono i principali subvolumi in cui può essere suddiviso l'ammasso roccioso.

Il Servizio Geologico, congiuntamente allo Scrivente e sulla scorta dei rilievi e delle parametrizzazioni proposte, ha redatto una propria relazione geologica a firma del dr. Paolo Campedel, che ha condotto alla descrizione e definizione del meccanismo di instabilità del prisma o diedro roccioso.

La presente relazione costituisce integrazione a detta relazione ed è finalizzata alla progettazione del piano di demolizione del volume roccioso.

Il volume roccioso si estende per circa 30m di dislivello a partire dalla sommità avente quota di circa 450m.slm.

Le coordinate WGS 84 della porzione apicale del prisma misurate con GPS portatile Garmin60CSX sono le seguenti:

32 T 653505 5080066

## **2 OBIETTIVI DELLO STUDIO**

Sulla scorta dei rilievi geomeccanici in sito eseguiti dallo Scrivente svolti su n. 2 giornate lavorative, sulla scorta delle considerazioni svolte congiuntamente al Servizio Geologico, viene ora redatta la presente integrazione finalizzata alla progettazione del piano di demolizione controllato del "prisma roccioso"; la PAT ha incaricato di tale attività di progettazione il dr. geol. Giacomo Nardin. Congiuntamente al Progettista geol. Nardin sono stati utilizzati i rilievi aerofotogrammetrici esistenti con l'assistenza di Cartorender di Bolzano; nel dettaglio sono state rielaborate le acquisizioni laser scanner svolte dal Servizio Geologico della PAT nonché i rilievi fotogrammetrici da drone acquisiti da Cartorender. Obiettivo dell'approfondimento è la restituzione dei dati geostrutturali mirati a definire il solido geometrico del prisma roccioso.

Il reticolo di fratture rilevato viene rivisitato, al fine di consentire;

- Una visione d'insieme del reticolo fratturativo e dei reciproci rapporti tra i vari volumi costituenti l'insieme roccioso denominato "prisma";
- La classificazione geomeccanica e la relativa suddivisione in aree geomeccanicamente omogenee;
- L'indicazione dei lavori preventivi alla demolizione del prisma;

- Le superfici di frattura principali che dislocano alla macroscale il prisma, fratture da "preservare" e non oltrepassare con l'intervento di demolizione;
- Un'indicazione degli eventuali interventi di stabilizzazione provvisori finalizzati alla sicurezza delle maestranze impegnate nei lavori di demolizione;
- Un'indicazione della qualità delle superfici (non) di neoformazione ottenibili con la demolizione e delle eventuali misure di consolidamento definitive.

La relazione geomeccanica ed il progetto di demolizione controllata del prisma roccioso devono inoltre tenere inoltre considerare le caratteristiche prestazionali del sistema vallo-tomo paramassi in via di costruzione che richiedono, quale obiettivo finale della demolizione, sia una frammentazione in volumi rocciosi unitari non superiori a 5mc che una frammentazione complessiva frazionata in sub volumi, da definire in base all'assetto geostrutturale, al fine di "rispettare" le capacità di invaso del sistema vallo-tomo.

### **3 LITOLOGIE INTERESSATE**

Il substrato roccioso presente nell'area è costituito dalle seguenti formazioni carbonatiche:

Dolomia Principale: costituita da una potente successione di dolomie nettamente stratificate di colore tendenzialmente nocciola chiaro. Interessano il tratto di versante posto immediatamente a valle del volume roccioso.

Formazione di Monte Zugna: rappresentata da facies costituite in prevalenza da alternanze di calcari dolomitici a grana fine di colore grigio chiaro tendenti all'ocra e calcari micritici grigi in banchi con spessori da pluridecimetri a subdecimetri; costituiscono il prisma roccioso di interesse.

A valle del prisma si estende una falda detritica attiva, boscata nella parte medio alta, che degrada progressivamente verso Mori.

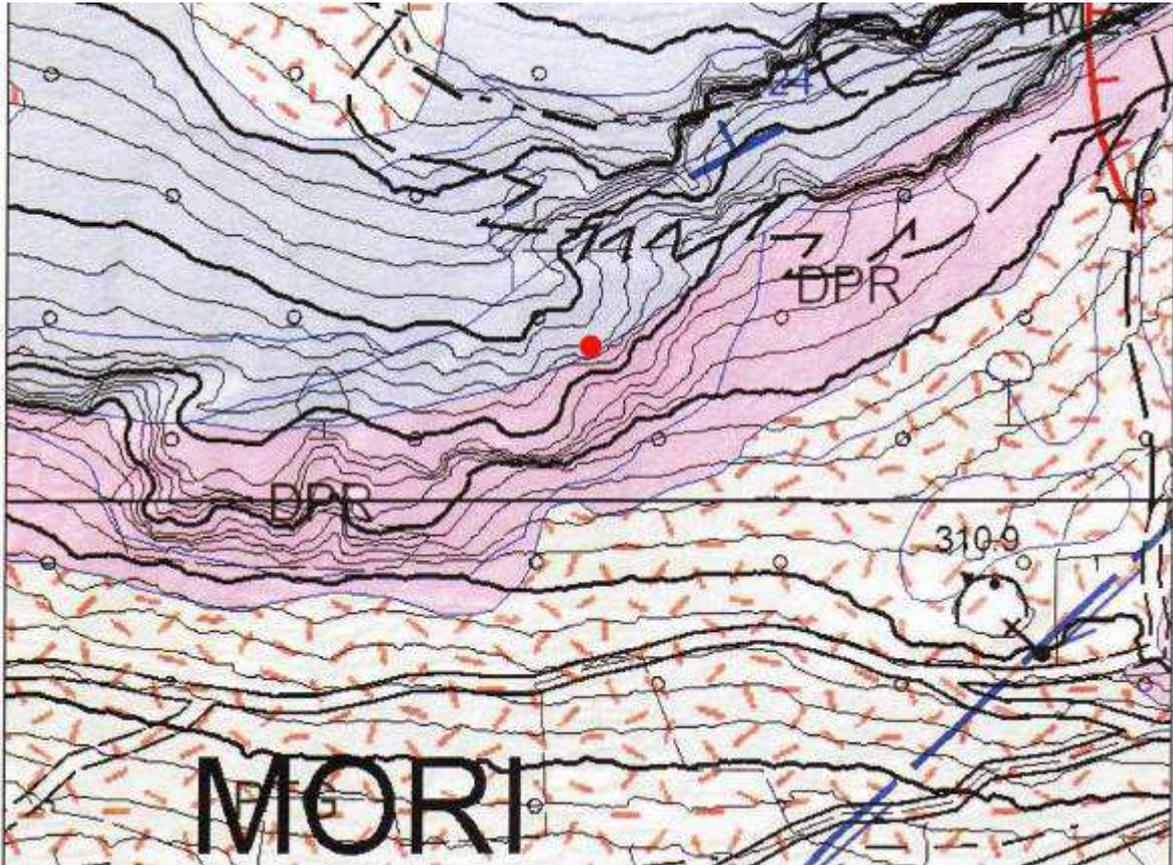


Figura 3.1 – stralcio della carta geologica CARG in scala 1:2.500

#### 4 RETICOLO FESSURATIVO PRINCIPALE

Le fessure principali che determinano i meccanismi di svincolo del prisma roccioso vengono numerate progressivamente da D1 a D4 oltre alla stratificazione ST. I giunti "secondari" hanno invece una numerazione progressiva da knn a knn+1. La figura 4.1 riporta una rappresentazione schematizzata dei principali elementi di svincolo del prisma roccioso, proposta dal dr. Paolo Campedel del Servizio Geologico della PAT sulla base del precedente rilievo geostrutturale dello Scrivente. Da questa si evince come il prisma roccioso sia dislocato dal reticolo fessurativo principale su tutte le sue facce, reticolo che isola il prisma in due sub volumi principali separati da D2. Le figure 4.2 e 4.3 riportano la numerazione adottata ed i relativi punti di acquisizione, in giallo, dei dati geostrutturali.

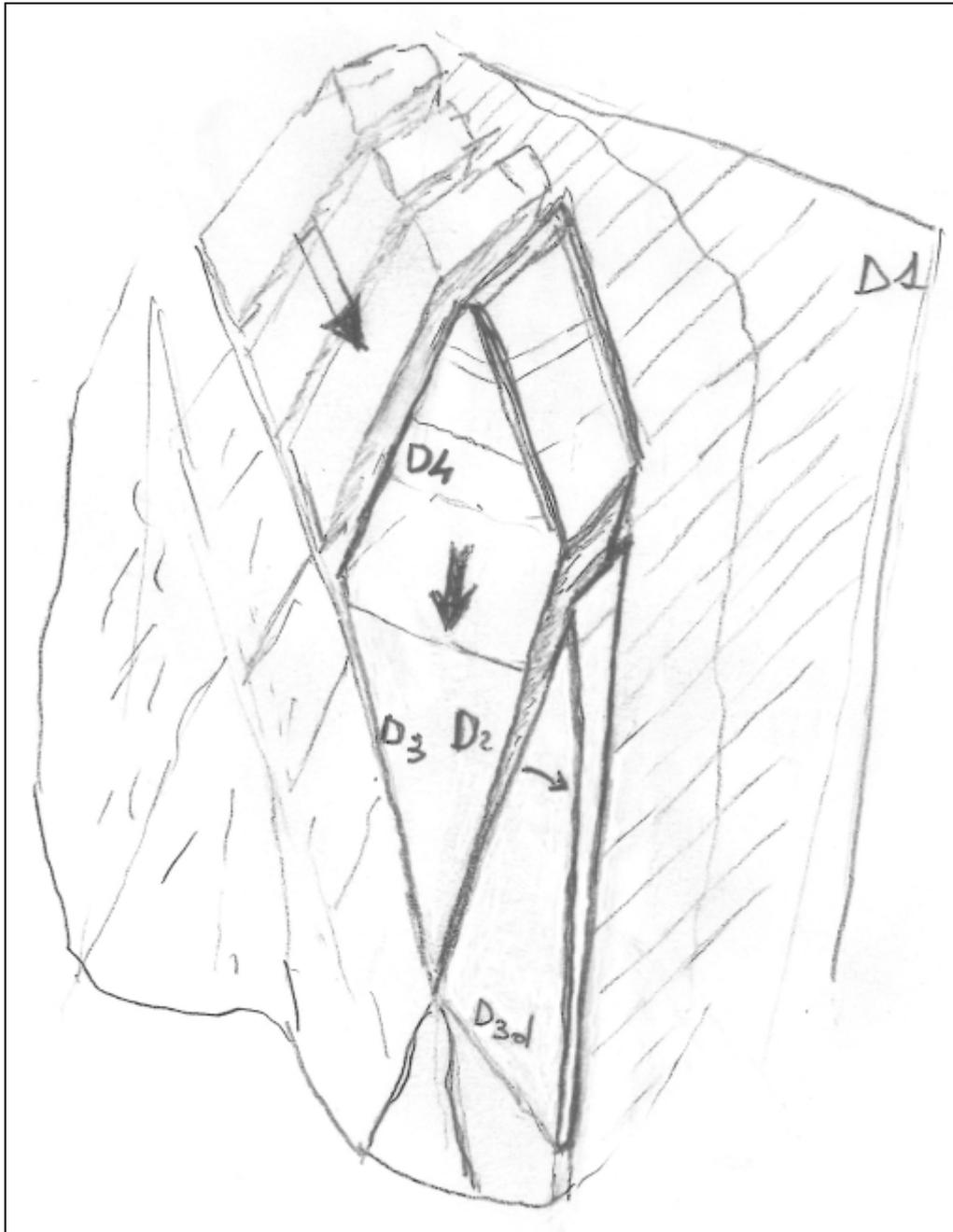


Figura 4.1: principali elementi di svincolo del fianco ovest del prisma (elaborazione dr. Campedel-Servizio Geologico)

Per quanto riguarda il fianco est la tabella 4.1 riporta le relative rilevazioni geomeccaniche, mentre la tabella 4.2 riguarda il fianco ovest. La figura 4.4 riporta su stereogramma i dati rilevati. Nelle foto seguenti si riportano alcuni estratti maggiormente significativi, mantenendo l'identificazione riportata nelle precedenti figure.

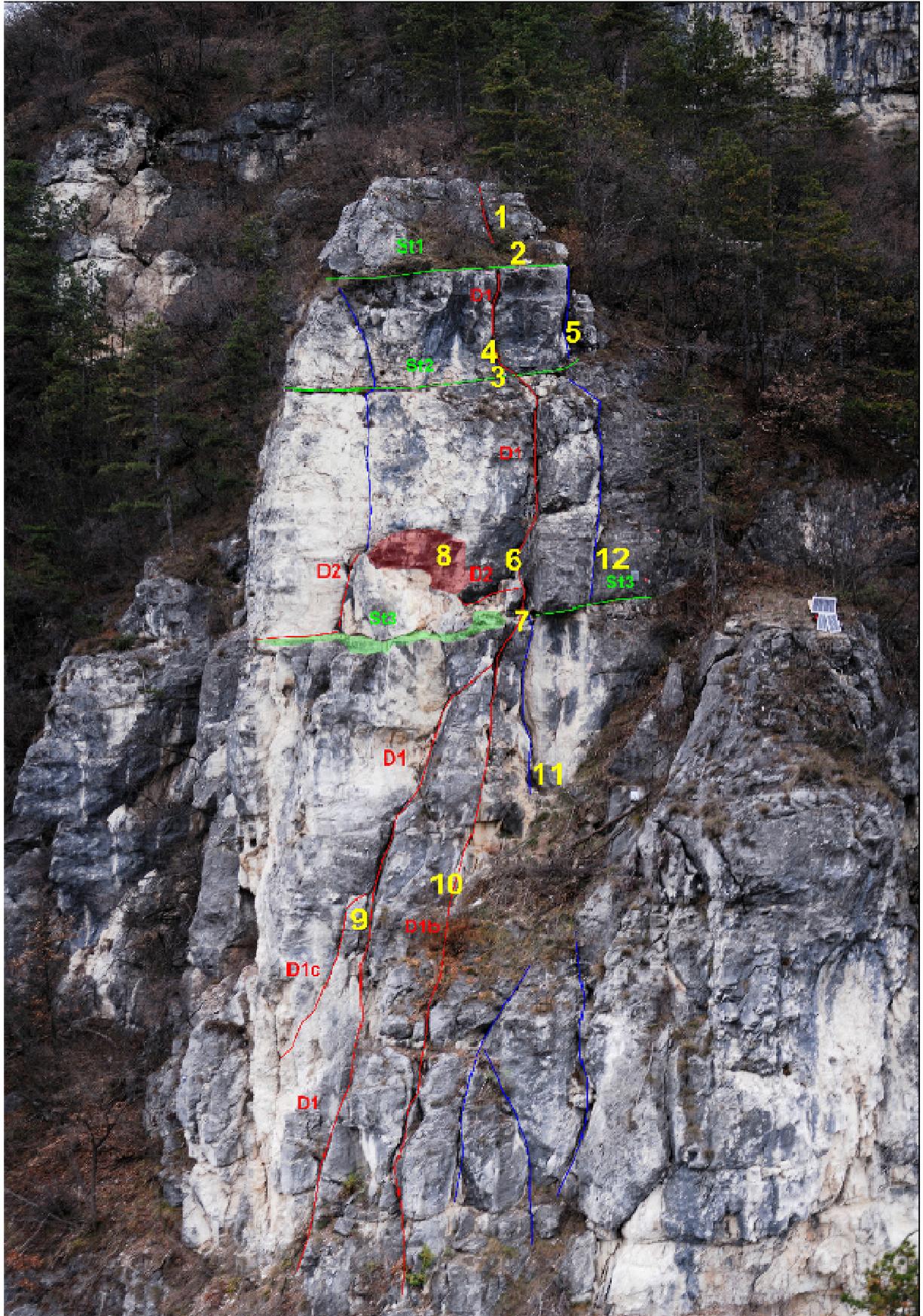


Figura 4.2: fianco est del prisma con indicazione e numerazione del reticolo principale e relativi punti di acquisizione dati geomeccanici

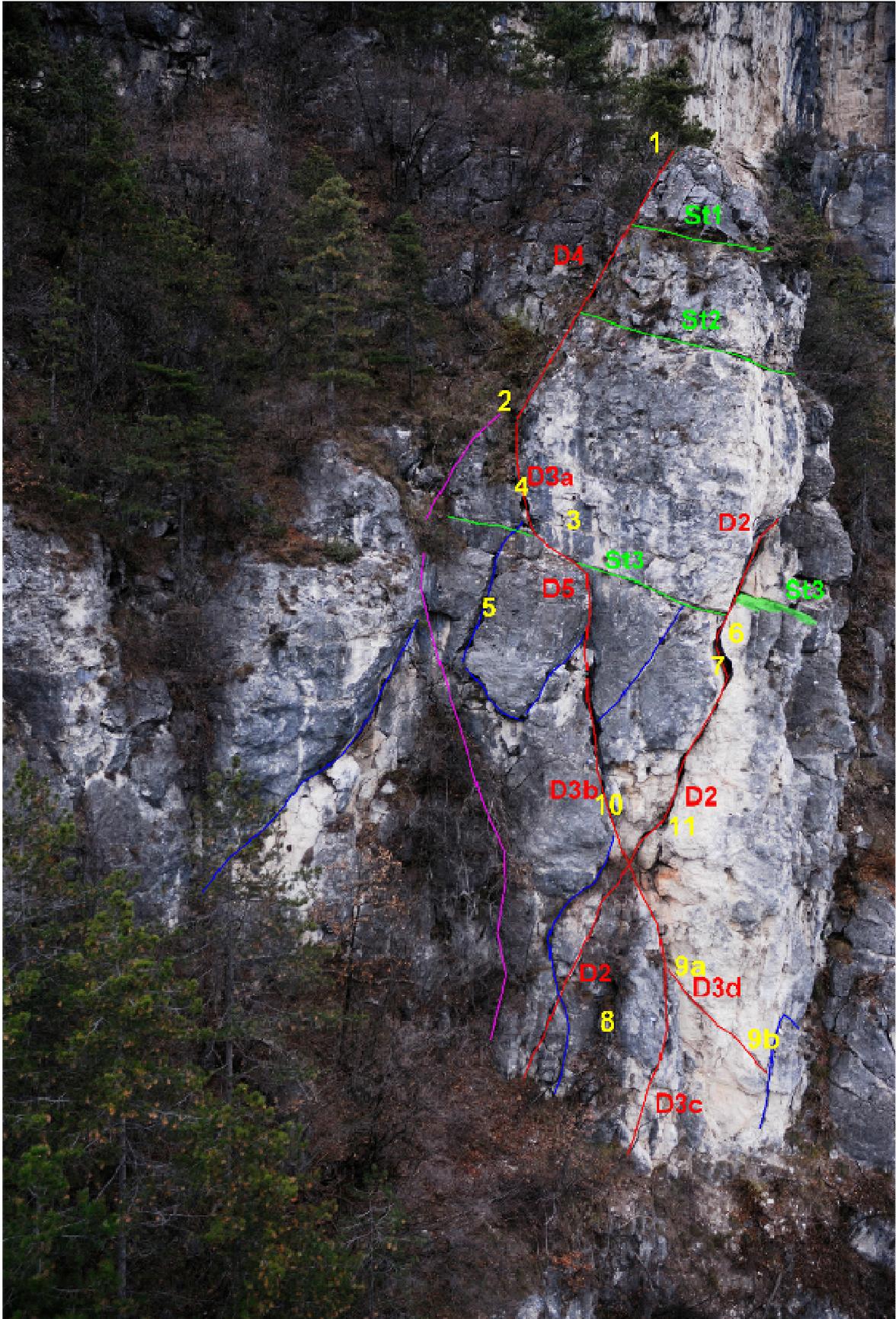


Figura 4.3: fianco ovest del prisma con indicazione e numerazione del reticolo principale e relativi punti di acquisizione dati geomeccanici

CALATA EST								
ID.	SISTEMA	GIACITURA [immersione/inclinazione]	APERTURA [cm]	RIMBALZO SCLEROMETRO	PROFONDITA' FESSURA [cm]	JRC	RIEMPIMENTO	NOTE
1	D1	29/76	20-30	25-26-22-28-29-24-25 (orizz.)	210	14-16	beante detrito grossolano	probabile misura su porzione ammasso ruotata
2	ST1	140/25	---	30-28-33-27-29-35-31 (vert. in giù)	---	10	---	---
3	ST2	131/18	---	22-20-20-18-24-19-20 (vert. in giù)	---	12	---	---
4	D1	234/88	20-40	20-20-22-24-18-19-20 (orizz.)	>200	13-14	beante	---
5	D1 (BLU)	359/85 - 004/80	40-50	18-20-21-21-18-21-22 (orizz.)	320 termina su D1 (id. 5)	14-15	beante detrito grossolano	---
6	D1	212/88	60-120	25-22-28-25-26-24-22 (orizz.)	>500CM	13-15	beante	---
7	ST3	162/35	---	26-24-25-28-24-29-21 (vert. in giù)	---	12	---	probabile misura su porzione d'ammasso ruotata
8	D2	292/45 - 296-35	---	33-31-30-36-33-35 (45° in su)	---	13-15	---	ad est termina su D1 (id6)
9	D1C	209/80-230/85	20-40	25-22-26-25-25-24-23 (orizz.)	>400	13-15	beante	---
10	D1B	233/73	5-20	26-22-24-27-25-27-24 (orizz.)	>200	13-14	beante	---
11	D1BLU	232/85	10-20	25-22-28-25-26-24-22 (orizz.)	>200	14-16	beante detrito grossolano	---
12	D1BLU	13/81	20-25	25-22-28-25-26-24-22 (orizz.)	>300	14-16	beante	---

Tabella 4.1; misure geomeccaniche su fianco est

CALATA OVEST								
ID.	SISTEMA	GIACITURA [immersione/inclinazione]	APERTURA [cm]	RIMBALZO SCLEROMETRO	PROFONDITA' FESSURA [cm]	JRC	RIEMPIMENTO	NOTE
1	D4	305/70	30-50	25-24-22-27-29-26-25 (orizz.)	210	14-16	beante detrito grossolano	---
2	D3A	111/79	30	---	>200	13-14	beante detrito grossolano	fessura su terreno
3	D3A	218/88	10	32-32-28-29-29-34-32 (orizz.)	---	13-15	beante	faccia w del diedro
4	D3A	92/78	40	18-20-21-23-18-20-21 (orizz.)	>250	13-14	beante detrito grossolano	---
5	D4 (BLU)	306/75	30-50	20-22-24-25-19-21-22 (orizz.)	200	14-15	beante	---
6	D3A	285/80	50	23-25-24-28-19-21-24 (orizz.)	>300	13-15	beante	---
7	D3A	298/50	50	23-25-24-28-19-21-24 (orizz.)	>300	13-15	beante	---
8	D3C	234/79	60-80	10-13-11-12-13 (orizz.)	>300	14-16	beante detrito grossolano	catclaste sabbiosa
9a	D3D	150/30	---	8	---	13-14	sabbia	catclaste 5cm sabbiosa
9b	D3D	155/45	---	8	---	13-14	sabbia	catclaste 15cm sabbiosa
10	D3B	255/82	50	23-25-22-22-19-21-22 (orizz.)	>300	14-15	beante	---
11	D2	305/68	20-30	26-22-24-27-25-27-24 (orizz.)	>400	13-15	beante	---

Tabella 4.2; misure geomeccaniche su fianco ovest

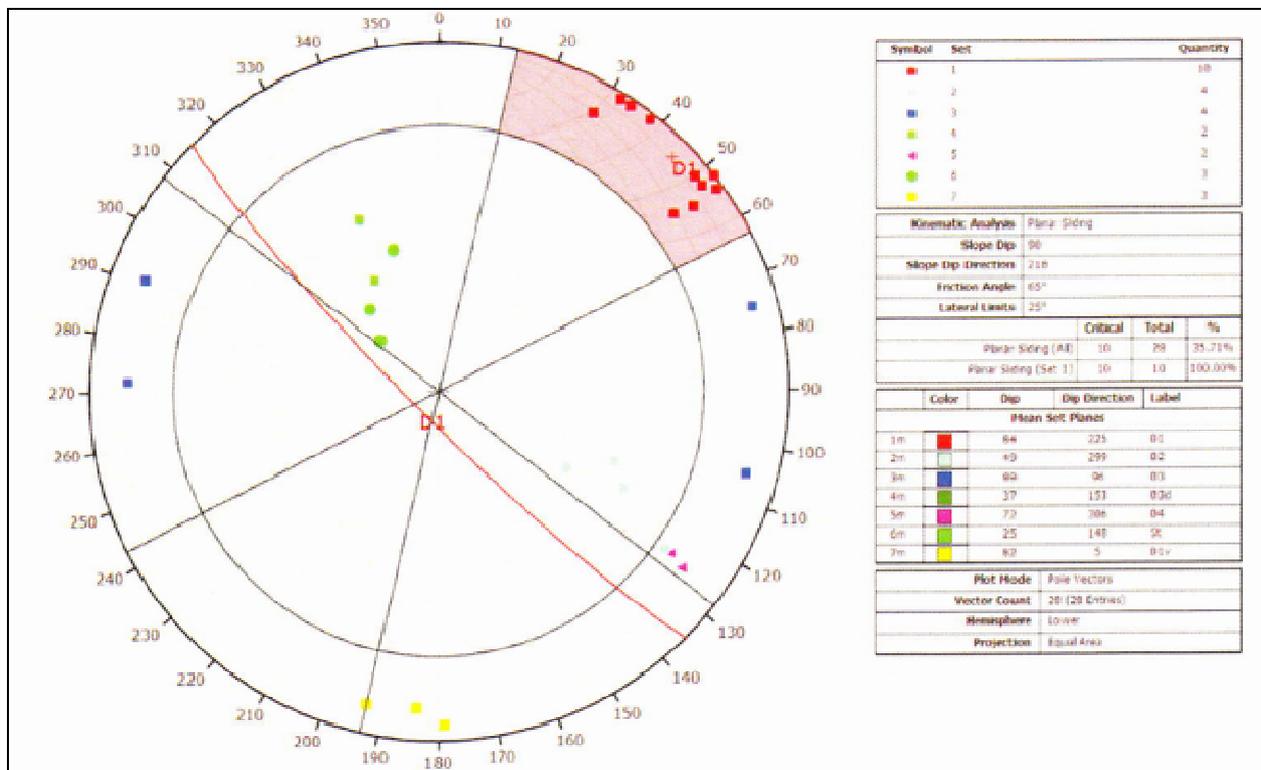


Figura 4.4: stereogramma dati rilevati (elaborazione dr. Campedel-Servizio Geologico): condizione di potenziale scivolamento lungo i giunti del sistema D1 (condizioni attrittive su D1 pari a 65°)

#### 4.1 Documentazione fotografica fianco est



Foto 4.1; D1 su id. 4



Foto 4.2; D1 su id. 6



Foto 4.3; D2 su id. 8



Foto 4.4; D1blu verso id. 11

#### 4.2 Documentazione fotografica fianco ovest



Foto 4.6; D3A su id. 2 (fessura di trazione di neoformazione?)



Foto 4.7; D3C su id. 8 (in alto dettaglio di fascia cataclastica)



Foto 4.8; D3D su id. 9 (a sx D3C, a dx D1 della calata est)



Foto 4.9; D3C su id. 8 con relative fasce cataclastiche, in alto, trasversale a basso angolo, D3D anch'esso con cataclasite decimetrica sabbiosa; in primo piano in basso facies terrigena entro ST

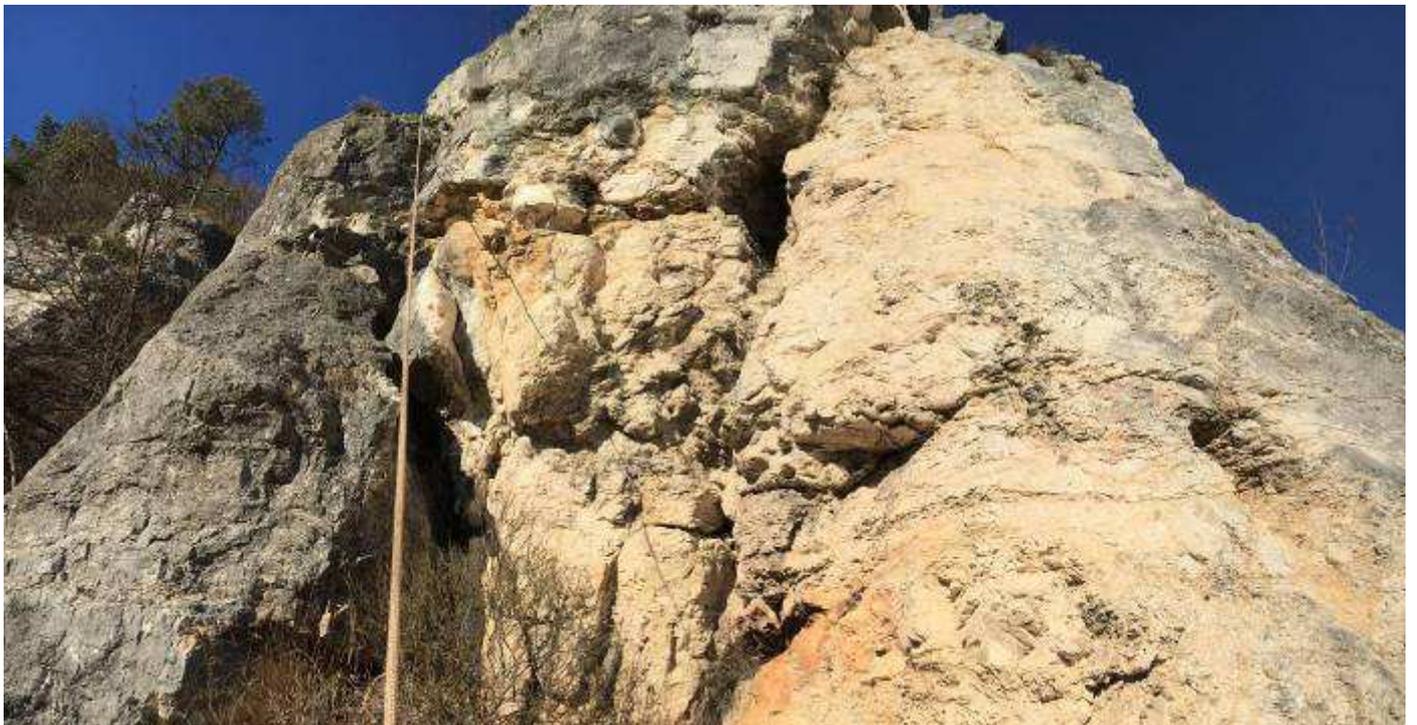


Foto 4.10; D2 (dx) + D3B (sx) su id. 10-11

## 5 RILIEVO E PARAMETRAZIONE GEOMECCANICA

La classificazione geomeccanica è stata eseguita con n. 3 stop di rilievo geomeccanico, ubicati in foto 5.1, con acquisizione dei parametri codificati dalla procedura ISRM (1993). Ogni stop geomeccanico è rappresentativo di una zona omogenea in quanto a qualità geomeccanica.

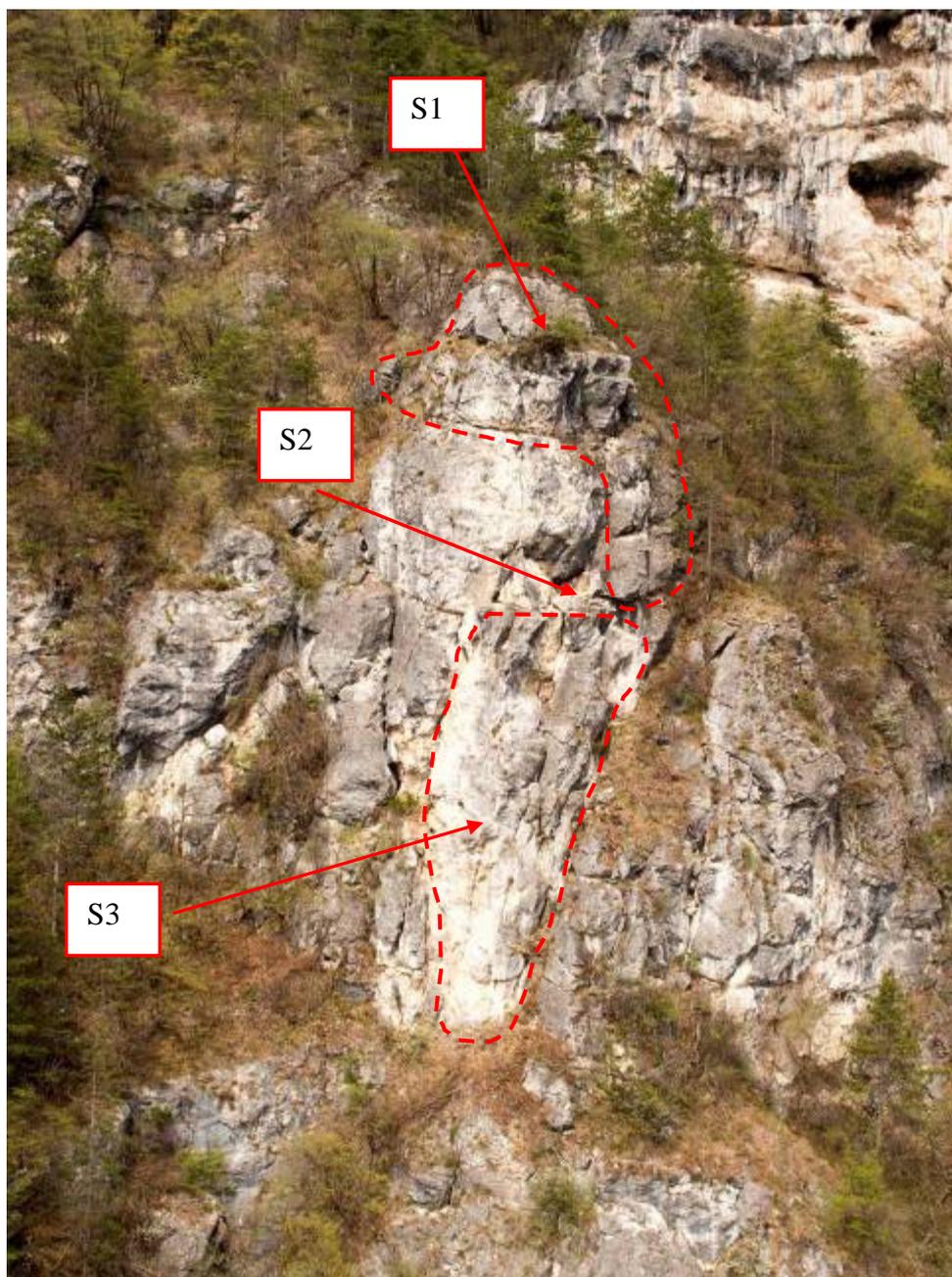


Foto 5.1; diedro 1; stazioni geomeccaniche n. 1, 2 e 3 (foto Servizio Geologico da drone)

La classificazione geomeccanica viene effettuata con il criterio di Bienawski [1989], ovvero con l'indice RMR (rock mass rating), definito mediante la somma algebrica di 5 parametri (definizione del BRMR senza applicazione di coefficienti correttivi-figura 5.1) e con il metodo GSI (geological strength index - Hoek 2002), definito in base alla struttura ed alla condizione dei giunti (figura 5.2).

I rilievi in sito hanno consentito di frazionare in altezza il prisma roccioso suddividendolo in n. 3 porzioni di qualità geomeccanica differente;

1. Settore elevato;
2. Settore mediano;
3. Settore basale.

PARAMETRO		VALORI NUMERICI					
Resistenza a compressione della roccia intatta	Indice di resistenza $I_s$	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	per questo intervallo si ricorre alla determinazione di $C_o$	
	Resistenza a compressione monoassiale $C_o$	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	< 1 MPa
	Coefficiente numerico	15	12	7	4	2	1
	Recusero percentuale modificato RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%	
	Coefficiente numerico	20	17	13	9	3	
	Spaziatura delle discontinuità (giunti)	> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	60 - 200 mm	< 60 mm	
	Coefficiente numerico	20	15	10	8	5	
Condizioni delle discontinuità (giunti)	Continuità	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	
	Coefficiente numerico	6	4	2	1	0	
	Apertura	Chiusa	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1.0 - 5.0 mm	> 5.0 mm	
	Coefficiente numerico	6	5	4	1	0	
	Scabrezza	Molto scabra	Scabra	Poco scabra	Leve	Levigate	
	Coefficiente numerico	6	5	3	1	0	
	Riempimento	Assente	Duro		Soffice		
			< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm	
	Coefficiente numerico	6	4	2	2	0	
	Alterazione	Assente	Debolmente alterata	Modestamente alterata	Molto alterata	Discomposte	
Coefficiente numerico	6	5	3	1	0		
		Superfici molto scabra, non continue, non separate, non alterate	Superfici poco scabra, separazione < 1 mm, lievemente alterate	Superfici poco scabra, separazione < 1 mm, molto alterate	Superfici lisce (idricoidi) o riempimento < 5 mm di spessore o giunti aperti 1-5 mm e continui	Materiale di riempimento soffice > 5 mm di spessore o giunti aperti > 5 mm, continui	
	Coefficiente numerico	30	25	20	10	0	
Venute d'acqua	Venute d'acqua su 10 m di lunghezza di galleria pressione nei giunti	nessuna	< 10 l/min	< 10 - 25 l/min	< 25 - 125 l/min	> 125 l/min	
	Rapporto tensione principale massima Condizioni generali	0	0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5	
	Condizioni generali	completamente asciutto	umido	bagnato	stillicidi	venute d'acqua	
	Coefficiente numerico	15	10	7	4	0	

Figura 5.1; Classificazione Bienawski 1989

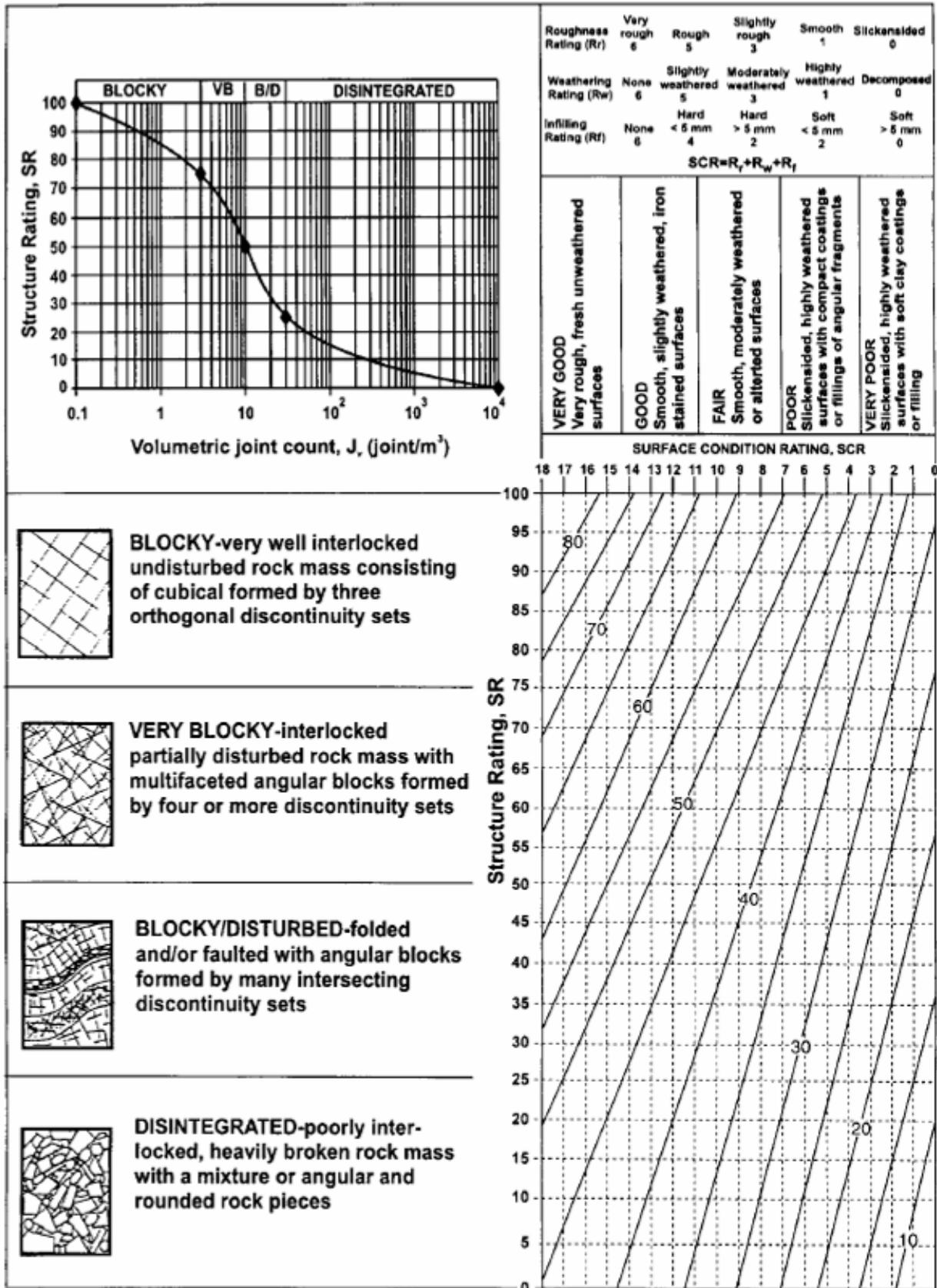


Figura 5.2; Classificazione GSI (Hoek 2002)

## 5.1 Settore elevato

Lo stop n. 1 ha interessato la porzione apicale del prisma roccioso caratterizzato da una stratificazione disposta a basso angolo, ben spaziata a definire bancate rocciose di spessore da metrico a plurimetrico.

L'ammasso roccioso appare interessato almeno da 3 set di giunti pervasivi e tutti caratterizzati da aperture significative, con riempimenti detritici anche grossolani. La "testata" del prisma assume una facies quasi "detritica", a fronte della pervasività e dell'apertura dei giunti principali, seppure il litotipo risulta piuttosto preservato, dando a VRU dell'ordine degli 1-3mc.

Sul fianco ovest il sistema D4, composto da un insieme di diaclasi subparallele, isola il prisma dall'ammasso retrostante; a tergo del prisma, presso il sentiero, è presente infatti una selletta, "incisa" e "ribassata" per circa 2m rispetto alla sommità del prisma stesso (foto 5.1). Il medesimo fianco è inoltre interessato da D3a, giunto ad apertura pluridecimetrica, beante ma con riempimento detritico grossolano; in foto 4.6 si riporta un dettaglio del giunto che si presenta come una fessura di trazione, apparentemente di trazione di neoformazione. E' questo il giunto che assieme a D4 separa il diedro dall'ammasso roccioso retrostante.

Frontalmente e sul lato est sono invece i giunti appartenenti al sistema D1, caratterizzati da elevata persistenza in L2 e da apertura pluridecimetrica a frammentare il volume roccioso in grossolani sub volumi (foto 5.2). Associato a D1 è stato rilevato D1blu, che seca con un angolo di circa 40° lo stesso D1, isolando alcuni volumi grossolani, presenti al bordo est del prisma.

L'intero prisma è definito verso est dal giunto orientato 255/70°, pertanto sub parallelo a D1, che origina il canale detritico che borda a est il prisma nel settore mediano-inferiore (foto 5.2).

La tabella 5.1 riporta le principali caratteristiche geomeccaniche dei giunti rilevati, necessari alla classificazione geomeccanica riportata in tabella 5.2.



Foto 5.1; vista dall'alto del settore elevato (foto Servizio Geologico da drone)

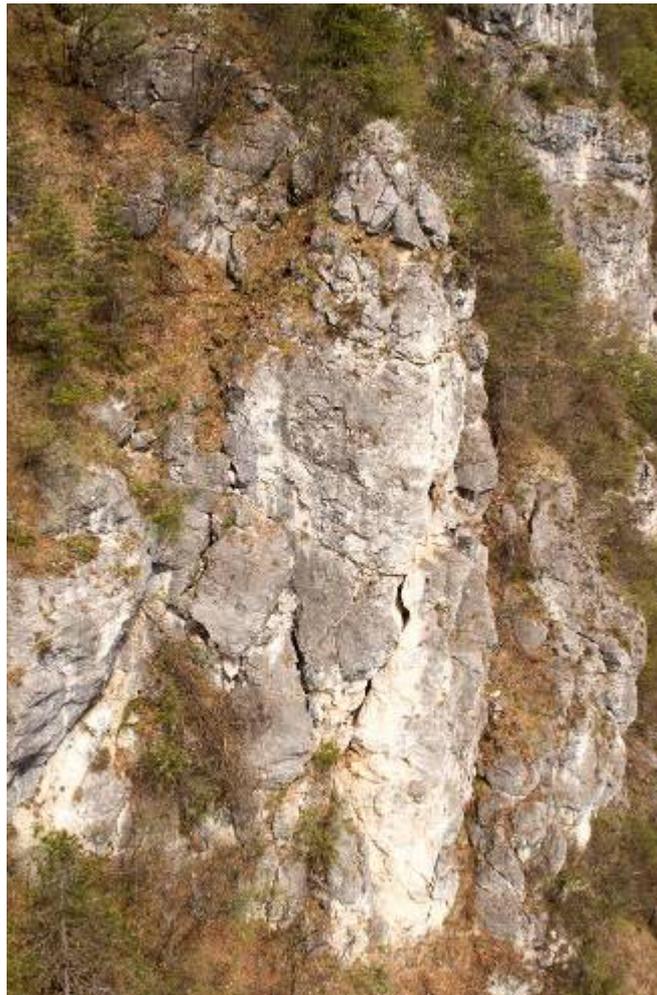


Foto 5.2; vista frontale del settore elevato (foto Servizio Geologico da drone)

stop. 1	tipo.	imm./incl.	persistenza	geometria	alteraz	apertura	riemp.	spaziatura	rimb. scler.
sist. 1	ST	131/18 140/25	L1≅6-8m L2≅1-2m,	liscia ondulata (JRC 10-12)	si	0-1mm	detrito da disfacimento	100/300cm	90° in giù 30/28/33/29/25
sist. 2	D1	29/76 234/88° 232/90	L1≅3-5m, L2>10m	rugosa a gradini (JRC 13-15)	si	20-40cm	beante - detrito	100-200cm	Orizz. 20/24/23/21/22
sist. 3	D1blu	359/85 004/80°	L1≅3-5m L2>10m,	rugosa a gradini (JRC 15-16)	si	40-50cm	beante - detrito	>500cm	Orizz. 20/18/24/22/21
sist. 4	D4	305/70°	L1>10m L2≅ 3-5m	rugosa a gradini (JRC 14-16)	si	30-50cm	detrito-beante	50-150cm	orizz 25/29/27/25/26
sist. 5	D3a	92/78 111/79	L1≅5-8m L2≅ 1-3m	ondulato, rugoso (JRC 13-14)	si	30-40cm	detrito-beante	>300cm	orizz 25/23/26/25/27
sist. 6	kk1	218/88°	L1≅L2≅ 5- 8m	ondulato, rugoso (JRC 13-15)	si	10cm	beante	>500cm	orizz 34/32/31/29/29

Tabella 5.1; caratteristiche geomeccaniche stop 1

PARAMETRO	CAMPO VALORI	INDICE
Resistenza a compressione monoassiale $\delta_c$	50-100 MPa	7
R.Q.D.	50-75%	9
Spaziatura giunti	60-200cm	12
Condizioni dei giunti	Giunti aperti e continui	5
Condizioni idrauliche	asciutto	15
	<b>BRMR</b>	<b>48</b>
	<b>GSI</b>	<b>43</b>

Tabella 5.2; classificazione geomeccanica stop 1

L'ammasso risulta condizionato dalla presenza della stratificazione oltre agli altri 3 giunti principali ed in particolare dalle loro condizioni di apertura e continuità che ne abbassano e ne inficiano la qualità complessiva. Le condizioni di allentamento corticale sul fianco ovest determinano valori di RQD più bassi rispetto al fianco est.

## 5.2 Settore mediano

Lo stop n. 2 ha interessato la porzione mediana del prisma. La stratificazione risulta ben spaziata, di ordine plurimetrico, mentre i giunti D1+D2+D3 risultano sempre pervasivi e beanti, con apertura maggiore rispetto al settore sommitale (foto 5.3). La classificazione geomeccanica risente della notevole apertura e continuità dei giunti di svincolo principale.

Sul fianco ovest è presente D3 sul tratto mediano inferiore (foto 5.3), mentre verso l'alto il prisma è "definito" da D4+D3a. "Esternamente" a D3 sono presenti alcuni volumi completamente separati dall'ammasso proprio da D1,

volumi che localmente raggiungono e superano i 10-15mc; tali volumi inferiormente poggiano su superfici di strato disposte a frana poggio di circa 30°, pertanto in precario stato di stabilità.

La situazione risulta analoga anche sul bordo esterno lato est, laddove l'intersezione di D1+D1blu origina un "castello" di blocchi fortemente ammalorato (cfr. foto 5.3).



Foto 5.3; a sx fianco ovest, a dx fianco est; entrambi i "bordi" presentano VRU considerevoli allentati e separati dall'ammasso retrostante e dal prisma, ancorchè massivi

La tabella 5.3 riporta le principali caratteristiche geomeccaniche dei giunti rilevati, necessari alla classificazione geomeccanica riportata in tabella 5.4.

L'ammasso risulta condizionato e penalizzato più dalle condizioni di apertura e continuità dei giunti principali che dallo stato di alterazione della matrice rocciosa.

stop. 2	tipo.	imm./incl.	persistenza	geometria	alteraz	apertura	riemp.	spaziatura	rimb. scler.
sist. 1	ST	131/18 140/25	L1≅6-8m L2≅1-2m,	liscia ondulata (JRC 10-12)	si	0-1mm	detrito da disfacimento	100/300cm	90° in giù 30/28/33/29/31
sist. 2	D1	212/88 234/88°	L1≅3-5m, L2>10m	rugosa a gradini (JRC 13-15)	si	20-40cm	beante - detrito	100-200cm	Orizz. 25/24/25/24/20
sist. 3	D1blu	359/85 004/80°	L1≅3-5m L2>10m,	rugosa a gradini (JRC 15-16)	si	40-50cm	beante - detrito	>500cm	Orizz. 20/18/24/19/21
sist. 4	D2	292/45 301/35°	L1≅L2=3-7m	rugosa a gradini (JRC 13-15)	si	1-5mm	detrito	>300cm	orizz 33/31/30/28/33
sist. 5	D3a	285/78 (298/50)	L1≅4-6m L2>10m	ondulato, rugoso (JRC 13-14)	si	20-40cm	detrito-beante	>300cm	orizz 3330/28/30/32
sist. 6	D4	305/70°	L1>10m L2≅ 3-5m	rugosa a gradini (JRC 14-16)	si	30-50cm	detrito-beante	50-200cm	orizz 25/29/27/25/26
sist. 7	D3b	255/82°	L1≅2-3m L2>10m	ondulato, rugoso (JRC 14-15)	si	50cm	beante	100-200cm	orizz 30/30/31/29/28

Tabella 5.3; caratteristiche geomeccaniche stop 2

PARAMETRO	CAMPO VALORI	INDICE
Resistenza a compressione monoassiale $\delta_c$	50-100 MPa	7
R.Q.D.	50-75%	12
Spaziatura giunti	60-200cm	12
Condizioni dei giunti	Giunti aperti e continui	3
Condizioni idrauliche	asciutto	15
	<b>BRMR</b>	<b>49</b>
	<b>GSI</b>	<b>44</b>

Tabella 5.4; classificazione geomeccanica stop 2

### 5.3 Settore basale

Lo stop n. 3 ha interessato la porzione medio-basale del prisma caratterizzata da una facies cataclastica diffusa su tutto il settore centrale del prisma (foto 5.4-5.5). L'ammasso roccioso si presenta in facies detritica, a tratti parzialmente ricementata, con cristalli anche centimetrici (foto 5.5), alternata a porzione lievemente più preservate ma sempre fratturate, quasi sempre con su clivaggi ad alto angolo; i rimbalzi dello sclerometro si attestano nelle facies più cataclasate attorno a R=10 o inferiori, con R=13-18 nelle porzioni leggermente più sane.

Solo sui due bordi prevale ancora l'ammasso roccioso litoide, sempre caratterizzato dai giunti sub verticali, beanti o con riempimenti anche cataclastici (foto 5.6). La stratificazione risulta poco o per nulla definita, obliterata dal diffuso stato fratturativo, ad eccezione di un livello più terrigeno al piede del prisma.



Foto 5.4; cataclasiti al piede del prisma



Foto 5.5; dettaglio della cataclasite

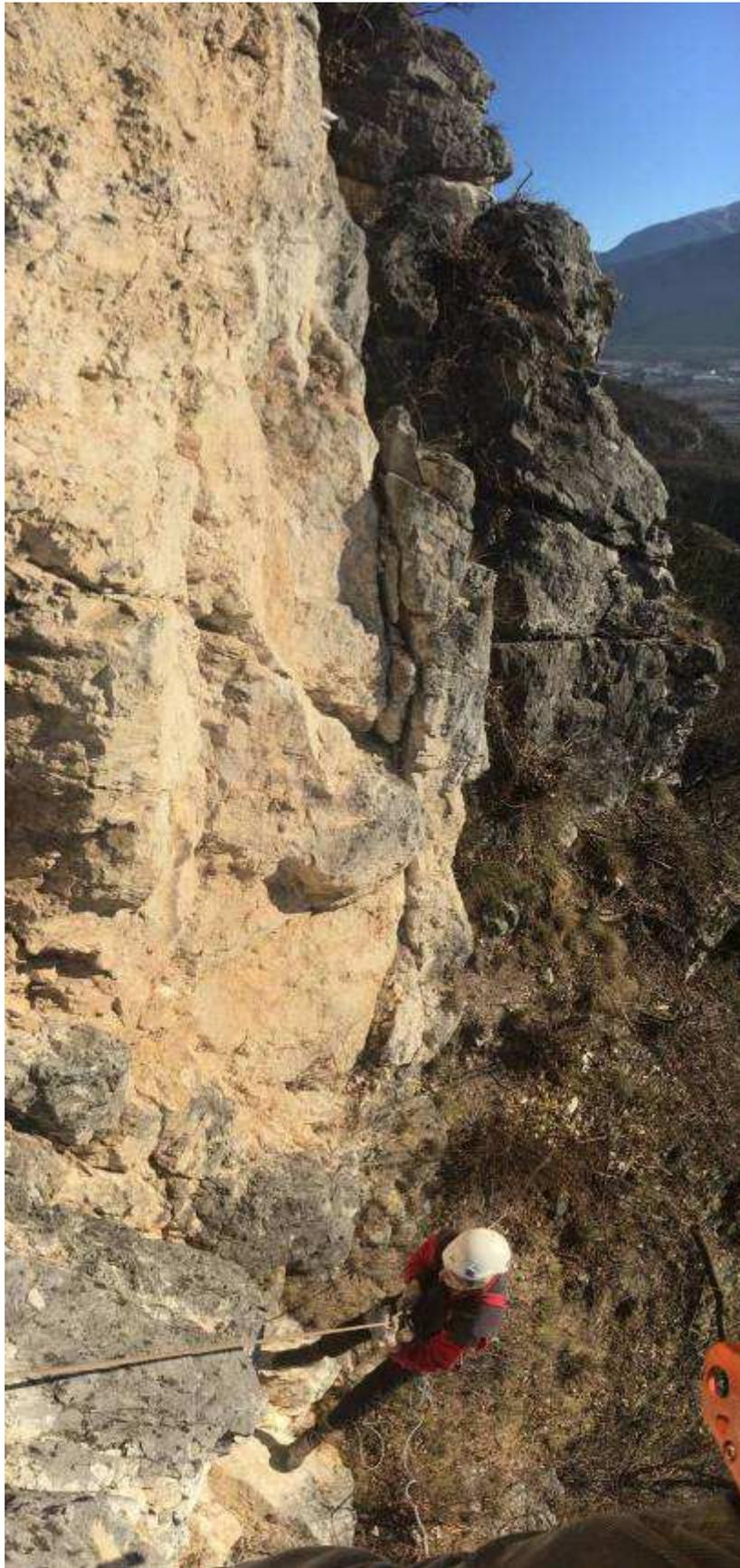


Foto 5.6; vista d'insieme della facies cataclastica nella porzione mediana inferiore della calata ovest; l'ammasso a dx in foto non fa parte del prisma

La tabella 5.5 riporta le principali caratteristiche geomeccaniche dei giunti rilevati, necessari alla classificazione geomeccanica riportata in tabella 5.6.

stop. 3	tipo.	imm./incl.	persistenza	geometria	alteraz	apertura	riemp.	spaziatura	rimb. scler.
sist. 1	ST	135/20-25	L1 $\cong$ 6-8m L2 $\cong$ 1-2m,	liscia ondulata (JRC 10-12)	si	0-1mm	detrito da disfacimento	>300cm	90° in giù 20/18/13/19/11
sist. 2	D1c	209/80 230/85	L1 $\cong$ 2-4m, L2>10m	rugosa a gradini (JRC 13-15)	si	20-40cm	beante - detrito	100-200cm	Orizz. 23/24/25/16/21
sist. 3	D1b	233/73	L1 $\cong$ 2-4m, L2>10m	rugosa a gradini (JRC 13-15)	si	5-20cm	beante - detrito	100-200cm	Orizz. 23/24/19/15/25
sist. 4	D1blu	255/73°	L1 $\cong$ 2-3m L2>10m,	rugosa a gradini (JRC 15-16)	si	5-20cm	beante - detrito	>500cm	Orizz. 20/18/24/22/21
sist. 5	D2	305/68°	L1 $\cong$ 2-3m L2>10m	rugosa a gradini (JRC 13-15)	si	10-20cm	beante	>300cm	orizz 23/20/20/18/23
sist. 6	D3c	234/79	L1 $\cong$ 3-5m L2>10m	ondulato, rugoso (JRC 13-14)	si	20-40cm	detrito-beante	>300cm	orizz 13/17/19/20/13
sist. 7	D3d	150/30 155/45°	L1<1m L2 $\cong$ 4-6m	rugosa a gradini (JRC 14-16)	si	1-5mm	cataclasite	50-150cm	orizz 6/9/13/11/10
sist. 8	Kk2	121/80 200/80	L1 $\cong$ L2=3-4m	rugosa a gradini (JRC 14-16)	si	1-10mm	detrito-beante	>300cm	orizz 9/7/10/11/13

Tabella 5.5; caratteristiche geomeccaniche stop 3

PARAMETRO	CAMPO VALORI	INDICE
Resistenza a compressione monoassiale $\delta_c$	25-50 MPa	4
R.Q.D.	50%	8
Spaziatura giunti	60-200cm	6
Condizioni dei giunti	Giunti aperti e continui	0
Condizioni idrauliche	asciutto	15
	<b>BRMR</b>	<b>33</b>
	<b>GSI</b>	<b>27</b>

Tabella 5.6; classificazione geomeccanica stop 3

L'ammasso risulta fortemente condizionato dalla bassissima resistenza della matrice rocciosa, fortemente ed estesamente cataclasata, a tratti parzialmente ricementata. Sul bordi del prisma la matrice è invece parzialmente preservata, seppure le condizioni di apertura e continuità dei giunti principali siano fortemente penalizzanti.

## 6 MECCANISMI DI SVINCOLO DEL PRISMA

Il prisma roccioso risulta ben definito, alla macro-scala, dal reticolo di giunti principali, in particolare D1 sul fianco est e D3+D4 (ovvero D2) sul fianco ovest (figura 6.1).

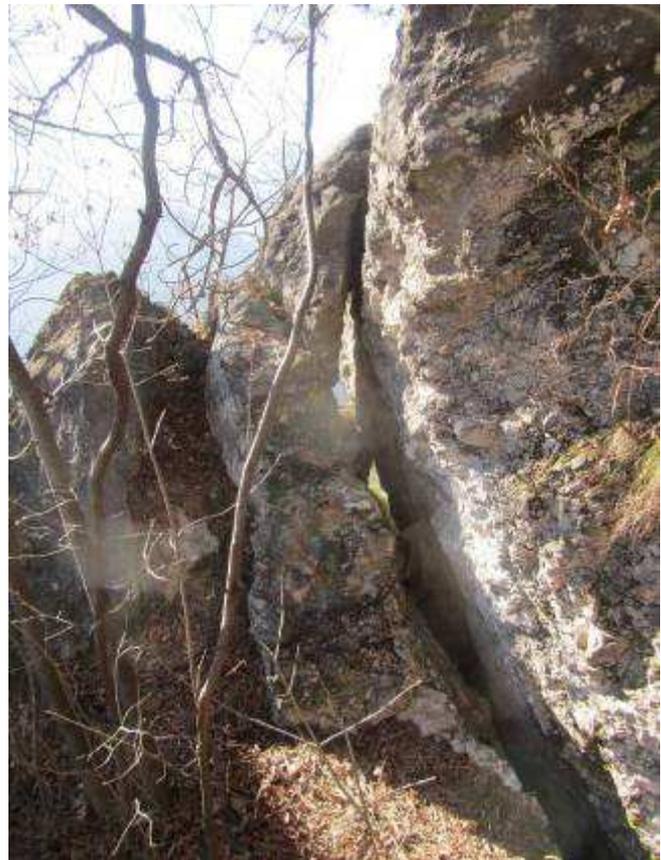
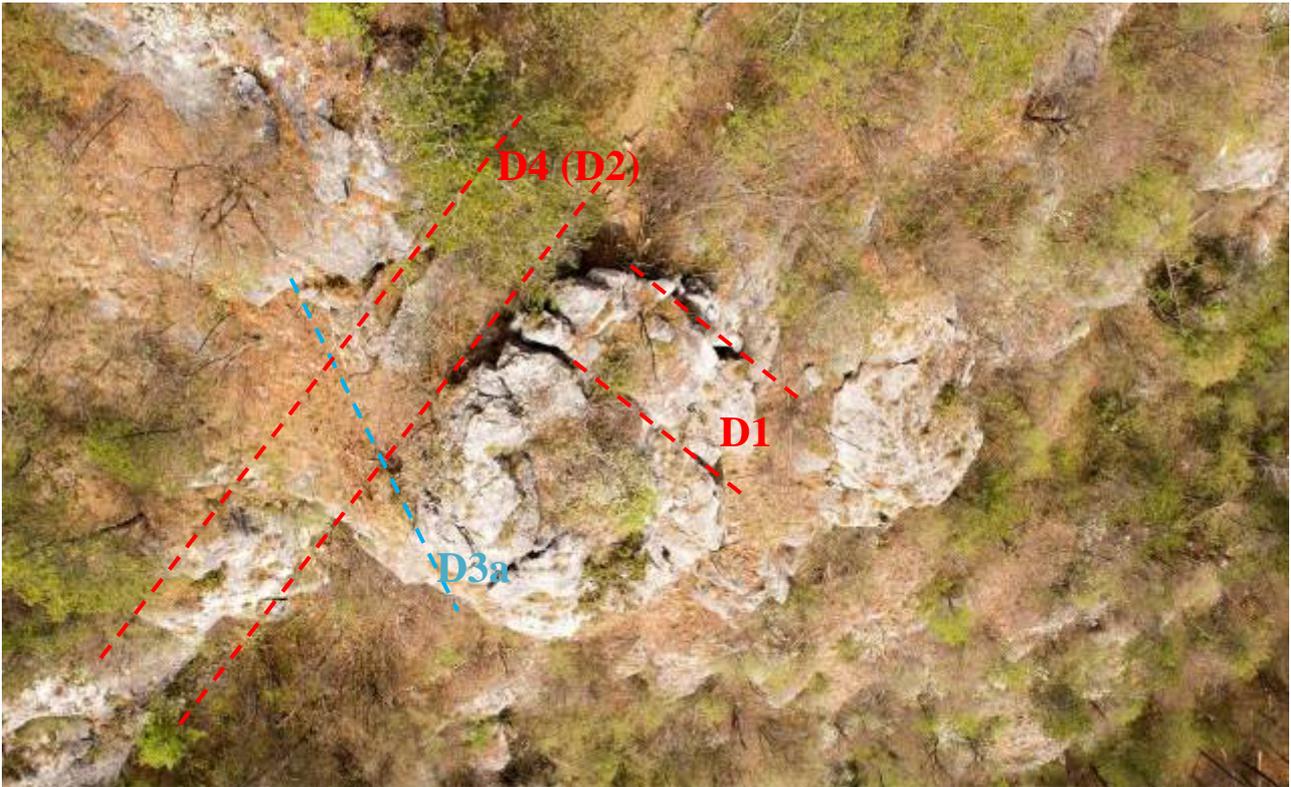


Figura 6.1; vista dall'alto del settore elevato con gli svincoli principali; si noti come il giunto D4 dia luogo ad un'evidente lineazione geomorfologica. Associata a D4 è presente una fascia ammalorata di spessore plurimetrico (spessore 3-4m) ripresa in basso a dx

Tali sistemi si caratterizzano per elevate condizioni di pervasività, associate alle quali troviamo condizioni di apertura da centimetriche e pluridecimetriche. I giunti sono beanti o con riempimenti detritici grossolani, ciottoli e blocchi fino a 30-40cm, immersi in matrice ghiaio-sabbiosa.

Procedendo verso il basso le strutture principali si duplicano su più giunti vicarianti con le relative aperture che tendono progressivamente a serrarsi, perlopiù sul settore ovest.

Passando dalla macro- alla meso- scala, l'assetto strutturale diviene più complicato per i seguenti aspetti principali:

- Associati ai 3 set principali sopracitati, vi sono numerose strutture vicarianti, su entrambi i fianchi, sempre distinte da elevata continuità e apertura, giunti che inseriscono variabili nella definizione univoca geometrica-geostrutturale del prisma;
- La qualità geomeccanica del prisma subisce un sensibile decremento generalizzato dall'alto al basso. In particolare la zona media-basale, che risulta nettamente separata dalla porzione soprastante dal giunto D2, mostra un'estesa facies cataclastica, con VRU decisamente contenuti, fino a locali facies detritiche-cataclastiche, specie se confrontati con la porzione medio alta laddove i VRU, pur in presenza di un pervasivo reticolo fratturativo, si mantengono su entità considerevoli, con porzioni d'ammasso "preservate" dell'ordine dei 5-10mc o più. Ciò è perlopiù dovuto alla spaziatura plurimetrica di ST (foto 6.1);
- Mentre sul fianco est le condizioni di apertura dei giunti principali sono rilevabili in tutta la loro altezza e sono pertanto tali da far ritenere un grado di libertà molto marcato, sul fianco ovest, in corrispondenza della porzione medio-basale più fratturata, il prisma non risulta così univocamente separato dall'ammasso retrostante, perlomeno nel settore mediano inferiore impostato sul set D3 e vicarianti. Proprio questo settore, nel dettaglio sui giunti identificati D3c e D3d, sembra offrire delle residue condizioni di resistenza, definite dalla presenza di ponti di roccia, necessarie per il raggiungimento/mantenimento di condizioni di

equilibrio limite. Occorre anche sottolineare come proprio questo settore si caratterizzi per una qualità geomeccanica decisamente scadente, con diffusi riempimenti, anche sabbiosi, e pertanto suscettibili a erosione o semplicemente all'azione crionivale;

- Sul fianco ovest sono presenti due volumi rocciosi pluridecametrici completamente svincolati dal prisma e dall'ammasso roccioso (foto 6.1).



Foto 6.1: panoramica e dettaglio (cono di visuale a sx) dello svincolo lato est dei blocchi isolati posti sul lato ovest del prisma

Il confronto dei dati da rilievo geostrutturale con l'elaborazione dei dati fotogrammetrici ha fornito una notevole familiarità. Le figure 6.2a e 6.2b mettono a confronto gli stereoplot del rilievo in parete con quello ricavato dai dati fotogrammetrici, poi riassunti in tabella 6.1.

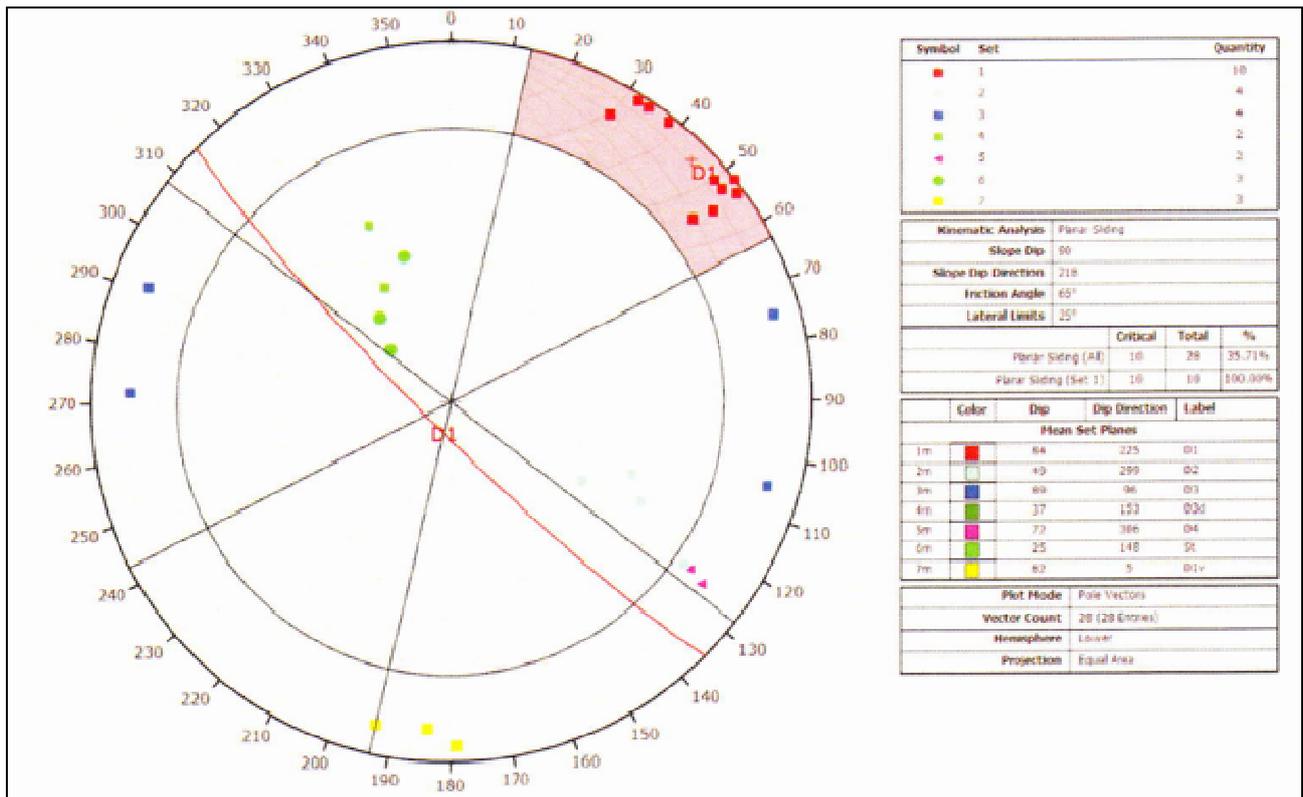


Figura 6.2a: stereogramma dati rilevati (elaborazione dr. Campedel-Servizio Geologico)

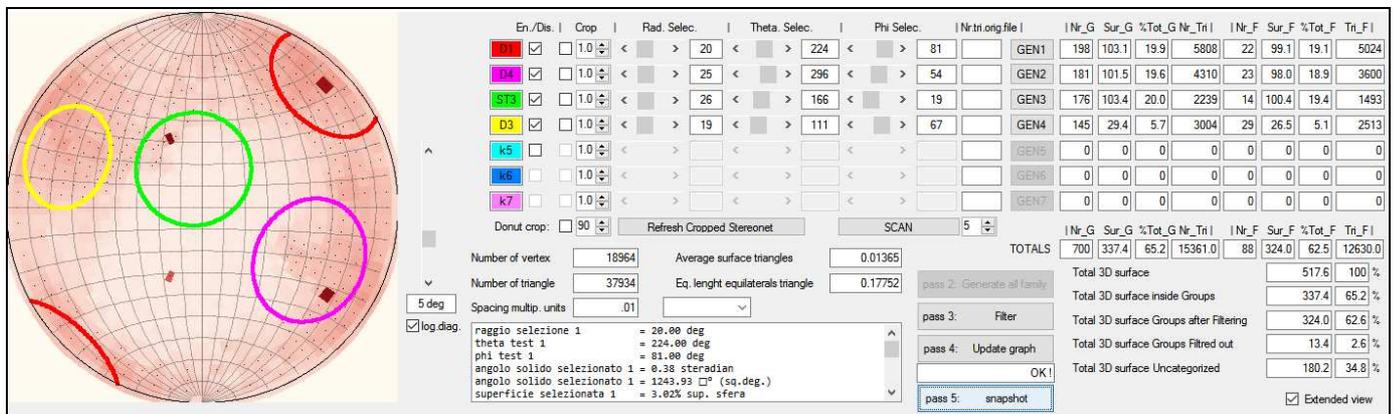


Figura 6.2b: stereogramma dati da fotogrammetria (elaborazione congiunta con Cartorender)

id.	rilievo in parete	fotogrammetria
D1	225/84	224/81
D2	292-296/45	296/54
D3	92-111/78 - 79	101/63
D3d	153/37	
ST	148/18-25	166/19
D4	306/68-72	296/54

Tabella 6.1: confronto dei dati da rilievo in parete e da fotogrammetria

Come rappresentato in fig. 4.1 e ripresentato in fig. 6.3 il prisma roccioso risulta frammentato in due corpi principali, corpo A e B, mentre l'unità C rappresenta la porzione d'ammasso retrostante. Immediatamente più a monte e ad est la stessa porzione C ha manifestato recenti crolli secondari, oggetto di intervento di somma urgenza nella primavera 2016.

I corpi A e B risultano nettamente separati dal giunto D2, rilevato sia in campagna che attraverso la fotogrammetria. I due corpi si suddividono per una qualità geomeccanica complessivamente differente; in alto, corpo A, caratterizzato da giunti aperti e pervasivi seppure di fronte a VRU consistenti, in basso il corpo B, caratterizzato da valori di RQD decisamente contenuti, in particolare sul fianco ovest.

Il corpo A ha a sua volta una porzione sommitale "scorporabile", indicata con A1 in figura 6.3 ed un secondo sub-volume A2 posto nella sua zona radicale.

Il corpo A1 è piuttosto limitato dal punto di vista volumetrico complessivo e contraddistinto da qualità geomeccanica decisamente compromessa a causa della giustapposizione di vari blocchi compenetrati l'un l'altro, separati dall'ammasso retrostante, spesso basculati come rilevato dalle misure puntuali di discontinuità (es. D1 su id. 1).

Il corpo A2 risulta nettamente separato dal corpo A dalla stratificazione ST3 e dal corpo B dal giunto D2. A tergo è invece D3+D4 la disgiunzione che lo isola dall'ammasso retrostante; la sua qualità geomeccanica cala progressivamente dall'alto al basso.

Il corpo A risulta volumetricamente definito in modo preciso dal reticolo principale, ovvero D1 ad est e D4+D3 ad ovest, ST3+D2 in basso. D4 e D2 appartengono al medesimo set, sebbene D4 a tergo del blocco A risulti più inclinato rispetto a D2 che separa in corpo A dal B.

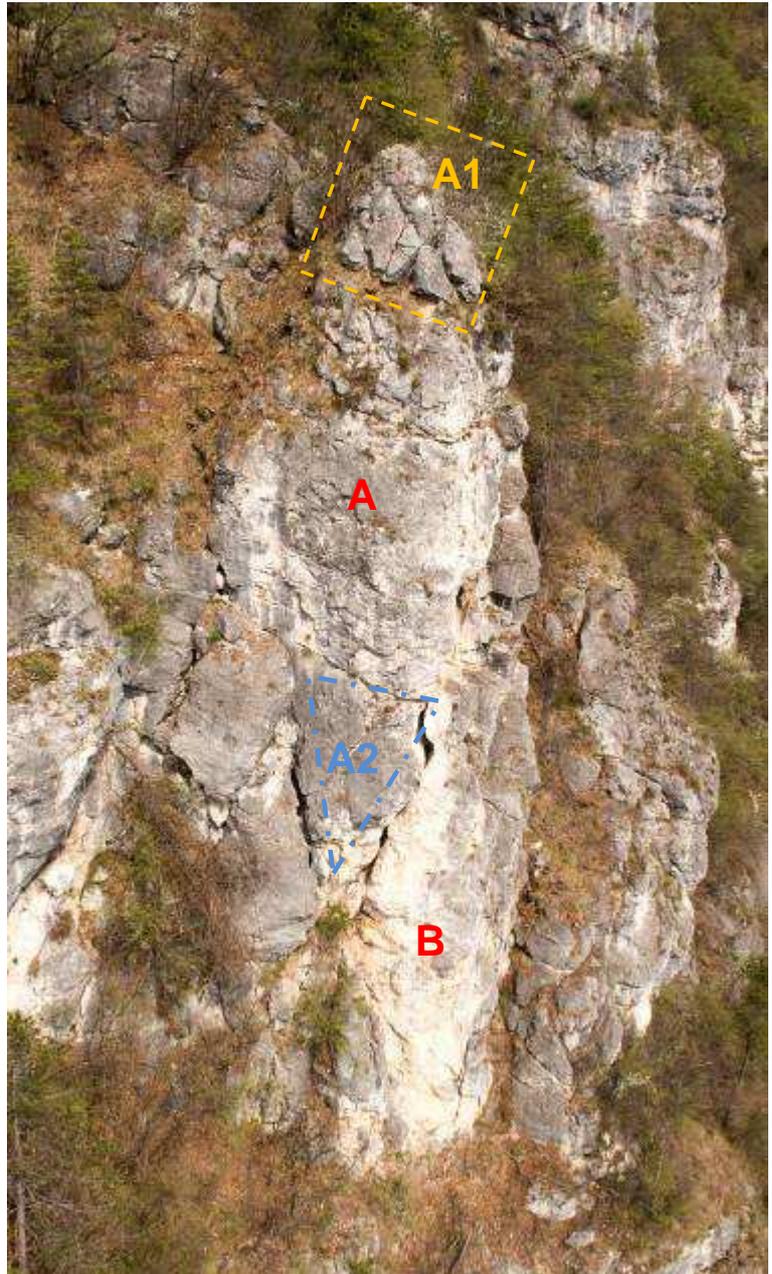
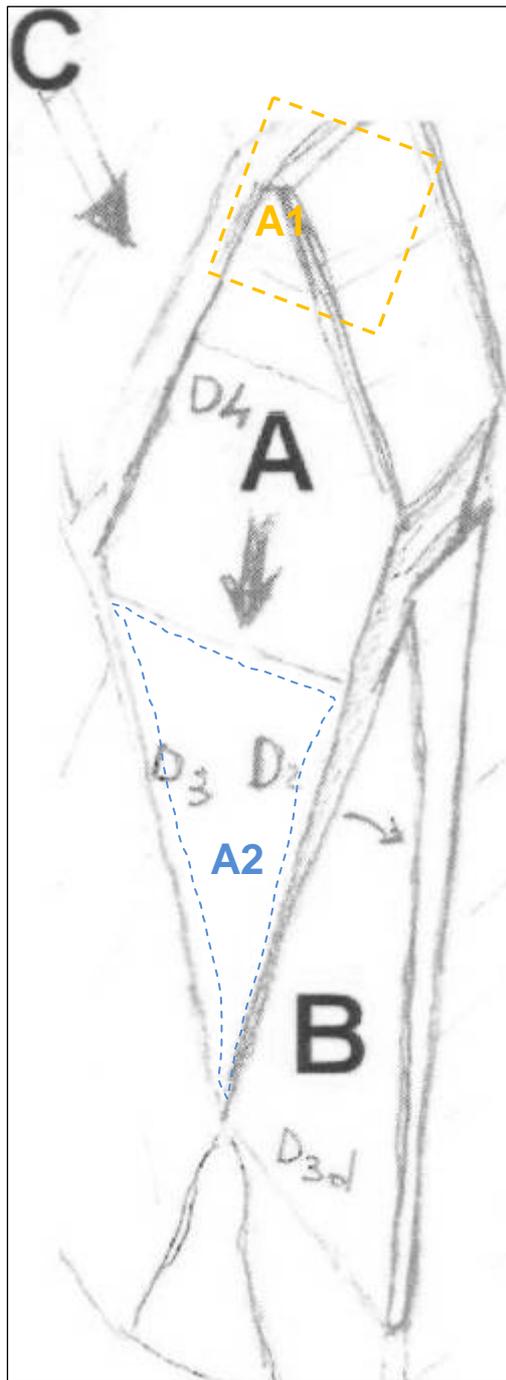


Figura 6.3: principali elementi di svincolo del fianco ovest del prisma (elaborazione dr. Campedel-Servizio Geologico)

Tutti i giunti nominati, ad eccezione di D4, sono disgiunzioni sub verticali contraddistinte da continuità e aperture elevate; la demolizione lungo questi giunti è favorevole nel dar luogo a superfici regolari, potenzialmente caratterizzate da instabilità solo corticali e locali. Anche l'orientazione dei

giunti, tutti ad alto angolo, può determinare favorevoli condizioni di stabilità definitive

In generale tutta la porzione apicale a cavallo tra ammasso in posto (corpo C) e il diedro (corpo A) mostra piuttosto chiaramente un disturbo dell'ammasso in posto da correlare con la deformazione del corpo A. A tal proposito è già stato evidenziato come il giunto D3 che assieme a D4 separa il diedro dall'ammasso roccioso retrostante, presenti un'evidente fessura di trazione beante, apparentemente di neoformazione visto che interessa anche la cotica erbosa superficiale.

D4 costituisce inoltre in alto una fascia ammalorata, scarsamente visibile in affioramento poiché coperta da detrito (cfr. foto 6.1). L'orientazione del giunto, strapiombante di circa  $70^\circ$ , può ostacolare la formazione di una netta superficie di neoformazione post-demolizione non particolarmente favorevole e che può richiedere, se correlata alla scarsa qualità geomeccanica complessiva, misure di consolidamento sistematiche e che possano interessare fasce non solamente sub-corticali.

## **7 ELEMENTI GEOSTRUTTURALI PRINCIPALI PER IL PIANO DI DEMOLIZIONE CONTROLLATO**

La figura 7.1 riporta la delimitazione geostrutturale dei corpi principali del prisma roccioso sulla base delle indicazioni esposte al capitolo 6.

Questa viene attuata estendendo entro l'ammasso roccioso le giaciture rilevate in parete, peraltro confermate anche dal confronto con la fotogrammetria.

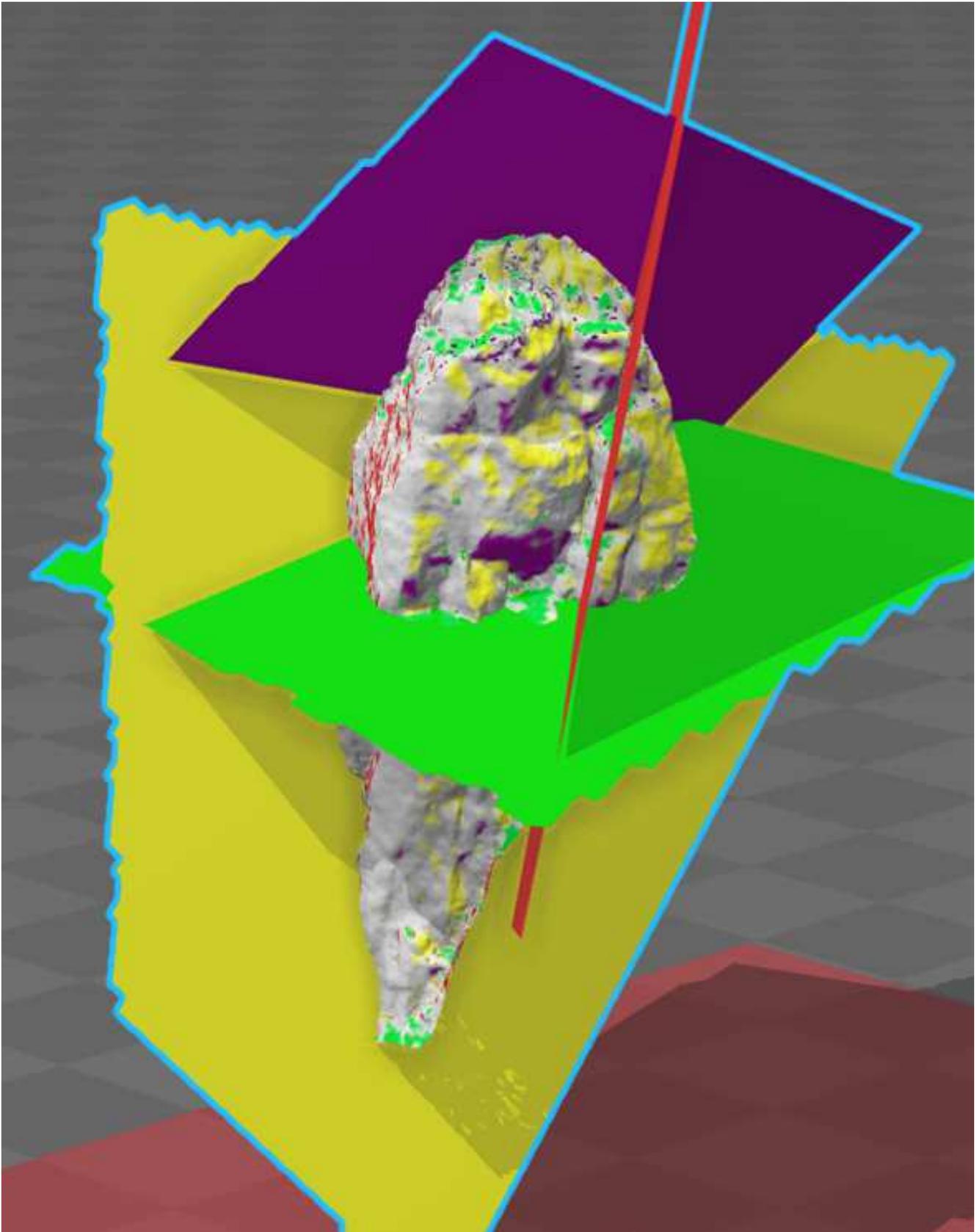


Figura 7.1: definizione dei principali elementi di svincolo del prisma (elaborazione immagine con Cartorender; per l'identificazione dei giunti indicati con colore, confrontare stereoplot di fig. 6.2)

Il piano di demolizione controllato deve considerare i seguenti aspetti principali;

1. nel complesso l'intero prisma roccioso è delimitato e isolato da giunti pervasivi, sia in termini di continuità che di apertura. Tutti i giunti principali, che dislocano il prisma "a tergo", identificati in figura 7.1, non andranno oltrepassati dalle operazioni di demolizione, ciò sia al fine di ottenere migliori superfici di profilatura definitive, che per preservare dal detensionamento porzioni d'ammasso più arretrate ed oggi tendenzialmente indipendenti rispetto allo stato deformativo del prisma;
2. tutti i giunti principali sono ad alto angolo, favorendo sia la rimozione dei volumi, che la formazione di "superfici definitive" perlopiù favorevoli alla stabilità. Fa eccezione D4, che isola la porzione sommitale del prisma con un angolo di 60-70°, strapiombante e quindi potenzialmente delicato rispetto alla stabilità definitiva dell'ammasso roccioso in posto;
3. in termini volumetrici complessivi e specialmente come singoli VRU, si osserva come il corpo A risulti decisamente superiore rispetto al corpo B;
4. il corpo B, ancorchè di qualità geomeccanica assai scadente, offre a tutt'oggi buona parte delle risorse di resistenza in possesso dell'intero prisma, a seguito della presenza di potenziali ponti di roccia posti sul lato ovest nell'ambito delle diaclasi appartenenti al sistema "D3". Occorre anche sottolineare come proprio questo settore si caratterizzi per una qualità geomeccanica decisamente scadente, con diffusi riempimenti, anche sabbiosi, e pertanto suscettibili a erosione o semplicemente all'azione crionivale;
5. sono presenti dei volumi "isolati", posti lateralmente agli elementi di svincolo principale, sia sul fianco est che ovest. Tali volumi, specialmente

sul lato ovest, raggiungono e superano VRU dell'ordine dei dieci metri cubi.

Vi sono inoltre da tenere in considerazione le caratteristiche prestazionali del sistema vallo-tomo paramassi in via di costruzione che richiedono, quale obiettivo finale della demolizione, sia una frammentazione in volumi rocciosi unitari non superiori a 5mc che una demolizione complessiva frazionata in sub volumi, da definire in base all'assetto geostrutturale, al fine di "rispettare" le capacità di "invaso" del sistema vallo-tomo.

Il piano di demolizione deve quindi valutare l'insieme di elementi geostrutturali e geomeccanici che definiscono l'intero prisma roccioso e lo svincolano in sub volumi, i volumi adiacenti e la "salvaguardia" dell'ammasso retrostante, nonché le caratteristiche prestazionali dell'opera di mitigazione.

Come da confronto con il Progettista dr. Nardin, appare quindi necessario focalizzare l'attenzione dapprima sul corpo A, prevedendone una riduzione significativa dei VRU entro un fuso granulometrico compatibile con le misure di contenimento passive presenti al piede del versante ( $VRU < 5mc$ ).

Il corpo B, sgravato della sovrastante massa A che ne inficia le risorse di resistenza, può quindi essere rimosso in condizioni favorevoli, anche in relazione ai VRU che lo caratterizzano e che risultano essere decisamente più minuti.

Risulta evidente che le operazioni di demolizione del corpo A, avvengono in adiacenza al corpo B.

Il piano di demolizione del corpo A dovrà pertanto essere indirizzato verso una minimizzazione del disturbo al corpo B; questo può avvenire, parzializzandone la demolizione, minimizzando la carica unitaria, adottando schemi di volata che tengano in considerazione dell'orientazione dei giunti principali, tutti ad alto angolo e beanti e quindi favorevoli alla dissipazione delle vibrazioni indotte. Il corpo A verrà demolito e frammentato in fasi temporali successive, come indicato in foto 7.1;

- 1 fase); dapprima il corpo sommitale A1, limitato a qualche decina di metri cubi e composto da un insieme di blocchi compenetrati e fatto isolati dal volume A sottostante;
- 2 fase); il corpo A, limitandone inferiormente l'altezza alla superficie di strato ST3, e concentrandosi quindi al settore più grossolano dal punto di vista volumetrico nonché più massivo dal punto di vista dei VRU;
- 3 fase); infine il corpo A2, a valle di ST3, che sarà oggetto di demolizione congiuntamente al "confinatorio" corpo B

Nell'ottica del controllo e della limitazione della trasmissione delle vibrazioni, va sottolineato come il piano ST3 che separa le due fasi principali della demolizione, costituisca un piano con persistenza bidimensionale pluridecimetrica (cfr. foto 7.1), spesso con riempimento detritico da millimetrico a centimetrico, piano che quindi può essere ottimamente "sfruttato" quale elemento di disgiunzione tra le due fasi.

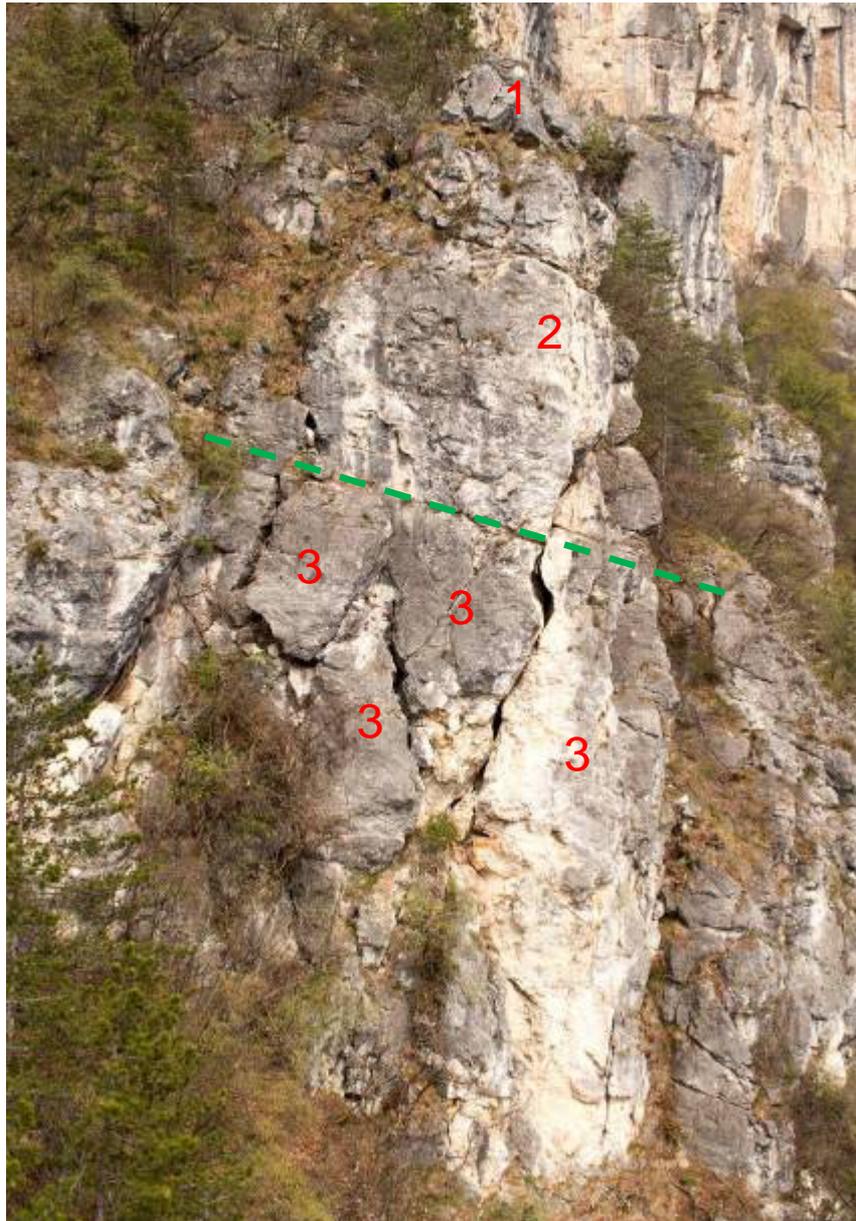
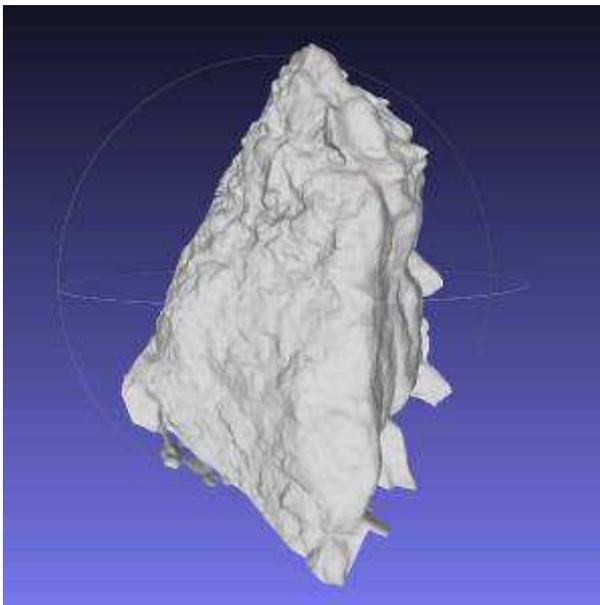


Foto 7.1: in alto panoramica indicazione delle fasi successive di demolizione. Si noti la persistenza di ST3 tracciato in verde (in basso dettaglio dell'intersezione ST3 / D2 tra i corpi A e B)

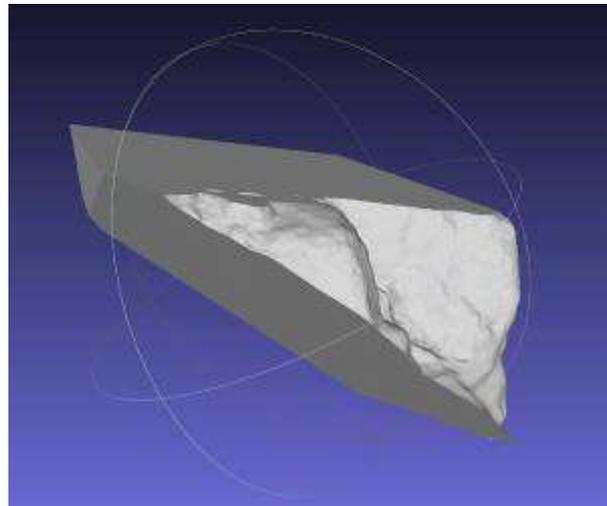
Le figure seguenti mostrano i 3 subvolumi principali da demolire, spazialmente isolati sulla base del reticolo fratturativo principale;

- il corpo A, circa 810mc comprensivi del sub volume sommitale A1 che verrà asportato in via preventiva;
- il corpo A2, circa 265mc comprensivi dei sub volumi posti sul lato ovest;
- il corpo B, circa 280mc.

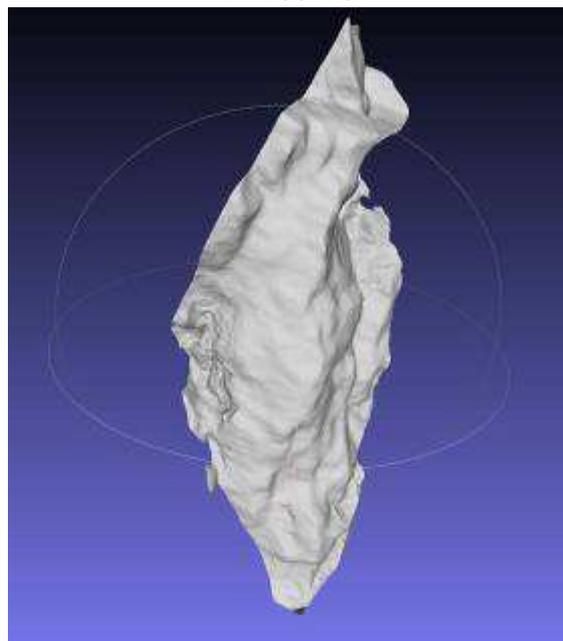
A: 810 m<sup>3</sup>



A2: 265 m<sup>3</sup>



B: 280 m<sup>3</sup>



## 8 MISURE DI MITIGAZIONE PREVENTIVE E DEFINITIVE

La demolizione parziale in sub volumi del prisma roccioso, dapprima con il corpo A (settore mediano-superiore) e quindi con il corpo B e la zona radicale del corpo A (sub-volume A2), richiederà l'accesso delle maestranze a quote precedentemente interessate da interventi di demolizione. Nell'ottica di minimizzare il disturbo sul corpo B indotto dalla demolizione del corpo A, in virtù della necessità di limitare il volume complessivo demolito per ciascuna fase temporale, appare opportuno prevedere un iniziale intervento attivo di placcaggio provvisorio del corpo B (e di A2), nonché ai volumi isolati posti ad ovest, mediante posa di reti ad alta resistenza (es. rete anelli) recapitate ad ancoraggi da realizzare sull'ammasso in posto sia sul lato est che ovest.

In figura 8.1 si identifica l'ubicazione dei punti di ancoraggio delle reti che dovranno per l'appunto essere posizionati nell'ammasso in posto stabile. La rete ad alta resistenza verrà affiancata da un reticolo di funi ad anima metallica per garantire l'adeguata messa in aderenza immediata del sistema rete+funi.

Sul lato ovest le funi dovranno essere "rinviare" come da figura 8.1 per stabilizzare provvisoriamente i due volumi isolati posti esternamente al diedro roccioso.

Per il dimensionamento degli ancoraggi entro il substrato lapideo fratturato, occorre definire l'attrito laterale unitario  $q_s$  (in MPa) ottenibile dall'abaco di Bustamante e Doix di figura 8.2, in funzione della resistenza a compressione monoassiale del litotipo, a sua volta proporzionale con la qualità geomeccanica generale e relativo stato di alterazione. La resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta è stata determinata in sito mediante sclerometro da roccia mediante i noti abachi correlativi. Né risulta una resistenza alla compressione monoassiale di circa 50MPa, valori piuttosto standard per dolomie e calcari massivi. Per tutti gli ancoraggi posti in ammasso di media qualità geomeccanica, l'attrito laterale unitario ( $q_s$  in MPa) si attesta su valori medi pari a:  $q_s = 0.40$  MPa (curva R2 valida per iniezione unica). Per quanto riguarda il coefficiente di sbulbamento  $\alpha$ , in funzione della natura

lapidea dell'intero foro associata ad una moderata fratturazione, si può assumere il valore  $\alpha=1.1-1.2$ . Il primo metro superficiale di substrato roccioso allentato non dovrà essere considerato nel dimensionamento degli ancoraggi.

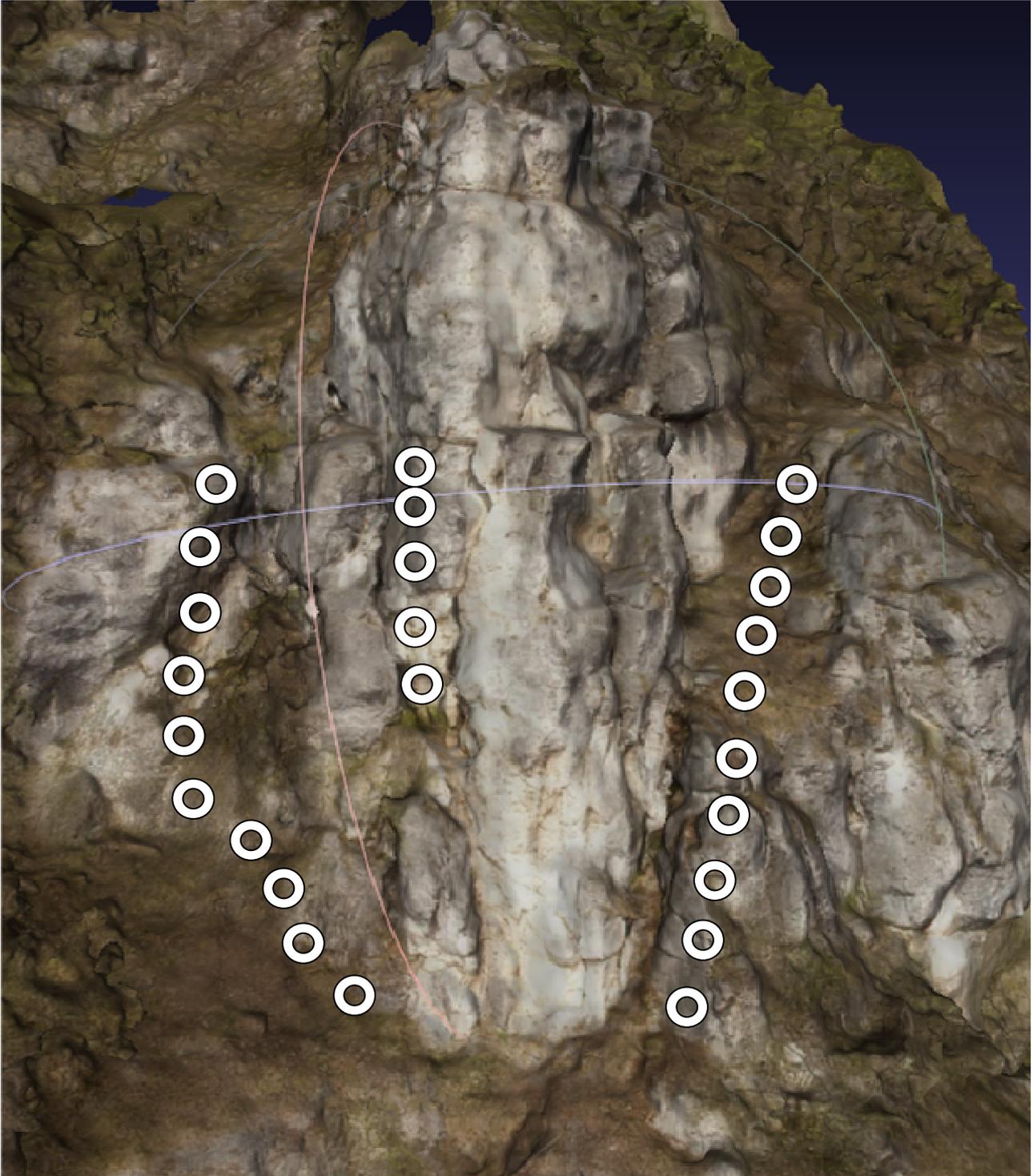


Figura 8.1: disposizione degli ancoraggi delle reti+funi di placcaggio del corpo B+A2+blocchi isolati sul lato ovest

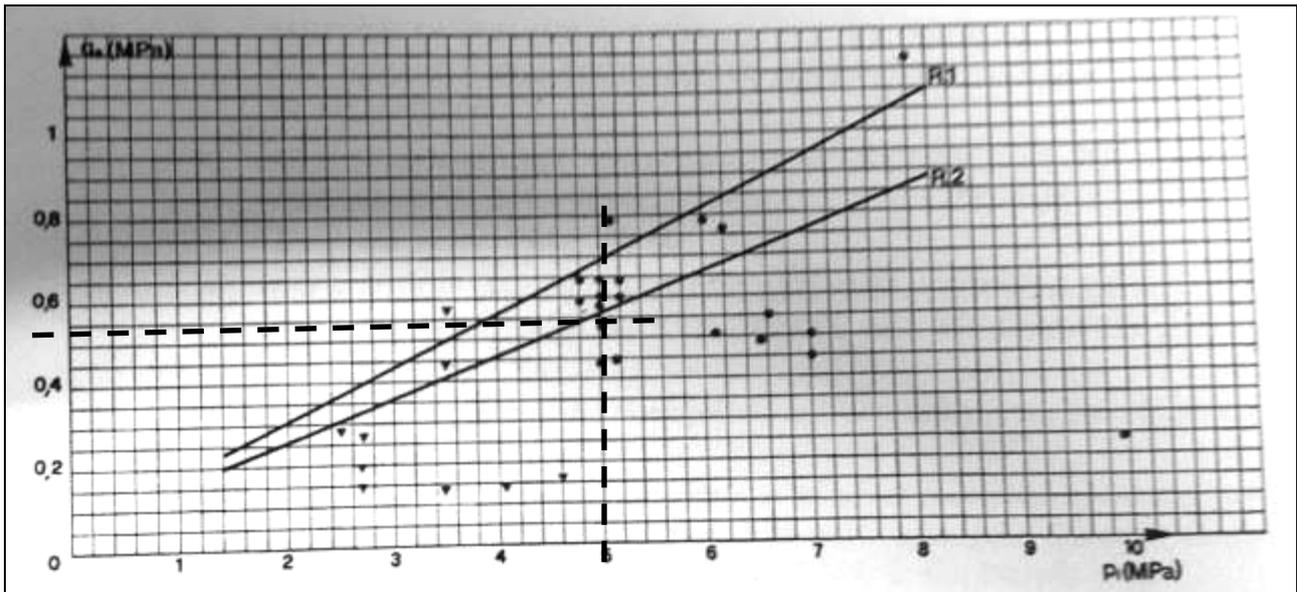


Figura 8.2: Grafico per il calcolo di  $q_s$  medio nelle rocce fratturate e alterate

L'asportazione del corpo A metterà in evidenza sostanzialmente il giunto D1 sul fianco est ed i giunti D4 e D3 sul fianco ovest.

D4, che "oggi" si "materializza" come una fascia ammalorata occlusa da detrito, dopo la demolizione verrà alla luce con un'immersione a strapiombo che potrebbe/dovrebbe richiedere un intervento di consolidamento funzionale a garantire l'accesso in sicurezza verso il sottostante corpo B.

Se in via provvisoria, limitatamente alla durata del cantiere stimata per questo settore in poche settimane, non si ravvedono particolari interventi se non un consolidamento corticale di tipo tradizionale (rete metallica, anche di tipo leggero, chiodatura sistematica, orditura di funi di rinforzo), in via definitiva la superficie post demolizione ed il retrostante ammasso roccioso in posto che già oggi appare detensionato (sia D4 che D3), potrebbe richiedere interventi più approfonditi, da dimensionare anche in base alle modalità di fruizione del pendio a valle del prisma.

Ciò è dovuto perlopiù all'evidenza che già oggi vi sia una componente dell'ammasso roccioso in posto (corpo C in figura 6.3) che sembra gravare sul prisma roccioso (foto 8.1); tale aspetto è da porre in relazione sia alla spaziatura plurimetrica (3-5m) di D2/D4, che alla diaclasi D3. La superficie di neoformazione impostata sul lato ovest perlopiù su D4, insisterà inoltre su una

fascia ammalorata dello spessore dell'ordine dei 2-4 metri come sottolineato da evidenze geomorfologiche presso la selletta che isola il prisma verso il sentiero soprastante (cfr. figura 6.1-foto 8.1).

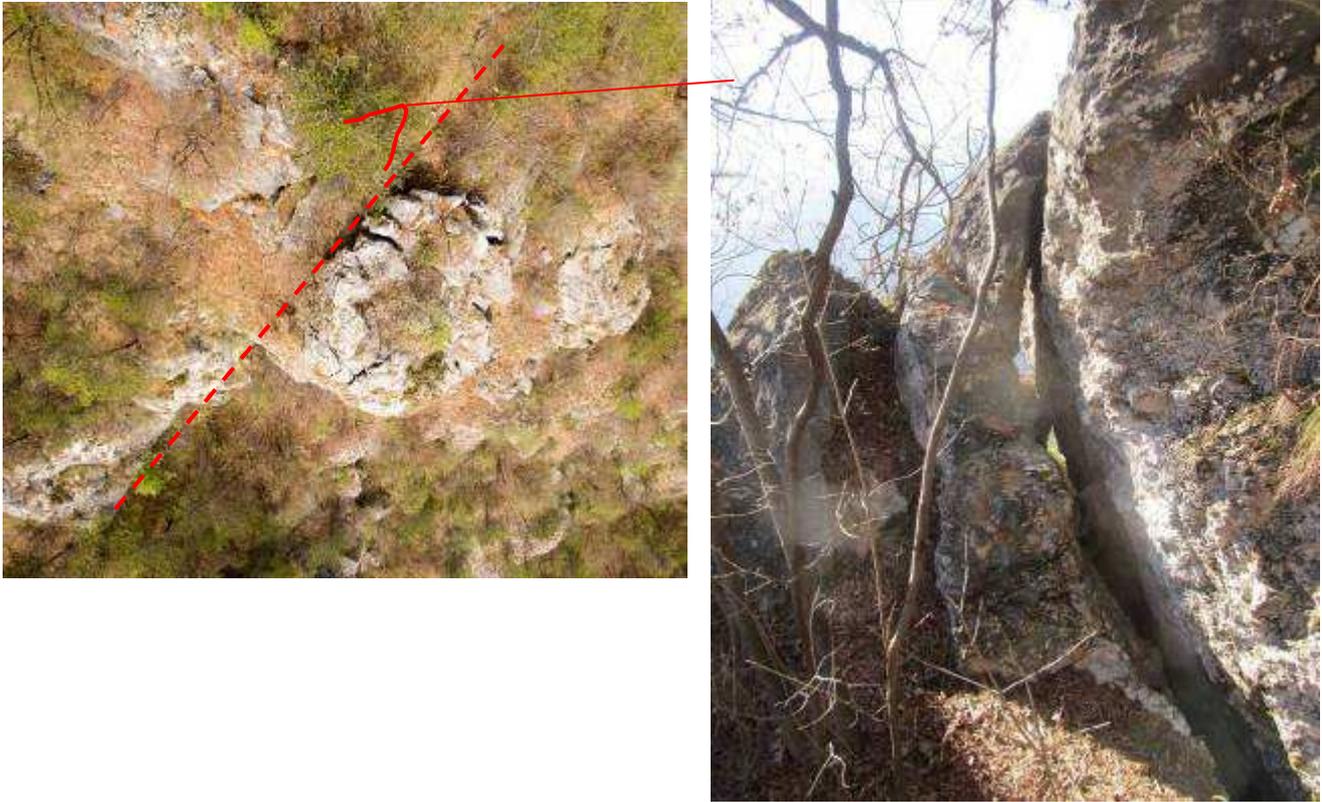


Foto 8.1:particolare di D4 laddove vi è la separazione tra i corpi A e C (cono di visuale su panoramica a sx); il prisma rimane sulla sx

Per tali ragioni pare probabile che le misure di consolidamento definitive comportino chiodature medio-profonde tali da ripartire e trasferire le tensioni nell'ammasso roccioso più preservato, in unione a reti metalliche di tipo pesante. Nella fase successiva alla rimozione del corpo A tali problematiche potranno essere approfondite, arrivando se necessario, ad un intervento di stabilizzazione definitiva.

Va infine ricordato come anche la fase di perforazione funzionale alla demolizione, comporti una perturbazione rispetto alle attuali condizioni di

stabilità residue del prisma; durante tale fase dovranno essere attuate tutte le misure (metodologia e diametro di perforazione) atte a ridurre le vibrazioni indotte, nonché porre in opera un sistema di monitoraggio che consenta al personale impegnato in parete di poter allontanarsi celermente in caso di incremento della deformazione.

17 marzo, 2017

Il Relatore

dr. geol. Franco Andreis

