



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Presidenza del Consiglio dei Ministri
II. COMMISSARIO STRAORDINARIO ALLA RICOSTRUZIONE
NEI TERRITORI DELLE REGIONI EMILIA-ROMAGNA, TOSCANA E MARCHE



PROVINCIA
DI REGGIO EMILIA

PROVINCIA DI REGGIO EMILIA
SERVIZIO INFRASTRUTTURE, MOBILITA' SOSTENIBILE E PATRIMONIO

LAVORI DI CONSOLIDAMENTO DELLA SCARPATA DI MONTE SULLA SP 57 AL KM 1+900 IN COMUNE DI VETTO

PROGETTO ESECUTIVO

6.1b ANALISI GEOMECCANICA E STRUTTURALE DELLA PARETE ROCCIOSA

Dirigente del Servizio Infrastrutture,
Mobilità sostenibile e Patrimonio:

Ing. Valerio Bussei

Responsabile Unico del Progetto:

Ing. Maurizio La macchia

Redazione
Geol. Paolo Beretti



REVISIONE			Redatto		Verificato o Validato	
Revis.	Data Revis.	Descrizione Modifiche	Data	Nome	Data	Nome

All. n° B1b	Data Progetto Marzo 2025	N° P.E.G.	Nome File All B1_6.1b Analisi geomecc parete
-----------------------	-----------------------------	-----------	---



**Dott. Geol.
PAOLO BERETTI**

Geologia Applicata e Geotecnica
Consulenze e Controlli Ambientali

Via De Gasperi 2/1, 42020 Quattro Castella (RE)
Tel. 0522 1695098 ; Fax 0522 1691413 ; Cell. 348 6902667 ; e-mail : studio.beretti@gmail.com; paolo.beretti@pec.epap.it

Committente: Ing. Giuseppe Herman

**Provincia di Reggio Emilia
Comune di Vetto**



**Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in
corrispondenza del Km 1 + 900 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)**

RAPPORTO GEOLOGICO, GEOMECCANICO E STRUTTURALE



Revisione	Descrizione	Data	Redazione
0	STR	Gennaio 2025	Dott. Geol. Paolo Beretti

INDICE

INDICE.....	1
Premessa.....	2
Rilevamento strutturale e geomeccanico: approccio teorico.....	2
Classificazione dell'ammasso roccioso: metodi di classificazione utilizzati.....	2
Rock Mass Rating (RMR, Bieniawsky).....	2
Rock Mass Rating (RMR) Modificato (Sen).....	4
Geological Strength Index (GSI, Hoek).....	5
Parametri geomeccanici relativi all'ammasso roccioso.....	6
Criterio di rottura di Hoek-Brown per gli ammassi rocciosi.....	6
Il criterio di Hoek-Brown nella formulazione ultima.....	8
Il criterio di Bieniawski – Sen.....	9
Parametri geomeccanici relativi alle discontinuità.....	9
Analisi cinematica dei blocchi rocciosi.....	11
Rilevamento strutturale e geomeccanico eseguito.....	13
Tecnica di Rilevamento dei dati strutturali e geomeccanici.....	13
Tipi di rilevamento eseguiti.....	13
Strumenti utilizzati e dati raccolti.....	13
Giacitura del fronte e delle discontinuità.....	14
Tipo ed analisi della discontinuità.....	15
Spaziatura dei giunti rilevati.....	15
Persistenza dei giunti.....	16
Apertura, Forma e Riempimento delle discontinuità.....	16
Terminazione della discontinuità.....	18
Eventuale presenza di acqua (su ammasso roccioso e discontinuità).....	18
Scabrezza delle discontinuità.....	18
Resistenza a compressione monoassiale su discontinuità (ove possibile) e ammasso roccioso.....	20
PRESENTAZIONE ED ANALISI DEI DATI RILEVATI.....	22
descrizione geologica e litostratigrafica del sito di rilevamento.....	22
Rilevamenti strutturali e analisi di dati strutturali.....	22
Persistenza e Spaziatura.....	29
Resistenza a Compressione Monoassiale.....	31
Scabrezza delle discontinuità.....	31
Considerazioni idrogeologiche.....	31
Caratterizzazione dell'Ammasso roccioso – Parametri geomeccanici.....	31
Dati geomeccanici delle famiglie di discontinuità rilevate.....	32
Analisi di stabilità cinematica.....	32
definizione del blocco di progetto e spessore della coltre.....	33
Ipotesi di consolidamento della parete rocciosa.....	36
ALLEGATI.....	38

PREMESSA

Nell'ambito degli studi relativi allo studio della porzione sommitale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 1+900 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE), su commissione dell'Ing. **Giuseppe Herman**, si è eseguito il rilevamento geomeccanico e strutturale oggetto della presente relazione.

Per quanto concerne gli inquadramenti geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico si faccia riferimento alla relazione redatta dallo Scrittore dal titolo "Opere di contenimento alla base del versante roccioso in corrispondenza del Km 1+900 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)".

RILEVAMENTO STRUTTURALE E GEOMECCANICO: APPROCCIO TEORICO

CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO: METODI DI CLASSIFICAZIONE UTILIZZATI

ROCK MASS RATING (RMR, BENIAWSKY)

Il valore di RMR è dato dalla:

$$RMR = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$$

dove:

- **A1** valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta;
- **A2** valore numerico derivato dall'indice RQD;
- **A3** valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità;
- **A4** valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità;
- **A5** valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche;
- **A6** indice di correzione per la giacitura delle discontinuità;

I coefficienti numerici che vengono assegnati ai vari parametri del sistema sono indicati nella Tabella 1.

A1 – RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA							
f_c (MPa)	> 10	4 – 10	2 – 4	1 – 2	Non applicabile – usare σ_c		
σ_c (MPa)	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	< 1	
COEFFICIENTE	15	12	7	4	2	1	
A2 – INDICE RQD							
RQD (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25		
COEFFICIENTE	20	17	13	8	3		
A3 – SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITÀ "s"							
s (cm)	> 200	60 – 200	20 – 60	6 – 20	< 6		
COEFFICIENTE	20	15	10	8	5		
A4 – CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITÀ							
CONDIZIONE	Molto scabre Non continue Chiuse Pareti non alterate	Leggermente scabre Continue Apertura < 1 mm Pareti leggermente alterate	Leggermente scabre Continue Apertura < 1 mm Pareti alterate	Piane o lisce Continue Apertura 1 – 5 mm Riempimento < 5 mm	Continue Apertura > 5 mm Riempimento > 5 mm		
COEFFICIENTE	30	25	20	10	0		
A5 – CONDIZIONI IDRAULICHE							
CONDIZIONE	ASCIUTTA	UMIDA	INACQUATA	DEBOLI VENUTE	FORTI VENUTE		
coefficiente	15	10	7	4	0		
<i>Le condizioni idrauliche sono riferite a un fronte di 10 mm</i>							
A seconda della tipologia di applicazione viene poi applicato un coefficiente di correzione A6 per l'orientamento delle discontinuità.							
A6 – ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITÀ							
APPLICAZIONE	MOLTO FAVOREVOLE	FAVOREVOLE	MEDIOCRE	SFAVOREVOLE	MOLTO SFAVOREVOLE		
Gallerie	0	-2	-5	-10	-12		
Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25		
Versanti	Non applicabile – utilizzare la classificazione SMR						

Quadri parametrici semplificati RMR.

Si precisano due seguenti aspetti relativi ai valori numerici assegnati.

Determinazione di A1: Resistenza dell'ammasso roccioso e delle pareti.

Si valuta la resistenza a compressione sia dell'ammasso roccioso continuo che dei lembi affacciati di una discontinuità. Questa può essere minore della resistenza della roccia massiccia per l'esposizione agli agenti atmosferici e quindi la conseguente alterazione delle pareti costituisce una componente rilevante della resistenza al taglio, **nel caso le pareti siano a contatto.**

Il martello di Schmidt, noto come sclerometro, è ampiamente utilizzato come prova non distruttiva e volta a misurare la "durezza di rimbalzo" della roccia. Dalla prova si ricava l'indice di rimbalzo IR che è possibile correlare alla resistenza alla compressione uniassiale mediante la relazione di Irfan e Dearman (1978):

$$JCS = 0,775 R + 21,3$$

Definita la resistenza a compressione JCS, è possibile ricavare il valore del primo parametro A1.

Se si utilizzano prove Point Load o prove sclerometriche risulta più agevole, rispetto alle tabelle e ai grafici proposte da Beniauskis, ricavare il valore di A1 trasformando i grafici in forma di equazioni:

VALORE DI S_u (MPa)	EQUAZIONE
$< 44,5$	$A1 = \frac{4}{44,5} S_u + 1$
$44,5 - 93,75$	$A1 = \frac{4}{49,25} S_u + 1,368$
$93,75 - 140$	$A1 = \frac{3}{46,25} S_u + 2,019$
$140 - 180$	$A1 = 0,0375 S_u + 6,75$
$180 - 240$	$A1 = 0,025 S_u + 9$
> 240	$A1 = 15$

A1 = resistenza a compressione uniassiale; S_u = resistenza a compressione.

Allo scopo di determinare le resistenze a compressione monoassiale sia della roccia intatta che di quella alterata, sulle discontinuità e sui giunti parietali sono state eseguite prove sclerometriche, rispettivamente su superfici non alterate e levigate (determinazione di **IR**) e su superfici alterate non levigate (determinazione di **IRa**).

Determinazione di A4: Condizioni delle discontinuità.

La procedura implica la valutazione di A4 quale somma di parametri numerici attribuibili rispettivamente alla persistenza del giunto, alle sue aperture e rugosità, al grado d'alterazione delle pareti del materiale di riempimento presente come deducibile dalla relazione:

$$A4 = v1 + v2 + v3 + v4 + v5$$

Le linee guida per i valori da assegnare sono espresse nei riquadri di Tab. 2:

V1 – PERSISTENZA (CONTINUITÀ) DEL GIUNTO		
PERISTENZA (m)		v1
< 1		6
1 - 3		4
3 - 10		2
10 - 20		1
> 20		0
V2 – APERTURA DEL GIUNTO		
APERTURA (mm)		v2
COMPLETAMENTE CHIUSO		6
< 0,1		5
0,1 - 1		4
1 - 5		1
> 5		0
V3 – RUGOSITÀ DEL GIUNTO		
RUGOSITÀ		v3
Molto rugosa		6
Rugosa		5
Leggermente rugosa		3
Liscia		1
Levigata		0
V4 – ALTERAZIONE DELLE PARETI		
ALTERAZIONE		v4
Non alterate		6
Leggermente alterate		5
Mediamente alterate		3
Molto alterate		1
Decomposte		0

V5 – RIEMPIMENTO DELLA DISCONTINUITÀ		
RIEMPIMENTO (mm)	RIEMPIMENTO	v5
-	Assente	6
< 5	Compatto	4
> 5	Compatto	2
< 5	Soffice	2
> 5	Soffice	0

linee guida per la determinazione di A4 in RMR

Correzione dell'indice RMR

In funzione della tipologia di applicazione, viene poi utilizzato un coefficiente di correzione A6 che prende in considerazione l'orientamento delle discontinuità; tale coefficiente riflette l'influenza della giacitura delle famiglie sulla stabilità del fronte del versante, in relazione ai mutui rapporti di giacitura. Il valore da utilizzare è da riferire alla famiglia più sfavorevole.

Nella pratica si usa differenziare:

$$\mathbf{RMR}_{\text{base}}: \mathbf{RMRb} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5;$$

$$\mathbf{RMR}_{\text{corretto}}: \mathbf{RMRc} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6.$$

I valori di **RMRb** sono calcolati considerando i valori numerici relativi a tutte le famiglie di discontinuità presenti mediati fra loro; lo stesso metodo è adattato per l'attribuzione di **RMRc** a condizione che esista una famiglia di discontinuità (in genere ad alta persistenza, spaziatura molto bassa ed orientamento sfavorevole) dominante e d'importanza critica per la congruenza del modello di analisi; se, viceversa, non si verifica quest'ultimo caso si deve calcolare **RMRc** quale somma dei valori numerici relativi a discontinuità.

ROCK MASS RATING (RMR) MODIFICATO (SEN)

Una modifica alla determinazione di RMR è quella proposta da *Sen et alii.*, i quali, senza modificare in alcun modo la classificazione, propongono di calcolare RMR mediante un'equazione semplificata a partire dai soli valori di RQD, della

resistenza della roccia σ_c (MPa) della spaziatura s (m), esprimendo le condizioni idrauliche in funzione della portata e mantenendo coefficienti numerici indicati da *Bieniawski* per la condizione delle discontinuità e l'orientamento delle stesse.

Secondo la formulazione degli autori, avendo a disposizione il valore di **RQD** da sondaggio meccanico, si utilizza la seguente relazione:

$$RMRC = 0.2 RQD + 15 \log(s) + 0.075 \sigma_c - 2.9 \log(G) + 34 + (A5-A6)$$

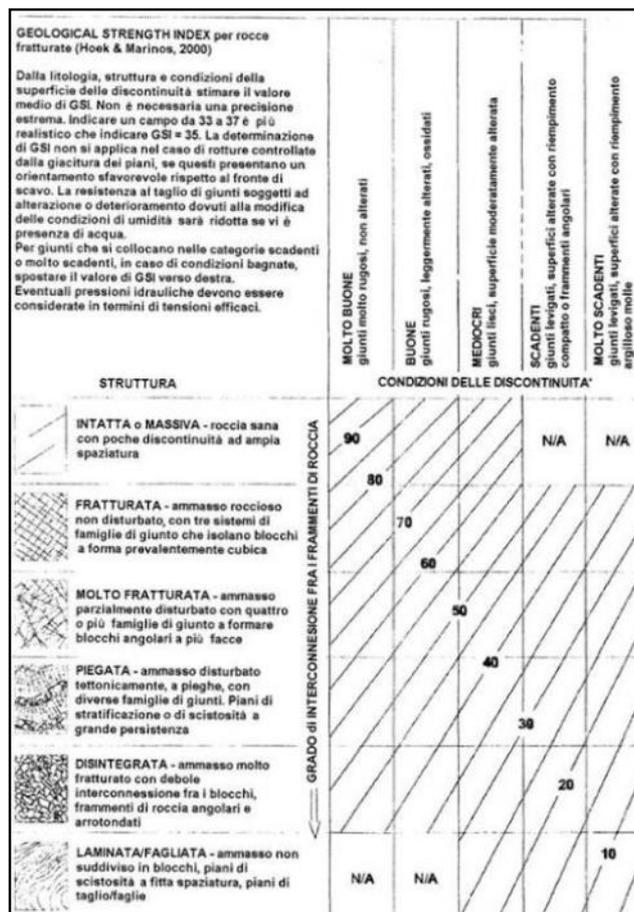
G è la portata idraulica in arrivo su un fronte di 10 m espressa in l/s (nel caso $G = 0$ il termine $2(G)$ viene cancellato).

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI, HOEK)

Il concetto, sviluppato da *Hoek* alla base del **GSI** (*Geological Strength Index*), prevede di combinare l'assetto strutturale dell'ammasso con le caratteristiche delle discontinuità che lo separano per determinare un valore indice che permetta il suo utilizzo per una valutazione accurata della resistenza e della deformabilità di un ammasso roccioso. A tale scopo l'indice **GSI** è usato in stretta congiunzione con il criterio di rottura di *Hoek & Brown*.

Tale parametro, nella forma più recente, affida la valutazione all'utilizzo di un grafico, dove le caratteristiche strutturali dell'ammasso in termini di grado di fratturazione e del disturbo tettonico sono intercorrelate con le caratteristiche della superficie delle discontinuità in termini di rugosità, alterazione e riempimento della frattura.

Tale intercorrelazione permette di assegnare il valore del **GSI**.

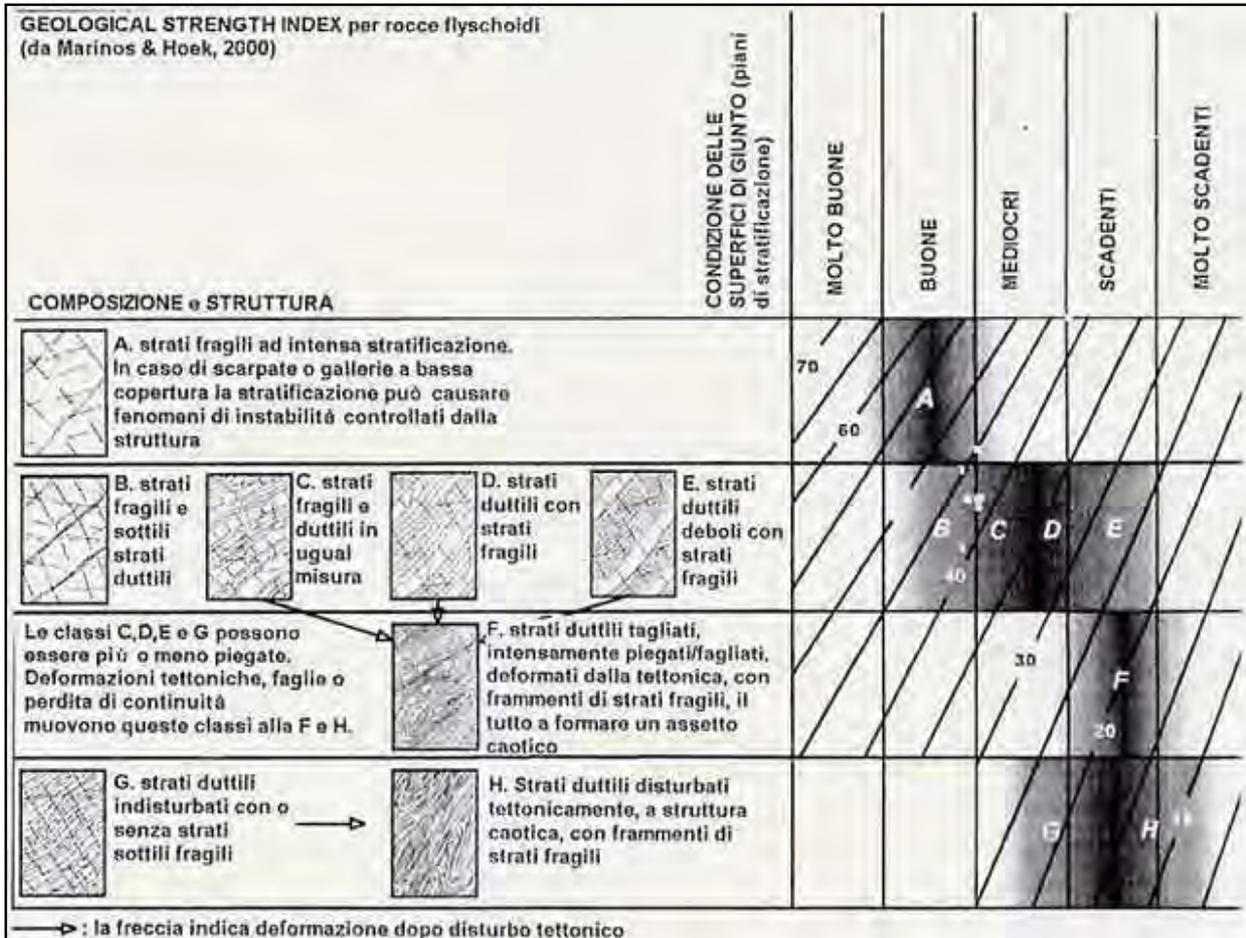


Abaco GSI per rocce fratturate.

Per l'utilizzo della carta generale, *Marinos & Hoek* propongono degli abachi per le tipologie di rocce più facilmente riscontrabili in natura ed in cui è indicato il più probabile campo di appartenenza del valore di **GSI**.

La determinazione di **GSI** consente, infatti, anche la caratterizzazione delle rocce flyschoidi, costituite da alternanze di strati calcarei o arenacei fragili e di rocce pelitiche duttili (scisti argillosi, argilloscisti e marne), derivanti dal trasporto e deposizione di materiali clastici in ambienti di mare profondo e successivamente sottoposte a stress tettonici.

Per tale litologia è stata sviluppata da *Marinos & Hoek* una carta (Fig. 10) che caratterizza i flysch in funzione della sua struttura, da integra ad intensamente deformata.



Determinazione del GSI per rocce flyschoidi.

Per $GSI > 25$ è fornita inoltre la possibilità di determinare il valore dell'indice GSI dall'indice **RMR anidro di Bieniawski** (versione 1989), intendendo per "anidro" l'indice RMR determinato assumendo la condizione di ammasso completamente asciutto, quindi con il punteggio massimo del parametro R5 (pari a 15) relativo alle condizioni idrauliche delle discontinuità e tralasciando la valutazione del parametro R6 (relativo all'orientazione dei giunti), cioè, imponendo $R6 = 0$.

$$GSI = RMR' - 5 \text{ (per } RMR' > 30 \text{)}$$

Lo stesso autore, inoltre, chiarisce che per ammassi rocciosi di qualità molto scadente (quindi $RMR' < 30$), il GSI deve essere ricavato direttamente dagli abachi sopra riportati.

PARAMETRI GEOMECCANICI RELATIVI ALL'AMMASSO ROCCIOSO

CRITERIO DI ROTTURA DI HOEK-BROWN PER GLI AMMASSI ROCCIOSI

Il criterio empirico di *Hoek-Brown* è basato sostanzialmente sulle tensioni principali a rottura; tale principio è fondato sul modello di rottura in un ammasso roccioso, controllato dallo spostamento e dalla rotazione di singoli blocchi di roccia, separati

da numerose fratture, aventi un assetto caotico e quindi senza orientamento preferenziale di scorrimento; in funzione di tali indicazioni, l'ammasso può essere considerato come isotropo.

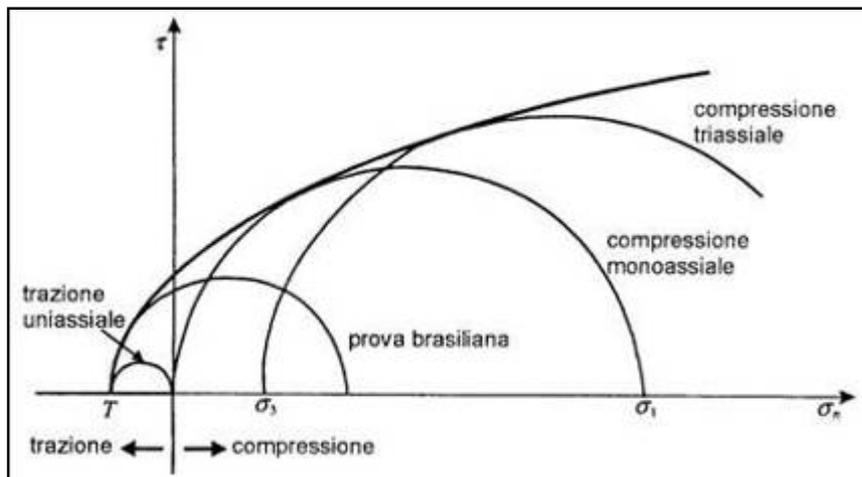
L'equazione sviluppata risulta come di seguito:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_c\sigma_3 + s\sigma_c^2}$$

dove σ_1 e σ_3 sono le tensioni principali maggiore e minore a rottura e σ_c la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta. Le costanti **m** ed **s** sono costanti empiriche dimensionali della roccia non aventi preciso significato fisico ma legate al suo assetto geologico e strutturale. Per una roccia intatta, **s** assume il valore di 1 mentre **m** è variabile con l'assetto tessiturale e la natura della roccia.

A partire dagli anni '80 il criterio di Hoek & Brown ha subito una serie di modifiche, le principali delle quali sono legate al valore di **RMR** della classificazione di *Beniawski* e al concetto di **Geological Strength Index (GSI)**.

Nel 2002 è infine stata esposta la revisione del criterio di *Hoek-Brown* che propone una soluzione esatta per calcolare la resistenza di coesione e l'angolo d'attrito, differenziando fra i campi tensionali propri di gallerie e di scarpate, introducendo il concetto di disturbo per tener conto della diminuzione di resistenza dovuta al rilascio delle tensioni e agli effetti di danno dell'uso di esplosivo nelle gallerie, nella stabilità dei versanti e nelle fondazioni in roccia.



Criterio di Hoek-Brown rappresentato con un cerchio di Mohr.

IL CRITERIO DI HOEK-BROWN NELLA FORMULAZIONE ULTIMA

L'attuale edizione del criterio di Hoek-Brown è espressa dalla seguente equazione:

$$\sigma_1 = \sigma_3 \sigma_c (m_b \sigma_3 / \sigma_c + s)^a$$

dove **mb** è il valore ridotto del parametro **m**, proprio della roccia intatta, definito dalla relazione:

$$m_b = m \exp [(GSI-100)/(28-14D)]$$

σ_c è il valore della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta mentre **s** e **a** sono costanti dell'ammasso roccioso date dalle espressioni:

$$s = \exp [(GSI-100)/(9-3D)]$$

$$a = \frac{1}{2} + (e-GSI/15-e-20/3)/6$$

D è un fattore numerico che tiene conto del grado di disturbo subito dall'ammasso a seguito di uno scavo, variabile tra 0, per ammassi non disturbati, a 1 per ammassi fortemente disturbati. **Tale coefficiente viene valutato sulla base di considerazioni del tutto qualitative.**

I valori consigliati di D riscontrati da casi reali sono illustrati di seguito.

APPLICAZIONE	CONDIZIONI DELL'AMMASSO	D
Gallerie	Scavo con esplosivo con microrilardi o scavo con TBM	0
Gallerie	Scavo meccanizzato in ammassi di scarsa qualità senza uso di esplosivo	0
Gallerie	Idem in presenza di rocce spingenti o rigonfianti	0.5
Gallerie	Utilizzo di esplosivo non controllato in rocce competenti	0.8
Versanti	Taglio di scarpate per opere di ingegneria civile (ad esempio strade, imposte di dighe) con uso di esplosivo con cariche controllate	0,7
Versanti	Taglio di scarpate per opere di ingegneria civile (ad esempio strade, imposte di dighe) con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato	1,0
Versanti	Cave o lavori minerari a cielo aperto con coltivazione con uso di esplosivo	1,0
Versanti	Cave o lavori minerari a cielo aperto con coltivazione a scavo meccanizzato	0,7 per altezze fino a 50 m 1,0 per altezze superiori
Versanti	Scarpate naturali non disturbate da faglie o zone di taglio	0

Valori tipici del fattore D nell'equazione di Hoek-Brown.

Nel caso in oggetto, si è ritenuto di utilizzare un valore cautelativo di pari a $D = 0,7$.

Applicando un'approssimazione lineare all'involuppo di rottura curvilineo proprio del criterio di *Hoek-Brown* nel campo della tensione principale minore definito da $\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma_{3max}$ si possono ricavare i parametri di *Mohr-Coulomb* bilanciando le aree sopra e sotto la retta di *Mohr-Coulomb* e applicando le relazioni:

$$\phi = \text{sen}^{-1} \left[\frac{6 a m_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a+1}}{2 (1 + a)(2 + a) + 6 a m_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a+1}} \right]$$

$$c = \frac{\sigma_c [(1+2 a)s + (1 - a) \sigma_{3n}] (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}}{(1 + a)(2 + a) \sqrt{1 + (6 a m_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a+1}) / ((1 + a)(2 + a))}}$$

dove:

$$\sigma_{3n} = \sigma_{3max} / \sigma_c$$

Il limite superiore della tensione di confinamento σ_{3max} va determinato caso per caso in funzione del problema da analizzare.

Valori di m

Come suggerito da *Hoek* non è necessario eseguire un'estesa campagna di prove per definire le proprietà intrinseche della roccia, ma in genere ne sono sufficienti un numero limitato (da 5 a 7).

In mancanza di prove triassiali, fra l'altro di non semplice esecuzione, è possibile e comunemente accettato, fare riferimento a valori di m, tabulati da *Hoek* in funzione della litologia della roccia. I valori indicati nella tabella seguente e rappresentano il valore medio ed il campo di variabilità (deviazione standard) suggeriti da *Hoek et al.*

LITOTIPO	m _i (Hoek)	m _i (MEDIO MISURATO)
Granito	32 ± 3	25,3 ± 9
Calcarea	12 ± 3	11,2 ± 9
Dolomia	9 ± 3	11,4 ± 4
Arenaria	17 ± 4	16,0 ± 9
Marmo	9 ± 3	8,0 ± 3
Quarzite	20 ± 3	18,2 ± 7
Calcarea cristallino	12 ± 3	9,5
Calcarea cristallino	12 ± 3	16,5
Calcarea micritico	8 ± 3	14,0
Calcarea brecciato	20 ± 2	15,8
Arenaria	17 ± 4	10,4
Arenaria	17 ± 4	18,2
Arenaria	17 ± 4	14,7
Arenaria	17 ± 4	8,3
Marmo	9 ± 3	10,8
Marmo	9 ± 3	10,4
Argilloscisto	6 ± 2	7,5
Argilloscisto	6 ± 2	5,5
Scisto	10 ± 3	14,0

Valori consigliati di m_i.

Il grado di attendibilità dei valori indicati è stato discusso da vari autori, che indicano anche campi più ampi, pur essendo sostanzialmente concordi sul valore medio.

Come metodologia di elaborazione risulta, quindi, in caso di utilizzo del valore di m_i dalle tavole e in mancanza di prove triassiali specifiche, più indicato calcolare la risposta dell'ammasso non solo con il valore medio, ma estendere l'analisi includendo anche (almeno) i valori minimi e massimi ad indicare un campo di valori probabilistico e non deterministico.

IL CRITERIO DI BIENIAWSKI – SEN

Con i valori calcolati di **RMRC** a mezzo del criterio di Bieniawski - Sen, è possibile ricavare i parametri di resistenza al taglio dell'ammasso roccioso mediante le seguenti relazioni:

$$c \text{ (kPa)} = 3.625 \text{ RMRC}$$

$$\phi = 25 (1 + 0,01 \text{ RMR}), \text{ per RMRC} < 20$$

$$\phi = 1.5 \text{ RMR}, \text{ per RMRC} > 20$$

PARAMETRI GEOMECCANICI RELATIVI ALLE DISCONTINUITÀ

I dati ottenuti dalle prove sclerometriche su roccia e dai profili di rugosità, rilevati nelle varie stazioni di misura, sono stati inseriti nel criterio di tipo empirico di *Barton* (1976) impiegato per determinare la resistenza lungo le superfici di discontinuità.

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 1+900 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	---	--

Data la difficoltà di misurare l'angolo delle rugosità i in una discontinuità reale, *Barton* ha proposto di sostituire tale angolo con un parametro dipendente dal livello tensionale chiamato **JRC** (*Joint Roughness Coefficient* o Coefficiente di Rugosità), variabile numericamente da 0 a 20, giungendo all'equazione nota come modello di *Barton e Bandis*:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} (\varphi + \text{JRC} \log \sigma_c / \sigma)$$

Inoltre, per differenziare in funzione del grado di alterazione, la resistenza attritiva propria delle pareti del giunto non alterate (ϕ_b), da quella attribuibile alle pareti di giunto alterate (detta anche resistenza attritiva residua o angolo d'attrito residuo) ϕ_r , anche sulla base delle prove sperimentali condotte da *Richards* evidenziando come tale angolo possa essere espresso dalla relazione:

$$\phi_r = \phi_b - 20 + 20(\text{IRa}/\text{IR})$$

dove IRa è la misura del rimbalzo del martello di *Schmidt* sulla parete del giunto alterata e IR la misura del rimbalzo del martello di *Schmidt* sulla parete del giunto non alterato.

Barton e Choubey pervengono alla formulazione finale del modello:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} (\phi_r + \text{JRC} \log \text{JCS} / \sigma)$$

Dalle precedenti equazioni, si ricava inoltre:

$$\phi' = \text{JRC} \cdot \log_{10} (\text{JCS} / \sigma_n) + \phi_r$$

I parametri utilizzati hanno il seguente significato:

ϕ_b = angolo d'attrito di base;

ϕ_r = angolo di attrito residuo;

ϕ' = angolo di attrito mobilitato sulla discontinuità;

JRC = coefficiente di rugosità di *Barton*;

JCS = resistenza alla compressione monoassiale;

$\text{JRC} \cdot \log_{10} (\text{JCS} / \sigma_n) = i_{\text{eff}}$ = contributo di attrito dovuto alla rugosità della discontinuità.

Al fine di determinare il contributo coesivo sulla discontinuità rappresentato dalla superficie di scivolamento, si è proceduto al calcolo del coefficiente di RMR corretto secondo le indicazioni di *Beniowski* (1989).

Dal valore di RMR, corretto si è ottenuto il valore di coesione drenata mediante la relazione:

$$c' = 2 \cdot \text{RMRc} \text{ (KPa)}$$

Il valore dell'angolo d'attrito di base da utilizzare nell'espressione di *Barton* dovrebbe essere determinato da prove di taglio eseguite su provini di roccia aventi superfici lisce, ottenute utilizzando una sega diamantata, e sottoponendo i provini ad una serie di tensioni normali tali da dare un inviluppo di rottura lineare con intercetta di coesione nulla.

In mancanza di tali prove, una stima di ϕ_b si può avere utilizzando i valori proposti da *Barton* o derivati da esperienze di ricercatori, riportati nella seguente tabella.

ROCCIA	ϕ_b PER GIUNTO ASCIUTTO (°)	ϕ_b PER GIUNTO UMIDO (°)
Conglomerato	35	35
Arenaria	26 – 35	25 – 33
Arenaria flyschoida	27 – 30	
Calcare	31 – 37	27 – 35
Calcare microcristallino	37 – 41	–
Marna	28 – 31	–
Marna scagliosa	31 – 33	27 – 31
Siltite	31 – 33	27 – 31
Argillite	27	27
Basalto	35 – 38	31 – 36
Granito a grana fine	31 – 35	29 – 31
Granito a grana grossa	31 – 35	31 – 33
Porfiriti	31	31
Dolerite	36	32
Anfibolite	32	30
Gneiss	26 – 29	23 – 26
Calcescisti	29 – 33	–
Argilloscisti	26 – 30	–
Scisti	25 – 30	21

Valori di ϕ_b per giunti asciutti e umidi.

Per ricavare l'angolo di attrito di base lungo una discontinuità si può utilizzare, inoltre, la seguente relazione:

$$\phi_b = 0.077 \cdot JCS + 25,2$$

ANALISI CINEMATICA DEI BLOCCHI ROCCIOSI

Gli assetti strutturali dei giunti presenti in un ammasso roccioso condizionano i possibili cinematismi di rottura incidenti sul piano del pendio considerato.

Il metodo speditivo di Markland quantifica la possibilità della rottura di piani o di cunei di roccia, nei quale lo scorrimento avviene lungo la linea di intersezione di due discontinuità planari.

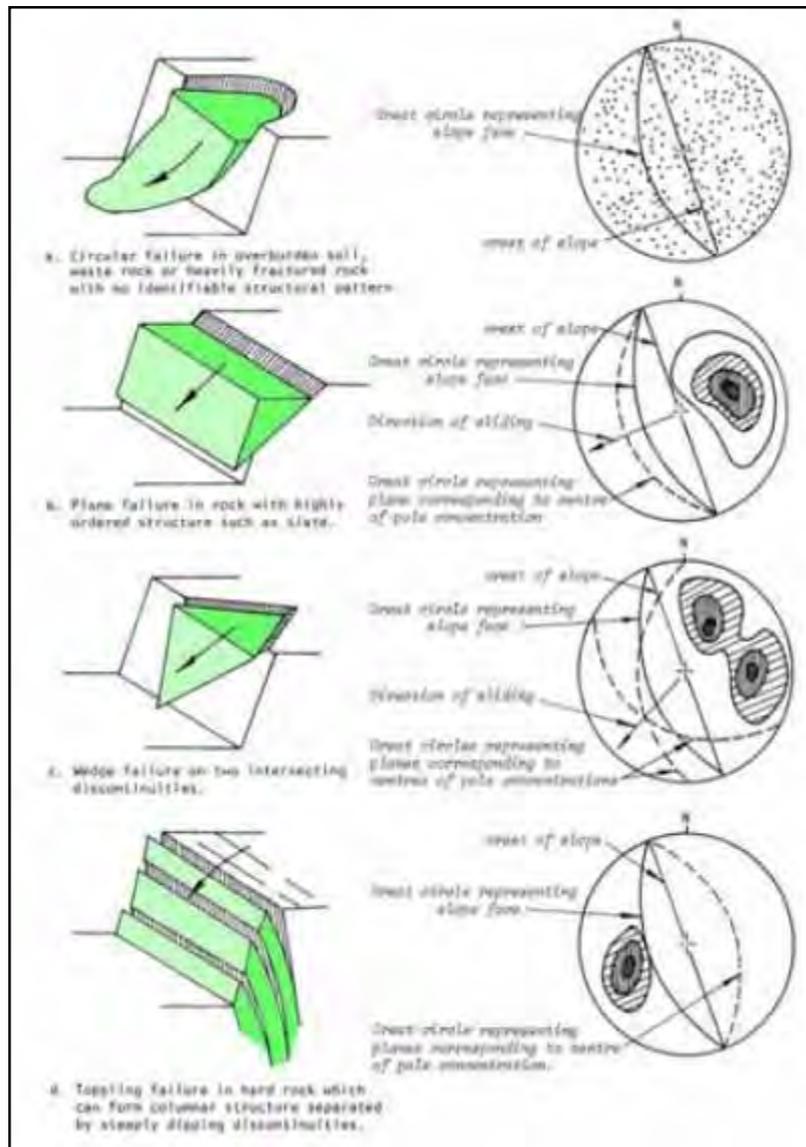
Il fattore di sicurezza del pendio dipende dalla inclinazione della linea di intersezione, dalla resistenza a taglio della superficie della discontinuità e dalla geometria del cuneo.

Il caso limite si verifica quando il cuneo degenera in un piano, cioè i due piani hanno inclinazione ed immersione coincidenti e quando la resistenza a taglio di questo piano è dovuta solo all'attrito.

Il procedimento fornisce un'indicazione qualitativa della stabilità del cuneo in funzione del suo orientamento nello spazio e della stima della resistenza al taglio mobilitabile lungo i piani di possibile scorrimento. Quest'ultima grandezza viene quantificata attraverso il parametro angolo di attrito medio delle discontinuità meccaniche; il test prevede 5 situazioni possibili, caratterizzate da condizioni ben definite:

- **cuneo stabile;**
- **rottura circolare** per suoli sovraconsolidati, rocce deboli o intensamente fratturate;
- **cuneo potenzialmente instabile per scivolamento planare (*planar failures*):** la rottura avviene lungo una singola superficie approssimabile ad un piano.
- **cuneo potenzialmente instabile sull'intersezione di due piani di rottura (*wedge failures*):** la rottura avviene lungo l'intersezione di piani di discontinuità, la cui inclinazione è minore del pendio, formando diedri e tetraedri.
- **cuneo potenzialmente instabile per ribaltamento (*topping failures*),** roccia suddivisa in colonne o pilastri la cui immersione è approssimativamente parallela al pendio e inclinazione sub verticale.

La contemporanea rappresentazione stereografica dei piani delle discontinuità principali e del piano del pendio sul medesimo reticolo permette un'immediata valutazione dei potenziali cinematismi di instabilità, secondo gli schemi riportati di seguito.



Cinematismi di instabilità e loro rappresentazione sul reticolo stereografico.

Il test di Markland risulta assai conservativo a causa di due importanti assunzioni:

- Tutte le discontinuità sono assunte come continue e passanti; solo una piccola percentuale di roccia intatta lungo la discontinuità ("**ponte di roccia**") può, infatti, generare sufficiente resistenza per preservare il blocco dallo scivolamento;
- Lo **stereonet base assume che la coesione sia pari a zero**; in realtà, si può assumere la presenza di coesione e trasformarla in contributo attrittivo, nel caso le fessurazioni non siano beanti.

Si ricordi, però, che **la presenza di filtrazione** può indurre cinematismi anche se tutte le condizioni del test non sono soddisfatte, elevando la pericolosità generale dell'affioramento.

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 1+900 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	---	---

RILEVAMENTO STRUTTURALE E GEOMECCANICO ESEGUITO

TECNICA DI RILEVAMENTO DEI DATI STRUTTURALI E GEOMECCANICI

Le operazioni di rilevamento sono avvenute sulla porzione sommitale del versante lungo la Sp. 57, al Km 1+900.

Nel procedimento generale sono stati esaminati:

- **caratteri litostratigrafici del litotipo;**
- **geometria e resistenza dei giunti e dei giunti parietali (“faccette” di maggiore lunghezza);**
- **caratteri dell’ammasso continuo (giunti implicitamente trattati);**
- **caratteri dell’ammasso discontinuo (giunti esplicitamente trattati);**
- **caratteristiche geotecniche e di potenziale distacco cinematico dei principali diedri e/o pilastri di roccia aggettanti.**

TIPI DI RILEVAMENTO ESEGUITI

Rilevamento geometrico di diedri e pilastri rocciosi

Per ognuno dei principali blocchi rocciosi in aggetto, sono stati registrate le dimensioni (con cordella e laser scanner) e le discontinuità che possono “sbloccarlo” dal pendio, al fine di procedere alla determinazione del volume del blocco.

Rilevamento su finestre (F).

Il rilievo strutturale e geomeccanico avviene su una finestra rocciosa di forma rettangolare, le cui dimensioni vengono registrate e riportate, analizzando in maniera *random* tutte le discontinuità e i giunti parietali riconoscibili.

Sono utili per la raccolta speditiva di dati in condizioni topografiche disagiate o di accesso precario, oltre alla determinazione dei valori di JRC e JCS dell’ammasso roccioso continuo.

Le indicazioni di spaziatura e persistenza delle famiglie individuate, vengono poi assunte a scala maggiore superando nello spazio la rappresentatività dei sistemi di fratturazione, ponendosi, ove possibile, ortogonalmente alle discontinuità.

STRUMENTI UTILIZZATI E DATI RACCOLTI

Nel dettaglio, in fase di rilevamento, mediante l’utilizzo di:

- **Bussola di Burton;**
- **Martello di Schmidt;**
- **Pettine di Burton;**
- **Cordelle metriche;**

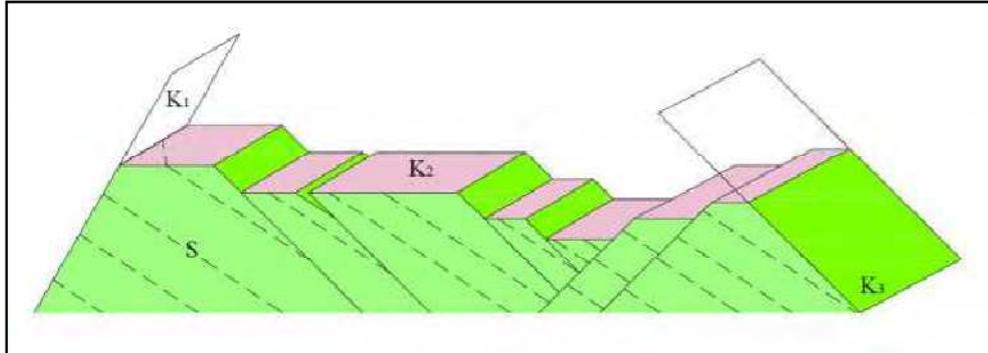
sono stati ricavati i seguenti parametri:

- **Giacitura del fronte;**
- **Giacitura delle superfici di discontinuità;**
- **Tipo ed analisi della discontinuità;**
- **Persistenza e lunghezza delle discontinuità;**
- **Spaziatura delle discontinuità;**
- **Apertura delle discontinuità;**
- **Forma o Curvatura delle discontinuità;**
- **Riempimento delle discontinuità;**

- **Terminazione delle discontinuità;**
- **Eventuale presenza di acqua (su ammasso roccioso e in corrispondenza delle discontinuità);**
- **Scabrezza delle discontinuità;**
- **Resistenza a compressione monoassiale su discontinuità (ove possibile) e ammasso roccioso.**

GIACITURA DEL FRONTE E DELLE DISCONTINUITÀ

Con il termine “**discontinuità**” si indica qualsiasi interruzione di continuità in una massa rocciosa; si indicano così la maggior parte delle fessure, dei piani di stratificazione, dei piani di scistosità, delle zone di indebolimento e delle faglie.



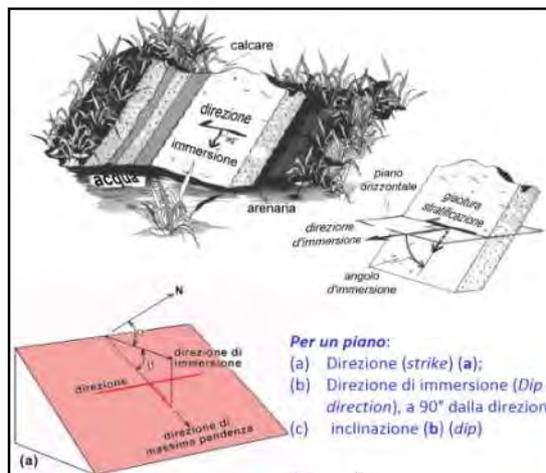
K1, K2, K3, = sistemi di discontinuità; S o K0 = stratificazione

I parametri che in dettaglio consentono di descrivere le discontinuità (**Orientazione**: indica la posizione della discontinuità nello spazio), e quindi di caratterizzare sotto il profilo geotecnico un ammasso roccioso, sono di seguito elencati.

Direzione (strike); è indicata dall'angolo che una linea orizzontale che giace sul piano forma con la **direzione del Nord**.

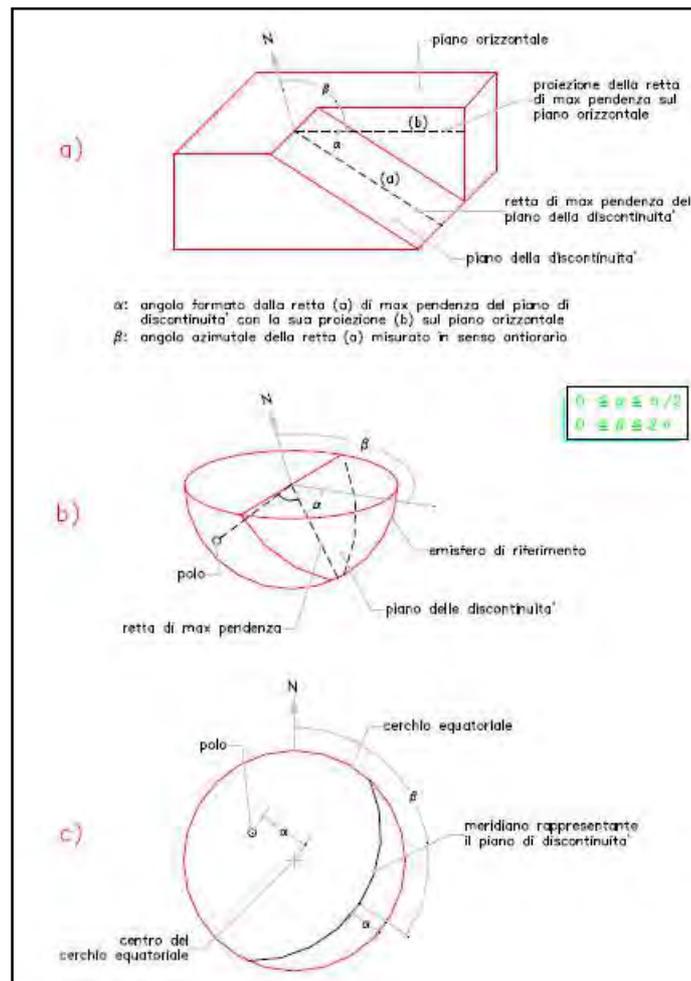
Immersione (dip direction): direzione verso cui la superficie immerge, misurata sul piano azimutale.

Inclinazione (dip): angolo che il piano della discontinuità forma con il piano orizzontale.



Nella pratica usuale, in campagna, vengono acquisiti i dati di immersione e inclinazione per ogni discontinuità riscontrata.

I dati strutturali relativi alla giacitura delle principali famiglie di discontinuità, della stratificazione e dell'assetto del versante, sono riportati di seguito, per ognuno degli affioramenti analizzati, mediante rappresentazione stereografica eseguita con reticolo di Schmidt (proiezione equiareale).

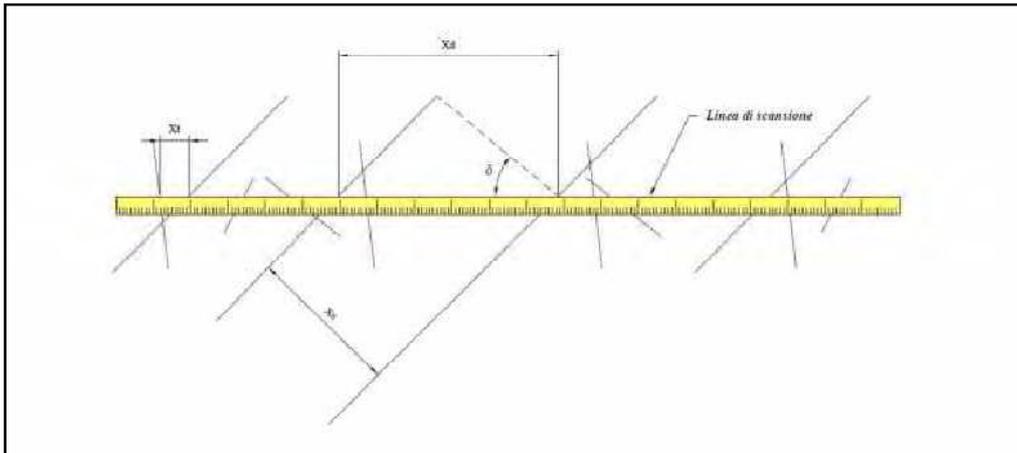
**TIPO ED ANALISI DELLA DISCONTINUITÀ:**

Le discontinuità dell'ammasso roccioso possono essere suddivise nelle seguenti tipologie:

- **Zona di faglia;**
- **Faglia;**
- **Giunto o frattura;**
- **Clivaggio;**
- **Scistosità;**
- **Vena;**
- **Trazione;**
- **Foliazione;**
- **Stratificazione;**
- **Stilolite;**
- **Faccetta o giunto parietale.**

SPAZIATURA DEI GIUNTI RILEVATI

Indica la distanza tra discontinuità adiacenti misurata in direzione ortogonale alle discontinuità stesse.

**Spaziatura delle discontinuità negli ammassi rocciosi.**

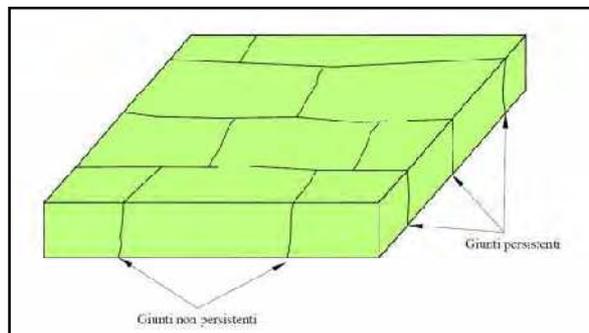
Definizione bidimensionale della spaziatura normale (X_n), della spaziatura totale (X_t) e della spaziatura del set (X_d).

<i>Descrizione</i>	<i>Spaziatura</i>
Sp. estremamente stretta	< 2 cm
Spaziatura molto stretta	2÷6 cm
Spaziatura stretta	6÷20 cm
Spaziatura moderata	20÷60 cm
Spaziatura larga	60÷200 cm
Spaziatura molto larga	200÷600 cm
Sp. estremamente larga	> 600 cm

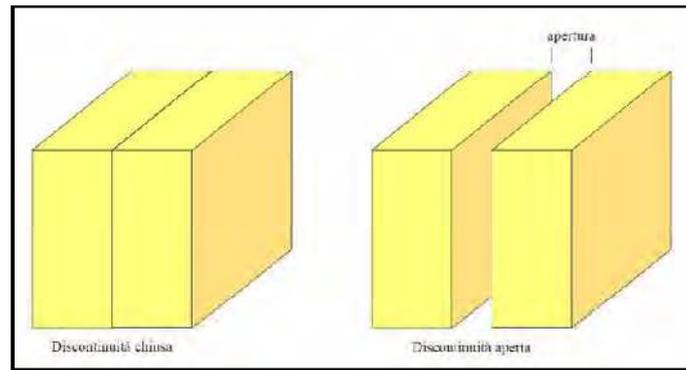
PERSISTENZA DEI GIUNTI

Si tratta della lunghezza della discontinuità osservata in un affioramento. Essa dà una misura dell'estensione areale e/o della profondità di penetrazione di una discontinuità.

Il fatto che il piano di discontinuità termini in roccia massiccia o contro altre discontinuità riduce la persistenza.

**Concetto di persistenza di una discontinuità****APERTURA, FORMA E RIEMPIMENTO DELLE DISCONTINUITÀ**

Apertura: distanza tra i lembi affacciati di una discontinuità. Lo spazio interposto può essere riempito da aria (**giunto beante**) o acqua o da altro materiale.

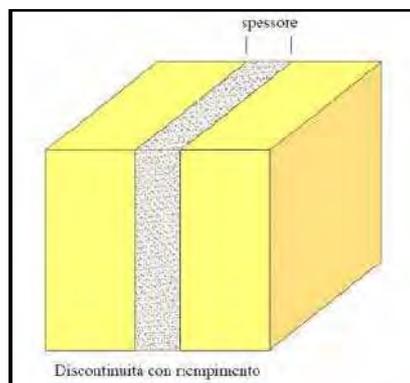
**Apertura di una discontinuità**

<i>Apertura</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Discontinuità</i>
<0.1 mm	Molto stretta	Chiusa
0,1÷0,25 mm	Stretta	
0,25÷2,5 mm	Parzialmente aperta	
0,5÷2,5 mm	Aperta	Semi-aperte
2,5÷10 mm	Moderatamente larga	
>10 mm	Larga	
1÷10 cm	Molto larga	Aperte
10÷100 cm	Estremamente larga	

Classificazione ISRM in base all'apertura

Riempimento: materiale che separa le pareti affacciate di una discontinuità e che è di solito meno resistente della roccia ospite. In base alle caratteristiche attrittive, il riempimento può essere suddiviso nelle seguenti classi:

- I = incoerente;
- C = coesivo inattivo;
- S = coesivo rigonfiante;
- Cm = cementato,
- Ca = calcite
- Q = quarzo;
- G = gesso
- **Discontinuità beante:** nessun riempimento.



Forma o Curvatura di una discontinuità: deviazione del piano rappresentativo della discontinuità dall'ipotetico tracciato rettilineo.

TERMINAZIONE DELLA DISCONTINUITÀ

Si registra il tipo di terminazione della semitraccia superiore della discontinuità secondo la simbologia proposta dall'ISRM:

I = in roccia intatta;

A = contro un'altra frattura;

O = fuori affioramento.

EVENTUALE PRESENZA DI ACQUA (SU AMMASSO ROCCIOSO E DISCONTINUITÀ)

Filtrazione: flusso d'acqua e/o umidità visibile, ovvero, valutabile nelle singole discontinuità o nella massa rocciosa nel suo insieme. Le raccomandazioni ISRM forniscono degli schemi descrittivi per stimare la filtrazione attraverso discontinuità senza riempimento, discontinuità con riempimento e una massa rocciosa. Si riportano di seguito le tabelle utili per la descrizione della filtrazione:

<i>Grado di filtrazione</i>	<i>Descrizione</i>
1	La discontinuità è molto chiusa e asciutta: il flusso lungo di essa non appare possibile.
2	La discontinuità è asciutta senza alcun evidente flusso d'acqua.
3	La discontinuità è asciutta ma mostra segni evidenti di flusso d'acqua, come tracce di ossidazione, ecc.
4	La discontinuità è umida ma non vi è presenza di acqua libera.
5	La discontinuità mostra filtrazione, occasionali gocce d'acqua ma non flusso continuo.
6	La discontinuità mostra un flusso continuo di acqua. (stimare la portata in l/min e descrivere se la pressione è bassa, media, o alta).

Discontinuità senza riempimento

<i>Grado di filtrazione</i>	<i>Descrizione</i>
1	I materiali di riempimento sono decisamente consolidati e asciutti; un flusso significativo appare improbabile per via della permeabilità molto bassa.
2	I materiali di riempimento sono umidi ma non c'è presenza di acqua libera.
3	I materiali di riempimento sono bagnati; occasionali gocce d'acqua.
4	I materiali di riempimento mostrano segni di dilavamento; flusso continuo di acqua. (valutare la portata in l/min.)
5	I materiali di riempimento sono localmente dilavati; considerevole flusso di acqua lungo i canali di dilavamento (stimare la portata in l/min. e descrivere la pressione, se bassa, media o alta).
6	I materiali di riempimento sono completamente dilavati; si osservano alte pressioni dell'acqua specialmente al momento dell'esposizione (stimare la pressione in l/min. e descrivere la pressione).

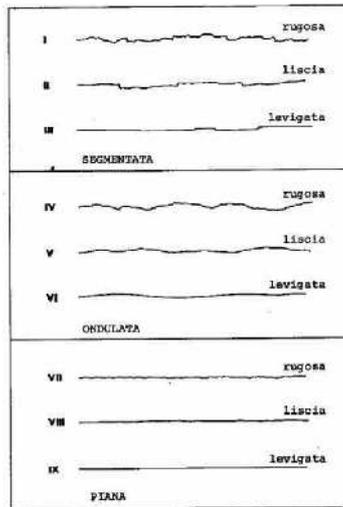
Discontinuità con riempimento

<i>Grado di filtrazione</i>	<i>Descrizione</i>
1	Pareti e corona asciutti; nessuna filtrazione rilevabile.
2	Piccola filtrazione; specificare le discontinuità gocciolanti.
3	Flusso medio; specificare le discontinuità con flusso continuo. (stimare la portata in l/min su una lunghezza di scavo di 10 m).
4	Flusso alto; specificare le discontinuità con flusso intenso. (stimare la portata in l/min su 10 m di lunghezza di scavo).
5	Flusso eccezionalmente alto; specificare la sorgente di tale flusso. (stimare la portata in l/min su 10 m di lunghezza di scavo).

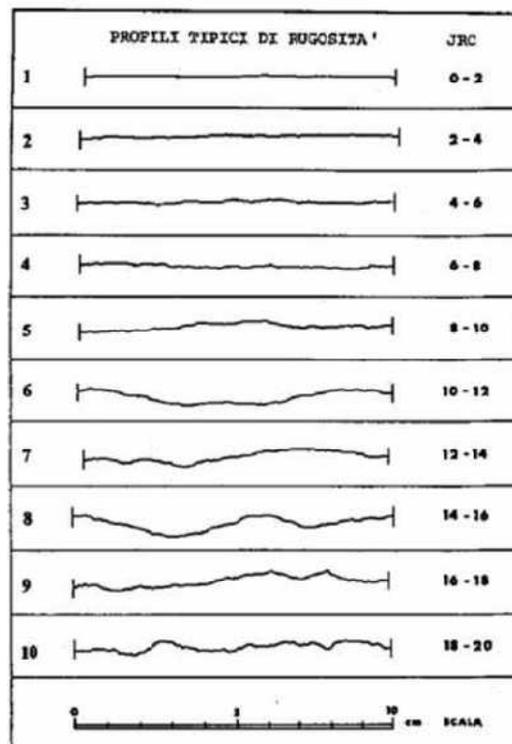
Grado di filtrazione complessivo

SCABREZZA DELLE DISCONTINUITÀ

Si tratta della scabrezza delle superfici affacciate di una discontinuità ed ondulazione relativamente al piano medio delle discontinuità. Sia la rugosità che il suo andamento morfologico contribuiscono alla resistenza di taglio.



In base alle caratteristiche della discontinuità, mediante profilometro o Pettine di Burton, viene definito il valore di **JRC: joint roughness coefficient**. Esso è una stima della rugosità della superficie della discontinuità. Tale parametro viene determinato confrontando il profilo di rugosità del giunto, ricavato appoggiando un profilometro (pettine di Barton) sulla superficie della discontinuità, con alcuni profili standard proposti da Barton & Choubey (1977).



Profili di scabrezza e corrispondenti valori di JRC (ISR)

Visto che la lunghezza dei profili standard è pari a 10 cm, l'indice JRC fornisce indicazione sulle asperità a scala millimetrica e centimetrica. **Teoricamente, la direzione lungo la quale va determinata la rugosità deve essere quella coincidente con la direzione di scivolamento del blocco.**

Se questa non è nota a priori si può utilizzare come direzione di misura quella di immersione del piano di discontinuità o quella parallela alla linea di intersezione tra il piano di discontinuità di interesse e un altro piano di discontinuità adiacente.

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 1+900 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	---	---

RESISTENZA A COMPRESSIONE MONOASSIALE SU DISCONTINUITÀ (OVE POSSIBILE) E AMMASSO ROCCIOSO.

La resistenza a compressione uniassiale delle pareti della discontinuità (**Joint Compressive Strength, JCS**) è un parametro di fondamentale importanza per la stima della resistenza al taglio della discontinuità.

Il valore di JCS viene determinato tramite prove sclerometriche, sia su superficie naturale della discontinuità, sia su superficie dopo levigatura a mano, allo scopo di rimuovere la pellicola alterata più superficiale.

Generalmente, le prove col martello di Schmidt non si eseguono su tutte le discontinuità che intersecano la linea di scansione o presenti nella finestra di rilevamento, ma su un numero più ridotto di piani rappresentativi delle famiglie di discontinuità presenti nell'ammasso.

Per ogni serie di letture è importante annotare l'inclinazione del martello rispetto all'orizzontale ed accertarsi di non poggiare la punta metallica su microfrazioni, asperità o muschi che producono una parziale dissipazione dell'energia dell'impatto e falsano il valore del rimbalzo.

Il parametro J.C.S. (Joint Compressive Strength) può essere calcolato da misure eseguite con il Martello di Schmidt o, in alternativa, con uno sclerometro per calcestruzzo.

Lo strumento fornisce un indice correlabile a JCS attraverso la seguente relazione:

$$\text{Log}_{10} J.C.S.(MPa) = 0.00088\gamma r + 1.01$$

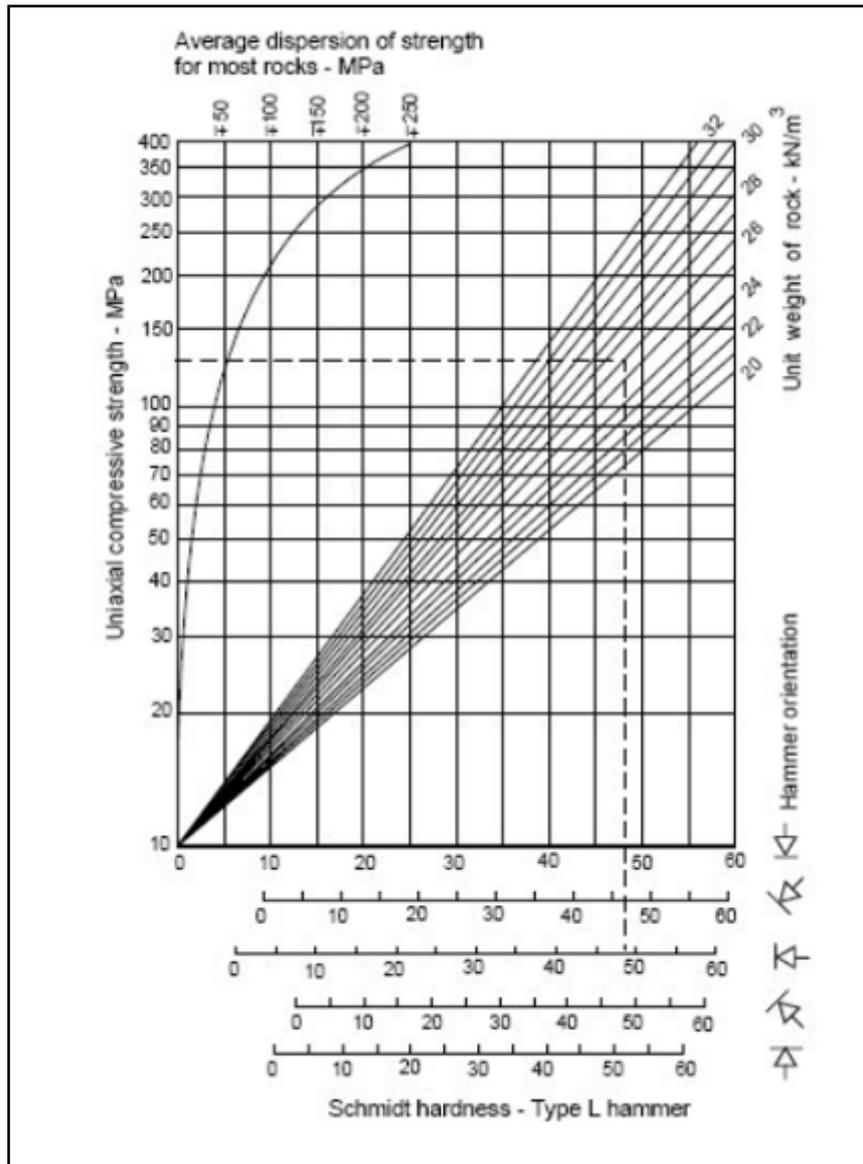
dove:

γ (kN/mc) = Peso di volume della roccia;

r (o IR) = Indice del Martello di Schmidt.

Nella pratica si prendono due valori di indice di rimbalzo: su superficie intatta (IR) o su superficie alterata (IRa).

In alternativa JCS può essere stimato usando il seguente diagramma, che prende in considerazione anche l'angolo tra il martello e l'orizzontale.



Valori di JCS

PRESENTAZIONE ED ANALISI DEI DATI RILEVATI**DESCRIZIONE GEOLOGICA E LITOSTRATIGRAFICA DEL SITO DI RILEVAMENTO**

I litotipi affioranti sono afferibili al Membro di Varano de' Melegari della Formazione di Ranzano (RAN3), costituito da ammassi rocciosi strutturalmente ordinati, costituiti da alternanze tra livelli lapidei (arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti ecc.) e livelli pelitici con rapporto tra livelli lapidei e livelli pelitici $3 > L/P > 1/3$.

La parete rocciosa analizzata assume una lunghezza complessiva pari a circa 30 m ed un'altezza di circa 8 m; **la giacitura degli strati**, ove riconoscibile, si presenta prevalentemente a traverpoggio, con componente secondaria a reggipoggio.

RILEVAMENTI STRUTTURALI E ANALISI DI DATI STRUTTURALI

Come precedentemente detto, è stato realizzato il seguente rilievo geomeccanico e strutturale, così costituito:

- **4 Finestre di rilevamento, eseguita in assicurazione con tecniche alpinistiche;** una quinta porzione di versante (F5), raggiunta in calata, ha evidenziato un grado di rimaneggiato molto elevato, per cui non è stato possibile determinare dati attendibili.
- **Rilievo geometrico e strutturale dei principali diedri e pilastri aggettanti.**

Dal punto di vista strutturale, per ogni stazione di rilevamento eseguita, si riportano:

- *rappresentazione stereografica delle discontinuità rilevate;*
- *rappresentazione stereografica dei poli delle famiglie di discontinuità rilevate;*
- *rappresentazione stereografica della giacitura delle famiglie di discontinuità rilevate e del versante.*

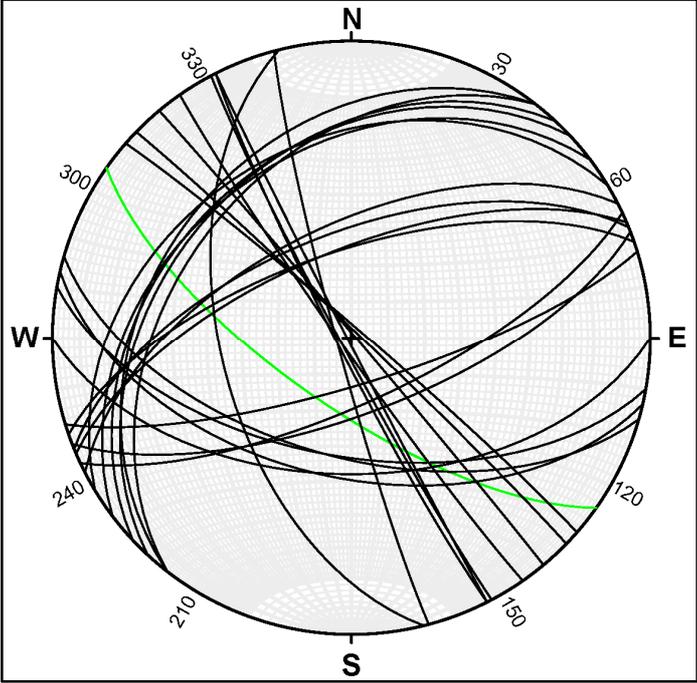
Le discontinuità rilevate nell'area di indagine sono state rappresentati con proiezione stereografica (**dei poli e delle famiglie di discontinuità**) sul reticolo equatoriale di Schmidt, emisfero inferiore.

Su tutte le finestre rocciose analizzate, le discontinuità rilevate sono riconducibili a **quattro set principali e loro strutture accessorie**, i cui caratteri giacitureali sono riportati di seguito.

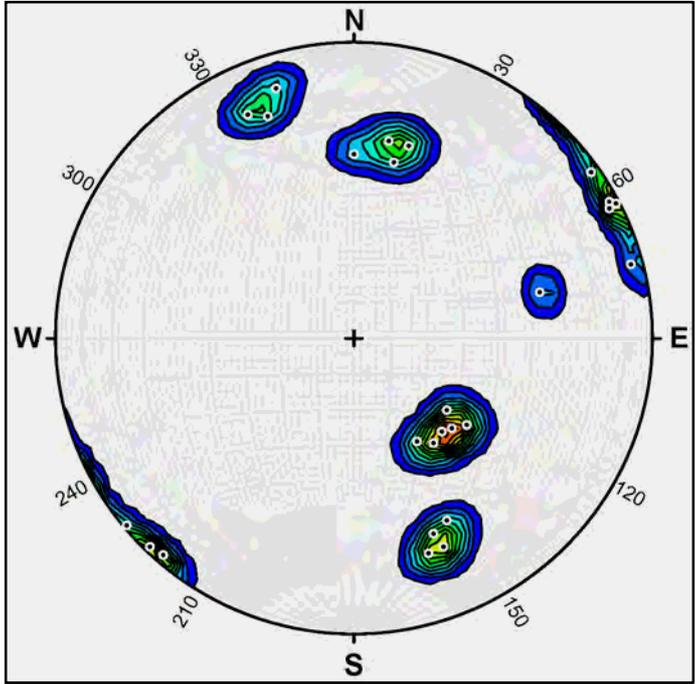


Suddivisione in finestre dell'affioramento.

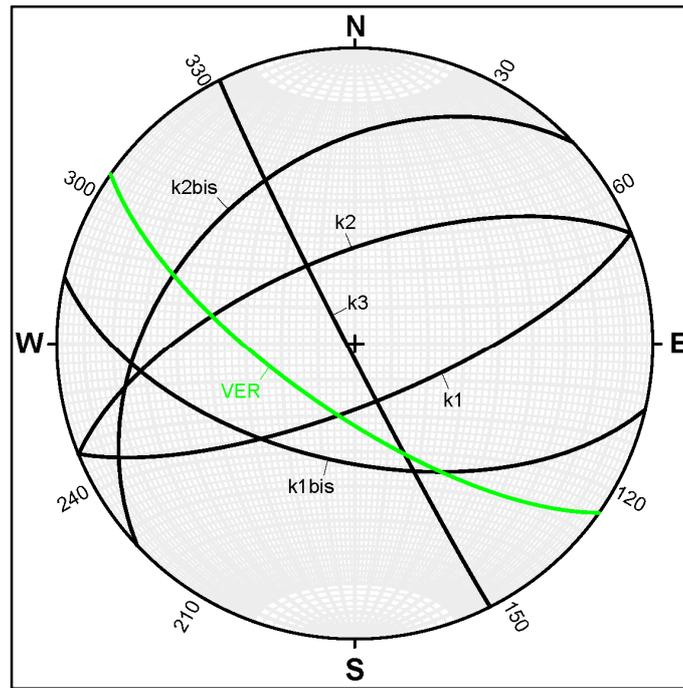
Finestra di rilevamento F1– Bancate calcarenitiche marnose profondamente alterate. Le giaciture sono compresse da slumping.



Discontinuità rilevate



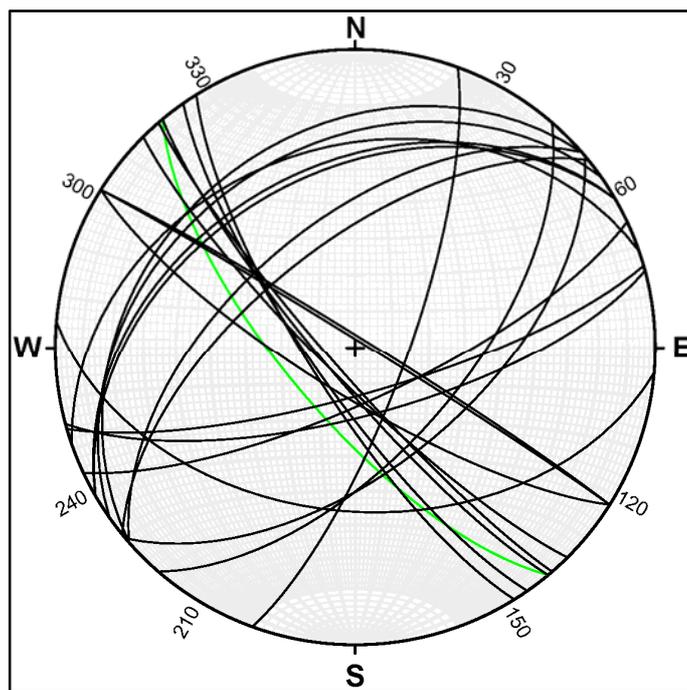
Poli delle discontinuità rilevate



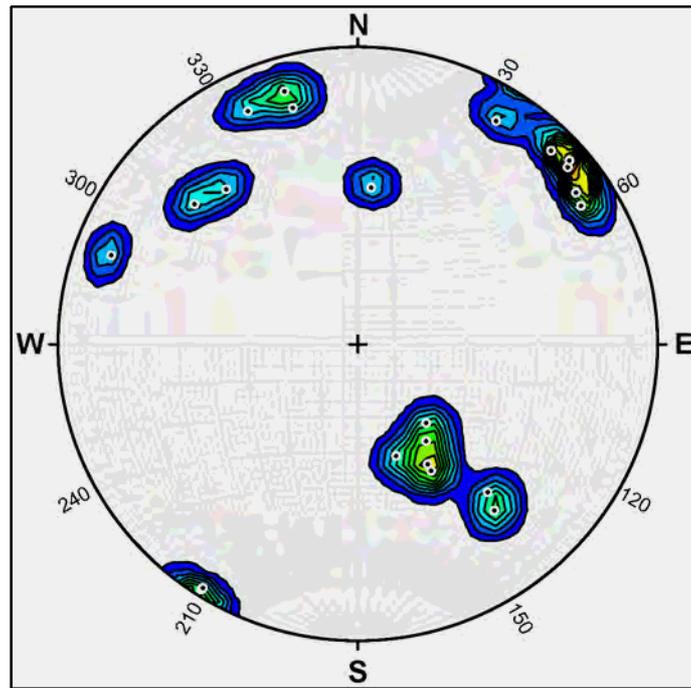
Famiglie di discontinuità

Set	Tipo	Range di immersione Dip direction	Range di inclinazione Dip
k1	Fratturazione	158°	73°
k1bis	Fratturazione	193°	57°
k2	Fratturazione	338°	65°
k2bis	Fratturazione	317°	38°
k3	Fratturazione	243°	88°

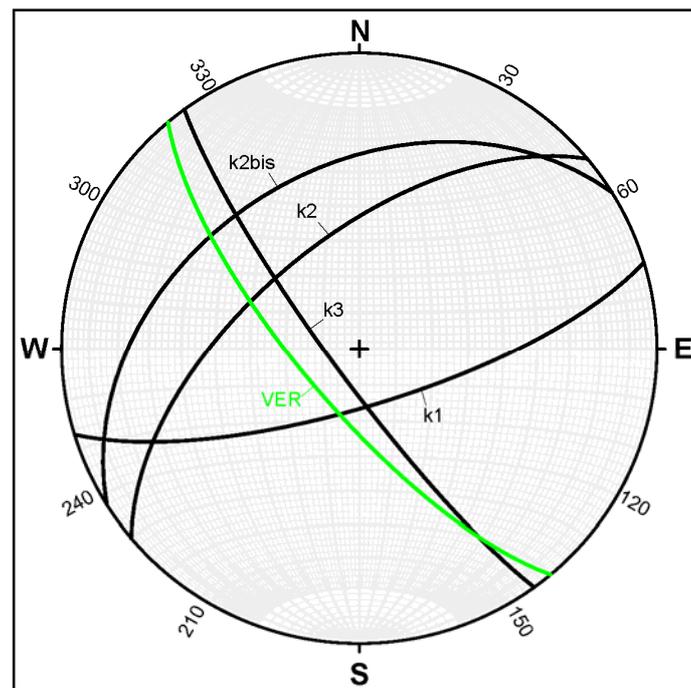
Finestra di rilevamento F2 – Bancata calcarenitica massiva, a minor grado di alterazione relativa.



Discontinuità rilevate



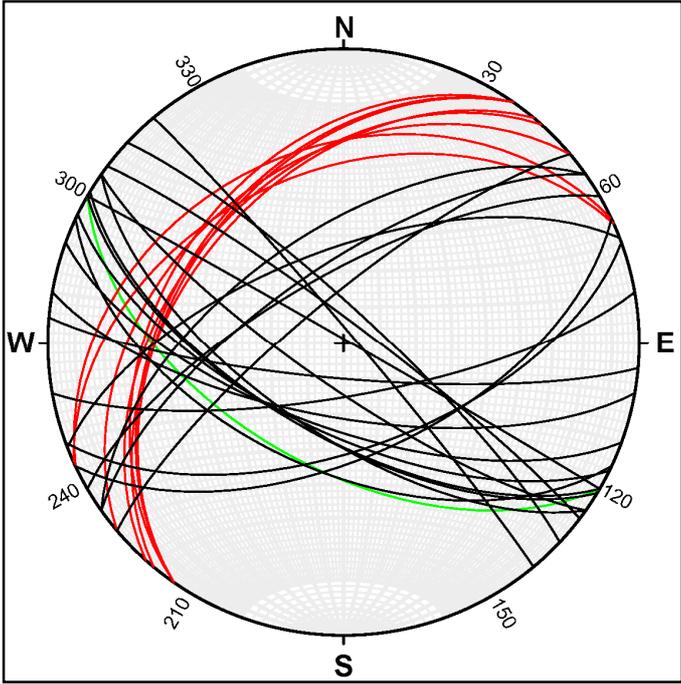
Poli delle discontinuità rilevate



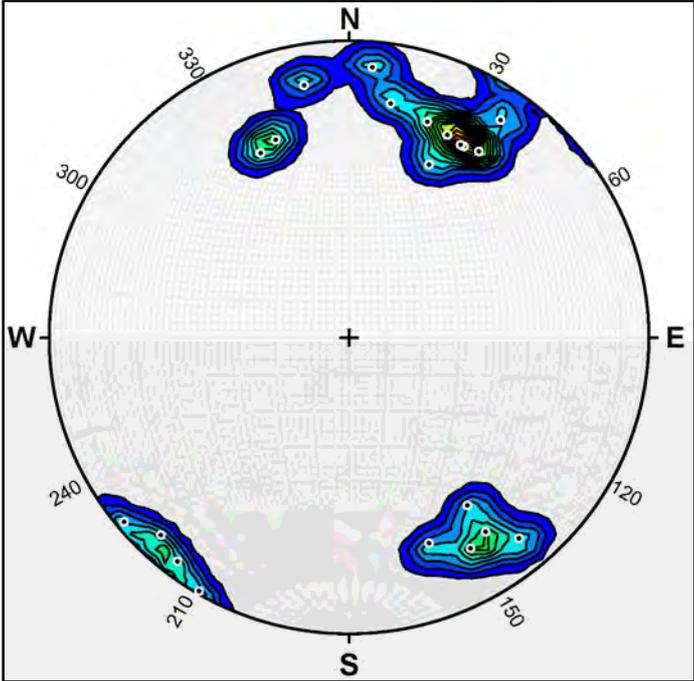
Famiglie di discontinuità

Set	Tipo	Range di immersione Dip direction	Range di inclinazione Dip
k1	Fratturazione	163°	74°
k2	Fratturazione	320°	60°
k2bis	Fratturazione	328°	39°
k3	Fratturazione	234°	82°

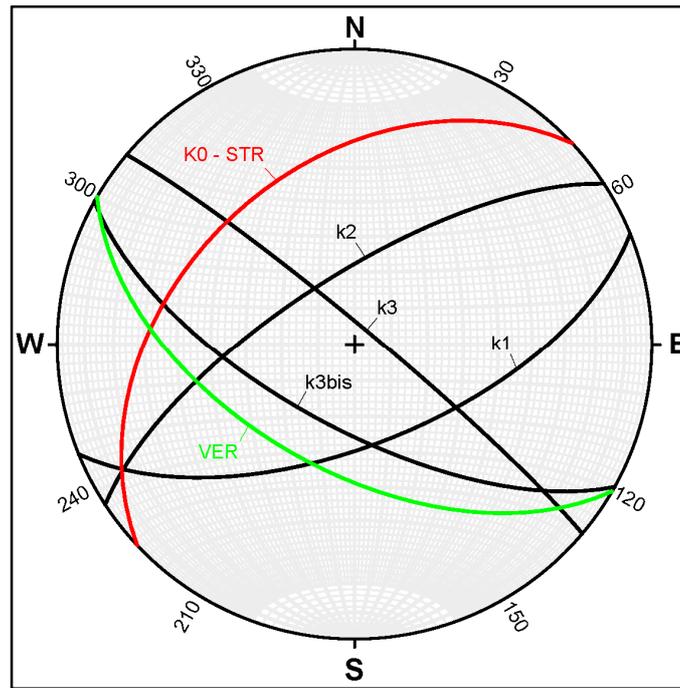
Finestra di rilevamento F3 – Strati medi e sottili calcarenitici amalgamati.



Discontinuità rilevate



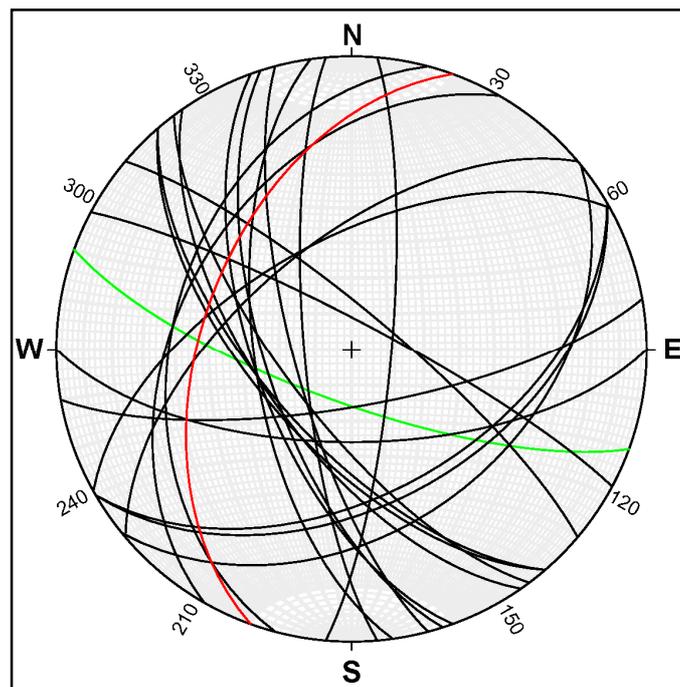
Poli delle discontinuità rilevate



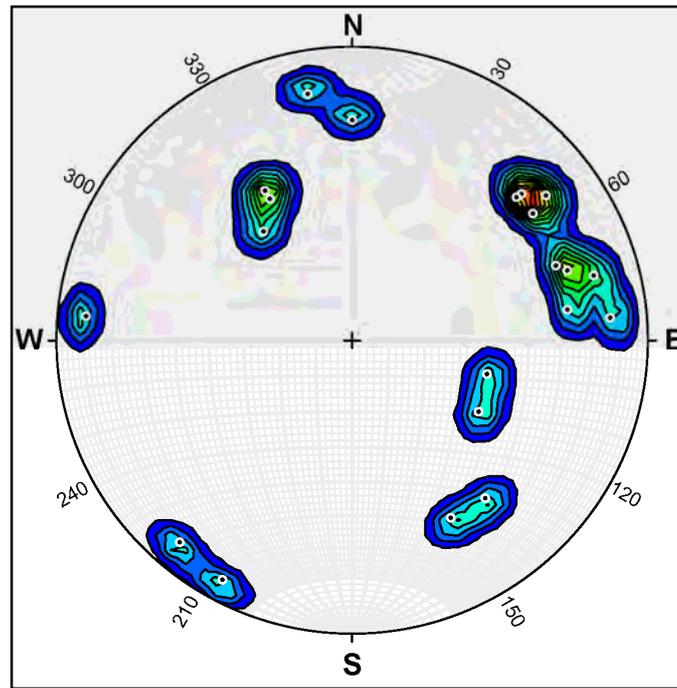
Famiglie di discontinuità

Set	Tipo	Range di immersione Dip direction	Range di inclinazione Dip
k0 - STR	Stratificazione (STR)	317°	40°
k1	Fratturazione	158°	62°
k2	Fratturazione	327°	71°
k3	Fratturazione	40°	85°
k3bis	Fratturazione	209°	67°

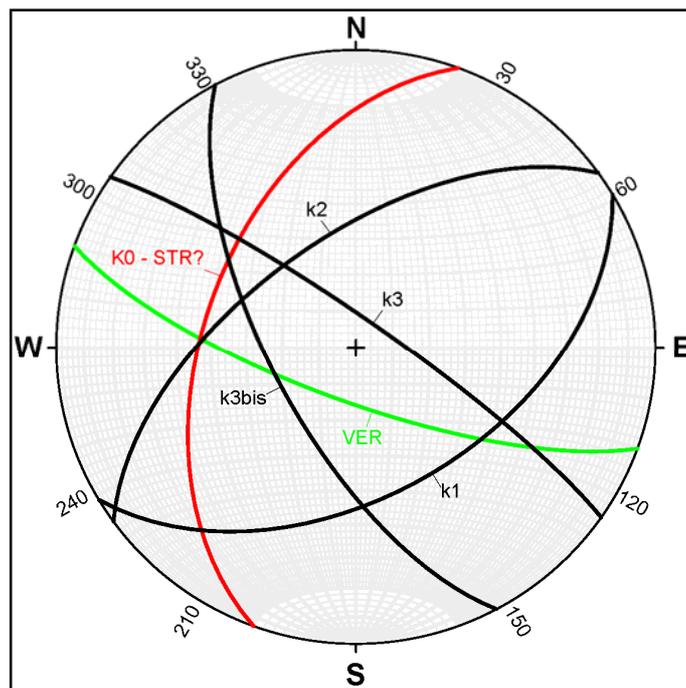
Finestra di rilevamento F4 – Strati medi e sottili calcarenitici amalgamati.



Discontinuità rilevate



Poli delle discontinuità rilevate



Famiglie di discontinuità

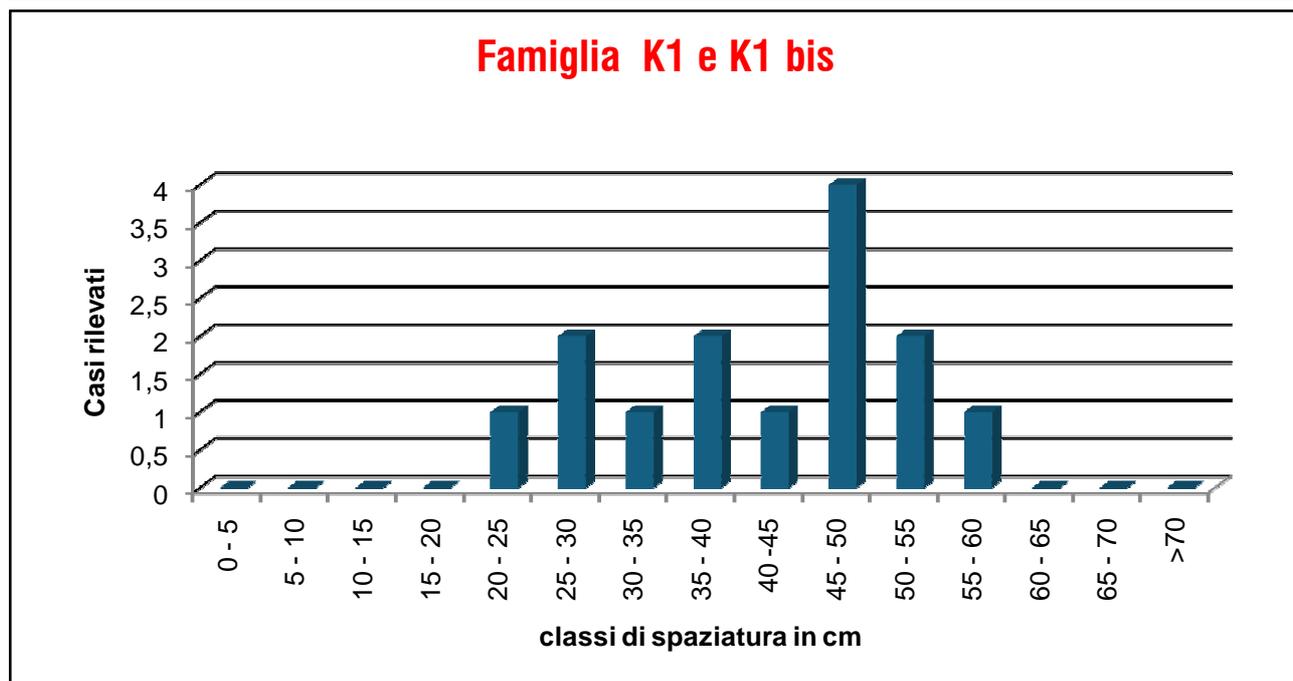
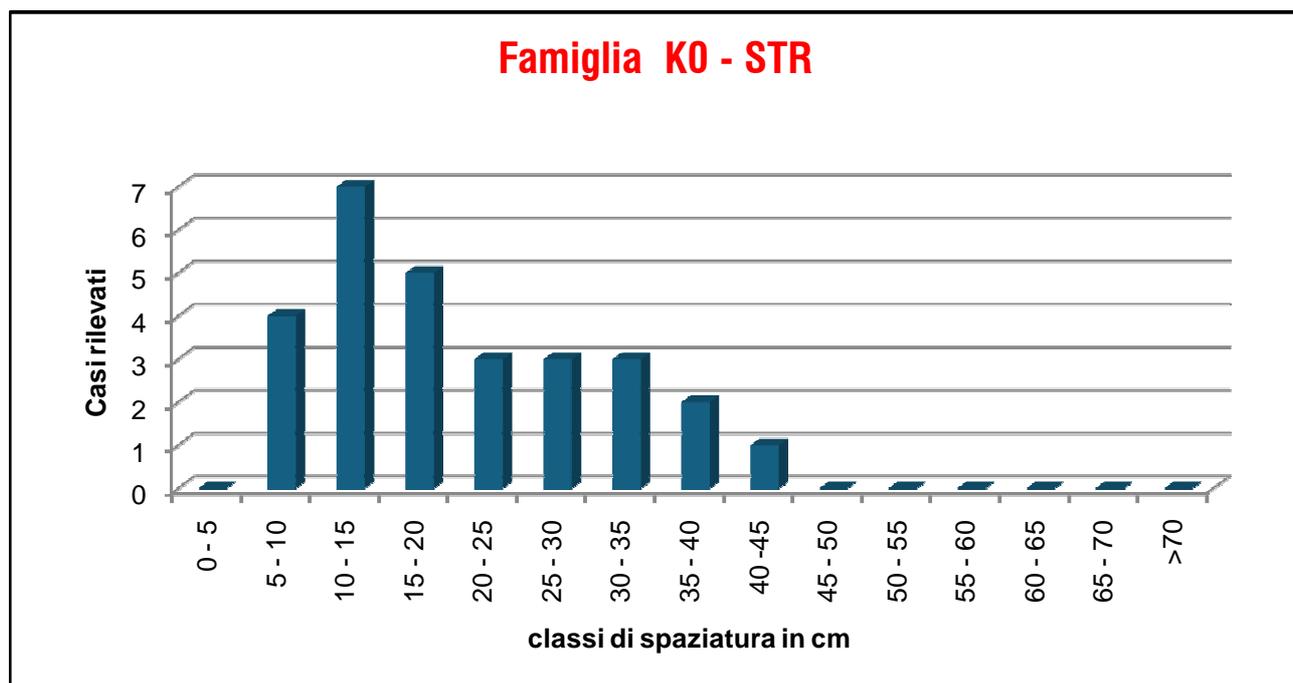
Set	Tipo	Range di immersione Dip direction	Range di inclinazione Dip
k0 - STR	Stratificazione (STR)	290°	48°
k1	Fratturazione	149°	49°
k2	Fratturazione	324°	60°
k3	Fratturazione	35°	82°
k3bis	Fratturazione	242°	67°

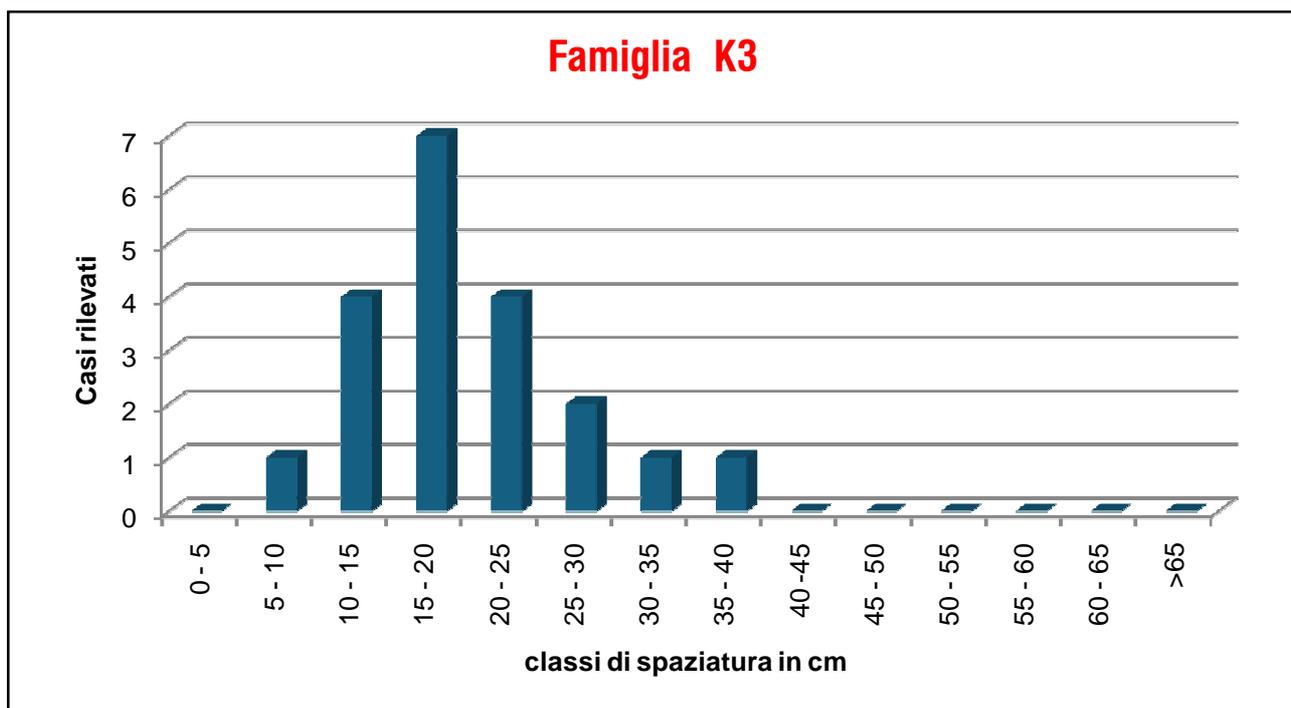
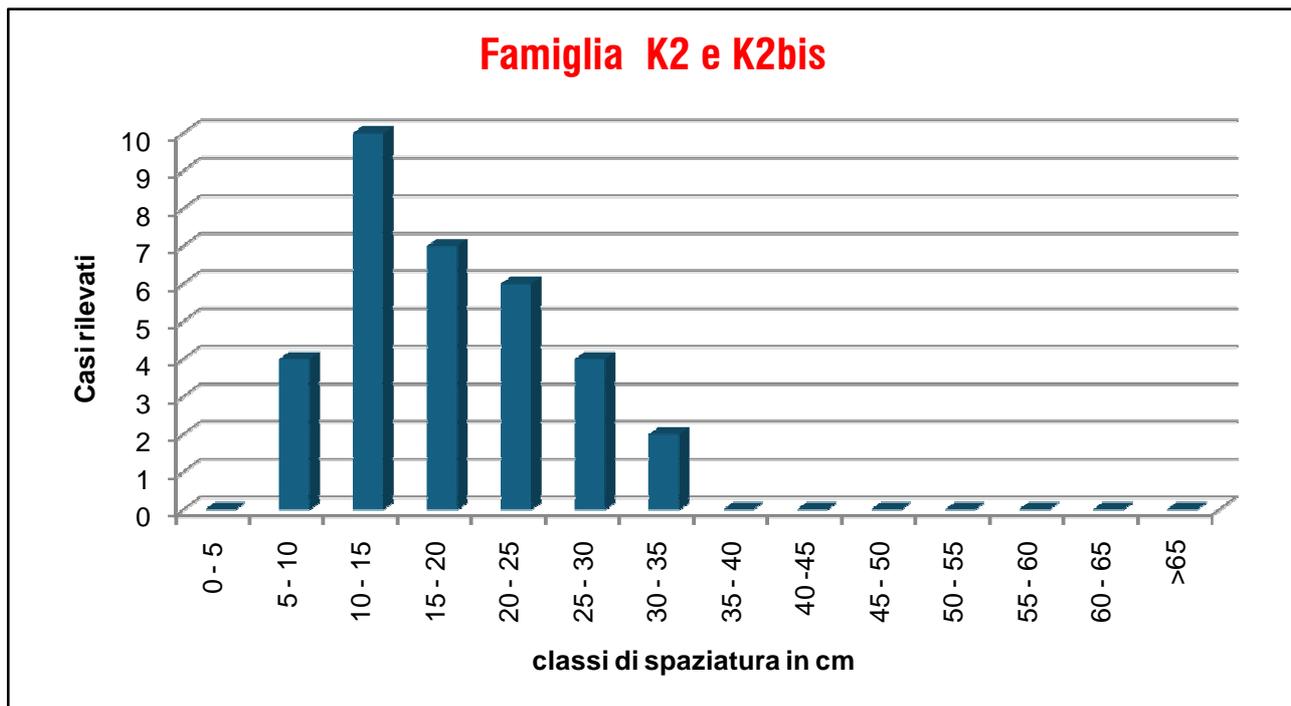
PERSISTENZA E SPAZIATURA

Sono state rilevate due differenti e significative condizioni di persistenza e apertura dei giunti associati alle varie famiglie di fratturazione (**K0, K1, K2, K3 e associate**):

- **persistenza a scala di rilevamento** (le fratture si esauriscono all'interno delle bancate calcarenitiche) e **aperture nulle o di pochi millimetri**.
- **persistenza a scala di versante** (le fratture di possono seguire su tutto il fronte roccioso o almeno attraversano completamente le bancate calcarenitiche massive) e **aperture comprese tra 1 e 5 cm**.

Sulle fratture beanti o a riempimento incoerente, a persistenza elevata, che attraversano completamente gli affioramenti rocciosi, è stato svolto uno **studio della spaziatura dei set delle varie famiglie comprensive delle loro associate**.





Classi di spaziatura per i giunti a elevata persistenza ed apertura appartenenti ai quattro sistemi di discontinuità.

Le elaborazioni eseguite hanno evidenziato le seguenti spaziature di progetto, ricavati con il **95^{esimo} percentile** della distribuzione dei dati rilevati in parete per singola famiglia.

Famiglia	Sp ₉₅ (cm)
k0	40
k1 e k1bis	54
k2 e k2bis	31
k3 e k3bis	34

RESISTENZA A COMPRESSIONE MONOASSIALE

Dall'analisi visiva e strutturale, si evince come il settore in oggetto sia caratterizzato dalla presenza di piccole strutture plicative e tettoniche che "flettono" e rimaneggiano localmente l'andamento delle principali discontinuità.

Le prove sclerometriche hanno evidenziato due ambiti di resistenza alla compressione monoassiale: la roccia non alterata presenta media resistenza meccanica ($JCS_k = 43,03$ MPa), quella alterata valori medio bassi ($JCS_k = 31,20$ MPa).

SCABREZZA DELLE DISCONTINUITÀ

Sui sistemi **rilevati** è stato svolto uno **studio di dettaglio delle caratteristiche di scabrezza, riferendosi al JRC₅**, rilevando i dati di seguito presentati, riferiti al 5° percentile della distribuzione dei valori misurati in parete.

Set	Tipo	JRC ₅
k0	Stratificazione (STR)	1,43
k1	Fratturazione	1,82
k1 bis	Fratturazione	2,43
k2	Fratturazione	1,14
K2bis	Fratturazione	2,42
K3	Fratturazione	3,28
K3bis	Fratturazione	3,26

Classi di scabrezza per i giunti a media- elevata persistenza (maggiore di 2 m)

CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici, relativi alla circolazione delle acque profonde che interessano il versante, essi sono primariamente condizionati dalla permeabilità dell'ammasso roccioso per fratturazione-fessurazione, che localmente può risultare elevata; tale condizione favorisce l'infiltrazione delle acque di apporto meteorico con circolazione sotterranea strettamente controllata dai reticoli di frattura, organizzandosi pertanto secondo una rete idrica complessa, costituita da percorsi prevalentemente verticali impostati sui piani di fratturazione, in funzione del grado di apertura e di reciproca intersezione dei giunti.

Soprattutto all'interno della formazione rocciosa in analisi, i processi di filtrazione possono indurre l'instabilità dei blocchi o ammassi rocciosi, anche se non sono soddisfatte completamente le condizioni di analisi di carattere cinematico.

CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO – PARAMETRI GEOMECCANICI

Le analisi statistiche hanno evidenziato i seguenti parametri di caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso nella sua continuità (*giunti implicitamente trattati*).

- **GSI:** 43
- **RMRb:** 39,00
- **RMRc:** 30,14
- $\gamma_n = 25$ kN/mc

Parametro geomeccanico	Beniawsky	Hoek & Brown
ϕ' ammasso	29,5°	26,3°
C ammasso	0,15 MPa	1,72 MPa

DATI GEOMECCANICI DELLE FAMIGLIE DI DISCONTINUITÀ RILEVATE

I dati geomeccanici relativi alle fratturazioni dell'ammasso roccioso (*giunti esplicitamente trattati*) sono stati trattati in termini statistici, ricavando i seguenti parametri per le famiglie di discontinuità rilevate:

Parametri	K0	K1	K1bis	K2	K2bis	K3	K3bis
Persistenza media (cm)	Scala di versante						
Spaziatura di progetto Spd (cm)	40	54		31		34	
Curvatura	Molto bassa	Bassa					
Apertura media	-	Da 0 a 2 cm	Da 0 a 2 cm	Da 0 a 2 cm	Da 0 a 1 cm	Da 0 a 1 cm	Da 0 a 1 cm
Riempimento	Incoerente o nullo						
JRC_k	1,43	1,82	2,43	1,14	2,42	3,28	3,26
ϕ_{bk}°	27,6						
ϕ_{rk}°	16,72						
ϕ_k°	18,86	19,44	20,35	18,42	20,34	21,62	21,59
c (kPa)	60						
Presenza acqua	Discontinuità umide						

ANALISI DI STABILITÀ CINEMATICA

La distribuzione spaziale delle discontinuità rilevate determina la presenza sulla parete rocciosa di cunei rocciosi potenzialmente instabili; infatti, **l'analisi cinematica eseguita mediante test di Markland ha permesso di identificare un elevato potenziale d'instabilità per differenti cinematismi.**

Tenendo in considerazione i set principali di giunti in parete, i possibili cinematismi di distacco derivano, sostanzialmente, dall'incidenza degli stessi rispetto all'orientazione nello spazio dei fronti.

Sulla base delle resistenze mobilitate sulle discontinuità e relativamente alla spaziatura di quest'ultime, è possibile affermare come i potenziali corpi rocciosi mobilitati siano di dimensioni assai variabili, compresi **tra blocchi piccoli e medio piccoli.**

Secondo le condizioni prerogative del test di Markland, sono potenzialmente verificabili differenti cinematismi:

1) scivolamento di cunei rocciosi sull'intersezione di K2 (K2bis) – K1 e K1 – K3bis (ove presente).

Alcuni blocchi sono soggetti a scivolamento planare sul piano di intersezione tra K2 (o K2bis), K1 e K3, le intersezioni in oggetto si presentano con immersione simile a quella del versante e con inclinazione superiore all'angolo di attrito del materiale roccioso alterato..

2) scivolamento planare su K1bis.

Alcuni tetraedri e diedri rocciosi sono soggetti a scivolamento planare sul piano di discontinuità K1bis

La spaziatura abbastanza ampia di tale famiglia di discontinuità favorisce il disgiungimento naturale di **blocchi rocciosi di medie dimensioni**, con spessore mediamente pari alla spaziatura della famiglia K3.

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 1+900 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	---	---

Per questi due differenti cinematismi, sui loro piani di potenziale sviluppo, si verificano, infatti, **in assenza di confinamenti laterali e, a volte, basali, (quindi in presenza di precedenti crolli)**, le seguenti condizioni:

- *la direzione di immersione della superficie di distacco è all'interno di un range di 20° azimutali rispetto all'immersione del fronte o del piano di scivolamento indotto in assenza di confinamenti laterali;*
- *l'inclinazione dei piani di distacco, in corrispondenza delle bancate grossolane, risulta minore o uguale di quella del versante; **il distacco è ammesso con la rottura dei ponti di roccia alla base o a tergo.***
- *l'inclinazione dei piani di scivolamento potenziale è molto superiore all'angolo di attrito mobilitato sulla superficie delle discontinuità analizzate.*

3) Ribaltamento di diedri e tetraedri rocciosi aggettanti su K1 – K3 e su K2 – K3.

Alcuni pilastri rocciosi in aggetto possono essere soggetti a puro ribaltamento e staccati da tutte le famiglie presenti ad andamento pseudo verticale, nel caso che al piede del blocco roccioso, manchi il confinamento basale (con asportazione di tutti i ponti di roccia che inibirebbero il cinematismo in oggetto).

In queste evenienze, sarebbero, infatti, soddisfatte, le seguenti condizioni cinematiche:

- *il centro di gravità della colonna o del pilastro risulta fuori dalla dimensione della sua base.*
- *l'immersione delle superfici di distacco è parallela al versante; compresa in un range di 20° azimutali;*
- *l'inclinazione della famiglia di discontinuità su cui avviene il distacco risulta verso l'interno del pendio o comunque molto verticale*
- *la normale al piano di ribaltamento assume un'inclinazione minore della differenza tra inclinazione del pendio e angolo di attrito mobilitato sulla discontinuità.*

Le considerazioni presentate sono ulteriormente validate dalla presenza di una serie di discontinuità (appartenenti a tutte le famiglie di fratturazione) caratterizzate da persistenza a scala di versante, da spaziatura compresa tra 0,3 e 0,5 m e da apertura significativa, senza contatto di roccia.

Oltre ai blocchi rocciosi di medie dimensioni, l'esame diretto della parete identifica zone di avvenuto e incipiente distacco di **cunei di dimensione centimetrica e decimetrica** (sempre guidati dai cinematismi sopra descritti), frutto di alterazione locale.

Si ricorda, inoltre, che le fessurazioni ad alta persistenza si presentano spesso **beanti**; su tali discontinuità (ove la roccia è a contatto solo localmente) la resistenza al taglio mobilitata non è attribuibile a parametri relativi alle condizioni di base o a quelle normalmente mobilitate sui piani di fratturazione.

DEFINIZIONE DEL BLOCCO DI PROGETTO E SPESSORE DELLA COLTRE

Si definisce **blocco di progetto** il volume roccioso di riferimento preso in considerazione per la progettazione delle opere di mitigazione.

Per quanto riguarda la distribuzione del volume disaggiabile statisticamente più rappresentato, si è fatto riferimento all'analisi dei dati ricavati dai rilevamenti eseguiti in parete.

La suddivisione in classi si è eseguita facendo riferimento alla formula di Sturges.

Crollo di progetto e Blocco di progetto

La prima fase fondamentale dell'analisi statistica consiste nella suddivisione dei dati censiti in classi volumetriche lungo ogni sezione individuata. Prendiamo ad esempio la sezione 2. Per la suddivisione in K classi del campione dei blocchi individuate si adotta la formula empirica:

$$K = 1 + 3,3 (\text{Log } N)$$

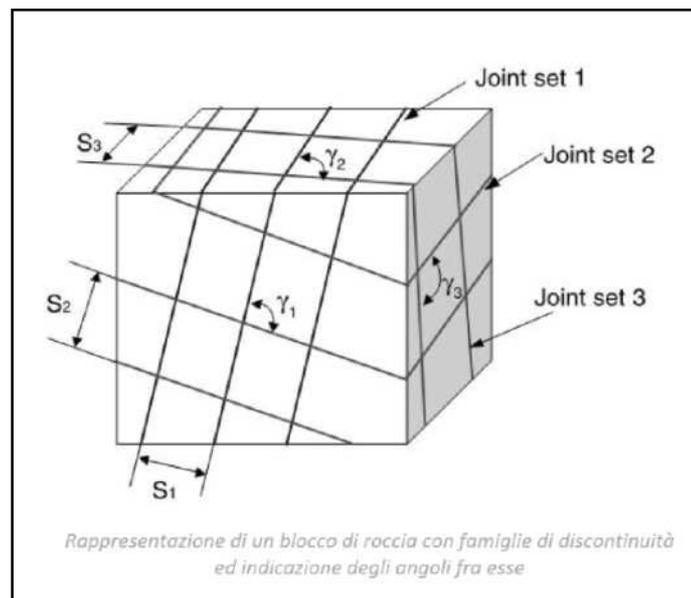
Questa formula deriva dalla regola empirica nota come formula di Sturges (Rice, 2007). Dove K è il numero di classi ed N la dimensione del campione (numero di massi censiti).

Dall'analisi in parete e dalle verifiche relative ai processi cinematici precedentemente descritti, si evincono i seguenti valori di **VRU (volume roccioso unitario)** e **m_d (massa dei blocchi di progetto)**.

La definizione del **VRU**, si utilizzata mediante la formula:

$$VO = (S_1 \cdot S_2 \cdot S_3) / (\sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 \cdot \sin \gamma_3)$$

dove **S₁, S₂, S₃** sono le spazature medie dei set di discontinuità e **γ₁, γ₂, γ₃** sono i valori medi degli angoli acuti tra i set 1, 2 e 3 di roccia considerata (figura a lato).



La **massa del blocco di progetto (m_d)** è definita come il prodotto del volume di blocco di progetto (VRU) per la massa per unità di volume della roccia (γ), moltiplicato per un coefficiente di amplificazione (γ_m):

$$m_d = (VRU \cdot \gamma) \gamma_m$$

dove:

- V_b = il volume del blocco di progetto
- γ = massa per unità di volume della roccia in sito;
- γ_{VolF_1} = coefficiente legato alla precisione del rilievo (assunta pari a 1,1);
- γ_ψ = coefficiente legato alla massa per unità di volume (assunto pari a 1,0).

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 1+900 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	---	---

Principali Cinematismi registrati	Volume Roccioso unitario (VRU)	Massa blocco di progetto (m_d)
Scivolamento di diedri rocciosi su intersezione K1–K2 (k2bis)	0,061 mc	1,68 kN
Scivolamento planare su K1bis	0,208 mc	5,72 kN
Scivolamento di diedri rocciosi su intersezione K1–K3 (k3 bis)	0,099 mc	2,72 kN
Ribaltamento di diedri e tetraedri rocciosi aggettanti su K1–K3	0,150 mc	4,13 kN
Ribaltamento di diedri e tetraedri rocciosi aggettanti su K2–K3	0,092 mc	2,53 kN

Il volume roccioso unitario (riferito a condizioni di progetto, quindi cautelativamente assunto al 95° percentile della distribuzione dei dati rilevati) risulta generalmente compreso tra **0,06 e 0,21 mc**.

Si è, inoltre, prodotta, **la taratura del volume del blocco di progetto al piede del versante**, ove sono rilevabili, **blocchi compresi tra 0,05 e 0,15 mc**, oltre a numerosi detriti di pezzatura inferiore. Occorre precisare che alcuni di questi blocchi derivano, però, da frantumazioni di blocchi a dimensione maggiore.

IPOTESI DI CONSOLIDAMENTO DELLA PARETE ROCCIOSA

La porzione basale del versante è caratterizzata dalla presenza di un cono di detrito eterometrico che riscopre il substrato roccioso.

L'affioramento roccioso sommitale, analizzato in detta fase di indagine, è contraddistinto da una geometria triangolare e da una acclività piuttosto marcata ed è soggetto al naturale processo di alterazione a seguito dalla sua esposizione agli agenti atmosferici; ad accentuare il processo di disgregazione meccanica gioca un ruolo fondamentale l'aspetto caotico e scompaginato del substrato roccioso presente. A tale proposito, infatti, sono state riconosciute numerose famiglie di discontinuità, più o meno pervasive, presentanti orientazioni estremamente variabili e alcune delle quali estremamente localizzate; l'elevata frequenza e la spaziatura con la quale si presentano favorisce il distacco di cunei rocciosi di **piccole e medie dimensioni**.

Lo stato di alterazione dell'affioramento si presenta eterogeneo lungo sia lo sviluppo verticale che laterale; nell'allegato "Tav.3 – Area di intervento" è evidenziata l'area dove risultano necessarie opere attive di mitigazione dei processi di distacco, mediante posa di **rafforzamento corticale della parete**.

In funzione delle dimensioni delle superfici denudate, delle condizioni di alterazione del fronte e dell'analisi geomeccanica e strutturali eseguita sui blocchi rocciosi, possono essere, infatti presi in considerazione i seguenti interventi:

- **Pulizia selettiva in parete e disgaggio del materiale rilassato e intensamente fratturato** di piccole e medie dimensioni. Sarà compito della direzione lavori e degli stessi operatori provvedere al distacco di tutto il materiale alterato e fratturato possibile. **Parte di questa operazione è già stata eseguita durante le fasi di rilevamento.**
- **Rafforzamento corticale con reti paramassi a doppia torsione**, accoppiate a biostuoia o geocompositi; tale intervento dovrà essere valutato in fase esecutiva con opportune verifiche, allo scopo di dimensionare caratteristiche e resistenza delle reti, numero e tipologie delle **funi** e caratteristiche tecniche e geometriche, numero e disposizione degli **ancoraggi necessari**, partendo dai dati geomeccanici e strutturali ivi riportati. Le reti dovranno essere opportunamente ancorate alla sommità della parete per una lunghezza di almeno 1,5 m e assicurate con funi e ancoraggi di sommità.

Si riportano di seguito le i principali indicazioni geometriche del sito di intervento:

Lunghezza basale della porzione sommitale della parete	Circa 30 m
Altezza massima in parete	8 m
Pendenza media	Compresa tra 55° e 70°
Fascia di ancoraggio in sommità degli interventi di mitigazione	1,5 m
Spessore della coltre maggiormente alterata	Compreso tra 0,30 e 0,70 m (si consiglia di considerare uno spessore pari a 1,5 m)

Tali dati sono indicativi e registrati durante le operazioni di rilevamento in corda; si consiglia, quindi, la realizzazione di un **rilievo piano altimetrico della parete**, al fine di determinare, con maggior grado di dettaglio, l'estensione areale e le caratteristiche geometriche della parete oggetto di intervento.

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 1+900 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	---	--

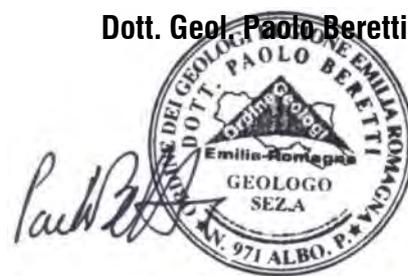
Per le caratteristiche geotecniche della coltre rocciosa da stabilizzare, **si consiglia di considerare i parametri geomeccanici delle discontinuità esplicitamente trattate**; relativamente al materiale roccioso a tergo (caratterizzato da minore grado di alterazione relativa) si possono considerare i valori generali dell'ammasso.

Le caratteristiche tipologiche e geometriche delle opere di mitigazione dei processi di caduta massi e di consolidamento della parete saranno, comunque, da verificarsi, con maggior grado dettaglio, nel contesto delle progettazioni esecutive e della stessa loro esecuzione, durante la Direzione Lavori.

È opportuno ricordare che gli interventi progettuali (qualunque essi siano) saranno esecutivamente realizzabili soltanto dopo le necessarie e preliminari operazioni di **disgaggio del materiale rilassato alterato e/o intensamente fratturato**.

Quattro Castella, Gennaio 2025

Dott. Geol. Paolo Beretti



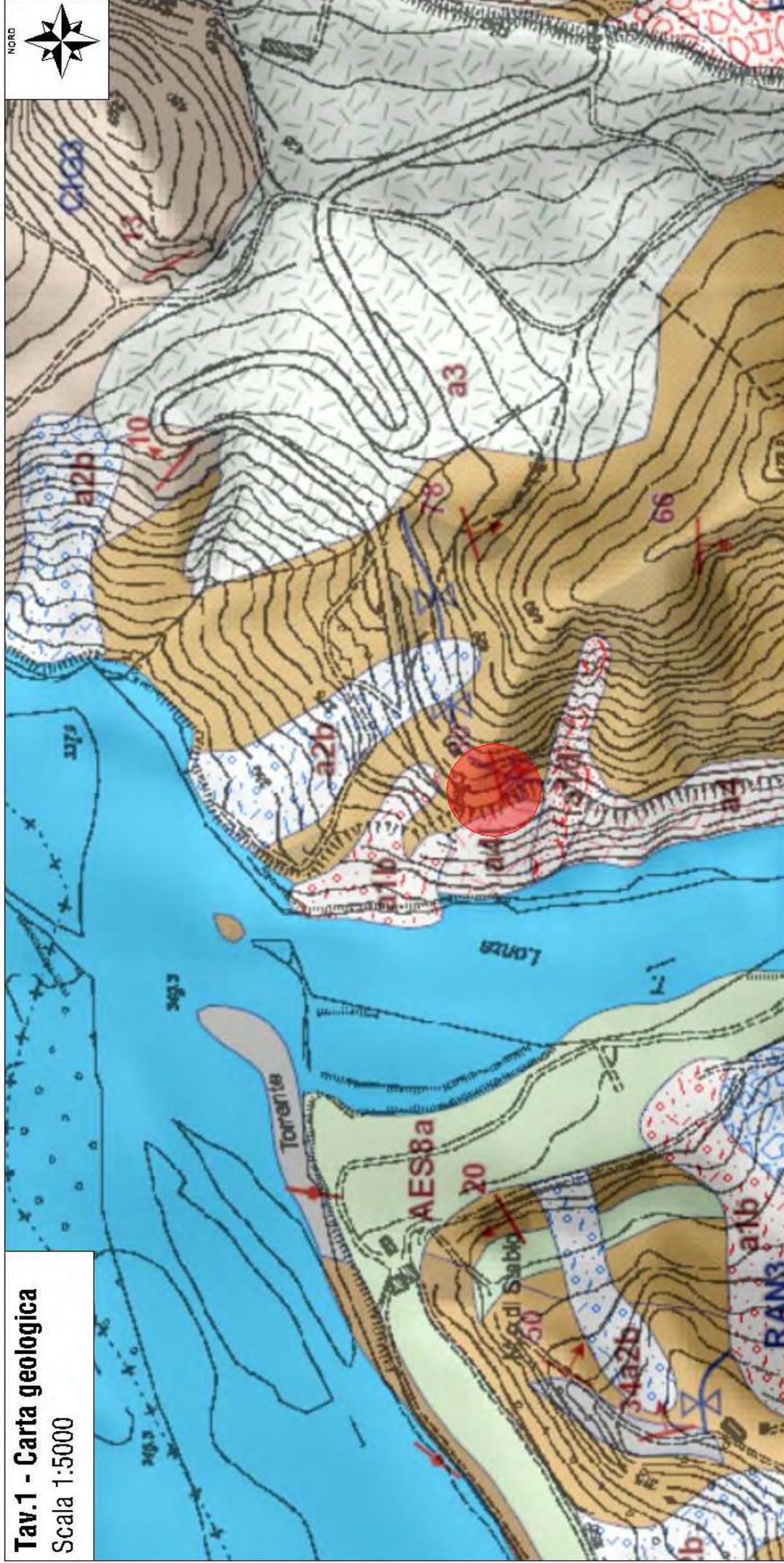
Ing. Giuseppe Herman	<i>Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale</i>	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 1+900 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	--	--

ALLEGATI

- Tav. 1. Carta geologica.
- Tav. 2. Rilievo geomeccanico e strutturale.
- Tav. 3. Area di intervento.
- Rappresentazione stereografica delle finestre di rilevamento.
- Scheda di rilevamento geomeccanico e strutturale.

Tav.1 - Carta geologica

Scala 1:5000



LEGENDA

Coperture quaternarie

- a1b** - Deposito di frana attiva per sovralluvamento
- a1d** - Deposito di frana attiva per colamento di fango
- a2d** - Deposito di frana quiescente per colamento di fango
- a4** - Detrito eluvio-colluviale
- b1** - Deposito alluvionale in evoluzione

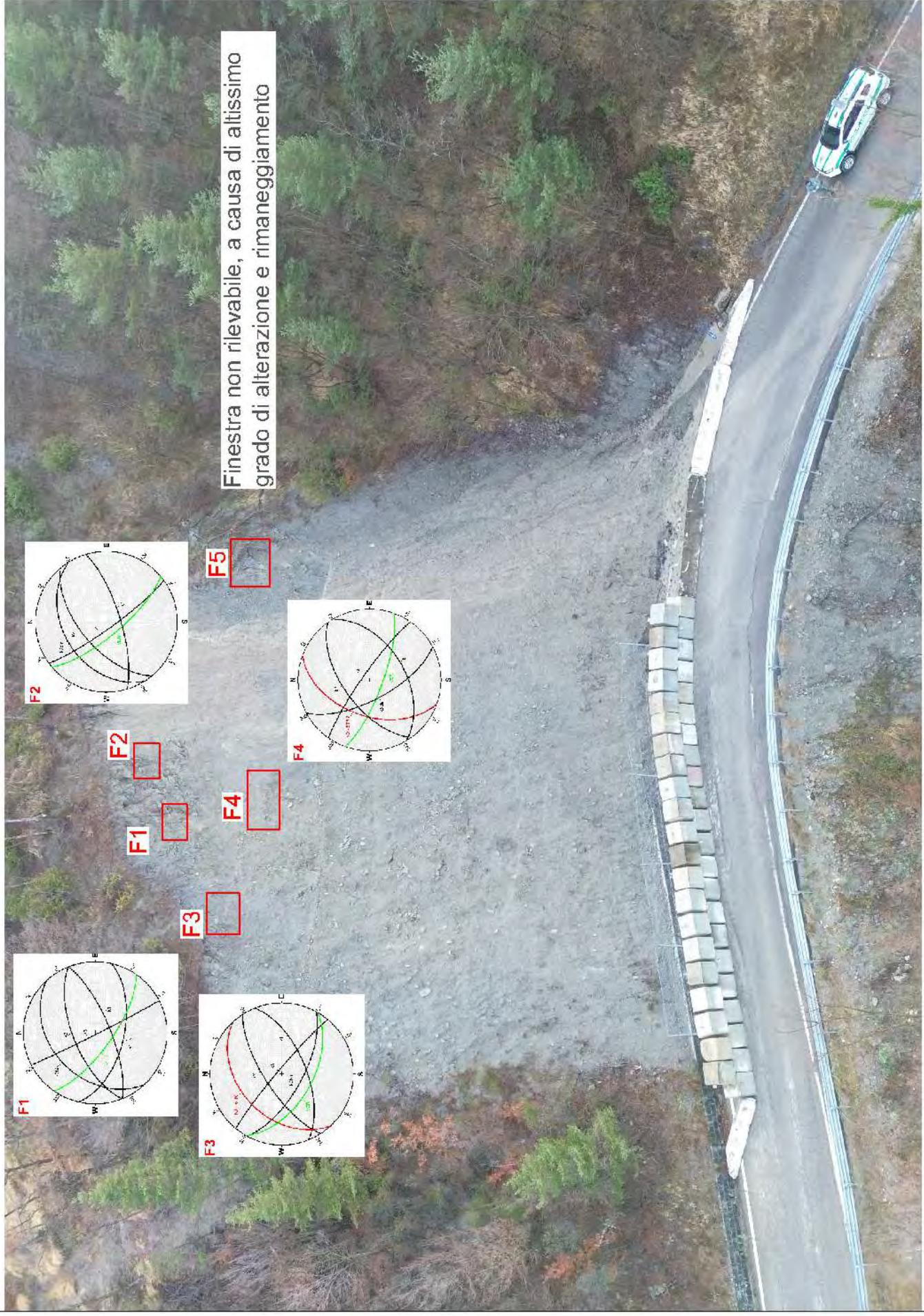


Area studiata

Unità geologiche

- ANT** - Marne di Antognola
- CIG** - Formazione di Cigarellò
- CIG3** - Membro delle Arenarie di Vetto
- PAT** - Formazione di Pantano
- PAT5** - Membro della Pietra di Bismantova
- RAN** - Formazione di Ranzano
- RAN3** - Membro di Varano de' Melegari

Tav.2 - Rilievo geomeccanico e strutturale



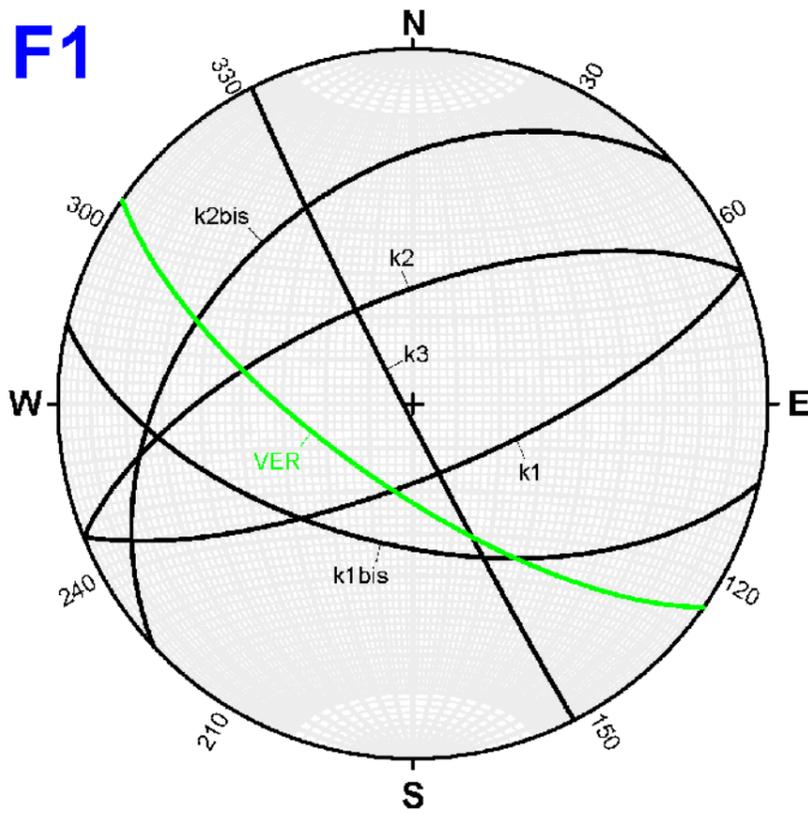
Finestra non rilevabile, a causa di altissimo grado di alterazione e rimaneggiamento

Tav.3 - Area di intervento



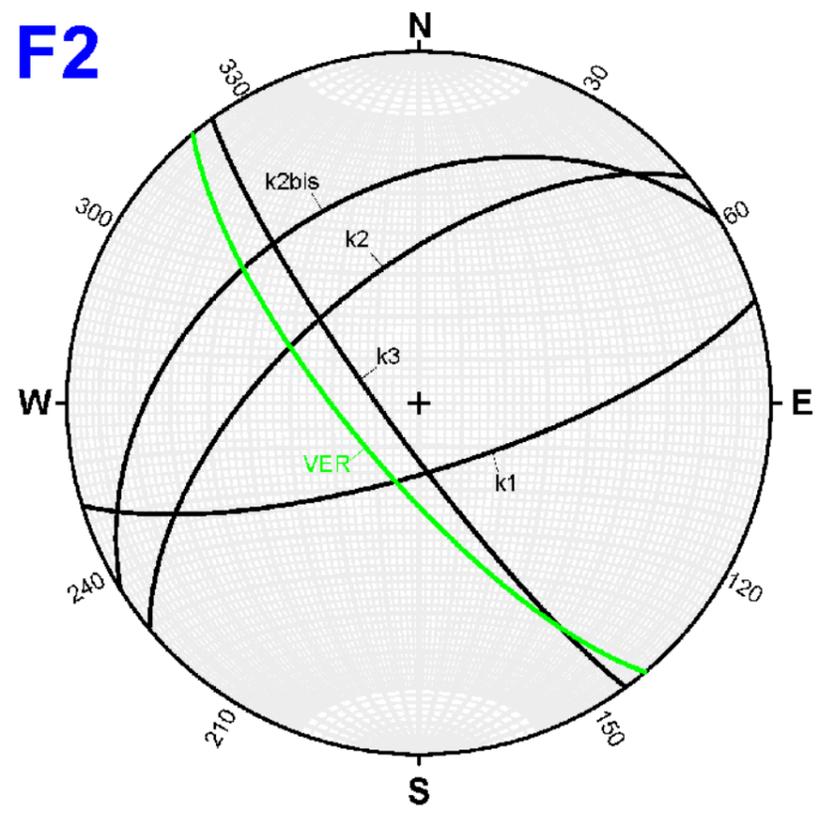
Rappresentazione stereografica delle finestre di rilevamento

F1



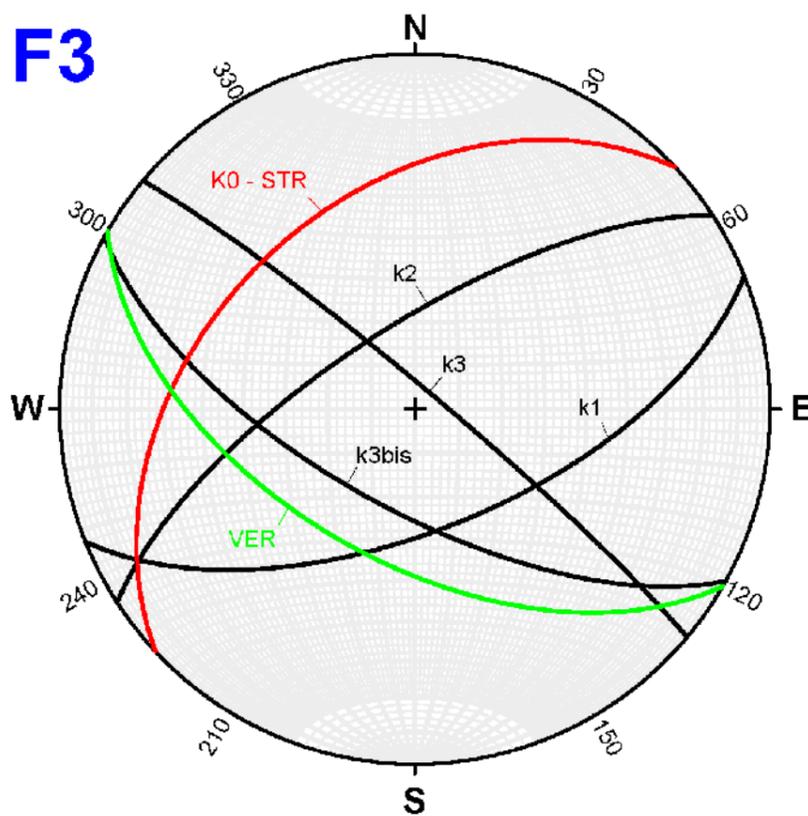
Famiglie	Immersione	Inclinazione
VER	215	71
k1	158	73
k1bis	193	57
k2	338	65
k2bis	317	38
k3	243	88

F2



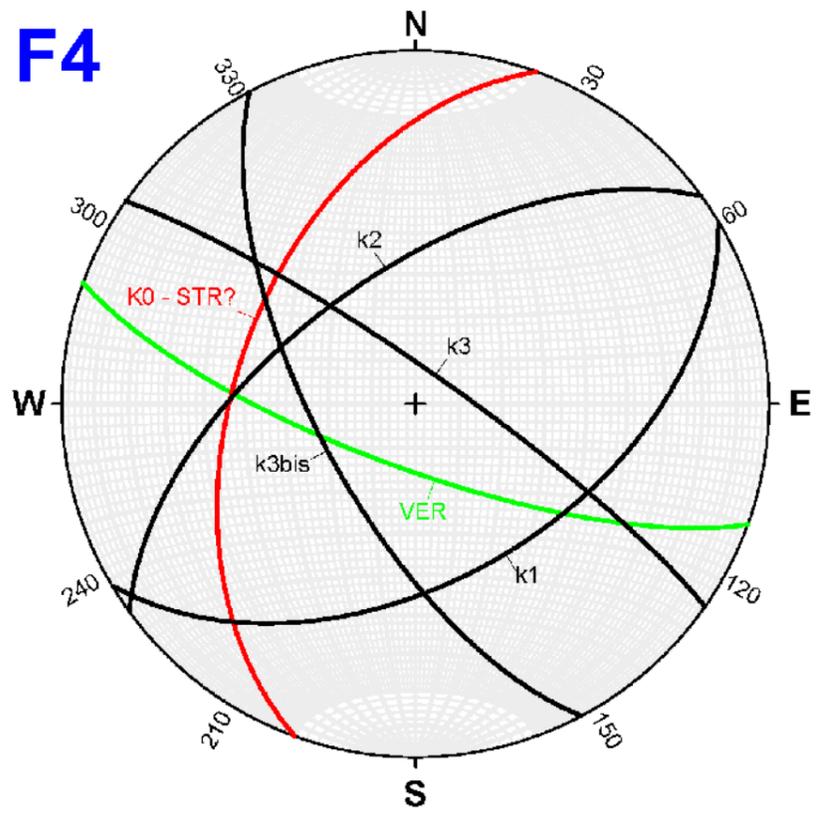
Famiglie	Immersione	Inclinazione
VER	230	74
k1	163	74
k2	320	60
k2bis	328	39
k3	234	82

F3



Famiglie	Immersione	Inclinazione
VER	210	55
K0 - STR	317	40
k1	158	62
k2	327	71
k3	40	85
k3bis	209	67

F4



Famiglie	Immersione	Inclinazione
VER	200	75
K0 - STR	290	48
k1	149	49
k2	324	60
k3	35	82
k3bis	242	67

Dati generali affioramento roccioso

Località: Atticola di Vetto(RE)
Cantiere: S.P.57 km 1+900

Data di rilevamento: Dicembre 2024
Giacitura delle discontinuità rilevate

Famiglia	Immersione	Inclinazione
Versante	200 ÷ 230	55 ÷ 75
k0 - STR	290 ÷ 317	40 ÷ 48
k1	149 ÷ 163	49 ÷ 74
k1bis	193	57
k2	320 ÷ 338	39 ÷ 71
k2bis	317 ÷ 328	38 ÷ 39
k3	35 ÷ 243	82 ÷ 88
k3bis	209 ÷ 242	67

Finestre di rilevamento: F1 - F4

Formazioni affioranti: RAN3 - Formazione di Ranzano -
Membro di Varano de' Melegari

Descrizione: Flysch torbiditico con strati sottili e raramente medi,
calcarenitici di spessore tra 5-10 cm (a tratti
amalgamati) e intercalazioni pelitiche sottili - medio
sottili. Rapporto A:P = 3:1

Ammasso roccioso

Classificazione Geological Strength Index

GSI: 43

Classificazione Beniaowski

	str / ko	k1	k1bis	k2	k2bis	k3	k3bis
a1	4	4	4	4	4	4	4
a2	3	3	3	3	3	3	3
a3	10	10	10	10	10	10	10
a4	10	10	10	20	10	20	20
a5	10	10	10	10	10	10	10
a6	-7	-7	-7	-15	-15	-2	-25
RMRb	37	37	37	47	37	47	47
RMRc	30	30	30	32	22	45	22

RMRb ammasso: 39,00
RMRc ammasso: 30,14

Resistenza a compressione monoassiale

JCS (MPa): 43,03
JCSa (MPa): 31,20

Caratteristiche di resistenza al taglio dell'ammasso roccioso

Criterio di Beniaowski

c' (kPa) 150,71 ϕ' (°) 29,5

Criterio Hoek & Brown

$$s_1 = s_3 * s_c * (mb * s_3 / s_c + s)^a$$

mi = 15
mb = 0,994
s = 0,0005
a = 0,509
D = 0,5

Φ_{amm} = 26,25 (°)
c'_{amm} = 1,718 MPa

Discontinuità

Test di Markland

potenziale instabilità per scivolamento
alta media
bassa nulla

potenziale instabilità per ribaltamento
alta media
bassa nulla

Caratteristiche di resistenza al taglio delle discontinuità

	Str / k0	k1	k1bis	k2	k2bis	k3	k3bis		
Immers (°)	290 ÷ 317	149 ÷ 163	193	320 ÷ 338	317 ÷ 328	35 ÷ 243	209 ÷ 242		
Inclinaz (°)	40 ÷ 48	49 ÷ 74	57	39 ÷ 71	38 ÷ 39	82 ÷ 88	67		
lb _k	28,04								
lb _{k alt}	12,78								
JCS _k (MPa)	43,03								
JCSalt _k (MPa)	31,20								
φ _{b_k} (°)	27,6								
φ _{r_k} (°)	16,72								
φ _k (°)	18,86	19,44	20,35	18,42	20,34	21,62	21,59		
c (kPa)	60								
JRC	1,43	1,82	2,43	1,14	2,42	3,28	3,26		
Spd	40	54		31		34			
riempim	-	-	-	-	-	-	-		
φ ['] _{riemp} (°)	-	-	-	-	-	-	-		
c' _{riemp} (kPa)	-	-	-	-	-	-	-		

Parametri derivati da analisi statistica su tutte le famiglie

Legenda:

Classificazione Beniaowski: a1= Resistenza roccia intatta; a2= RQD; a3= Spaziatura delle discontinuità; a4= Condizioni delle discontinuità; a5= Condizioni idrauliche; a6= Stabilità.
Caratteristiche di resistenza al taglio dell'ammasso roccioso: GSI= Geological Strength Index; RMRb= Rock Mass Rating base; RMRc= Rock Mass Rating corretto; JCS= Resistenza a compressione della parete della discontinuità; JCSa= Resistenza a compressione della parete della discontinuità; mi= costante dimensionale della roccia intatta legata all'assetto geologico e strutturale; mb= costante ridotta della roccia intatta; s, a= costanti dell'ammasso roccioso; D= fattore numerico che tiene conto del grado di disturbo subito dall'ammasso roccioso a seguito di uno scavo; φ_{amm}= angolo di attrito interno dell'ammasso roccioso; c'_{amm}= coesione dell'ammasso roccioso; Spd= spaziatura di progetto.
Caratteristiche di resistenza al taglio delle discontinuità: lb_k= indice rimbalzo della discontinuità; lb_{k alt}= indice rimbalzo discontinuità alterata; JCS_k= Resistenza a compressione della parete della discontinuità; JCS_{k alt}= Resistenza a compressione della parete della discontinuità alterata; φ_{b_k}= angolo d'attrito di base caratteristico; φ_{r_k}= angolo d'attrito residuo caratteristico; φ_k= angolo attrito caratteristico; riempim= natura del riempimento; JCR= Coefficiente di rugosità lungo il giunto; c'_{riemp}= coesione ammasso roccioso; φ[']_{riemp}= angolo d'attrito del riempimento; c'_{riemp}= angolo d'attrito interno del riempimento.