

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

D.I.I.A.R Sezione Infrastrutture Viarie



Il rilievo geologico-tecnico della Valchiosa (Valtellina, SO)

Relatore: Ing. Paola GATTINONI

Correlatore: Dott.ssa Erika De Finis

Tesi di laurea di:
Sara BELLONI
Matricola 765646

A mio papà

a Stefano

e ...

... alla mia famiglia

Sommario

Principale obiettivo del presente studio è stato quello di delineare le caratteristiche geologiche e geomorfologiche delle mega-conoidi. In generale, per le conoidi alluvionali, la relazione tra l'area della conoide e l'area del bacino di drenaggio è governata da una legge di potenza, la quale afferma che i detriti provenienti dal bacino aumentano all'aumentare dell'area di drenaggio.

La peculiarità delle mega-conoidi consiste nel non rispettare tale legge, in quanto l'area del bacino idrografico è modesta rispetto all'estensione del cono stesso. La ragione di tale interesse nello studio delle mega-conoidi risiede proprio nella loro peculiarità e nel poter delineare un filo conduttore comune alla base della loro formazione.

Le valli a cui appartengono tali conoidi hanno delle pendenze molto elevate nella zona superiore del bacino per poi diminuire drasticamente verso valle e sono caratterizzate da un alveo inciso avente una sezione torrentizia esigua, con scarso deflusso superficiale. Possiedono inoltre, una storia glaciale che non può essere trascurata: i depositi glaciali infatti, ricoprono quasi interamente il bacino. Infine, le valli che si trovano a monte delle mega-conoidi, sono interessate da movimenti gravitativi profondi di versante, che causano spostamenti tettonici relativamente piccoli ma di grande importanza a livello strutturale.

In particolare, il presente studio ha interessato la Valchiosa, piccola valle laterale a monte di Sernio (SO, Valtellina) alla quale è associata una mega-conoide.

Lo studio di quest'area si è svolto a partire dal rilievo geomeccanico in sito, che ha permesso la successiva caratterizzazione geologico-tecnica dell'area di frana.

A tale scopo sono state eseguite anche prove di resistenza a compressione monoassiale, sia in sito, con l'utilizzo del martello di Schmidt, che in laboratorio, con i campioni di roccia presi in loco, attraverso il Point Load Test.

La caratterizzazione geomeccanica dell'area è avvenuta attraverso l'utilizzo della classificazione di Bieniawski, e il Geological Strength Index (GSI). Attraverso il criterio di rottura di Hoek&Brown, sono stati poi determinati i parametri geomeccanici principali che definiscono il comportamento di un ammasso roccioso, ovvero coesione e angolo d'attrito.

In tal modo è stato possibile ricostruire il modello concettuale della frana, che rappresenta la schematizzazione geometrica e fisica del sottosuolo ed identifica i processi che hanno portato alla sua evoluzione. Infatti, attraverso l'identificazione delle cause predisponenti e scatenanti del movimento franoso si è giunti all'identificazione dei processi rilevanti che hanno prodotto la formazione della mega-conoide di Sernio e che possono ancora oggi determinare condizioni di rischio residuo.

Secondo tale ricostruzione, i movimenti gravitativi profondi di versante, uniti allo scioglimento del permafrost hanno causato, in passato, un evento di dimensioni catastrofiche che ha portato al collasso della montagna esistente sulla testata di coronamento del bacino della Valchiosa. Tale collasso, ha prodotto un'ingente quantità di detrito, che a causa dell'esigua sezione torrentizia è stato difficilmente smaltibile, ed ha portato quindi alla formazione della mega-conoide. Il volume di tale conoide è stato successivamente incrementato a causa del susseguirsi di frane a posteriori, evolute poi in colate di detrito. La possibile formazione di nuovi percorsi di colata detritica causata dall'arretramento del ciglio delle frane esistenti e dall'estensione delle aree in erosione, rappresenta il rischio residuo associato al Bacino della Valchiosa.

Indice

INTRODUZIONE	1
1. LA GENESI DELLE CONOIDI	3
1.1. LA CLASSIFICAZIONE DELLE CONOIDI	3
1.2. LA RELAZIONE MORFOMETRICA TRA L'AREA DELLA CONOIDE E L'AREA DEL BACINO DI DRENAGGIO	4
1.3. CASI SPECIFICI DI MEGA-CONOIDI	10
1.3.1. <i>La conoide della Valle del Migiondo</i>	10
1.3.2. <i>La conoide del Malsler Haide</i>	13
1.4. CONCLUSIONI	14
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	17
2.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	17
2.2. ASSETTO TETTONICO-STRUTTURALE	20
2.3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	22
2.3.1. <i>Caratteristiche litologiche del substrato roccioso</i>	24
2.4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	27
2.5. IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA	30
3. IL RILIEVO GEOMECCANICO.....	31
3.1. SCELTA DELL'AREA DI RILIEVO	31
3.2. OPERAZIONI DI RILIEVO	32
3.2.1. <i>Descrizione geologica e petrografica dell'ammasso roccioso</i>	33
3.2.2. <i>Operazioni riguardanti le discontinuità</i>	33
3.2.3. <i>Prove in sito</i>	41
3.2.4. <i>Prove di laboratorio</i>	43
3.3. LA SCHEDA RILIEVO	48
3.4. CONCLUSIONI	50
4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA	51
4.1. LA CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKI (1973)	51
4.2. LA CLASSIFICAZIONE DI HOEK ET AL. (GSI)	53
4.3. IL CRITERIO DI ROTTURA DI HOEK&BROWN	55
4.4. L'ELABORAZIONE DEI DATI	59
4.4.1. <i>L'indice di Rock Mass Rating</i>	59
4.4.2. <i>La determinazione dell'indice GSI</i>	59
4.4.3. <i>L'applicazione del criterio di Hoek&Brown</i>	63
4.5. CONCLUSIONI	65
5. RICOSTRUZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE DELLA FRANA	67
5.1. MODELLO GEOMETRICO.....	67
5.2. MODELLO GEOLOGICO-STRUTTURALE	70
5.3. IL MODELLO GEOLOGICO-TECNICO	72
5.4. RICOSTRUZIONE DELLA DINAMICA DELL'EVENTO	74
5.4.1. <i>Le cause predisponenti</i>	74
5.4.2. <i>Le cause scatenanti</i>	74
5.5. IL RISCHIO RESIDUO	75
6. CONCLUSIONI	77
BIBLIOGRAFIA.....	79

APPENDICE 1: SCHEDE RILIEVO	81
APPENDICE 2: INDICE DELLA SCHEDA RILIEVO	161

Indice delle figure

Figura 1-1 – le differenti tipologie di conoidi alluvionali sulla base del confinamento e della morfologia. (Sorriso-Valvo et al., 1998).....	4
Figura 1-2 – Conoidi alluvionali nell’area di studio (Crosta e Frattini, 2001). Porzione Ovest dell’area, che include Valchiavenna (numero 1 in alto; fiumi Liro e Mera), Valsassina (2, fiume Pioverna) e la bassa Valtellina (3, fiume Adda). Le lettere rappresentano le conoidi principali.	5
Figura 1-3 – Porzione Est dell’area di studio (Crosta e Frattini, 2001), che include l’alta Valtellina (3, fiume Adda, fig. prec.), Valcamonica (4, fiume Oglio, fig. prec.), e l’alta Val Seriana (5, fiume Serio, fig. prec). Le lettere rappresentano le conoidi principali e la lettera “g” indica quella del bacino della Valchiosa, come analizzato nel testo.	6
Figura 1-4 – La distribuzione logaritmica dell’area della conoide rispetto all’area del bacino di drenaggio. Le “conoide anomale” vengono discusse nel testo. La linea tratteggiata e la linea in grassetto rappresentano rispettivamente l’intero dataseti (ALL) e una selezione dello stesso (SEL, vedi testo seguente).	7
Figura 1-5 – Distribuzione delle 8 categorie di conoidi riconosciute, classificate come tipo I, tipo II e mega. Cluster 1-3: Tipo I; Cluster 4-5: Miste Tipo I e II; Cluster 6-8: Tipo II; Cluster 7: mega-conoidi.....	9
Figura 1-6 – Carta indice e schizzo geomorfologico della Valle di Migiondo e delle aree contigue (Sondalo, Valtellina), desunto da fotografie aeree e da osservazioni di terreno. Si notino la morfologia irregolare del cono di deiezione terrazzato, i numerosi indizi geomorfologici di deformazioni gravitativa profonde di versante, i rock glaciers ed il circo glaciale troncato dalla scarpata di frana M. Fo – Alpe Brandalon, alla testata della V. di Migiondo.	11
Figura 1-7 – Carta geomorfologica della mega-conoide di Malsers Haide (Jarman et al., 2011).....	13
Figura 2-1 – Ubicazione della Valtellina, Regione Lombardia, Nord Italia.....	17
Figura 2-2 – Ubicazione del Bacino della Valchiosa (riquadro rosso).	18
Figura 2-3 – Vista del Bacino della Valchiosa dalla nicchia: in lontananza si possono notare il Paese di Sernio ed il relativo lago.....	19
Figura 2-4 – Mappa tettonica delle Alpi Centrali Italiane; si nota la Linea Insubrica (Periadriatic Fault Zone), i maggiori lineamenti tettonici e le più grandi frane, indicate da un puntino nero; nel riquadro rosso è ubicata la zona di nostro interesse. (“Large sackung along major tectonic features in Central Italian Alps” [C. Ambrosi, G. B. Crosta, 2006]).....	20
Figura 2-5 – Schema tettonico e geologico: la zona in esame è compresa tra i 2 lineamenti tettonici (Linea del Mortirolo e Linea del Tonale. [Schema tettonico contenuto nel Foglio Geologico 19 di Tirano della Carta Geologica d’Italia, scala 1:100000]	21
Figura 2-6 – Mappa tettonica e geologica delle Media Valtellina; sono evidenziate: Linea Insubrica (o del Tonale), Linea del Mortirolo ed i maggiori movimenti gravitazionali, contrassegnati da un numero e da una stella. (“Large sackung along major tectonic features in Central Italian Alps” [C. Ambrosi, G. B. Crosta, 2006])	22
Figura 2-7 – Stralcio del Foglio Geologico 19 di Tirano (Carta Geologica d’Italia, scala 1:100000); il riquadro rosso evidenzia la Valchiosa.	23
Figura 2-8 – Conoide di deiezione del Bacino della Valchiosa, visto dall’alto.	27

Indice

Figura 2-9 – Carta geomorfologica dell’area Mt. Padrio – C. ma Verda – Mt. Varadega. Lo stereogramma in alto a sinistra mostra l’orientazione dei lineamenti strutturali; i maggiori lineamenti e strutture tettoniche sono evidenziate nella mappa in alto a sinistra. (“Large sackung along major tectonic features in Central Italian Alps” [C. Ambrosi, G. B. Crosta, 2006]).....	29
Figura 3-1 – Affioramenti sui quali si è eseguito il rilievo.....	32
Figura 3-2 – Rappresentazione stereografica equipolare dell’affioramento “RGM10”	33
Figura 3-3 – Suddivisione dell’area di rilievo in tre zone omogenee: Zona 1 – Conoide, Zona 2 – Intermedia, Zona 3 – Nicchia.....	34
Figura 3-4– Distribuzione delle giaciture di tutti gli affioramenti e suddivisione delle medesime nei gruppi litologici principali.	35
<i>Figura 3-5– Distribuzione delle giaciture di tutti gli affioramenti e suddivisione delle medesime secondo le 3 zone omogenee.....</i>	<i>35</i>
Figura 3-6– La rugosità rappresenta l’altezza media delle asperità della superficie rispetto all’apertura media; in figura sono rappresentati i 10 profili tipo con coefficienti variabili da 0 a 20 con intervalli di 2.	39
Figura 3-7 – Alterazione delle superfici nell’affioramento n°23.....	40
Figura 3-8– Lo sclerometro.....	41
Figura 3-9 – Correlazione tra resistenza alla compressione monoassiale della roccia, numero di rimbalzo e inclinazione dello strumento rispetto alla verticale.....	42
Figura 3-10 – Distribuzione areale dei campioni prelevati per l’esecuzione delle prove di laboratorio.	44
Figura 3-11 – Lo strumento per il Point Load Test.....	45
Figura 3-12– Carta di correzione dell’Point Load test per la determinazione dell’indice I_s , normalizzato al diametro 50mm.	46
Figura 3-13 - Andamento della frequenza relativa dei valori minimi di $I_s(50)$ con rottura normale alla scistosità, di tutti gli affioramenti e per ogni zona omogenea, per ciascuna classe considerata. Le colonne blu rappresentano tutti gli affioramenti, quelle gialle la zona 1, quelle verdi la zona 2 mentre quelle azzurre la zona 3.....	47
Figura 3-14 - Andamento della frequenza relativa dei valori minimi di $I_s(50)$ con rottura normale alla scistosità, di tutti gli affioramenti e per ogni zona omogenea, per ciascuna classe considerata. Le colonne arancioni rappresentano tutti gli affioramenti, quelle gialle la zona 1, quelle verdi la zona 2 mentre quelle azzurre la zona 3.....	47
Figura 3-15 – Scheda rilievo riferita all’affioramento RGM10.....	49
Figura 4-1 – Criterio di Hoek & Brown linearizzato	58
Figura 4-2 – Andamento della frequenza relativa dei valori di GSI di tutti gli affioramenti e per ogni zona omogenea, per ciascuna classe considerata. Le colonne blu rappresentano tutti gli affioramenti, quelle gialle la zona 1, quelle verdi la zona 2 mentre quelle azzurre la zona 3.	60
Figura 4-3 – Andamento della frequenza relativa dei valori di BRMR, calcolati a partire dai valori di GSI medio di tutti gli affioramenti e per ogni zona omogenea, per ciascuna classe considerata. Affioramenti globali = arancio, zona 1 = Giallo, zona 2 = verde, zona 3 = blu.	61
Figura 4-4 – Distribuzione spaziale dei valori di GSI minimo e di Point Load minimo correlati con le differenti litologie presenti. In rosso i valori più bassi, corrispondono a una qualità della roccia scadente.....	62

Indice

Figura 4-5 – Andamento dei valori di frequenza della coesione c' [MPa] per le differenti zone omogenee secondo il Criterio di Hoek&Brown (2002). Affioramenti globali = arancio, zona 1 = Giallo, zona 2 = verde, zona 3 = blu.	63
Figura 4-6 – Andamento dei valori di frequenza dell'angolo d'attrito ϕ [°] per le differenti zone omogenee secondo il Criterio di Hoek&Brown (2002). Affioramenti globali = arancio, zona 1 = Giallo, zona 2 = verde, zona 3 = blu.	63
Figura 4-7 – Andamento dei valori di frequenza della coesione c' [MPa] per le differenti zone omogenee secondo le formule analitiche della classificazione di Bieniawski (1973). Affioramenti globali = arancio, zona 1 = Giallo, zona 2 = verde, zona 3 = blu.	64
Figura 4-8 – Andamento dei valori di frequenza dell'angolo d'attrito ϕ [°] per le differenti zone omogenee secondo le formule analitiche della classificazione di Bieniawski (1973). Affioramenti globali = arancio, zona 1 = Giallo, zona 2 = verde, zona 3 = blu.	64
Figura 5-1– Suddivisione delle tre zone strutturalmente omogenee (suddivise dalla Linea del Mortirolo e dalla Linea Insubrica), rappresentazione dell'area dell'intero bacino, della conoide e della linea di massima pendenza, totale e per ciascuna zona (immagine da Google Earth).....	68
Figura 5-2 – Profilo di elevazione della Zona 1 (Google Earth).....	68
Figura 5-3 – Profilo di elevazione della zona 2 (Google Earth).	69
Figura 5-4 – Profilo di elevazione della zona 3 (Google Earth).	70
Figura 5-5– Sezione trasversale del profilo di pendenza dell'alveo inciso, con relativa caratterizzazione geologica e strutturale per zone omogenee.	73

Indice delle tabelle

Tabella 1-1 – Valori del coefficiente c e dell'esponente k nella legge di potenza ($A_f = cA_b^k$) tra l'area del bacino di drenaggio e l'area della conoide in zone umide e semi-umide (Allen and Hovius, 1998).....	7
Tabella 3-1 – Classi di qualità della roccia in base al parametro RQD (%).....	36
Tabella 3-2 - Valori medi di VRU (cm) assoluti e per ciascuna zona omogenea.	38
Tabella 3-3 – Correzione dell'indice di rimbalzo R , a seconda dell'inclinazione dello strumento rispetto alla verticale.....	43
Tabella 3-4 – Tabella riepilogativa dei valori medi calcolati per ciascun dato dell'area in esame.	50
Tabella 4-1 – Classificazione Rock Mass Rating (da Bieniawski, 1979).....	52
Tabella 4-2 – Caratteristiche delle classi (da Bieniawski, 1979).....	53
Tabella 4-3 – Stima del GSI per ammassi rocciosi fratturati (Marinos & Hoek, 2000).....	54
Tabella 4-4 – Stima della costante m_i per la roccia intatta (Marinos & Hoek, 2000).....	56
Tabella 4-5 – Determinazione del fattore di disturbo D	57
Tabella 4-6 – Valori medi e minimi assoluti e di ciascuna zona omogenea del GSI, del BRMR, della coesione, dell'angolo d'attrito, del modulo di Young e la corrispondente qualità della roccia secondo il criterio di Bieniawski.	65
Tabella 5-1– Valori medi, assoluti e suddivisi per ciascuna zona, della coesione, angolo d'attrito, modulo di Young, peso specifico e resistenza a compressione monoassiale con rottura normale e parallela alla scistosità.	72

Indice

Introduzione

L'area di studio del presente lavoro di tesi, è la mega-conoide di Sernio, a valle del Bacino della Valchiosa (SO, Valtellina); l'evoluzione di tale area è stata fortemente influenzata sia dalle variazioni glaciali sia da fenomeni gravitativi.

In questo lavoro si è voluta incentrare l'attenzione sull'origine della formazione di tale mega-conoide, confrontando quest'ultima con altri due casi simili nelle Alpi centrali: la conoide del Migiondo (Valtellina) e il Malser Haide (Val Venosta)

Il nucleo centrale del lavoro di tesi è stato il rilievo geomeccanico in sito delle rocce affioranti e dei depositi superficiali che ricoprono l'intero bacino, attraverso il quale si è cercato di comprendere meglio le caratteristiche di questi fenomeni in aree in cui le morfologie sono collegabili alla storia geologica e strutturale.

Sono state eseguite prove in sito e di laboratorio per valutare la resistenza a compressione monoassiale degli ammassi rocciosi; l'area d'interesse è stata suddivisa in tre zone strutturalmente omogenee e successivamente si è proceduto alla caratterizzazione geomeccanica che ha permesso la definizione della qualità degli ammassi rocciosi affioranti lungo l'intero bacino in esame.

L'obiettivo finale di questo lavoro vuole essere l'analisi delle cause predisponenti e scatenanti che hanno portato alla formazione di una conoide di grande dimensioni rispetto al bacino di appartenenza e la ricostruzione, attraverso un modello concettuale, dell'evoluzione morfologica del suddetto bacino, considerando anche il corrispondente rischio residuo.

Introduzione

Capitolo 1

La genesi delle mega-conoidi

Lo sviluppo delle conoidi alluvionali nell'area Alpina è spesso influenzato da processi sedimentari catastrofici associati a estreme inondazioni che causano seri rischi per le persone che vivono nei paesi ai piedi delle conoidi. La valutazione del pericolo in queste aree dipende dalla corretta identificazione dei processi sedimentari dominanti nelle conoidi.

In questo capitolo verranno presentati i diversi tipi di conoidi ed analizzate le loro differenti origini nell'area delle Alpi centrali; l'attenzione verrà concentrata sulle mega-conoidi, considerate "anomale" a causa dell'estrema ampiezza della loro area rispetto al bacino di drenaggio ad esse soprastante.

Verranno inoltre trattati due casi specifici di mega-conoidi situate nell'area Alpina, i quali permetteranno di comprendere meglio la successiva analisi dell'area oggetto di studio.

1.1. La classificazione delle conoidi

Secondo *Jarman et al., 2001*, le conoidi alluvionali¹ possono essere suddivise in due categorie: le conoidi "allometriche" e le conoidi "anomale".

Le conoidi "allometriche" sono la maggior parte e rappresentano la produzione "normale" ovvero che non è discordante con il paesaggio circostante.

Queste conoidi sono il risultato di processi primari e secondari (Blair and McPherson, 1994). I processi primari sono responsabili del trasporto dei sedimenti dal bacino di drenaggio alla conoide (Hooke, 1967). Cadute di massi, valanghe in roccia, colate detritiche e inondazioni sono i più importanti processi primari che contribuiscono alla costruzione della conoide. I processi secondari sono quelli che mobilitano e modificano i sedimenti precedentemente trasportati alle conoidi dai processi primari; sono inclusi nei processi secondari inondazioni, pedogenesi ed erosione a causa del vento. A causa del alto grado di urbanizzazione delle conoidi, una stabilizzazione antropogenica di sedimenti superficiali ha nascosto la topografia risultante dai processi secondari.

Le conoidi "allometriche" possono essere suddivise in due tipologie sulla base dei processi primari dominanti e della risultante morfologia della conoide. Secondo Blair and McPherson (1994), le conoidi controllate da colate detritiche sono classificate come "Tipo I", mentre quelle dominate da correnti fluide come "Tipo II".

Le forme principali caratterizzanti le conoidi di "Tipo I" sono lobi ed argini formati da detriti (Fig. 1.1a-c). Queste forme sono chiaramente riconoscibili solo per eventi relativamente recenti; infatti, per mantenere il terreno disponibile per le coltivazioni, i detriti superficiali depositati sulle conoidi vengono rimossi e appiattiti mediante ruspe pochi mesi dopo l'evento. La successione sedimentaria delle conoidi di "Tipo I" è dominata da sequenze verticali di letti di ghiaia che mostrano differenti caratteristiche dipendenti principalmente dal substrato roccioso e dalla litologia superficiale

¹ Il termine "conoidi alluvionali" include generalmente sia quelle dominate da depositi fluviali sia quelle controllate da colate detritiche (debris flow) (Blair&McPherson 1994; Sorriso-Valvo et al. 1998; Iverson 2003). Per Derbyshire&Owen (1990) l'epiteto "alluvionali" è inappropriato dato che la maggior parte dei depositi delle conoidi in ambienti alpini non sono dovuti dalle correnti, ma sono parzialmente o interamente composti da debris flow, ed hanno proposto la definizione "conoidi da sedimento" come termine neutrale identificativo.

1. La genesi delle conoidi

(Moscariello et al., 2002). Generalmente, questi letti sono costituiti da clasti allungati poco ordinati, massi argillosi e limosi, ghiaia e ciottoli.

Le conoidi di “Tipo II” invece, hanno depositi che normalmente variano dai granelli alla sabbia verso l'esterno della conoide (Wells and Harvey, 1987; Blair and McPherson, 1994); la superficie della conoide è di solito piana e leggermente concava verso l'alto.

L'estensione delle conoidi alluvionali che si è sviluppata nelle valli alpine può avere influenzato significativamente l'estensione delle valli riceventi, e di conseguenza anche le conoidi alluvionali adiacenti (Sorriso-Valvo et al., 1998). Sulla base dei confini dell'estensione delle conoidi, queste ultime sono state suddivise a loro volta in tre classi: confinate distalmente, confinate lateralmente e non confinate. (Fig. 1.1)

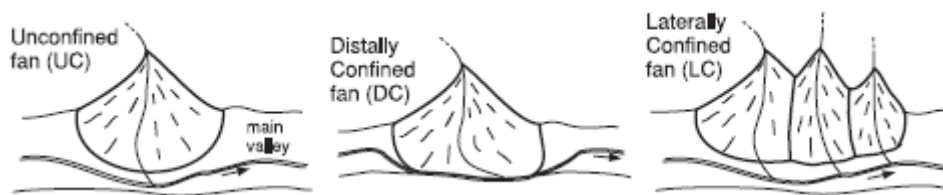


Figura 1-1 – le differenti tipologie di conoidi alluvionali sulla base del confinamento e della morfologia. (Sorriso-Valvo et al., 1998)

La seconda categoria di conoidi, di cui viene approfondita la conoscenza nel paragrafo seguente, sono le cosiddette conoidi “anomale”, ovvero caratterizzate da un rapporto anomalo tra l'estensione del bacino di drenaggio e l'area della conoide sottostante. Queste ultime vengono classificate come “outsized fans” e “megafans” (Jarman et al., 2011); le prime sono generate da piccoli bacini di drenaggio (< 3,7 km²), mentre le seconde occupano le depressioni con grandi volumi detritici superiori a 250 Mm³. Il volume di detriti in eccesso in queste conoidi anomale, superiore alla normale produzione data dai processi convenzionali, può essere causato da uno o più eventi di magnitudine elevata (Crosta e Frattini, 2004).

1.2. La relazione morfometrica tra l'area della conoide e l'area del bacino di drenaggio

Crosta e Frattini, 2002, hanno analizzato 209 conoidi alluvionali ubicate in cinque valli delle Alpi Centrali, in Nord Italia: Valtellina, Valchiavenna, Val Seriana, Valcamonica e Valsassina (Fig. 1.2a e b).

1. La genesi delle conoidi

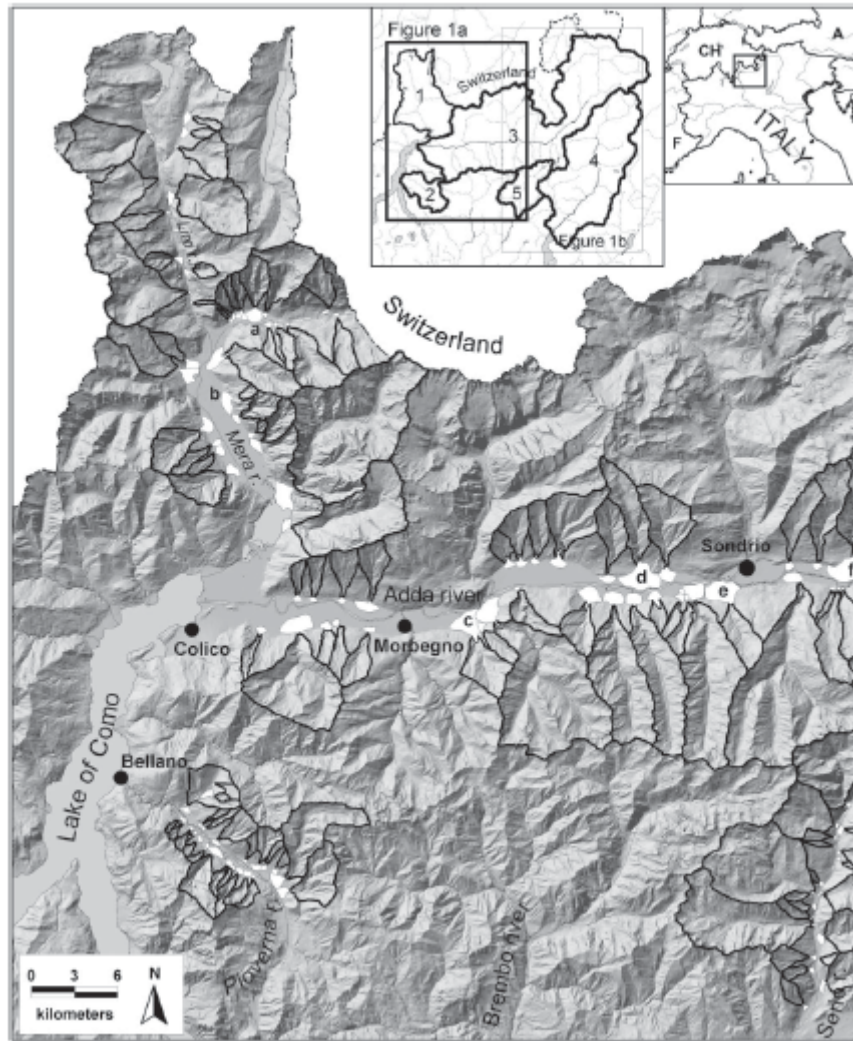


Figura 1-2– Conoidi alluvionali nell’area di studio (Crosta e Frattini, 2001). Porzione Ovest dell’area, che include Valchiavenna (numero 1 in alto; fiumi Liro e Mera), Valsassina (2, fiume Pioverna) e la bassa Valtellina (3, fiume Adda). Le lettere rappresentano le conoidi principali.

1. La genesi delle conoidi

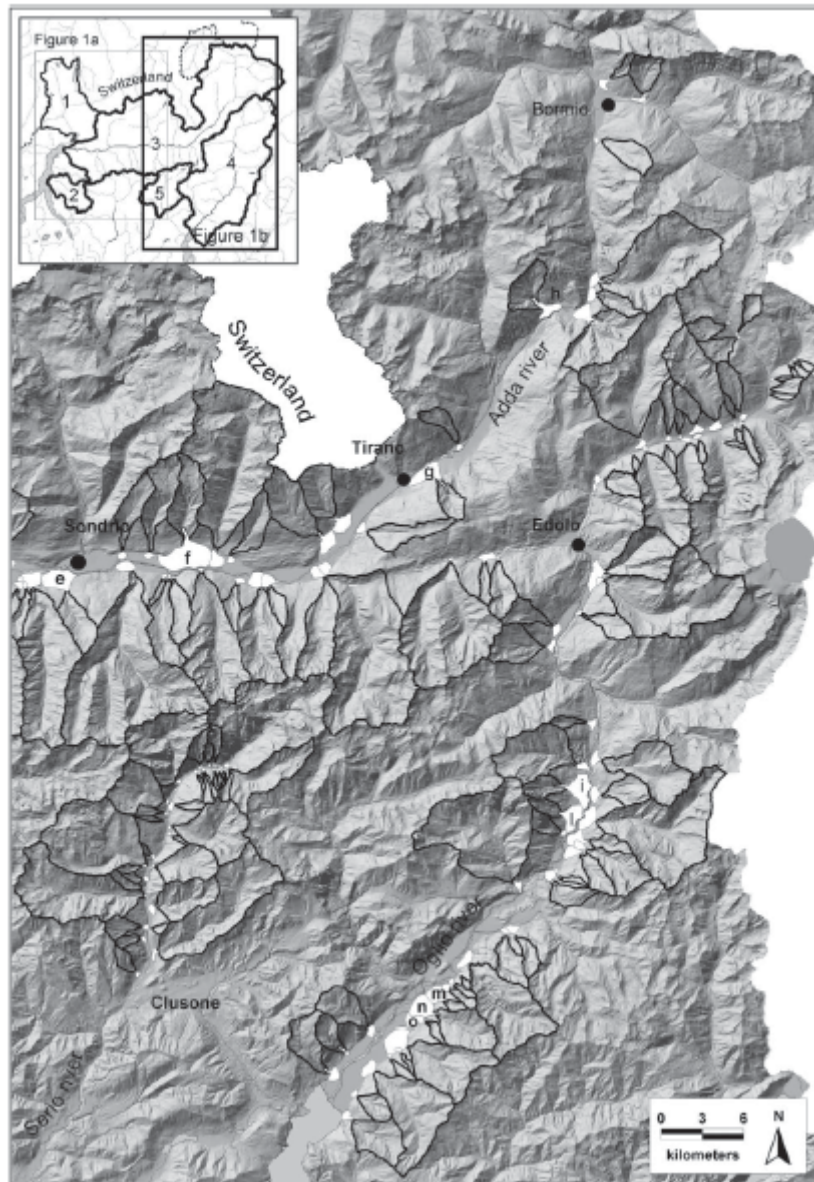


Figura 1-3 – Porzione Est dell’area di studio (Crosta e Frattini, 2001), che include l’alta Valtellina (3, fiume Adda, fig. prec.), Valcamonica (4, fiume Oglio, fig. prec.), e l’alta Val Seriana (5, fiume Serio, fig. prec.). Le lettere rappresentano le conoidi principali e la lettera “g” indica quella del bacino della Valchiosa, come analizzato nel testo.

Lo studio sulla morfologia delle conoidi alluvionali e dei relativi bacini di drenaggio fornisce molte informazioni riguardo all’evoluzione e alle dinamiche dei processi idrologici responsabili della formazione delle conoidi. La morfologia delle conoidi alluvionali è una conseguenza del succedersi di differenti processi, come precedentemente detto, e la morfologia del bacino di drenaggio, controlla tali processi (Kostaschuk *et al.*, 1986; Wells and Harvey, 1987; Blair and McPherson, 1994).

La relazione tra l’area della conoide e l’area del bacino di drenaggio, basata su studi geomorfologici di conoidi recenti (Bull, 1962; Hooke, 1968; Lecce, 1991; Silva *et al.*, 1992; Harvey *et al.*, 1999), è una legge di potenza (Fig 1.3):

$$A_f = cA_b^k$$

dove A_b (km^2) rappresenta l’area del bacino di drenaggio, mentre A_f (km^2) è l’area della conoide.

1. La genesi delle conoidi

La ragione di questa correlazione risiede nel fatto che i detriti provenienti dal bacino aumentano all'aumentare dell'area di drenaggio.

In tabella 1.1 vi sono i differenti valori dell'esponente k e del coefficiente c , catalogati, da letteratura, in base alle regioni umide e semi-umide.

La variabilità di questi di c e k deriva da diversi fattori, quali il cambiamento climatico, l'assetto tettonico, l'erodibilità dei diversi tipi di ammassi rocciosi (Hooke and Rohrer, 1977), la disponibilità dei depositi superficiali all'interno dell'area di drenaggio, ed infine il tasso e la distribuzione spaziale della subsidenza (Allen and Hovius, 1998).

Location	c	k	Reference
Dellwood, North Carolina, USA	0.23	0.53	Mills (1982)
Roan Mountain, North Carolina, USA	0.38	0.76	Mills (1983)
General River Valley, Costa Rica	0.92	1.01	Kesel (1985)
Banff, Alberta, Canada, fluvial fans	0.48	0.32	Kostaschuk <i>et al.</i> (1986)
Banff, Alberta, Canada, debris-flow fans	0.17	0.48	Kostaschuk <i>et al.</i> (1986)
Japan (115 fans)	2.23	0.40	Oguchi and Ohmori (1994)

Tabella 1-1 – Valori del coefficiente c e dell'esponente k nella legge di potenza ($A_f = cA_b^k$) tra l'area del bacino di drenaggio e l'area della conoide in zone umide e semi-umide (Allen and Hovius, 1998)

Dalla tabella 1.1 si può osservare come c e k differiscano a seconda della zona considerata; c è sempre < 1 ad eccezione dell'area del Giappone, k invece è compreso tra valori che variano tra 0,3 e 1.

I risultati ottenuti da questa analisi sono stati graficati e rappresentati nella figura sottostante (Fig. 1.3).

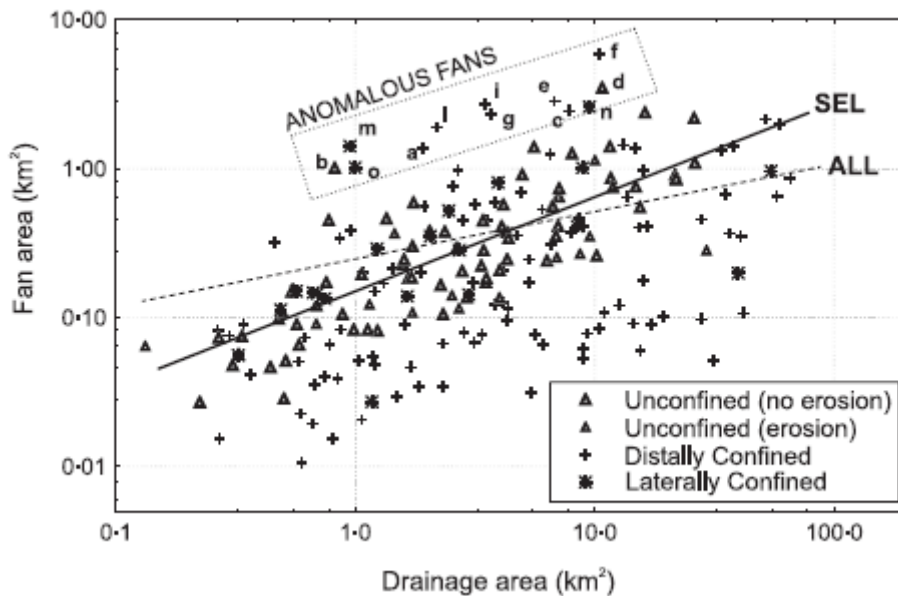


Figura 1-4 – La distribuzione logaritmica dell'area della conoide rispetto all'area del bacino di drenaggio. Le "conoide anomale" vengono discusse nel testo. La linea tratteggiata e la linea in grassetto rappresentano rispettivamente l'intero dataset (ALL) e una selezione dello stesso (SEL, vedi testo seguente).

Considerando tutte le conoidi ubicate nelle cinque valli sopra citate e analizzate da Crosta & Frattini, 2004, coefficiente di correlazione r ottenuto è molto basso in quanto, come mostrato in figura 1.3, sia le conoidi confinate che quelle distali influenzano significativamente la regressione.

1. La genesi delle conoidi

Per un piccolo gruppo di dati, catalogate come mega-conoidi (“anomalous fan” in fig. 1.3; vedi anche fig. 1.2 *a* e *b*), si osservano valori dell’area della conoide fortemente anomali ed estremamente elevati rispetto all’area del bacino di drenaggio. L’eccezionale accumulo di sedimenti da questi bacino di drenaggio può essere collegata a un singolo evento catastrofico.

Tale spiegazione può giustificare la genesi della conoide del Migiondo (di cui si parlerà nel paragrafo seguente), (punto h in fig. 1.2b) e della conoide della Valchiosa, che rappresenta l’area di studio del presente lavoro di tesi.

La conoide del Migiondo e della Valchiosa si sono sviluppate a causa di un enorme collasso che ha causato valanghe in roccia e debris flow (Hsü, 1975; Blair, 1999).

Le altre mega-conoidi posseggono un tasso di trasporto di sedimenti estremamente elevato; questo eccezionale tasso, è attribuibile alla presenza di rocce altamente fratturate e fagliate (conoide di Caldenno, di Roncaiola, di Vallaccia e Cerveno).

Escludendo dall’analisi le mega-conoidi e quelle confinate e distali, Crosta & Frattini hanno considerato un’altra regressione (SEL, fig. 1.3), il cui rendimento è più significativo del precedente e presenta un coefficiente di correlazione più elevato.

Le regressioni sui dati di ciascuna valle non differiscono significativamente, e dimostrano quindi, una sostanziale similarità delle differenti aree.

Di tutte le conoidi analizzate sono stati rappresentati su carta otto categorie di conoidi suddivise in Tipo I, Tipo II e anomale. (Fig. 1.4)

1. La genesi delle conoidi

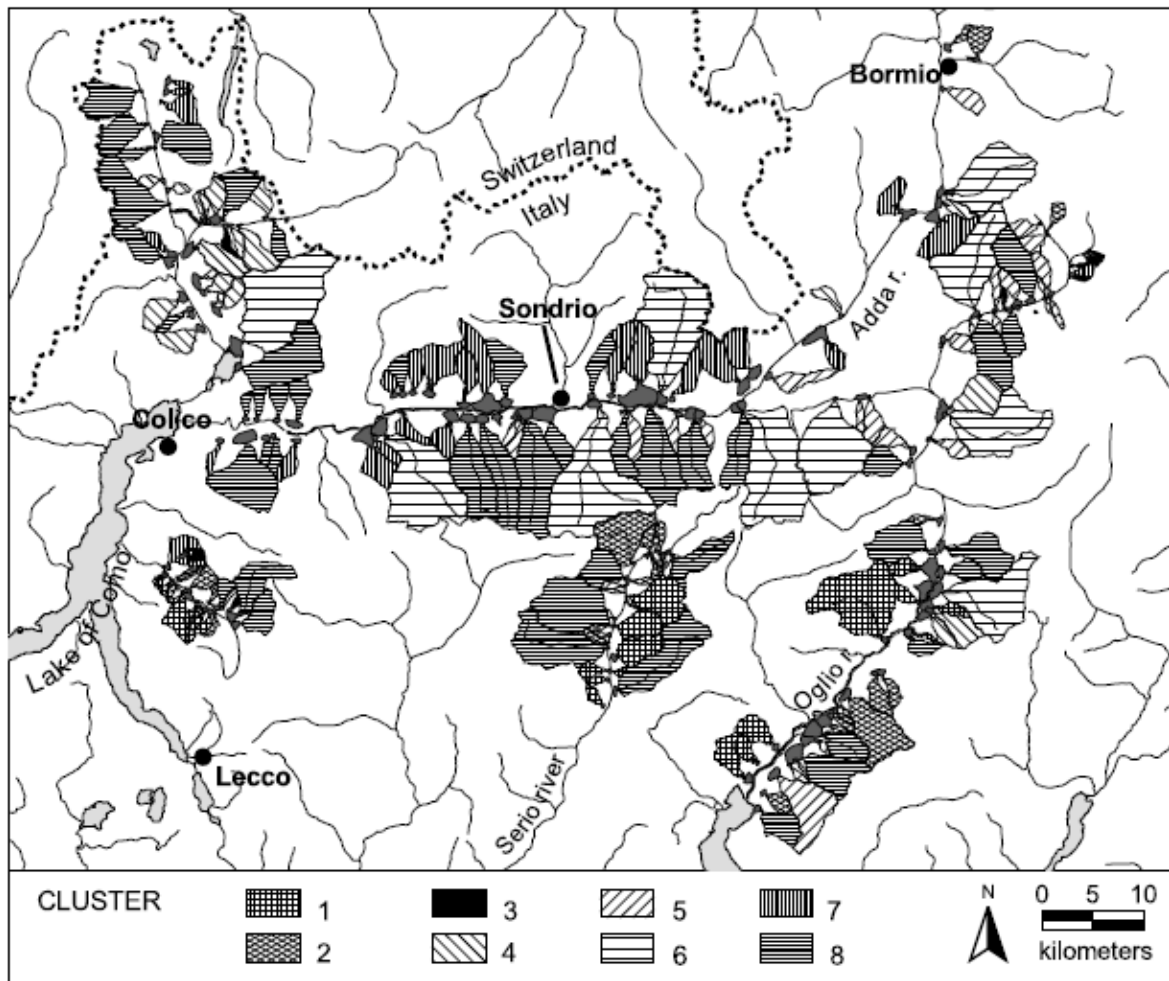


Figura 1-5 – Distribuzione delle 8 categorie di conoidi riconosciute, classificate come tipo I, tipo II e mega. Cluster 1-3: Tipo I; Cluster 4-5: Miste Tipo I e II; Cluster 6-8: Tipo II; Cluster 7: mega-conoidi.

In riferimento alla figura soprastante di analizzano le diverse categorie:

- Cluster 1: conoidi alluvionali di Tipo I, caratterizzate da bacini ripidi e ingenti quantità di depositi colluviali;
- Cluster 3: conoidi alluvionali di tipo I caratterizzate da piccoli bacini con angoli di pendenza elevati nella parte alta del bacino;
- Cluster 4 e 5: conoidi alluvionali di tipo misto I e II caratterizzate da pendenze più lievi ma con aree più ampie (Tipo I e II);
- Cluster 6 e 8: conoidi di Tipo II caratterizzate da una rete di drenaggio ben definita con ampi bacini imbriferi e relative quantità di depositi glaciali e colluviali;
- Cluster 7: mega-conoidi, caratterizzate quindi da aree molto ampie rispetto al bacino di drenaggio; i bacini di questo tipo hanno caratteristiche peculiari, quali una grossa quantità di depositi glaciali e colluviali, una prevalenza di rocce metamorfiche e una valle ricevente molto ampia.

Anche *D. Jarman et al.* ha analizzato i dati di 49 conoidi in Val Venosta riscontrando le medesime problematiche riguardo alle conoidi anomale: 15 conoidi catalogate come “megafans” e “outsize fans” hanno specifiche origini o configurazioni anomale, più ampie, identificabili da carte topografiche e immagini da satellite. Le possibili origini di tali conoidi sono spesso attribuibili ad un evento catastrofico.

1.3. Casi specifici di mega-conoidi

Nel paragrafo seguente vengono presentati due casi specifici di conoidi “anomale” di notevole ampiezza, largamente studiate e monitorate: la conoide della Valle del Migiondo e la conoide di Malser Haide.

1.3.1. La conoide della Valle del Migiondo

Nel bacino della Valle del Migiondo, nell’Alta Valtellina, immediatamente a valle di Sondalo, in riva destra dell’Adda, è presente un ampio cono di deiezione terrazzato, sospeso sul fondovalle con una scarpata alta un centinaio di metri ed estesa per oltre 1,5 km, lungo la quale affiorano depositi detritici grossolani stratificati.

Dallo studio a cura di *M. Guglielmin e G. Orombelli, 2001*, si apprende che, in connessione con gli eventi alluvionali nell’autunno 1987, lungo la scarpata si è prodotto un dissesto, noto come “frana della Boscaccia”, ora bonificato. Sono però tutt’ora attive diverse piccole frane nella porzione più meridionale della scarpata.

Tale studio è mirato ad analizzare le cause alla base della formazione di una conoide avente un’area così ampia rispetto al relativo bacino di drenaggio.

Il cono di deiezione della Valle del Migiondo, su cui sorgono gli abitanti dell’omonimo paese e Sommacologna, si sviluppa ai piedi di un piccolo bacino idrografico, percorso da un torrente profondamente inciso che si immette nell’Adda. Tale bacino si sviluppa per un area di circa 7km², tra una quota minima di 800 metri ed una massima di 2922 metri, è delimitato dalla Val Grosina e dallo spartiacque Monte Storile – Monte Fo – Passo quintena – Alpe Brendalon (Fig. 1.5). Nel torrente, confluiscono due aste principali, la settentrionale lunga circa 3 km e quella occidentale di circa 2 km; dalla confluenza il torrente percorre circa 2 km in un vallone inciso sempre più profondamente nel cono di deiezione, prima di sfociare nell’Adda.

1. La genesi delle conoidi

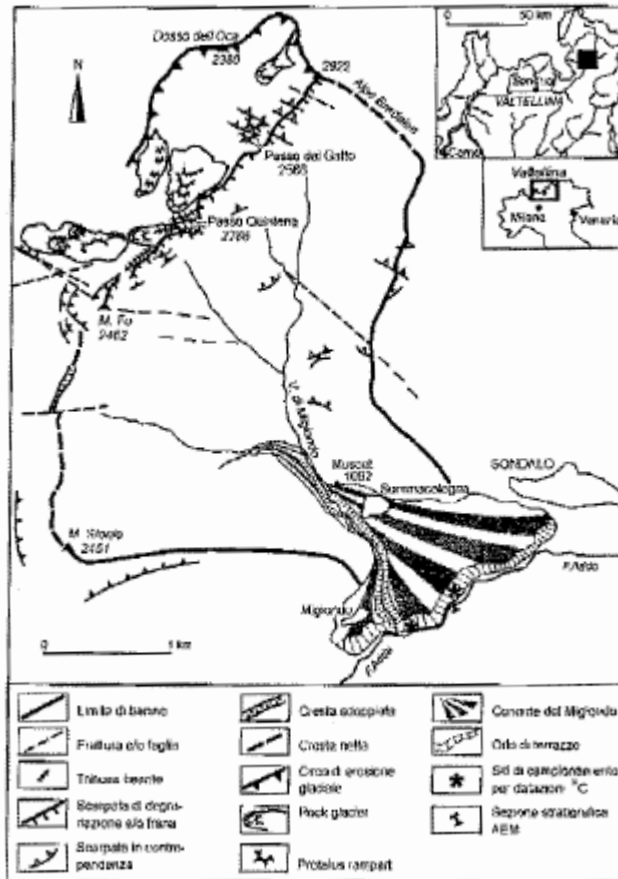


Figura 1-6 – Carta indice e schizzo geomorfologico della Valle di Migiondo e delle aree contigue (Sondalo, Valtellina), desunto da fotografie aeree e da osservazioni di terreno. Si notino la morfologia irregolare del cono di deiezione terrazzato, i numerosi indizi geomorfologici di deformazioni gravitative profonde di versante, i rock glaciers ed il circo glaciale troncato dalla scarpata di frana M. Fo – Alpe Brandalon, alla testata della V. di Migiondo.

Il cono del torrente della Valle di Migiondo appare singolare al confronto degli altri numerosi presenti nella valle, per le sue ampie dimensioni rispetto a quelle del bacino a monte, per l'alta scarpata che lo configura come una forma antica e soprattutto, per la natura dei depositi da cui è costituito, non attribuibili ad una dinamica puramente alluvionale.

Il rapporto tra la superficie del cono e quella del bacino a monte è pari a 0,2, un valore tra i più elevati in Valtellina, dove la superficie dei cono di deiezione è generalmente inferiore a 1/10 di quella del bacino alimentatore.

Lungo la scarpata, di oltre 50 metri d'altezza e completamente denudata a causa del franamento della Boscaccia, affiorano sedimenti di cui è possibile osservarne la natura, tra quota 860 m. e la sommità del cono, a quota 920 m. Si tratta di depositi detritici grossolani, in prevalenza a supporto di matrice (dinamicton); i clasti hanno dimensione dai ciottoli ai grossi blocchi, da angolari a subarrotondati, mentre la matrice è costituita da sabbia limosa. Questi sedimenti sono interpretabili come depositi di trasporto in massa per flusso detritico (debris flow). I depositi sopra esposti si appoggiano sopra un banco sabbioso – limoso di circa 2 metri di spessore. Al di sotto del livello sabbioso con ghiaia affiorano nuovamente, per qualche metro, depositi detritici grossolani con clasti subangolari (debris flow). Circa un centinaio di metri più a valle, è esposto un secondo affioramento dello spessore di 15 metri; è costituito da un dinamicton massivo, suddiviso

1. La genesi delle conoidi

obliquamente in due parti, separate da un livello di circa 60 cm di spessore di sabbia poco limosa. Per la presenza di clasti in prevalenza spigolosi e di grandi dimensioni, le bande oblique e gli indizi di fratturazione dei clasti, questo deposito viene interpretato come un accumulo di valanga di detrito.

Da quanto sopra esposto, possiamo concludere che il cono di deiezione terrazzato del torrente della Valle del Migiondo non si è formato per normale dinamica torrentizia ma per accumulo ad opera di processi di trasporto in massa. L'origine del cono per accumulo di frana e di colate detritiche può spiegare alcune delle sue peculiarità, quali la pendenza elevata nel tratto apicale, la forma fortemente insinuata nella valle da cui prende origine, la morfologia irregolare e le dimensioni rilevanti rispetto a quelle del bacino di origine. Se quindi tale cono si è formato per fenomeni di frana (valanga di detrito e colata detritica) rimane da accertare l'evidenza degli stessi fenomeni nel bacino a monte, tenendo presente che devono essersi verificate nell'Olocene inferiore e che le loro tracce più evidenti devono essere state successivamente occultate da altri processi e dalla vegetazione.

Sempre grazie allo studio di *M. Guglielmin e G. Orombelli (2001)* si viene a conoscenza dei fenomeni sviluppati nel bacino a monte.

La testata del bacino della Valle del Migiondo è interessata da fratture, trincee e scarpate, prodotte da deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV, di cui parleremo nel capitolo seguente). Queste strutture sono in prevalenza orientate verso NE-SW, ma sono presenti anche lineamenti trasversali NW-SE. Nella contigua Val di Quintena, tributaria sinistra della Val Grosina, appena al di là del crinale del bacino del Migiondo, sono presenti alcuni rock glaciers e campi di detriti grossolani, in larga parte attualmente privi di un'area di alimentazione e deformati dalle fratture, trincee e scarpate sopra descritte. Queste formazioni detritiche sono sovrapposte o annidate entro depositi glaciali attribuibili alle fasi terminali dell'ultima glaciazione. Se ne deduce che durante il Tardiglaciale si siano prodotti crolli a spese di pareti rocciose in parti oggi non più esistenti. Tali crolli potrebbero essere stati prodotti o controllati da fasi iniziali di DGPV; lungo superfici di DGPV si sarebbero poi prodotti maggiori crolli e scivolamenti sul versante del bacino della valle di Migiondo, che avrebbero in parte precipitato le pareti rocciose dominanti i rock glaciers. Analoga sorte per quanto riguarda il circo glaciale Dosso dell'Oca – Cima Rossa – vetta di Alpe Bredalon troncato dell'intera sua crosta meridionale. È possibile che a questa fase sia da collegarsi l'accumulo di frana (valanga di roccia) alla base del cono del Migiondo; successivi crolli si sarebbero poi evoluti in colate detritiche. Con questa interpretazione DGPV prodottesi durante l'ultima deglaciazione potrebbero aver contribuito, tramite crolli, all'alimentazione detritica grossolana dei rock glacier e la loro successiva evoluzione è da ritenersi dovuta a crolli/scivolamenti, produttivi di valanghe in roccia e di grandi colate detritiche.

In conclusione, accumuli siffatti, sproporzionati rispetto alle dimensioni del bacino di alimentazione, con morfologia irregolare e pendenza rilevante, possono essere la spia di eventi di tipo franoso prodottisi nel recente passato nel bacino. È noto che i cono con pendenze elevate sono comunemente alimentati da colate detritiche o trasporto in massa; è tuttavia chiaro che alla testata del bacino del Migiondo permane una situazione compromessa da fratture, trincee e contropendenze prossime alla linea del crinale, alla sommità di un versante dall'aspetto non assestato con una morfologia deformata e troncata da crolli.

1. La genesi delle conoidi

1.3.2. La conoide del Malser Haide

Dallo studio eseguito da D. Jarman, F. Arigliardi & G. B. Crosta datato 2011 è possibile apprendere le seguenti informazioni.

Il Malser Haide è considerato come la conoide alluvionale più grande in tutta la Catena Alpina, avente un volume stimato pari a 1650 Mm^3 (Penck&Brückner, 1909; Taylor 1940; Eisbacher&Clague, 1984). La sua area eccede quindi i 16 km^2 , si estende per una lunghezza di 11 km ed un'altezza massima di 900 metri. La conoide di Malser Haide occupa la maggior parte dell'alta Val Venosta e proviene piccola valle confinante di Plawenn, la quale ha un bacino di drenaggio di $8,3 \text{ km}^2$. Dal punto di entrata obliquo nell'alta Val Venosta, si apre a ventaglio formando una conoide piana distale (Sorriso-Valvo et al. 1998.) per arginare il piccolo Mare di Haider. Continua poi verso valle con una depressione ampia 1–2 km e una superficie più planare, fino alla confluenza con la Valle di Mustair a Glurns (910 m). La testata del cono retrocede più rapidamente di 3 km dentro la Valle di Plawenn (Fig. 1.6).

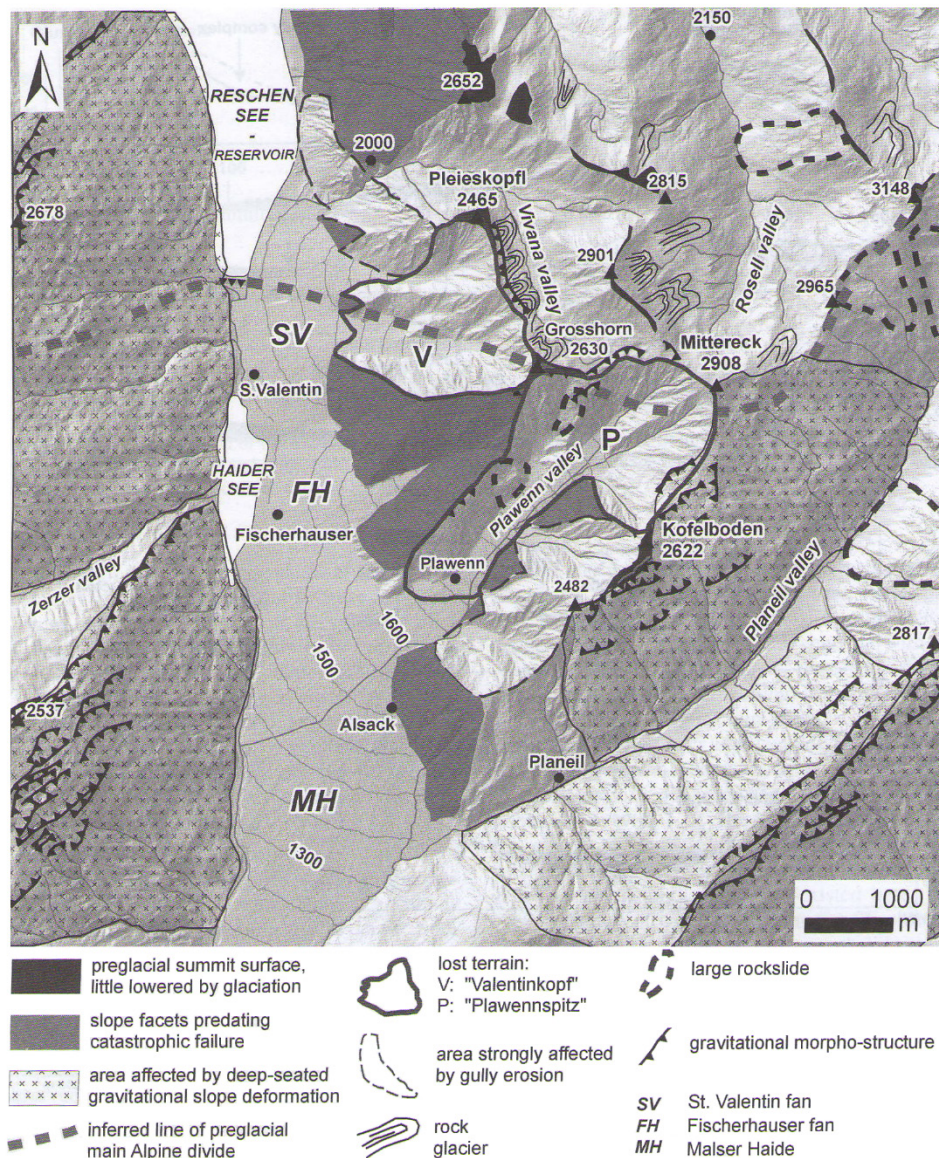


Figura 1-7 – Carta geomorfologica della mega-conoide di Malser Haide (Jarman et al., 2011)

1. La genesi delle conoidi

L'eccezionale lunghezza del Malser Haide è attribuibile al contesto topografico. Il profilo di pendenza del suo cono parte dal 16% per poi diminuire al 10-12% nella parte intermedia e passare al 7% nel tratto terminale; questo range di valori è tipico delle mega-conoidi alpine.

Eisbacher & Clague, 1984, hanno osservato che la conoide del Malser Haide deriva da un piccolo bacino; è alquanto improbabile che la piccola valle di Plawenn possa mobilitare, attraverso episodici debris flow, ingenti quantità di detriti tali da formare una mega-conoide. L'area intorno alla testata della valle infatti, presenta grandi anomalie morfostrutturali e segni di possibili collassi.

La possibilità dell'origine del Malser Haide da un movimento catastrofico di massa era stata notata precedentemente (Crosta & Zanchi, 2000). Fischer (1966) ha riconosciuto le sue grosse dimensioni ma, come tutte le altre conoidi della Val Venosta, attribuì la sua origine a numerosi eventi fluviali, includendo la deglaciazione e tempeste "catastrofiche". Ma nonostante tali coincidenze, tale origine non è plausibile.

L'origine catastrofica della conoide del Malser Haide rimane la più accreditata, e a supporto di tale tesi, è stata ricostruita la montagna che era presente sulla testata della Valle di Plawenn prima del suo collasso. La sua ricostruzione è stata ottenuta grazie ad una procedura iterativa che riconosce i confini tra il pre e il post collasso, e riesce a ricostruire ragionevolmente un proto-rilievo. La montagna ricostruita attraverso questa procedura, ha un'altezza pari a 3100 metri. La parte che è collassata è ubicata sopra la testata della Valle di Plawenn, ed ha uno spessore massimo di 700 metri. Il volume di tale massa è stato stimato essere di 1500 Mm³. Si assume che l'intera massa all'interno del bacino di Plawenn ha contribuito alla formazione della conoide del Malser Haide. Il volume della montagna ricostruita può essere considerato nel range tra 1000 e 1800 Mm³. La ricostruzione identifica anche l'esistenza di una seconda montagna sul lato ovest della valle di Viviana.

Il carattere di tali catastrofici collassi è condizionato dalla geometria iniziale, dal meccanismo di collasso, dal grado di fratturazione degli ammassi rocciosi e dalla debolezza delle rocce (Crosta *et al.*, 2009).

In conclusione, lo studio condotto da Jarman *et al.*, ha posto per la prima volta il problema dell'origine catastrofica, e non alluvionale o dovuta a colate detritiche, delle mega-conoidi sviluppatesi in valli glaciali. Sono state identificate un gruppo di conoidi anomale in Val Venosta la cui area non è per nulla proporzionata rispetto al bacino di provenienza. Tali mega-conoidi sono quindi il prodotto di uno o più eventi catastrofici verificatesi in passato.

1.4. Conclusioni

Alla luce di quanto sopra esposto possiamo concludere che la morfologia delle conoidi è controllata da diversi fattori, e come dimostrato da molti autori (Bull, 1962; Hooke, 1968; Kostaschuck *et al.*, 1986; Lecce, 1991; Harvey, 1992; Guglielmin e Orombelli, 2001; Jarman *et al.*, 2011), l'area delle conoidi alluvionali è correlata all'area del loro bacino di drenaggio da una relazione di potenza.

La relazione allometrica delle conoidi alluvionali paraglaciale può essere spiegata meglio dal fatto che i bacini più piccoli hanno già completato il ciclo di sedimentazione paraglaciale dopo le glaciazioni del Pleistocene. Di conseguenza, una grande quantità di sedimenti è stata trasportata durante la loro evoluzione post glaciale (Church and Slaymaker, 1989; Harbor and Warbuton, 1993; Ballantyne, 2002); al contrario, i bacini più ampi sono ancora in attività paraglaciale (Church and

1. La genesi delle conoidi

Slaymaker, 1989). Inoltre, per le conoidi fluviali, i bacini più grandi possono mobilitare una quantità d'acqua maggiore per trasportare ingenti quantità di sedimenti lungo la conoide, piuttosto che depositarli (Bull, 1962; Hooke and Rohrer, 1977); per le conoidi generate da colate detritiche invece, i bacini più piccoli sono solitamente più ripidi e producono flussi con minore energia e con un'area superficiale più grande dei bacini più ampi ma con pendenze più lievi (Kostaschuck et al., 1986).

Ciò che possiamo dedurre da quanto affermato sia da *Crosta & Frattini, 2002* che da *M. Guglielmin e G. Orombelli (2001)* e successivamente confermato da Jarman et al., 2011 riguarda le caratteristiche peculiari delle valli che presentano conoidi anomale. Tali valli, sono sicuramente glaciali e caratterizzate da un settore superiore molto stretto e ripido e da un settore inferiore più piano e ampio.

Un fattore che sembra avere una forte influenza sui processi di deposizione delle conoidi è la presenza, il tipo e lo stato di attività delle frane nei bacini di drenaggio. Le frane dipendono direttamente dalla morfologia e dall'energia, ma sono influenzate da altro fattore che non può non essere preso in considerazione ovvero lo scioglimento dei ghiacciai.

Le frane, le valanghe in roccia, la caduta di massi e le colate detritiche costituiscono sicuramente un elemento di fondamentale importanza nella formazione e successivo incremento delle mega-conoidi, ma la loro origine deriva sicuramente da un singolo evento catastrofico verificatosi in passato la cui ricostruzione fa presupporre l'esistenza di una montagna sulla testata della valle in questione.

1. La genesi delle conoidi

Capitolo 2

Inquadramento dell'area di studio

2.1. Inquadramento geografico

L'area oggetto del presente studio è ubicata nel Nord Italia, lungo l'arco alpino e più precisamente si trova in Valtellina (SO), una vallata che si sviluppa per un'area di 3212 km², lunga 120 km, con andamento ovest-est, lungo quale si immettono diverse valli laterali, talvolta mediante conoidi di notevoli dimensioni.

La Valtellina tocca a est il Trentino Alto-Adige con le provincie autonome di Bolzano e Trento, a sud le Provincie di Brescia e, in minima parte, di Bergamo, a Nord la Confederazione Elvetica (Cantone dei Grigioni), ed infine a Ovest la Provincia di Lecco (fig. 2.1).

In particolare, l'area oggetto di studio si identifica con il bacino del Torrente Valchiosa, tributario di sinistra del Fiume Adda, che solca le Alpi Retiche con una orientazione SSE-NNO e che rappresenta il confine tra i Comuni di Sernio e Tirano (Carta escursionistica in fig. 2.2 e foto reale in fig. 2.3).



Figura 2-1 – Ubicazione della Valtellina, Regione Lombardia, Nord Italia..

2. Inquadramento dell'area di studio

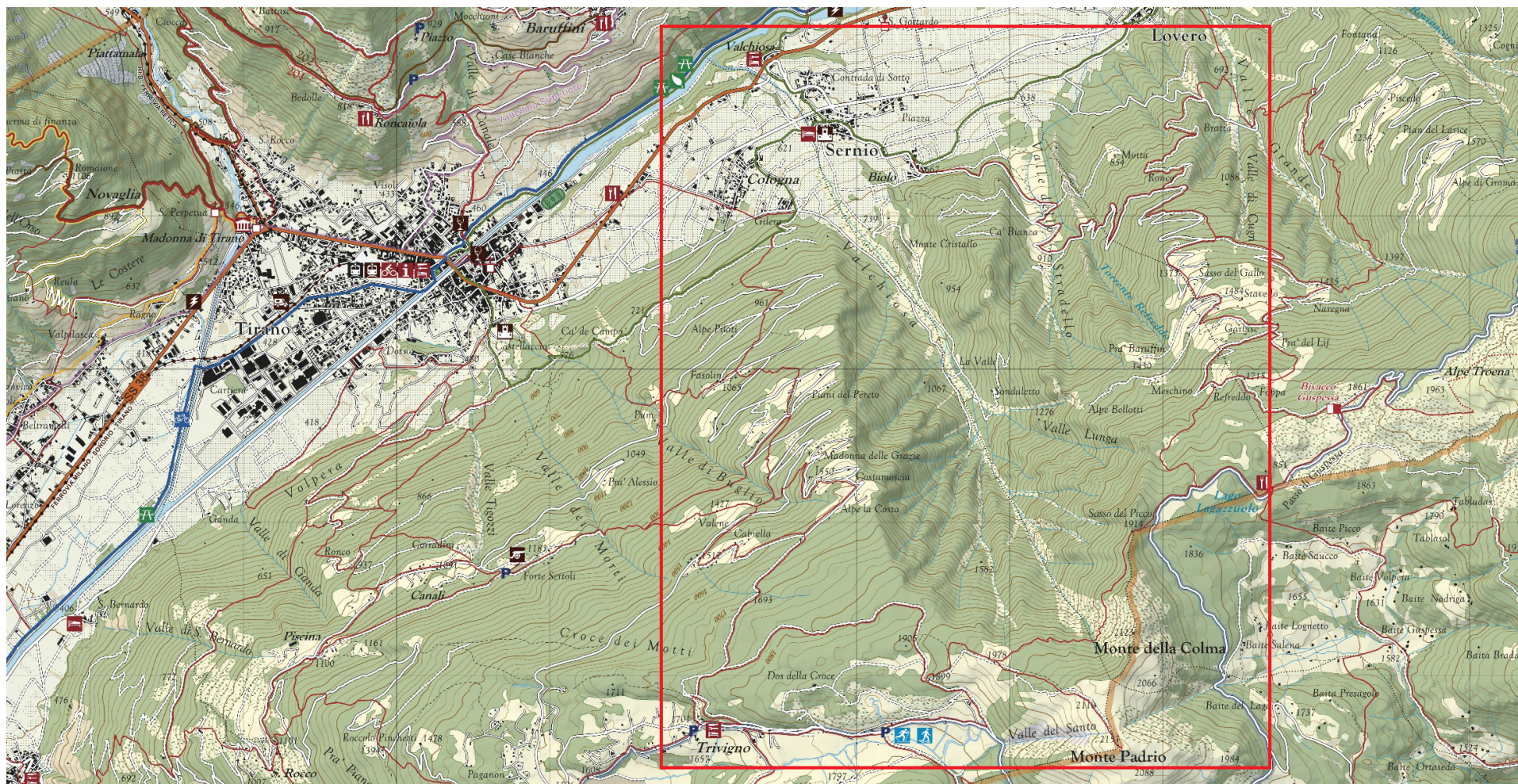


Figura 2-2 – Ubicazione del Bacino della Valchiosa (riquadro rosso).

2. Inquadramento dell'area di studio



Figura 2-3 – Vista del Bacino della Valchiosa dalla nicchia: in lontananza si possono notare il Paese di Sernio ed il relativo lago.

2. Inquadramento dell'area di studio

2.2. Assetto tettonico-strutturale

La Valtellina è impostata sulla Linea Insubrica (Fig. 2.4), un sistema di faglie che segnano la saldatura tra la Placca Indo-Europea e la Placca Adriatica. Separa quindi le Alpi Centro-orientali (Alpi Retiche occidentali) dalle Alpi Sud-orientali (Alpi e Prealpi Bergamasche e Alpi Orobie).

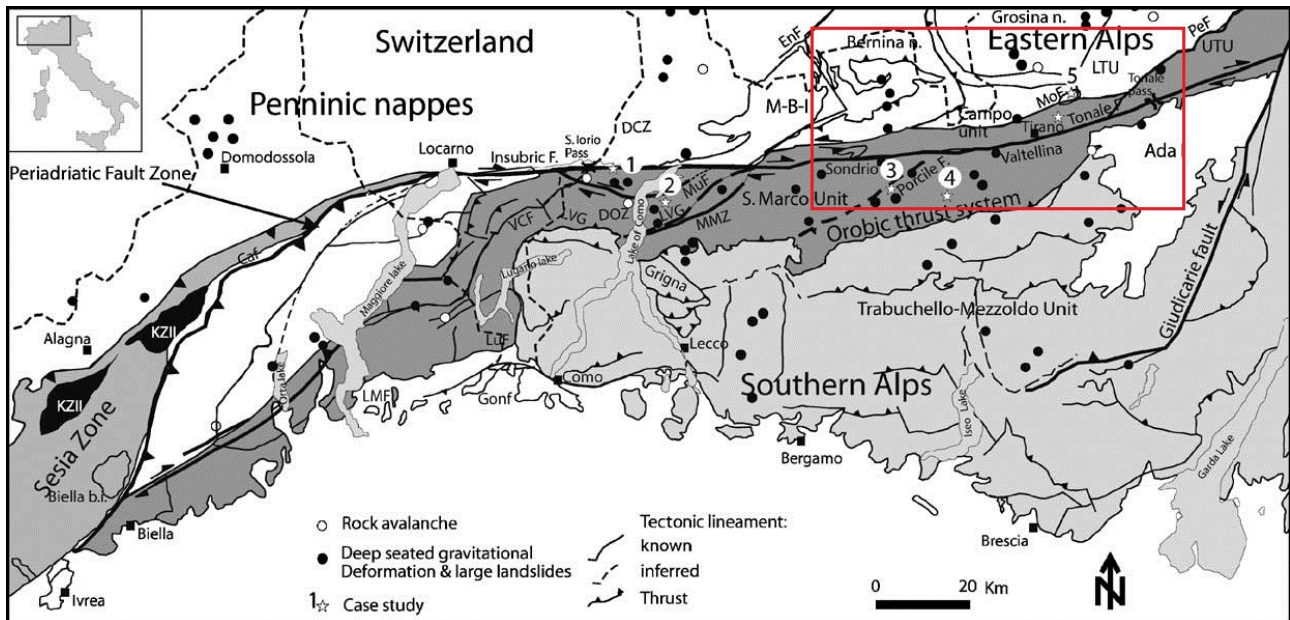


Figura 2-4 – Mappa tettonica delle Alpi Centrali Italiane; si nota la Linea Insubrica (Periadriatic Fault Zone), i maggiori lineamenti tettonici e le più grandi frane, indicate da un puntino nero; nel riquadro rosso è ubicata la zona di nostro interesse. (“Large sackung along major tectonic features in Central Italian Alps” [C. Ambrosi, G. B. Crosta, 2006])

Tale linea non è costituita da un'unica superficie di movimento, ma da un denso fascio di piani di movimento subparalleli, orientati grosso modo in direzione est-ovest, che delimitano una zona in cui le rocce hanno subito una frantumazione molto spinta. Linee secondarie, interessano, anche a distanza di chilometri, le rocce ai due lati della Linea Insubrica.

La zona di interesse, rappresentata dal Bacino del Torrente Valchiosa (riquadro rosso in figura 2.3), occupa il settore centro-orientale della Linea Insubrica, ed è racchiusa nel complesso delle Austridi o Austroalpino, che più precisamente del Sistema di Languard-Tonale (Austroalpino Superiore), (G. Bonsignore, A. Montrasio, U. Ragni, 1971).

L'edificio strutturale Austroalpino è schematicamente definito da un'ampia “anticlinale valtellinese”, diretta all'incirca ONO-ESE e pressochè parallela alla Linea del Tonale. Sul versante sinistro della Valtellina – fianco meridionale della piega - prevalgono immersioni a S e a SSE, con valori di inclinazione molto accentuati; sul versante destro valtellinese prevalgono, invece giaciture verso N e NNO – fianco settentrionale della piega-. Questa struttura d'insieme è, in realtà mascherata quasi ovunque da disturbo locale e numerose complicazioni.

Il sistema di Languard-Tonale (Bonsignore, U. Ragni, 1971) è rappresentato dal Cristallino di Tirano (schema tettonico in figura 2.5) a sua volta suddiviso in Cristallino del Tonale (Formazione della Punta di Pietra Rossa) e Cristallino di Languard (Anfiboliti gabbriche del Motto della Scala, Gneiss del Monte Tonale, Micascisti della Cima Rovaia). Le formazioni appena nominate verranno discusse nel paragrafo seguente.

2. Inquadramento dell'area di studio

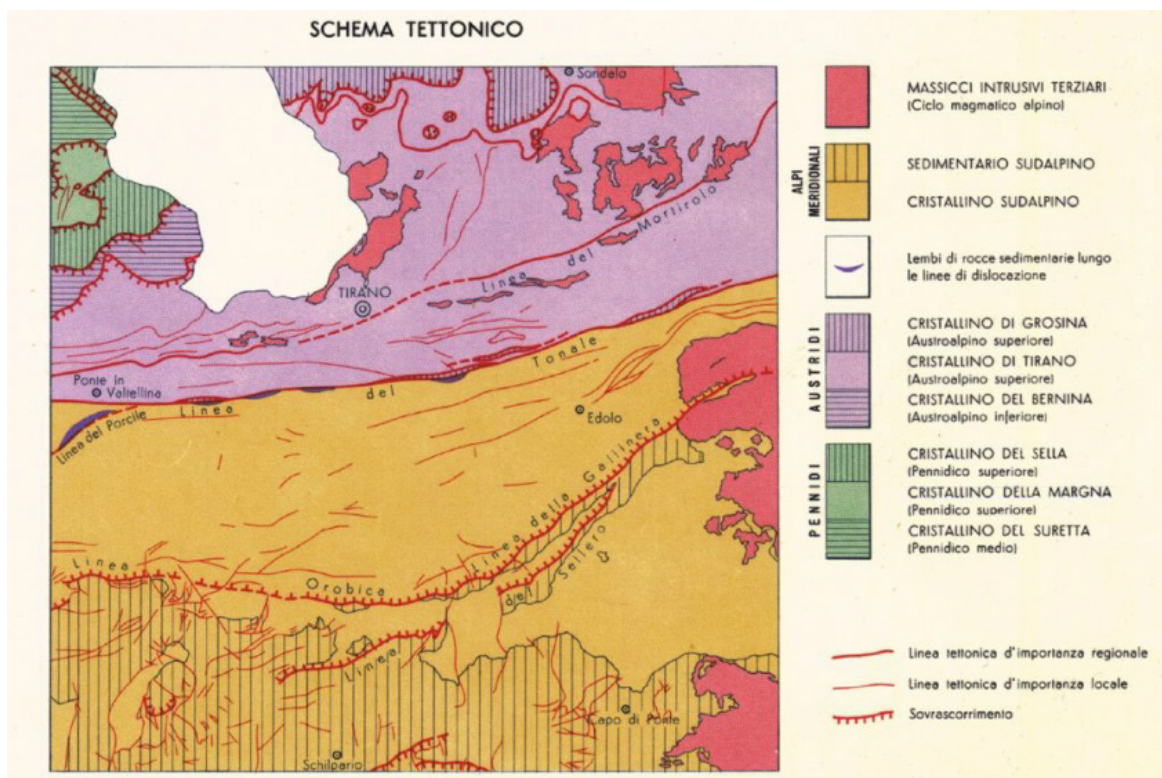


Figura 2-5 – Schema tettonico e geologico: la zona in esame è compresa tra i 2 lineamenti tettonici (Linea del Mortirolo e Linea del Tonale). [Schema tettonico contenuto nel Foglio Geologico 19 di Tirano della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100000]

I due principali elementi di tale sistema (Cristallino di Languard e Cristallino del Tonale) sono separati da un lineamento secondario, la Linea del Mortirolo (figura 2.6). Tale linea, che decorre in direzione grosso modo est-ovest, è ubicata leggermente più a Nord della Linea del Tonale, e delimita assieme a quest'ultima, il bacino del Torrente Valchiosa, che rappresenta l'area di rilievo.

2. Inquadramento dell'area di studio

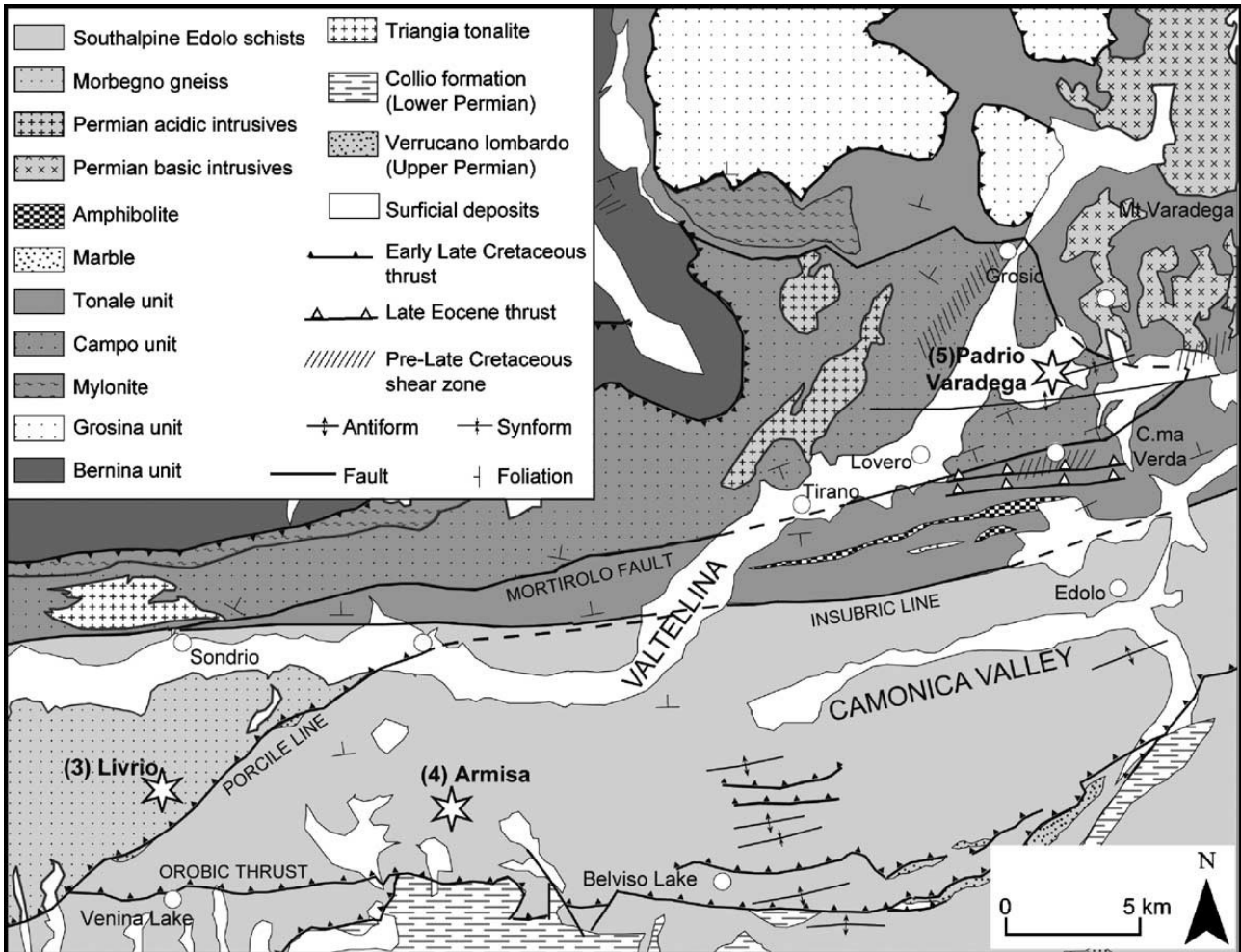


Figura 2-6 – Mappa tettonica e geologica delle Media Valtellina; sono evidenziate: Linea Insubrica (o del Tonale), Linea del Mortirolo ed i maggiori movimenti gravitazionali, contrassegnati da un numero e da una stella. (“Large sacking along major tectonic features in Central Italian Alps” [C. Ambrosi, G. B. Crosta, 2006])

2.3. Inquadramento geologico

La bibliografia geologica² riguardante l'area compresa nel Foglio “Tirano” (facente parte della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100000) è relativamente ricca, anche se si tratta quasi sempre di studi di carattere locale.

Nello stralcio del Foglio Geologico di “Tirano” che si visualizza nella figura 2.7 sottostante è stato evidenziato un riquadro rosso raffigurante la zona di interesse, ovvero il Bacino del Torrente Valchiosa.

²[G. Liborio, A. Montrasio, A. Mottana, 1971]

2. Inquadramento dell'area di studio

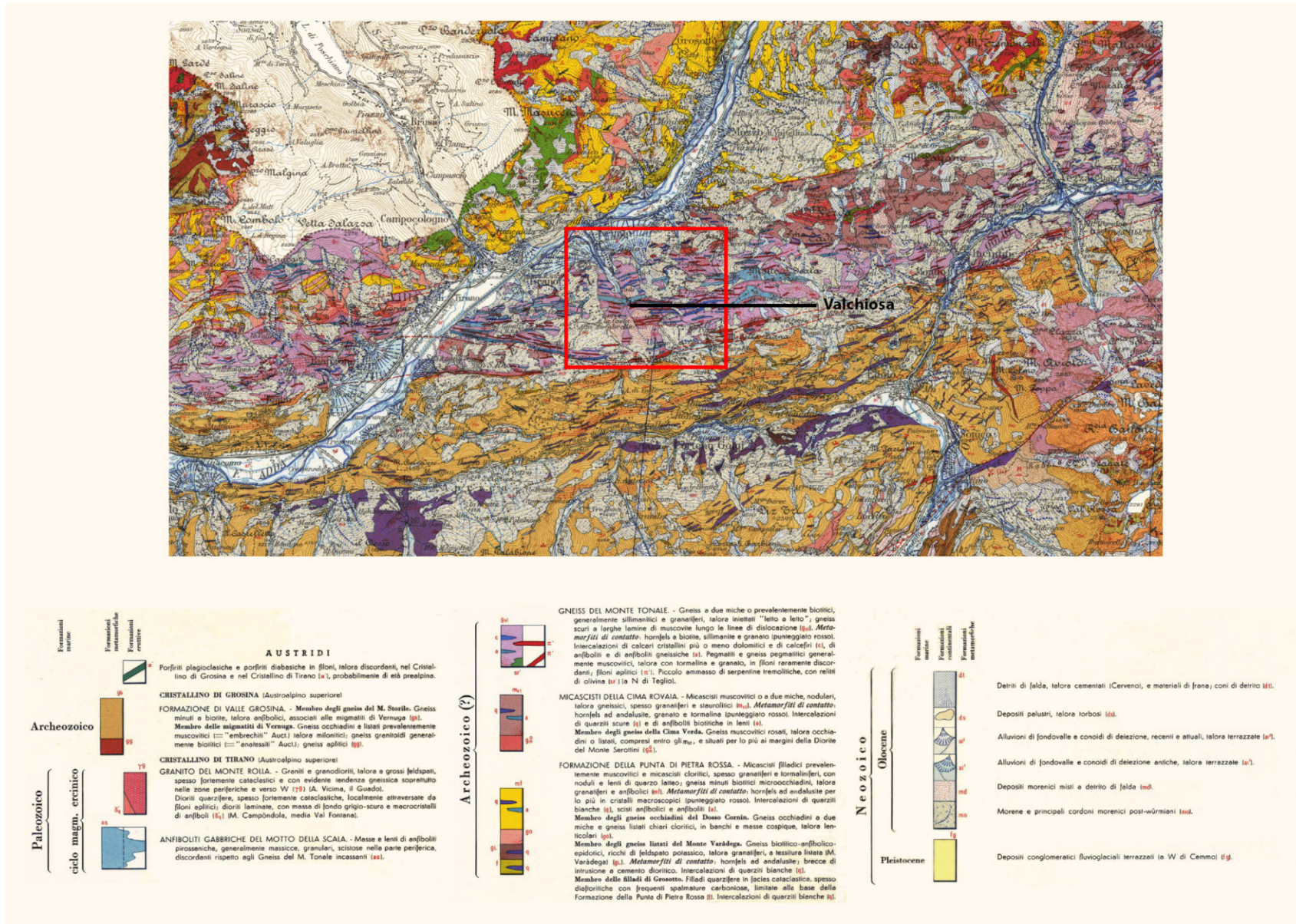


Figura 2-7 – Stralcio del Foglio Geologico 19 di Tirano (Carta Geologica d'Italia, scala 1:100000); il riquadro rosso evidenzia la Valchiosa.

2.3.1. Caratteristiche litologiche del substrato roccioso

Il substrato roccioso è rappresentato, come già detto nel paragrafo 2.2 sullo schema tettonico, dal sistema di Languard-Tonale. La Linea del Mortirolo suddivide tale sistema in Cristallino di Languard e Cristallino del Tonale; quest'ultimo rappresenta l'area di nostro interesse.

I contatti tra le formazioni del bacino del Torrente Valchiosa non sono di tipo tettonico; il limite inferiore degli Gneiss del Monte Tonale si manifesta infatti per graduali transizioni petrografiche con i Micascisti della Cima Rovaia e le Anfiboliti del Motto della Scala costituiscono lenti sviluppate all'incirca parallelamente al decorso della linea del Tonale.

Nei seguenti paragrafi si illustrano le formazioni presenti nell'area in esame.

2.3.1.1. Formazioni metamorfiche appartenenti al Cristallino di Languard

Formazione della Punta di Pietra Rossa: *micascisti muscovitico-cloritici, gneiss minuti biotico-anfibolitici, con intercalazioni di quarziti e di scisti anfibolitici. (Archeozoico). (G. Bonisignore, U. Ragni)*

La formazione interessa il settore settentrionale del foglio e raggruppa in se una vasta gamma di rocce che rispecchiano le condizioni di diverso ambiente metamorfico. Nell'ambito della formazione sono stati distinti: il *Membro degli gneiss occhadini del Dosso Coronin*, il *Membro degli gneiss listati del m. Varadega* ed il *Membro delle filladi di Grosotto*.

Formazione della Valle Grosina:

- Membro degli Gneiss del M. Storile: *gneiss minuti a biotite, talora anfibolitici, associati alle migmatiti di Vernuga.*
- Membro delle migmatiti Vernuga: *gneiss occhadini e listati prevalentemente muscovitici talora milonitici; gneiss granitoidi generalmente biotitici; gneiss aplitici. (Archeozoico). (G. Bonisignore, U. Ragni)*

La Formazione di Valle Grosina occupa principalmente il settore occidentale del foglio ed è costituita da una vasta gamma di diversi litotipi, ma conserva tra le altre formazioni una sua individualità, poiché rappresenta nell'insieme un elemento tettonico ben distinto (Cristallino di Grosina del Sistema di Scarl-Umbrail).

I rapporti della Formazione di Valle Grosina con le altre formazioni adiacenti sono di natura tettonica; essa sovrascorre gli Gneiss del Monte Tonale (Appartenenti al Cristallino del Tonale del quali parleremo nel paragrafo seguente), secondo una superficie la cui traccia decorre su entrambi i versanti della Valle Grosina.

2.3.1.2. Formazioni metamorfiche appartenenti al Cristallino del Tonale

Formazione degli Gneiss del Monte Tonale: *gneiss a due miche o prevalentemente biotici, generalmente sillimantivi e granitiferi, talora iniettati "letto a letto": gneiss scuri a larghe lamine di muscovite lungo le linee di dislocazione. Metamorfiti di contatto: hornfels a biotite, sillimatite e granato (punteggiato rosso). Intercalazioni di calcari cristallini, di calcefiri, di anfiboliti e di anfiboliti gneissiche. (Archeozoico). (G. Bonisignore, U. Ragni).*

2. Inquadramento dell'area di studio

La formazione degli Gneiss del Monte Tonale (T. Da Prada, 2004) interessa quasi tutto il bacino del Torrente Valchiosa ed è costituita prevalentemente da gneiss e micascisti a due miche. Lungo la Linea del Tonale e lungo le principali dislocazioni, si osservano gneiss milonitici scuri o rossastri con caratteristiche lamine di muscovite sulle superfici di scistosità.

Ovunque diffuse nella formazione risultano le intercalazioni lenticolari di anfiboliti e anfiboliti gneissiche, spesso associate a calcari, calcari dolomitici cristallini e calcefiri, mentre più rare sono le lenti di quarziti micacee.

Nel settore meridionale il limite inferiore della formazione si manifesta per graduali transizioni petrografiche con i Micascisti della Cima Rovaia; nel settore settentrionale (Valle Grosina) gli Gneiss del Monte Tonale sovrastano tettonicamente la Formazione della Punta di Pietra Rossa.

Formazione dei Micascisti della Cima Rovaia: *micascisti muscovitici o a due miche, nodulari, talora gneissici, spesso granitiferi. Metamorfiti di contatto: hornfels ad andalusite, granato e tormalina (punteggiato rosso). Intercalazioni di quarziti scure e di anfiboliti biotiche in lenti. (G. Bonisignore, U. Ragni).*

I Micascisti della Cima Rovaia (T. Da Prada, 2004) costituiscono il bedrock al di sotto del conoide di deiezione del Torrente Valchiosa ed affiorano solo in isolati lembi nelle porzioni di versante in prossimità dell'apice dello stesso.

Il tipo petrografico medio più diffuso è rappresentato da un micascisto nodulare, talora gneissico, muscovitico o a due miche (roccia a grana medio-fine, colore grigio in massa, da mediamente a molto scistosa).

Molto frequenti sono infine le intercalazioni in lenti concordanti di anfiboliti biotiche e granatifere e di quarziti micacee grigio scure, dovute a locali concentrazioni di calcare.

2.3.1.3. Formazioni erusive appartenenti al Cristallino del Tonale

Anfiboliti del Motto della Scala: *anfiboliti gabbriche, generalmente pirosseniche in masse e lenti. (Ciclo magmatico). (G. Bonisignore, U. Ragni).*

Nel settore centro settentrionale del foglio, poco a sud di Tirano e, più a Est in prossimità di Alpe Valchiosa, vengono a giorno masse di rocce anfibolitiche, con colorazione grigio-verdastra fino a verde-scura. Esse costituiscono corpi a giacitura lenticolare che si sviluppano per lo più in direzione E-O, all'incirca parallelamente al decorso della Linea del Tonale. Il contatto con gli Gneiss del Monte Tonale si manifesta bruscamente.

Il componente essenziale della roccia è rappresentato dall'anfibolo, cui segue per diffusione il plagioclasio; la tessitura, è più massiccia al nucleo degli ammassi, mentre diviene più scistosa verso le zone periferiche.

2.3.1.4. Depositi sciolti di copertura

Si tratta di depositi sciolti quaternari che ricoprono il substrato roccioso (I. Dieni, A. Montrasio, 1971).

Il loro spessore è generalmente piuttosto ridotto (da qualche metro a qualche decina di metri) ma può raggiungere valori considerevoli nei fondivalle delle incisioni principali ed in particolare in corrispondenza degli sbocchi delle valli laterali dove i corsi minori hanno costruito conoidi di deiezione talora imponenti.

2. Inquadramento dell'area di studio

Detriti di falda, materiali di frana e coni di detrito: sono prodotti della disgregazione meccanica delle rocce e si concentrano alla base dei versanti più ripidi. Questi depositi sono spesso legati a fattori litologici e tettonici. Le rocce più soggette a fenomeni franosi sono le rocce eruttive, gneissiche e calcareo-dolomitiche. I depositi detritici sono diffusi ovunque ma le coperture più estese sono localizzate attorno al M Masuccio.

Depositi alluvionali: ricoprono i fondovalle sia delle incisioni vallive principali che di quelle secondarie e formano i conoidi allo sbocco delle valli stesse; vanno riferiti all'azione di trasporto e deposito dei corsi d'acqua, responsabili dell'intensa attività erosiva post-glaciale. Si riconoscono due tipi di depositi: le alluvioni antiche e le alluvioni recenti e attuali; la distinzione tra le due è basata quasi esclusivamente su criteri morfologici. Le prime sono limitate al tratto compreso tra Sondalo e Tirano, dove esse costituiscono un sistema discontinuo di terrazzi sui due lati della valle; sono da considerare alluvioni antiche anche quelle conoidi alluvionali che risultano limitate da una scarpata sulle alluvioni recenti ed attuali.

La composizione litologica delle alluvioni di fondovalle consiste nell'alternanza di lenti di ghiaie più o meno grossolane e di sabbie, con qualche intercalazione di limi e argille.

Allo sbocco degli affluenti nelle valli principali si estendono conoidi sedimentari fra i quali vanno segnalati gli apparati di Ponte in Valtellina, di Sernio (a valle del Bacino Valchiosa) e di Sondalo, caratterizzati da dimensioni imponenti, cui fa riscontro un decorso torrentizio di limitato sviluppo lineare ed areale (nel caso di nostro interesse rappresentato dal Torrente Valchiosa).

Le tracce lasciate dai ghiacciai nella zona di interesse sono rilevanti in particolare per l'abbondanza dei depositi glaciali. Tali depositi ricoprono aree molto estese; sul fianco sinistro della Valtellina si osservano estese placche di till (Est di Mazzo di Valtellina, Sud-Est di Tirano). Tali placche, che in origine dovevano presentare maggiore continuità, si estendono fino a oltre 2000 metri di altitudine.

2.4. Inquadramento geomorfologico

La morfologia generale del bacino del Torrente Valchiosa³ è legata alla formazione di un ampio conoide di deiezione quasi sicuramente post glaciale (Fig 2.9 e 2.9 riquadro rosso).



Figura 2-8 – Conoide di deiezione del Bacino della Valchiosa, visto dall'alto.

Grazie allo studio condotto dalla geologa *T. Da Prada, 2004* si viene a conoscenza di informazioni più dettagliate sulla conoide del suddetto bacino. Il cono presenta una lunghezza di circa 3,5 km, dall'apice (ad una quota di 1050 m. s.l.m.) sino al piede (quota 489 m. s.l.m.) ed una pendenza media del 7% circa.

³ Come studiato sia da A. Montrasio nelle Note Illustrative alla Carte Geologica d'Italia nel foglio di "Tirano", 1971 che in seguito nello progetto "Interventi di difesa idrogeologica nel Bacino del Torrente Valchiosa, 2004" a cura della Dott. Geol. T. Da Prada.

2. Inquadramento dell'area di studio

Nell'area di conoide, il grado di incisione del corso d'acqua appare vario, ma mediamente inferiore rispetto alla porzione superiore del bacino, mentre nella parte medio terminale, in corrispondenza della confluenza con il Fiume Adda, si registrano profonde erosioni verificatesi in passato.

Nel tratto intermedio, la Valchiosa appare ampia e colmata da depositi che passano senza soluzione di continuità al cono vero e proprio.

Infine, la testata della valle è per la sua quasi totalità caratterizzata da un'estesa nicchia di frana. Scarpate e contropendenze modellano entrambi i versanti dell'alto bacino del Torrente Valchiosa nonché la sua testata, legate a fenomeni di deformazione gravitativa di versante.

I processi di deformazione gravitativa profonda sono tra i processi geologici che risultano attualmente in atto e consistono in movimenti del versante profondi e arealmente estesi, ma di limitata entità (pochi mm anche in più anni), che si verificano su diversi piani. Essi danno luogo ad evidenze morfologiche (ad esempio: presenza di doppie creste, scarpate e contropendenze) e in alcuni casi possono evolvere in frane vere e proprie.

Le deformazioni interessano sia l'ammasso roccioso che i depositi glaciali a diverse profondità: le geometrie dei corpi deformati suggeriscono che le DGPV siano state attive non soltanto durante l'ultima fase di ritiro glaciale o posteriormente ad essa, ma anche in epoca precedente. Il profilo sismico a riflessione nella zona di Teglio – Valgella suggerisce che le suddette deformazioni sembrano continuare tutt'ora, testimoniati dalla riattivazione postglaciale di fratture e trincee da rilascio (*Bini et alii, 2001; Forcella, 1983, 1984*).

Alle DGPV è probabilmente da ascrivere l'intensità dei processi gravitativi superficiali, che determinano scollamenti e colamenti della copertura quaternaria sul substrato. L'intensità e la pervasività delle manifestazioni legate alle DGPV costituiscono il tratto più caratteristico dell'evoluzione attuale dei versanti di quest'area. Le cause dell'intensità di tali fenomeni sono sia di natura litologica che, soprattutto, tettonico-strutturale, in quanto le strutture del lineamento Insubrico e della Linea del Mortirolo, attraversano la Valtellina proprio nell'area di nostro interesse.

In figura 2.9 è rappresentata la grossa DGPV che interessa l'intera sponda orientale della Valchiosa fino al Monte Varadega coprendo un'area maggiore di 30km². Essa è quindi ubicata nella zona sud-est della Valtellina, tra Tirano e Grosio, lungo la linea Insubrica.

2. Inquadramento dell'area di studio

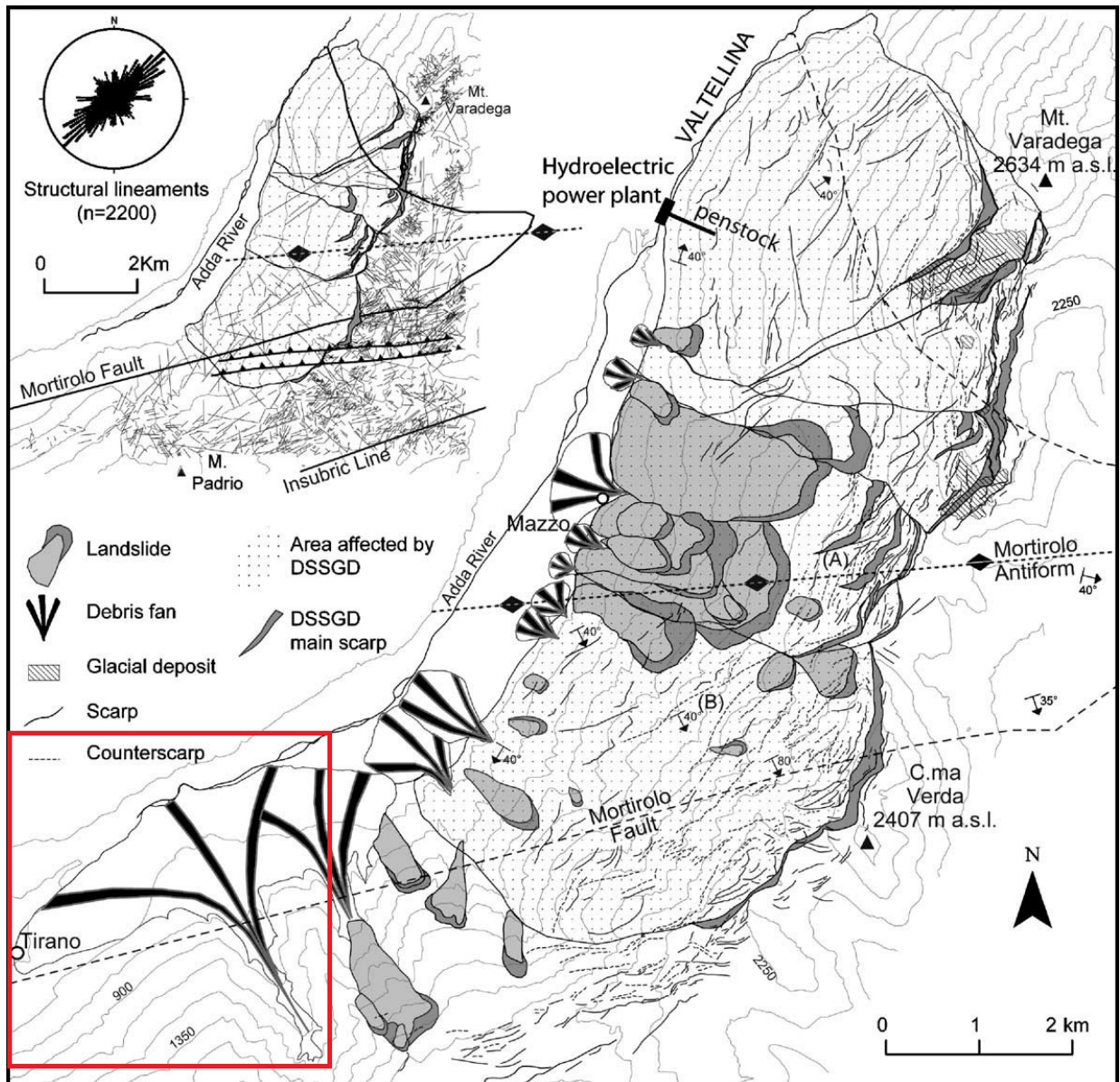


Figura 2-9 – Carta geomorfologica dell'area Mt. Padrio – C. ma Verda – Mt. Varadega. Lo stereogramma in alto a sinistra mostra l'orientazione dei lineamenti strutturali; i maggiori lineamenti e strutture tettoniche sono evidenziate nella mappa in alto a sinistra. ("Large sackung along major tectonic features in Central Italian Alps" [C. Ambrosi, G. B. Crosta, 2006])

La zona è strutturalmente complessa, in quanto la linea Insubrica si accosta quasi parallelamente alla Linea del Mortirolo. Mt Varadega e Cima Verda sono ubicati lungo la cerniera della "Mortirolo Antiform". Le analisi statistiche di più di 2200 lineamenti (C. Ambrosi, G. B. Crosta, 2006) misurati con fotografie aeree mostrano che le strutture dominanti nella parte sud dell'area di studio hanno un trend verso nord-est, parallelo alla Linea Insubrica. Le caratteristiche dominanti del trend nord-est nella parte nord dell'area sono invece parallele alla Linea del Mortirolo. Le strutture più evidenti si trovano lungo la dorsale nord-est tra Cima Verda e Mt. Varadega.

2.5. Idrologia ed idrogeologia

Il Torrente Valchiosa, che solca in parte l'omonimo bacino con direzione SSE-NNW, rappresenta un affluente di sinistra del Fiume Adda.

Grazie al progetto *"Interventi di Difesa Idrogeologica nel Bacino del Torrente Valchiosa, 2004"* redatto dalla geologa T. Da Prada si viene a conoscenza di informazioni più dettagliate riguardo al Torrente Valchiosa.

Il suddetto torrente presenta un bacino di alimentazione di circa 5 km² con una lunghezza dell'asta principale di poco inferiore a 5 km ed un perimetro di 11 km. La quota massima del bacino è pari ai 2143 m s.l.m. del Monte della Colma, alle pendici settentrionali del quale prende origine il corso d'acqua che confluisce in Adda a circa 460 m. s.l.m.

La sua pendenza media è del 33% anche se le pendenze sono molto variabili nei diversi tratti del corso d'acqua.

Dal punto di vista idrologico il Torrente Valchiosa è caratterizzato da portate estremamente variabili, sia temporalmente che arealmente.

Lungo il percorso del corso d'acqua si hanno situazioni differenti a seconda dei tratti considerati: sino all'apice del conoide si osserva infatti un deflusso pressochè costante sebbene variabile mentre dall'apice alla chiesa di Sernio l'alveo appare praticamente asciutto per la maggior parte dell'anno e si hanno solo tracce di una debole e periodica circolazione idrica, che ricompare poco a monte dell'intersezione con la strada statale dello Stelvio e si mantiene fino alla confluenza in Adda.

Le esigue portate che caratterizzano il Torrente Valchiosa derivano in parte dai prelievi di acqua a scopo irriguo, in parte dall'infiltrazione negli accumuli di depositi sciolti permeabili che occupano l'alveo della Valchiosa ed in primis dalle esigue dimensioni dell'omonimo bacino.

Capitolo 3

Il rilievo geomeccanico

Per caratterizzare un ammasso roccioso a comportamento rigido dal punto di vista meccanico è necessario eseguire una serie di operazioni che, nel loro insieme, costituiscono il rilievo geomeccanico.

Di seguito vengono esposte le operazioni effettuate per il rilievo geomeccanico, a partire dalla scelta dell'area su cui effettuare le misure, fino a giungere alla sintesi ed elaborazione dei risultati ottenuti.

I dati ricavati vengono utilizzati per la determinazione della classe dell'ammasso roccioso studiato, al fine di individuarne qualitativamente le caratteristiche meccaniche attraverso le classificazioni Rock Mass Rating (RMR, Bieniawski, 1973) (1973), Geological Strength Index (GSI, Hoek&Marinos, 2000) e il criterio di rottura di Hoek&Brown (2002).

3.1. Scelta dell'area di rilievo

Nel caso in esame, l'area considerata è rappresentata dal bacino del Torrente Valchiosa.

Il rilievo si è svolto considerando le rocce affioranti lungo tutto il bacino con particolare attenzione alla zona di nicchia.

Sono state percorse tutte le strade ed i sentieri transitabili del suddetto bacino, non senza riscontrare difficoltà nel rilievo in quanto, spesso gli affioramenti erano di piccole dimensioni, coperti da deposito glaciale oppure non semplici da raggiungere. Per caratterizzare omogeneamente l'area si è scelto quindi di considerare anche piccoli affioramenti purchè significativi.

In figura 3.1 è rappresentata l'area di rilievo con i relativi affioramenti analizzati.

3. Il rilievo geomeccanico

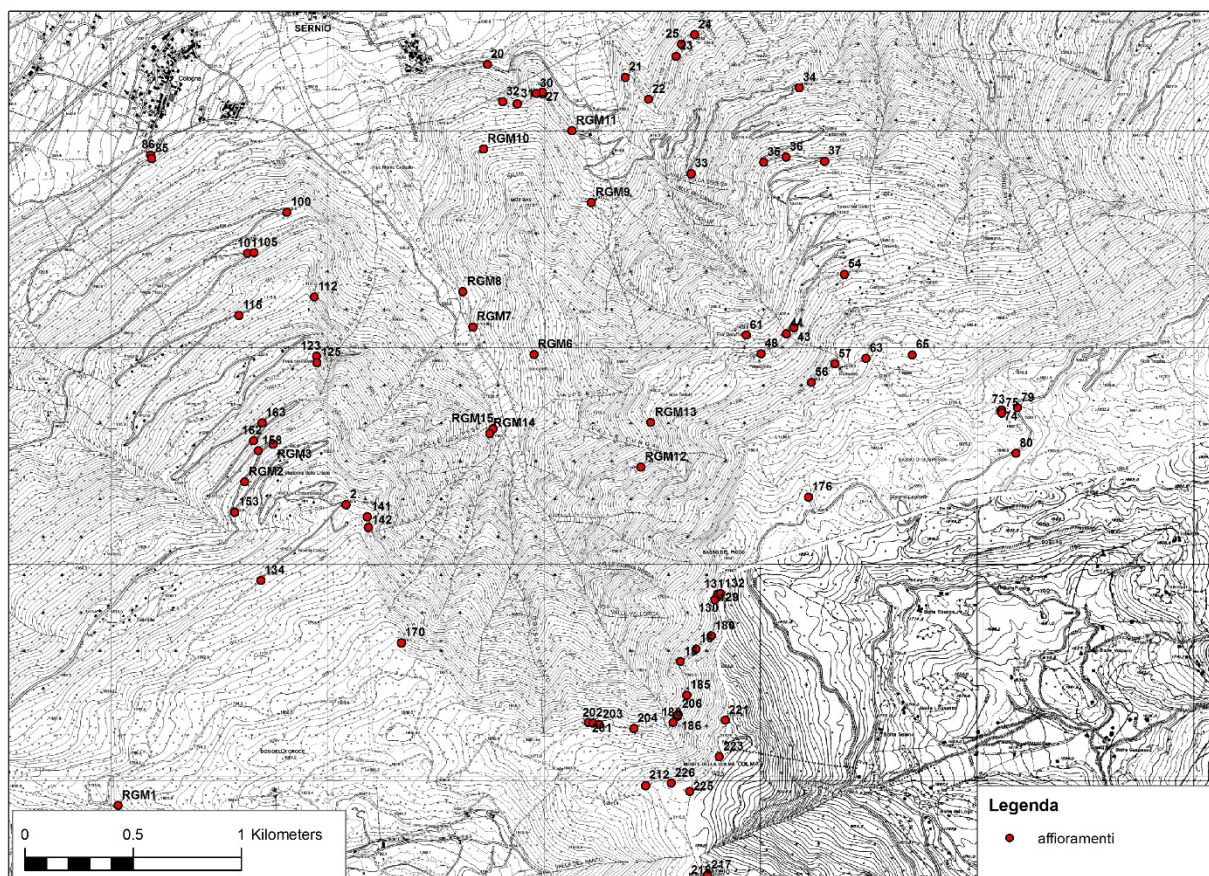


Figura 3-1 – Affioramenti sui quali si è eseguito il rilievo.

È possibile notare come gli affioramenti tendano a diminuire sul lato destro della zona di nicchia; ciò è dovuto principalmente all'inaccessibilità di tale zona.

Gli affioramenti contrassegnati con la dicitura RGM rappresentano quelli in cui è stato possibile eseguire un rilievo completo come spiegheremo nel paragrafo seguente; per gli altri invece, contrassegnati solo da un numero, sono state acquisite le informazioni principali, ovvero giaciture, faglie, il Volume Roccioso Unitario (VRU) medio e solo in alcuni casi spaziatura ed intercetta.

3.2. Operazioni di rilievo

Come detto pocanzi, sono stati effettuati rilievi geomeccanici per 13 affioramenti (codificati con la sigla RGM). Per tutti gli altri affioramenti sono state rilevate l'orientazione delle discontinuità e delle faglie, la litologia, il VRU medio e ove possibile l'alterazione.

Inoltre, ogni affioramento è stato fotografato, per permettere di effettuare a posteriori la classificazione GSI. (par. 4.2).

Qui di seguito verranno discusse le operazioni effettuate per l'esecuzione del rilievo geomeccanico completo.

3.2.1. Descrizione geologica e petrografica dell'ammasso roccioso.

Sono state descritte per tutti gli affioramenti la struttura (pieghe, faglie), lo stato di alterazione dell'ammasso roccioso e tutto quanto può servire per un inquadramento più generale (nome formazionale, litologia, particolari strutture sedimentarie, ecc.).

Le informazioni dettagliate per ciascun affioramento sono riportate nelle schede in Appendice 1.

3.2.2. Operazioni riguardanti le discontinuità

Giacitura:

In funzione della complessità strutturale dell'ammasso roccioso è necessario effettuare un certo numero di misure di immersione e inclinazione delle famiglie di discontinuità presenti. Il numero di misure da effettuare dovrà essere in funzione del grado di fratturazione dell'ammasso e dell'estensione areale dell'affioramento.

Sono state acquisite sempre 10 misure di giaciture per ogni famiglia di discontinuità di ciascun affioramento, tranne in corrispondenza di limitate superfici affioranti, ove non è stato possibile prendere 10 giaciture.

Inoltre, per una completa caratterizzazione delle struttura sono stati acquisite le giaciture delle faglie.

L'orientazione dei piani di discontinuità delle famiglie è stata rappresentata attraverso opportune proiezioni stereografiche equipolari (fig. 3.2), facendo sempre la media delle giaciture acquisite per famiglia; anche le faglie sono state inserite negli stereogrammi, rappresentate in azzurro quando la giacitura ha la stessa direzione della scistosità, mentre negli altri casi sempre in rosso.

Si è osservato che spesso le faglie si sviluppano lungo la scistosità.

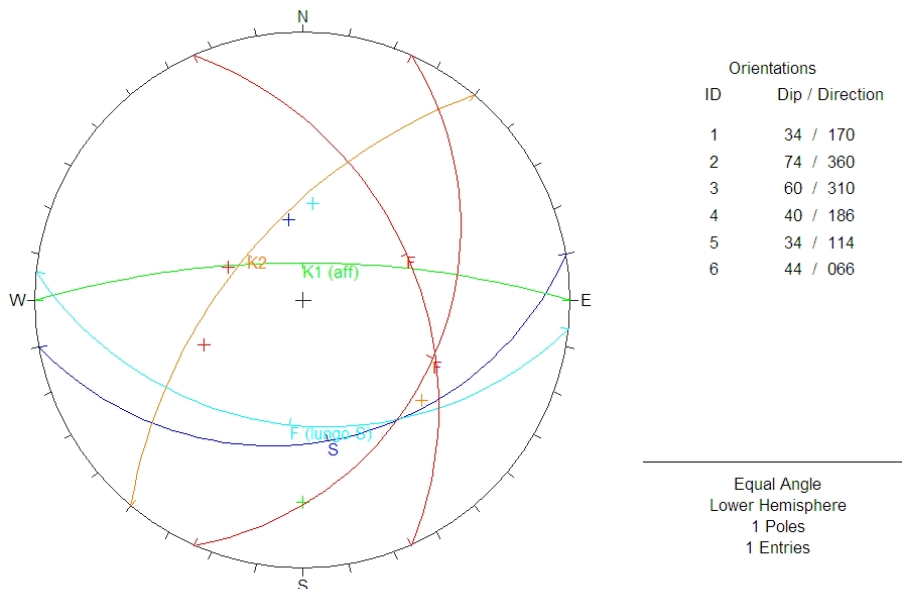


Figura 3-2 – Rappresentazione stereografica equipolare dell'affioramento "RGM10"

3. Il rilievo geomeccanico

Sono stati rappresentati, tramite stereogrammi, i poli di tutte le discontinuità rilevate, al fine di verificare l'esistenza di distribuzioni preferenziali delle giaciture per litologie differenti e per aree omogenee.

Sono state considerate le tre zone definite in figura 3.3.

La definizione delle zone omogenee è stata effettuata considerando i due lineamenti principali passanti per l'area di rilievo, ovvero la Linea Insubrica (passante a monte della zona 3), e poco più a nord la Linea del Mortirolo (passante circa a metà della zona 1).

Si presuppone che le caratteristiche del substrato roccioso siano strutturalmente omogenee nell'intorno dei due lineamenti (zona 1 e zona 3), e ugualmente omogenee nella parte più lontana dagli stessi (zona intermedia)

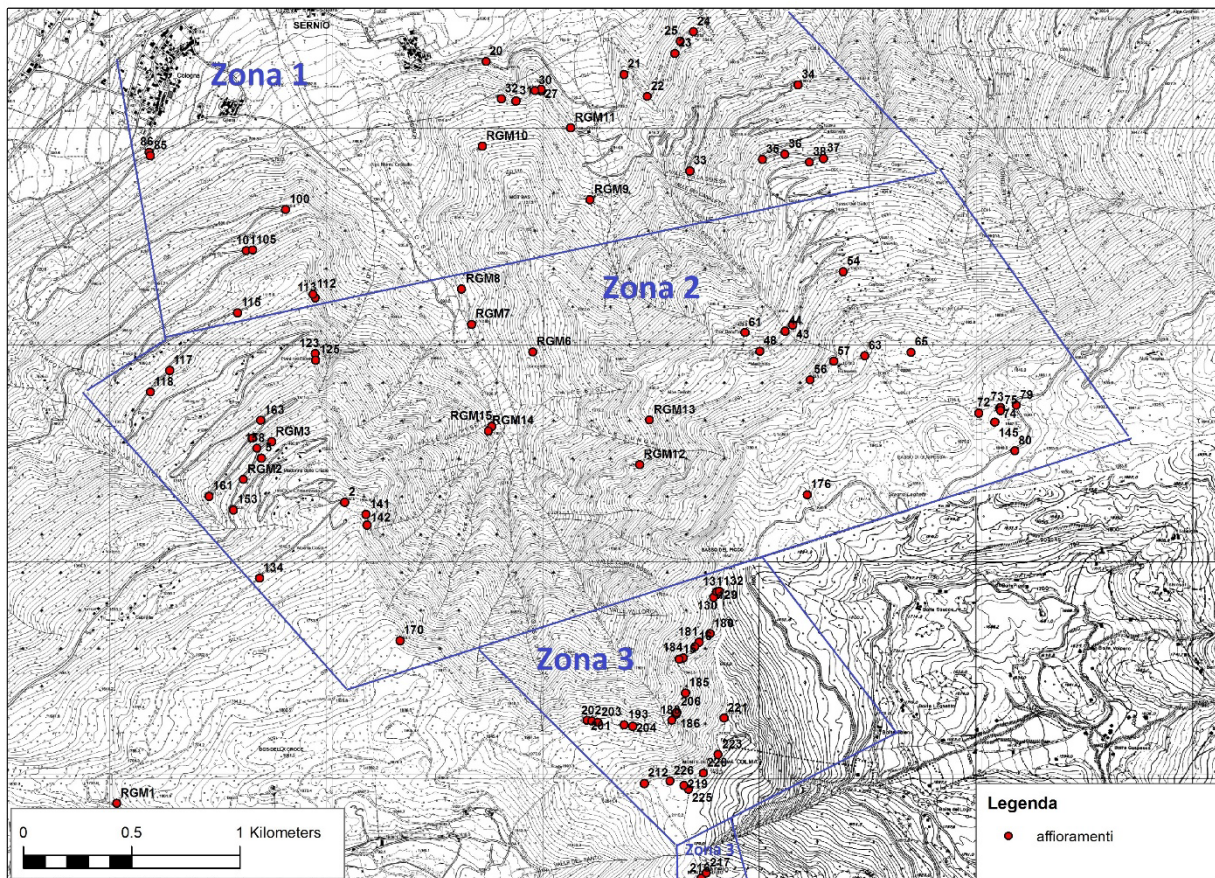


Figura 3-3 – Suddivisione dell'area di rilievo in tre zone omogenee: Zona 1 – Conoide, Zona 2 – Intermedia, Zona 3 – Nicchia.

È stato escluso l'RGM1 in quanto troppo lontano dalla zona di rilievo.

Qui di seguito si visualizzano gli stereogrammi ottenuti per i gruppi litologici (Fig. 3.4) e per le zone omogenee (Fig. 3.5).

3. Il rilievo geomeccanico

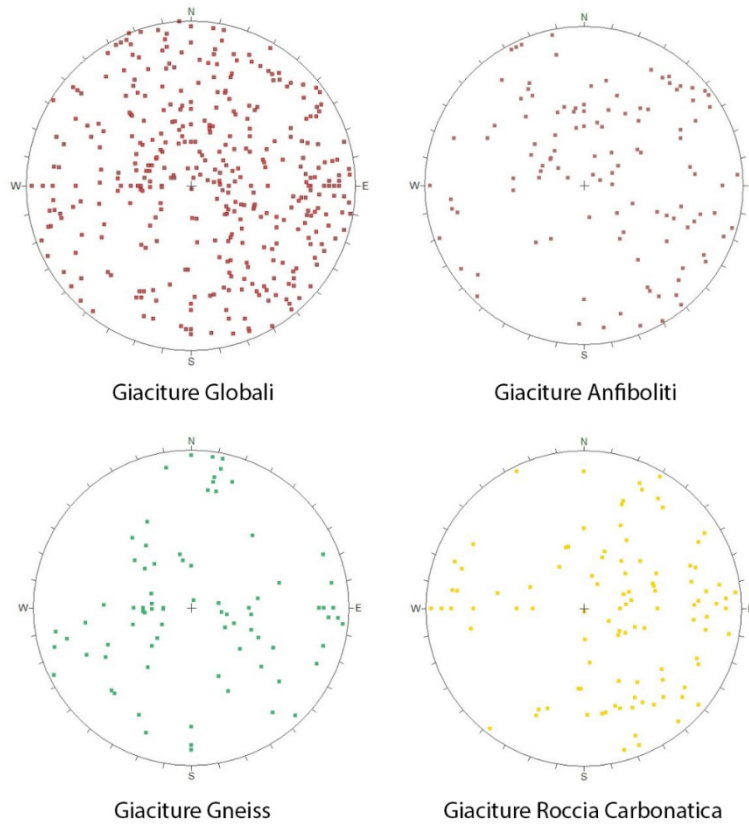


Figura 3-4– Distribuzione delle giaciture di tutti gli affioramenti e suddivisione delle medesime nei gruppi litologici principali.

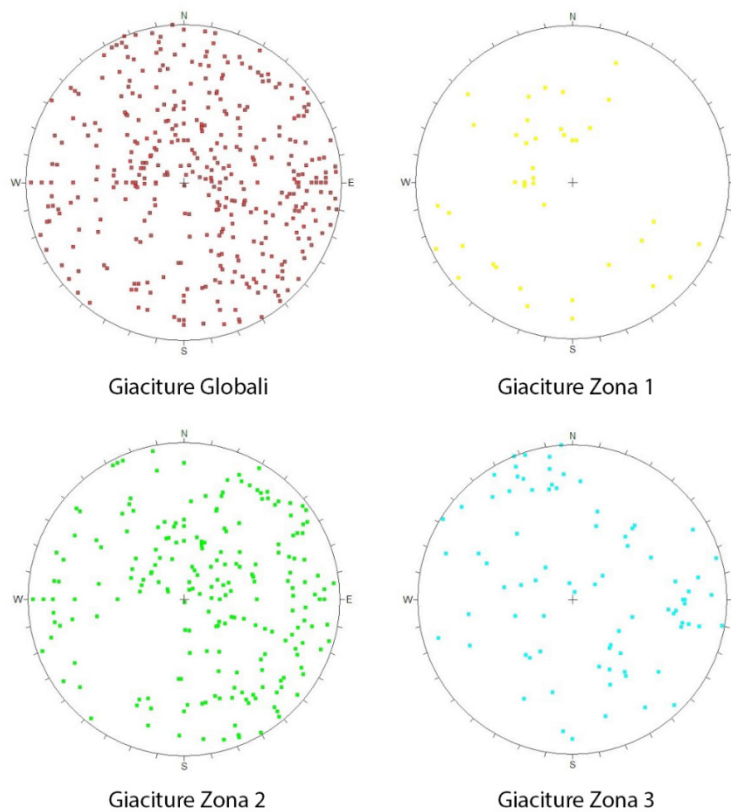


Figura 3-5– Distribuzione delle giaciture di tutti gli affioramenti e suddivisione delle medesime secondo le 3 zone omogenee.

3. Il rilievo geomeccanico

Come si può notare dagli stereogrammi le giaciture sono equamente distribuite sia per i tre gruppi litologici che per le tre zone strutturali delineate; non si evidenziano quindi giaciture preferenziali nell'area di rilievo.

Spaziatura:

La spaziatura è la distanza media tra due discontinuità appartenenti alla stessa famiglia, misurata perpendicolarmente alle discontinuità stesse.

Per misurare questo dato è stato predisposto un allineamento di almeno 100cm e successivamente sono state contate le discontinuità della stessa famiglia. Il valore della spaziatura è dato dal rapporto $S=L/n$ (L = lunghezza dell'allineamento e n = numero di discontinuità contate).

Sono stati acquisiti dati riguardanti la spaziatura solo per 9 affioramenti, (codificati da sigla "RGM") e considerando il valore minimo per ogni famiglia di ciascun affioramento, calcolato il valore medio totale, pari circa a 12 cm.

Intercetta:

L'intercetta viene valutata senza considerare l'appartenenza delle discontinuità alle varie famiglie; lungo una traccia prefissata, sempre 100cm come per la spaziatura, si misura le distanze fra tutte le discontinuità che intersecano lo stendimento (appartenenti a qualsiasi famiglia). Le misure sono state effettuate lungo due stendimenti tra loro perpendicolari (uno orizzontale ed uno verticale). Si terrà in considerazione il valore minore fra la media delle distanze dei due stendimenti.

Partendo dal valore minore dell'intercetta si è in seguito ricavata la frequenza (f) del numero di discontinuità per metro e calcolato così l'RQD (Rock Quality Designation); esso è un indice, proposto da Deere (1964), che consente di valutare il recupero percentuale di carotaggio considerando gli spezzoni di carota aventi lunghezza superiore o uguale a 10 cm. In assenza di sondaggio è possibile determinare il valore di RQD anche tramite la relazione empirica:

$$RQD = 100(0,1f + 1)e^{-0,1f}$$

Nella zona in esame, sono state effettuate misurazioni dell'intercetta per 8 affioramenti (codificati da sigla "RGM") ed il valore medio riscontrato è di 9 discontinuità per metro. Riguardo all'RQD invece, sono stati considerati anche gli affioramenti con sigla RGM mancanti, prendendo per questi ultimi il valore di RQD maggiormente presente ed il punteggio medio trovato è pari a 70% che corrisponde ad una qualità della roccia discreta (Tab. 3.1).

R.Q.D. (%)	Qualità della roccia
0 - 25	molto scadente
26 - 50	scadente
51 - 75	discreta
76 - 90	buona
91 - 100	eccellente

Tabella 3-1 – Classi di qualità della roccia in base al parametro RQD (%).

3. Il rilievo geomeccanico

Persistenza:

La persistenza è l'estensione areale percentuale di una discontinuità. Se non è possibile verificare l'estensione areale, perché l'affioramento è esposto solo lungo un lato, è sufficiente misurare la persistenza lineare, ovvero la continuità espressa in percentuale della traccia della discontinuità rispetto all'estensione dell'affioramento.

Per la stima della persistenza lineare, PL, media di una famiglia di discontinuità si considerano 3 classi:

- $PL < 50\%$
- $50\% < PL < 90\%$
- $PL > 90\%$

Per la stima della persistenza areale, PA, (cosa possibile in presenza di almeno due superfici di affioramento contigue ed orientate in maniera differente) si distinguono ancora 3 classi:

- $PA < 20\%$
- $20\% < PA < 80\%$
- $PA > 80\%$

Se la PA è $< 20\%$ la resistenza dell'ammasso roccioso dipende esclusivamente dal comportamento meccanico del materiale roccia. Sarà invece la resistenza mobilitabile lungo le superfici dei giunti a caratterizzare il comportamento meccanico di un ammasso roccioso con $PA > 80\%$. Rientrano nella classe intermedia tutte le situazioni comprese tra il 25 e 80% di PA. Lo stesso discorso è valido anche per quanto riguarda la PL, anche se in questo caso l'indicazione è meno attendibile.

Per quanto riguarda la zona di studio, anche la persistenza è stata misurata per 13 affioramenti (codificati da sigla "RGM") ed è stato possibile notare che, per le prime due famiglie di discontinuità (lungo la scistosità e lungo K1), sia la persistenza lineare che areale appartengono alla terza classe, mentre per le altre famiglie la classe di appartenenza dominante è quella intermedia; solo per alcune famiglie (ove vi sono K4 e K5) la classe è quella più bassa.

Si può quindi concludere che il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso è caratterizzato dalla resistenza mobilitabile lungo le superfici dei giunti.

Volume Roccioso Unitario (VRU):

L'ammasso roccioso, suddiviso dalle discontinuità, risulta composto da elementi discreti di materiale roccia, indicati come VRU (min, max e medio); viene indicato in cm o metri attraverso la relazione: $L1 \times L2 \times H$, dove L1 rappresenta la lunghezza, L2 la larghezza mentre H l'altezza del blocco considerato. Il VRU che è stato considerato è quello medio.

I valori medi dell'intero bacino e di ciascuna zona omogenea sono evidenziati in tabella 3.2.

3. Il rilievo geomeccanico

VRU	L (cm)	H (cm)	S (cm)
Zona 1	13	11	9
Zona 2	29	24	16
Zona 3	30	25	22
MEDIA	24	20	15

Tabella 3-2 - Valori medi di VRU (cm) assoluti e per ciascuna zona omogenea.

È possibile notare come la zona 1, essendo quella che comprende la conoide, risulta essere quella con VRU medio minore rispetto alle altre 2 zone topograficamente più elevate.

Rugosità:

Una discontinuità è caratterizzata da irregolarità a grande scala (ondulazioni) e a piccola scala (rugosità). A grande scala si fanno osservazioni qualitative (superfici planari, regolari, ondulate, seghettate), a piccola scala è conveniente utilizzare il pettine di Barton, come nel caso in esame, usato sempre per gli affioramenti codificati da sigla "RGM".

I profili (Fig. 3.6), ottenuti attraverso l'adattamento delle irregolarità degli aghi mobili cui è costituito il pettine di Barton, vanno confrontati con i profili di rugosità proposti da Barton ad ognuno dei quali corrisponde un coefficiente chiamato JRC (Joint Roughness Coefficient -indice della scabrezza delle superfici dei giunti-) (10 profili tipo con coefficienti variabili da 0-20 ad intervalli di 2).

Gli indici JRC maggiormente riscontrati sono stati quelli appartenenti alla classe 3 ed alla classe 5, che corrispondono a dei giunti per lo più lisci.

3. Il rilievo geomeccanico

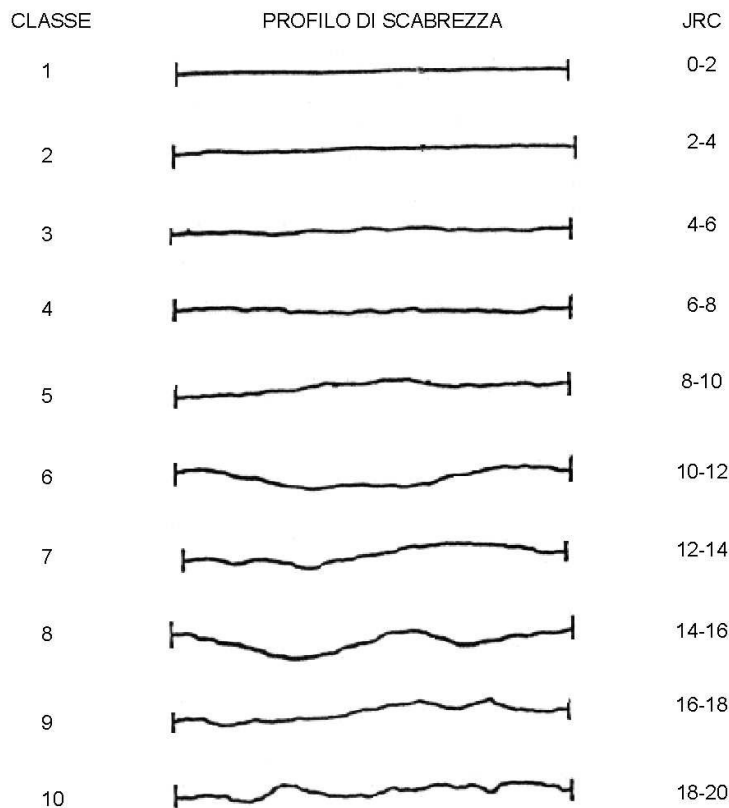


Figura 3-6– La rugosità rappresenta l'altezza media delle asperità della superficie rispetto all'apertura media; in figura sono rappresentati i 10 profili tipo con coefficienti variabili da 0 a 20 con intervalli di 2.

Apertura e riempimento delle discontinuità:

L'apertura rappresenta la distanza tra le pareti delle discontinuità e viene solitamente misurata con un calibro.

Le discontinuità possono essere chiuse (contatto roccia-roccia) o aperte (con o senza materiale di riempimento).

La presenza di materiale di riempimento nelle discontinuità deve essere registrata considerandone lo spessore, la composizione mineralogica, la granulometria e le condizioni di umidità.

Il range di aperture maggiormente presente nell'area in esame varia tra 1cm e 2,5cm, mentre il riempimento è assente.

Alterazione delle superfici dei giunti:

Diretta conseguenza dei processi fisici e chimici agenti sulla roccia sana è l'alterazione della stessa. Il livello di alterazione è definito dal grado di alterazione (superfici integre, ossidate, leggermente alterate, alterate).

Nell'area di studio la maggior parte degli ammassi rocciosi sono alterati come si può osservare dalla figura 3.7 sottostante.

3. Il rilievo geomeccanico



Figura 3-7 – Alterazione delle superfici nell'affioramento n°23.

Condizioni di umidità:

Nel caso in esame gli ammassi rocciosi sono sempre caratterizzati da condizioni idrauliche asciutte. Si sottolinea come l'intero bacino presenti una scarsissima presenza di sorgenti, ruscelli e di acqua in generale.

3.2.3. Prove in situ

Martello di Schmidt o sclerometro:

Il martello di Schmidt o sclerometro viene utilizzato per stimare la resistenza a compressione della porzione più superficiale della roccia (σ_c apparente) su cui viene effettuata la misura. Lo strumento (fig. 3.8) è costituito da una massa battente proiettata da una molla contro un'asta metallica di percussione appoggiata direttamente sulla roccia.

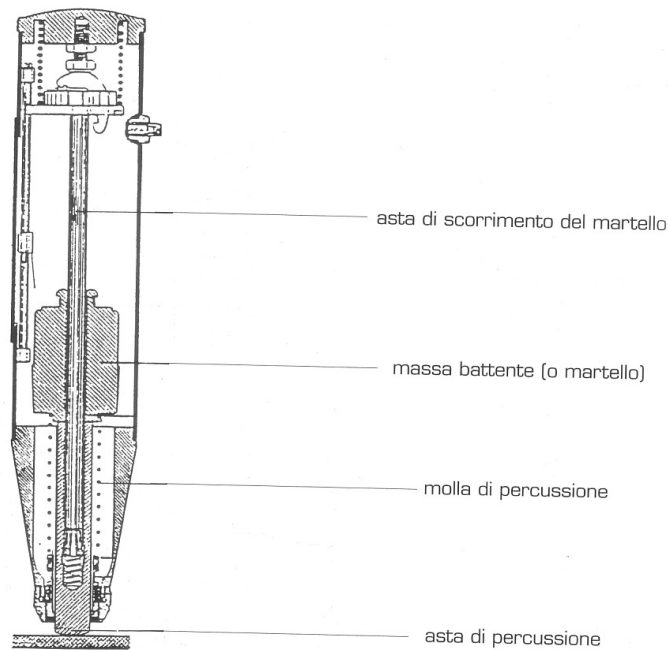


Figura 3-8– Lo sclerometro

Dal rimbalzo elastico della massa, funzione della quantità di energia elastica restituita dal materiale su cui viene effettuata la prova, è possibile risalire alla resistenza a compressione del materiale stesso tramite il diagramma riportato in figura 3.9 o tramite la relazione di Miller (1966):

$$\sigma_{c \text{ app}} = 10^{0.00088\gamma * R + 1.01}$$

dove γ è il peso di volume kN/m^3 e R è il rimbalzo.

3. Il rilievo geomeccanico

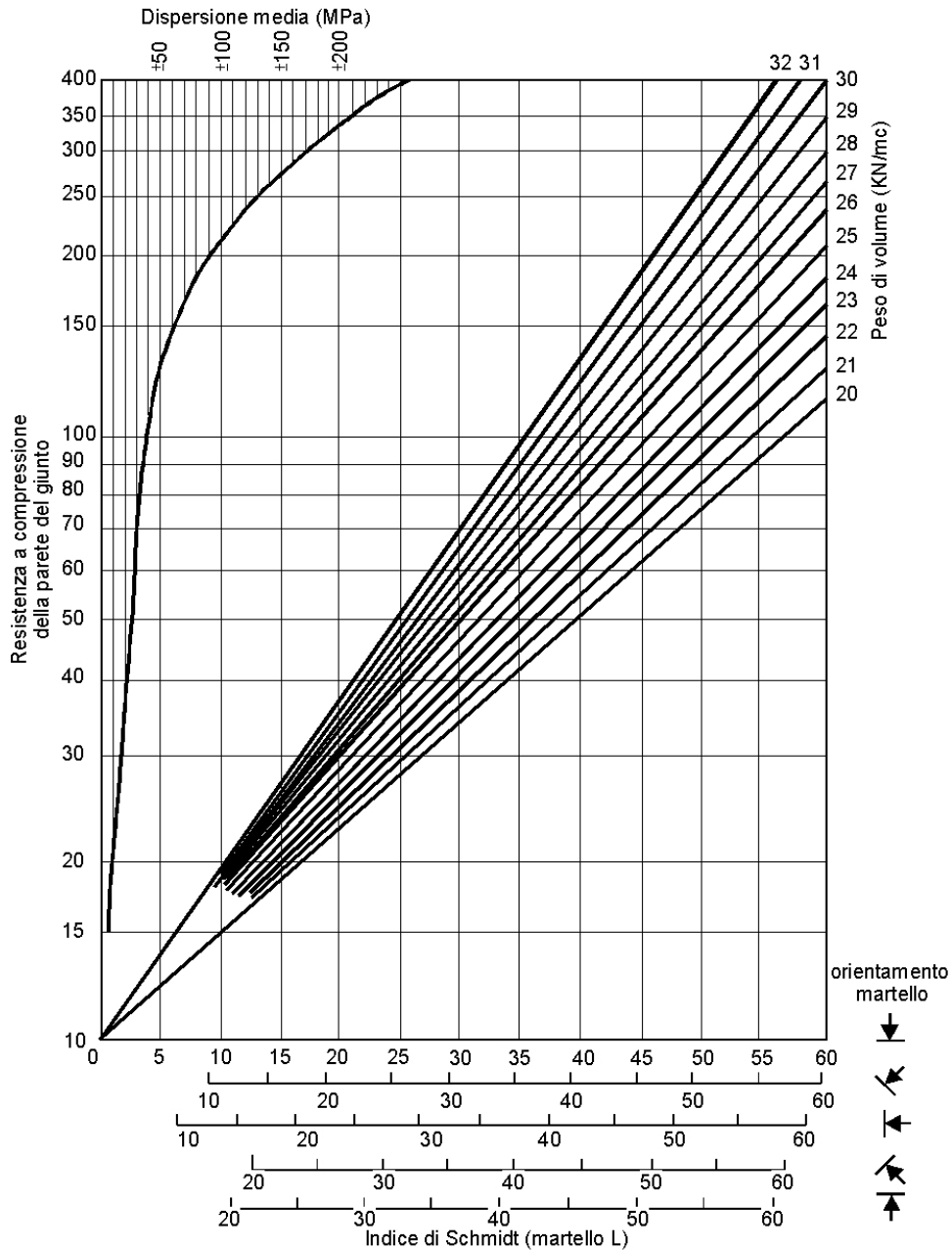


Figura 3-9 – Correlazione tra resistenza alla compressione monoassiale della roccia, numero di rimbalzo e inclinazione dello strumento rispetto alla verticale.

Operativamente, per ogni punto di stazione, in corrispondenza di ogni famiglia di discontinuità sono state effettuate 10 battute con il martello che consentono di ottenere 10 valori di rimbalzo (R). I 10 valori sono stati quindi mediati e successivamente corretti in funzione dell'inclinazione dello sclerometro al momento della misura. La correzione di R, può essere applicata graficamente (fig. 3.9) oppure tramite la tabella sottostante (Tab. 3.3):

3. Il rilievo geomeccanico

Rimbalzo	Verso il basso		Verso l'alto		Orizzontale 0°
	-90°	-45°	+90°	+45°	
10	0	-0,8	-	-	-3,2
20	0	-0,9	-8,8	-6,9	-3,4
30	0	-0,8	-7,8	-6,2	-3,1
40	0	-0,7	-6,6	-5,3	-2,7
50	0	-0,6	-5,3	-4,3	-2,2
60	0	-0,4	-4,0	-3,3	-1,7

Tabella 3-3 – Correzione dell'indice di rimbalzo R, a seconda dell'inclinazione dello strumento rispetto alla verticale.

Se la prova viene eseguita su di una superficie rocciosa non alterata, la resistenza a compressione apparente (σ_c app) è circa uguale alla resistenza a compressione con rottura normale alla scistosità ($\sigma_{c\perp}$) calcolata tramite il Point Load Test (di cui parleremo nel paragrafo seguente). Pertanto il rapporto $\sigma_c / \sigma_{c\text{ app}}$ è molto prossimo all'unità. Quando invece la superficie della roccia sottoposta alla prova dello sclerometro è alterata, il rapporto tra le due σ_c tende ad aumentare fino ad essere maggiore di 10 in caso di alterazione profonda.

Per quanto riguarda la zona in esame, sono stati acquisiti valori di rimbalzo solamente per gli affioramenti codificati da sigla "RGM"; è stato quindi calcolato il valore delle $\sigma_{c\text{ app}}$.

Il valore di rimbalzo R, è stato corretto utilizzando la tabella 3.3, e per trovare la $\sigma_{c\text{ app}}$, è stato considerato quello riferito alla famiglia di discontinuità S; il valore di resistenza a compressione σ_c invece, a cui si fa riferimento, è quello derivato dal PL Test con rottura perpendicolare a S.

La media dei valori dei rapporti trovati è di circa 4 volte superiore all'unità; ciò sta a significare, che gli ammassi rocciosi analizzati sono particolarmente alterati superficialmente, come rilevato anche dall'osservazione degli affioramenti.

3.2.4. Prove di laboratorio

Point Load Test:

Sui campioni prelevati dagli affioramenti sono state eseguite prove di Point Load per risalire alla resistenza a compressione monoassiale della roccia.

In figura 3.10 si visualizza la distribuzione areale dei campioni prelevati in sito.

3. Il rilievo geomeccanico

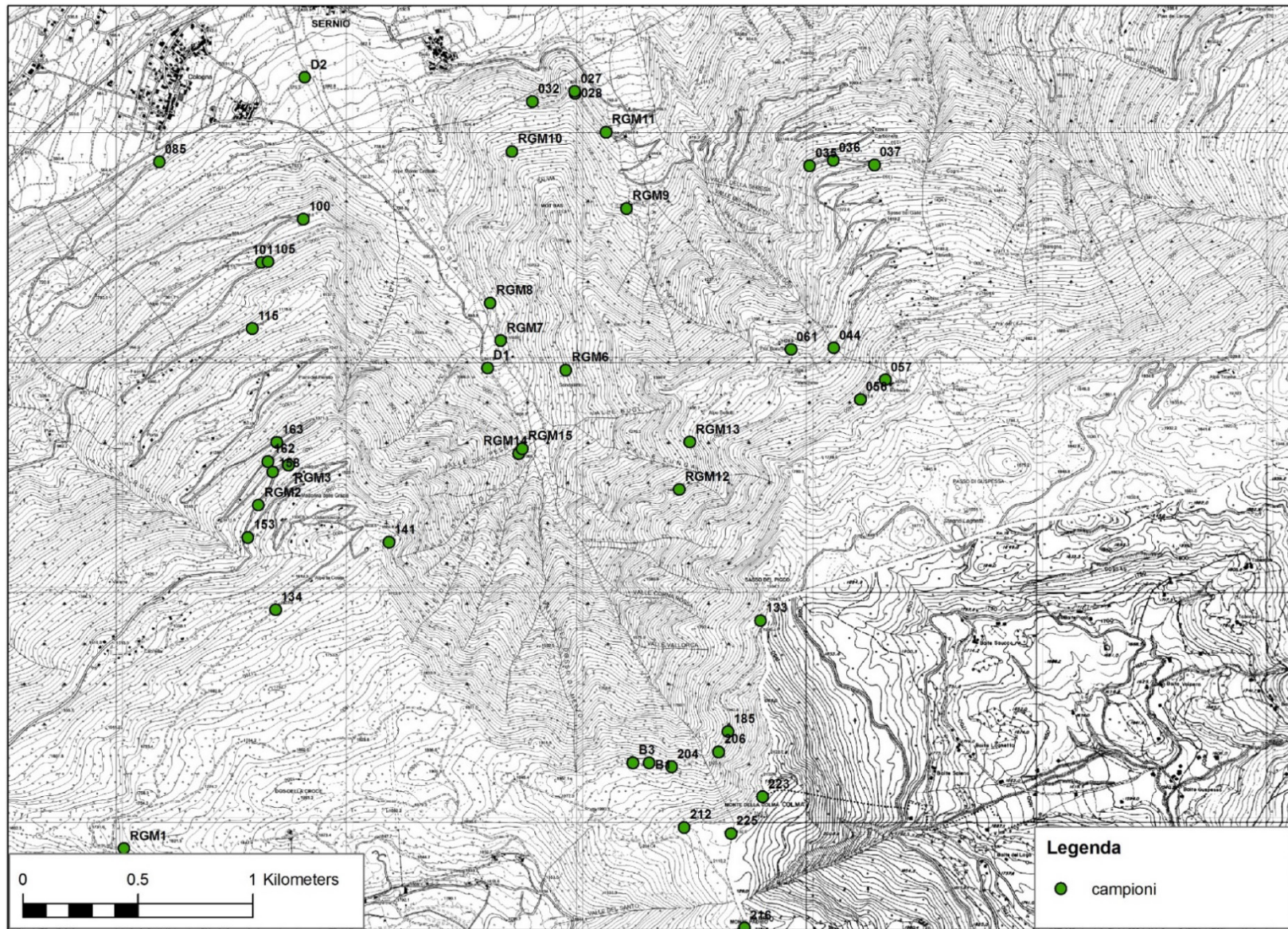


Figura 3-10 – Distribuzione areale dei campioni prelevati per l'esecuzione delle prove di laboratorio.

3. Il rilievo

Il PL Test consiste nel comprimere un campione di roccia, posizionato tra due punte coniche comandate da un sistema idraulico a pressione (Fig. 3.11), fino a provocarne la rottura. Il carico a rottura P viene misurato attraverso due manometri, i quali comprendono doppie scale contrassegnate in kN e lbf; una volta inserito il campione tra le due punte coniche, viene rilevato il diametro del campione D , attraverso la lettura su una scala incisa (in cm).

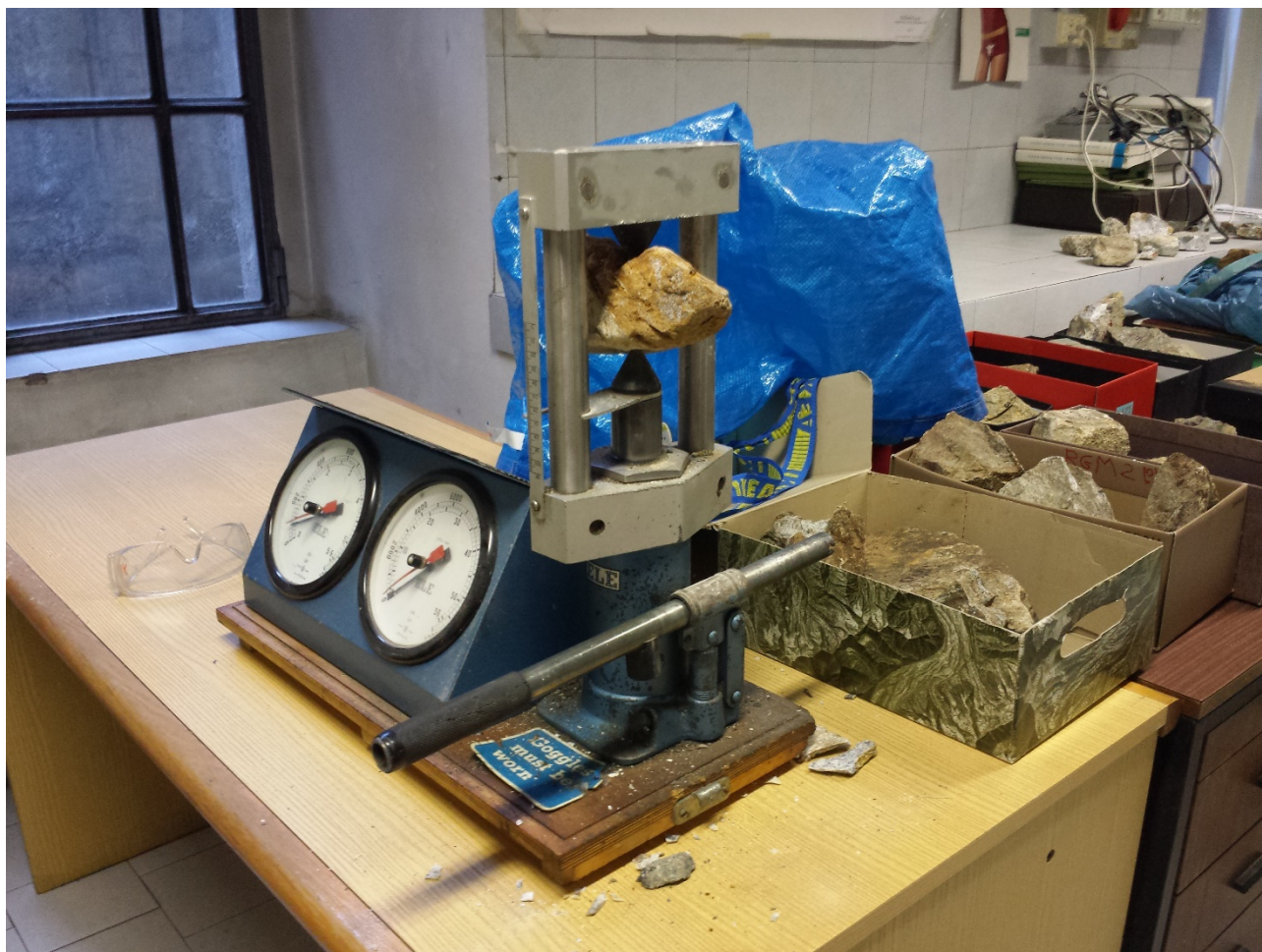


Figura 3-11 – Lo strumento per il Point Load Test

Il rapporto tra il carico di rottura (P) e il quadrato della distanza (D) tra i due punti di applicazione della forza è definito, sia per campioni con forme irregolari sia per spezzoni di carote, come indice di Point Load, I_s (kN/cm^2):

$$I_s = \left(\frac{P}{D^2} \right)$$

I risultati della prova sopra descritta sono tuttavia influenzati dalla forza e dalle dimensioni del campione; in particolare, per rendere confrontabili i risultati ottenuti su campioni aventi diverse dimensioni, si utilizza la Size Correction Chart, che consente di ricavare un nuovo valore di I_s , riferito ad un diametro standard di 50 mm: $I_s(50)$ (Fig. 3.12).

3. Il rilievo

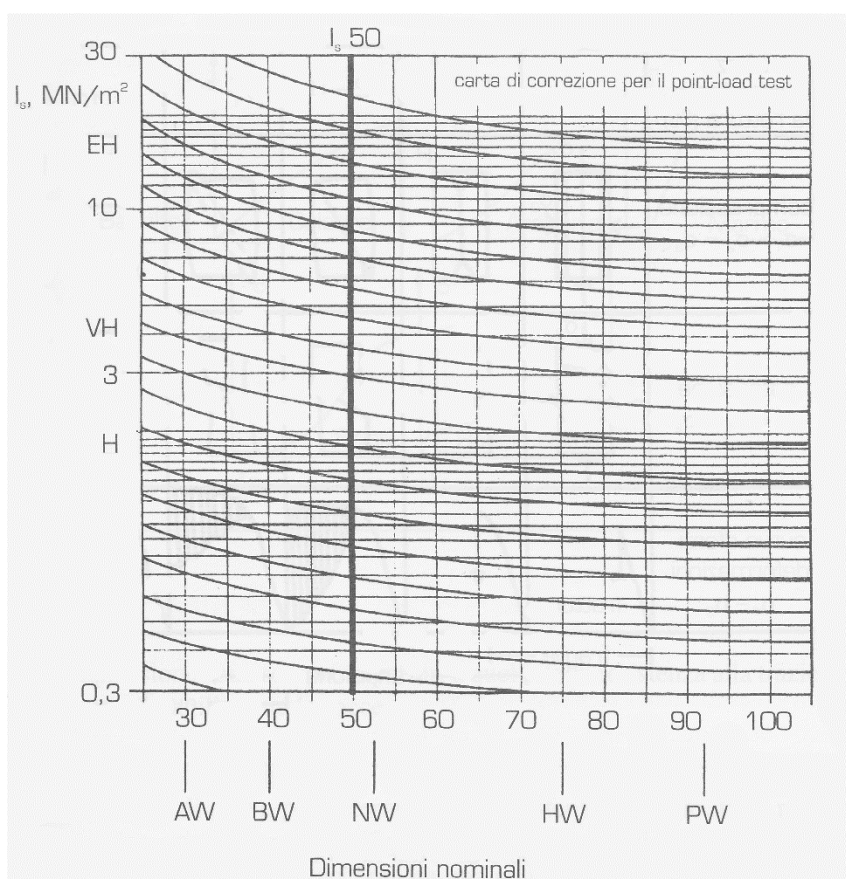


Figura 3-12– Carta di correzione del Point Load test per la determinazione dell'indice I_s normalizzato al diametro 50mm.

Oltre alla procedura grafica, si può procedere anche analiticamente alla normalizzazione dell'indice I_s attraverso le seguenti formule:

$$I_s(50) = F \times I_s$$

$$F = \sqrt{\left(\frac{D_e}{50}\right)} \quad \text{per } 4,5 < D_e < 5,5$$

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} \quad \text{per } D_e < 4,5 \text{ o } D_e > 5,5$$

dove D_e rappresenta il diametro del campione considerato (Equivalent core).

L'indice di Point Load può essere inoltre empiricamente corretto per risalire al valore della resistenza a compressione monoassiale σ_c , applicando la seguente relazione:

$$\sigma_c = I_s(50) \cdot 24$$

La procedura che è stata utilizzata per arrivare al valore di $I_s(50)$ è quella analitica.

I valori di $I_s(50)$ sono stati suddivisi in base alla direzione di rottura del campione (perpendicolare o parallela alla scistosità).

3. Il rilievo

Per ogni affioramento sono stati acquisiti 3 campioni attraverso i quali si è arrivati alla determinazione del valore minimo di $Is(50)$ per ogni affioramento, considerando la direzione di rottura del campione (perpendicolare o parallela alla scistosità).

I valori minimi trovati sono stati suddivisi in classi e per ciascuna si è calcolata la frequenza relativa come si può osservare dagli istogrammi in figura 3.13 e 3.14; sono stati considerati prima tutti gli affioramenti rilevati, e poi anche la loro suddivisione nelle zone omogenee precedentemente determinate.

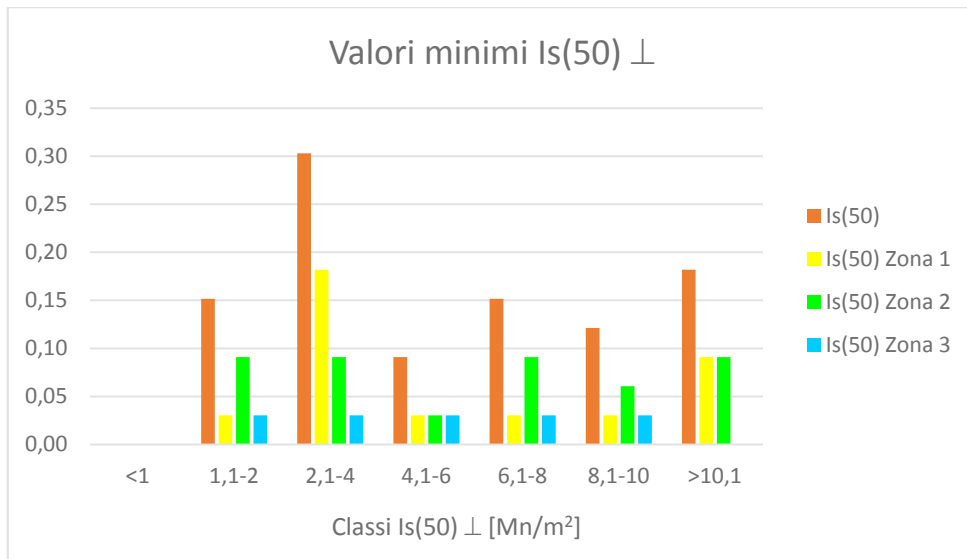


Figura 3-13 - Andamento della frequenza relativa dei valori minimi di $Is(50)$ con rottura normale alla scistosità, di tutti gli affioramenti e per ogni zona omogenea, per ciascuna classe considerata. Le colonne blu rappresentano tutti gli affioramenti, quelle gialle la zona 1, quelle verdi la zona 2 mentre quelle azzurre la zona 3.

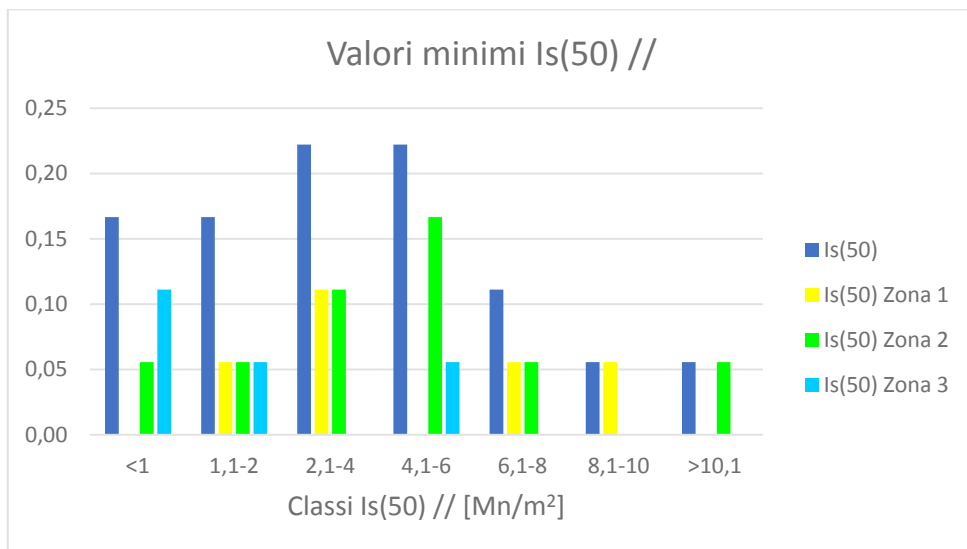


Figura 3-14 - Andamento della frequenza relativa dei valori minimi di $Is(50)$ con rottura normale alla scistosità, di tutti gli affioramenti e per ogni zona omogenea, per ciascuna classe considerata. Le colonne arancioni rappresentano tutti gli affioramenti, quelle gialle la zona 1, quelle verdi la zona 2 mentre quelle azzurre la zona 3.

3. Il rilievo

Dall'osservazione delle figura 3.13 è possibile dedurre che, per i valori di $I_s(50)$ con rottura perpendicolare alla scistosità e la classe che possiede la maggiore frequenza relativa è quella avente valori compresi tra 2,1 e 4.

Per quanto riguarda le zone omogenee, i valori di frequenza più elevati appartengono, sia per la zona 1 che per la zona 2 sempre alla classe di valori 2,1-4, mentre per la zona 3 si evidenzia una distribuzione equa tra le classi di frequenza.

Nella figura 3.14 invece, sono stati considerati i valori minimi di $I_s(50)$ con rottura parallela alla scistosità e le classi che possiedono la maggiore frequenza relativa sono quelle aventi valori compresi tra 2,1-4 e 4,1-6; leggermente inferiori a queste ultime vi sono le classi con range pari a inferiore a 1 e compreso tra 1,1 e 2.

Per quanto riguarda le zone omogenee, i valori di frequenza più elevati appartengono, per la zona 1 alla classe di valori 2,1-4, per la zona 2 alla classe 4,1-6, mentre per la zona 3 alla classe <1, segno che la zona topograficamente più elevata presenta valori di rottura più bassi, e quindi la roccia è più debole; complessivamente si registrano valori più bassi rispetto alla rottura perpendicolare, segno che la roccia è più debole lungo i piani di scistosità.

Considerando come media complessiva un valore pari a 6 MN/m^2 per la rottura perpendicolare e pari a 4 MN/m^2 per quella parallela alla scistosità si ottengono valori di resistenza a compressione monoassiale σ_c pari rispettivamente a di 144 MPa e 96 MPa, valori che complessivamente identificano una più discreta qualità della roccia.

3.3. La scheda rilievo

Dopo aver calcolato tutti i dati per ognuno degli affioramenti si è proceduto a compilare una scheda rilievo per ciascun affioramento contenente tutte le informazioni di cui disponiamo, le coordinate Gauss-Boaga del punto rilevato, il relativo stereogramma raffigurante i piani di discontinuità, la foto più rappresentativa, etc.

Nella scheda rilievo è presente anche la classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso, della quale parleremo il capitolo seguente.

Qui di seguito in figura 3.15 ne si riporta una a titolo esemplificativo; le schede rilievo di ciascun affioramento si trovano in Appendice 1, con il relativo indice esplicativo di tutti i parametri presenti in Appendice 2.

3. Il rilievo

Rilievo N°	RGM10	Coordinata X	1593719,878	Coordinata Y	5118919		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	PARAGNEISS	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	10x8x4	
RQD (%)	63						
Orientazione versante [°]	360/74	Orient. F1	186/40	Orient. F2	114/34	Orient. F3	66/44
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	170/34	360/34	310/60			
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)	>90	50-90	>90			
	persistenza A(%)	>80	20-80	>80			
	apertura (mm)	1-2.5					
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC	8-10						
Parametri sperimentali	$\alpha_i //$ (Mpa) PL	$\alpha_i \perp$ (Mpa) PL	α_{app} (MPa)	Alterazione			
	-	145,44	22,154	6,6			
	c'(Mpa)	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,29	34	15,84893192	24,28			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,2	33	1,025	0,0000299	0,572		
	α_m (Mpa)	α'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	14,122	16,649	2,903	31,400			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		13			
P1) Resistenza PL	12						
P2) RQD	13						
P3) Spaziatura	8						
P4) Giunti	10						
P5) Acqua	15						
RMR _b =	58						
NOTE							
Molto fagliato, con faglie aventi la stessa giuacitura di S.							

Figura 3-15 – Scheda rilievo riferita all'affioramento RGM10.

3.4. Conclusioni

Per quanto riguarda le giaciture, si può concludere che, dall'analisi degli stereogrammi effettuati, sia per l'intera area di rilievo, che secondo la suddivisione in gruppi litologici e in zone strutturalmente omogenee, le giaciture sono equamente distribuite.

In tabella 3.4 sono riportati i valori medi dei parametri geomeccanici dell'intera area in esame.

Caratteristiche		Valori medi
Spaziatura [cm]		12
RQD [%]		70
Persistenza [%]	Lineare	> 90
Persistenza [%]	Areale	> 80
VRU Medio	Zona 1	
	Zona 2	
	Zona 3	
JRC [-]		5/9
Alterazione		> parte alterati
Apertura [cm]		1-2,5
Condizioni di Umidità		asciutte
$\sigma_{c \perp}$ [Mpa]		144
$\sigma_{c //}$ [Mpa]		96
$\sigma_{c \perp} / \sigma_{capp}$ [-]		4

Tabella 3-4 – Tabella riepilogativa dei valori medi calcolati per ciascun dato dell'area in esame.

La spaziatura, l'indice RQD, la persistenza la rugosità e l'apertura sono state determinate per gli affioramenti aventi sigla "RGM" e forniscono valori medi rispettivamente di 12 cm, 70% (corrispondente ad una qualità della roccia discreta), > 90% e >80% (terza classe) per la persistenza, sia lineare che areale, delle prime due famiglie di discontinuità (S e K1); un JRC medio che varia tra 5 e 9, caratterizzante un profilo di scabrezza di classe 3 e 5 (Fig. 3.6) ed infine un'apertura media compresa nell'intervallo tra 1 e 2,5 cm.

La maggior parte degli ammassi rocciosi analizzati presentano un alterazione considerevole delle superfici dei giunti e sono sempre caratterizzati da condizioni idrauliche asciutte.

Attraverso le prove in sito, con lo sclerometro, e in laboratorio, attraverso il Point Load Test sono state determinate le caratteristiche di resistenza degli ammassi rocciosi.

Le prove sclerometriche evidenziano un rapporto tra la resistenza a compressione monoassiale con rottura normale alla scistosità ($\sigma_{c \perp}$), e la resistenza a compressione apparente (σ_{capp}) molto elevato, e ben 4 volte superiore all'unità, indice dell'elevata alterazione delle rocce affioranti.

Con riferimento alla condizione più cautelativa, il valore medio di $\sigma_{c \perp}$, calcolato considerando i valori minimi di Is(50) con rottura normale alla discontinuità, è pari a 144 MPa, corrispondente quindi ad una buona resistenza della roccia, mentre quello di $\sigma_{c //}$ è leggermente minore e pari a 96 MPa, segno che la roccia è più debole lungo i piani di scistosità.

Capitolo 4

Caratterizzazione geomeccanica

Le classificazioni geomeccaniche delle rocce permettono di suddividere gli ammassi rocciosi in classi di qualità, consentendo di definire zone con caratteristiche uniformi ed omogenee ai fini geo-applicativi.

Le classificazioni sono qualitative quando danno un'indicazione sommaria della roccia, basata sul suo aspetto e sulle caratteristiche litologiche rilevabili sul terreno, o quantitative quando sono basate su prove di campo o di laboratorio.

In questo capitolo si vuole fornire un quadro delle classificazioni e dei metodi utilizzati per caratterizzare l'area di tesi da un punto di vista geomeccanico.

4.1. La classificazione di Bieniawski (1973)

La classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi, Rock Mass Rating (RMR), fu proposta nel 1973 da Bieniawski ed è stata elaborata per i problemi relativi allo scavo delle gallerie, ma ha trovato estensione di impiego anche negli scavi per fondazioni e sulla stabilità dei pendii. L'autore prende in considerazione 6 fattori (P_i) che considera maggiormente influenti sulla stabilità del pendio. A ciascun fattore è attribuito un punteggio (Rating) in relazione alla maggiore o minore importanza, come indicato nelle tabelle seguenti.

Nella tabella 4.1 seguente è presentato un quadro di sintesi dei parametri e dei relativi punteggi che concorrono alla classificazione degli ammassi rocciosi secondo Bieniawski.

4. Caratterizzazione geomeccanica

Resistenza a compress. uniassiale	[MPa]	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
Resistenza al "Point load test"	[MPa]	>10	4-10	2-4	1-2			
P₁		15	12	7	4	2	1	0

RQD	(%)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25
P₂		20	17	13	8	3

Spaziatura delle discontinuità	[cm]	>200	60-200	20-60	6-20	<6
P₃		20	15	10	8	5

Stato delle discontinuità	P₄
Chiuse e non continue. Superf. molto rugose. Pareti asciutte.	30
Apertura < 0,1mm, non continue. Superfici rugose. Pareti umide.	25
Apertura < 0,1mm, continue e senza riempimento. Superfici rugose. Pareti bagnate.	20
Apertura di 1-5mm, continue. Riempimento di argilla con potenza < 5mm. Superfici lisce.	10
Apertura > 5mm, continue. Riempimento di argilla molle di potenza > 5mm.	0

Acqua nella massa		P₅
Venute in 10m di galleria Q ₁₀ [l/min]	Condizioni generali della roccia	
nessuna	perfettamente asciutta	15
< 10	umida	10
10-25	bagnata	7
25-125	stillicidi	4
125	venuta d'acqua	0

Orientamento delle fratture	P₆		
	Gallerie	Fondazioni	Pendii
molto favorevole	0	0	0
favorevole	-2	-2	-5
discreta	-5	-7	-25
sfavorevole	-10	-15	-50
molto sfavorevole	-12	-25	-60

Tabella 4-1 – Classificazione Rock Mass Rating (da Bieniawski, 1979)

La somma dei primi 5 indici fornisce il Basic Rock Mass Rating (BRMR) che è un indice globale delle condizioni geomeccaniche della roccia.

$$BRMR = \sum_{i=1}^5 P_i$$

4. Caratterizzazione geomeccanica

Applicando al BRMR il parametro correttivo P6 si ottiene l'indice RMR:

$$RMR = \sum_{i=1}^5 P_i - P_6$$

In base all'RMR l'ammasso roccioso sarà ascrivibile ad una delle 5 classi di qualità individuate dall'autore (Tab. 4.2) A ciascuna classe sono associati i valori di alcune importanti caratteristiche meccaniche: coesione, angolo d'attrito, tempo di autoportanza (tempo di stabilità senza sostegni) e lunghezza o luce libera dello scavo (lunghezza che rimane stabile per il tempo necessario a realizzare tutte le operazioni di sgombero e messa in opera dei sostegni).

RMR		0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Classe		V	IV	III	II	I
Qualità dell'ammasso		molto scadente	scadente	discreta	buona	ottima
Coesione	c [MPa]	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	>0,4
Angolo d'attrito	φ (°)	<15	15-25	25-35	35-45	>45
Tempo di autoportanza		10 min	5 ore	1 sett	6 mesi	10 anni
Lunghezza libera di scavo	[m]	0,5	1,5	2	4	5

Tabella 4-2 – Caratteristiche delle classi (da Bieniawski, 1979)

4.2. La classificazione di Hoek et al. (GSI)

Il Geological Strength Index (GSI), introdotto da Hoek nel 1994, rappresenta in forma più adeguata le caratteristiche dell'ammasso roccioso, non tenendo conto di quei parametri legati alle condizioni al contorno quali: fattori di correzione relativi all'orientamento delle discontinuità rispetto all'asse della galleria o dovuti alla presenza d'acqua (Bieniawski).

Il metodo propone quindi una tabella sintetica (Tab. 4.3) che fornisce il valore di GSI a partire dalla struttura della roccia e dalle condizioni delle superfici di discontinuità. L'indice può teoricamente variare tra il valore 10 (per rocce particolarmente scadenti) e 100 (per roccia intatta); un punteggio di GSI al di sotto di 25 identifica un ammasso roccioso di qualità molto scadente.

4. Caratterizzazione geomeccanica

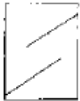
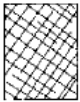




GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
<p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. <u>Note that the table does not apply to structurally controlled failures.</u> Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
		Very rough, fresh unweathered surfaces	Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	Smooth, moderately weathered and altered surfaces	Slitken-sided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	Slitken-sided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40	30	
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10

Tabella 4-3 – Stima del GSI per ammassi rocciosi fratturati (Marinos & Hoek, 2000)

Relativamente alla struttura della roccia, le voci presenti nella tabella sintetica hanno il seguente significato:

1. INTACT OR MASSIVE: massa rocciosa intatta con poche discontinuità, largamente spaziate tra loro.
2. BLOCKY: massa rocciosa indisturbata in blocchi ben interconnessi, formati da tre sistemi di discontinuità ortogonali tra loro;
3. VERY BLOCKY: massa rocciosa fratturata, parzialmente disturbata, disgiunta in blocchi angolosi formati da quattro o più sistemi di discontinuità;
4. BLOCKY/DISTURBED/SEAMY: massa rocciosa ripiegata e fagliata, disgiunta in blocchi angolosi formati da numerosi sistemi di discontinuità;

4. Caratterizzazione geomeccanica

5. DISINTEGRATED: massa rocciosa frantumata, composta da blocchi angolosi o arrotondati, scarsamente interconnessi;
6. LAMINATED/SHEARED: massa rocciosa priva di blocchi con piani di scistosità poco spazati.

Relativamente alle condizioni delle discontinuità, le voci presenti nella tabella sintetica hanno il seguente significato:

1. VERY GOOD: superfici di discontinuità molto rugose e non alterate;
2. GOOD: superfici di discontinuità rugose, leggermente alterate;
3. FAIR: superfici lisce, moderatamente alterate;
4. POOR: superfici laminate, molto alterate con riempimento compatto con frammenti angolosi di roccia;
5. VERY POOR: superfici laminate, molto alterate con riempimento in argilla molle.

4.3. Il criterio di rottura di Hoek&Brown

Oltre alla determinazione dell'indice GSI, la classificazione consente la stima della resistenza a compressione di ammasso (σ_{cm}) tramite il **Criterio di Hoek&Brown** e mediante la sua linearizzazione si ottengono anche la coesione c' e l'angolo d'attrito ϕ' .

Vediamo qui di seguito in cosa consiste tale criterio.

Il criterio di Hoek&Brown è il criterio di rottura empirico più diffuso e utilizzato; è caratterizzato da un dominio di resistenza non lineare, i cui parametri sono dedotti sperimentalmente da esperienze incrociate in laboratorio ed in sito.

Rispetto alla formulazione originaria del 1980, questo criterio è stato modificato dagli Autori nel corso degli anni e perfezionato, anche per la sua applicazione a rocce tenere e alle formazioni complesse. Nel seguito viene illustrata la versione più recente (2002):

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma'_{ci} \left[m_b \cdot \left(\frac{\sigma'_3}{\sigma'_{ci}} \right) + s \right]^a$$

dove σ_1 e σ_3 sono gli sforzi principali efficaci massimi e minimi applicati a rottura;

σ_{ci} è la resistenza a compressione monoassiale del materiale roccia intatto;

m_b , s , a sono coefficienti che dipendono dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso.

Tali coefficienti possono essere calcolati tramite le seguenti formule:

$$m_b = m_i e^{\frac{GSI-100}{28-14 \cdot D}}$$

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3 \cdot D}}$$

$$a = 0.5 + \frac{1}{6} \cdot \left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right)$$

4. Caratterizzazione geomeccanica

dove:

m_i è un coefficiente tipico della roccia intatta, ricavabile dalla tabella 4.4;

GSI (Geological Strength Index) è, come precedentemente spiegato, un indice di qualità dell'ammasso roccioso variabile tra 5 e 100, funzione delle condizioni geomeccaniche e del grado di alterazione;

D è il fattore di disturbo, che tiene conto dell'impatto delle tecnologie di scavo sugli ammassi considerati e/o delle deformazioni subite dall'ammasso a seguito o prima della scavo (Tab. 4.5); esso varia tra 0 (ammassi non disturbati) e 1 (ammassi molto disturbati).

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates *	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2	Claystones 4 ± 2
			Breccias *		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
	Organic				Chalk 7 ± 2	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6	Gneiss 28 ± 5	
	Foliated**			Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3	Diorite 25 ± 5 Granodiorite (29 ± 3)		
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal			Porphyries (20 ± 5)	Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

* Conglomerates and breccias may present a wide range of m_i values depending on the nature of the cementing material and the degree of cementation, so they may range from values similar to sandstone, to values used for fine grained sediments (even under 10).

** These values are for intact rock specimens tested normal to bedding or foliation. The value of m_i will be significantly different if failure occurs along a weakness plane.

Tabella 4-4 – Stima della costante m_i per la roccia intatta (Marinos & Hoek, 2000)

4. Caratterizzazione geomeccanica




Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of D
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	D = 0
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	D = 0 D = 0.5 No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	D = 0.8

Tabella 4-5 – Determinazione del fattore di disturbo D.

In figura 4.1 è rappresentato un esempio di dominio alla Hoek&Brown, dove si riconosce l'intercetta con l'asse degli sforzi massimi (resistenza a compressione monoassiale). Gli stessi Autori hanno riconosciuto che tale valore non è applicabile a fini progettuali, in quanto eccessivamente cautelativo.

Per le applicazioni ingegneristiche, si propone quindi un valore diverso dalla resistenza, chiamata resistenza a compressione di ammasso ed indicata come σ_{cm} . Questa grandezza rappresenta sul piano s_1 - s_3 , il punto di intersezione tra l'asse degli sforzi massimi e la retta che interpola la curva di H&B nell'intervallo di sforzi di confinamento:

$$\sigma_t < \sigma_3 < \sigma_c / 4$$

4. Caratterizzazione geomeccanica

e analiticamente vale:

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \cdot \frac{(m_b + 4s - a \cdot (m_b - 8s)) \cdot \left(\frac{m_b}{4} + s\right)^{a-1}}{2 \cdot (1 + a) \cdot (2 + a)}$$

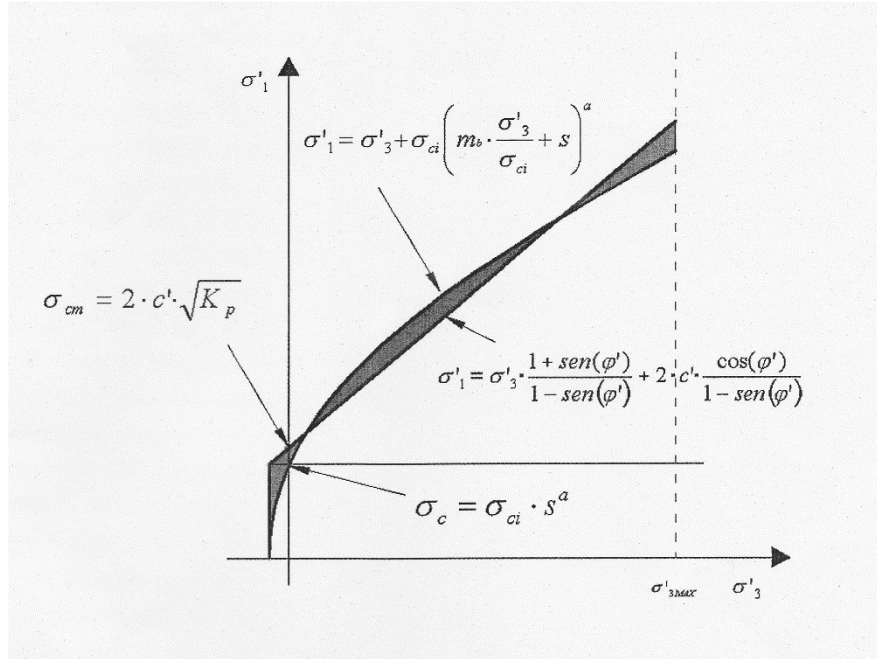


Figura 4-1 – Criterio di Hoek & Brown linearizzato

Uno dei principali problemi legati al criterio di rottura di H&B è la sua implementazione nelle applicazioni numeriche, resa difficoltosa dalla curvatura del dominio.

Per questo motivo gli Autori forniscono un criterio di rottura lineare alla Mohr-Coulomb “equivalente” a quello curvilineo.

Dal punto di vista operativo, i parametri del criterio linearizzato si ottengono in due fasi:

1. Calcolo di σ'_{3max} , resistenza a compressione massima:

$$\sigma'_{3max} = 0.72 \cdot \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma \cdot H}\right)^{-0.91} \cdot \sigma'_{cm}$$

2. Calcolo di c' e φ' :

$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1 - 2a)s + (1 - a)m_b \sigma'_{3n}] \cdot (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1 - a) \cdot (2 + a) \cdot \sqrt{1 + (6am_b(s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}) / ((1 + a)(2 + a))}}$$

$$\varphi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1 + a)(2 + a) + 6am_b(s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

con $\sigma'_{3n} = \sigma'_{3max} / \sigma'_{ci}$.

4.4. L'elaborazione dei dati

4.4.1. L'indice di Rock Mass Rating

Nell'analisi è stato considerato l'indice RMR di base (BRMR), il quale considera esclusivamente il tipo di ammasso senza tenere conto del parametro P6 relativo all'orientamento delle fratture. Il valore con il quale determineremo le classi di qualità dell'ammasso roccioso sarà quindi il BRMR e non l'RMR.

Nell'area di studio sono stati effettuati 13 rilievi geomeccanici. Gli affioramenti esaminati sono stati in seguito classificati secondo Bieniawski.

Tali rilievi sono quelli codificati da sigla "RGM".

I risultati ottenuti classificano la qualità degli ammassi rocciosi come prevalentemente discreta, con BRMR che varia tra il range di valori di 41-60 (Tab 4.2).

A partire dai valori di BRMR, sono state usate le relazioni seguenti per ottenere i valori di coesione ed angolo d'attrito.

$$c' [MPa] = 0,005 \cdot BRMR$$

$$\varphi' [^\circ] = 5 + \left(\frac{BRMR}{2}\right)$$

È stato inoltre calcolato il modulo elastico E (GPa) con la seguente relazione:

$$E [GPa] = 10^{\left(\frac{BRMR-10}{40}\right)}$$

I valori medi ottenuti ripettano il range di valori della classe di qualità discreta (Tab 4.2) e sono pari a 0,3 MPa per la coesione, 34° per l'angolo d'attrito e 20 GPa per il modulo elastico.

4.4.2. La determinazione dell'indice GSI

Per poter effettuare la classificazione GSI sono state eseguite una serie di foto per ogni ammasso roccioso.

Sono stati acquisiti per ogni affioramento un valore di GSI massimo ed uno minimo; è stata poi eseguita la media, con la finalità di ricavare da questa alcuni tra i principali parametri geomeccanici degli ammassi rocciosi.

I risultati ottenuti sono stati suddivisi in classi di valori e per ciascuna è stata calcolata la frequenza relativa attraverso l'istogramma in figura 4.2; sono stati considerati prima tutti gli affioramenti rilevati, e poi anche la loro suddivisione nelle zone omogenee precedentemente determinate (cap 3).

4. Caratterizzazione geomeccanica

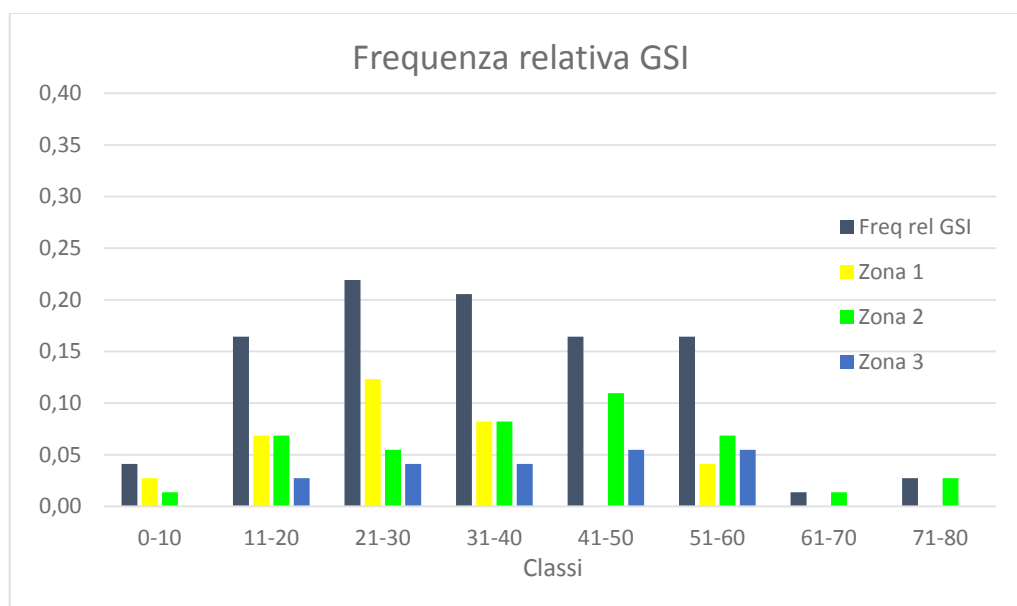


Figura 4-2 – Andamento della frequenza relativa dei valori di GSI di tutti gli affioramenti e per ogni zona omogenea, per ciascuna classe considerata. Le colonne blu rappresentano tutti gli affioramenti, quelle gialle la zona 1, quelle verdi la zona 2 mentre quelle azzurre la zona 3.

Dall'osservazione della figura soprastante si può dedurre che la classe che possiede la maggiore frequenza relativa è quella dei valori compresi tra 21 e 30; leggermente inferiore a quest'ultima, ma non di molto è la classe immediatamente successiva, 31-40.

Per quanto riguarda le zone omogenee, in cui si è fatto riferimento al paragrafo 3.3.2 del capitolo precedente, per la zona 1 (conoide) si riscontrano i valori di frequenza più elevati nella classe 21-30 mentre sia per la zona 2 (intermedia) che per la zona 3 (nicchia) la classe con valori maggiori è quella compresa tra 41-50; questo sta a significare che la qualità della roccia nella zona di nicchia ed in quella intermedia è migliore rispetto alla zona topograficamente meno elevata ma i valori riscontrati testimoniano comunque una bassa qualità delle rocce affioranti. Inoltre, riguardo sia alla zona 1 che alla zona 3 è possibile osservare come manchino affioramenti appartenenti alle classi maggiori, mentre la zona intermedia è distribuita più omogeneamente in tutte le classi di appartenenza.

Considerando le tre zone omogenee, possiamo affermare che la zona1, corrispondente all'area topograficamente meno elevata della zona d'esame, è quella con roccia più scadente, dal momento che il valore medio del GSI è pari a 27.

La zona 2 intermedia e la zona 3, di nicchia hanno valori di GSI medio simili e leggermente maggiori, rispettivamente pari a 39 e 38.

L'indice GSI può essere correlato con la Classificazione di Bieniawski mediante il BRMR' (ottenibile dal BRMR considerando l'indice relativo alle venute d'acqua P5 pari a 15):

$$GSI = BRMR' - 5$$

Nel caso in esame tutti gli affioramenti presentano condizioni asciutte, quindi il BRMR' e il BRMR coincidono.

4. Caratterizzazione geomeccanica

È stata applicata la relazione inversa, per ottenere il valore di BRMR per tutti gli ammassi rocciosi ed è stata poi calcolata la frequenza relativa con la medesima procedura applicata per i valori di GSI, rappresentando così i risultati ottenuti nell'istogramma in figura 4.3.

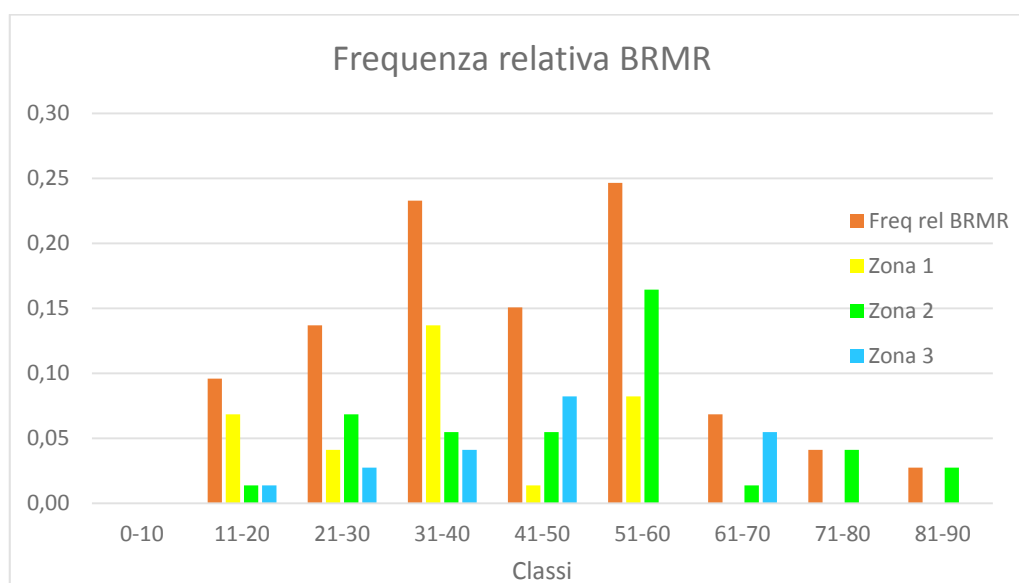


Figura 4-3 – Andamento della frequenza relativa dei valori di BRMR, calcolati a partire dai valori di GSI medio di tutti gli affioramenti e per ogni zona omogenea, per ciascuna classe considerata. Affioramenti globali = arancione, zona 1 = Giallo, zona 2 = verde, zona 3 = blu.

Come si può notare dall'istogramma, la classe che presenta i valori di BRMR maggiormente presenti è quella compresa tra 51 e 60, subito seguita dalla classe 31-40, che testimoniano una qualità bassa delle rocce affioranti, come rispecchiano i valori di GSI ottenuti. La zona 1 infatti, risulta essere quella con roccia di qualità scadente, essendo praticamente assente un affioramento appartenente a classi con valori maggiori di 60; le altre 2 zone invece, hanno dei valori leggermente superiori con dei picchi nella classe 41-50 per la zona 3 e 51-60 per la zona intermedia. Tali classi vengono accorpate nella classificazione di Bieniawski e corrispondono alla classe di qualità III, catalogata come roccia discreta.

Per comprendere meglio la distribuzione spaziale dei valori di GSI si è scelto di rappresentarli usando come base la cartografica tecnica (figura 4.4).

Sono stati considerati i valori di GSI più cautelativi, ovvero i minimi.

Per avere una visione d'insieme sono stati inoltre rappresentati sulla medesima cartografia anche i valori minimi di point load e le litologie affioranti e subaffioranti in modo da verificare le possibili correlazioni.

Dalla figura sottostante è possibile notare come la sponda destra del bacino Valchiosa, tra i 700 ed i 900 metri s.l.m., possieda i valori più bassi sia di GSI che di point load. Le caratteristiche geomeccaniche scadenti di tali rocce potrebbero essere connesse alla presenza della faglia del Mortirolo.

Anche la zona di nicchia ed il versante sinistro in zona intermedia posseggono valori bassi di GSI in corrispondenza rispettivamente degli gneiss e delle anfiboliti. I valori del point load in queste due aree invece, sono leggermente maggiori rispetto alla fascia sopra descritta.

Complessivamente tutta l'area è comunque caratterizzata da basse qualità dell'ammasso roccioso; qualità geomeccaniche scadenti sono invece circoscrivibili a zone ristrette.

4. Caratterizzazione geomeccanica

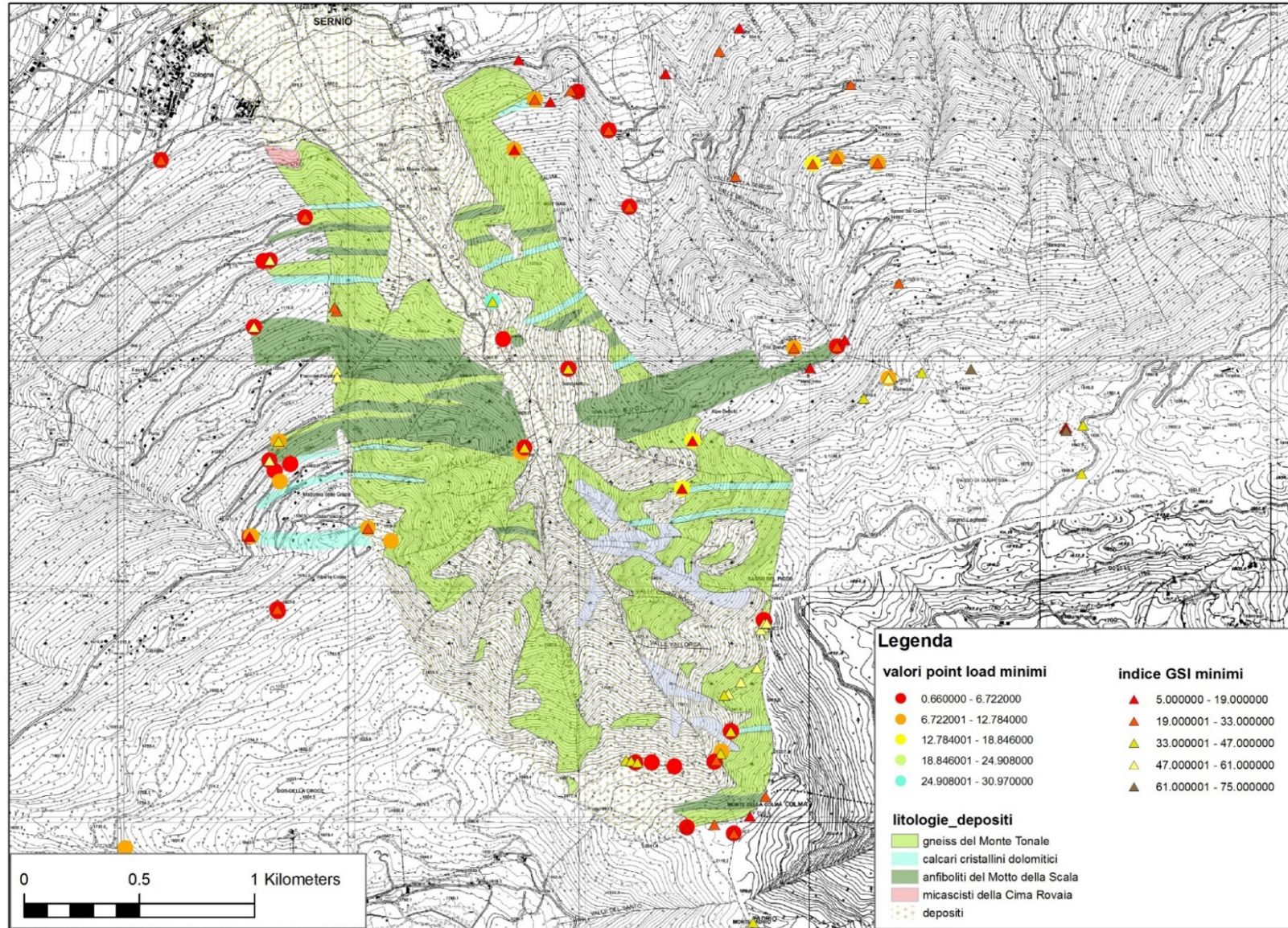


Figura 4-4 – Distribuzione spaziale dei valori di GSI minimo e di Point Load minimo correlati con le differenti litologie presenti. In rosso i valori più bassi, corrispondono a una qualità della roccia scadente.

4. Caratterizzazione geomeccanica

4.4.3. L'applicazione del criterio di Hoek&Brown

I risultati sono stati graficati anche in questo caso mediante istogrammi di frequenza suddividendo i valori di coesione e angolo d'attrito in classi (Fig. 4.5 e 4.6), e consentono di avere una visione più immediata e globale dei valori ottenuti.

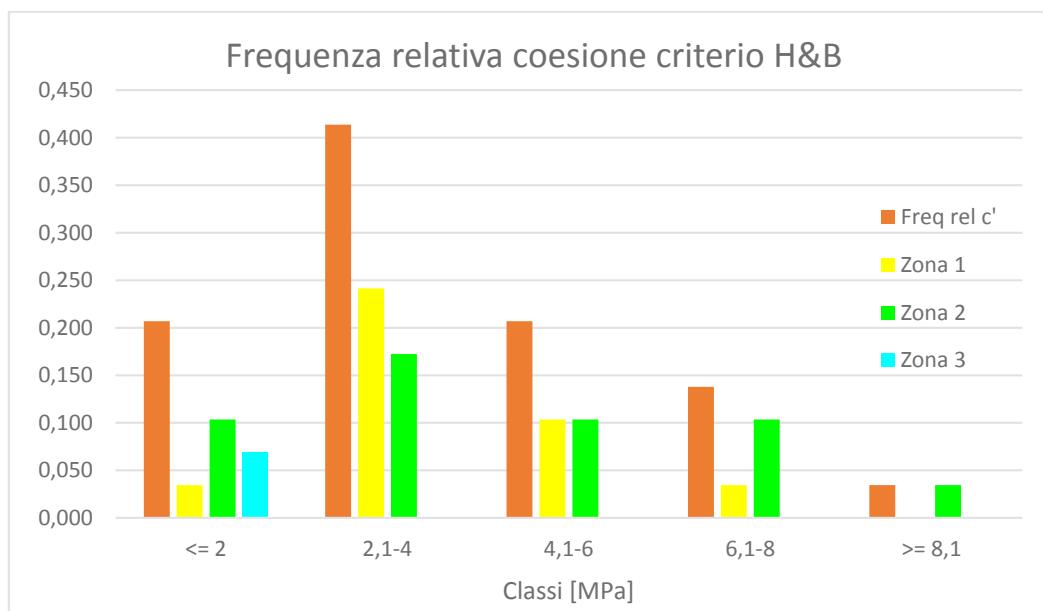


Figura 4-5 – Andamento dei valori di frequenza della coesione c' [MPa] per le differenti zone omogenee secondo il Criterio di Hoek&Brown (2002). Affioramenti globali = arancio, zona 1 = Giallo, zona 2 = verde, zona 3 = blu.

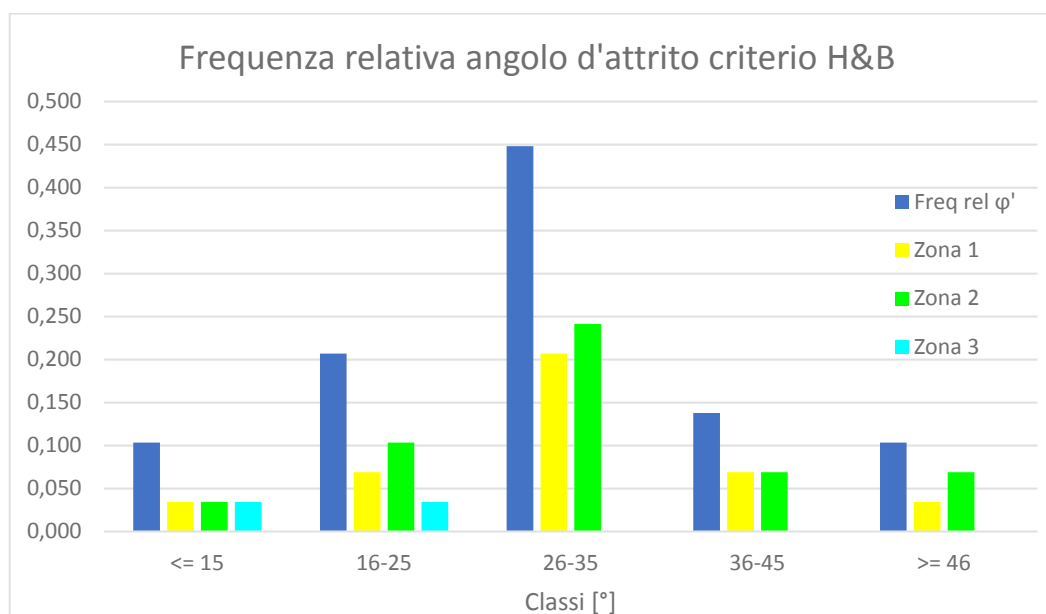


Figura 4-6 – Andamento dei valori di frequenza dell'angolo d'attrito ϕ' [°] per le differenti zone omogenee secondo il Criterio di Hoek&Brown (2002). Affioramenti globali = arancio, zona 1 = Giallo, zona 2 = verde, zona 3 = blu.

4. Caratterizzazione geomeccanica

Per quanto riguarda la coesione, i valori che si riscontrano maggiormente sono compresi tra 2,1 MPa e 4 MPa sia per quanto riguarda tutti gli ammassi rocciosi che per la zona 1 e 2; per la zona di nicchia invece sono più frequenti valori inferiori a 2 MPa.

Quanto all'angolo d'attrito i valori maggiormente riscontrati appartengono alla classe 26-35.

Sono stati inoltre calcolati coesione c' , angolo d'attrito φ e modulo di Young E applicando le formule della classificazione di Bieniawski (par. 4.3.1), avendo trovato per tutti gli ammassi rocciosi il valore di BRMR e graficato sempre mediante istogrammi di frequenza i risultati ottenuti. (Fig. 4.7 e 4.8)

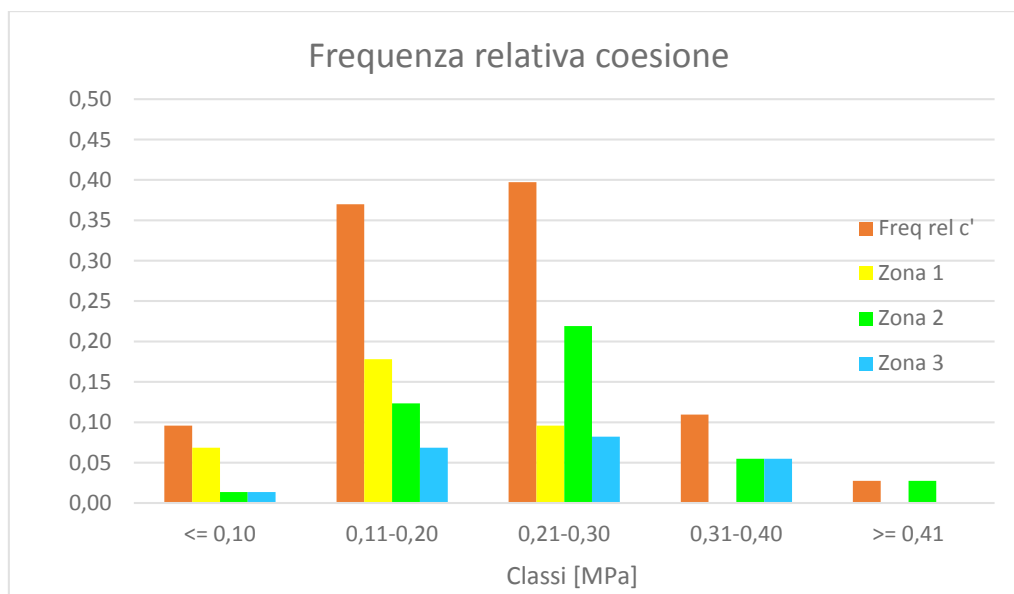


Figura 4-7 – Andamento dei valori di frequenza della coesione c' [MPa] per le differenti zone omogenee secondo le formule analitiche della classificazione di Bieniawski (1973). Affioramenti globali = arancio, zona 1 = Giallo, zona 2 = verde, zona 3 = blu.

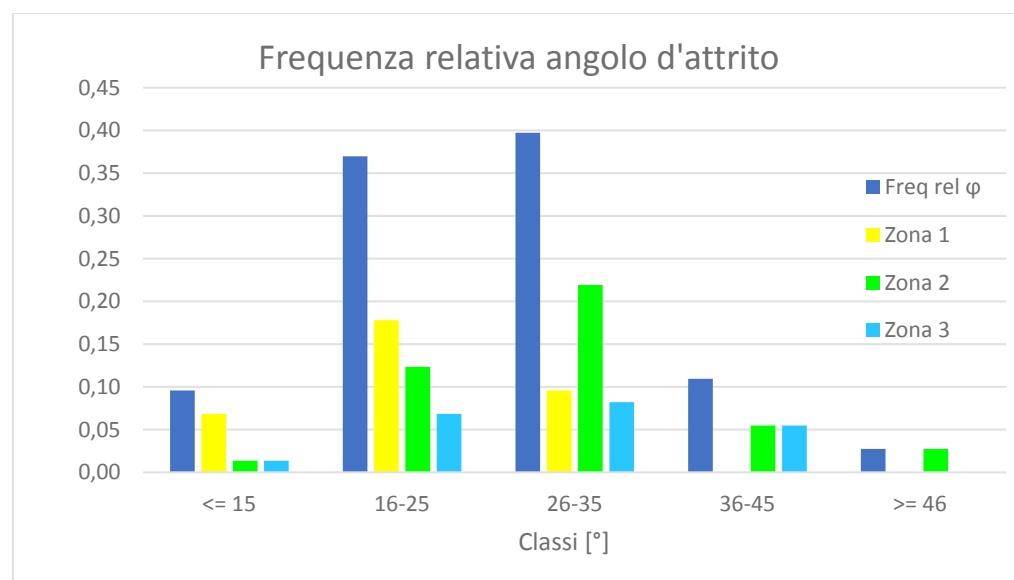


Figura 4-8 – Andamento dei valori di frequenza dell'angolo d'attrito φ [°] per le differenti zone omogenee secondo le formule analitiche della classificazione di Bieniawski (1973). Affioramenti globali = arancio, zona 1 = Giallo, zona 2 = verde, zona 3 = blu.

4. Caratterizzazione geomeccanica

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito ϕ , i valori trovati sono i medesimi del criterio di Hoek&Brown, mentre la coesione c' differisce notevolmente passando da un valore di compreso tra 2,1 e 4 MPa a uno compreso tra 0,2 e 0,3 Mpa. Questo è dovuto al fatto che Bieniawski fornisce solo un'indicazione di quello che può essere il valore della coesione, senza quindi raggiungere la precisione del criterio di Hoek&Brown.

4.5. Conclusioni

Si presenta una tabella riepilogativa dei valori medi e minimi ottenuti riguardo a GSI, BRMR, coesione ed angolo d'attrito secondo Bieniawski e Hoek&Brown (Tab. 4.6 e 4.7).

	GSI	BRMR	Qualità roccia	c' [MPa]	ϕ [°]	E [MPa]
MEDIA ASS	34,84	43,14	discreta	0,22	26,57	11,00
media zona1	26,90	33,87	scadente	0,18	22,58	5,93
media zona2	39,23	49,23	discreta	0,25	29,62	15,84
media zona3	38,44	43,44	discreta	0,22	26,72	9,27
MINIMO ASS	7,50	12,50	molto scadente	0,06	11,25	1,15
min zona1	7,50	12,50	molto scadente	0,06	11,25	1,15
min zona2	7,50	12,50	molto scadente	0,06	11,25	1,15
min zona3	12,50	17,50	molto scadente	0,09	13,75	1,54

Tabella 4-6 – Valori medi e minimi assoluti e di ciascuna zona omogenea del GSI, del BRMR, della coesione, dell'angolo d'attrito, del modulo di Young e la corrispondente qualità della roccia secondo il criterio di Bieniawski.

Hoek & Brown	c' [MPa]	ϕ' [°]
MEDIA ASS	3,72	29,01
Media zona 1	3,29	27,55
Media zona 2	4,14	30,06
Media zona 3	1,49	16,01
MINIMO ASS	0,74	7,33
Min zona 1	0,79	9,39
Min zona 2	0,74	7,33
Min zona 3	1,26	13,76

Tabella 4.7 – Valori medi e minimi assoluti e di ciascuna zona omogenea della coesione e dell'angolo d'attrito secondo il criterio di Hoek&Brown.

Osservando le 2 tabelle soprastanti, si può concludere che, il valore medio dell'angolo d'attrito ϕ calcolato con il criterio di Hoek&Brown corrisponde circa a quello trovato attraverso le formule analitiche di Bieniawski ed è pari a 29°; per quanto riguarda la coesione, quest'ultimo criterio fornisce solo un'indicazione di quello che potrebbe essere il valore, infatti, i due valori medi trovati differiscono notevolmente, rispettivamente 0,22 MPa per Bieniawski contro 3,72 MPa secondo Hoek&Brown.

Il valore medio del modulo di Young invece è pari a 11 GPa.

4. Caratterizzazione geomeccanica

Per quanto riguarda GSI e BRMR si può affermare che la qualità degli ammassi rocciosi affioranti nell'area di esame è discreta, ma tendente allo scadente per quanto riguarda la zona topograficamente meno elevata, ovvero la conoide di deiezione che presenta un BRMR medio pari a 34 ed un GSI pari a 27.

Il valore medio complessivo di BRMR, rispecchia circa il valore delle zone omogenee 2 e 3 con un valore pari a 43, mentre il GSI medio complessivo è pari a circa 35.

I picchi di minimo invece, sono alquanto bassi per tutti i dati rilevati ed appartengono ovviamente alla zona 1, e confermano pienamente la bassa qualità delle rocce affioranti.

I valori di GSI e BRMR sono stati inseriti nella scheda rilievo della quale si è parlato nel paragrafo 3.3 del precedente capitolo.

Capitolo 5

Ricostruzione del modello concettuale della frana

Un modello concettuale rappresenta la schematizzazione geometrica e fisica del fenomeno in esame, con identificazione dei processi rilevanti e dei parametri rappresentativi. Nel caso specifico di una frana, questo significa ricostruire il modello fisico del sottosuolo, dal punto di vista strutturale, geologico, geomorfologico e idrogeologico.

Inoltre, è necessario attribuire ai geomateriali coinvolti dal movimento delle proprietà fisiche e meccaniche, nonché identificare le cause predisponenti e scatenanti.

Nei paragrafi seguenti verranno correlati i diversi aspetti analizzati nei capitoli precedenti al fine di giungere alla ricostruzione del modello concettuale della frana che ha dato origine alla megaconoide di Sernio.

5.1. Modello geometrico

Il bacino della Valchiosa è stata suddiviso nelle tre zone strutturalmente omogenee di cui si è parlato nel paragrafo 3.3 del relativo capitolo ed attraverso la figura 5.1 è stata determinata la topografia dell'area.

5. Ricostruzione del modello concettuale della frana

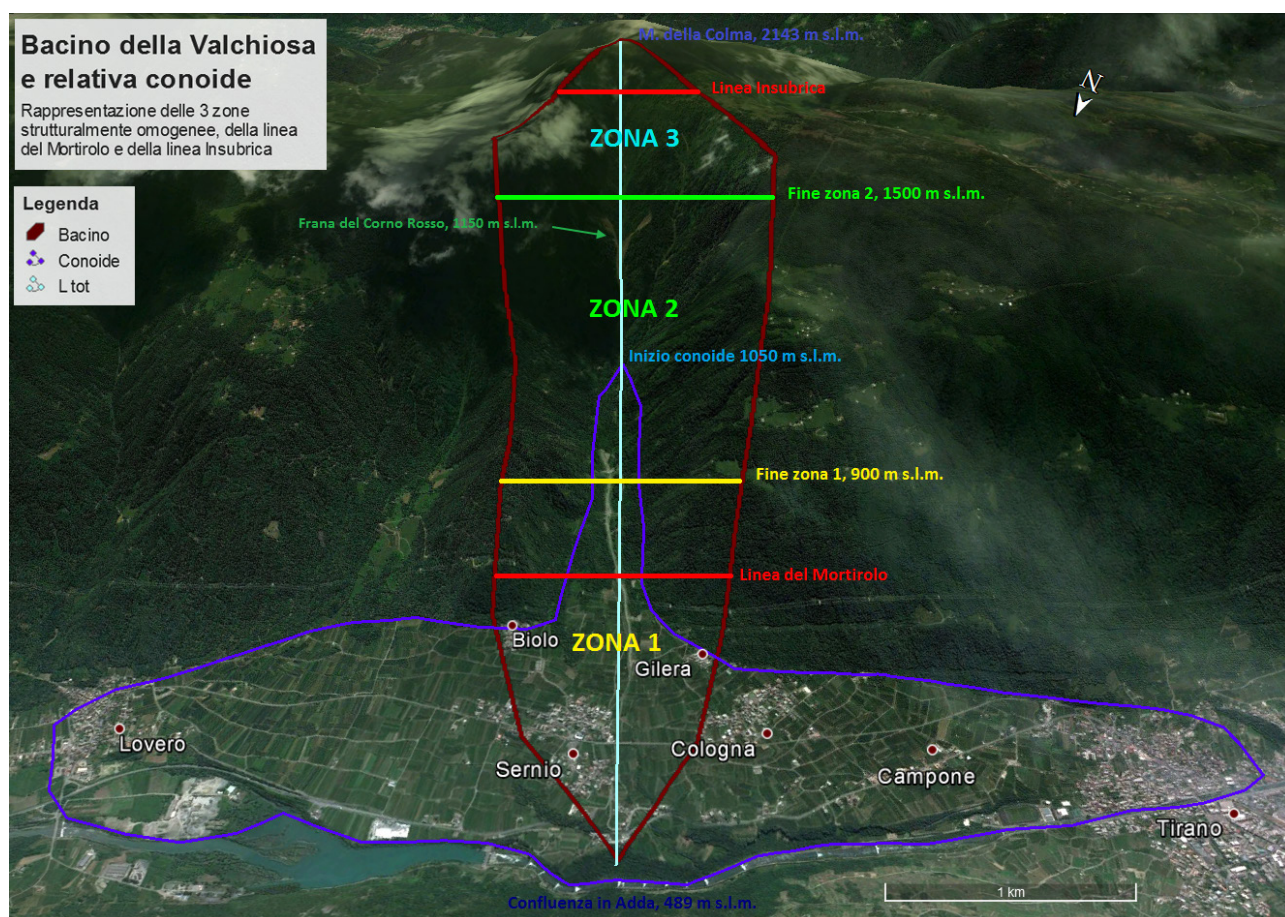


Figura 5-1– Suddivisione delle tre zone strutturalmente omogenee (suddivise dalla Linea del Mortirolo e dalla Linea Insubrica), rappresentazione dell'area dell'intero bacino, della conoide e della linea di massima pendenza, totale e per ciascuna zona (immagine da Google Earth).

Per ciascuna zona è stato determinato il corrispondente profilo di elevazione:

1. Zona 1: come è possibile vedere in figura 5.2 la pendenza media della zona 1 è circa pari al 17%, da quota 650 m s. l. m. fino all'Alpe Monte cristallo la pendenza media è di circa 15%, per poi abbassarsi fino ai 5-10% in media nel tratto fino a 500 m s. l. m., e subire un brusco aumento al 30% nel tratto terminale, in corrispondenza della confluenza in Adda.



Figura 5-2 – Profilo di elevazione della Zona 1 (Google Earth).

5. Ricostruzione del modello concettuale della frana

2. Zona 2: dal profilo di elevazione in figura 5.3 è possibile notare come la suddetta area è suddivisa in 2 tratti, il primo a valle della frana del Corno Rosso (ubicata a quote comprese tra 1300 - 1550 m s. l. m.), avente pendenza media pari ai 25%, dove ha inizio la conoide; il secondo, a monte di essa, caratterizzato da pendenze nettamente superiori pari circa al 55%; questo aspetto spiega il notevole accumulo di detriti da crollo a quota 900 – 950 m s. l. m.

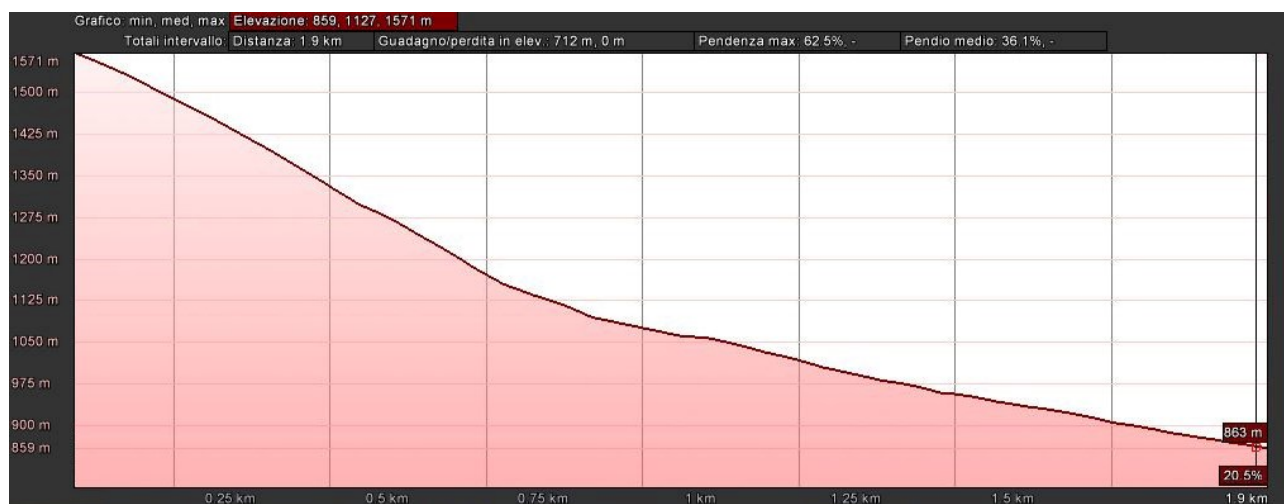


Figura 5-3 – Profilo di elevazione della zona 2 (Google Earth).

3. Zona 3: dal profilo di elevazione in figura 5.4 si nota come la pendenza sia in linea con la zona 2 fino al Monte della Colma a quota 2143 m s. l. m. e pari circa al 60%. Gli alvei sono quindi molto inclinati ed abbastanza rettilinei. Si evidenzia inoltre, grazie allo studio geologico della Dott da Prada, una modesta asimmetria dei versanti, dettata soprattutto dalla differenza litologica e dalla presenza di aree in dissesto; il versante destro del Torrente Valchiosa, oltre a presentare una maggiore percentuale di affioramenti rocciosi è caratterizzato da frane più estese, tra le quali spicca la già citata frana di Corno Rosso. Sul lato sinistro invece, sono presenti un maggior numero di piccoli scivoliamenti che evolvono in colate e interessano buona parte delle incisioni vallive. Infine, l'inclinazione media di entrambi i versanti è compresa tra i 75% e gli 85%.

5. Ricostruzione del modello concettuale della frana



Figura 5-4 – Profilo di elevazione della zona 3 (Google Earth).

Il profilo delle pendenze dal Torrente Valchiosa rispecchia quello del pendio sopracitato, in quanto l'alveo è profondamente inciso. Si ha quindi una pendenza del 60% circa dall'origine del torrente presso Monte della Colma a quota 2143 m s. l. m. fino a circa 1050 m s. l. m., punto di inizio della conoide, dove diminuisce ed è pari al 25%. L'ultimo tratto del torrente ha una lieve pendenza pari al 5 – 10% fino a quota 500 m s. l. m., per poi aumentare al 30% nel tratto terminale, dove confluisce in Adda.

Grazie allo studio della Dott. Da Prada è possibile apprendere che, nel tratto topograficamente più elevato, date le elevate pendenze non si hanno fenomeni di accumulo di detriti, che iniziano a depositarsi quindi, a partire dal cambio netto di pendenza, a quota 1050 m s. l. m., dove si osservano, fino a quota 700 metri, processi di deposito di colate detritiche, attualmente colonizzate da vegetazione spontanea, e modesti fenomeni di erosione delle stesse; in questo tratto la morfodinamica fluviale si è esplicata soprattutto in passato e con processi deposizionali prevalenti rispetto a quelli erosivi.

Nell'ultimo tratto, da quote inferiori ai 700 m s. l. m. fino a circa 500 m s. l. m. non si osservano segni evidenti di morfodinamica fluviale, mentre nel tratto terminale, in corrispondenza dell'aumento di pendenza, sono presenti erosioni profonde lungo le sponde del corso d'acqua, ancora in parte attivi.

5.2. Modello geologico-strutturale

La Linea Insubrica, e poco più a Nord la Linea del Mortirolo, permettono di suddividere il bacino di interesse nelle tre zone strutturalmente omogenee, così definite (Fig. 5.1):

1. Zona 1, compresa tra la confluenza in Adda 489 m s. l. m. e quota 900 m s. l. m., superiore rispetto al passaggio della Linea del Mortirolo (quota 750 m s. l. m. ca), rappresenta l'area comprendente la maggior parte della conoide, che ha inizio, a metà della zona intermedia a quota 1050 m s. l. m.
2. Zona 2, area intermedia, più lontana dai due lineamenti, Mortirolo e Linea Insubrica, ha inizio circa a quota 900 m s. l. m. per terminare a monte della frana del Corno Rosso (quota 1500 m s. l. m.).

5. Ricostruzione del modello concettuale della frana

3. Zona 3, comprendente la parte alta del bacino di interesse, rappresenta l'area di nicchia; ha inizio circa a quota 1500 m s. l. m. per terminare in corrispondenza del Monte della Colma (2143 m s. l. m), dove passa la Linea Insubrica.

Facendo sempre riferimento alle tre zone sopracitate, è possibile applicare, una distinzione litologica dei 3 diversi domini:

1. Zona 1: dalla confluenza in Adda a quota 489 m s. l. m. fino a circa 650 metri l'area è caratterizzata da depositi superficiali, rappresentata dai depositi di conoide del Torrente Valchiosa; dai 650 metri fino al termine della zona 1 i depositi superficiali diventano di tipologia fluvio-torrentizia. La profondità di tali depositi, che mascherano completamente il substrato roccioso, è ipotizzata arrivare fino a quota 420 m s. l. m., all'altezza dell'abitato di Tirano. Si segnala inoltre, al piede del versante sinistro, in corrispondenza con alcune vallecole laterali del Torrente Valchiosa, conoidi di tipo misto (detrítico – torrentizi), falde di detrito e un affioramento del substrato roccioso a quote inferiori rispetto al versante destro, il quale invece, è caratterizzato da coltri di copertura maggiormente estese, in particolare accumuli detritici e depositi eluvio colluviali all'altezza dell'Alpe Monte Cristallo (750 m s. l. m.);

2. Zona 2: fino ai 900 – 950 metri i versanti sono caratterizzati da diffusi fenomeni di crollo (frana Corno Rosso leggermente più a monte, vedi aspetti geomorfologici) che alimentano i depositi di conoide che si estendono con continuità al piede degli stessi; tali accumuli, mascherano in parte il substrato roccioso, ampiamente presente in questa zona (Fig. 4.4, Cap 4); la parte alta a monte dell'apice della conoide è caratterizzata dalla presenza di depositi di versante.

3. Zona 3: caratterizzata dalla presenza di depositi glaciali, aventi uno spessore stimato di circa 5 metri e composti principalmente da ghiaie e sabbie con limo.

Il substrato roccioso, di cui non è nota la profondità, è presente nell'intero bacino di interesse, si estende al di sotto dei depositi superficiali, ed emerge in superficie solo nei punti rilevati.

5.3. Il modello geologico-tecnico

Il substrato roccioso è stato considerato come corpo unico, non differenziato secondo le tre diverse litologie (par 3.3 Cap 3).

Ad ogni zona strutturalmente omogenea è stato attribuito il valore medio dei corrispondenti parametri geomeccanici, e il valore medio del peso specifico (Tab 5.4).

Parametri fisico-meccanici	c' [MPa]	φ [°]	E [GPa]	γ (KN/m ³)	$\sigma_{ci \text{ min}} \perp$ [MN/m ²]	$\sigma_{ci \text{ min}} //$ [MN/m ²]
Media Assoluta	3,72	26,57	11,00	26,11	143,82	98,77
Media zona 1	3,29	22,58	5,93	25,69	148,21	108,96
Media zona 2	4,14	29,62	15,84	26,47	143,82	118,05
Media zona 3	1,49	26,72	9,27	26,24	124,22	55,38

Tabella 5-1– Valori medi, assoluti e suddivisi per ciascuna zona, della coesione, angolo d'attrito, modulo di Young, peso specifico e resistenza a compressione monoassiale con rottura normale e parallela alla scistosità.

Come si può visualizzare nella tabella soprastante, i valori medi che contraddistinguono l'intero bacino della Valchiosa risultano essere pari a 3,7 MPa per la coesione c' , 26,6° per l'angolo d'attrito φ , 11 MPa per il Modulo di Young E, 26,1 KN/m³ per il peso specifico γ . Infine per la resistenza a compressione monoassiale con rottura normale e parallela alla scistosità, $\sigma_{ci \perp}$ e $\sigma_{ci //}$ sono stati considerati i valori più cautelativi, ovvero i minimi, ed è stato poi determinato il valore medio pari rispettivamente a 144 MN/m² e 99 MN/m².

Il coefficiente di Poisson ν , definito come rapporto tra la deformazione trasversale e quella longitudinale viene considerato essere pari circa a 0,5 per l'intero bacino, valore massimo attribuibile, che denota l'incompressibilità del materiale.

Nonostante la zona 1 presenti i valori minori di BRMR e GSI (vedi par. 4.5, cap 4) e quindi la qualità più bassa degli ammassi rocciosi, la zona 3 è caratterizzata dal possedere il valore minore di $\sigma_{ci \perp}$ e $\sigma_{ci //}$ e di coesione, segno che rappresenta una propensione maggiore al franamento, considerate anche le elevate pendenze (60%) di tale zona.

Nella figura 5.5 è rappresentata la sezione trasversale del profilo di pendenza dell'alveo inciso, con i relativi parametri geomeccanici la composizione litologica geologiche per ogni zona omogenea.

5. Ricostruzione del modello concettuale della frana

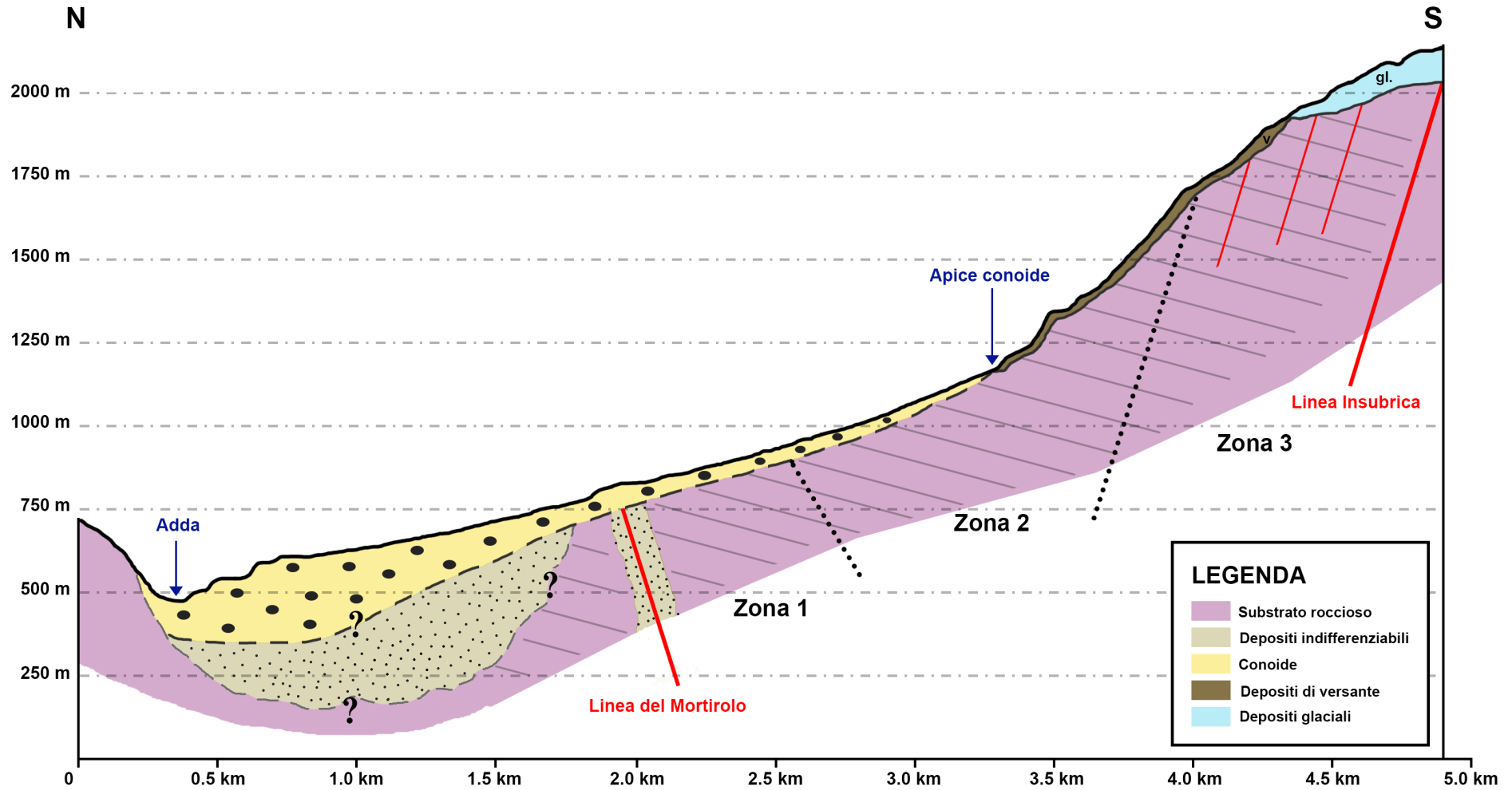


Figura 5-5 – Sezione trasversale del profilo di pendenza dell'alveo inciso, con relativa caratterizzazione geologica e strutturale per zone omogenee.

5. Ricostruzione del modello concettuale della frana

Dalla figura soprastante si evince che la zona 1 è costituita da un notevole spessore di depositi di detrito da conoide che si estendono probabilmente fino a quota 400 m s. l. m ca. Al di sotto dei 400 m s. l. m. non è possibile conoscere con certezza la configurazione del sottosuolo; si può ipotizzare la presenza di una grossa concavità, rappresentante l'ex fondovalle (prima della formazione della mega-conoide) saturato da depositi indistinti, al di sotto dei quali si estende probabilmente il substrato roccioso. All'altezza della linea del Mortirolo i depositi da conoide diminuiscono progressivamente fino al suo apice, dove vengono sostituiti da uno strato di depositi di versante. Tali depositi, nascondono quasi interamente il substrato roccioso, (che emerge solamente nei punti rilevati in sito, Cap. 3), di cui non è possibile conoscere con certezza la profondità.

La zona di nicchia invece, è caratterizzata da una coltre di depositi glaciali, avente uno spessore di circa 5 metri, che copre anche in questo caso la maggior parte del substrato roccioso.

Il substrato roccioso ha scistosità che immerge verso sud ed una bassa inclinazione.

La Linea del Mortirolo e la Linea Insubrica sono orientate in direzione E-O, ma considerando il loro andamento in profondità, dalla figura è possibile osservare come abbiano immersione rispettivamente, a Sud per la prima, ed a Nord per la seconda.

La suddivisione delle zone in profondità segue l'andamento dei due lineamenti.

5.4. Ricostruzione della dinamica dell'evento

Le cause che hanno portato e tuttora portano all'attivazione di frane da crollo e colate di detrito si suddividono in predisponenti e scatenanti.

5.4.1. *Le cause predisponenti*

Dalle analisi geomeccaniche di cui si è parlato nel capitolo precedente è emerso che tutta l'area di interesse è caratterizzata da una bassa qualità degli ammassi rocciosi causata da:

- Stato di fratturazione, dovuto alle numerose faglie distribuite omogeneamente sull'intero bacino e perlopiù con orientazione parallela alla scistosità;
- Bassa resistenza a compressione monoassiale con rottura parallela alla scistosità (Par 3.2.4, Cap. 3);
- Stato di alterazione elevato (Par. 3.2.3, Cap. 3);
- Depositii superficiali nella parte medio bassa del bacino e depositi glaciali, presenti soprattutto nella parte alta (fine zona 2 e zona 3).

5.4.2. *Le cause scatenanti*

La causa principale di innesco è da attribuirsi senza dubbio ai movimenti gravitativi profondi di versante e alla storia glaciale del Bacino del Torrente Valchiosa.

L'innesco di movimenti gravitativi profondi di versante, dei quali si è parlato nel par 2.2 del relativo capitolo, coinvolgono l'intero versante, hanno spostamenti ridotti rispetto alla sua estensione, limiti e superfici di scorrimento poco definite ma grosse evidenze morfostrutturali, quali creste sdoppiate, scarpate e controscarpate e portano alla conseguente attivazione di frane "figlie" nel settore medio basso del bacino (zona di Frana Corno Rosso, vedi Fig. 5.1).

5. Ricostruzione del modello concettuale della frana

In particolare, la tipologia di DGPV che si verifica nell'area di interesse è la cosiddetta "sackung" (Zischinsky, 1966; Sagging, Hutchinson, 1988; Rock Flow, Varnes, 1978) caratterizzata da evidenze morfostrutturali nel settore superiore del versante, e rigonfiamento al piede, fenomeni di creep dell'ammasso roccioso lungo i piani di scistosità e localizzazioni delle deformazioni lungo una zona di taglio.

Tali movimenti, uniti alla deglaciazione e scioglimento del permafrost nella parte medio alta del suddetto bacino hanno prodotto un collasso della parte superiore del versante con successiva trasformazione della frana in colata detritica, dove le pendenze iniziano a diminuire. Una volta innescata, la colata può scorrere anche con pendenze inferiori a 16%, nella cosiddetta zona di transito, da quota 950 m s. l. m. per l'area di interesse, fino all'inizio della conoide, che rappresenta la zona di accumulo o deposito.

La formazione di una conoide avente un'estensione areale eccessiva rispetto alle dimensioni del bacino di appartenenza fa però pensare all'esistenza di una montagna nella zona di coronamento del bacino, la quale, in passato, in seguito ad un evento di dimensioni catastrofiche ha subito un collasso. Tale evento ha determinato la produzione dell'ingente quantità di detriti che ora formano la mega-conoide; il susseguirsi di frane e colate detritiche ha incrementato ulteriormente tale produzione, accrescendone quindi il suo volume.

5.5. Il rischio residuo

In relazione a quanto detto sopra, tali movimenti tettonici (DGPV, frane, colate) producono un rischio residuo che riguarda la possibile evoluzione attuale del bacino di interesse.

Il rischio residuo (R_r) è definito come differenza tra il rischio totale (R , ovvero, il valore atteso delle perdite umane, dei feriti dei danni alla proprietà e delle perturbazioni alle attività economiche dovute ad un particolare fenomeno naturale), ed la variazione del livello di rischio (ΔR) a seguito delle opere di intervento adottate in relazione al pericolo in esame.

Tale rischio residuo è caratterizzato quindi dal possibile arretramento del ciglio delle frane esistenti, alla conseguente espansione delle medesime e all'approfondimento ed estensione delle aree in erosione, con la formazione di nuovi percorsi di colata detritica. Si verificherebbe quindi trasporto di massa con la deposizione di materiale detritico a valle, dove sono favoriti i fenomeni deposizionali rispetto a quelli di trasporto. Ciò determinerebbe l'aumento di volume della mega-conoide di Sernio.

5. Ricostruzione del modello concettuale della frana

Conclusioni

Gli elementi determinanti per lo sviluppo delle mega-conoidi sono da attribuire all'origine dei depositi e alla geologia delle rocce affioranti presenti nelle aree di alimentazione, sia ad alta che a bassa quota rispetto al cono, alla storia glaciale ed alla morfologia del bacino di alimentazione, ed infine ai movimenti gravitativi profondi di versante.

I risultati dei parametri geomeccanici dedotti dal rilievo in sito non hanno evidenziato delle giaciture preferenziali ma è stato possibile notare, come la maggior parte delle faglie sia orientata per lo più parallelamente alla scistosità, determinando così una debolezza lungo tale piano, caratteristica poi confermata grazie alle prove di Point Load effettuate sui campioni raccolti.

Inoltre l'area di rilievo è attraversata da due lineamenti tettonici di rilevante importanza, la Linea Insubrica e la Linea del Mortirolo, orientate in direzione Est-Ovest rispetto al bacino di interesse; tali lineamenti hanno permesso la suddivisione dell'area di rilievo in tre zone strutturalmente omogenee (l'area di conoide, la zona intermedia e la testata del bacino).

Infine, le rocce affioranti, ove non sono coperte da deposito glaciale presentano un coefficiente di alterazione alquanto elevato.

Sono state applicate due diverse tipologie di caratterizzazione geomeccanica, il Rock Mass Rating secondo Bieniawski, e la classificazione GSI, attraverso la quale si è potuto applicare il Criterio di rottura di Hoek & Brown. Gli indici ottenuti da entrambe le classificazioni, e la coesione e l'angolo d'attrito caratterizzanti l'area di interesse, attestano una qualità discreta delle rocce affioranti.

È stato quindi ricostruito un modello concettuale, basato sugli aspetti strutturali, geologici, geomorfologici e idrologici, del bacino in esame; sono state prese in esame le pendenze medie dei versanti ed il profilo di pendenza lungo l'incisione dell'alveo entrambi per ciascuna zona omogenea, gli spessori dei depositi superficiali (da conoide, di versante e glaciali), calcolati i parametri fisico-meccanici del substrato roccioso (coesione, angolo d'attrito, modulo di Young, resistenza a compressione monoassiale e peso specifico) e considerate le eventuali frane verificatesi in passato.

La particolarità della conoide del Bacino Valchiosa consiste nell'averne un'estensione elevata rispetto al bacino da cui ha avuto origine, ed è quindi identificata come mega-conoide o conoide "anomala".

La sua origine quindi, non può essere determinata solamente da frane, valanghe in roccia, crolli e colate di detrito, ma analogamente ai due casi specifici trattati nel Capitolo 1 (conoide del Migiondo e Malser Haide) si presuppone che vi sia stato un evento catastrofico in passato, e quindi l'esistenza di una montagna sulla testata della valle, che, data la bassa qualità substrato roccioso, il suo elevato grado di alterazione, i movimenti gravitativi e lo scioglimento del permafrost, ha subito un collasso tale da mobilitare un'ingente quantità di detriti che ha prodotto la conoide di grandi dimensioni. Le frane e le colate di detrito che si sono succedute hanno contribuito e tutt'ora contribuiscono all'incremento di depositi superficiali e quindi al volume totale della mega conoide.

6. Conclusioni

Bibliografia

- C. AMBROSI, G. B. CROSTA, 2005: Large sackung along major tectonic features in the Central Italian Alps
- L. ARZUFFI, 2003: Tesi di dottorato: Studio dei conoidi di debris-flow nel quadro dell'evoluzione quaternaria della Val Roseg (Engadina, Svizzera)
- G. BELTRAMI, A. BIANCHI, G. BONSIGNORE, E. CALLEGARI, P. CASATI, R. CRESPI, I. DIENI, M. GNACCOLINI, G. LIBORIO, A. MONTRASIO, A. MOTTANA, U. RAGNI, G. SCHIAVINATO, B. ZANETTIN, 1971: Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000, foglio 19 Tirano
- G. CROSTA & P. FRATTINI, 2003: Controls on modern alluvial fan processes in the Central Alps, Northern Italy
- T. DA PRADA, 2004: Interventi di difesa idrogeologica nel bacino del Torrente Valchiosa, progetto definitivo
- M. GUGLIELMIN & G. OROMBELLI, 2001: Il cono di deiezione terrazzato allo sbocco della valle di Migiondo presso Sondalo (Valtellina)
- D. JARMAN, F. ARIGLIARDI & G. CROSTA, 2011: Megafans and outsize fans from catastrophic slope failures in Alpine glacial troughs: The Malser Haide and the Val Venosta cluster, Italy
- L. SCESI, M. PAPINI, P. GATTINONI, 2010: Geologia applicata, il rilevamento geologico tecnico, Vol 1
- SOCIETA' GEOLOGICA ITALIANA, 1990: Alpi e Prealpi Lombarde
- L. SORGIA, 2008: Tesi di dottorato: Descrizione, funzionamento e analisi prestazionale delle macchine di scavo meccanizzato, pp. 13-41

Bibliografia

Appendice 1: Schede rilievo

Rilievo N°	RGM1	Coordinata X	1592032,339	Coordinata Y	5115887,464		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	paragneiss	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	25x25x15	
RQD (%)	72						
Orientazione versante [°]	190/78	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	188/82	274/83	286/34	68/40		
	spaziatura (cm)	20	20	20	100		
	persistenza P(%)	>90	>90	50-90	<50		
	persistenza A(%)	>80	>80	20-80	<20		
	apertura (mm)	1-2.5					
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC	2-4						
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	-	22,8	45,436	0,5			
	c' [Mpa]	φ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,26	31	11,2	24,28			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,8	33	1,407	0,0003254	0,507		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	φ'			
	3,517	14,691	2,351	21,891			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	47				
P1) Resistenza PL	4						
P2) RQD	13						
P3) Spaziatura	10						
P4) Giunti	10						
P5) Acqua	15						
RMR_b =	52						
NOTE							
GSI da formula (calcolare quello da foto)							

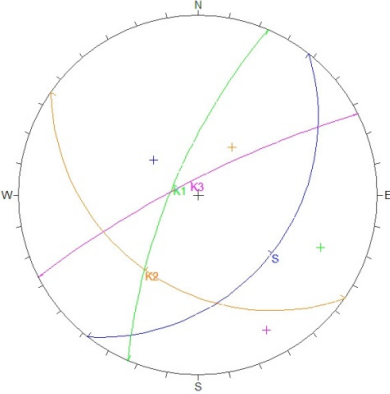

Appendice 1

Rilievo N°	RGM2	Coordinata X	1592617,188	Coordinata Y	5117380,9		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	marmo	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	40X20X15	
RQD (%)	63						
Orientazione versante [°]	334/70	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	329/65	265/73	253/50	90/46		
	spaziatura (cm)	-	100	20	-	-	
	persistenza P(%)	>90	50-90	50-90	50-90		
	persistenza A(%)	>80	20-80	20-80	20-80		
	apertura (mm)	2.5-5					
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC	4-6						
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	-	-	48,926	-			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,25	30	10	26			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	0,5	9	0,757	0,0009747	0,507		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	48				
P1) Resistenza PL	5						
P2) RQD	13						
P3) Spaziatura	10						
P4) Giunti	10						
P5) Acqua	15						
RMR_b =	53						
NOTE							
Campione non rotto --> non abbiamo resistenza a carico puntuale, ma resistenza a compressione monoassiale. GSI da formula							

Appendice 1

Rilievo N°	RGM3	Coordinata X	1592747,629	Coordinata Y	5117555,1		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	marmo	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	50X15X20	
RQD (%)	79						
Orientazione versante [°]	80/98	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	282/30	97/76	214/79			
	spaziatura (cm)	20	8,333333333	14,2857143	-	-	
	persistenza P(%)	>90	>90	50-90			
	persistenza A(%)	>80	>80	20-80			
	apertura (mm)	-					
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC	4-6						
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	127,68	-	36,812	5,4			
	c'[Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,26	31,00	11,22	26			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	0,2	9	1,099	0,0018189	0,507		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	17,774	18,090	4,304	31,591			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	47				
P1) Resistenza PL	12						
P2) RQD	17						
P3) Spaziatura	8						
P4) Giunti	0						
P5) Acqua	15						
RMR_b =	52						
NOTE							
GSI da formula							

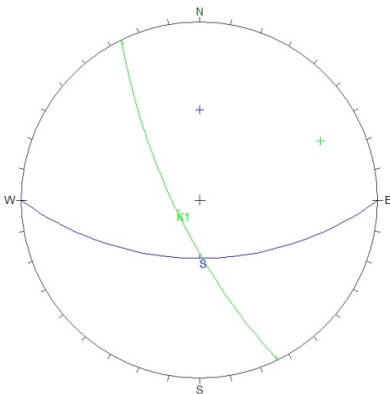

Appendice 1

Rilievo N°	RGM6	Coordinata X	1593952,582	Coordinata Y	5117969,7		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	ANFIBOLITE	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	6X4X25	
RQD (%)	80						
Orientazione versante [°]	-	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	128/35	293/73	215/36	333/80		
	spaziatura (cm)	5	7,142857143	10	10	-	
	persistenza P(%)	>90	-	>90	50-90		
	persistenza A(%)	>80	-	>80	20-80		
	apertura (mm)	2.5-5					
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC	10-12						
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	-	27,12					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,26	30,50	10,59	26,97			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	0,2	31	3,165	0,0010645	0,510		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	6,267	17,028	3,455	28,485			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		43			
P1) Resistenza PL	12						
P2) RQD	17						
P3) Spaziatura	5						
P4) Giunti	10						
P5) Acqua	15						
RMR_b =	59						
NOTE							
							

Appendice 1

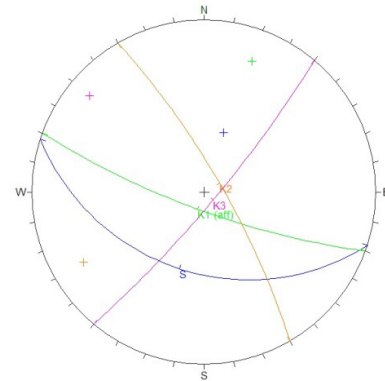
Rilievo N°	RGM7	Coordinata X	1593670,189	Coordinata Y	5118096,94		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	ROCCIA CARBONATICA	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	10X10X10	
RQD (%)	66						
Orientazione versante [°]	200/42	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	205/41	333/76	290/75	10/62		
	spaziatura (cm)	7,142857143	9,090909091	16,6666667	25	-	
	persistenza P(%)	>90	>90	50-90	<50		
	persistenza A(%)	>80	>80	20-80	<20		
	apertura (mm)	2.5-5					
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC	8-10						
Parametri sperimentali	σ_c // (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	-	50,4	35,191	1,4			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,27	31,5	11,89	25,83			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,5	31	2,606	0,0009747	0,507		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	10,667	17,175	3,947	31,761			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	48				
P1) Resistenza PL	7						
P2) RQD	13						
P3) Spaziatura	8						
P4) Giunti	10						
P5) Acqua	15						
RMR_b =	53						
NOTE							
GSI da formula							

Appendice 1

Rilievo N°	RGM8	Coordinata X	1593625,08	Coordinata Y	5118260,32		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	ANFIBOLITE	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	10X7X3	
RQD (%)	63						
Orientazione versante [°]	264/70	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	180/54	244/74				
	spaziatura (cm)	-	-	-	-	-	-
	persistenza P(%)	>90	50-90				
	persistenza A(%)	>80	20-80				
	apertura (mm)	-					
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC	-						
Parametri sperimentali	σ_i // (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{Capp} (MPa)	Alterazione			
	-	34,8	-	-			
	c [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,25	30	10	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,8	31	0,751	0,0000772	0,513		
	σ_{cm} (Mpa)	σ_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	3,778	16,270	2,305	19,633			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	38				
P1) Resistenza PL	4						
P2) RQD	13						
P3) Spaziatura	8						
P4) Giunti	10						
P5) Acqua	15						
RMR_b =	50						
NOTE							
							

Appendice 1

Rilievo N°	RGM9	Coordinata X	1594217,748	Coordinata Y	5118671,7		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	ANFIBOLITE	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	4X10X4	
RQD (%)	63						
Orientazione versante [°]	200/78	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	198/40	200/78	60/78	130/82		
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)	>90	>90	50-90	50-90		
	persistenza A(%)	>80	>80	20-80	20-80		
	apertura (mm)	1-2.5					
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC	2-4						
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	-	86,88	33,134	2,6			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,27	31,50	11,89	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,5	31	0,774	0,0000325	0,537		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	8,547	17,510	2,863	25,494			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		23			
P1) Resistenza PL	7						
P2) RQD	13						
P3) Spaziatura	8						
P4) Giunti	10						
P5) Acqua	15						
RMR_b =	53						
NOTE							
Affioramento diviso in settori dove dimensione blocchi cambia notevolmente: zone interessate da faglie hanno VRU medio di 2cmX1cmX5mm.							



Appendice 1

Rilievo N°	RGM10	Coordinata X	1593719,878	Coordinata Y	5118919		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	PARAGNEISS	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	10x8x4	
RQD (%)	63						
Orientazione versante [°]	360/74	Orient. F1	186/40	Orient. F2	114/34	Orient. F3	66/44
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	170/34	360/34	310/60			
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)	>90	50-90	>90			
	persistenza A(%)	>80	20-80	>80			
	apertura (mm)	1-2.5					
Rimpimento	<u>assente</u>	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	<u>asciutto</u>	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	<u>legg. alterate</u>	alterate			
JRC	8-10						
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	-	145,44	22,154	6,6			
	c'[Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,29	34	15,85	24,28			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,2	33	1,025	0,0000299	0,572		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	14,122	16,649	2,903	31,400			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		13			
P1) Resistenza PL	12						
P2) RQD	13						
P3) Spaziatura	8						
P4) Giunti	10						
P5) Acqua	15						
RMR_b =	58						
NOTE							
Molto fagliato, con faglie aventi la stessa giuacitura di S.							

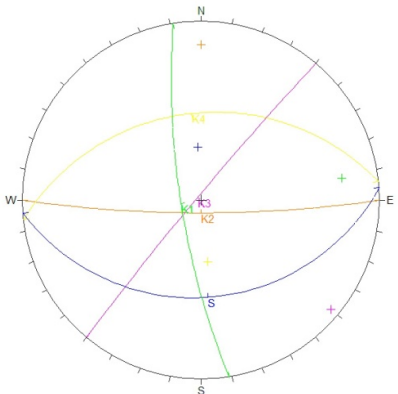

Appendice 1

Rilievo N°	RGM11	Coordinata X	1594126,867	Coordinata Y	5119003,6		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	PARAGNEISS	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)		
RQD (%)	63				4x2x3		
Orientazione versante [°]	42/72	Orient. F1	124/24	Orient. F2	Orient. F3		
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	111/31	37/73	81/10			
	spaziatura (cm)	-	-	-			
	persistenza P(%)	-	-	-			
	persistenza A(%)	-	-	-			
	apertura (mm)	1-2.5					
Rimpimento	<u>assente</u>	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	<u>asciutto</u>	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	<u>legg. alterate</u>	alterate			
JRC	10-12						
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
		58,08	32,677	1,8			
	c [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,27	31,5	11,89	24,28			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,5	33	1,326	0,0001234	0,519		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	8,250	15,863	3,038	27,898			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		33			
P1) Resistenza PL	7						
P2) RQD	13						
P3) Spaziatura	8						
P4) Giunti	10						
P5) Acqua	15						
RMR_b =	53						
NOTE							
Litologia da carta geologica; affioramento molto fagliato.							

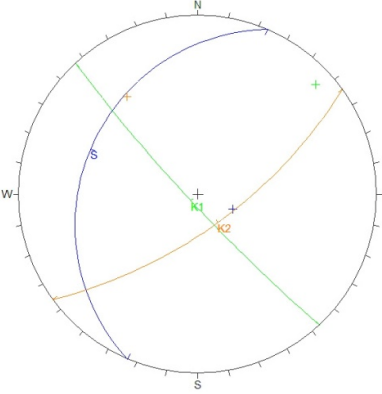

Appendice 1

Rilievo N°	RGM12	Coordinata X	1594445,892	Coordinata Y	5117449,6		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	marmo	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	10x6x6	
RQD (%)	63						
Orientazione versante [°]	108/78	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]		108/78	154/88	210/20	334/54	38/88
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)		50-90	>90	50-90		
	persistenza A(%)		20-80	>80	20-80		
	apertura (mm)				-		
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC	6-8						
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	339,6	-	33,658	10,1			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,36	40,5	33,50	26			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0	9	0,473	0,0001045	0,552		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	23,773	18,570	3,445	30,257			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		18			
P1) Resistenza PL	15						
P2) RQD	13						
P3) Spaziatura	8						
P4) Giunti	20						
P5) Acqua	15						
RMR_b =	71						
NOTE							
σ_{capp} è riferito a K2, non a S e di conseguenza l'alterazione è il rapporto tra σ'_{3max} e σ_{capp} riferito a K2.							

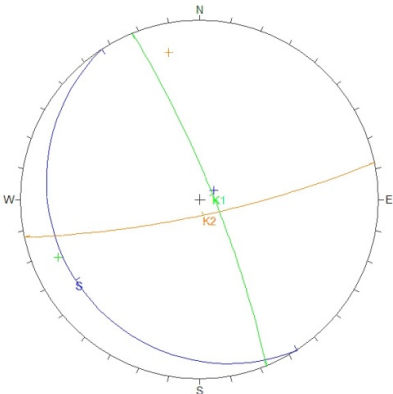

Appendice 1

Rilievo N°	RGM13	Coordinata X	1594491,454	Coordinata Y	5117655,49		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	ROCCIA CARBONATICA	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	18x12x3	
RQD (%)	70,69340413						
Orientazione versante [°]	268/80	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	176/33	261/77	180/82	310/87	354/38	
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)	>90	>90	50-90	>90	<50	
	persistenza A(%)	>80	>80	20-80	>80	<20	
	apertura (mm)	2.5-5					
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC	8-10						
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	-	53,04	87,031	0,6			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,27	31,5	11,89	25,83			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,2	9	0,341	0,0000543	0,552		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	3,096	15,365	1,632	16,666			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	18				
P1) Resistenza PL	12						
P2) RQD	13						
P3) Spaziatura	8						
P4) Giunti	10						
P5) Acqua	15						
RMR_b =	58						
NOTE							
							


Appendice 1

Rilievo N°	RGM14	Coordinata X	1593747,604	Coordinata Y	5117605,6		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibilite	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	25x40x10	
RQD (%)	78						
Orientazione versante [°]	224/80	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	293/24	227/84	144/68			
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)		>90	50-90			
	persistenza A(%)		>80	20-80			
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC	12-14						
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	-	163,2	29,380	5,6			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,41	46	63,10	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,2	31	3,165	0,0010645	0,510		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	37,714	20,013	6,336	42,055			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	43				
P1) Resistenza PL	12						
P2) RQD	17						
P3) Spaziatura	8						
P4) Giunti	30						
P5) Acqua	15						
RMR_b =	82						
NOTE							
							

Appendice 1

Rilievo N°	RGM15	Coordinata X	1593763,411	Coordinata Y	5117627,1		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	ANFIBOLITE	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	25x15x3	
RQD (%)	92						
Orientazione versante [°]	88/70	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	237/11	68/81	168/80			
	spaziatura (cm)	50	12,5	50			
	persistenza P(%)	>90	>90	<50			
	persistenza A(%)	>80	>80	<20			
	apertura (mm)	<1					
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC	4-6						
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	51,6	-	83,439	3,1			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,38	42,5	42,17	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,5	31	2,545	0,0009119	0,507		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	10,778	17,880	4,059	31,424			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		48			
P1) Resistenza PL	7						
P2) RQD	20						
P3) Spaziatura	8						
P4) Giunti	25						
P5) Acqua	15						
RMR_b =	75						
NOTE							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A2	Coordinata X	1593084,181	Coordinata Y	5117276,147		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia		Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,19	23,75	4,87				
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	33				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	38						
NOTE							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A15	Coordinata X	1594628,827	Coordinata Y	5116263,978		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia		Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,21	26,25	6,49				
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		38			
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	43						
NOTE							

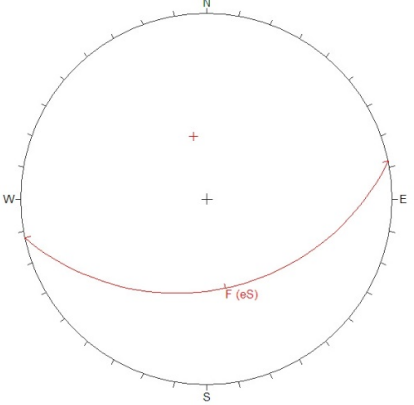



Appendice 1

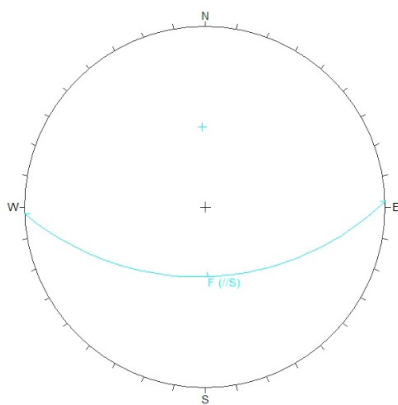

Rilievo N°	A16	Coordinata X	1594700,994	Coordinata Y	5116609,66		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia		Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,29	33,75	15,40				
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	53				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	58						
NOTE							



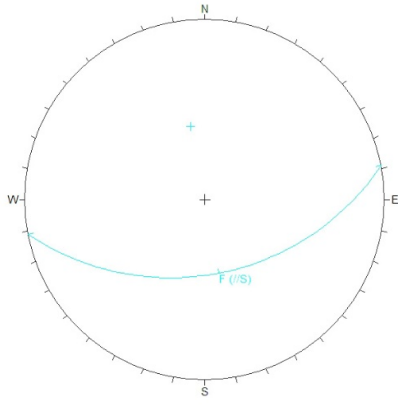

Appendice 1

Rilievo N°	A20	Coordinata X	1593737,142	Coordinata Y	5119308,888		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	gneiss	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	10x3x7	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	168/38	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	168/38					
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,09	13,75	1,54	26,49			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		12,5			
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =							
NOTE							
Faglia con stessa giacitura della S							
							
							

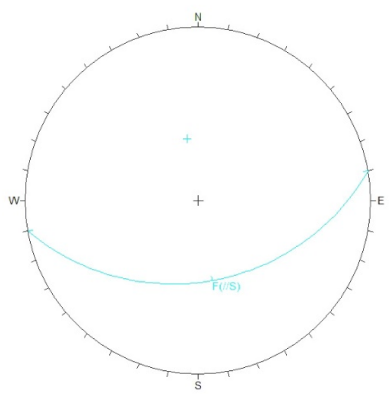

Appendice 1

Rilievo N°	A21	Coordinata X	1594374,269	Coordinata Y	5119249,423		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	gneiss?	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	15x4x8	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	178/48	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,11	16,25	2,05	26,49			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		17,5			
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	23						
NOTE							
F1 // alla S							
							


Appendice 1

Rilievo N°	A23	Coordinata X	1594607,609	Coordinata Y	5119345,969		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	gneiss	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	50x20x30	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	169/45	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,19	23,75	4,87	26,49			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		32,5			
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	38						
NOTE							
F1 // alla S; Forte alterazione lungo la S.							
							


Appendice 1

Rilievo N°	A24	Coordinata X	1594693,915	Coordinata Y	5119447,32		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	gneiss?	Campioni raccolti	per Point Load	VRU medio (cm)	5x5x5		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	170/40	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{Capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,09	13,75	1,54	26,49			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	12,5				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	18						
NOTE							
F1 // alla S							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A27	Coordinata X	1593992,305	Coordinata Y	5119181,062		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfiboliti	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,06	11,25	1,15	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		7,5			
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	13						
NOTE							
Alterazioni nere.							
							


Appendice 1

Rilievo N°	A28	Coordinata X	1593994,241	Coordinata Y	5119171,382		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	calcefiro	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	6x10x6	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
		25,44					
	c'[Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,09	13,75	1,54	24,39			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,5	10	0,155	0,0000086	0,572		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	0,839	12,967	0,789	9,387			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		12,5			
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	18						
NOTE							
							


Appendice 1

Rilievo N°	A30	Coordinata X	1593963,373	Coordinata Y	5119174,609		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	marmo	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	6x6x6	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	204/60					
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{Capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,16	21,25	3,65	26			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		27,5			
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	33						
NOTE							

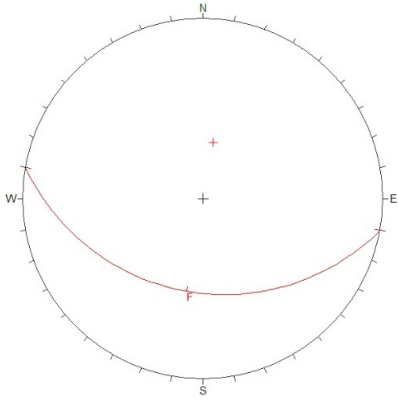

Appendice 1

Rilievo N°	A31	Coordinata X	1593874,75	Coordinata Y	5119126,425		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibolite molto alterata	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	4x3x3	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,06	11,25	1,15	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	8				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	13						
NOTE							
							

Appendice 1

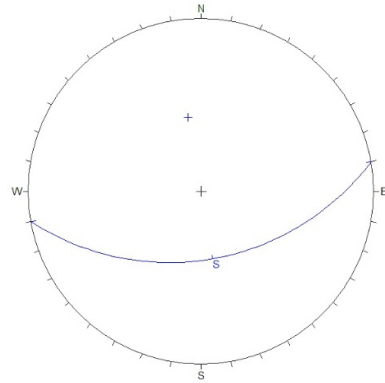
Rilievo N°	A32	Coordinata X	1593807,637	Coordinata Y	5119136,75		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	marmo con pirite	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	40x9x18	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
		208,08					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,16	21,25	3,65	26			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,2	9	0,507	0,0001785	0,526		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	17,328	18,049	3,475	28,446			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	28				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	33						
NOTE							

Appendice 1

Rilievo N°	A34	Coordinata X	1595177,859	Coordinata Y	5119201,372		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	marmo	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	11x24x8	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	190/35	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,19	23,75	4,87	26			
Parametri analitici	D	mi	m _b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	33				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	38						
NOTE							
"Alterazioni" nere lungo la faglia							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A35	Coordinata X	1595013,519	Coordinata Y	5118857,545		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	quarzite	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	170/47					
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superficiali	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
		264,24					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,16	21,25	3,65	25,31			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0	24	1,802	0,0003173	0,526		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	42,779	19,105	5,512	41,244			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		28			
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	33						
NOTE							



Appendice 1


Rilievo N°	A36	Coordinata X	1595116,462	Coordinata Y	5118881,1		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibilite	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	10x18x6	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	166/52	Orient. F2	310/88	Orient. F3	180/54
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	172,32						
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,19	23,75	4,87	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,2	31	2,128	0,0003237	0,519		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	31,322	19,682	5,450	39,114			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		33			
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	38						
NOTE							
Affioramento di 4 metri di altezza.							

Appendice 1


Rilievo N°	A37	Coordinata X	1595293,535	Coordinata Y	5118861,674		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	paragneiss	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	16x7x6	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	114/44	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
		51,12					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,14	18,75	2,74	24,28			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,5	33	0,824	0,0000325	0,537		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	5,200	15,218	2,285	23,254			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	23				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	28						
NOTE							
Litologia da carta geologica							

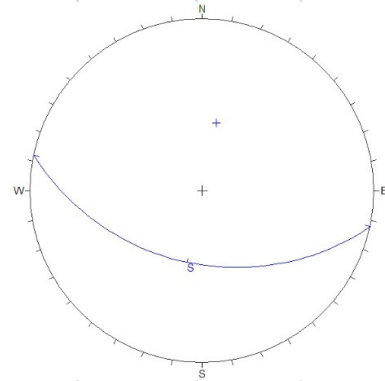


Appendice 1

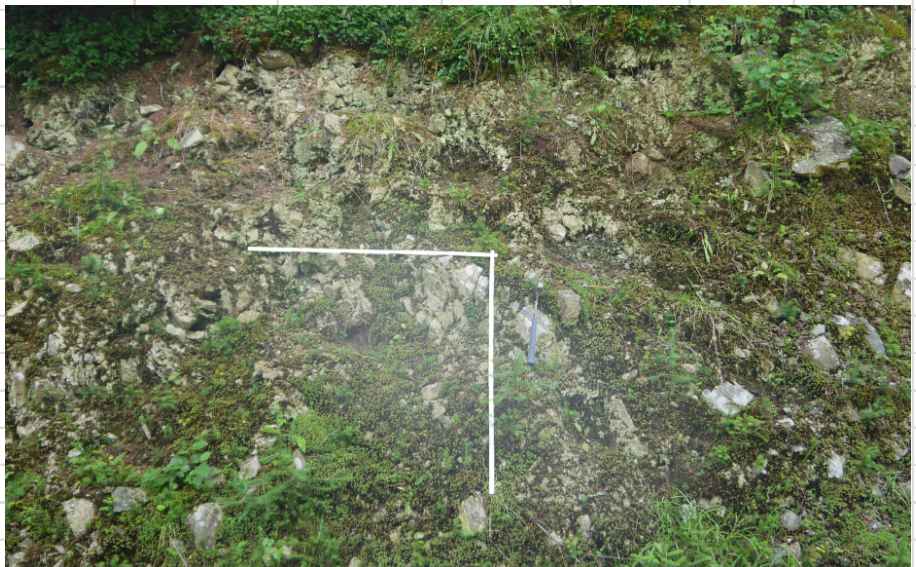
Rilievo N°	A43	Coordinata X	1595151,62	Coordinata Y	5118094,809		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibolite	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	20x29x10	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)	>5cm					
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,11	16,25	2,05	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	18				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	23						
NOTE							
Roccia non in posto.							
							

Appendice 1

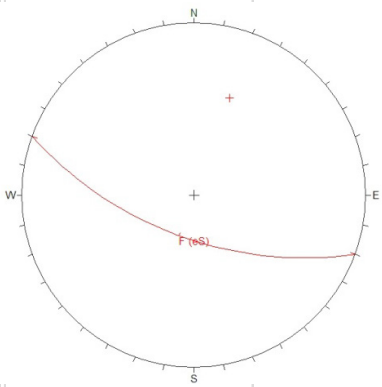

Rilievo N°	A44	Coordinata X	1595117,27	Coordinata Y	5118064,7		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibilite	Campioni raccolti	per Point Load	VRU medio (cm)	17x28x11		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2	Orient. F3		
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	192/44					
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
		45,12					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,14	18,75	2,74	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,8	31	0,308	0,0000079	0,537		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	2,704	15,787	1,644	15,242			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	23				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	28						
NOTE							
Roccia tutta alterata ma in particolare sulle discontinuità; faglie con la stessa giacitura della S.							



Appendice 1

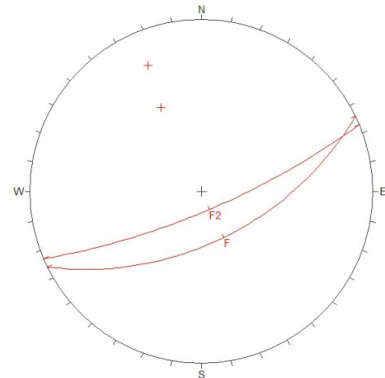
Rilievo N°	A48	Coordinata X	1595001,886	Coordinata Y	5117972,6		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibilite	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	4x12x4	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,06	11,25	1,15	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	8				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	18						
NOTE	<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="width: 20%; padding-right: 10px;"> <p>Roccia tutta alterata ma in particolare sulle discontinuità; faglie con la stessa giacitura della S.</p> </div>  </div>						

Appendice 1

Rilievo N°	A54	Coordinata X	1595385,314	Coordinata Y	5118340,465		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibolite	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	8x2x2	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	200/62	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	200/62					
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,16	21,25	3,65	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	28				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	33						
NOTE							
F1 con stessa giacitura di S; roccia in posto.							
							

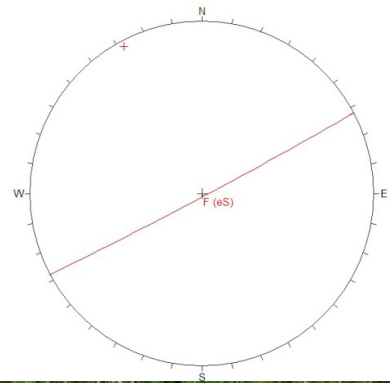
Appendice 1

Rilievo N°	A56	Coordinata X	1595232,379	Coordinata Y	5117840,857		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	paragneiss	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	12x6x15	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	154/57	Orient. F2	157/77	Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,21	26,25	6,49	24,28			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	38				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	43						
NOTE							
Litologia da carta geologica							

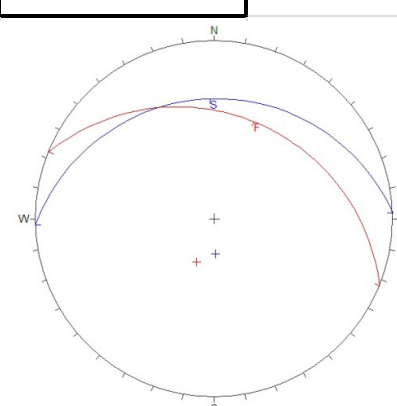



Appendice 1

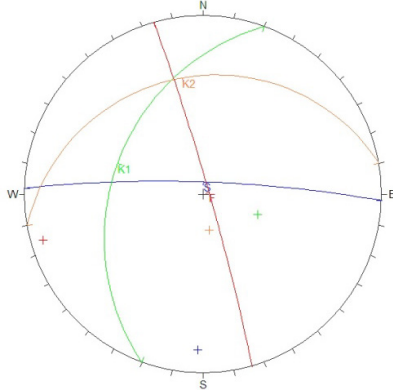

Rilievo N°	A57	Coordinata X	1595341,621	Coordinata Y	5117926,371		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibolite	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	30x12x10	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	152/88	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	152/88					
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
		130,32					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,29	33,75	15,40	26,97			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	0,2	31	4,707	0,0035008	0,505		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	37,638	20,010	6,821	43,554			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	53				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	58						
NOTE							
F1 con stessa giacitura di S; il livello più vicino al suolo è il più fratturato.							



Appendice 1

Rilievo N°	A61	Coordinata X	1594930,994	Coordinata Y	5118058,255		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	ROCCIA CARBONATICA	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	23x4x6	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	22/29	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	358/22					
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)	aperture centimetriche					
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
		236,4					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,19	23,75	4,87	25,83			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,2	9	0,618	0,0003237	0,519		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	22,761	18,387	4,056	31,272			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	33				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	38						
NOTE							
Il deposito sovrastante è caratterizzato da clasti spigolosi.							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A63	Coordinata X	1595485,359	Coordinata Y	5117951,266		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibolite/quarzite	Campioni raccolti	per Point Load	VRU medio (cm)	12x5x5		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	74/86	Orient. F2	Orient. F3		
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	2/82	290/36	350/23			
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
apertura (mm)							
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,21	26,25	6,49	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	38				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	43						
NOTE							
Piccolo affioramento, altezza inferiore al metro.							
							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A65	Coordinata X	1595699,528	Coordinata Y	5117967,974		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibilite	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	55x90x23	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]	326/44	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	216/80	326/44	116/32			
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (cm)	>5					
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,41	46,25	64,94	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	78				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	83						
NOTE							
Aperture maggiori lungo la S							

Appendice 1

Rilievo N°	A73	Coordinata X	1596111,853	Coordinata Y	5117713,657		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibolite	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,11	16,25	2,05	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	18				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	23						
NOTE							
Trincea avente larghezza di 2.30 metri e profondità di 1.6 metri.							

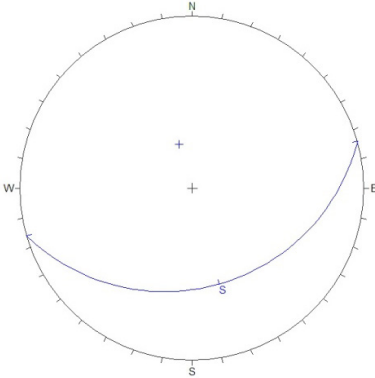



Appendice 1

Rilievo N°	A75	Coordinata X	1596112,243	Coordinata Y	5117699,523		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	quarzite	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,39	43,75	48,70	25,31			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	73				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	78						
NOTE							

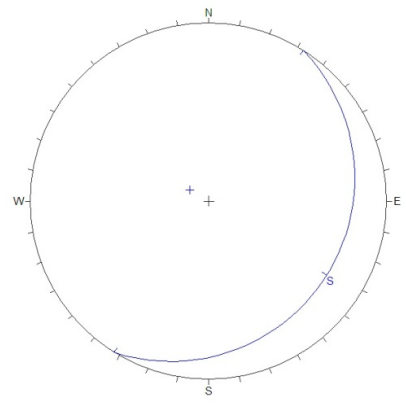


Appendice 1

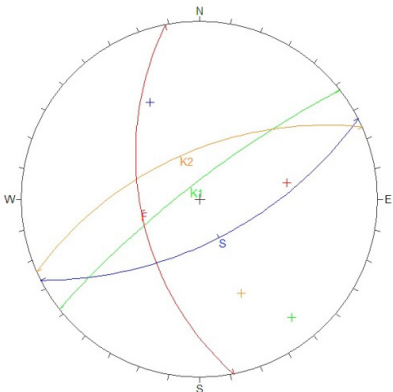

Rilievo N°	A79	Coordinata X	1596184,91	Coordinata Y	5117722,914		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	marmo	Campioni raccolti	per Point Load	VRU medio (cm)	20x10x8		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2	Orient. F3		
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	164/30					
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,21	26,25	6,49	26			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	38				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	43						
NOTE							
S giacitura del contatto tra quarzite (a tetto) e marmo							
							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A80	Coordinata X	1596178,145	Coordinata Y	5117512,952		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	micascisti fagliati	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2	Orient. F3		
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	122/14					
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,26	31,25	11,55				
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	48				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	53						
NOTE							

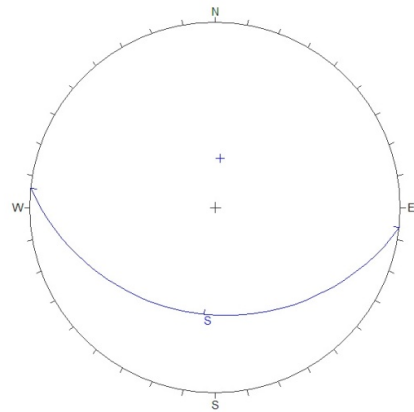


Appendice 1


Rilievo N°	A85	Coordinata X	1592186,434	Coordinata Y	5118874,233		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	paragneiss	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	14x6x5	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	259/53	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	153/63	322/80	336/60			
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
		52,08					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,14	18,75	2,74	24,28			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,2	33	1,524	0,0000984	0,537		
	σ_{cm} (Mpa)	σ_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	7,375	15,704	2,840	28,315			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	23				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	28						
NOTE							
Litologia da carta geologica; roccia in posto; deposito con molto fine e clasti con dimensioni dal mm al cm senza grandi blocchi.							
							

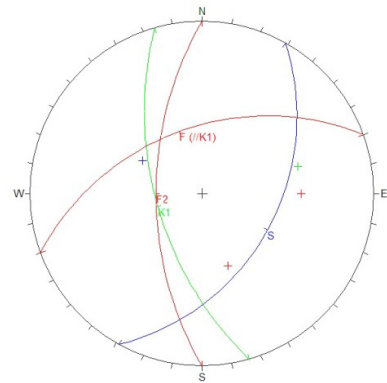
Appendice 1

Rilievo N°	A86	Coordinata X	1592182,351	Coordinata Y	5118890,705		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia		Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	186/30					
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =							
NOTE							
Vallecola con piccolo affioramento							



Appendice 1

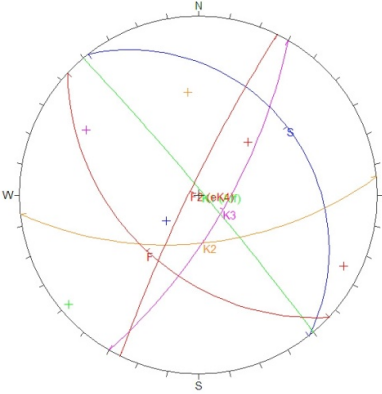

Rilievo N°	A100	Coordinata X	1592812,441	Coordinata Y	5118625,196		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	paragneiss	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	8x7x5	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	340/48	Orient. F2	270/60	Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	119/43	254/60				
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
		307,2					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,16	21,25	3,65	24,28			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	0	33	2,477	0,0003173	0,526		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	58,762	18,929	6,202	45,372			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	28				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	33						
NOTE							
Litologia da carta geologica; F1 lungo la K1 e serie di faglie lungo la stessa direzione; F2 compare solo 10 metri più a ovest.							



Appendice 1

Rilievo N°	A101	Coordinata X	1592630,966	Coordinata Y	5118435,754		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	paragneiss	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	196/70	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	144/52	130/50	296/60	314/82		
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
				24,28			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =							
NOTE							
Giacitura S incerta; F1 lungo la S.							

Appendice 1

Rilievo N°	A105	Coordinata X	1592659,596	Coordinata Y	5118439,377		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	QUARZITE	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	10x37x11	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]	50/87	Orient. F1	223/44	Orient. F2	296/84	Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	52/26	50/87	174/60	120/72	296/84	
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	34,32						
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,29	33,75	15,40	25,31			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	0,8	24	1,420	0,0007489	0,505		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	5,392	15,856	2,831	24,372			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	53				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	58						
NOTE							
Serie di faglie con giacitura // a F1; F2 è anche giacitura di K4.							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A115	Coordinata X	1592590,438	Coordinata Y	5118149,852		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibolite	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	17x21x11	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	86/48	344/80	44/88	282/64	96/48	
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
		55,68					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,29	33,75	15,40	26,97			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	0,5	31	3,229	0,0017761	0,505		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	13,250	18,215	4,530	33,905			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	53				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	58						
NOTE							

Appendice 1

Rilievo N°	A123	Coordinata X	1592948,208	Coordinata Y	5117961,846		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfiboliti	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]	241/82	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	140/32	241/82	79/59	324/76		
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,29	33,75	15,40	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski	GSI (diretto) =		53				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	58						
NOTE							
Nicchia in roccia.							

Appendice 1

Rilievo N°	A125	Coordinata X	1592951,068	Coordinata Y	5117932,14		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfiboliti	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	50x50x55	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	290/78	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	180/21	16/76	252/78	290/78		
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
apertura (mm)							
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,29	33,75	15,40	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	53				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	58						
NOTE							
La S curva leggermente; F1 anche giacitura K3; giaciture prese pochi metri più a nord rispetto a dove è stata scattata la foto.							

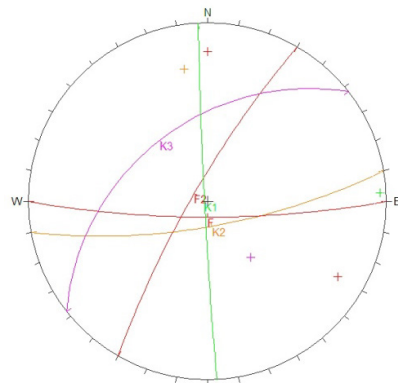

Appendice 1

Rilievo N°	A129	Coordinata X	1594787,909	Coordinata Y	5116838,608		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	gneiss	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	25x40x8	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	154/86	Orient. F2	38/79	Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	164/82	273/73	103/43			
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m ³)			
	0,31	36,25	20,54	26,49			
Parametri analitici	D	mi	m _b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	58				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	63						
NOTE							
F1 faglia mineralizzata; Serie di microfaglie mineralizzate lungo F2.							

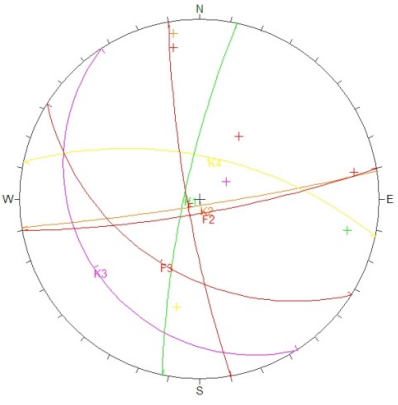

Appendice 1

Rilievo N°	A130	Coordinata X	1594799,484	Coordinata Y	5116848,673		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	gneiss	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	70x33x17	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	154/62	Orient. F2	240/68	Orient. F3	22/62
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	278/67	122/89	196/61	4/81	148/87	
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,31	36,25	20,54	26,49			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	58				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	63						
NOTE							
K3 e K4 creano la struttura a cuneo.							


Appendice 1

Rilievo N°	A131	Coordinata X	1594802	Coordinata Y	5116862,764		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia		Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	50x80x40	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	180/80	Orient. F2	300/80	Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]		267/88	170/74	322/43		
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,31	36,25	20,54				
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	58				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	63						
NOTE							
La discontinuità da cui si è staccato il blocco di più grandi dimensioni ha generato una frattura di 20 cm, alta 6 metri e profonda 1m.							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A132	Coordinata X	1594813,907	Coordinata Y	5116864,248		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia		Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	140x40x140	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	260/82	Orient. F2	170/81	Orient. F3	212/45
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]		282/80	171/86	237/20	23346	
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,31	36,25	20,54				
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	58				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	63						
NOTE							
Evidenze di movimento recente nella faglia.							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A133	Coordinata X	1594799,4	Coordinata Y	5116878,7		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibolite	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	48,48						
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
				26,97			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =							
NOTE							
Blocchi crollati							

Appendice 1

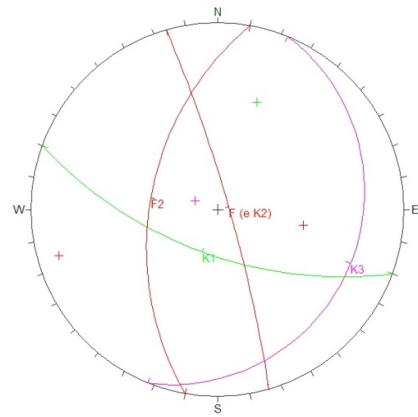
Rilievo N°	A134	Coordinata X	1592691,476	Coordinata Y	5116926,4		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibilite	Campioni raccolti	per Point Load	VRU medio (cm)	57x67x30		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	64/84	Orient. F2	Orient. F3		
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	116/13	302/84	282/80			
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
		82,32					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,16	21,25	3,65	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,5	28	0,887	0,0000634	0,526		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	9,159	17,620	3,099	26,341			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		28			
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	33						
NOTE							
VRU medio parte fagliata: 5x11x5 (cm).							

Appendice 1

Rilievo N°	A141	Coordinata X	1593183,367	Coordinata Y	5117219,691		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	ROCCIA CARBONATICA	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]		260/34	214/80	266/72	90/36	
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
				25,83			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =							
NOTE							
K4 meno persistente e giacitura approssimata.							

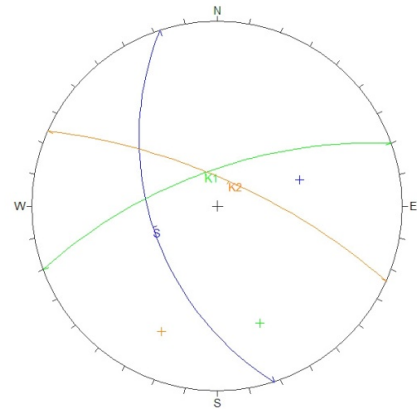
Appendice 1

Rilievo N°	A142	Coordinata X	1593187,836	Coordinata Y	5117171,771		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	marmo	Campioni raccolti	per Point Load	VRU medio (cm)			
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	74/83	Orient. F2	280/50		
		Orient. F3					
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]		200/63	74/83	112/15		
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
				26			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =							
NOTE							
F1 è anche giacitura di K2.							



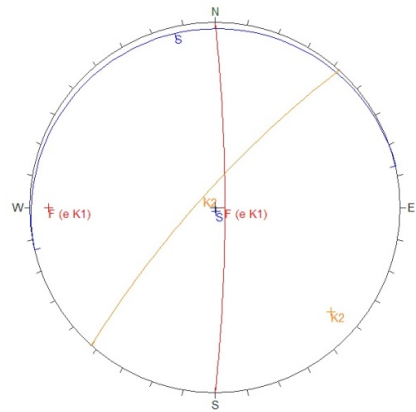
Appendice 1

Rilievo N°	A153	Coordinata X	1592571,458	Coordinata Y	5117241,138		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	marmo	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2	Orient. F3		
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	252/50	340/68	24/73			
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC	2-4						
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	37,44						
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,11	16,25	2,05	26			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,8	9	0,066	0,0000037	0,552		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	0,884	13,808	0,742	7,332			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	18				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	23						
NOTE							
Lungo K2 c'è una faglia.							




Appendice 1

Rilievo N°	A158	Coordinata X	1592679,91	Coordinata Y	5117524,7		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	marmo	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]	312/80	Orient. F1	90/84	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	347/2	90/84	312/80			
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	21,84						
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
				26			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =							
NOTE							
F1 è anche giacitura di K1.							



Appendice 1

Rilievo N°	A162	Coordinata X	1592658,276	Coordinata Y	5117571,594		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	ANFIBOLITE	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	120,48						
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,34	38,75	27,38	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,2	31	7,000	0,0115129	0,502		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	43,430	20,269	7,696	46,073			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	63				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	68						
NOTE							
Roccia in posto.							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A163	Coordinata X	1592696,527	Coordinata Y	5117654,001		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	Gneiss	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
		254,4					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,26	31,25	11,55	26,49			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	0	33	5,061	0,0029283	0,507		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	75,577	20,960	8,563	49,252			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	48				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	53						
NOTE							
Litologia da carta geologica; roccia affiorante.							

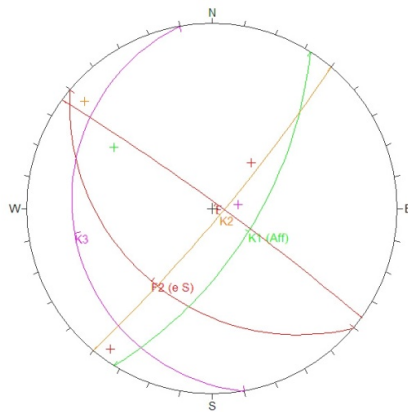


Appendice 1

Rilievo N°	A170	Coordinata X	1593339,51	Coordinata Y	5116638,808		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia		Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2	Orient. F3		
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]		336/40				
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m ³)			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =							
NOTE							
Nicchia in roccia: piccola cuesta.							

Appendice 1

Rilievo N°	A176	Coordinata X	1595219,085	Coordinata Y	5117310,638		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	quarzite	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	120x74x80	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]	122/64	Orient. F1	36/86	Orient. F2	220/36	Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	200/36	122/64	130/84	260/16		
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m ³)			
				25,31			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =							
NOTE							
F2 è anche giacitura di S; Oltre alla quarzite è presente anche roccia di faglia con alternanza di bande a differenze composizione mineralogica e colorazioni azzurre e rosse.							

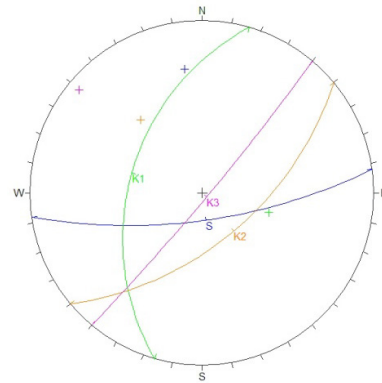


Appendice 1

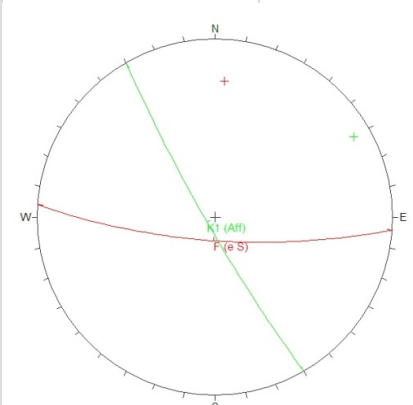
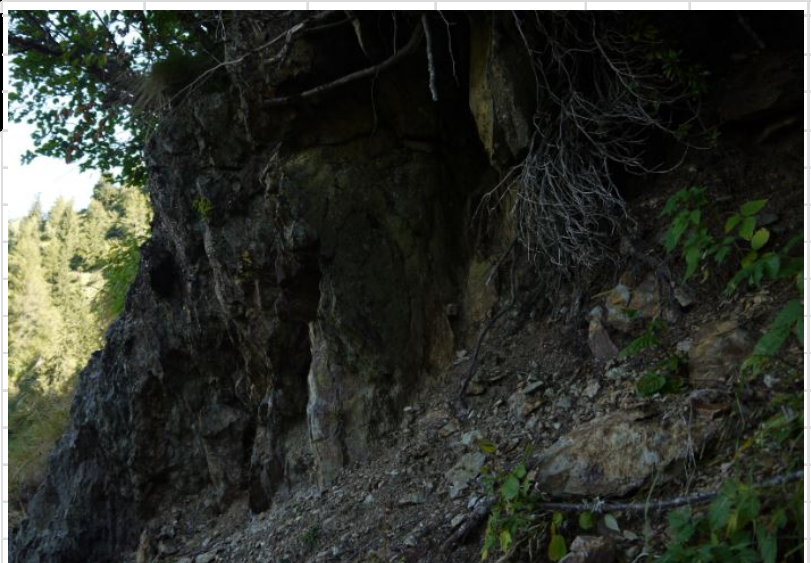
Rilievo N°	A185	Coordinata X	1594657,607	Coordinata Y	5116395,997		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfiboliti	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	35x17x10	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]	260/68	Orient. F1	240/20	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	220/64	326/80	260/68	116/68	110/82	
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
apertura (mm)							
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	143,76						
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,21	26,25	6,49	26,97			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	38				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	43						
NOTE							
Faglia anche lungo la scistosità.							

Appendice 1

Rilievo N°	A186	Coordinata X	1594613,981	Coordinata Y	5116299,101		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia		Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	172/72	286/44	140/58	130/86		
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,24	28,75	8,66				
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski	GSI (diretto) =	43					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	48						
NOTE							
Microfaglie lungo S e famiglia di faglie lungo K3; presenza di microfaglie millimetriche ed orientazione dei clasti ondulata.							



Appendice 1

Rilievo N°	A187	Coordinata X	1594597,558	Coordinata Y	5116281,157		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia		Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]	240/84	Orient. F1	184/75	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	184/75	240/84				
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =							
NOTE							
F1 è anche giacitura di S; forte alterazione lungo S.							
							

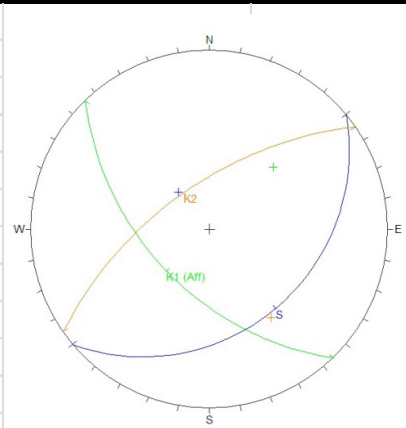

Appendice 1

Rilievo N°	A188	Coordinata X	1594594,548	Coordinata Y	5116270,079		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia		Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	140/80	Orient. F2	230/22	Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,16	21,25	3,65				
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	28				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	33						
NOTE							
Forti alterazioni lungo le discontinuità, di colorazione biancastra.							

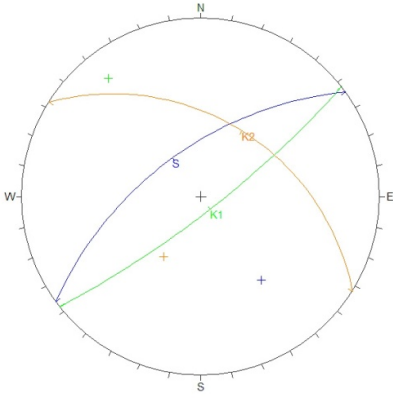

Appendice 1

Rilievo N°	A201	Coordinata X	1594203,01	Coordinata Y	5116271,29		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	quarzite	Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	122/68	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,24	28,75	8,66	25,31			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	43				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	48						
NOTE							
Serie di microfaglie con giacitura non misurabile.							

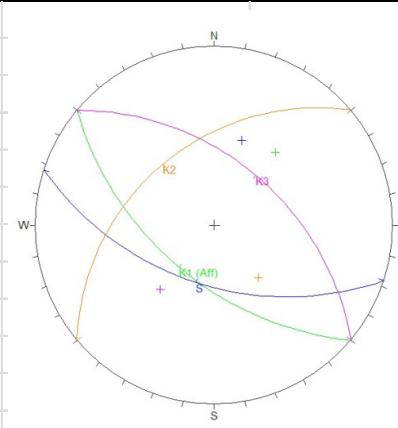

Appendice 1

Rilievo N°	A202	Coordinata X	1594225,169	Coordinata Y	5116267,728		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia		Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	6x10x5	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]	226/53	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	140/30	226/53	325/62			
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,24	28,75	8,66				
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	43				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	48						
NOTE							
Lungo K1 si è sviluppata la trincea.							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A204	Coordinata X	1594413,292	Coordinata Y	5116243,081		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibolite	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	30x75x30	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	324/60	142/80	32/43			
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	44,64		23,101	4,9			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
				26,97			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =							
NOTE							
Affioramento interamente ricoperto da muschio; forte alterazione lungo la S.							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A206	Coordinata X	1594617,374	Coordinata Y	5116308,506		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	anfibolite	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	10x3x4,5	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]	220/56	Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	198/53	220/56	320/42	40/50		
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	11,28						
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
				26,97			
Parametri analitici	D	m_i	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =							
NOTE							
Faglia marcata lungo S, si vedono i gradini di faglia.							
							


Appendice 1

Rilievo N°	A212	Coordinata X	1594468,136	Coordinata Y	5115979,7		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	ortogneiss	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	5x9x7	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	220/62	Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	60/24	310/72	220/62	74/84		
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
		41,52					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,11	16,25	2,05	25,83			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,8	33	0,243	0,0000037	0,552		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	2,006	13,968	1,262	13,764			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =		18			
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	23						
NOTE							
Litologia da carta geologica; F1 è anche giacitura di K2; faglie anche lungo S; affioramento molto piccolo.							

Appendice 1

Rilievo N°	A216	Coordinata X	1594729,537	Coordinata Y	5115541,621		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	filladi quarzifere	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	20x30x23	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	318/50	26/71				
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_{c, noS}$ (Mpa) PL	$\sigma_{c, app}$ (MPa)	Alterazione			
		31,2					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
				25,31			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =							
NOTE							
Poco più a nord presenza di numerose pieghe.							

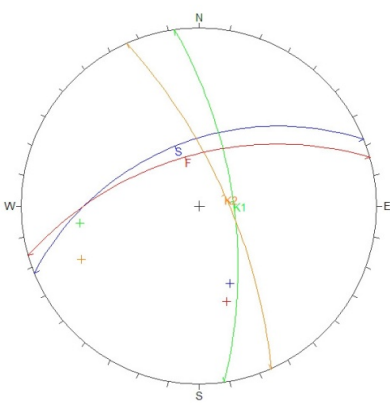

Appendice 1

Rilievo N°	A217	Coordinata X	1594754,275	Coordinata Y	5115565,317		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia		Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2		Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]						
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_c //$ (Mpa) PL	$\sigma_c \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,21	26,25	6,49				
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,8	31	0,751	0,0000772	0,513		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	38				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	43						
NOTE							
Roccia di faglia, molto piegata.							
							

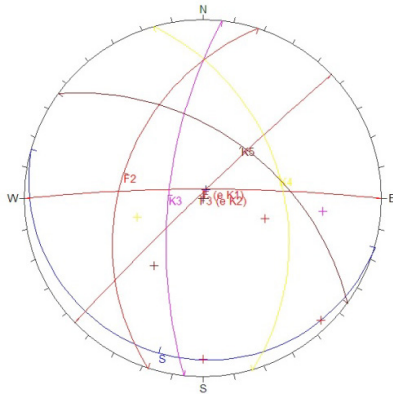

Appendice 1

Rilievo N°	A221	Coordinata X	1594834,379	Coordinata Y	5116279,997		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia		Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)		
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1		Orient. F2	Orient. F3		
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	334/58					
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_i //$ (Mpa) PL	$\sigma_i \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =							
NOTE							
Piccolo affioramento.							

Appendice 1

Rilievo N°	A223	Coordinata X	1594808,823	Coordinata Y	5116112,277		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	ortogneiss	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)		
RQD (%)					4x8x3		
Orientazione versante [°]		Orient. F1	344/58	Orient. F2	Orient. F3		
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	338/50	82/68	66/72			
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	σ_c // (Mpa) PL	σ_c noS(Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
		59,76					
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,19	23,75	4,87	25,83			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,5	33	1,326	0,0001234	0,519		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	33				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR_b =	38						
NOTE							
Litologia da carta geologica, piccolo affioramento.							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A225	Coordinata X	1594671,128	Coordinata Y	5115952,782		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia	ortogneiss	Campioni raccolti	per Point Load	X	VRU medio (cm)	14x10x11	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]		Orient. F1	360/84	Orient. F2	288/40	Orient. F3	316/87
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	196/6	360/84	316/87	276/68	74/42	36/50
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{app} (MPa)	Alterazione			
	21,84						
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,14	18,75	2,74	25,83			
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	0,5	33	0,824	0,0000325	0,537		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
	2,222	14,096	1,709	18,249			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski		GSI (diretto) =	23				
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	28						
NOTE							
Litologia da carta geologica; F1 è anche giacitura di K1 e F3 di K2.							
							
							

Appendice 1

Rilievo N°	A226	Coordinata X	1594585,684	Coordinata Y	5115990,45		
PARAMETRI GEOMECCANICI RILEVATI							
Litologia		Campioni raccolti	per Point Load		VRU medio (cm)	20x13x9	
RQD (%)							
Orientazione versante [°]	34/76	Orient. F1	170/12	Orient. F2	113/62	Orient. F3	
SISTEMI		S	K1	K2	K3	K4	K5
Caratteristiche dei giunti	orientazione [°]	34/76	170/12	113/62	242/60		
	spaziatura (cm)						
	persistenza P(%)						
	persistenza A(%)						
	apertura (mm)						
Rimpimento	assente	granulare	coesivo	ricrist.			
Acqua	assente	asciutto	umido	bagnato			
Alterazione superfici	integre	ossidate	legg. alterate	alterate			
JRC							
Parametri sperimentali	$\sigma_{ci} //$ (Mpa) PL	$\sigma_{ci} \perp$ (Mpa) PL	σ_{capp} (MPa)	Alterazione			
	c' [Mpa]	ϕ' [°]	E (Gpa)	γ (KN/m3)			
	0,16	21,25	3,65				
Parametri analitici	D	mi	m_b	S	a		
	σ_{cm} (Mpa)	σ'_{3max} (Mpa)	c'	ϕ'			
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO							
Bieniawski	GSI (diretto) =	28					
P1) Resistenza PL							
P2) RQD							
P3) Spaziatura							
P4) Giunti							
P5) Acqua							
RMR _b =	33						
NOTE							
F1 è anche giacitura di K1 e F2 di K2; spessore glaciale esiguo, non più di 30cm.							

Appendice 2: Indice della scheda rilievo

Parametri geomeccanici rilevati:

- Indice RQD (Rock Quality Designation Index): percentuale di recupero modificata di un sondaggio;
- VRU medio: Volume Roccioso Unitario medio
- Orientazione: F1/F2/F3: Immersione ed inclinazione medie delle Faglie;
- Sistemi: S/K1/K2/K3/K4/K5: Immersione ed inclinazione medie delle relative famiglie di discontinuità;
- JRC: Coefficiente di rugosità del giunto.

Parametri sperimentali:

- σ_{ci} (Mpa) PL: Resistenza a compressione monoassiale, ricavata dalla formula $\sigma_{ci} = I_s(50)^*24$, dove, $I_s(50)$ rappresenta il rapporto tra il carico a rottura P [KN] e la distanza D tra i due punti di applicazione, normalizzato poi al valore D = 50mm.
- σ_{Capp} (Mpa): Resistenza a compressione del materiale stesso, ricavata dalla formula $\sigma_{Capp} = 10^{0.00088\gamma * R + 1.01}$, dove, γ [KN/m³] è il peso specifico del materiale mentre R rappresenta il rimbalzo elastico;
- Alterazione: $\sigma_{ci}/\sigma_{Capp}$;
- c' [MPa] = 0.005*RMR_b, rappresenta la coesione dell'ammasso roccioso;
- ϕ' [°] = 5+(RMR_b/2), rappresenta l'angolo d'attrito dell'ammasso roccioso;
- E (GPa) = $10^{\frac{RMR_b - 10}{40}}$, rappresenta il modulo elastico dell'ammasso roccioso.

Parametri analitici:

- D: fattore di disturbo;
- m_i : coefficiente tipico della roccia intatta;
- $m_b = m_i e^{\frac{GSI-100}{28-14 \cdot D}}$, coefficiente dipendente dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso;
- $s = e^{\frac{GSI-100}{9-3 \cdot D}}$, coefficiente dipendente dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso;
- $a = 0.5 + \frac{1}{6} \cdot (e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}})$, coefficiente dipendente dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso;
- σ'_{cm} (MPa): Resistenza a compressione di ammasso, ricavata dalla formula
$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \cdot \frac{(m_b + 4s - a \cdot (m_b - 8s)) \cdot (\frac{m_b + s}{4})^{a-1}}{2 \cdot (1+a) \cdot (2+a)}$$
- σ'_{3max} (MPa) Resistenza a compressione massima, ricavata dalla formula
$$\sigma'_{3max} = 0.72 \cdot \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma \cdot H}\right)^{-0.91} \cdot \sigma'_{cm}$$
- $c' = \frac{\sigma_{ci} [(1-2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n}] \cdot (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1-a) \cdot (2+a) \cdot \sqrt{1 + (6am_b(s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}}$
- $\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$ con $\sigma'_{3n} = \sigma'_{3max} / \sigma'_{ci}$

Classificazione Geomeccanica:

- RMR_b (Base Rock Mass Rating): rappresenta il punteggio di qualità dell'ammasso roccioso;
- GSI (Geological Strength Index): rappresenta il punteggio di qualità dell'ammasso roccioso in funzione del grado di fratturazione e delle condizioni di alterazione.