CONSORZIO DI BONIFICA SUD

Bacino Moro - Sangro - Sinello e Trigno

Via S. Antonio Abate
66054 VASTO (Ch)

DIGA DI PONTE CHIAUCI SUL FIUME TRIGNO

Opere di completamento

- 1° Intervento -

PROGETTO ESECUTIVO

Lotto 9
- Sistemazione ammasso roccioso -

Allegato N°

5

RELAZIONE GEOTECNICA

STUDIO

C.& S. Di Giuseppe Ingegneri Associati Srl

Via Cavour, 45
66010 Palombaro (Ch)
Tel. 0871/895660 fax 0871/895218
e-mail: info@c-sdigiuseppe.com
Homesite: www.c-sdigiuseppe.com

ABICert l'ente di certificazione UNI EN ISO 9001:2008 Certificato n. QBC151
ABICert l'ente di certificazione UNI EN ISO 14001:2004 Certificato n. ABC033
ABICert l'ente di certificazione BS OHSAS 18001:2007 Certificato n. SBC004

PROGETTAZIONE E DIREZIONE LAVORI

C. & S. DI GIUSEPPE
INGEGNERI ASSOCIATI S.r.l.
D.T.: Dott. Ing. Sante DI GIUSEPPE

CONSULENTE

Prof. Ing. Albino Lembo-Fazio
Viale Santi Pietro e Paolo, 34 - 00144 Roma

APPROVAZIONI

IL R.U.P.
Geom. Michele MAGNACCA

Il Commissario

SPAZIO RISERVATO ALL'UFFICIO

Progetto: 549

Committente: Consorzio Bonifica Sud

Numero: 549 E A 05 Revisione 01

ELABORATO DA:
data

VERIFICATO DA:
data

Risultato verifica 1 2 3

DATA Dicembre 2016

RELAZIONE GEOTECNICA

INDICE

1. INTRODUZIONE.....- 2 -
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....- 4 -
3. CARATTERISTICHE GEOSTRUTTURALI DELL'AMMASSO ROCCIOSO..- 12 -
4. CLASSIFICAZIONE TECNICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO .....- 19 -
5. SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI.....- 25 -
6. PRINCIPALI FENOMENI D'INSTABILITÀ.....- 27 -
7. CRITERI DI INTERVENTO.....- 34 -

1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione vengono descritte le caratteristiche geotecniche dello sperone roccioso che affiora sul versante sinistro a valle della vasca di dissipazione della diga di Ponte Chiauci sul Fiume Trigno, nel territorio del comune di Chiauci, in provincia di Isernia.

Lo studio è finalizzato alla progettazione degli interventi di sistemazione, consolidamento e rinforzo dell'ammasso, per migliorare le condizioni di stabilità dei versanti, ridurre il rischio di eventuali restringimenti dell'alveo determinati dallo scivolamento verso valle di blocchi rocciosi, ed infine garantire il transito in condizioni di sicurezza sull'unica via di accesso al piede della diga.

La zona a valle della diga è costituita da versanti molto acclivi interessati da significativi fenomeni gravitativi (foto 2). In sinistra idrografica del fiume Trigno il versante è caratterizzato dalla presenza di uno sperone roccioso calcareo delimitato da pareti sub-verticali e sormontato da un ripiano morfologico. L'elevato grado di fratturazione dello sperone, e la presenza di alcuni importanti piani di faglia suddividono l'ammasso roccioso in numerosi blocchi e placche che tendono a staccarsi dalla parete ed ad accumularsi sui ripidi versanti al piede della rupe. Numerosi blocchi sono attualmente appoggiati lungo il versante, o leggermente incastrati nella coltre detritica che lo ricopre, e si trovano in condizioni di equilibrio precario; alcuni di questi blocchi hanno già raggiunto il sottostante alveo del fiume. Le condizioni di precaria stabilità potrebbero essere compromesse da eventi piovosi di particolare intensità e durata o per l'erosione e lo scalzamento del terreno di appoggio. Infine,

Il versante in destra idrografica è caratterizzato dalla presenza in sommità di un alto fronte sub-verticale, costituito da roccia intensamente fratturata, da cui si verifica il distacco e crollo di blocchi che poi rotolano verso valle. I massi vengono di norma fermati nella loro discesa dalla vegetazione presente lungo il versante; successivamente, nel tempo, il moto roto-traslativo può essere di nuovo attivato dal venir meno del sostegno fornito dai massi adiacenti e dalla copertura arborea, determinando la caduta di questi massi sull'unica strada di accesso al piede della diga.

Nel seguito vengono descritti i fenomeni di instabilità che interessano i versanti e vengono esaminate le problematiche geotecniche connesse con la

progettazione degli interventi di sistemazione, consolidamento e rinforzo previsti in progetto.

Foto 1 – Foto aerea zona imposta diga e zona di valle

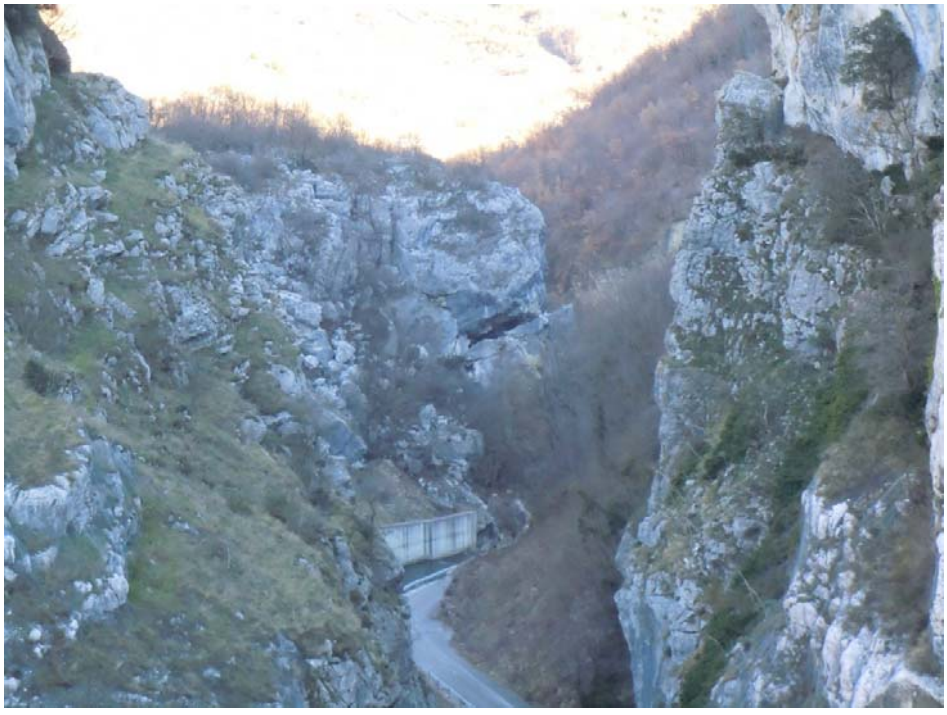


Foto 2 – Vista dei versanti a valle della diga

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Una descrizione delle caratteristiche geologiche e della morfologiche dell'area in esame è riportata nella *"Relazione geologica ed Idrogeologica"* redatta dal Dott. Geol. Domenico Pellicciotta, allegata al presente progetto, e nella *"Relazione geologica"* a firma del prof. D'Alessandro allegata al progetto esecutivo delle opere di completamento e di sistemazione delle pendici dell'invaso (settembre 2007).

Nel seguito si riporta una descrizione sintetica del contesto geologico dell'area in esame. Per una esposizione più dettagliata ed articolata si rimanda alla documentazione sopra citata.

L'area è situata nella zona settentrionale del Molise, in provincia di Isernia.

Nell'area in esame affiorano litologie di diversa natura, riferibili sia alla Successione marina del Bacino Molisano-Sannitico, sia alla Successione continentale che comprende i depositi superficiali più recenti.

Le successioni e le formazioni affioranti appartenenti alla successione marina sono i *Calcari detritici (CD)*, i *Diaspri (DS)*, i *Calcari detritici e diaspri (DSD)*, i *Calcari, marne e marne argillose (CMA)* e le *Argille e arenarie (AA)*, mentre quelle appartenenti alla successione continentale sono le *Brecce di versante (bc)*, il *detrito di versante a blocchi (db)*, i *depositi colluviali (cl), il detrito di versante (dt)* ed i *depositi alluvionali (al)*.

Lo sperone calcareo presente sul versante sinistro, a valle della vasca di dissipazione, è costituito da calcari bioclastici bianco avana appartenenti alla formazione dei calcari detritici. La formazione è costituita da banchi di spessore metrico con rare intercalazioni marnoso-argillose. La stratificazione è sempre poco definita e spesso non distinguibile all'interno dell'ammasso.

Alla base del versante sinistro sono presenti i Diaspri (DS) ed i Calcari, marne e marne argillose (CMA). Entrambe le formazioni non sono visibili ai piedi dello sperone in quanto sono coperte da accumuli di blocchi calcarei che si sono distaccati dallo sperone stesso. I Diaspri sono costituiti da marne e calcari marnosi, verdastri grigi e rossastri con abbondanti lenti e liste di selce, in strati di spessore variabile da 1-2cm a 7-10cm, con interstrati verdastri spessi 1-3cm. La formazione dei Calcari, marne e marne argillose è invece costituita da un alternanza di calcari micritici e calcareniti, in strati da centimetrici a decimetrici, e da marne e marne

argillose in strati decimetrici. Quest'ultima formazione affiora nell'area a nord dello sperore calcareo.

Per quanto riguarda i depositi continentali, sul versante è presente il *Detrito di versante a blocchi*, costituito da clasti calcarei eterometrici, con dimensioni generalmente comprese tra pochi centimetri e 20-30 cm, con blocchi isolati che raggiungono i 2m di diametro. La quantità di matrice è maggiore in corrispondenza delle aree di affioramento dei Diaspri, dove è costituita da limo argilloso rossastro. A ovest della sperone la falda detritica copre i Diaspri con uno spessore variabile da qualche decimetro a pochi metri. A nord della sperone calcareo questi depositi affiorano in corrispondenza di un impluvio poco marcato, in un area che si allunga parallelamente al bordo della sperone stesso. Lo spessore di questi depositi varia da qualche decimetro a qualche metro.

Sul versante destro affiorano sia i Diaspri (DS) sia i Calcari detritici e diaspri (DSD). Questi ultimi sono costituiti da calcari detritici chiari e biancastri in strati di spessore variabile da pochi centimetri a 10 cm, con intercalati strati detritici spessi anche 1m. Tra i diversi strati calcarei sono intercalati livelli di argille ed argille marnose.

Per quanto riguarda i depositi continentali sul versante destro sono presenti Brecce di versante (bc), costituite da brecce a elementi calcarei angolosi, eterometrici, con clasti compresi tra i 5-10 cm e blocchi con diametro superiore al metro (fino a 2-3m).

Sulle pendici sono inoltre presenti, in maniera subordinata, i Depositi colluviali (cl), costituiti da limi e sabbie, affioranti sulla parte sommitale dello sperone in corrispondenza di un ripiano morfologico, il detrito di versante (dt), composto da clasti calcarei centimetrici sciolti, affioranti in destra idrografica a valle della zona di imposta della soglia di valle ed i depositi alluvionali, costituiti da ghiaie e blocchi calcarei parzialmente arrotondati, che occupano il letto dell'alveo di magra e di morbida del Trigno.

Nelle figure 1, 2 e 3 è riportato uno stralcio della carta geologica ed alcune sezioni allegate alla documentazione sopra citata che chiariscono in dettaglio il complesso quadro geologico precedentemente descritto.

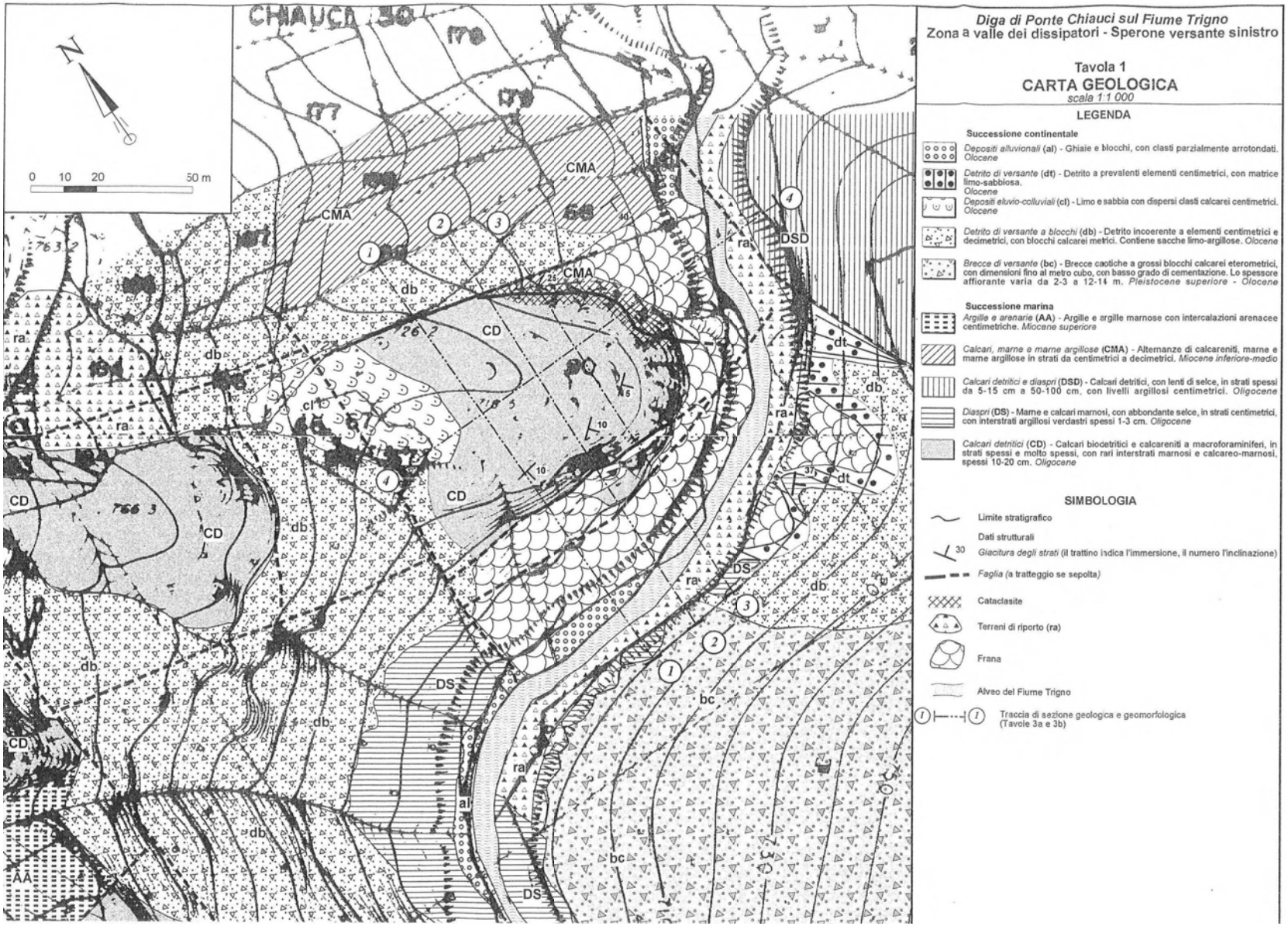

CHIAUCI 30
N
0 10 20 50 m
CMA
DSD
CD
db
ra
cl
dt
DS
bc
al
AA
1
2
3
4
Diga di Ponte Chiauci sul Fiume Trigno
Zona a valle dei dissipatori - Sperone versante sinistro
Tavola 1
CARTA GEOLOGICA
scala 1:1 000
LEGENDA
Successione continentale
Depositi alluvionali (al) - Ghiaie e blocchi, con clasti parzialmente arrotondati. Olocene
Detrito di versante (dt) - Detrito a prevalenti elementi centimetrici, con matrice limo-sabbiosa. Olocene
Depositi eluvio-colluviali (cl) - Limo e sabbia con dispersi clasti calcarei centimetrici. Olocene
Detrito di versante a blocchi (db) - Detrito incoerente a elementi centimetrici e decimetrici, con blocchi calcarei metrici. Contiene sacche limo-argillose. Olocene
Brecce di versante (bc) - Brecce caotiche a grossi blocchi calcarei eterometrici, con dimensioni fino al metro cubo, con basso grado di cementazione. Lo spessore affiorante varia da 2-3 a 12-14 m. Pleistocene superiore - Olocene
Successione marina
Argille e arenarie (AA) - Argille e argille marnose con intercalazioni arenacee centimetriche. Miocene superiore
Calcari, marne e marne argillose (CMA) - Alternanze di calcareniti, marne e marne argillose in strati da centimetrici a decimetrici. Miocene inferiore-medio
Calcari detritici e diaspri (DSD) - Calcari detritici, con lenti di selce, in strati spessi da 5-15 cm a 50-100 cm, con livelli argillosi centimetrici. Oligocene
Diaspri (DS) - Marne e calcari marnosi, con abbondante selce, in strati centimetrici, con interstrati argillosi verdastri spessi 1-3 cm. Oligocene
Calcari detritici (CD) - Calcari biocetritici e calcareniti a macroforaminiferi, in strati spessi e molto spessi, con rari interstrati marnosi e calcareo-marnosi, spessi 10-20 cm. Oligocene
SIMBOLOGIA
Limite stratigrafico
Dati strutturali
Giacitura degli strati (il trattino indica l'immersione, il numero l'inclinazione)
Faglia (a tratteggio se sepolta)
Cataclasite
Terreni di riporto (ra)
Frana
Alveo del Fiume Trigno
Traccia di sezione geologica e geomorfologica (Tavole 3a e 3b)

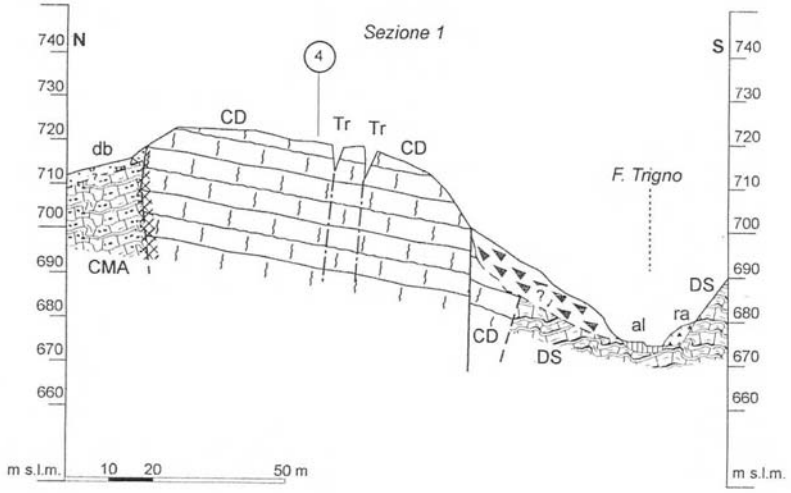
Figura 1 – Stralcio Carta Geologica allegata alla "Relazione Geologica" del Prof. D'Alessandro (settembre 2007)

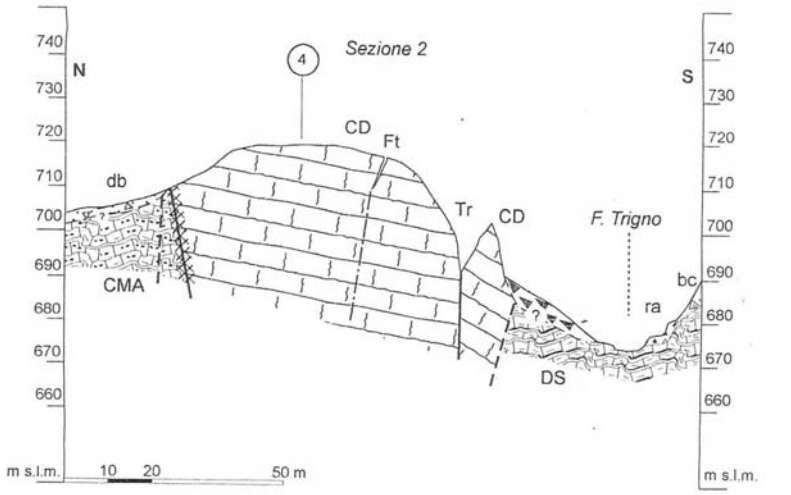
Diga di Ponte Chiauci sul Fiume Trigno
Zona a valle dei dissipatori - Sperone versante sinistro

Tavola 3a

SEZIONI GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE

1:1 000





SIMBOLOGIA

- Riporti antropici (**ra**)
- Depositi alluvionali (**al**)
- Detrito di versante a blocchi (**db**)
- Brecce di versante a blocchi (**bc**)
- Calcari, marne e marne argillose (**CMA**)
- Calcari detritici e Diaspri (**DSD**)
- Diaspri (**DS**)
- Calcari detritici (**CD**)
- Cataclasite
- Frana di crollo o ribaltamento
- Faglia (a tratteggio se sepolta)
- **Ft** - Frattura principale di trazione
- **Tr** - Trincea di trazione
- 6 Intersezione con altre sezioni geologiche

Figura 2 – Sezioni Geologiche allegate alla "Relazione Geologica" del Prof. D'Alessandro (settembre 2007)

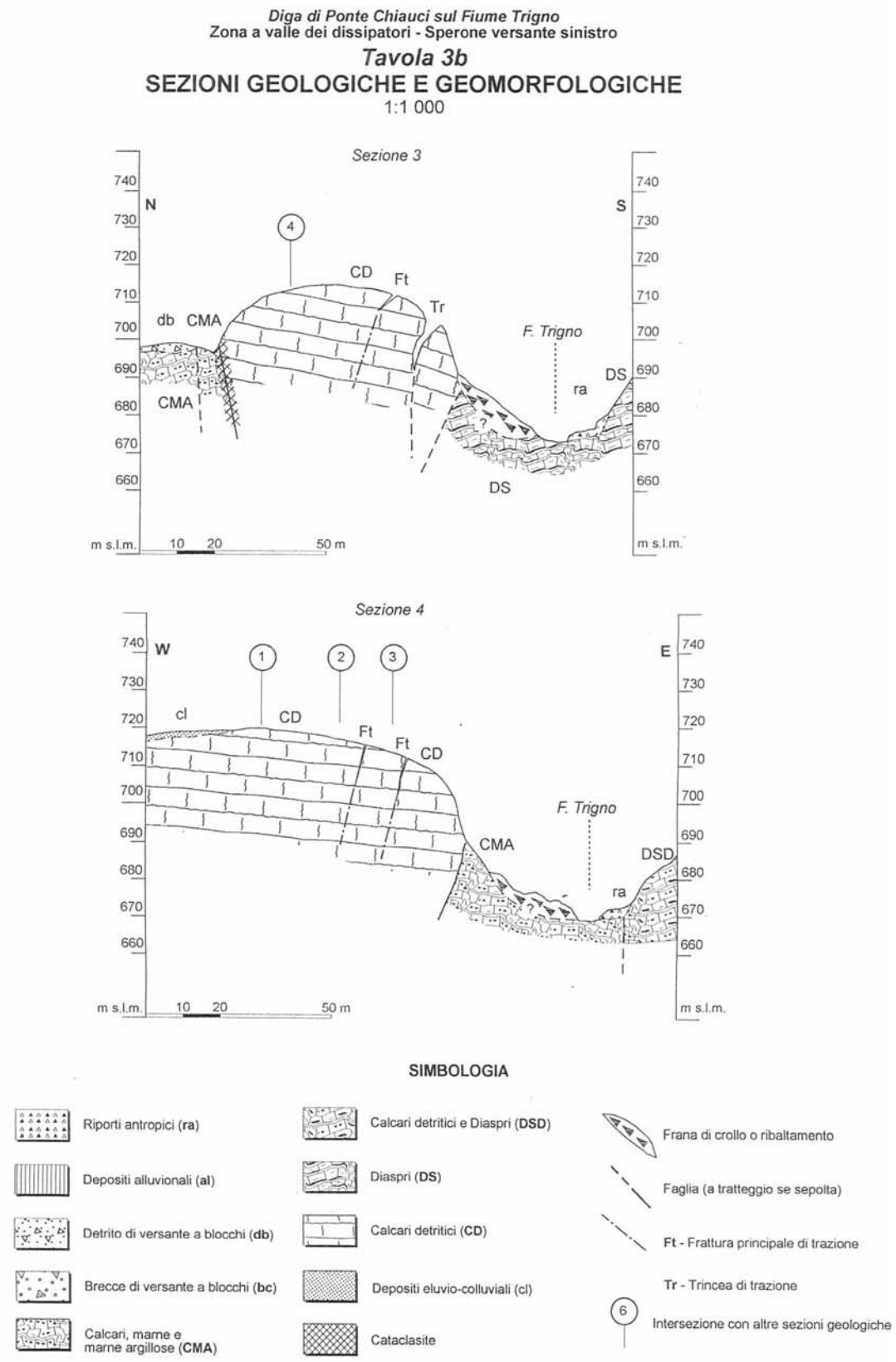


Figura 3 – Sezioni Geologiche allegate alla "Relazione Geologica" del Prof.

D’Alessandro (settembre 2007)

3. CARATTERISTICHE GEOSTRUTTURALI DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Nel seguito vengono descritte le caratteristiche geostrutturali dello sperone calcareo che affiora sul versante sinistro dell'area in esame e della formazione dei Diaspri presenti alla base delle sperone. Le caratteristiche delle due formazioni sono state determinate sulla base dei dati disponibili nella letteratura tecnica e facendo riferimento ai rilievi effettuati nel periodo gennaio-marzo 2011.

I rilievi strutturali sono stati effettuati alla base e sul ripiano sommitale dello sperone, e sulla sponda destra dove affiora la formazione dei Diaspri. Non è stato invece possibile eseguire rilievi sulla parte alta delle pareti verticali che delimitano lo sperone in quanto queste presentano uno stato di allentamento talmente elevato che non ha consentito l'accesso in sicurezza a queste zone, neppure con tecniche alpinistiche e calate su funi.

Sperone roccioso

Sui fronti meridionale e settentrionale lo sperone calcareo è delimitato, da faglie con direzione pari a circa N280, che mettono in contatto i calcari detritici con i diaspri, a sud, e con i Calcari marnoso-argillosi a nord.

Sul fronte est lo sperone è tagliato invece da una faglia a componente inversa che mette in contatto i calcari detritici con i calcari marnoso argillosi.

Lo sperone è caratterizzato da un elevato grado di fratturazione che suddivide l'ammasso in numerosi blocchi e placche soggette a distacchi e crolli.

Nel corso dei numerosi sopralluoghi, sul ripiano sommitale dello sperone sono state individuate alcune trincee molto aperte. Nella zona meridionale sono presenti due trincee, parzialmente riempite con massi e materiale terrigeno, aventi direzione N320-330 ed apertura di circa 3m (foto 3 e 4).

Verso il margine orientale dello sperone sono state individuate due fratture, prive di riempimento con apertura di circa 1m (foto 5). La frattura più orientale presenta una direzione pari a circa N170, mentre quella più interna si presenta

segmentata ed interseca una delle trincee precedentemente descritte. I diversi tratti assumono di volta in volta direzione N170, N210 e N150.

Foto 3 – Trincea parzialmente riempita sul ripiano sommitale

Foto 4 – Trincea parzialmente riempita sul ripiano sommitale

Foto 5 – Frattura non riempite (apertura circa 1m) sul ripiano sommitale

Sempre sul ripiano sommitale sono state individuate numerose fratture di trazione con direzione parallela a quella del fronte SE dello sperone.

Le principali fratture individuate sul ripiano sommitale si estendono fino alle pareti verticali che delimitano lo sperone (foto 6 e 7); in corrispondenza di alcuni di questi piani si osservano importanti fasce di roccia cataclasata.

Foto 6 – Fratture visibili sulle pareti verticali che delimitano lo sperone

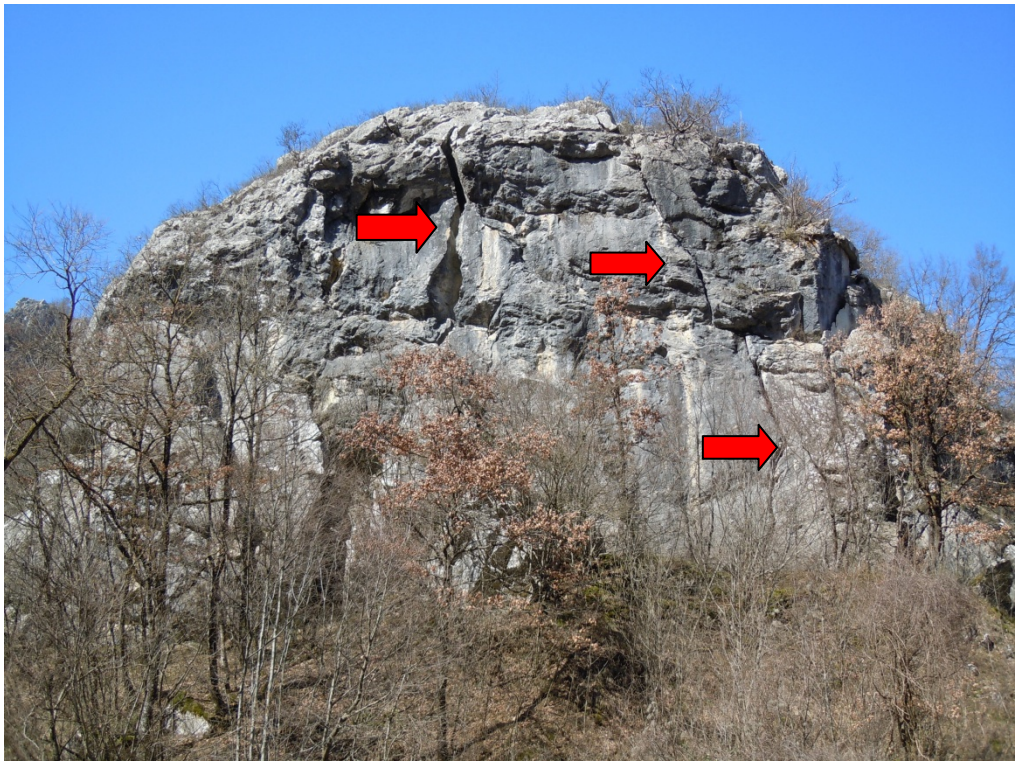


Foto 7 – Fratture visibili sulle pareti verticali che delimitano lo sperone

Foto 8 – Fratture sulle pareti verticali e fasce di roccia cataclasata

L'intenso stato di fratturazione dell'ammasso roccioso ha determinato numerosi fenomeni di ribaltamento e crollo di blocchi che si sono accumulati nel tempo al piede del versante. I due principali accumuli di frana si osservano alla base del fronte meridionale e di quello settentrionale.

Dal fronte SE della rupe si sono staccati due grandi porzioni di roccia, con volume di centinaia di metri cubi, attualmente adagiati sul pendio ed in condizione di precaria stabilità per ribaltamento/scivolamento verso il fiume

Affioramenti della formazione dei Diaspri

La formazione presenta una stratificazione con immersione compresa tra 145N e 155N ed inclinazione media di circa 45 gradi (foto 9). Le misure effettuate su un affioramento roccioso in sponda destra indicano una spaziatura tra i piani di strato compresa tra i 2 ed i 5 cm, con livelli marnosi di 0.5-1cm, fogliettati ed argillificati (foto 10 e 11). I piani di stratificazione risultano planari e poco ondulati. Oltre alla stratificazione, la formazione è interessata poi da due famiglie principali di discontinuità caratterizzate da immersione ed inclinazione medie pari rispettivamente a 225/80 e 355/40.

Foto 9 – Affioramento della Formazione dei Diaspri in sponda destra

Foto 10 – Stratificazione della formazione dei Diaspri

Foto 11 – Livelli marnosi fogliettati ed argillificati nella formazione dei Diaspri

4. CLASSIFICAZIONE TECNICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO

La "*qualità*" di un ammasso roccioso viene di norma individuata mediante le "Classifiche Tecniche", basate sulla valutazione di alcuni parametri indice correlati alle caratteristiche del materiale roccioso intatto ed a quelle delle discontinuità che pervadono l'ammasso. Molte di queste classifiche, nate per la caratterizzazione dell'ammasso nei confronti dello scavo delle gallerie, sono state poi estese ad altre applicazioni.

I due sistemi di classificazione più utilizzati sono il "Rock Mass Rating" (indice *RMR*) di Bieniawski (1984, 1989) ed il "Rock tunnelling quality index" (indice *Q*) di Barton (1974).

La classifica di Bieniawski prende in esame 5 parametri principali:

- la resistenza a compressione uniassiale del materiale intatto (σ_c);
- l'indice RQD;
- la spaziatura dei giunti;
- le condizioni dei giunti (scabrezza, alterazione delle pareti, aperture, grado di riempimento);
- le condizioni idrauliche.

A ciascun parametro, valutato in modo quantitativo o qualitativo, viene assegnato un indice parziale (vedi tab. 1). La somma di questi indici fornisce l'indice globale di "*qualità*" dell'ammasso roccioso.

Nella classifica di Barton la "*qualità*" dell'ammasso viene valutata attraverso la stima dell'indice *Q*, così definito:

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \cdot \frac{Jr}{Ja} \cdot \frac{Jw}{SRF}$$

in cui *RQD* rappresenta il recupero percentuale modificato, *Jn* un coefficiente numerico definito in funzione del numero di sistemi di discontinuità presenti nell'ammasso, *Jr* un indice di scabrezza ed ondulazione delle superfici di discontinuità, *Ja* un indice di alterazione delle superfici di discontinuità, *Jw* un coefficiente riduttivo che tiene conto della presenza dell'acqua ed *SRF* un coefficiente riduttivo che tiene conto dello stato tensionale. Nella tabella 2 sono riportati i campi di variazione dei diversi indici.

Tabella 1 - Classifica ammasso roccioso secondo Bieniawski

PARAMETRI PER LA CLASSIFICAZIONE									
PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	Resistenza roccia intatta	Carico puntuali	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Non applicabile		
		Compres. unissiale	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	Indice		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
	Indice		20	17	13	8	3		
3	Spaziatura giunti		> 2 m	0.6 - 2 m	200–600mm	60-200 mm	< 60 mm		
	Indice		20	15	10	8	5		
4	Condizione giunti		Superfici molto scabre, non continue. Chiusi. Pareti della roccia non alterate	Superfici legg. scabre Apertura < 1 mm Pareti della roccia legg. alterate	Superfici legg. scabre Apertura < 1 mm Pareti della roccia alterate	Superfici lisce o riempimento < 5 mm o apertura 1-5 mm Giunti cont.	Riempimento tenero > 5 mm o Apertura > 5 mm Giunti continui		
	Indice		30	25	20	10	0		
5	Condizioni idrauliche	Afflusso per 10m lung. tunnel	Assente	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(pressione nei giunti) / (soll. Nat. in situ)	0	< 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5		
		Condizioni generali	Completam. asciutto	Umido	Bagnato	Stillicidio	Flusso		
	Indice		15	10	7	4	0		

FATTORI CORRETTIVI FUNZIONE DELL'ORIENTAZIONE DEI GIUNTI						
Direzione e immersione		Molto favorevole	Favorevole		Sfavorevole	Molto sfavorevole
Indice	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	

CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO					
Indice	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buona	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente

Tabella 2 - Classifica ammasso roccioso secondo Barton

RQD		A		0 – 25
		B		25 – 50
		C		50 – 75
		D		75 - 90
		E		90 -100
Jn	Numero di famiglie di discontinuità	A	Roccia massiva o con pochissime discontinuità	0.5 - 1
		B	Una famiglia di discontinuità	2
		C	Una famiglia di discontinuità con ulteriori discontinuità sparse	3
		D	Due famiglie di discontinuità	4
		E	Due famiglie di discontinuità con ulteriori discontinuità sparse	6
		F	Tre famiglie di discontinuità	9
		G	Tre famiglie di discontinuità con ulteriori discontinuità sparse	12
		H	Quattro o più famiglie famiglie di discontinuità con ulteriori discontinuità sparse. Ammasso suddiviso in elementi rocciosi di piccole dimensioni	15
		I	Roccia intensamente fratturata	20
Jr	Scabrezza delle discontinuità	Superfici delle discontinuità a contatto o contatto possibile per scorrimenti inferiori a 10cm		
		A	Giunti discontinui	4
		B	Giunti scabri ed irregolari, ondulati	3
		C	Giunti lisci ed ondulati	2
		D	Giunti levigati ed ondulati	1.5
		E	Giunti scabri o irregolari, piani	1.5
		F	Giunti lisci e piani	1.0
		G	Giunti levigati e piani	0.5
		Nessun contatto delle pareti anche in caso di scorrimento		
		H	Riempimenti contenenti minerali argillosi di spessore tale da impedire il contatto tra le pareti	1.0
		I	Zone brecciate di spessore tale da impedire il contatto tra le pareti	1.0
Ja	Alterazione delle superfici di discontinuità	Superfici delle discontinuità a contatto		
		A	Contatto sano, duro, riempimento impermeabile	0.75
		B	Pareti non alterate, solo ossidazione	1
		C	Pareti leggermente alterate	2
		D	Pareti ricoperte da materiale limo-argilloso o sabbio-argilloso con modesto contenuto di argilla	3
		E	Pareti ricoperte da materiale tenero contenente minerali argillosi	4
		Superfici delle discontinuità a contatto per scorrimenti inferiori a 10 cm		
		F	Riempimento sabbioso o detritico senza materiale argilloso	4
		G	Riempimento con materiale argilloso sovraconsolidato, spessore < 5mm	6
		H	Riempimento con materiale argilloso poco sovraconsolidato, spessore < 5mm	8
		I	Riempimento con materiale argilloso rigonfiante, spessore < 5mm	8 – 12
		Assenza di contatto tra le superfici anche dopo lo scorrimento		
		K	Zone con roccia disintegrate	6
		L	Zone con roccia macinata	8
		M	Limitate zone con materiale argilloso	8-12
		N	Diffuse zone con materiale argilloso	5
		O	Continue zone con materiale argilloso	12 - 20

Jw	Fattore di riduzione per la presenza di acqua lungo le discontinuità	A	Pareti asciutte o venute locali (< 5l/s)	1
		B	Afflusso o pressioni medie, con venute occasionali dal riempimento dei giunti	0.66
		C	Afflusso o pressioni elevate (giunti senza riempimento)	0.5
		D	Afflusso o pressioni elevate (giunti con riempimento dilavato)	0.33
		E	Afflusso o pressioni elevate (giunti con riempimento e flusso discontinuo elevato)	0.2 – 0.1
		F	Afflussi eccezionali (giunti con riempimento e flusso continuo elevato)	0.1 – 0.05
SRF	Fattore di riduzione per le condizioni di carico litostatico	Zone di debolezza con possibili allentamenti		
		A	Zone di debolezza multiple con materiali argillosi e roccia disgregata	10.0
		B	Zone di debolezza singole con materiali argillosi e roccia disgregata	5.0
		C	Zone di debolezza singole con materiali argillosi e roccia disgregata (profondità > 50m)	2.5
		D	Zone di taglio multiple in roccia competente senza materiali argillosi	7.5
		E	Zone di taglio singole in roccia competente senza materiali argillosi (profondità < 50m)	5.0
		F	Zone di taglio singole in roccia competente senza materiali argillosi (profondità > 50m)	2.5
		G	Discontinuità allentate e aperte con zone disarticolate in blocchetti	5.0
		Roccia competente		
		H	Bassi valori di tensioni vicino al piano campagna (σ_c/σ_1> 200; $\sigma_t \cdot \sigma_1$ >13)	2.5
		J	Valori di tensioni medi (σ_c/σ_1 200-10; $\sigma_t \cdot \sigma_1$ 13-0.66)	1.0
		K	Valori di tensioni alti (σ_c/σ_1 10-5; $\sigma_t \cdot \sigma_1$ 0.66-0.33)	0.5 - 2
		L	Roccia massiva moderatamente fratturata (σ_c/σ_1 5-2.5; $\sigma_t \cdot \sigma_1$ 0.33-0.16)	5.0 -10
		M	Roccia massiva intensamente fratturata (σ_c/σ_1 < 2.5; $\sigma_t \cdot \sigma_1$ < 0.16)	10 - 20
		Rocce a comportamento plastico		
		N	Roccia moderatamente plastica	5.0 -10
		0	Roccia molto plastica	10 - 20
		Rocce a comportamento rigonfiante		
		P	Roccia moderatamente rigonfiante	5.0 -10
		R	Roccia molto rigonfiante	10 - 20

Nel 1995 Hoek ed al. hanno introdotto l'indice GSI (Geological Strength Index) basato sulle caratteristiche geolitologiche e strutturali della formazione e sulle condizioni delle superfici di discontinuità dell'ammasso. Per valutare l'indice di "*qualità*" intrinseca dell'ammasso Hoek et al. (1995) suggeriscono di utilizzare la versione della classifica RMR proposta da Bieniawski nel 1989, attribuendo all'indice che tiene conto dell'entità del flusso di acqua nell'ammasso un valore pari a 15. Nella stima del valore intrinseco dell'RMR non viene inoltre applicato alcun fattore correttivo relativo all'orientazione delle discontinuità rispetto all'opera in esame. Dal valore dell'RMR così determinato può essere ricavato l'indice GSI utilizzando la seguente espressone:

$GSI = RMR_{89} - 5$

La stima degli indice GSI può essere anche effettuata sulla base di una descrizione qualitativa della struttura dell'ammasso roccioso e delle condizioni delle superfici di discontinuità. A tale scopo può essere utilizzato lo schema proposto da Hoek e Marinos nel 2000 (figura 13). L'indice GSI può essere anche messo in relazione all'indice Q di Barton tramite la relazione

$GSI=9\log_e Q'+44$.

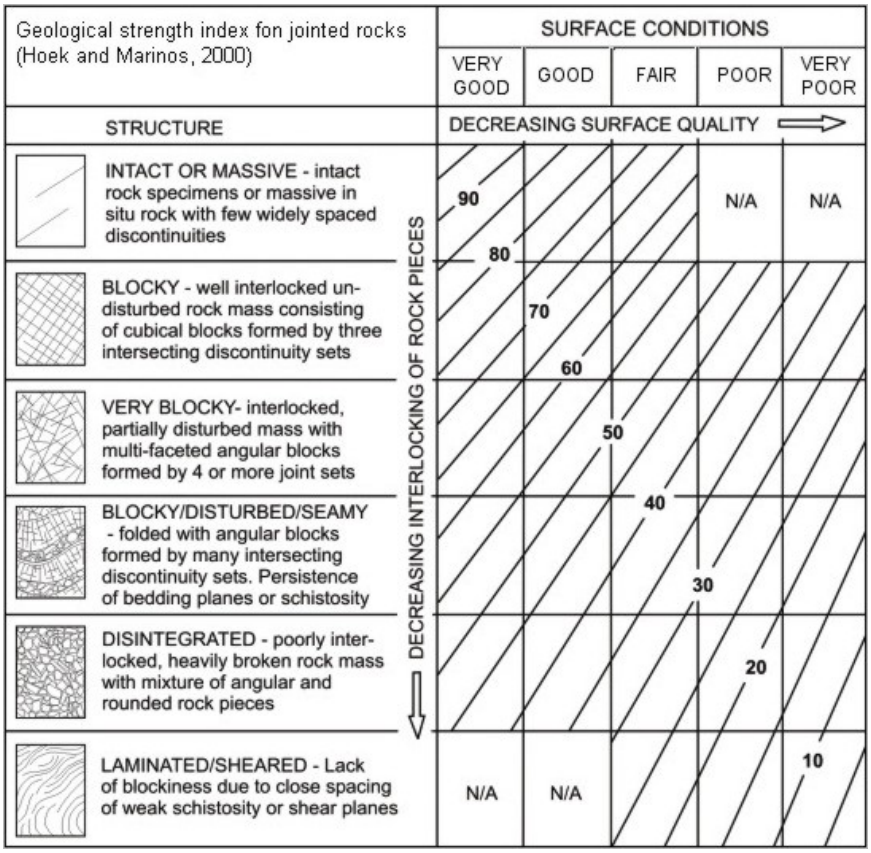


Figura 1 – Abaco per l valutazione speditivi dell'indice GSI

Nel presente lavoro per caratterizzare la "qualità" dell'ammasso roccioso che costituisce lo sperone si è fatto riferimento alla classifica tecnica di Bieniawski (RMR) ed alla classificazione proposta da Hoek (GSI).

La resistenza a compressione uniassiale del materiale roccioso che costituisce le pareti della rupe risulta molto dispersa a causa della variabilità del grado di micro-fratturazione ed alterazione della roccia. I risultati delle prove con il Martello di Schmidt eseguite su alcune superfici rocciose hanno indicato valori della

resistenza a compressione uniassiale del materiale roccioso compresi tra 30 e 70 MPa.

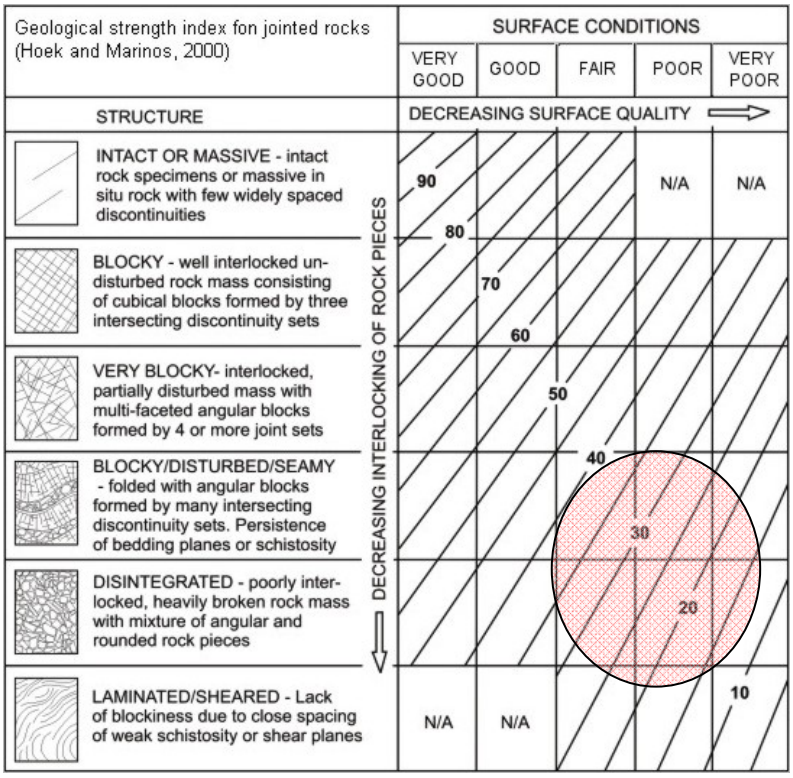
Sulla base delle caratteristiche dell'ammasso osservato sui fronti che delimitano lo sperone, per i diversi indici della classifica di Bieniawski è stato definito il range di valori riportati nella seguente tabella.

Tabella 3 – Valori tipici degli indici che compongono l'RMR

PARAMETRI	VALORI TIPICI (min – max)	INDICE RMR (min – max)
σ_c (MPa)	30 ÷ 70	4 ÷ 7
RQD (%)	10 ÷ 70	3 ÷ 13
Spaziatura giunti	60mm ÷ 600m	8 ÷ 10
Condizioni giunti	Superfici lisce o leggermente scabre Apertura 1-5 mm Giunti continui Pareti roccia alterate	10 ÷ 15
Condizioni idrauliche	da asciutto ad umido	10 ÷ 15

L'ammasso roccioso può essere classificato, in relazione alle diverse zone, da discreta/buona (RMR = 60) a scadente (RMR = 35).

Utilizzando lo schema proposto da Hoek e Marinos nel 2000 l'indice GSI puo essere stimato tra 15 e 40.



5. SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI

La scelta dei parametri geotecnici da adottare per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso è strettamente legata al modello geotecnico (mezzo continuo, mezzo continuo equivalente o mezzo discontinuo) che di volta in volta, in funzione del rapporto tra spaziatura delle discontinuità e dimensione caratteristica del problema in esame e del tipo di analisi che si vuole effettuare, meglio schematizza le reali condizioni dell'ammasso.

Per le verifiche di stabilità delle scarpate in roccia viene di solito utilizzato il modello di mezzo discontinuo; l'ammasso roccioso viene assimilato ad un mezzo costituito da blocchi di roccia delimitati da discontinuità. I blocchi rocciosi possono ritenersi rigidi, per cui il comportamento dell'ammasso è governato essenzialmente dalle caratteristiche di resistenza al taglio dei giunti e dalle giaciture degli stessi.

Nelle analisi di stabilità dei cunei viene assegnata alle discontinuità una legge di comportamento di tipo rigido-plastico, adottando il criterio di resistenza di Barton-Bandis, espresso dalla seguente relazione:

$$\tau = \sigma_n \cdot tg(\phi_r + i)$$

in cui ϕ_r rappresenta l'angolo di attrito di base del giunto ed "*i*" il contributo al taglio delle asperità, espresso dalla relazione:

$$i = JRC \cdot \log (JCS / \sigma_n)$$

Il parametro JRC descrive le caratteristiche di scabrezza della superficie ed il parametro JCS la resistenza intrinseca del materiale che costituisce le pareti.

Gli interventi previsti in progetto non sono finalizzati alla stabilizzazione dei cunei di roccia presenti sullo sperone calcareo e pertanto nei calcoli non si è fatto riferimento al criterio di resistenza sopra indicato. A titolo puramente indicativo si può assumere per le discontinuità un angolo di attrito di base medio ϕ_r pari a 30°, un indice di scabrezza JRC pari a 5 (giunti lisci) ed una resistenza del materiale che costituisce le pareti pari a 30 MPa.

Nelle analisi di stabilità dei massi appoggiati sul versante si è fatto riferimento al criterio di resistenza di Mohr-Coulomb. Al materiale detritico che costituisce la superficie di appoggio/scorrimento dei blocchi di roccia è stata attribuita, cautelativamente, una coesione nulla ed un angolo di attrito pari a 30°.

Le verifiche di stabilità delle opere di protezione spondale al piede del versante, sono state effettuate utilizzando un modello basato sulla teoria dell'equilibrio limite. I terreni che costituiscono il versante sono stati caratterizzati mediante un legame costitutivo rigido-plastico con criterio d rottura di Mohr-Coulomb.

Nelle verifiche si è ipotizzato che il pendio sia costituito da un terreno omogeneo con peso di volume pari a 21 kN/m^3. Le caratteristiche di resistenza sono state determinate eseguendo una back-analysis, assumendo che il pendio sia in condizioni di incipiente scivolamento. Adottando una coesione pari a zero ed un andamento della superficie di falda nell'ammasso orizzontale, con quota pari a quella del fiume, l'angolo di attrito che determina un coefficiente di sicurezza pari unitario risulta pari a circa 43°.

6. PRINCIPALI FENOMENI D'INSTABILITÀ

Nel seguito vengono descritti i principali fenomeni di dissesto che interessano i versanti a valle della diga.

Versante destro

L'elevato stato di fratturazione della parete rocciosa presente alla sommità del versante determina il continuo distacco e crollo di numerosi blocchi sulla sottostante pendice alberata (foto 12). A seguito dell'impatto dei blocchi con il terreno possono innescarsi moti roto/traslativi verso valle; nella caduta i blocchi vengono di norma rallentati e arrestati dalla vegetazione presente lungo il versante. Il rotolamento verso valle può essere successivamente riattivato dal venir meno del sostegno della vegetazione.

Foto 12 – Parete rocciosa sulla sommità del versante destro da cui si verifica il distacco e crollo di blocchi rocciosi

Dai sopralluoghi effettuati sul versante è stato possibile verificare che la maggior parte dei blocchi presenta dimensioni comprese tra 0,01 e 0,5 metri cubi (foto 13); solo alcuni massi presentano un volume superiore al metro cubo.

La zona più critica per la sicurezza al transito sulla sottostante strada è quella immediatamente a valle della stretta dove è possibile osservare la presenza di numerosi massi sulla sede stradale.

Foto 13 – Fenomeno di caduta massi che interessa il versante destro

Versante sinistro

Il versante sinistro è caratterizzato dalla presenza dello sperone calcareo, intensamente fratturato e disarticolato, che incombe sull'alveo del fiume Trigno (foto 14).

Le discontinuità e le faglie precedentemente descritte suddividono lo sperone in blocchi e cunei spesso in condizioni di equilibrio precario (foto 15-20). Le

condizioni di precaria stabilità dei fronti dello sperone non consentono di intervenire in sicurezza per consolidare, mediante ancoraggi e chiodature, l'ammasso roccioso. Un intervento di questo tipo esulerebbe noltre le finalità del progetto, che si prefigge l'obiettivo di evitare il restringimento della sezione dell'alveo del fiume.

Lo sperone è bordato al piede da importanti accumuli di frana, che in alcuni casi raggiungono il sottostante alveo (foto 21). Tali accumuli si sono formati a seguito di frane di crollo che hanno interessato, e continuano ad interessare, le pareti della rupe.

Sul fronte orientale, alla base della parete rocciosa, si osservano massi di dimensioni ciclopiche, adagiati sul ripido versante ed in condizioni di incipiente ribaltamento e rotolamento verso il fiume (foto 22).

Foto 14 –Sperone calcareo fratturato e disarticolato sul versante sinistro

Foto 15 – Discontinuità che isolano blocchi e cunei in condizioni di equilibrio precario

Foto 16 – Discontinuità che isolano blocchi e cunei in condizioni di equilibrio precario

Foto 17 – Discontinuità che isolano blocchi e cunei in condizioni di equilibrio precario

Foto 18 – Discontinuità che isolano blocchi e cunei in condizioni di equilibrio precario

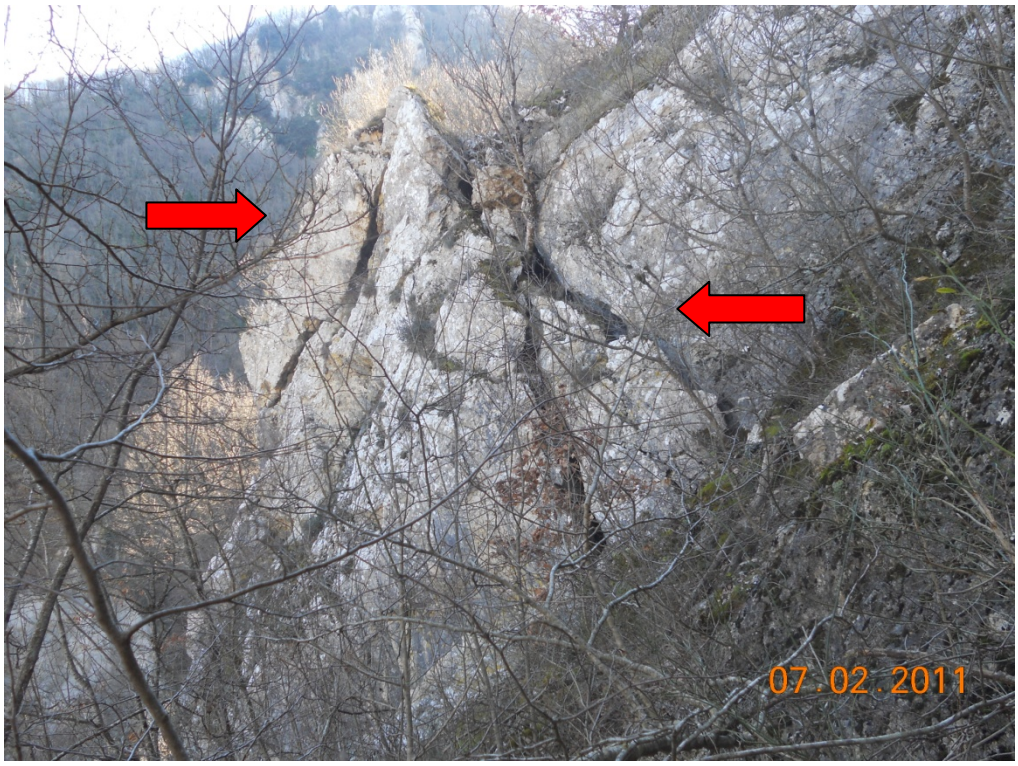


Foto 19 – Discontinuità che isolano blocchi e cunei in condizioni di equilibrio precario

Foto 20 – Discontinuità che isolano blocchi e cunei in condizioni di equilibrio precario

Foto 21 – Accumuli in frana di blocchi calcarei distaccatesi dallo sperone

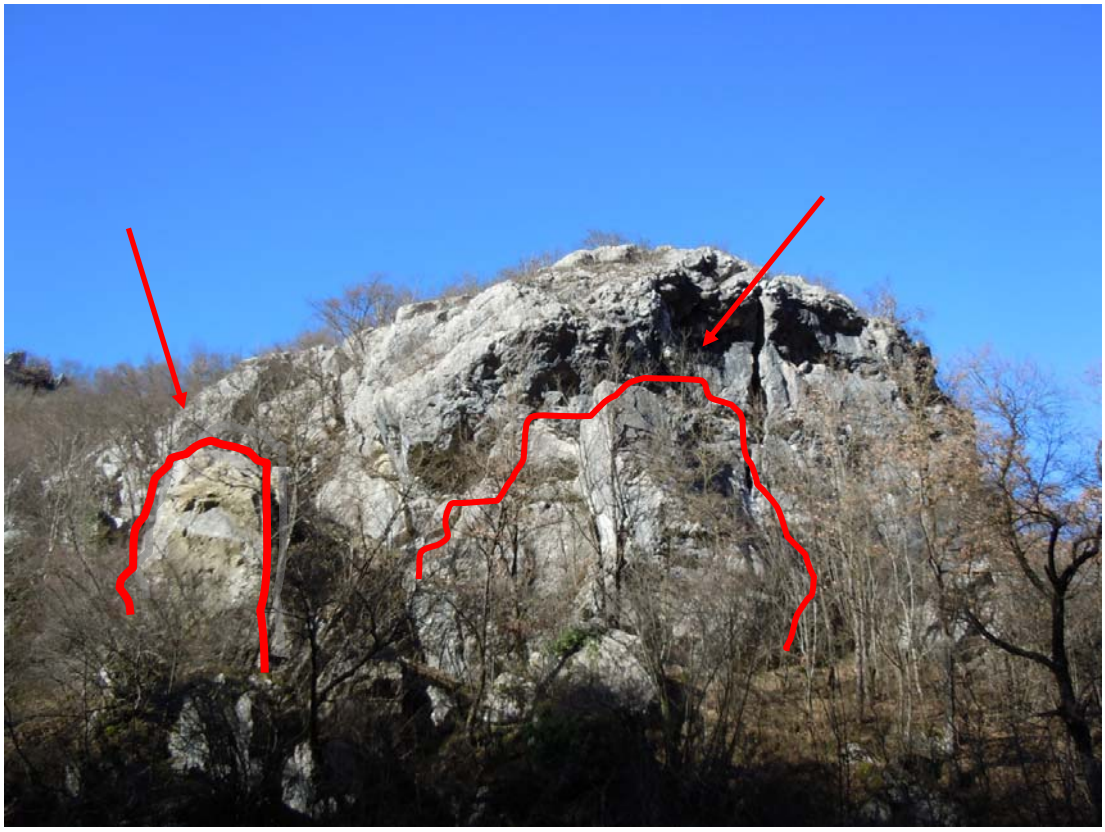


Foto 22 – Massi di dimensioni ciclopiche, adagiati sul versante

7. CRITERI DI INTERVENTO

Gli interventi previsti nel progetto si prefiggono un duplice scopo:

a) Ridurre il rischio di un eventuale restringimento dell'alveo a seguito dello scivolamento verso valle dei blocchi rocciosi in condizioni di precaria stabilità presenti sui versanti;
b) Consentire l'accesso in sicurezza alla zona ai piedi della diga da parte del personale di servizio e manutenzione.

Trattandosi di interventi localizzati in aree di alto pregio ambientale sono stati previsti interventi a basso impatto.

Sulla sponda sinistra, al fine evitare lo scivolamento in alveo dei blocchi rocciosi attualmente appoggiati sul versante, è stato previsto il disgaggio dei massi di medie e piccole dimensioni (da realizzare mediante leve, cunei metallici, dispositivi oleodinamici, etc), e la stabilizzazione dei blocchi di maggiori dimensioni mediante l'ancoraggio con barre di acciaio ad alto limite di snervamento e legature con funi metalliche. Per alcuni blocchi è infine prevista la demolizione che verrà effettuata con l'uso di resine sintetiche ad espansione, tipo "Bristar", o mediante martelli demolitori montati su piccoli mezzi meccanici o manuali.

La stabilizzazione degli accumuli di frana presenti sui ripidi versanti che circondano lo sperone (costituiti da blocchi calcarei appoggiati gli uni agli altri o mutuamente incastrati), verrà effettuata mediante un rafforzamento corticale costituito da un reticolo di funi metalliche in trefoli di diametro 12 e 16 mm e pannelli di rete zincata. La maglia di funi sarà fissata ai blocchi o al sottostante versante tramite ancoraggi passivi. Allo scopo di creare una continuità tra i vari elementi rocciosi sono state previste iniezioni di intasamento con miscele cementizie a pressione controllata, o comunque tale da evitare l'insorgere di sovrappressioni significative.

In corrispondenza dei massi isolati di dimensioni maggiori, a rischio di ribaltamento, è stato previsto un intervento di sotto-murazione da realizzare con muretti in pietrame e conglomerato cementizio, fondati su micropali. I massi ciclopici verranno inoltre ancorati al versante con barre di acciaio ad alto limite di snervamento.

Ai piedi del versante, sulla sponda del fiume è stata prevista una protezione dell'argine per contenere l'azione erosiva delle acque. La protezione verrà realizzata

mediante una massicciata in pietrame poggiante su una zattera in c.a. fondata su micropali ed ancorata in profondità mediante tiranti attivi..

Le condizioni di precaria stabilità dei fronti dello sperone non consentono di intervenire in sicurezza per consolidare, mediante ancoraggi e chiodature, l'ammasso roccioso. Un intervento di questo tipo esula le finalità del progetto, che si prefigge come detto di evitare il restringimento della sezione dell'alveo del fiume, e risulterebbe inoltre estremamente pericoloso in fase realizzativa.

Per valutare l'evoluzione dei fenomeni di dissesto che interessano lo sperone roccioso è stato previsto in progetto il monitoraggio dell'apertura di alcune importanti fratture mediante fessurimetri. E' prevista inoltre l'installazione di clinometri di superficie posizionati sui fronti dello sperone che mostrano una tendenza al ribaltamento.

La pericolosità del versante in destra del fiume ed il principiale rischio per il transito di personale sulla sottostante strada sono prevalentemente connessi, come detto, a fenomeni di caduta massi dal ripido pendio e, localmente, a potenziali movimenti franosi per crollo.

Gli interventi in progetto per questa zona prevedono una bonifica superficiale di un'ampia zona con la stabilizzazione e demolizione dei numerosi massi appoggiati sulla ripida pendice.

In una zona non visibile alla base del versante, all'interno dell'area boschiva, è prevista l'istallazione di una barriera paramassi. Nello specifico, a monte della vasca dello scarico di fondo, è prevista la posa di barriere paramassi ad elevato assorbimento di energia, a montanti incernierati, con nodi mobili per una lunghezza complessiva pari a 105m ed altezza nominale di 3 m. Nel tratto successivo, dove attualmente è presente, per la protezione della strada, un muro in gabbioni, è stato previsto l'innalzamento della gabbionata e l'installazione di una barriera paramassi di altezza utile pari a 2m, con montanti fissi fondati su plinti posti a tergo dei gabbioni.

Sul tratto di pendio, molto acclive, a monte dello vasca dello scarico di fondo, dove si osservano incipienti fenomeni di crollo, è previsto un rafforzamento corticale della pendice realizzato con funi metalliche in trefoli e pannelli di rete zincata in filo metallico. La maglia di funi sarà fissata al sottostante versante tramite ancoraggi passivi.