

ESEMPI DI LAVORI IN AMBIENTI VERTICALI NATURALI

Rilievi geostrutturali e geomeccanici degli ammassi rocciosi

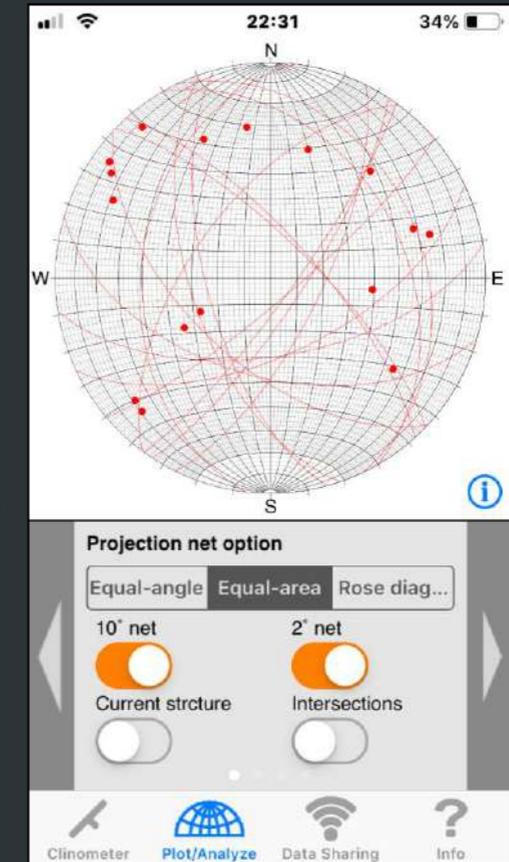


Prima di esaminare alcuni esempi ripassiamo brevemente i concetti base sui rilievi geostrutturali e geomeccanici degli ammassi rocciosi (D30-D45)

Breve Vademecum sui rilievi geostrutturali e geomeccanici degli ammassi rocciosi

La caratterizzazione di un **ammasso roccioso** è generalmente finalizzata:

- a definire il **modello geomeccanico**, propedeutico per la progettazione geotecnica delle opere;
- alla classificazione per ricavare i parametri geomeccanici;
- all'individuazione delle **discontinuità critiche** e delle zone «sorgente» dei blocchi rocciosi instabili;
- alla determinazione della forma e del peso del **masso critico** e alla configurazione geometrica del problema;
- alla definizione della **cinematica dei blocchi instabili** (scivolamento, ribaltamento e rotolamento);
- all'**analisi di stabilità** del fronte roccioso;
- alla progettazione degli interventi di mitigazione;
- alla messa in sicurezza mediante disgaggi, ancoraggi, reti e barriere paramassi.



La caratterizzazione dell'ammasso roccioso (I.S.M.R., 1993)

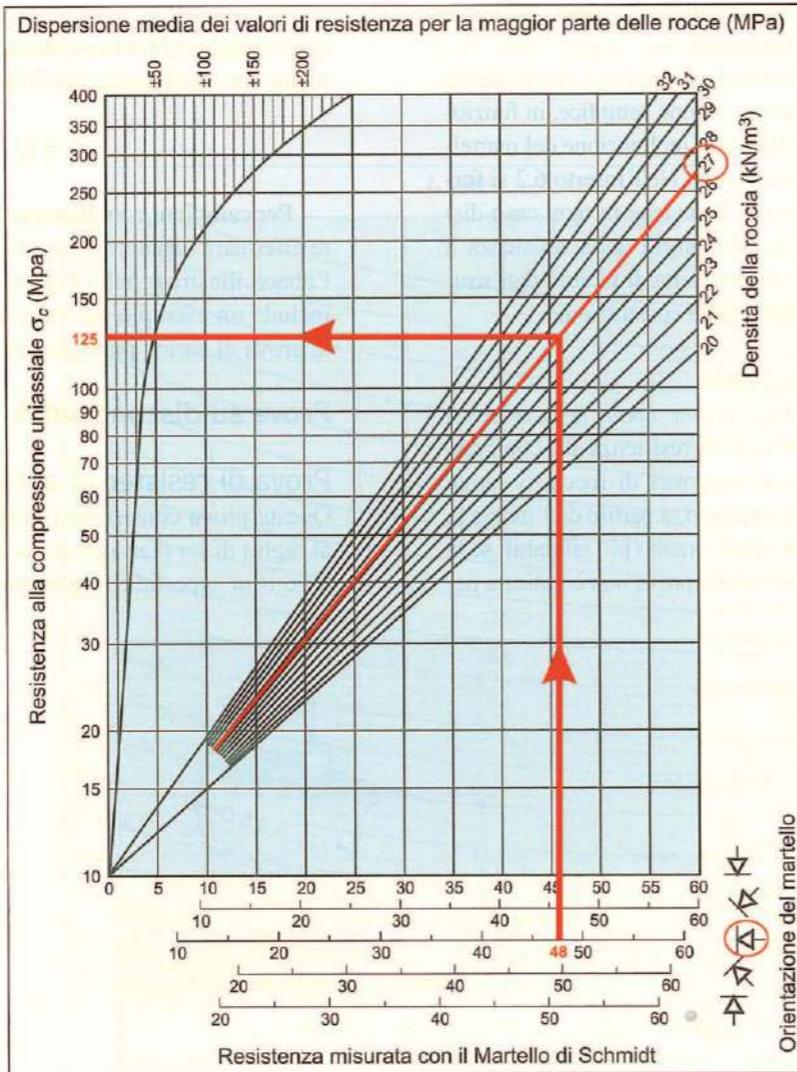
La caratterizzazione dell'ammasso roccioso si esegue con appositi stendimenti (stazioni geostrutturali – geomeccaniche) dislocati nei settori più significativi degli affioramenti, secondo le raccomandazioni ISMR (*International Society for Rock Mechanics*) (1993), analizzando i seguenti parametri:

1. Resistenza a compressione uniassiale della roccia (UCS) e della superficie delle discontinuità (JCS);
2. Direzione immersione e Inclinazione dei piani delle discontinuità
3. Spaziatura;
4. Lunghezza o Persistenza;
5. Apertura;
6. Rugosità (JCR);
7. Alterazione;
8. Riempimento;
9. Condizioni idrauliche;
10. Numero volumetrico delle discontinuità J_v
11. Rappresentazione dei dati strutturali attraverso le Proiezioni Stereografiche



1. Resistenza a compressione uniassiale. Il Martello di Schmidt

La resistenza a compressione uniassiale della roccia (**UCS**) e delle discontinuità (**JCS**) si ricavano attraverso una serie di prove eseguite con il "Martello di Schmidt" (sclerometro per rocce di tipo L), nelle diverse condizioni di fratturazione della roccia e su diverse famiglie di discontinuità. La prova consiste nel calcolare il valore medio del rimbalzo dello sclerometro su 10 letture usando tutti i valori di misura. Gli indici letti sono poi tradotti, per mezzo di un apposito diagramma che tiene anche conto dell'angolo di incidenza del martello sul piano di discontinuità, nel valore corrispondente in MPa.



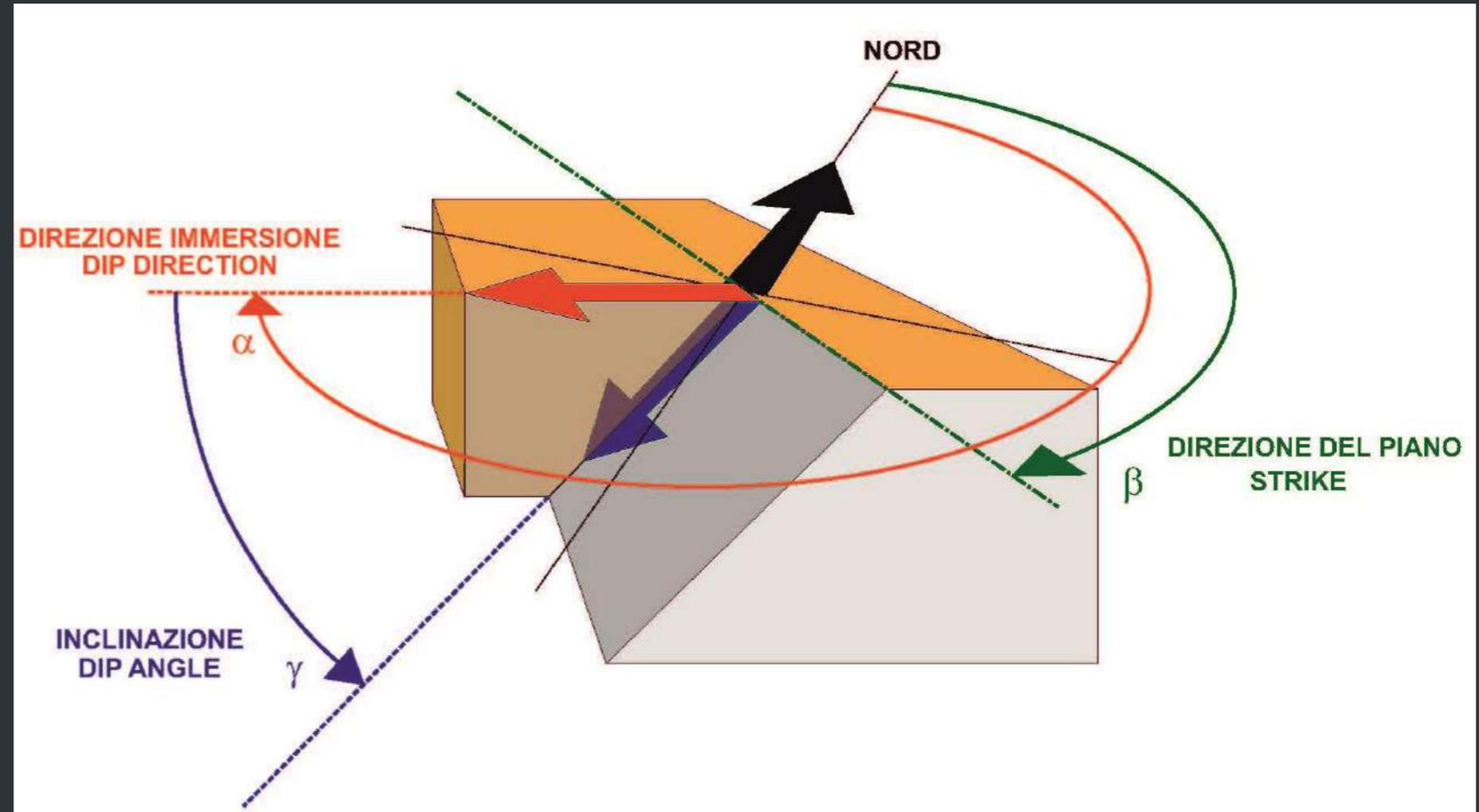
Esempio di calcolo della resistenza a compressione della matrice roccia (densità 27 kN/m^3) sulla base dei dati di rimbalzo ottenuti con il martello di Schmidt.

Valori di rimbalzo del martello: 49; 46.5; 45.5; 45; 44.3; 50; 48.5; 46; 43.2; 44 (il martello è stato appoggiato perpendicolarmente ad una parete verticale durante la prova).

Si calcola il valore medio del rimbalzo dai dati di campagna. A tale scopo, su 10 valori si eliminano i 5 minori e si ricava il valore medio dai 5 rimanenti (se si hanno 12 valori, se ne elimineranno 6). In tal modo, restano i seguenti valori, per il calcolo della media: 46; 46.5; 48.5; 49 e 50 da cui si ottiene un valore medio del rimbalzo pari a **48**. In funzione dell'inclinazione del martello, si entra con il valore medio del rimbalzo nel grafico, procedendo dall'asse delle ascisse fino a raggiungere il valore della densità della roccia in esame. A partire da questo punto, si traccia una linea orizzontale, fino ad intersecare l'asse delle ordinate, ottenendo così il valore della resistenza alla compressione semplice della roccia, che nel caso in esame risulta pari a **125 MPa**.

2. Direzione Immersione e inclinazione

Definizione dell'orientazione di una discontinuità



La giacitura di una discontinuità nello spazio viene definita con due misure angolari:

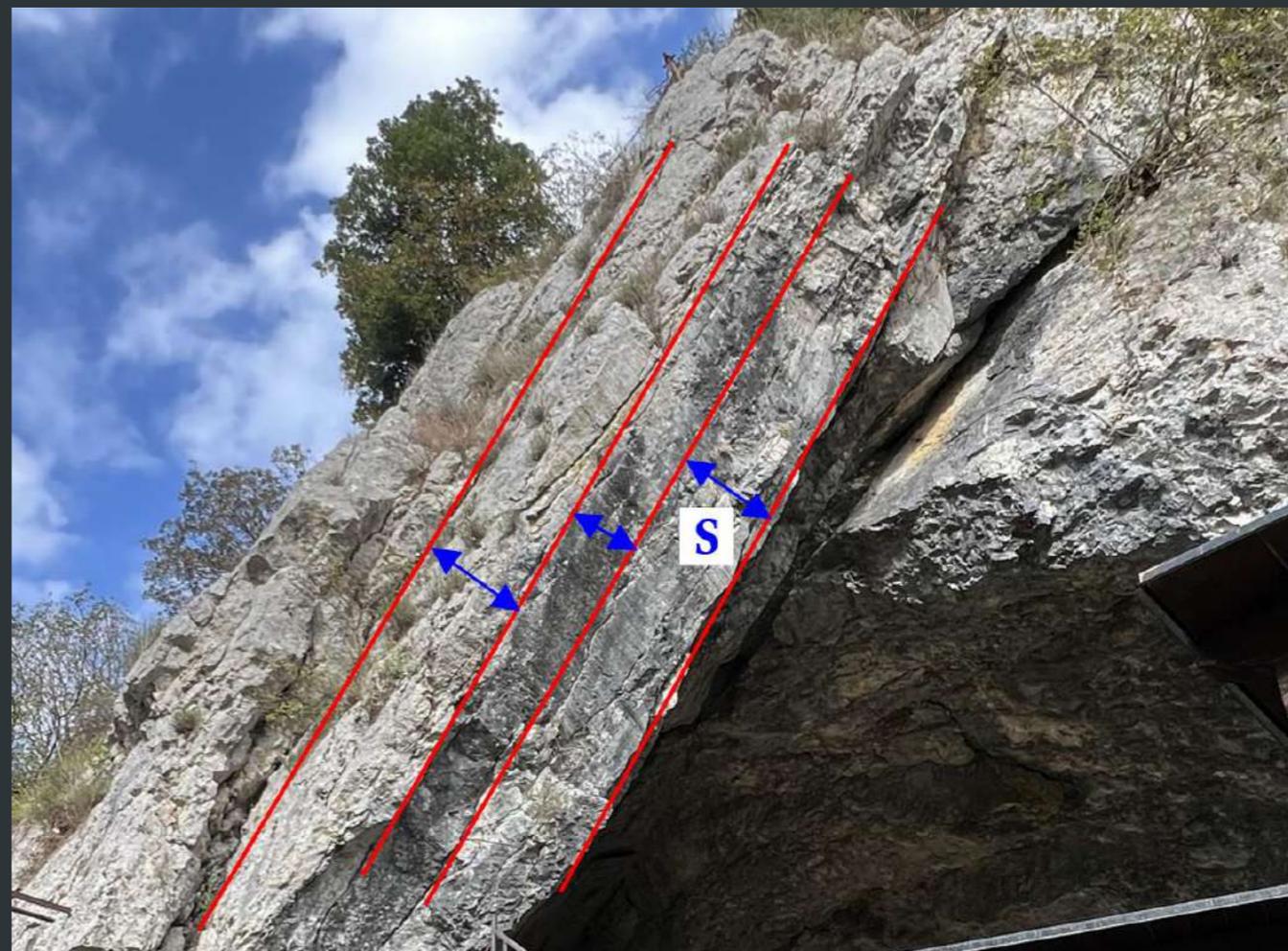
- **la direzione d'immersione**
- **l'inclinazione.**

La sua misura, in un rilievo tradizionale, si realizza mediante una **bussola con inclinometro**. Tali misure possono essere anche acquisite con **rilievi fotogrammetrici** o **scansioni laser** dai quali è possibile generare un modello tridimensionale dell'ammasso roccioso ad alta risoluzione sul quale poter svolgere "da remoto", con appositi software dedicati, una dettagliata analisi geostrutturale. Questi programmi possono eseguire l'analisi su una mesh o direttamente sulla nuvola di punti.

3. Spaziatura delle discontinuità

È la distanza che intercorre tra discontinuità adiacenti della medesima **famiglia** misurata ortogonalmente. All'aumentare della spaziatura diminuisce ovviamente lo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso. Per una descrizione qualitativa del parametro è di aiuto la Tabella sottostante.

SPAZIATURA	DESCRIZIONE
< 20 mm	Estremamente stretta
20 mm – 60 mm	Molto stretta
60 mm – 20 cm	Stretta
20 cm – 60 cm	Moderata
60 cm – 2 m	Larga
2 m – 6 m	Molto larga
> 6 m	Estremamente larga



4. Lunghezza o Persistenza delle discontinuità

Con questo parametro viene indicata l'estensione in metri delle linee di fratturazione sulla superficie esposta. È della massima importanza cercare di stabilire il grado di persistenza di quelle discontinuità che sono orientate in modo sfavorevole per la stabilità. Il grado con il quale le discontinuità continuano all'interno di blocchi di roccia adiacenti, senza estinguersi nella roccia o contro altre discontinuità, determina il grado di possibilità con il quale la rottura della roccia intatta verrebbe coinvolta in un eventuale cedimento della struttura. Per ciascuna classe di lunghezza viene assegnato, a seconda della classificazione geomeccanica, un punteggio relativo.

PERSISTENZA	DESCRIZIONE
< 1 m	Molto bassa
1-3 m	Bassa
3-10 m	Media
10-20 m	Alta
> 20 m	Molto alta

PERSISTENZA (m)	PUNTEGGIO CLASS. BIENIAWSKI
< 1	6
1 - 3	4
3 - 10	2
10 - 20	1
> 20	0



5. Apertura delle discontinuità

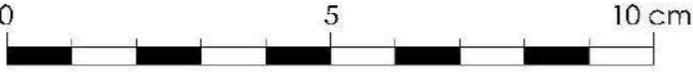
L'apertura è la distanza perpendicolare che separa le pareti di una **discontinuità aperta** il cui spazio è riempito da **aria o acqua**. L'apertura è pertanto distinta dall'ampiezza di una discontinuità riempita.

APERTURA	DESCRIZIONE	TIPO DISCONTINUITÀ
0 mm	Chiusa	CHIUSA
< 0,1 mm	Molto stretta	
0,1 – 0,25 mm	Stretta	
0,25 – 0,5 mm	Parzialmente aperta	
0,5 – 2,5 mm	Aperta	SEMI-APERTA
2,5 – 10 mm	Moderatamente larga	
> 10 mm	Larga	
1 – 10 cm	Molto larga	APERTA
10 – 100 cm	Estremamente larga	
> 1 m	Cavernosa	



6. Rugosità (JCR Joint Roughness Coefficient)

PROFILI DI SCABREZZA	JRC	TIPOLOGIA DISCONTINUITÀ
1 	0 - 2	LEVIGATA
2 	2 - 4	
3 	4 - 6	LISCIA
4 	6 - 8	
5 	8 - 10	LEGGERMENTE RUGOSA
6 	10 - 12	
7 	12 - 14	RUGOSA
8 	14 - 16	
9 	16 - 18	MOLTO RUGOSA
10 	18 - 20	



La rugosità (*JCR Joint Roughness Coefficient*) definisce le irregolarità delle superfici di discontinuità. Si calcola intercettando il profilo della discontinuità, lungo la linea di massima pendenza, per mezzo di un apposito strumento (pettine di Barton; profilometro). Il profilo ricavato si confronta con un determinato abaco e quindi si assegna il relativo punteggio.



7. Alterazione

Poiché l'alterazione delle superfici delle discontinuità di un ammasso, assieme ad altri fattori, contribuisce alla diminuzione della resistenza meccanica e all'aumento della deformabilità dello stesso, diversi autori hanno ritenuto necessario introdurre un parametro alterazione nelle classificazioni geomeccaniche degli ammassi rocciosi. La definizione numerica di tale parametro viene fatta in situ utilizzando le tabelle e le indicazioni fornite dagli autori delle singole classificazioni (BRUNO, 2012). Nella tabella sottostante si fa riferimento a quella della **classificazione di Bieniawski**.

DESCRIZIONE	PUNTEGGIO INDICE CLASS. BIENIAWSKI
Non alterate	6
Leggermente alterate	5
Mediamente alterate	3
Molto alterate	1
Decomposte	0



8. Riempimento delle discontinuità

Riempimento è il termine indicante il materiale che separa le pareti rocciose adiacenti delle discontinuità: per esempio, calcite, clorite, argilla, limo, detrito di faglia, breccia ecc. La distanza perpendicolare tra le pareti di roccia adiacenti è detta “ampiezza” della discontinuità con riempimento, termine diverso da “apertura”, che si usa per le discontinuità aperte e vuote (I.S.M.R., 1993). La presenza del materiale di riempimento in una discontinuità ne influenza il comportamento meccanico a breve o a lungo termine, determinando notevoli variazioni nel tempo della resistenza al taglio, della deformabilità e della permeabilità.

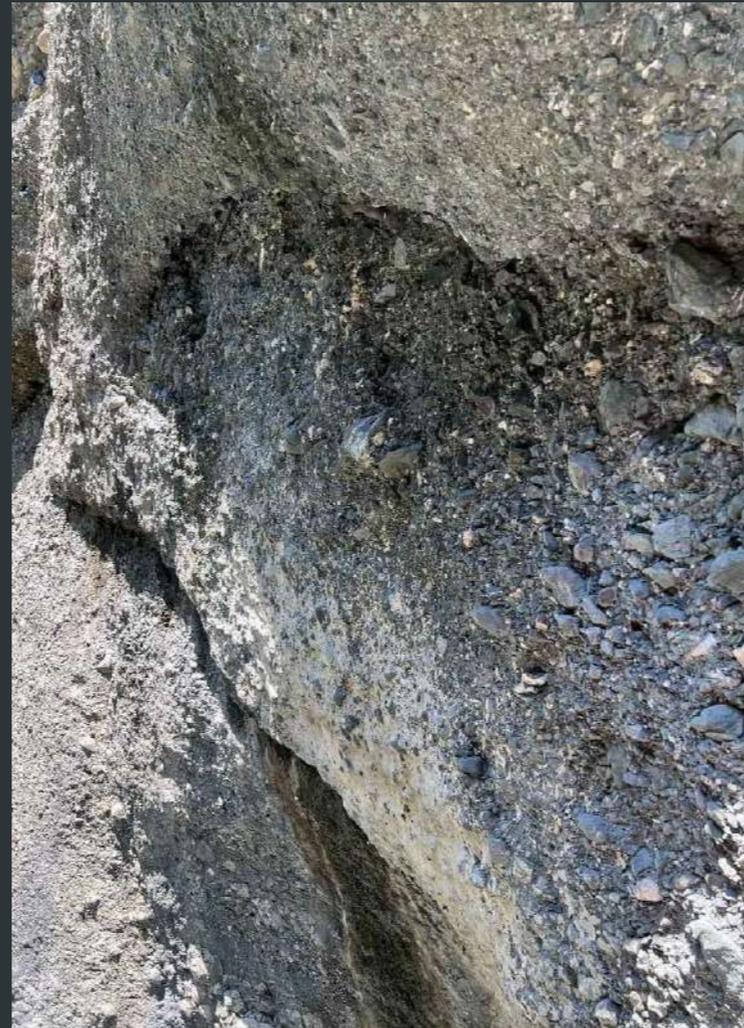
DESCRIZIONE	PUNTEGGIO INDICE CLASS. BIENIAWSKI
Assente	6
Compatto < 5 mm	4
Compatto > 5 mm	2
Soffice < 5 mm	2
Soffice > 5 mm	0



9. Condizione idrauliche delle discontinuità

La filtrazione dell'acqua attraverso masse rocciose deriva principalmente dal suo flusso attraverso le discontinuità permeabili (permeabilità secondaria).

DESCRIZIONE	PUNTEGGIO INDICE CLASS. BIENIAWSKI
Asciutte	15
Umide	10
Bagnate	7
Deboli venute d'acqua	4
Forti venute d'acqua	0



10. Jv Dimensione dei Blocchi. Il blocco di progetto

Il numero volumetrico delle discontinuità è definito come la somma del numero di discontinuità al metro per ogni sistema presente. Le discontinuità casuali possono essere incluse, ma generalmente avranno un effetto poco rilevante sui risultati. Il numero di discontinuità di ogni sistema dovrebbe essere conteggiato lungo la perpendicolare del relativo sistema associato. L'ISRM suggerisce una lunghezza di campionatura di 5 o 10 metri. Ogni conteggio dei giunti sarà poi diviso per 5 o per 10. Dunque Jv è dato dalla relazione:

$$J_v = \sum \frac{\text{n° discontinuità}}{\text{Lunghezza stendimento}}$$

Per esempio in un ammasso roccioso con tre famiglie di giunti J1, J2 e J3 misuro in uno stendimento di 5 m di lunghezza rispettivamente 6 discontinuità della famiglia J1, 8 discontinuità della famiglia J2 e 12 discontinuità della famiglia J3. Jv sarà pari a:

$$J_v = \frac{6}{5} + \frac{8}{5} + \frac{12}{5} = 5,2$$

Risulta evidente che all'aumentare di Jv aumenta lo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso e di conseguenza diminuisce la dimensione dei blocchi.

Più facilmente si può calcolare Jv con la **frequenza della spaziatura**:

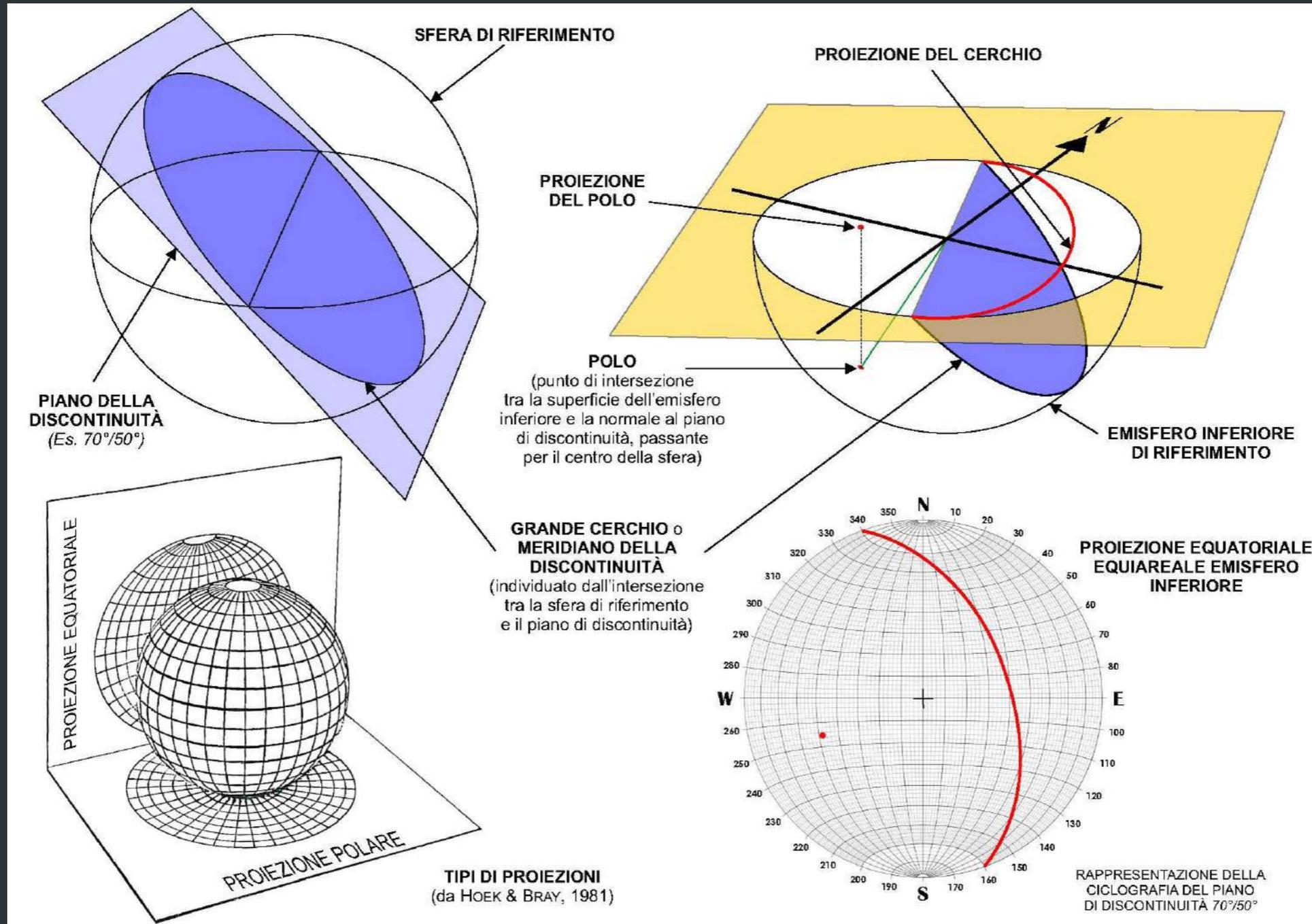
$$f = \frac{1}{S}$$

$$J_v = \sum_1^n f_n$$

Jv	Descrizione
Jv < 1	Blocchi molto grandi
1 - 3	Blocchi grandi
3 - 10	Blocchi medi
10 - 30	Blocchi piccoli
Jv > 30	Blocchi molto piccoli

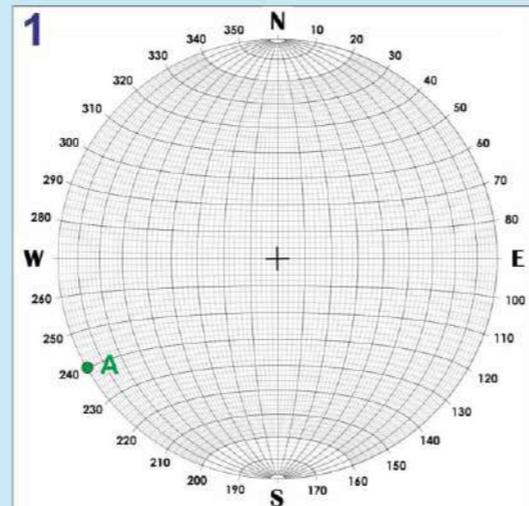


11. Rappresentazione dei dati strutturali. Le Proiezioni stereografiche

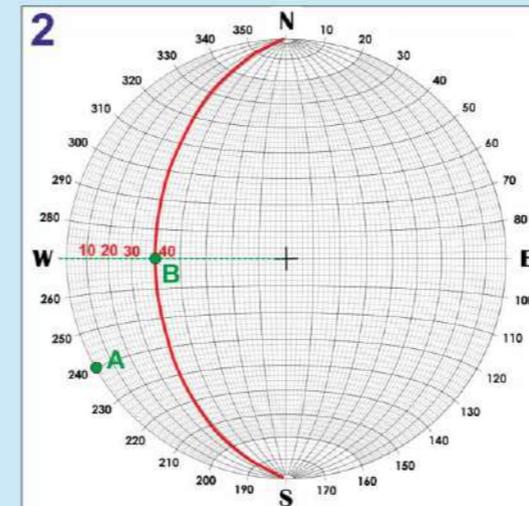


11. Rappresentazione dei dati strutturali. Le Proiezioni stereografiche

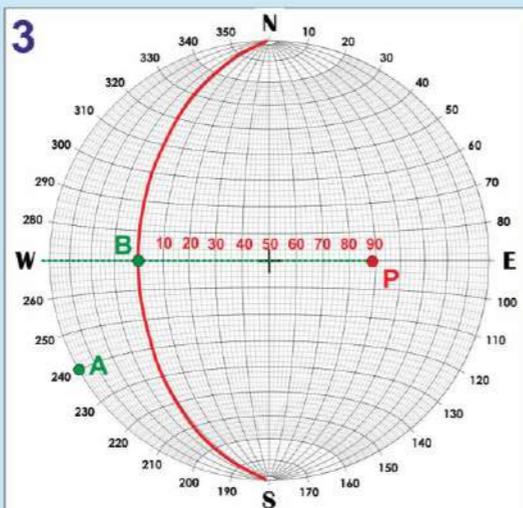
ESEMPIO DI MISURA DA RAPPRESENTARE: $240^\circ/40^\circ$



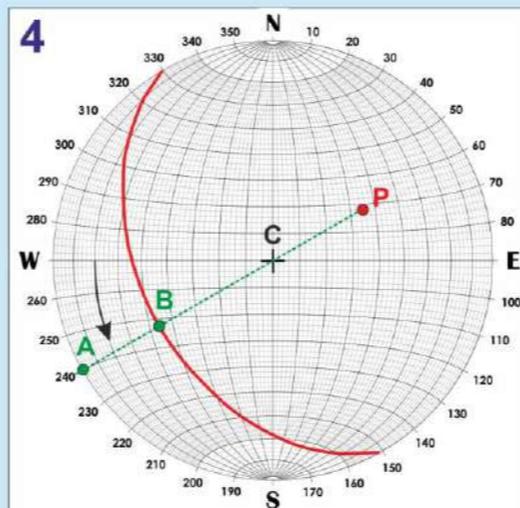
1. Si misurano 240° (α) a partire da Nord in senso orario sul cerchio fondamentale (punto A).



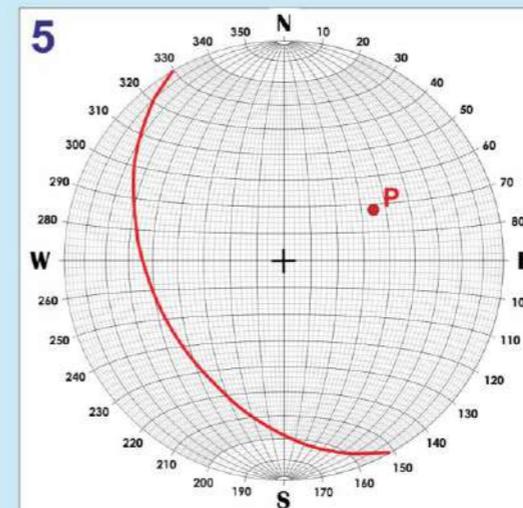
2. Si misurano 40° (γ) a partire dal cerchio fondamentale (punto B che rappresenta il polo della retta di massima pendenza del piano) e si disegna il meridiano passante per B che corrisponde alla ciclografia del piano.



3. La normale a questo piano ha una inclinazione complementare data da $90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$. La sua rappresentazione (punto P "polo del piano") viene individuata contando 90° dal punto B.



4. Si ruota il tutto fino a far coincidere la retta passante per il punto B, il centro C ed il punto P con il punto A. Il diametro della ciclografia rappresenta la direzione del piano.



5. Ciclografia e polo del piano $240^\circ/40^\circ$.

MECCANICA DELLE ROCCE, CLASSIFICAZIONI GEOMECCANICHE E CARATTERIZZAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

- BARLA G. & BARLA M.** (A cura di) (2004) - *La caratterizzazione degli ammassi rocciosi nella progettazione geotecnica*. MIR 2004, Pàtron Ed., 509 pp.
- BARLA M.** (2010) - *Elementi di meccanica e ingegneria delle rocce*. Celid Editore.
- BIENIAWSKI, Z.T.** (1989) - *Engineering rock mass classifications*. New York; John Wiley and Sons Inc., 272 pp.
- BRUNO G.** (2012) - *Caratterizzazione geomeccanica per la progettazione ingegneristica*. Dario Flaccovio Editore, 432 pp.
- BRUSCHI A.** (2004) - *Meccanica delle rocce nella pratica geologica ed ingegneristica*. Dario Flaccovio Editore, 400 pp.
- CONTI P. & CARMIGNANI L.** (2008) - *Sforzo e Deformazione nelle Rocce*. Centro di GeoTecnologie. Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente. <https://www.pconti.net/doc/SforzoDeformazione.pdf>
- CONTI P. (2015)** - *Analisi Geomeccanica*. Centro di GeoTecnologie. Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente. <https://www.pconti.net/doc/AnalisiGeomeccanica.pdf>
- GONZALEZ DE VALLEJO L.I.** (2005) - *Georingegneria*. Pearson Education Italia S.r.l. Milano, 717 pp.
- HOEK E. & BRAY J.W.** (1981) - *Rock slope engineering* (3rd edition). Institution of Mining and Metallurgy, London, 358 pp.
- HOEK E., CARRANZA-TORRES C. & CORKUM B.** (2002) - *Hoek-Brown criterion – 2002 edition*. Proc. NARMS-TAC Conference, Toronto, 2002, 1, 267-273.
- I.S.M.R.** (1993) - *Metodologie per la descrizione quantitativa delle discontinuità nelle masse rocciose*. Rivista Italiana di Geotecnica, 2/93, 151 – 197.
- PALMSTRÖM A.** (2001) - *Measurement and characterization of rock mass jointing*. In-Situ Characterization of rocks. Editors: V.M. Sharma and K.R. Saxena. A. A. Balkema Publishers Lise/Abingdon/Exton (Pa)/Tokio, Chapter 2.
- RIBACCHI R.** (2018) - *Meccanica delle Rocce. Teoria e Applicazioni nell'Ingegneria*. Edizioni Efesto – Hevelius Edizioni, 468 pp.

BIBLIOGRAFIA

ANALISI DI STABILITÀ DEI PENDII IN ROCCIA

CETRARO F. (2012) - *Analisi di stabilità e messa in sicurezza dei pendii. Pendii in terra e roccia.* Maggioli Editore, 319 pp.

CONTI P. (2019) – *Proiezioni Stereografiche.* Centro di GeoTecnologie. Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente. <https://www.pconti.net/doc/Stereogrammi.pdf>

CONTI P., CARMIGNANI L., DISPERATI L. & MASSA G. (2007) - *Analisi di Stabilità di Pendii in Roccia.* Centro di GeoTecnologie. Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente. <https://www.pconti.net/doc/StabilitaPendii.pdf>

GATTINONI P., PIZZAROTTI E., SCATOLINI E. & SCESI L. (2005) – *Stabilità dei pendii e dei fronti di scavo in roccia.* Edizioni Pei s.r.l., Parma, 280 pp.

MANCINA M., NORI R. & IASIELLO P. (2010) – *Progetti e calcoli di geotecnica con Excel (III edizione).* DEI Tipografia del Genio Civile, Roma.

SONMEZ H. & ULUSAY R. (1999) - *Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Volume 36, Issue 6, September 1999, Pages 743-760. Elsevier.

GEOLOGIA STRUTTURALE

HAAKON FOSSEN (2020) – *Geologia strutturale.* Prima edizione italiana a cura di Giulio Viola. Geologia Zanichelli, 494 pp.

TWISS R. J. & MOORES E. M. (1992) - *Structural geology.* W. H. Freeman & Co., New York, 532 pp.

Intervento di completamento del consolidamento della parete rocciosa del Comune di Villa S. Maria (Chieti), loc. Via Torretta 1° stralcio

(Fondo per la Progettazione degli interventi contro il dissesto idrogeologico articolo 55, legge n. 221 del 28/12/2015)



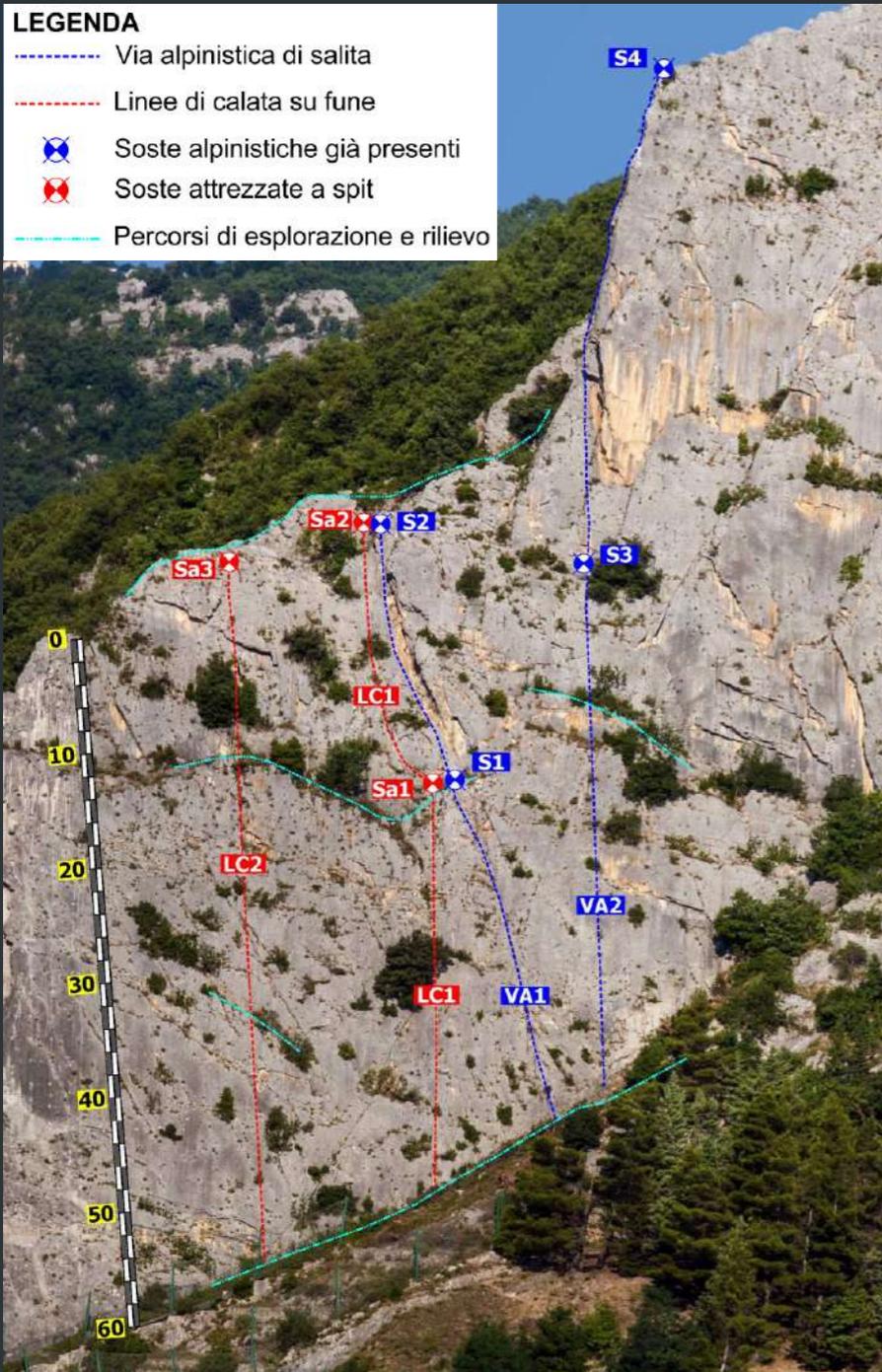
È stata eseguita una **caratterizzazione geostrutturale e geomeccanica dell'ammasso roccioso** (secondo le indicazioni **I.S.R.M. 1993**) per identificare le diverse tipologie di intervento da realizzare in parete. La natura del terreno, il contesto ambientale ed il tipo di intervento hanno imposto una **squadra di rocciatori qualificata**. L'accesso alla sommità del sito è stato eseguito con scalata dal basso (**tecniche alpinistiche**); il successivo rilievo geomeccanico mediante il **posizionamento su fune** dall'alto con calate e stazionamenti in parete.



OPERAZIONI PRELIMINARI ED ESECUTIVE PER L'ACCESSO IN PARETE

LEGENDA

- Via alpinistica di salita
- Linee di calata su fune
- ⊗ Soste alpinistiche già presenti
- ⊗ Soste attrezzate a spit
- Percorsi di esplorazione e rilievo



FASE 1

Ricognizione dal basso della parete e studio degli itinerari alpinistici e sportivi presenti in parete. Preparazione del materiale alpinistico necessario.

FASE 2

Salita lungo la via alpinistica **VA1** con sosta attrezzata a spit (**S1**). Poco più a sinistra, sfruttando la cengia, è stata attrezzata una nuova sosta (**Sa1**). Proseguimento della salita lungo la via alpinistica VA1 fino alla sosta **S2**.

FASE 3

Installazione di due nuove soste a spit (**Sa2** e **Sa3**).

FASE 4

Dalla sosta Sa2 preparazione e discesa su fune lungo la linea di calata (**LC1**).

FASE 5

Risalita su fune lungo la linea **LC1** e attrezzatura della linea di calata **LC2**.

OPERAZIONI PRELIMINARI ED ESECUTIVE PER L'ACCESSO IN PARETE



FASE 6

Discesa lungo la linea di calata LC2.

FASE 7

Salita alpinistica lungo la via **VA2** sfruttando le soste già presenti **S3** e **S4**.

FASE 8

Discesa in doppia in stile alpino lungo lo stesso itinerario di salita (VA2).

FASE 9

Salita in stile alpino lungo una cengia sul versante opposto della rupe di Villa S. Maria. Raccolta di tutto il materiale presente in cresta e lasciato per le fasi precedenti.

FASE 10

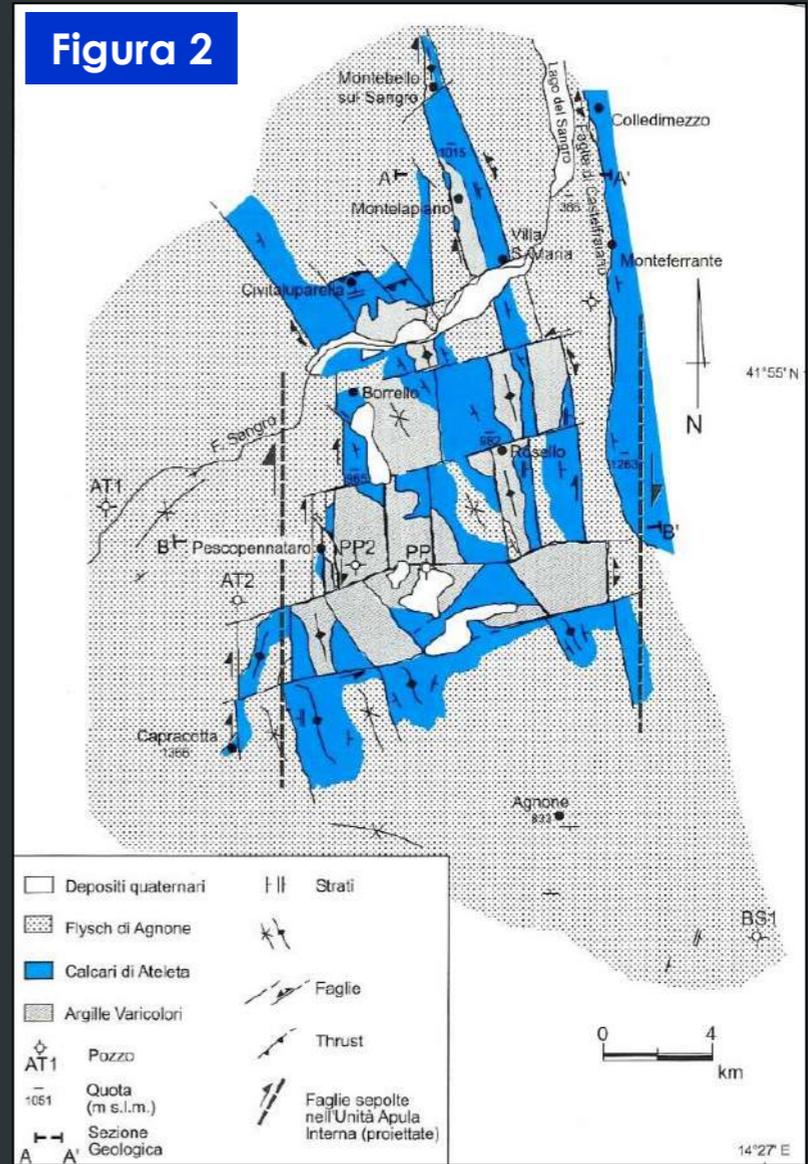
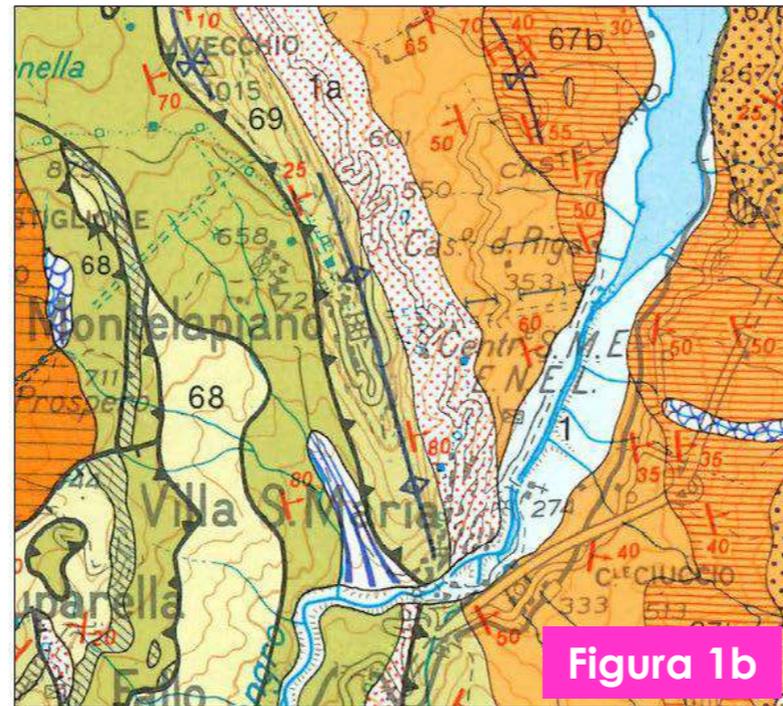
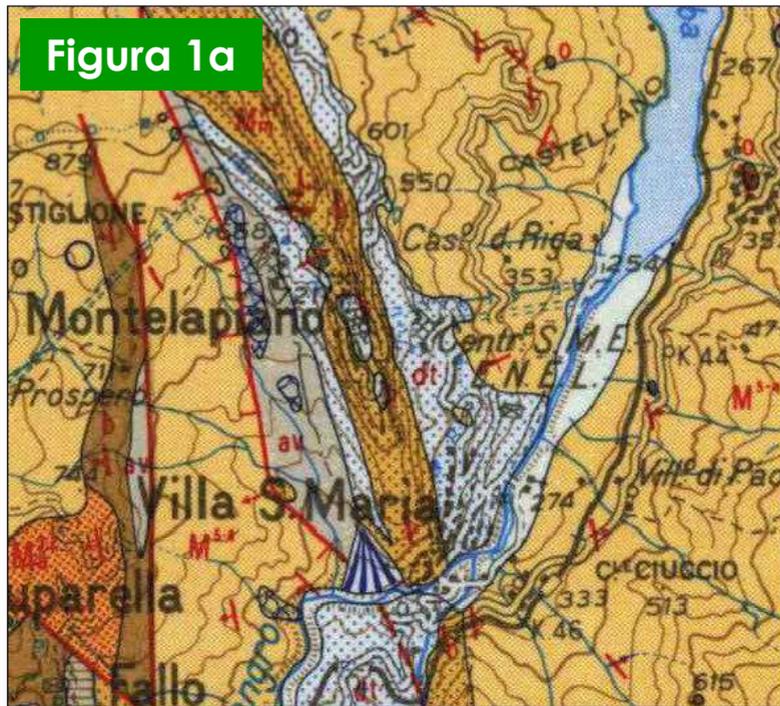
Chiusura del cantiere e discesa in doppia dal versante opposto con tutto il materiale.



OPERAZIONI PRELIMINARI ED ESECUTIVE PER L'ACCESSO IN PARETE



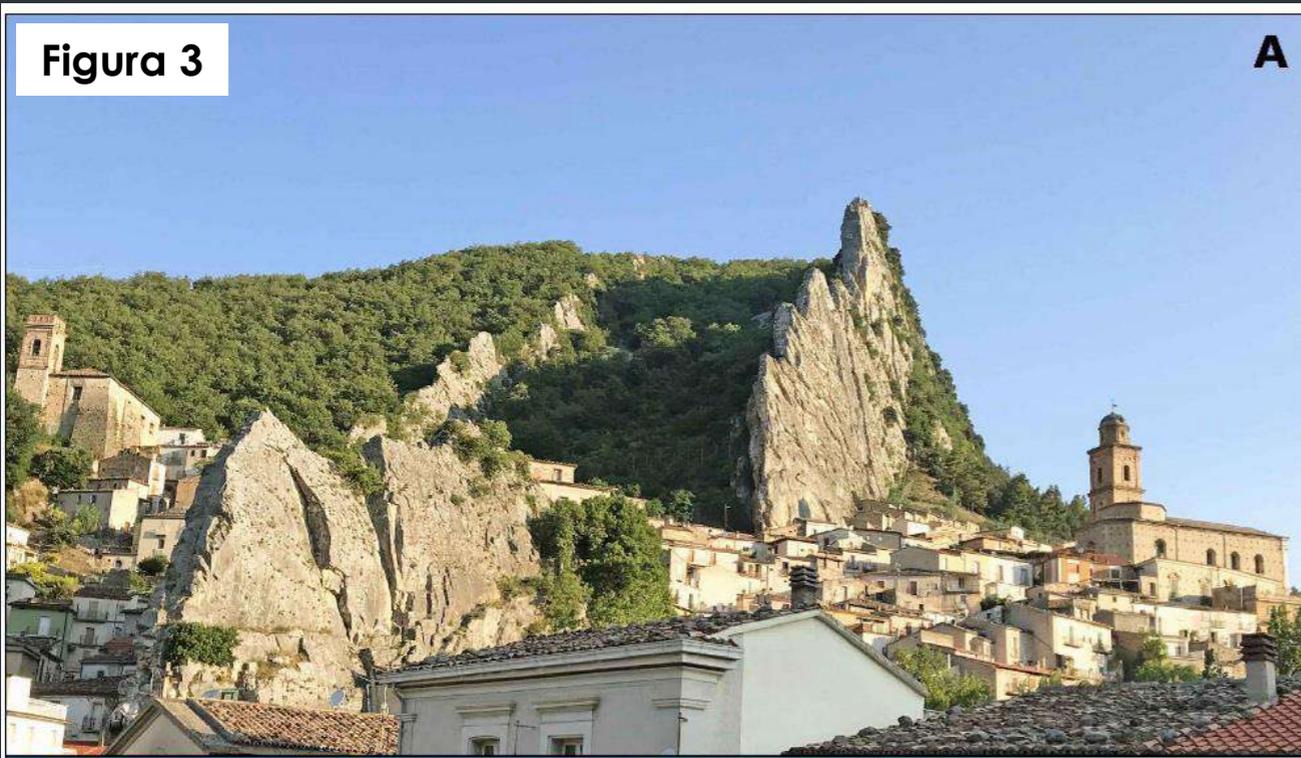
...NON DIMENTICHIAMOCI CHE SIAMO GEOLOGI !!
**CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E
 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO (NTC 2018)**



Confronto tra l'interpretazione geologica proposta dal Foglio 153 Agnone (Servizio Geologico d'Italia, 1971) a sinistra (**Figura 1a**) e quella di Vezzani & Ghisetti (1998) a destra (**Figura 1b**). Sull'assetto tettonico si noti anche la differenza con lo schema di **Figura 2** (Guide Geologiche Regionali vol. 10 Abruzzo).

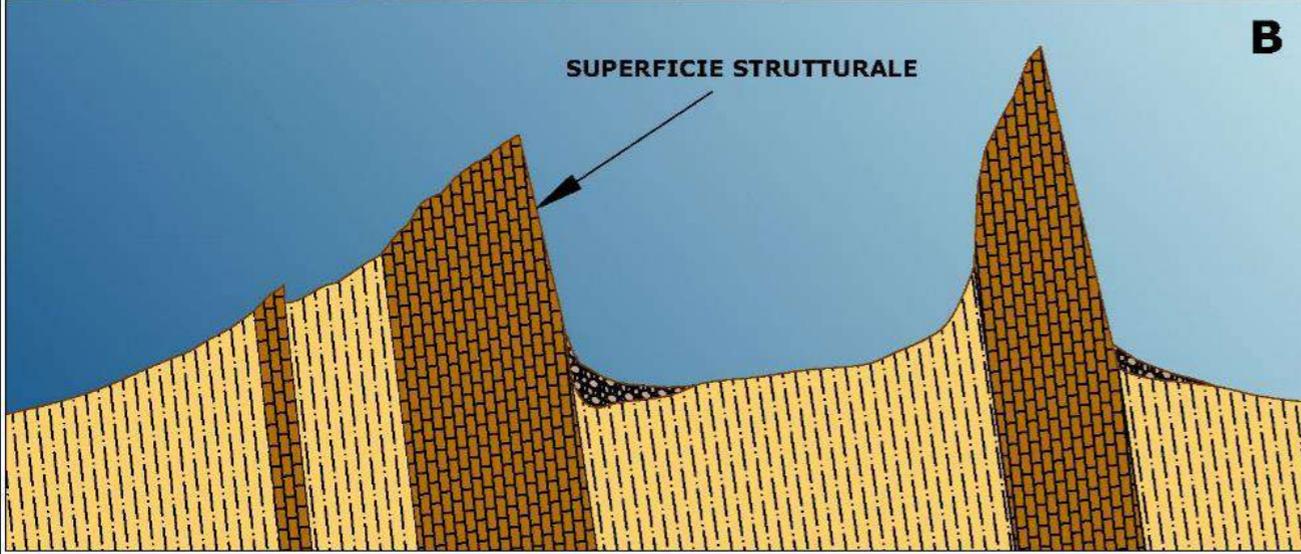
CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO (NTC 2018)

Figura 3



A

Figura 3A Panoramica della rupe di Villa S. Maria vista da SSE verso NNW. Le lame sporgenti sono costituite da bancate calcaree mentre le porzioni morfologicamente meno acclivi da litotipi marnoso-argillosi. La differenza litologica è alla base dei processi d'erosione selettiva.



B

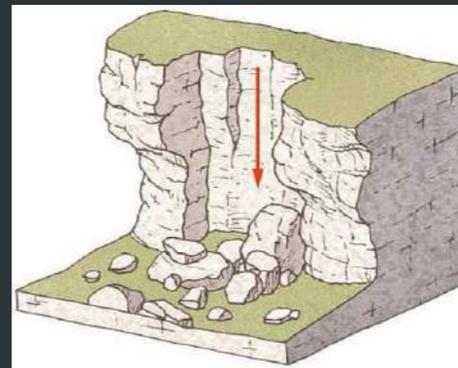
Figura 3B La struttura di Villa S. Maria può essere considerata come un **rilievo monoclinale di tipo hogback** che consiste in una “**superficie strutturale**” costituita da un piano stratigrafico messo a nudo dai processi d'erosione selettiva (da Castiglioni, 1995 ridisegnato e modificato).

TIPOLOGIE DEI DISSESTI CHE INTERESSANO LA PARETE

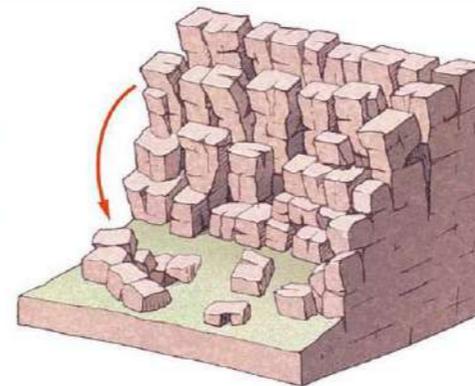
Frane da crollo: distacchi improvvisi di massi rocciosi lungo pareti ripide (verticali), che provocano disgregazione alla base del versante con relativo accumulo al piede (ghiaioni e detrito di falda).

Frane di ribaltamento: variante delle frane da crollo dove la caduta dei massi avviene in avanti con una traiettoria curva per la presenza di particolari geometrie delle discontinuità rispetto all'inclinazione della parete.

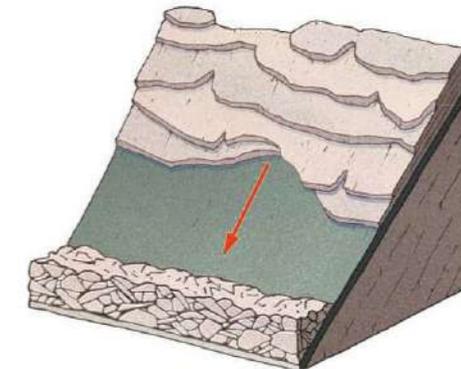
Frane da scivolamento traslativo: nel caso di pareti rocciose non verticali sono blocchi di roccia che scivolano lungo superfici di faglia, di stratificazione o di altre discontinuità con minore o uguale acclività del versante.



CROLLO



RIBALTAMENTO



SCIVOLAMENTO



TIPOLOGIE DEI DISSESTI CHE INTERESSANO LA PARETE

La parete è interessata da **tre tipologie geometriche di scoscendimento** che, dati i dislivelli e la verticalità della parete, sono in grado di generare **fenomeni ad altissima energia**.



1. CROLLI

Blocchi parzialmente o totalmente disgiunti di dimensione da decimetrica fino a circa 1 mc. Si incontrano in corrispondenza delle cenge, dei camini e dei diedri prodotti dall'intersezione dei giunti di stratificazione e da quelli ad esse trasversali. La principale causa predisponente è, oltre alla **morfologia del versante**, l'**assetto strutturale dell'ammasso roccioso**, in cui l'intersezione reciproca delle diverse famiglie di discontinuità può comportare l'isolamento di blocchi di roccia. L'instabilità si genera quando la resistenza sulle superfici di discontinuità non è più in grado di contrastare lo sforzo di taglio mobilitato lungo le superfici stesse.

TIPOLOGIE DEI DISSESTI CHE INTERESSANO LA PARETE

2. SCIVOLAMENTI



Elementi di roccia sottesi tra due o più giunti di stratificazione intersecati da famiglie trasversali che interrompono la continuità verso il basso e inficiano l'effetto di auto sustentamento degli strati. **Il fenomeno riguarda conci di superficie compresa tra 1 mq a circa 15 mq e spessore variabile tra 0,5 e 1,5 m.** Meccanismo di rottura per scivolamento piano e/o per cuneo. La coesione tra i giunti è condizionata dalla dissoluzione dei calcari che può completamente isolare le placche. Tale tipologia di dissesto, definibile per “**esfoliazione**” interessa l'intera parete e **costituisce il principale fenomeno di erosione della rupe rocciosa** di Villa S. Maria.